



PROKON Wind Energy Finland Oy

Alavieskan Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston melumallinnus yleiskaavoitusta varten, tekninen raportti

101012920-001

pvm
25/04/2023
Projektinnumero
101012920-001

Asiakas

PROKON Wind Energy Finland Oy

Alavieskan Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston me-
lumallinnus yleiskaavoitusta varten

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	5
1.3	Vertailuohjeavot	7
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	7
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	8
2.1	Digitaalikartta-aineisto	8
2.2	Mallinnettu tuulivoimalamalli	8
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	8
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit	9
2.5	Pientaajuisten melun laskenta	11
3	Mallinnustulokset	12
3.1	Ulkomelumallinnus	12
3.2	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	13
3.3	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	14
4	Vaikutusten seuranta	14
5	Lähteet	15

Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. Melumallinnuskartta

Liite 3. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset ulkona ja sisätiloissa

Liite 4. Koostetaulukko, laskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

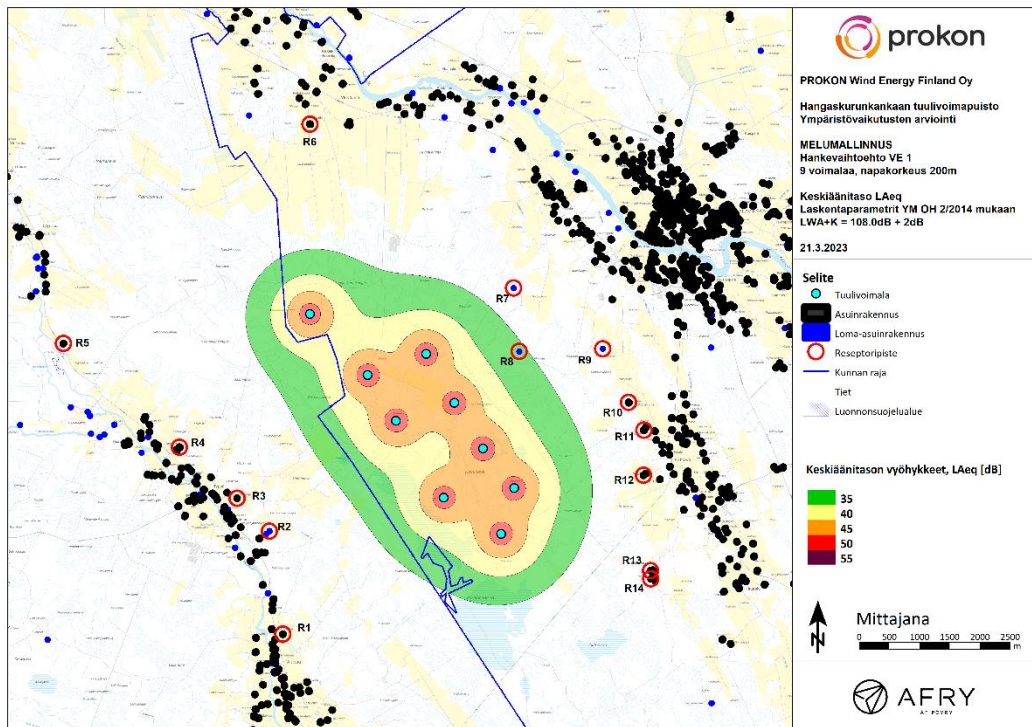
Kuva 1-1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.	6
Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq	7
Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).	7
Taulukko 1-3. Pientaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.....	8
Kuva 2-1. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit	9

Kuva 2-2. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2m (©Maanmittauslaitos).	10
Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit	10
Kuva 3-1. Melumallinnuskartta.....	12
Taulukko 3-1. Melumallinnuksen tulokset lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R14.	13
Kuva 3-2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14.....	13
(a) (b) (c).....	14
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.	14

Yhteenveto

PROKON Wind Energy Finland Oy suunnittelee tuulipuistoa Alavieskan Hangaskurunkankaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston yleiskaavoitusta varten. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 9 voimalan hankevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.



Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. 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

PROKON Wind Energy Finland Oy suunnittelee tuulipuistoa Alavieskan kunnan Hangaskurunkankaan alueelle. Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Hangaskurunkankaan tuulivoimapuiston yleiskaavoitusta 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 voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle käytetään referenssipainetta 20 μPa ilmalle sekä 1 μPa muille aineille. Tällöin 1 Pa:n paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. (ISO 226:2003). Vertailun vuoksi ilmanpaineen normaaliarvo merenpinnalla on 101 325 Pa.

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

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

1.2 Tuulivoimamelu

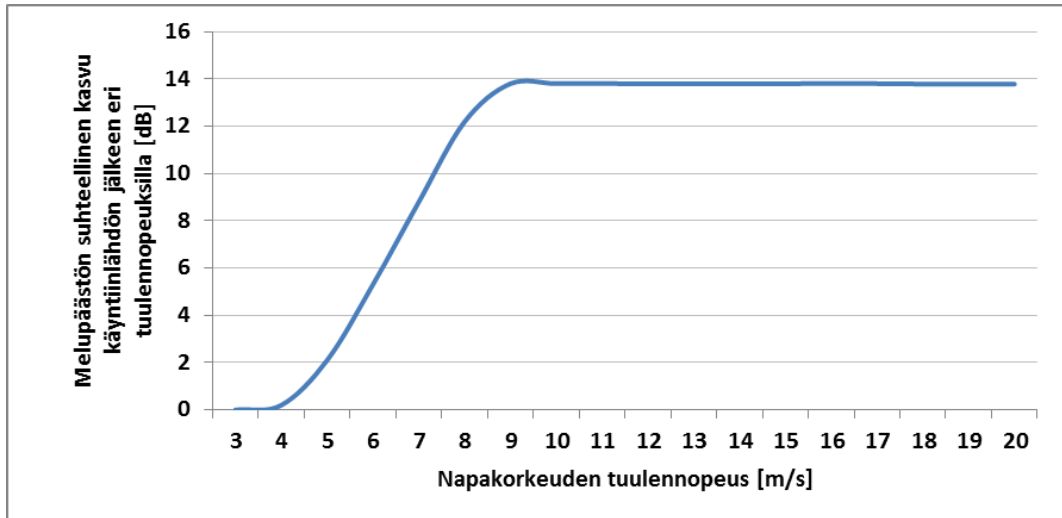
Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta, johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen 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 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-



tiinlähönnopeutta, 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. Äänitaso 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 peittoäänet 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 12,5 m/s modernin voimalan napakorkeudella 200 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden tuotekehityksen 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 pientaajuisten 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 $L_{Aeq,1h}$ (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

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

2 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

Laskennan lähtötiedot on koottu tilaajan lähettämästä aineistosta (vain koordinaatit ja kokonaiskorkeus), 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. Lisäksi kartassa esitetään teiden ja kuntarajan paikkatiedot. Maalueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

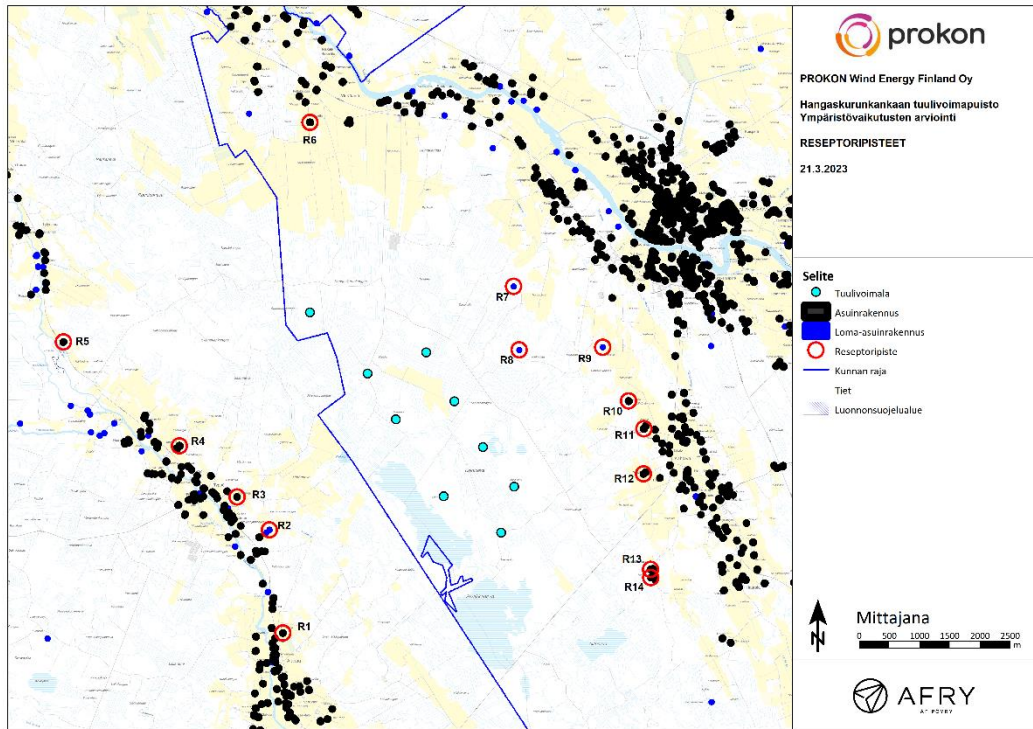
2.2 Mallinnettu tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin yhdelle geneeriselle 8MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Vestas V150 4,2 MW:n kokoluokan ja normaalsiiven mukaista äänipäästötasoa 108 dB lisätynä +2 dB:n varmuusarvolla K (ks. YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Pistemäisen äänilähteen kokonaisäänipäästön tunnusarvo $L_{WA,d}$ melumallissa on siten 110 dB. Äänipäästötason arvioidaan olevan siten varsin konservatiivinen ja malli ilman siiven jättöreunan serraatioita.

Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 200m, joka on kaavan sallima voimaloiden kokonaiskorkeuden 300m yläraja. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakautumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-1. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit

2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulas-kentaohjelmistoa SoundPlan v8.2, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digi-taaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä raytracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrisointi on ohjeis-tettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluu-tiolla, äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot sekä maanpin-nan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Mallinnus laskee tilanteen aina myötä-tuuliolosuhteeseen joka suuntaan.

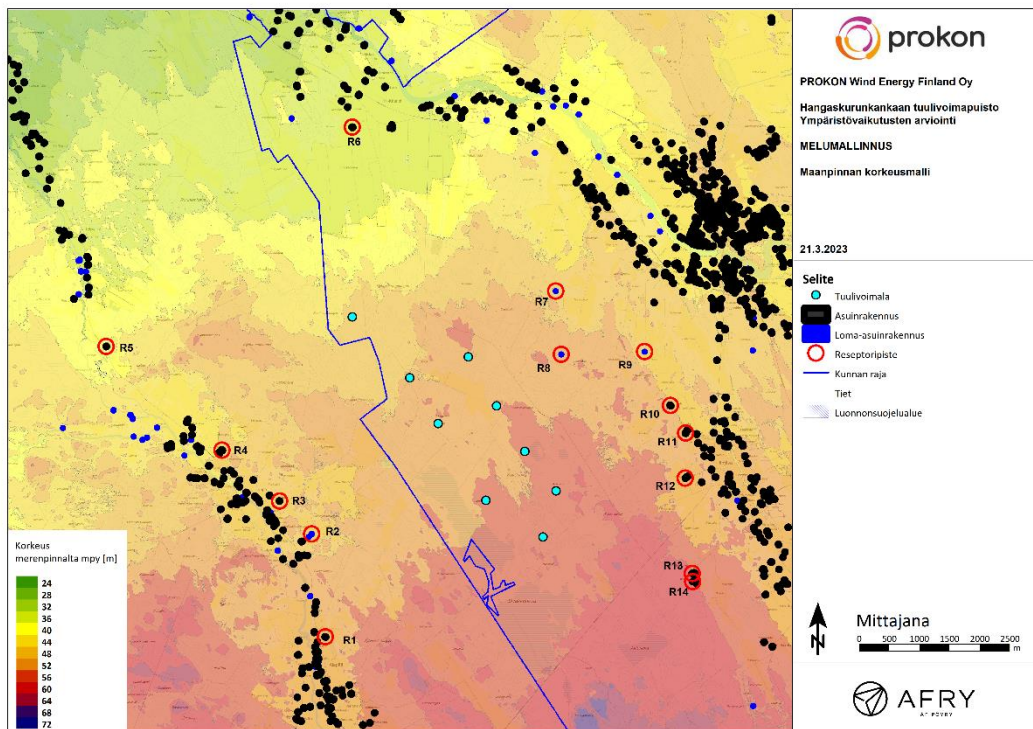
Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli me-lun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoit-taen myös pienempää äänen leviämismuutosta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä ää-nipäästöarvon varmuusarvolla K. 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 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 3km:iin asti (ks. alla oleva kuva), koska voimalat ovat alle 50m:n maanpinnan korkeudella.



Kuva 2-2. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä. Lähdeaineistona toimii Maanmittauslaitoksen korkeusaineisto 2m (©Maanmittauslaitos).

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Parametrit ovat ohjeen YM OH 2/2014 mukaisia ympäristövaikutusarvioinnin ja kaa-voituksen hankevaiheessa.

Taulukko 2-1. Melun leviämislaskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2. YM OH 2/2014 kpl 4.1 Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84%:n ja 90%:n persentiilit (Keränen et al., 2017, 2019)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 2021), topografian pystyresoluutiona on 0,5m.

Lähtötieto	Parametrit
	Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmio-verkkolaskennan 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 200m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten digitaaliskartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5 Pientaajuisten melun laskenta

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

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmastieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmastieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin persentiiliarvona DL84% ja DL90%.(Keränen et al., 2017, 2019) Tässä laskennassa hyödynnettiin vähimmäisarvon estimaattia DL84% asuinrakennuksille ja vähimmäisarvon estimaattia DL90% lomaa-asuinrakennuksille (ks. liite 4, jossa vähimmäisarvon estimaattiarvot on esitetty).

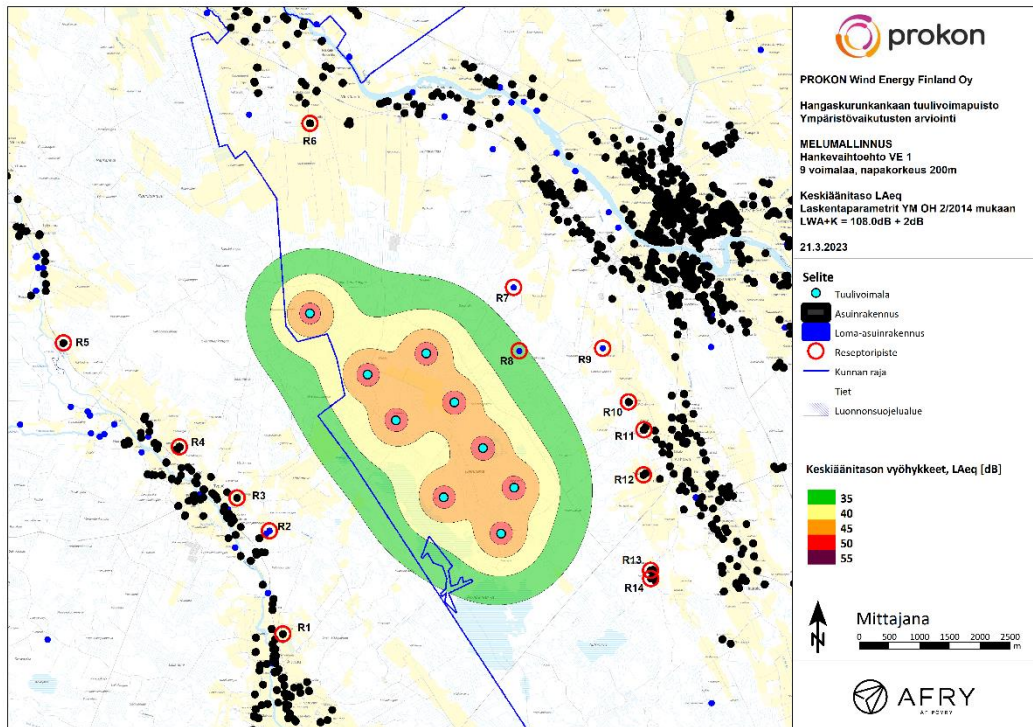
Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa LAeq ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisten melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asuimisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä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

3 Mallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 sekä suurempana kuvana liitteessä 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.2 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 3.

3.1 Ulkomelumallinnus

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen Hangaskurunkankaan alueen 9 suunnitellulle voimalalle. 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

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (ks. taulukko 3-1), suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä R8, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus, on 36 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. Yöajan ohjearvoraja 40 dB ulottuu mallinnuksen perusteella Kalajoen kaupungin puolelle.

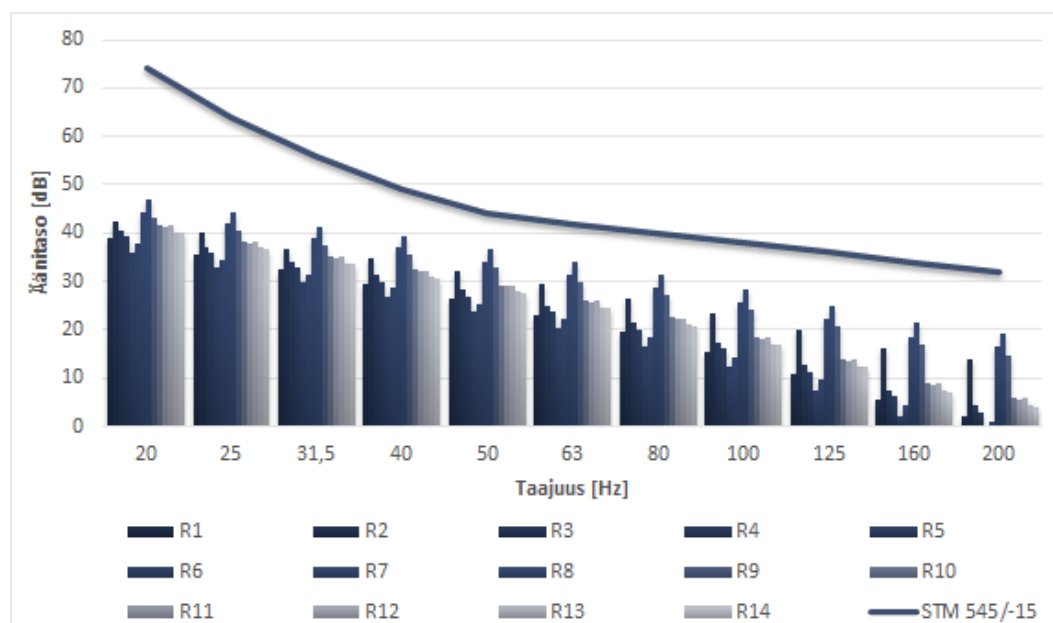
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-1. Melumallinnuksen tulokset lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä R1-R14.

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käytötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq		Nimi	Rakennuksen käytötarkoitus	Keskiääni-taso LAeq	
R1	asuinrakennus	24 dB		R8	loma-asuinrakennus	36 dB	
R2	loma-asuinrakennus	28 dB		R9	loma-asuinrakennus	29 dB	
R3	asuinrakennus	27 dB		R10	asuinrakennus	29 dB	
R4	asuinrakennus	25 dB		R11	asuinrakennus	29 dB	
R5	asuinrakennus	18 dB		R12	asuinrakennus	30 dB	
R6	asuinrakennus	23 dB		R13	asuinrakennus	27 dB	
R7	loma-asuinrakennus	32 dB		R14	asuinrakennus	27 dB	

3.2 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

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



Kuva 3-2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL84% ja DL90% sekä äänipäästön varmuusarvosta K. Suurimmat arvot ulkona (ks. liite 3) saavutetaan reseptoripisteessä R8, jonka pientaajuisen sisämelun laskennassa

käytetään myös alemmaa julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus).

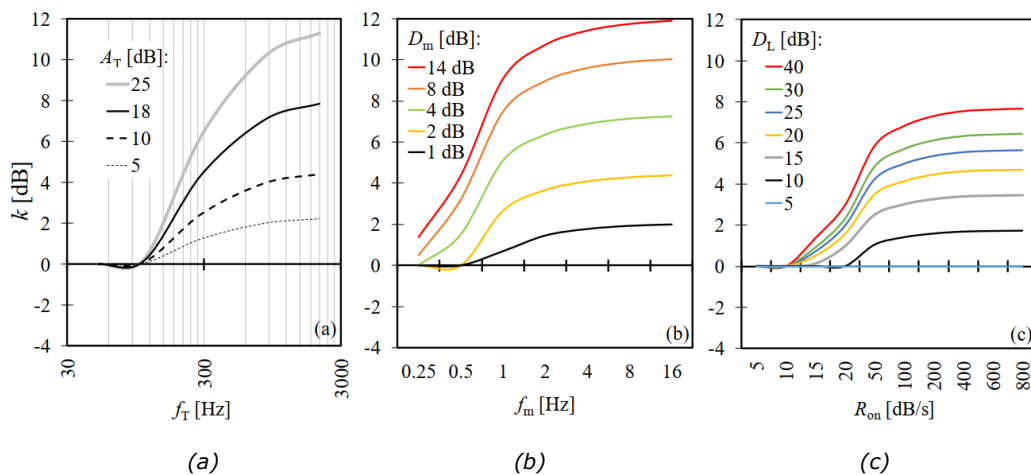
3.3 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 2-4 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 tuulen nopeus, -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 analyysissä suositellaan hyödynnettävän ko. tuloksia (ks. kuvat 6 (a)-(c) alla).



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

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

5 Läheteet

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, Lissabon, June 12-14, 2019.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

Vestas DMS 0079-5298_01. V162-5.6MW Third octave noise emission. Vestas Power Solutions, 2019.

Yhteenvedo 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. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016.

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

Voimaloiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
HK 1	362925	7116909	50,6	200m
HK 2	363880	7115898	53,1	200m
HK 3	364350	7115141	55,8	200m
HK 7	365140	7113868	58,2	200m
HK 5	365316	7115435	55,7	200m
HK 6	365790	7114681	56,8	200m
HK 8	366307	7114024	59,0	200m
HK 4	364851	7116247	54,7	200m
HK 9	366091	7113264	58,9	200m

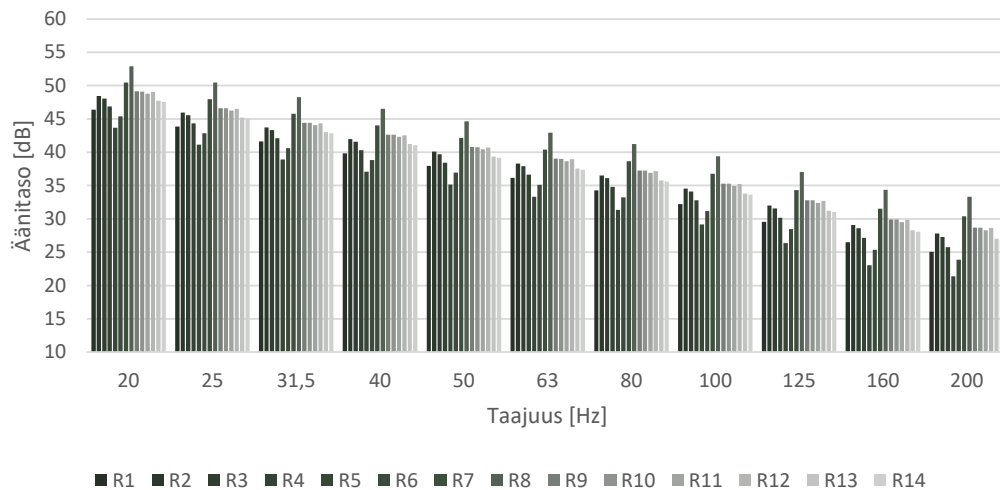
Reseptoripisteiden R1-R14 koordinaatit

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	362478,0	7111606,5	54,3	4m
R2	362253,1	7113312,5	51,7	4m
R3	361720,4	7113857,3	50,4	4m
R4	360763,8	7114699,6	48,8	4m
R5	358843,7	7116419,1	42,9	4m
R6	362926,1	7120053,8	38,6	4m
R7	366297,8	7117338,9	51,4	4m
R8	366390,9	7116288,2	54,2	4m
R9	367773,0	7116333,0	50,7	4m
R10	368201,1	7115442,1	52,7	4m
R11	368453,74	7114983,31	53,3	4m
R12	368447,33	7114237,92	55,6	4m
R13	368564,63	7112658,07	60,4	4m
R14	368568,87	7112522,64	61,0	4m

Liite 3. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset

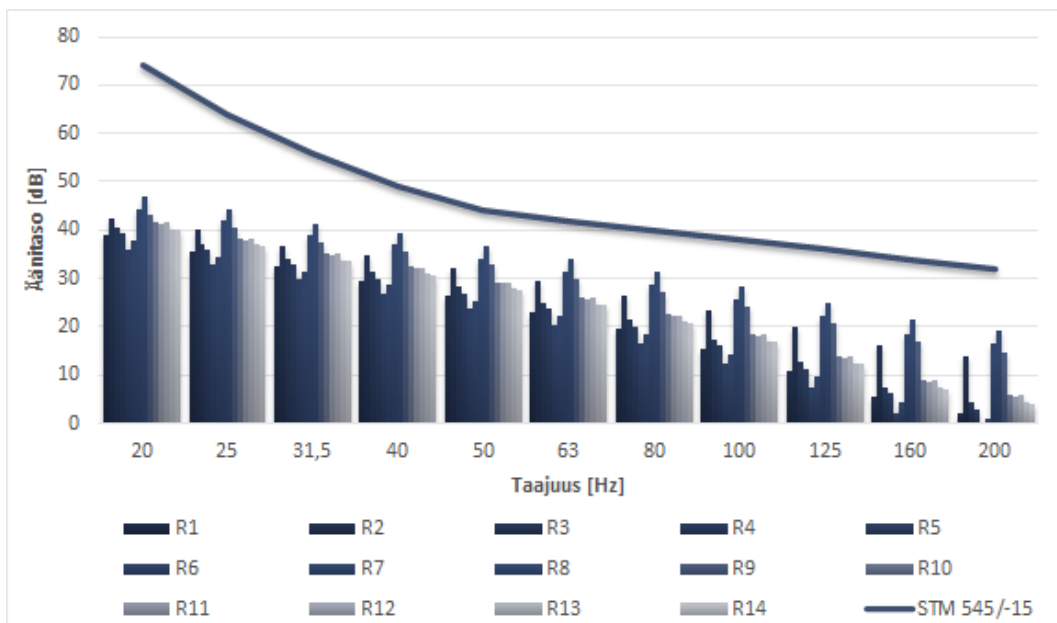
Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46,4	43,8	41,6	39,8	37,9	36,1	34,3	32,2	29,6	26,5	25,0
R2	48,5	45,9	43,7	42,0	40,1	38,3	36,5	34,6	32,0	29,1	27,8
R3	48,1	45,5	43,3	41,6	39,7	37,9	36,1	34,1	31,6	28,6	27,3
R4	46,8	44,3	42,1	40,3	38,4	36,6	34,8	32,8	30,2	27,1	25,8
R5	43,7	41,1	38,9	37,1	35,2	33,3	31,4	29,2	26,4	23,0	21,4
R6	45,4	42,8	40,6	38,8	36,9	35,1	33,2	31,2	28,5	25,3	23,9
R7	50,5	48,0	45,8	44,0	42,2	40,4	38,7	36,8	34,3	31,5	30,4
R8	52,9	50,4	48,3	46,5	44,7	42,9	41,2	39,4	37,0	34,3	33,3
R9	49,1	46,6	44,4	42,6	40,8	39,0	37,2	35,3	32,8	29,9	28,7
R10	49,1	46,6	44,4	42,6	40,8	39,0	37,2	35,3	32,8	29,9	28,7
R11	48,8	46,3	44,1	42,3	40,4	38,7	36,9	34,9	32,4	29,5	28,3
R12	49,0	46,5	44,3	42,6	40,7	38,9	37,2	35,2	32,7	29,9	28,7
R13	47,7	45,2	43,0	41,2	39,4	37,6	35,8	33,8	31,2	28,3	27,0
R14	47,6	45,0	42,8	41,0	39,2	37,4	35,6	33,6	31,0	28,1	26,8



Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä äänitasoeron jälkeen [dB]

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



Liite 4. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101012920-001										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2						Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja: Geneerinen						Nimellisteho: 8 MW				
Roottorin halkaisija: 200m						Napakorkeus: 200m				
Lukumäärä: 9 kpl						Siipityyppi: Normaali				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (LWA): 108,0 dB						Varmuusarvo K : +2,0 dB				
Melun erityispiirteet										
Kapeakaistaisuus: Ei			Impulssimaisuus: Ei				Korkeuserokorjaus: Ei			
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70%				Lämpötila: 15 °C			
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan										
Maastomallin lähde: MML, 09/2021						Maanpinnan pystyresoluutio: 0,3 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 ÄÄNITASOEROT										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti loma-asuinrakennuksille DL90% (ylempi taulukko) ja DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot 1 kpl										
Laskentakartat: 1 kpl						Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB				
Pientaajuisten melun laskentataulukot: 1 kpl						Reseptoripisteet: 14 kpl, R1-R14				
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	