



TUULIALFA OY

Kuusamon Matkavaaran tuulivoimapuiston melumallinnus osayleiskaavaa varten

101016021-001

Tekijä
AFRY Finland Oy
Osasto
Ympäristö ja maankäyttö

pvm
04/05/2023
Projektinumero
101016021-001

Asiakas

Tuulialfa Oy

Kuusamon Matkavaaran tuulivoimapuiston melumallin-
nus osayleiskaavaa varten

Kannen kuva © Carlo Di Napoli

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	Digitaal kartta-aineisto	9
2.2	Mallinnetut tuulivoimalamallit	9
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	9
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	10
2.5	Pientaajuisen melun laskenta	12
2.6	Mallinnustulokset	12
2.7	Ulkomelumallinnus, 6 voimalaa	13
2.8	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	14
3	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	14
4	Vaikutusten seuranta	15
5	Lähteet	15

Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. Melumallinnuskartta, 8 voimalaa

Liite 3. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset ulkona ja sisätiloissa

Liite 4. Koostetaulukko, melulaskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.	7
Taulukko 1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq	8
Taulukko 2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).	8
Taulukko 3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.....	9

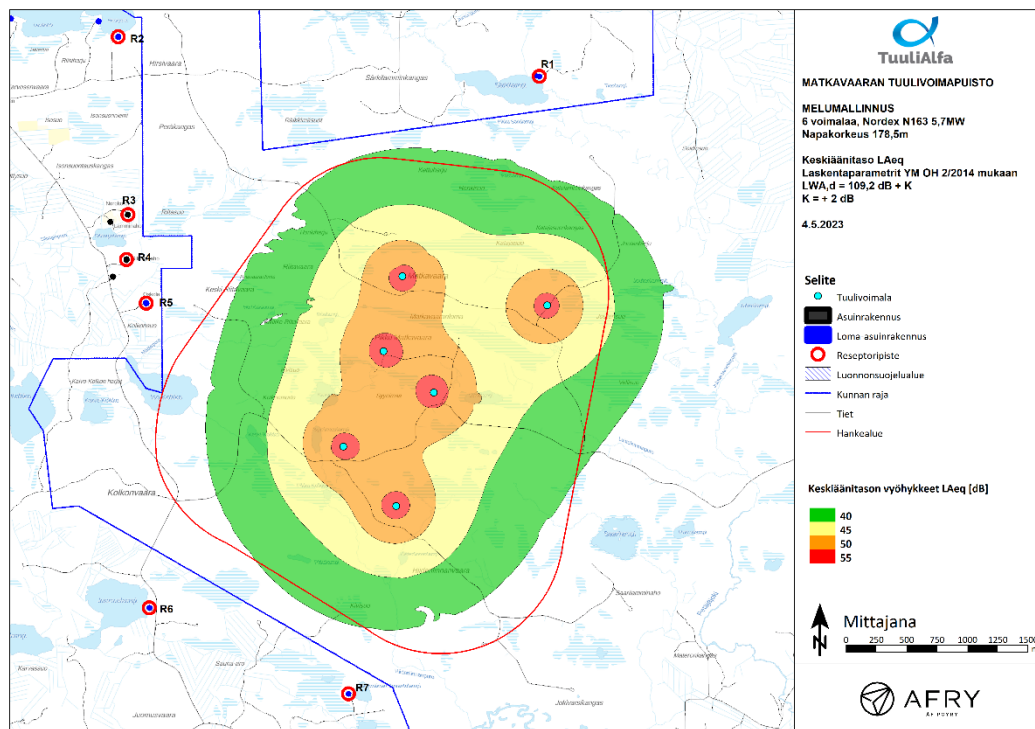
Kuva 2. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit	10
Kuva 3. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.	11
Taulukko 4. Laskennan parametrit	11
Kuva 4. Melumallinnuskartta, 6 voimalaa	13
Taulukko 5. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä R1-R10.	13
Kuva 5. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10	14
(a) (b) (c)	15
Kuva 6. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta fT 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.	15

Yhteenveto

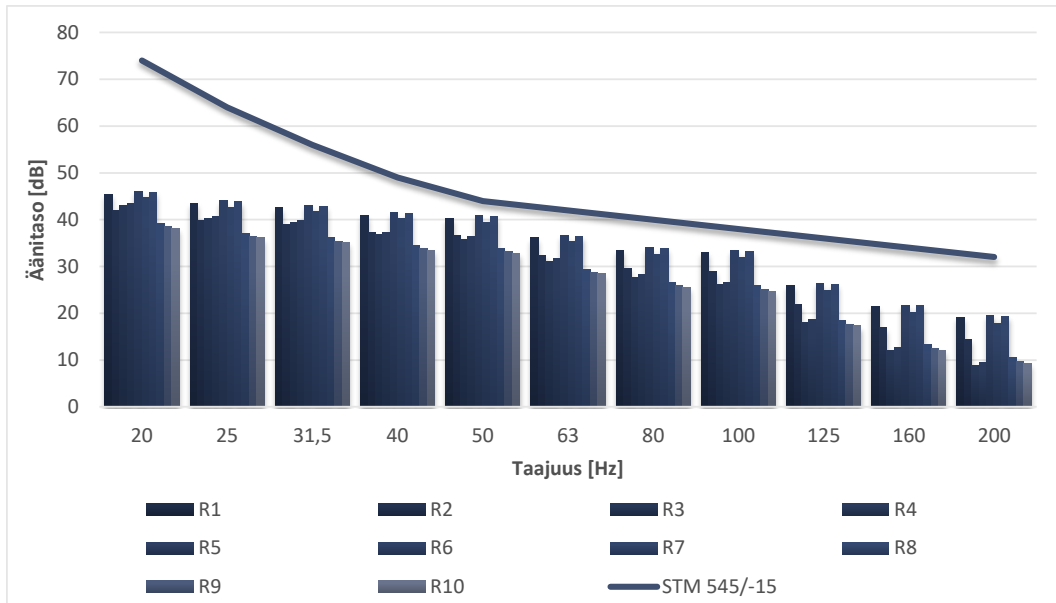
Tuulialfa Oy suunnittelee tuulipuistoa Kuusamon kaupungin alueilla sijaitsevalle Matkavaaran alueelle. Tässä raportissa käsitellään 6 voimalanhankevaihtoehdon aiheuttaman melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu hankkeen osayleiskaavaa varten.

Tässä raportissa käsitellään melun leviämistä alueen ympäristöön äänen etenemislaskentaa hyödyntäen. Melulaskennan vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja ja melumallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014. Selvitys tehtiin hankkeen osayleiskaavaa varten.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 6 voimalan hankevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.



Pientaajuisten melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi noin 6-7 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisten melun laskennassa on nyt hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen mukaisia ilmaäänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaus Hankkeen tuloksista.



Rakentamisen jälkeen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joiden avulla voidaan luotettavasti todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja tuulivoimamelun ohjearvoihin.

1 Johdanto

Tuulialfa Oy suunnittelee tuulipuistoa Kuusamon kaupungin alueilla sijaitsevalle Matkavaaran alueelle. Tässä raportissa käsitellään 6 voimalanhankevaihtoehdon aiheuttaman melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu hankkeen osayleiskaavaa varten.

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 fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen (melun) voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle ilmassa) käytetään referenssipainetta 20 μPa ilmalle sekä 1 μPa muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. (ISO 226:2003)

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

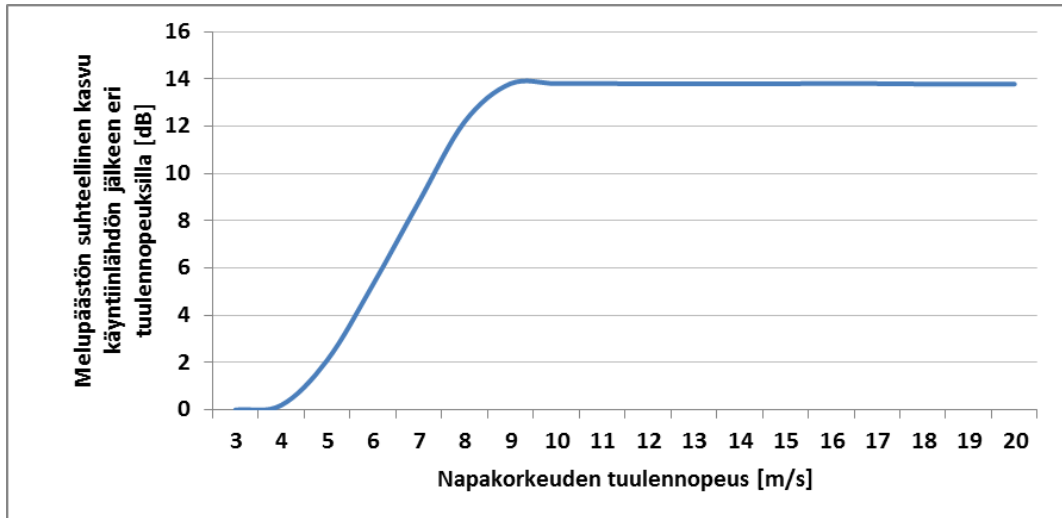
1.2 Tuulivoimamelu

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 käyn-

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



Kuva 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 teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1.5m 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 12,1 m/s modernin voimalan napakorkeudella 149 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 2-3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

1.3 Vertailuohjeavot

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

Taulukko 1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq

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

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

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjeavot 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 ohjeavon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun yöajan ohjeavon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016).

Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjeavoon nähden.

1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

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

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

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

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

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

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

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

2.1 Digitaalikartta-aineisto

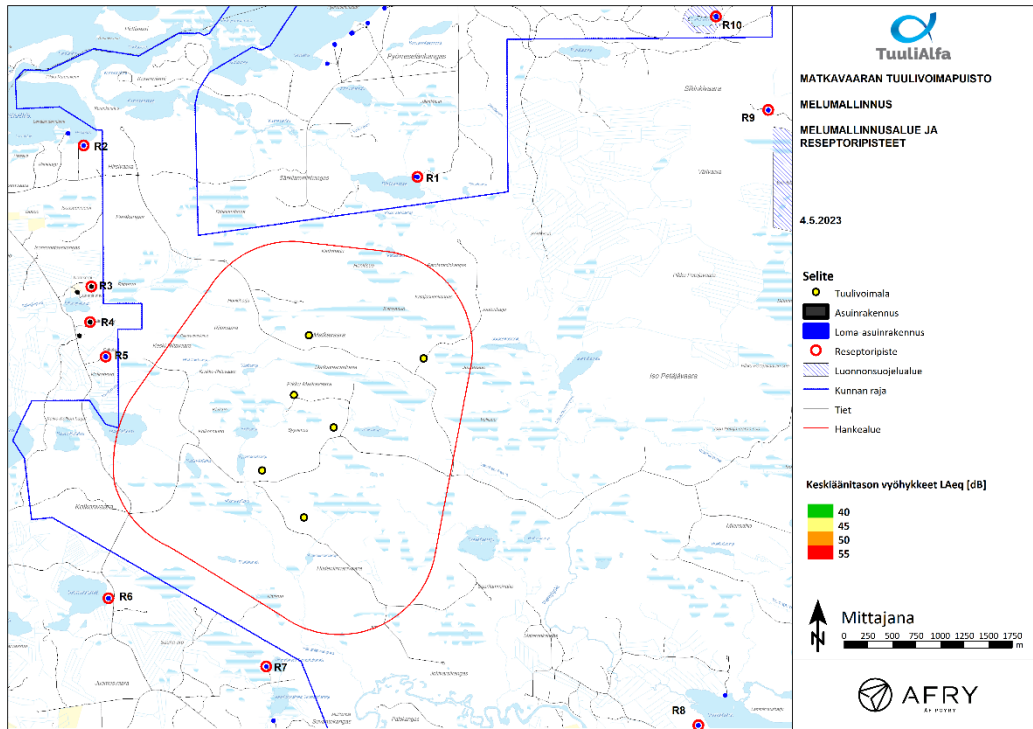
Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa (ladattu helmikuussa 2021). Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

2.2 Mallinnetut tuulivoimalamallit

Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille Nordex N163 5,7MW, jonka äänipäästön takuarvoksi normaalisiivelle ilman jättöreunan serraatioita on esitetty 109,2 dB, napakorkeudeksi 178,5m ja kokonaiskorkeudeksi 260m. Voimaloiden kokonaislukumäärä on 6 kpl. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuvälillä 10 Hz – 10 000 Hz. Äänipäästön varmuusarvona K on käytetty arvoa 2 dB (YM9/5511/2016).

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä 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 sekä alla oleva kuva myös suurennettuna.



Kuva 2. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v8.2, missä änilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä raytracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin ISO 9613-2, jonka parametrusointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

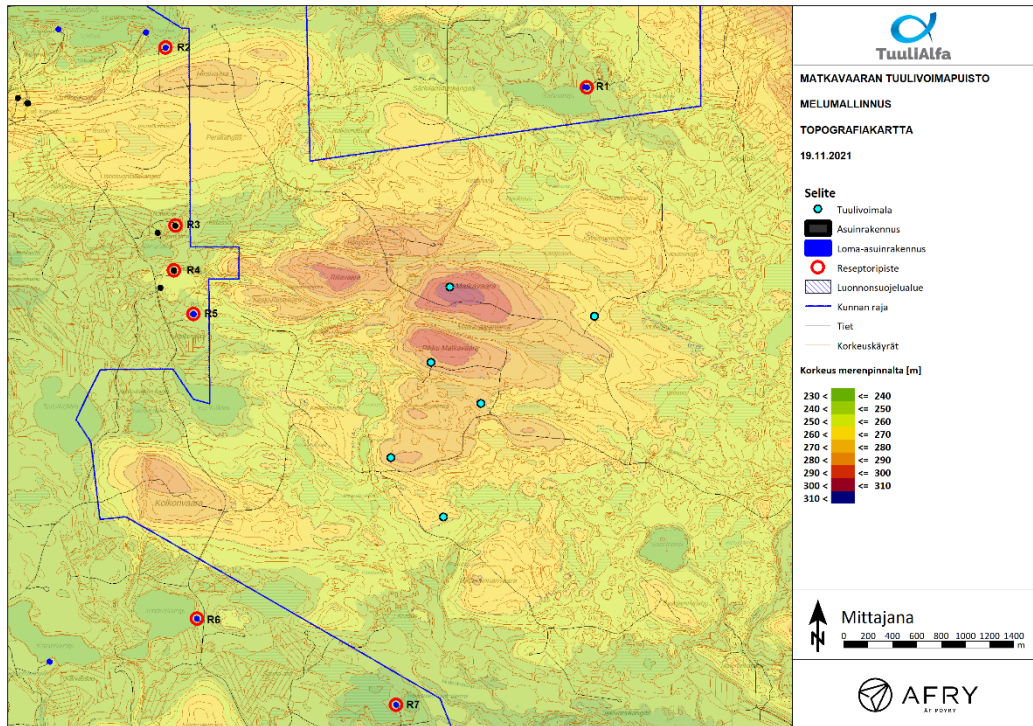
Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluutiolla, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon epävarmuudella. Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuorokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää

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

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



Kuva 3. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4. Laskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2. Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 90% persentiili (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2019), topografian pystyresoluutiona on 0.5m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)

Lähtötieto	Parametrit
Tuulennopeus	n.12,4 m/s 178,5m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella (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 10 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
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 (4m) korkeudella seuraten digitaalkartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisen melun laskenta

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

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmastieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017). Pientalojen ilmastieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin 90 % persenttiarvona DL90 sekä DL84, joista tässä laskennassa hyödynnetään korkeampaa arvoa DL90 (käytännössä näistä heikompa äänieristystä). Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. YM:n ohjeen mukainen taajuusalue on 20-200Hz.

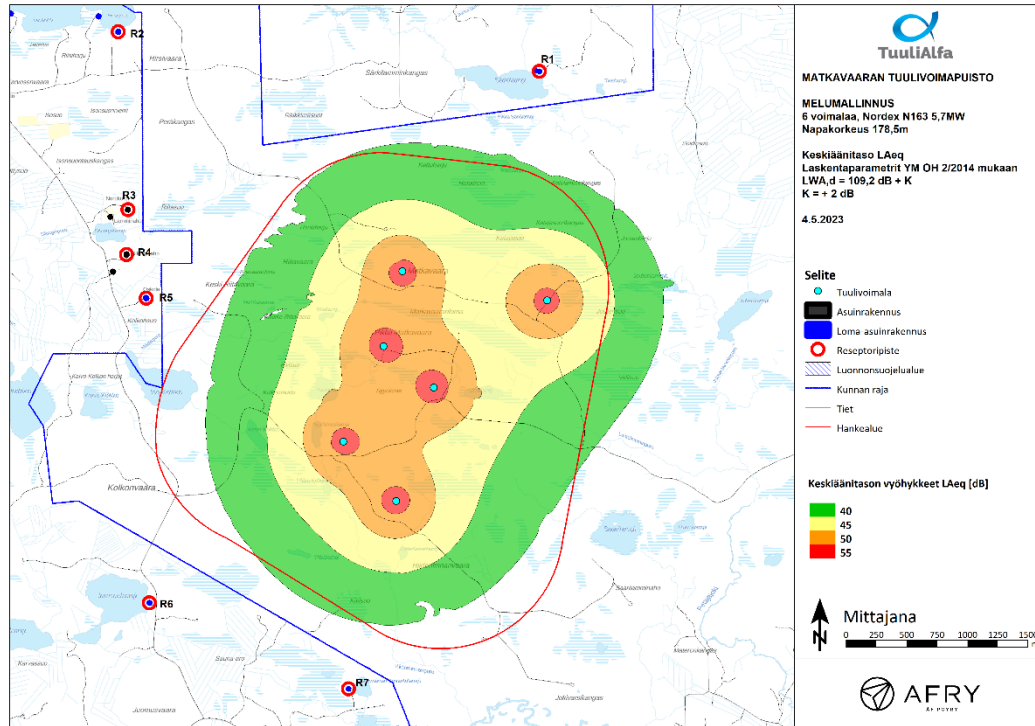
Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisen melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat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

2.6 Mallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa sekä suurempana kuvana liitteessä 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 2.8 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 3.

2.7 Ulkomelumallinnus, 6 voimalaa

Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq melu-
 vyöhykkeineen hankevaihtoehdolle 6 voimalaa. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n vä-
 lein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen
 raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 4. Melumallinnuskartta, 6 voimalaa

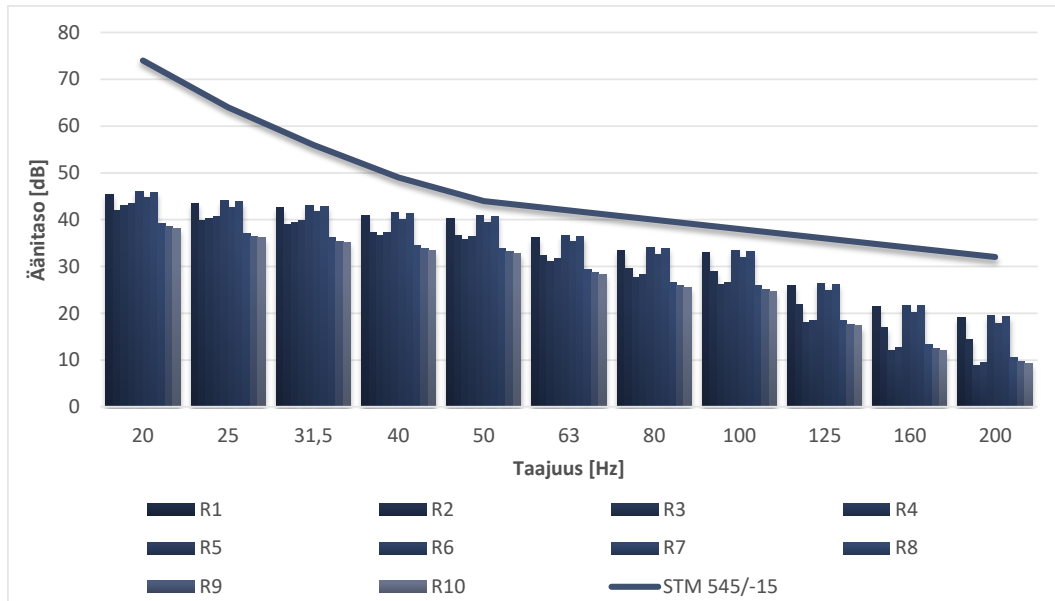
Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin-
 ja loma-asuinrakennuksiin asti eikä myöskään Kuusamon kunnan rajojen ulkopuolelle.
 Reseptoripistelaskennan perusteella (ks. taulukko 5), suurin keskiäänitason LAeq tulos
 laskennan mukaan reseptoripisteissä R1 ja R7 (tuloksilla 35,7 dB), joiden käyttötarkoi-
 tuksiksi on merkitty loma-asuinrakennus, joka alittaa yöajan alimman ohjearvoajan 40
 dB ulkona. Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden las-
 kentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 5. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptori-
 pisteissä R1-R10.

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	35,7	R6	asuinrakennus	33,7
R2	asuinrakennus	24,3	R7	asuinrakennus	35,7
R3	asuinrakennus	33,3	R8	loma-asuinrakennus	21,4
R4	loma-asuinrakennus	34,1	R9	asuinrakennus	19,6
R5	asuinrakennus	35,6	R10	asuinrakennus	23,0

2.8 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuuksivälillä 20-200Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL84 (asuinrakennukset) ja DL90 (lomaa-asuinrakennukset), jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017, 2019).



Kuva 5. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL84 ja DL90. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi noin 6-7 dB taajuuksialueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Esim. äänitasoeron estimaatti DL90 tällä taajuudella on 11 dB.

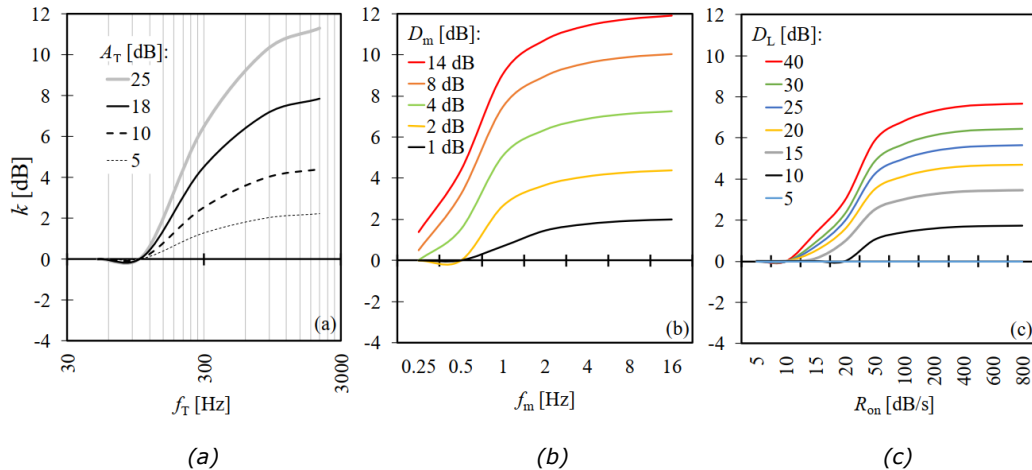
3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

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

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoitulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimoitajomooideja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi 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 meluoptimoitajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

4 Vaikutusten seuranta

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



Kuva 6. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus äänneksen taajuudesta f_T ja äänneksen erottuvuudesta A_T . (b) Amplitudimoduloitun 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 suoritetun mittaustuloksen arvoja voidaan vertailla mallinuksen tuloksiin ilman mittaustulosten epävarmuustarkastelua (Ympäristöministeriö, 2014). On kuitenkin huomioitava, että mittaustulosten suora 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.

Danish Energy Agency. Technical certification and servicing of wind turbines. <https://cas.ens.dk/certification/list-wind-turbine-certificates/>

Danish Government 2015. Miljöministeriet Naturstyrelsen. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller.

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

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

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

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

IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.

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, materiaali

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

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

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 ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.

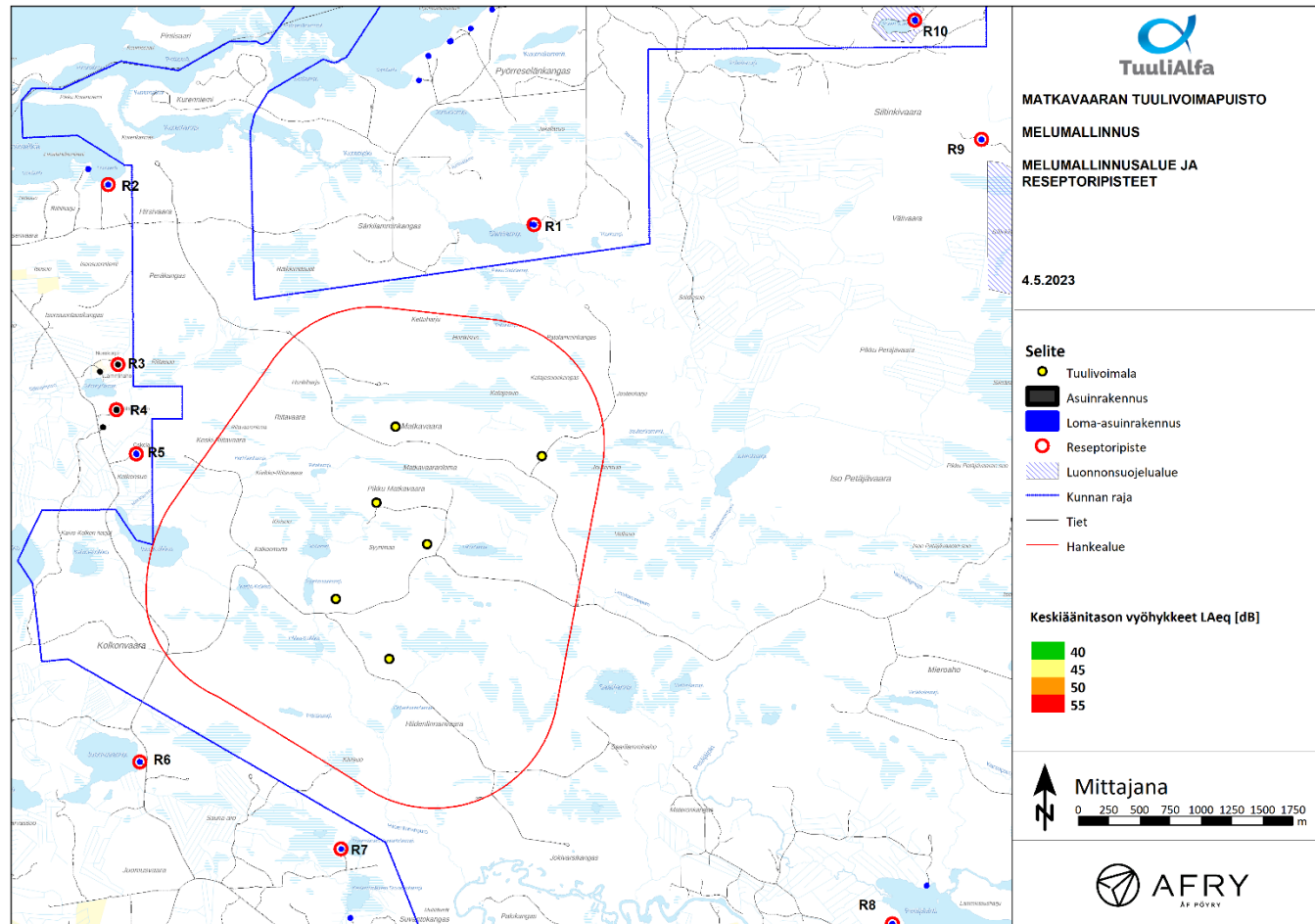
Voimaloiden koordinaatit yhteensä 6 voimalalle.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
WT1	565249,0	7318068,3	303,2	178,5m
WT2	565092,9	7317450,3	283,9	178,5m
WT3	565506,3	7317112,1	271,3	178,5m
WT4	566439,4	7317828,3	266,1	178,5m
WT5	565197,3	7316178,6	261,6	178,5m
WT6	564763,0	7316666,9	278,9	178,5m

Reseptoripisteiden R1-R10 koordinaatit melun leviämislaskennassa

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	566375,4	7319710,9	247,1	4m
R2	562911,2	7320036,7	246,6	4m
R3	562991,0	7318574,0	246,7	4m
R4	562978,9	7318205,1	252,3	4m
R5	563140,3	7317846,9	250,1	4m
R6	563168,1	7315342,4	243,7	4m
R7	564805,6	7314635,0	239,5	4m
R8	569568,0	7314335,8	244,0	4m
R9	570013,8	7320403,8	315,6	4m
R10	569472,7	7321374,0	290,2	4m

Voimaloiden ja reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit kartalla



MATKAVAARAN TUULIVOIMAPUISTO

MELUMALLINNUS









6 voimalaa, Nordex N163 5,7MW
Napakorkeus 178,5m

Keskiäänitaso LAeq

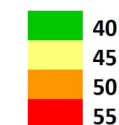
Laskentaparametrit YM OH 2/2014 mukaan
LWA,d = 109,2 dB + K
K = + 2 dB

4.5.2023

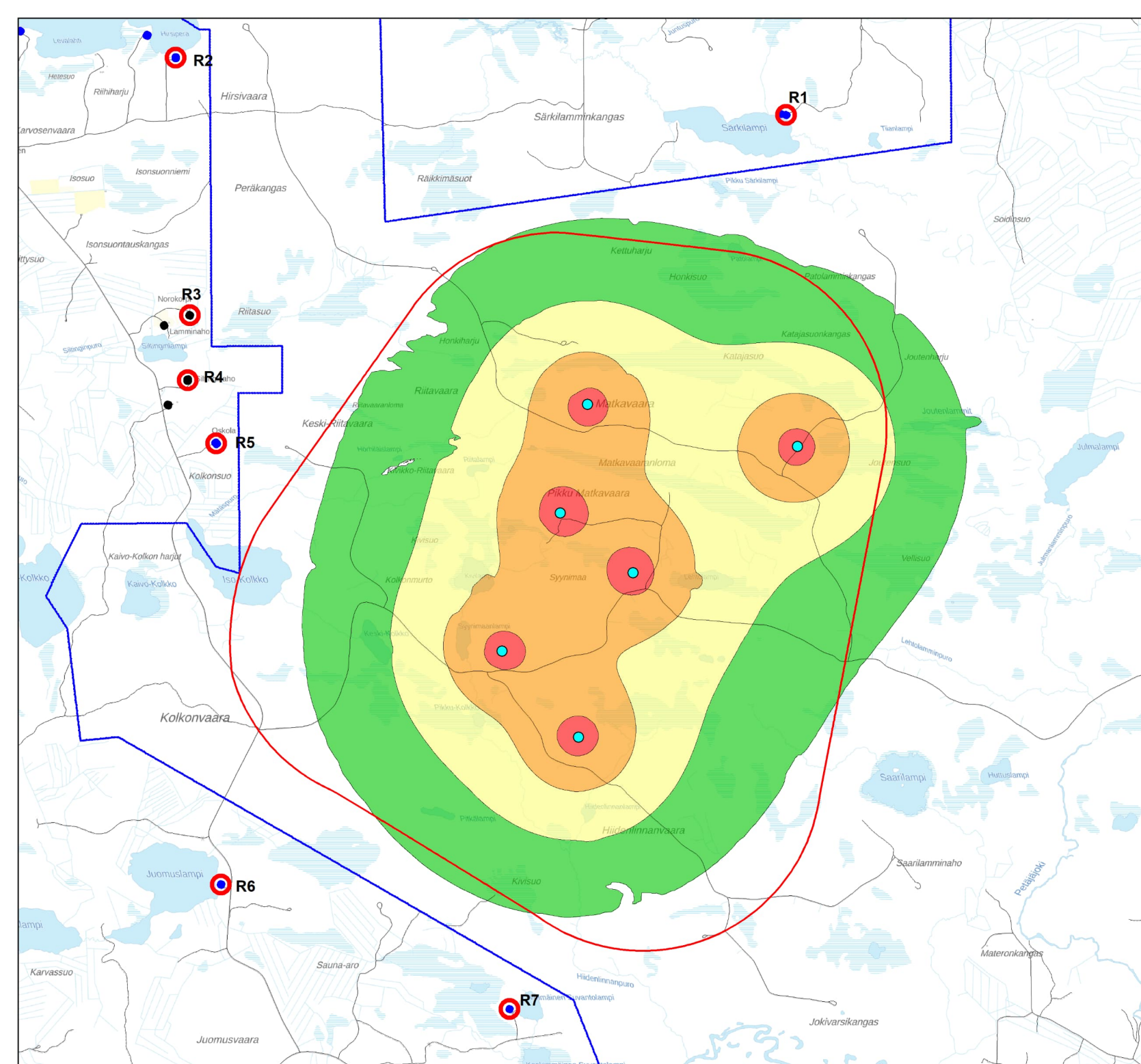
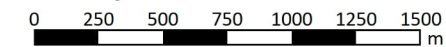
Selite

-  Tuulivoimala
-  Asuinrakennus
-  Loma-asuinrakennus
-  Reseptoripiste
-  Luonnonsuojelualue
-  Kunnan raja
-  Tiet
-  Hankealue

Keskiäänitason vyöhykkeet LAeq [dB]



Mittajana



Liite 3. Pientaajuisen melun tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, Leq, 6 x N163 5,7MW [dB]

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,4	49,5	49,5	47,9	48,3	45,1	43,5	44,0	38,0	34,5	33,1
R2	47,9	45,9	45,9	44,3	44,6	41,4	39,7	40,0	33,8	29,9	28,4
R3	50,6	48,6	48,6	47,0	47,4	44,1	42,5	42,9	36,8	33,1	31,7
R4	51,1	49,1	49,1	47,5	47,9	44,6	43,0	43,4	37,3	33,7	32,3
R5	52,0	50,0	50,0	48,5	48,8	45,6	44,0	44,4	38,4	34,8	33,5
R6	50,7	48,7	48,7	47,1	47,5	44,2	42,6	43,0	36,9	33,2	31,9
R7	51,8	49,8	49,8	48,3	48,6	45,4	43,8	44,2	38,2	34,6	33,3
R8	45,2	43,1	43,1	41,5	41,8	38,5	36,7	36,8	30,5	26,4	24,6
R9	44,5	42,5	42,4	40,8	41,1	37,8	35,9	36,1	29,7	25,5	23,7
R10	44,2	42,1	42,1	40,5	40,8	37,4	35,6	35,7	29,3	25,1	23,2

Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä DL90 äänitasoeron jälkeen, Leq, 6 x N163 5,7MW [dB]

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

Liite 4. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101016021-001										
Laatija: DI Carlo Di Napoli										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2	Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2									
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja ja malli: Nordex N163	Nimellisteho: 5,7MW									
Roottorin halkaisija: 163m	Napakorkeus: 178,5m									
Lukumäärä: 6 kpl	Siipityyppi: Normaali siipi									
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (Melutakuu, LWA,d): 109,2 dB	Varmuusarvo K: +2 dB									
Taajuusjakauma										
Luottamuksellisia, vain viranomaiskäyttöön. Viranomaiselle voidaan pyydetessä toimittaa myös 1/3 oktaavikaistatiedot.										
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, 02/2021	Maanpinnan pystyresoluutio: 0.5 m / laserkeilausaineisto									
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:	Maa-alueet:	Muut alueet (mitkä?)								
0	0.4	Laajat kallioalueet: 0								
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL90 loma-asuinrakennuksille (ylempi) ja DL84 asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain, 20-200Hz [dB]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot: 1 kpl										
Laskentakartat: 1 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 4 kpl: 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB									
Pientaajuisten melun laskentatulokset:	Reseptoripisteet: 10 kpl, R1-R10									

1 kpl	
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	