



Tuuliafa Oy

Mustasuo-Tynnyrikorven tuuli- ja aurinkovoima- hanke

Melumallinnus ympäristövaikutusten arviointia varten, tekninen raportti

23.10.2025



YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Tuulialfa Oy

Antti Tanskanen

antti.tanskanen@tuulialfa.fi

P. 044 977 0409

www.tuulialfa.fi

Tekijä:

Ins. AMK Ruwaid Al-hilli

AFRY Finland Oy

www.afry.com

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on **101021307-005**.

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

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
TERMIT JA LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Ympäristömelu	6
1.2 Tuulivoimamelu	6
1.3 Tuulivoimamelun ohjeavot YM 1107/2015	8
1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	8
2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT	10
2.1 Mallinnusohjeistus	10
2.2 Digitaalikartta-aineisto	10
2.3 Tuulivoimalamalli.....	11
2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	12
2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit.....	13
2.5.1 Tuulivoimalat ja laskenta-alue	13
2.5.2 Aurinkovoimala.....	15
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta	15
3 MALLINNUSTULOKSET	17
3.1 Ulkomelumallinnus.....	17
3.1.1 Hankevaihtoehto VE1/VE3.....	17
3.1.2 Hankevaihtoehto VE2	18
3.2 Pienitaajuisen melu rakennusten sisätiloissa	20
4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN	22
4.1 Tekniset ratkaisut	22
5 LÄHDELUETTELO.....	23

LIITTEET

Liite 1. Voimala- ja reseptoripistekoordinaatit

Liite 2. Melumallinnuskartta – Mustasuo-Tynnyrikorven hankevaihtoehto VE1/VE3

Liite 3. Melumallinnuskartta – Mustasuo-Tynnyrikorven hankevaihtoehto VE2

Liite 4. Pienitaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 5. Melumallinnuksen perustiedot

TIIVISTELMÄ

Tuulialfa Oy suunnittelee Mustasuo-Tynnyrikorven tuuli- ja aurinkovoimapuiston rakentamista Oulun kaupungin Ylikiimingin itäosaan (Mustasuo) ja Utajärven kunnan luoteisosaan (Tynnyrikorpi) yhteensä noin 110 neliökilometrin kokoiselle alueelle. Hankealue sijaitsee noin 11 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen.

Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tarkastellaan kolmea toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehdossa VE1 hankealueelle rakennetaan enintään 83 tuulivoimalaa ja aurinkovoimala, vaihtoehdossa VE2 enintään 57 tuulivoimalaa ja aurinkovoimala sekä vaihtoehdossa VE3 enintään 83 tuulivoimalaa.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arviointia varten. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 Ed.2 (2024) melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 83 voimalan hankevaihtoehdoilla (VE1 ja VE3) lasketut ulkomelutasot voivat ylittää Vna 1107/2015 säädetyn tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvon lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä 1–3 kohteessa. Hankevaihtoehdossa VE2 lasketut ulkomelutasot voivat ylittää ohjearvon yhdessä kohteessa (R15), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta käydään neuvotteluita hankekehittäjän toimesta. Vastaavasti pienitaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat ylittyvät 1–4 kohteessa.

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

TERMIT JA LYHENTEET

Tässä teknisessä raportissa on käytetty seuraavia termejä ja lyhenteitä.

Termi	Selite
dB, desibeli	Äänenvoimakkuuden yksikkö. Kymmenen desibelin nousu melutasossa tarkoittaa äänen energian kymmenkertaistumista. Melumittauksissa käytetään eri taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Yleisin on niin sanottu A-suodatin, jonka avulla pyritään kuvaamaan tarkemmin äänen vaikutusta ihmiseen.
A-painotus	Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona, esim. LWA.
Äänitehotaso LWA	Äänienergian tehollinen arvo (yksikkönä dB tai Watti). Ääniteho toimii mallinnusten yhtenä syöttöarvona. Yleisesti käytetään äänitehon taajuuskaistoja, joiden logaritminen summa muodostaa äänitehotason.
Melupäästön takuuarvo	Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.
Varmuusarvo	Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyyppin melupäästön hajonnasta johtuvan epävarmuuden huomioivaa varmuusarvoa
Oktaavikaista	Oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 88–176 Hz.
1/3 oktaavikaista	1/3-oktaavikaista käsittää kahden asetuspisteen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi 1/3-oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 111–140 Hz. 1/3-oktaavikaista-analyysi antaa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin oktaavikaista-analyysi.
Kapeakaistaisuus	Tonaalisuudella tarkoitetaan yhden tai useamman äänneksen äänenpainetason ja peittoäänien tason erotusta kriittisellä kaistalla äänneksen (äänneksien) ympärillä. Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänneksiä tai kapeakaistaisia komponentteja melulle altistuvalla alueella.
Sykintä	Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella.
Impulssimaisuus	Melu on impulssimaisuista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle altistuvalla alueella.

1 JOHDANTO

Tuulialfa Oy suunnittelee Mustasuo-Tynnyrikorven tuuli- ja aurinkovoimapuiston rakentamista Oulun kaupungin Ylikiimingin itäosaan (Mustasuo) ja Utajärven kunnan luoteisosaan (Tynnyrikorpi) yhteensä noin 110 neliökilometrin kokoiselle alueelle. Hankealue sijaitsee noin 11 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen.

Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tarkastellaan kolmea toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehdossa VE1 hankealueelle rakennetaan enintään 83 tuulivoimalaa ja aurinkovoimala, vaihtoehdossa VE2 enintään 57 tuulivoimalaa ja aurinkovoimala sekä vaihtoehdossa VE3 enintään 83 tuulivoimalaa.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston YVA-menettelyä 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 ominaisuuksien mukaan. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa.

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

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

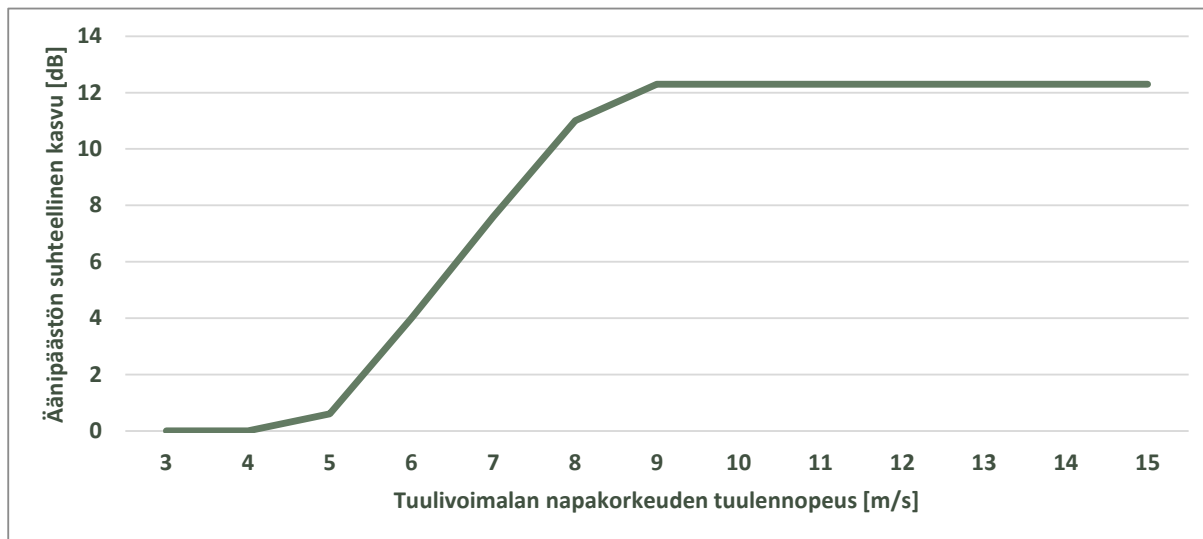
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitasa.

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 vaikutus-pinta-alan vuoksi (Gupta, M. Madsen, K., 2019). Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painotunut tyypillisesti 200–1 000 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 tuulennopeuden siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähtönopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (ks. Kuva 1-1).



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

Äänipäästön LWA huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipi-kulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuusmelu 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 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 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 sahalaidoituksen (Kuva 4-1), joka vähentää melupäästöä

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

1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015

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

Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjearvot, YM 1107/2015 asetuksen mukaan, LAeq.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päiväajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, loma-asutus, hoitolaitokset, leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, virkistysalueet	45 dB	–
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

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

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

1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

Taulukko 1-2. Äänitason toimenpiderajat STM 545/2015 asumisterveysasetuksen mukaan.

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
Asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB (25 dB)
Muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
Huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	–
Muut kokoontumistilat	40 dB	–
Asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistihuoneet	45 dB	–

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

Taulukko 1-3. Pienitaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,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
Leq,1h	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT

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

2.1 Mallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen (YM OH 2/2014). Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristösuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa LWAd. Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta LWA sekä varmuusarvosta K, joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10 000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8 000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykinän vaikutukset oletetaan sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, eikä mallinnusohjeistuksessa edellytetä niiden erillistä tarkastelua.

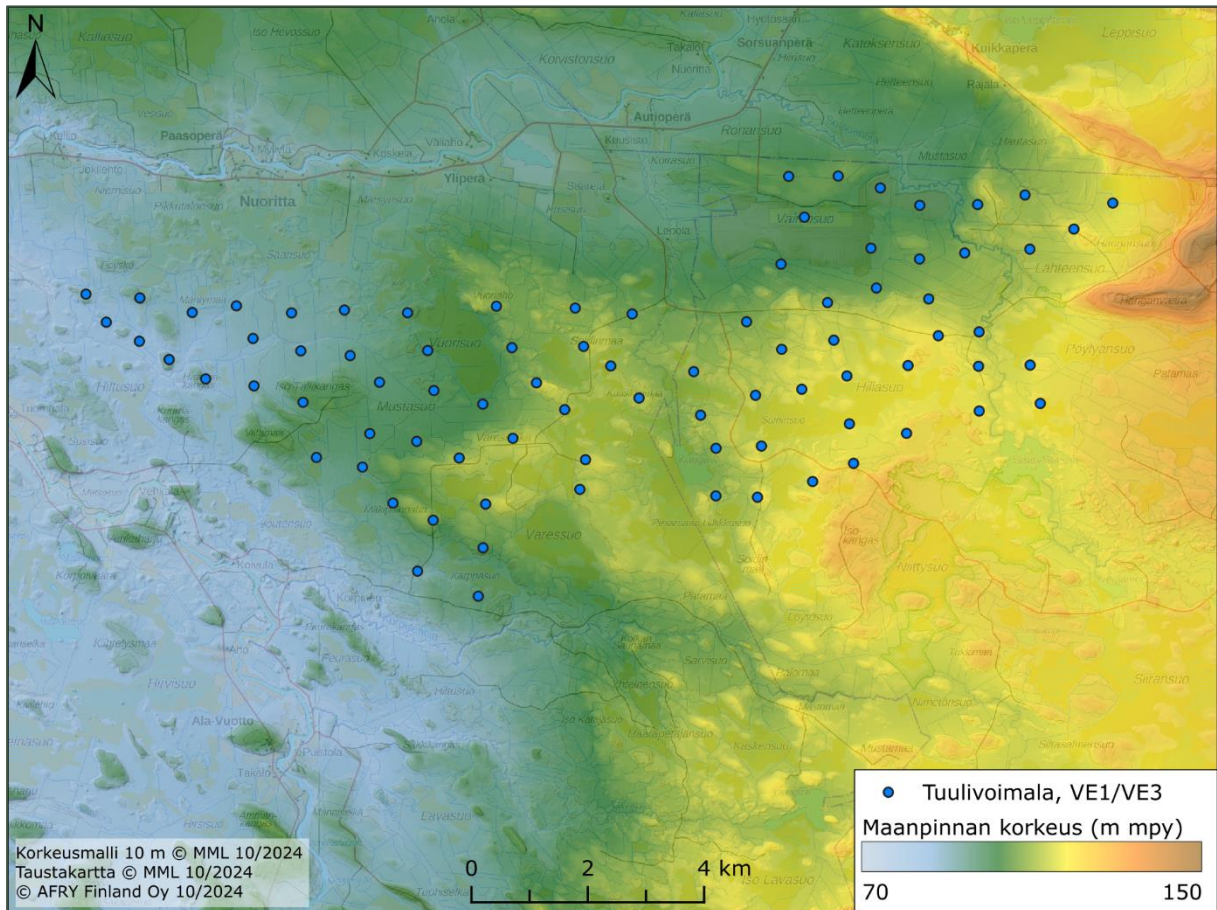
Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 Ed.2 (2024) perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin (Jakobsen, J. 2012). Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Pienitaajuisen melun tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

2.2 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen

aineistossa. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 (puolikova) ja vesialueille 0 (kova).

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta reseptoripisteeseen päin laskevasti katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön LWA). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty yhdenkään tuulivoimalan ja reseptoripisteen välillä 3 km:iin asti (ks. Kuva 2-1 ja liitteessä 1 esitetyt maaston korkeudet).



Kuva 2-1. Melumallinnuksen digitaaliskartan topografiamalli, mpy [m]. Kuvassa hankevaihtoehdon 1 voimalasijoittelu.

2.3 Tuulivoimalamalli

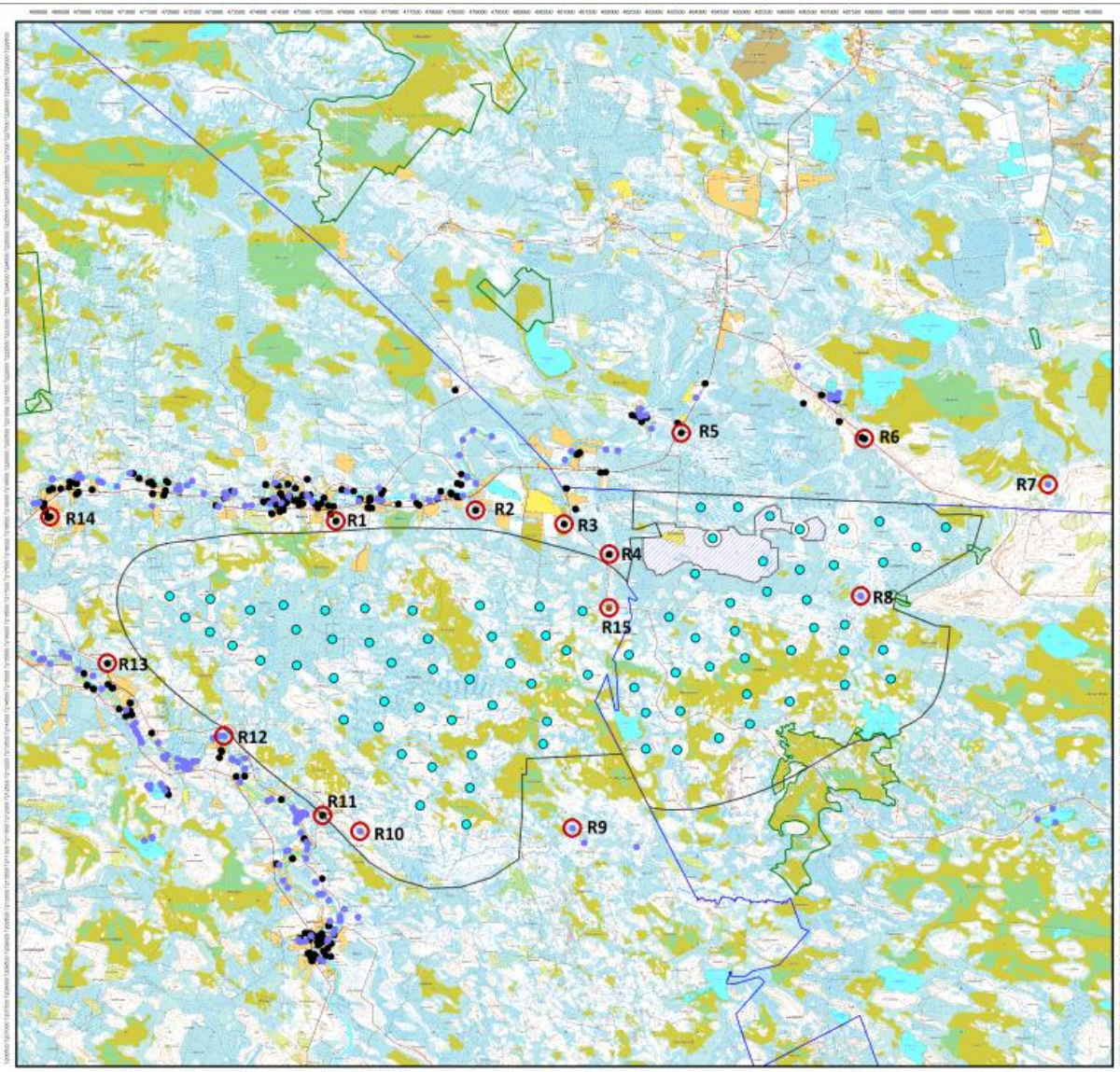
Mallinnus suoritettiin 6,8 MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Nordex N175 6,8 MW:n ja serraatioksiivien mukaista äänipäästötasoa 106,9 dB lisätynä + 2 dB:n varmuusarvolla K (YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Siten pistemäisen äänilähteen (yksi voimala) kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on 108,9 dB.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 metriä. Mallinnetun voimalan laivan pituus on 100 m, roottorin halkaisija 200 m ja kokonaiskorkeus 300 m. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakamaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 6,3–10 000 Hz lisätynä yllä mainitulla varmuusarvolla.

2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

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

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta syyskuussa 2025. Reseptorin R15 kohdalla on vapaa-ajan kiinteistö, jonka käyttötarkoituksen muutoksesta hankekehittäjä neuvottelee, mutta jota käsitellään tässä selvityksessä vielä loma-asuntona. Tämä rakennus on merkitty karttoihin tunnisteella R15, ”Muu rakennus/käyttötarkoitus muuttuu”.



Kuva 2-2. Melumallinnusalue, Mustasuo-Tynnyrikorven hankevaihtoehdon 1 tuulivoimaloiden sijainnit (turkoosit pisteet) ja reseptoripisteet (punaiset ympyrät). Hankealue on kuvassa rajattu mustalla viivalla ja kuntarajat sinisellä viivalla. Asuinrakennukset on merkitty mustilla pisteillä ja loma-asuinrakennukset vaaleansinisillä pisteillä. Lomarakennuksen R15 käyttötarkoituksen muuttamisesta neuvottelut ovat käynnissä.

Seuraavassa taulukossa (Kuva 2-1) on esitetty Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimahankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa käytetyt hankevaihtoehdot, voimaloiden

lukumäärät, äänitehotaso sekä napakorkeus. Hankevaihtoehtoissa VE1 ja VE2 on mukana aurinkovoimala, mutta melumallinnuksen karttojen osalta vain kuvaobjektina, ks. kappale 2.5.2.

Taulukko 2-1. Melumallinnuksen voimalat.

Hanke	Voimaloiden lkm	Napakorkeus	Yhden voimalan äänipäästö
Mustasuo-Tynnyrikorpi VE1/VE3	83	200 m	106,9 dB + 2 dB
Mustasuo-Tynnyrikorpi VE2	57	200 m	106,9 dB + 2 dB

2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit

2.5.1 Tuulivoimalat ja laskenta-alue

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melu-laskentaohjelmistoa SoundPlan v 9.1, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeiksi vastaanottopisteessä. Mallinnusalgoritmina käytettiin ISO 9613-2:2024, jonka vuoden 1996 version parametrisointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1. Koska ISO standardin Editio 1 vuodelta 1996 on poistunut käytöstä ja on korvaantunut editiolla 2 vuonna 2024, on tässä käytetty Ed.2 standardin laskenta-algoritmia kuitenkin siten, että laskentaparametrit ovat samoja Ed.1 kanssa. Ympäristöministeriö ei ole vielä tehnyt kattavaa vaikutusarviointia uuden standardiversioon käytön vaikutuksista laskentatuloksiin tämän selvityksen teon aikana. Alustava AFRY:n tekemä sisäinen tarkastelu on päätynyt johtopäätökseen, että laskentatulosten poikkeama on vähäinen 40 dB:n ja sitä ylittävillä keskiäänitasoilla, mutta kasvaa tapauskohtaisesti voimaloista kauemmaksi mentäessä ja pienemmillä äänitasoilla.

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluutiolla, äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Mallinnus laskee tilanteen aina myötätuuliosuhteeseen joka suuntaan.

Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitason käyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty (Taulukko 2-2) 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 luokaltaan pienempi (akustisesti puolikova) kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämismuutosta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon varmuusarvolla K. Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuorokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää

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

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Parametrit ovat ohjeen YM OH 2/2014 mukaisia ympäristövaikutusten arvioinnin ja kaavoituksen hankevaiheessa.

Taulukko 2-2. Melun leviämislaskennan parametrit.

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 Ed.2 (2024) ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2 Ed.2 (2024). 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, 2024), topografian pystyresoluutiona on 0,5 m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	n. 13 m/s 200 metrin korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10 metrin referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,1 m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.3
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6,3–16 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 2.1
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.2 Kuva 2-1. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste kymmenen kertaa kymmenen metrin (10 x 10 m) 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 & aurinkovoima-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Aurinkovoimalat	Akustinen maanpinnan kovuuskerroin 0,4 (puolikova maanpinta)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.5.2 Aurinkovoimala

Hankealueen sisälle suunniteltujen aurinkovoimaloiden (VE1 ja VE2) vaikutus melun leviämiseen on tällä hetkellä epäselvää eikä kirjallisuudessa tai YM:n ohjeissa ole tästä selkeää mainintaa. Riippuen taajuudesta, voi osa äänestä heijastua voimaloiden pinnalta viistosti ylöspäin aurinkovoimalan kulman mukaan ja osa äänestä voi joiltain osin jäädä tehokkaammin voimaloiden väliin. Mainittujen epävarmuuksien vuoksi laskennassa ei tehty maanpinnan kovuuskertoimen muutoksia, joten aurinkovoimaloiden osalta käytettiin samaa maanpinnan absorptiokerrointa 0,4 (akustisesti puolikova maanpinta) kuin muulle maanpinnalle, joka ei ole akustisesti kovaa vesialuetta.

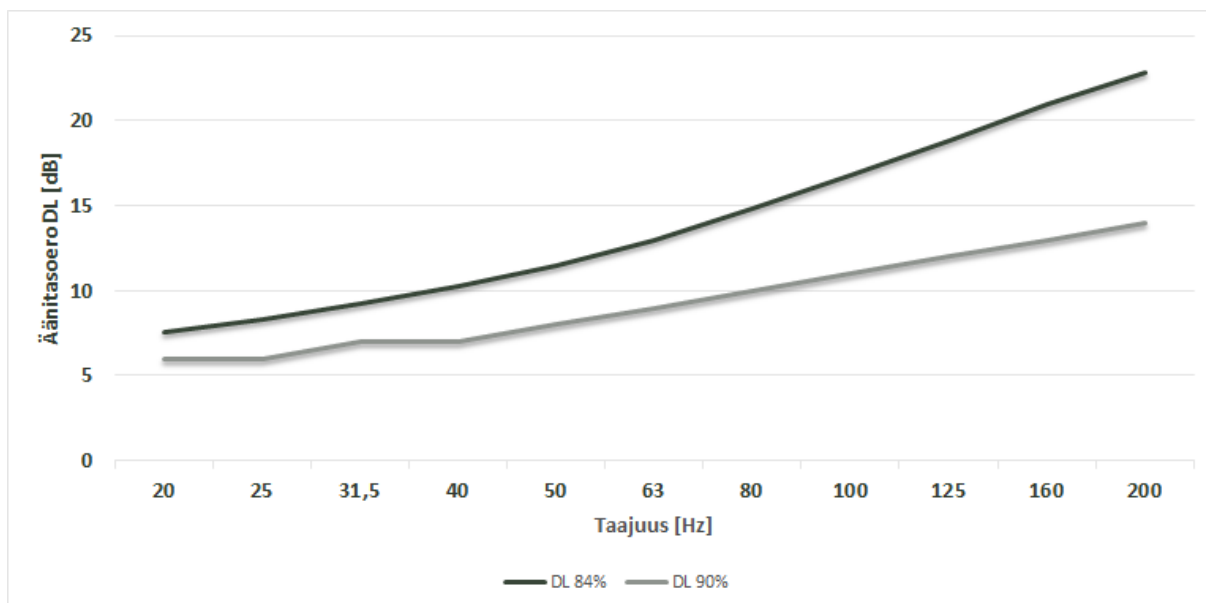
2.6 Pienitaajuisten melun laskenta

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 1-3) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07–22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22–07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona $L_{eq,1h}$ mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisten sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu mm. Turun AMK:n hankkeessa (Keränen et al. 2019 a ja b), jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20–200 Hz. Artikkelin arvot (Kuva 2-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä pienitaajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos pienitaajuisten sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyuden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmaäänieristävyuden 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% loma-asuinrakennuksille.



Kuva 2-3. Äänitasoeron DL vähimmäisarvon estimaatit 84 %:n ja 90 % persentileille Turun AMK:n julkaisujen mukaan (Keränen, 2017, 2019).

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 asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

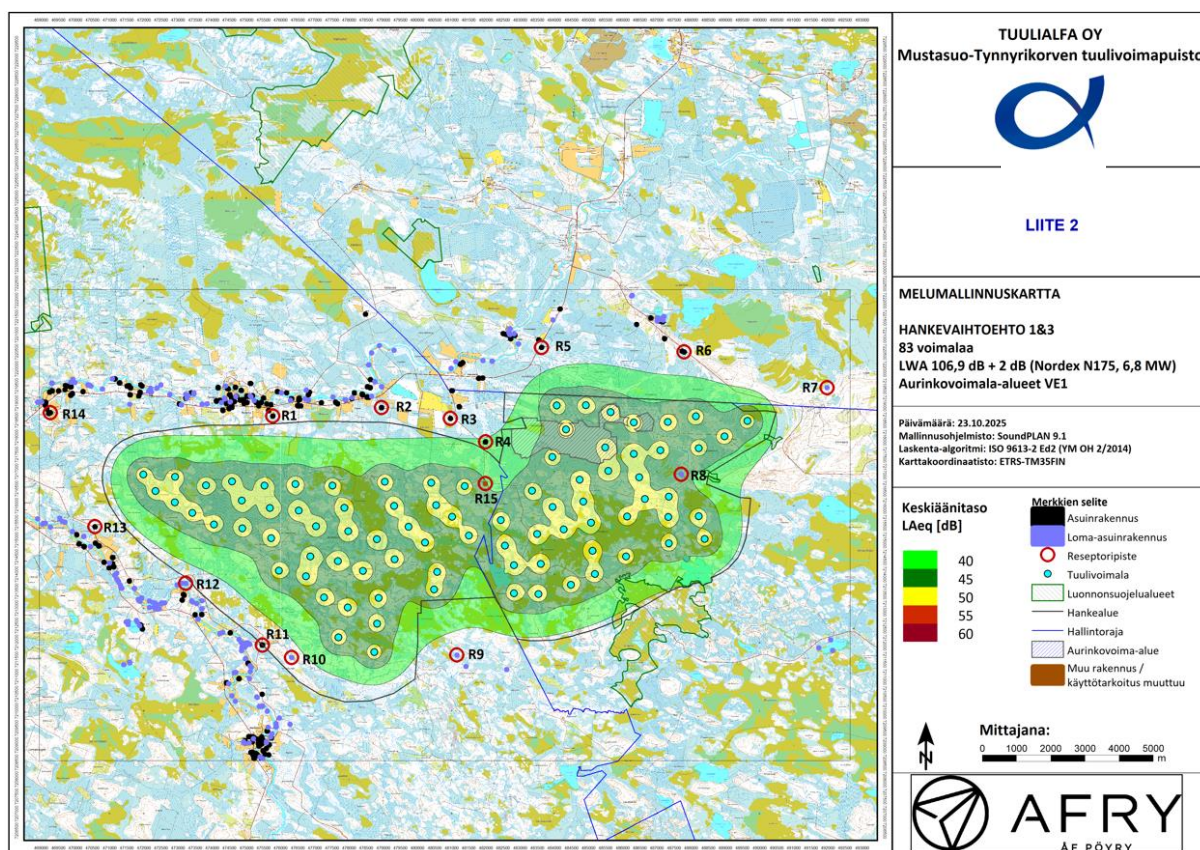
3 MALLINNUSTULOKSET

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 hankevaihtoehdoille VE1/VE3 ja VE2 sekä suurempina kuvina liitteissä 2–3. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteessä 4.

3.1 Ulkomelumallinnus

3.1.1 Hankevaihtoehdot VE1/VE3

Hankevaihtoehdojen VE1 ja VE3 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartta Mustasuo-Tynnyrikorven hankealueen 83:lle suunnitellulle voimalalle. Tässä kappaleessa käsitellään vaihtoehtoja VE1 ja VE3 (ei aurinkovoima-alueita), koska tuulivoimalat sijaitsevat samoilla paikoilla ja melumallinnuksien perusteella hankevaihtoehdon VE1:n aurinkovoima-alueesta ei synny muutoksia meluarvoihin. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Hankevaihtoehdon VE1/VE3 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3-1) on esitetty yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-1. Hankevaihtoehdon VE1/VE3 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

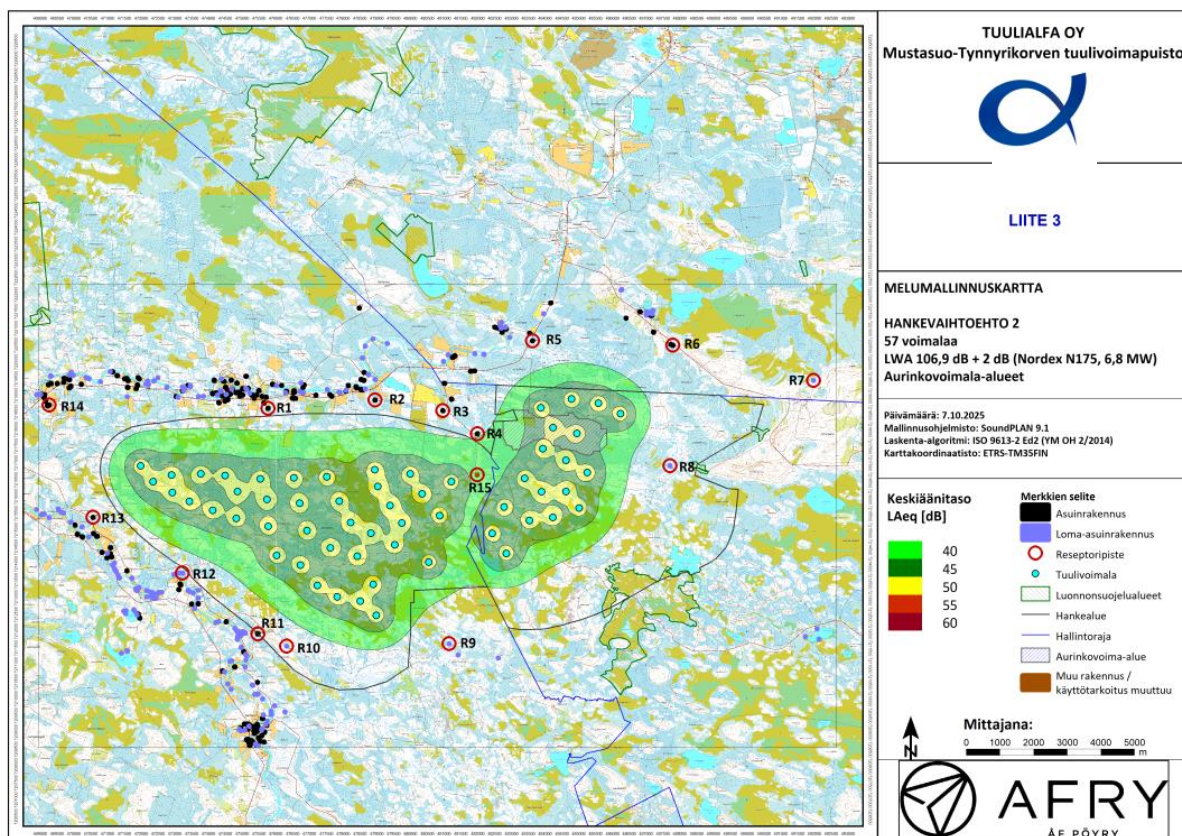
Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	37,6 dB	R8	loma-asuinrakennus	46,0 dB
R2	asuinrakennus	36,7 dB	R9	loma-asuinrakennus	37,8 dB
R3	asuinrakennus	38,0 dB	R10	loma-asuinrakennus	38,4 dB
R4	asuinrakennus	40,4 dB	R11	asuinrakennus	37,2 dB
R5	asuinrakennus	36,6 dB	R12	loma-asuinrakennus	37,6 dB
R6	asuinrakennus	36,9 dB	R13	asuinrakennus	35,2 dB
R7	loma-asuinrakennus	31,6 dB	R14	asuinrakennus	29,8 dB
			R15	loma-asuinrakennus	45,2 dB

Melun leviämislaskennan perusteella hankevaihtoehdoissa VE1/VE3 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy kolmen kohteen kohdalla (reseptoripisteet R4, R8 sekä R15). Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Muiden laskentapisteen osalta yöajan ohjearvo alitetaan. Myös päiväajan ohjearvo 45 dB ylittyy reseptoripisteissä R8 ja R15 (loma-asuinrakennus).

3.1.2 Hankevaihtoehto VE2

Hankevaihtoehdon 2 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartta Mustasuo-Tynnyrikorven hankealueen 57:lle suunnitellulle voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 45 dB:n tasoa.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3-2) on esitetty yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta vaihtoehdossa VE2.



Kuva 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq.

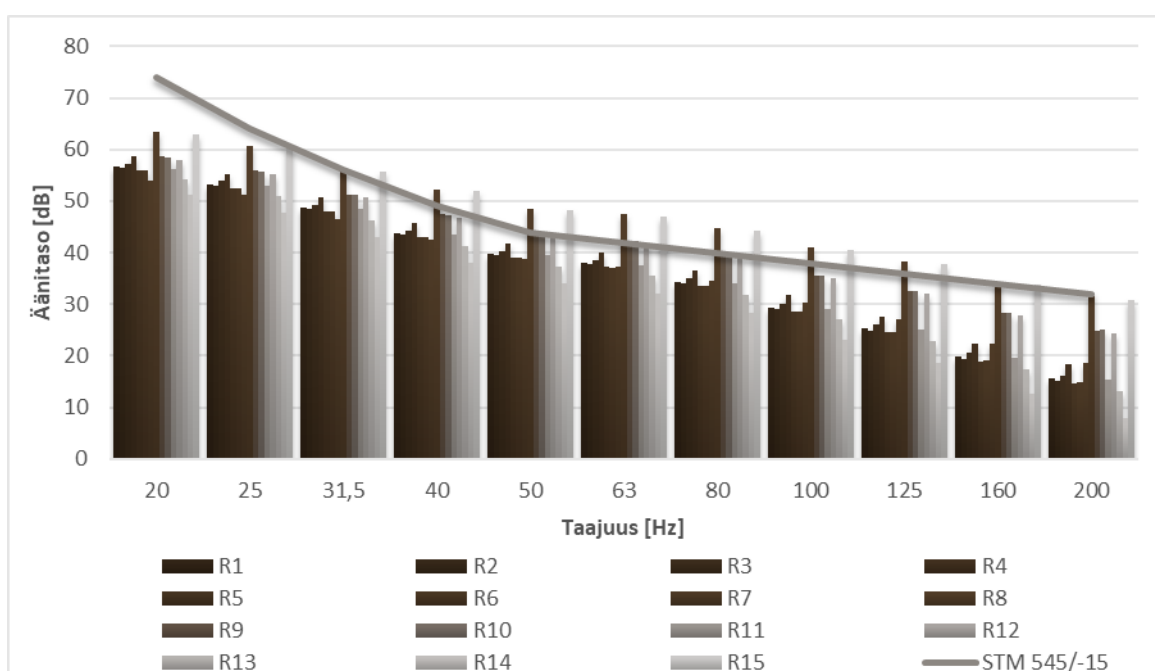
Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon VE2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset.

Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiaänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiaänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	37,3 dB	R8	loma-asuinrakennus	35,1 dB
R2	asuinrakennus	36,7 dB	R9	loma-asuinrakennus	35,7 dB
R3	asuinrakennus	37,4 dB	R10	loma-asuinrakennus	36,8 dB
R4	asuinrakennus	39,7 dB	R11	asuinrakennus	36,3 dB
R5	asuinrakennus	35,6 dB	R12	loma-asuinrakennus	37,3 dB
R6	asuinrakennus	32,0 dB	R13	asuinrakennus	35,1 dB
R7	loma-asuinrakennus	25,1 dB	R14	asuinrakennus	29,3 dB
			R15	loma-asuinrakennus	43,5

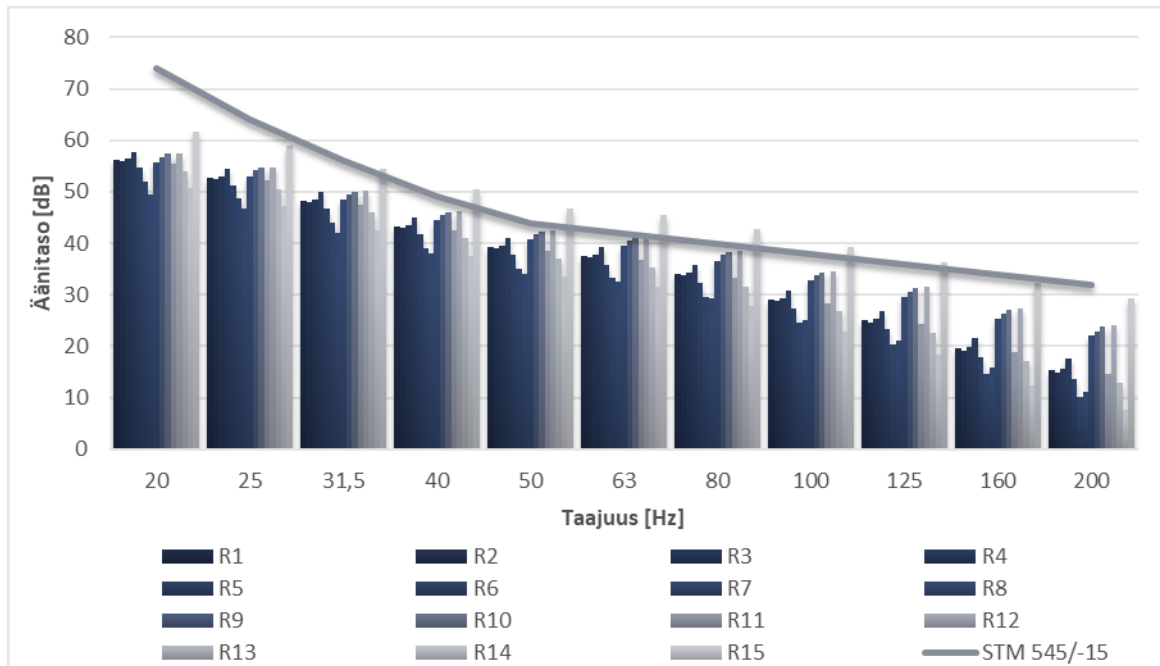
Melun leviämislaskennan perusteella hankevaihtoehdossa VE2 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy yhden kohteen kohdalla (reseptoripiste R15). Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Muiden laskentapisteen osalta yöajan ohjearvo alitetaan. Päiväajan ohjearvo ei ylitä yhtenkään reseptoripisteen kohdalla.

3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 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 3-3. Hankevaihtoehdon 1 ja 3 pientaajuisen melulaskennan tulokuvaaja.



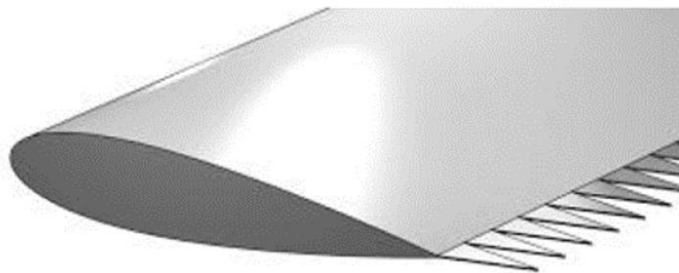
Kuva 3-4. Hankevaihtoehdon 2 pienitaajuisten melulaskennan tulokuvaaja.

Pienitaajuisten melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät kaikissa hankevaihtoehdoissa. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan hankevaihtoehdoissa VE1 ja VE3 laskentojen reseptoripisteissä R8–R10 sekä R15. Hankevaihtoehdossa VE2 toimenpiderajat ylittyvät reseptoripisteessä R15, josta käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluita. Kaikkiaan ylitykset ovat välillä 0,1 dB – 5,4 dB taajuuden mukaan.

4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN

4.1 Tekniset ratkaisut

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin, sijoitussuunnittelun sekä siipityypin valinnalla. Suurin osa nykyisten tuulivoimaloiden siipimalleista sisältää muun muassa jättöreunan sahalaidoituksen (Kuva 4-1), jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä noin 3–5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).



Kuva 4-1. Havainnollistus tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaidoituksesta (Martinez et al., 2019).

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulenopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulenopeus ja -suunta sekä kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnustulosten perusteella melutason optimointiin on tarvetta hankevaihtoehdoissa VE1 ja VE3, joissa melun ohjearvo ylittyy useissa reseptoripisteissä. Hankevaihtoehdossa VE2 melutason optimointia ei tarvita, mikäli reseptoripisteen R15 käyttö-tarkoitus muuttuu. Tällöin rakennuksen kohdalla ei myöskään tarvitse tarkastella meluohjearvojen ylittymistä.

5 LÄHDELUETTELO

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

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

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

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

Jakobsen, J. 2012. Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.

Keränen et al. 2019a. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.

Keränen et al. 2019b. Anojanssi -projektin tulokset: Ympäristömelun häiritsevyys. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Akustiikkapäivät 2019, s. 276-279.

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

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

STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.

VNa 1107/2015. Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.

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

YM9/5511/2016. Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, YM9/5511/2016.

Ympäristöministeriö 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ohje I 1995.

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

Ympäristöministeriö 2/2014. Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014.

Ympäristöministeriö 2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.

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

Tuulivoimaloiden koordinaatit, hankevaihtoehto VE1/VE3.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus, m
TV1	471991	7216915	89	200
TV2	472341	7216432	86	200
TV3	472910	7216104	84	200
TV4	473819	7216599	89	200
TV5	473422	7215790	93	200
TV6	474579	7216714	89	200
TV7	474051	7215458	90	200
TV8	474881	7215338	91	200
TV9	475527	7216592	92	200
TV10	476436	7216641	95	200
TV11	476534	7215858	95	200
TV12	476746	7213942	98	200
TV13	477679	7214384	102	200
TV14	477521	7216594	99	200
TV15	477271	7213324	101	200
TV16	478409	7214098	111	200
TV17	477962	7213028	107	200
TV18	479049	7216708	108	200
TV19	478820	7212555	104	200
TV20	480223	7214930	111	200
TV21	478738	7211722	99	200
TV22	480581	7214070	113	200
TV23	475724	7215056	101	200
TV24	475954	7214108	97	200
TV25	477039	7215400	98	200
TV26	477868	7215945	100	200
TV27	477974	7215258	102	200
TV28	478864	7213306	110	200
TV29	478815	7215024	102	200
TV30	479333	7214437	112	200
TV31	479316	7215996	105	200
TV32	472918	7216849	94	200

TV33	474864	7216152	89	200
TV34	481501	7215129	111	200
TV35	479738	7215390	112	200
TV36	477693	7212153	92	200
TV37	475686	7215939	91	200
TV38	480548	7216016	111	200
TV39	476872	7214518	99	200
TV40	480484	7213559	111	200
TV41	481015	7215680	111	200
TV42	480405	7216675	108	200
TV43	481384	7216574	108	200
TV44	482825	7214265	110	200
TV45	483606	7214304	114	200
TV46	482561	7214834	111	200
TV47	483504	7215176	113	200
TV48	483955	7215966	112	200
TV49	484275	7215314	116	200
TV50	484852	7216123	115	200
TV51	485076	7215508	119	200
TV52	484743	7216769	111	200
TV53	483943	7217431	102	200
TV54	486325	7217518	106	200
TV55	484345	7218238	100	200
TV56	484926	7218944	105	200
TV57	485651	7218740	99	200
TV58	486329	7218441	99	200
TV59	488980	7218033	116	200
TV60	485489	7217705	102	200
TV61	488139	7218620	109	200
TV62	487324	7218455	106	200
TV63	486483	7216833	111	200
TV64	486648	7216200	119	200
TV65	488222	7217688	112	200
TV66	487349	7216266	113	200
TV67	487101	7217622	108	200
TV68	488227	7215695	117	200

TV69	487339	7215674	117	200
TV70	485583	7217020	106	200
TV71	487351	7214905	119	200
TV72	486127	7215687	120	200
TV73	489648	7218481	116	200
TV74	485119	7214685	117	200
TV75	482442	7215583	110	200
TV76	483351	7216440	108	200
TV77	482823	7213446	110	200
TV78	483538	7213424	116	200
TV79	484486	7213693	118	200
TV80	486102	7214522	121	200
TV81	484075	7218939	103	200
TV82	488401	7215036	120	200
TV83	485191	7214006	119	200

Tuulivoimaloiden koordinaatit, hankevaihtoehto VE2.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus, m
TV1	482854	7214316	111	200
TV2	482428	7214912	110	200
TV3	483541	7215300	113	200
TV4	483897	7216150	110	200
TV5	484234	7215391	116	200
TV6	484626	7216159	115	200
TV7	485017	7215665	117	200
TV8	484624	7217082	105	200
TV9	483939	7217426	102	200
TV10	484241	7218057	99	200
TV11	484792	7218907	104	200
TV12	485590	7218779	99	200
TV13	486241	7218467	99	200
TV14	484950	7217878	99	200
TV15	485255	7216720	110	200
TV16	482783	7215696	110	200
TV17	483392	7216549	107	200

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus, m
TV18	483876	7218643	103	200
TV19	471991	7216915	89	200
TV20	472358	7216452	86	200
TV21	472927	7216126	84	200
TV22	473770	7216681	90	200
TV23	473435	7215858	90	200
TV24	474500	7216633	88	200
TV25	474127	7215599	89	200
TV26	474830	7215355	89	200
TV27	475541	7216529	92	200
TV28	476539	7216560	95	200
TV29	476709	7215811	96	200
TV30	476733	7213974	98	200
TV31	477621	7214484	101	200
TV32	477521	7216594	99	200
TV33	477239	7213368	100	200
TV34	478425	7214233	107	200
TV35	477830	7213029	108	200
TV36	478510	7212900	106	200
TV37	479745	7215225	109	200
TV38	480549	7214064	112	200
TV39	475778	7215126	102	200
TV40	476024	7214260	98	200
TV41	476930	7214999	99	200
TV42	477891	7215871	100	200
TV43	478230	7215237	102	200
TV44	478896	7213397	111	200
TV45	479998	7216679	108	200
TV46	479536	7214574	111	200
TV47	479029	7216306	102	200
TV48	472909	7216643	89	200
TV49	474864	7216152	89	200
TV50	475740	7215924	92	200
TV51	478944	7216807	108	200
TV52	479393	7215745	105	200

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus, m
TV53	480872	7215441	111	200
TV54	480350	7216090	108	200
TV55	478827	7214920	102	200
TV56	478989	7212479	101	200
TV57	481218	7216448	107	200

Reseptoripisteiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Korkeus maanpinnalta
R1	475769	7218626	95	4 m
R2	478950	7218876	97	4 m
R3	480963	7218558	100	4 m
R4	481990	7217870	100	4 m
R5	483629	7220635	98	4 m
R6	487796	7220505	113	4 m
R7	491974	7219456	131	4 m
R8	487711	7216923	111	4 m
R9	481152	7211642	104	4 m
R10	476319	7211570	87	4 m
R11	475470	7211932	84	4 m
R12	473225	7213735	82	4 m
R13	470571	7215392	86	4 m
R14	469267	7218722	88	4 m
R15	481984	7216651	105	4 m

Liite 4. Pienitaajuisen melun numeeriset laskentatulokset.

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehdot VE1 ja VE3, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	64,2	61,5	57,9	54,0	51,2	50,9	49,1	46,2	44,1	40,9	38,5
R2	64,0	61,3	57,7	53,8	51,0	50,7	48,9	45,9	43,8	40,4	37,9
R3	64,9	62,2	58,5	54,6	51,9	51,6	49,8	46,9	44,8	41,5	39,0
R4	66,3	63,6	60,0	56,1	53,3	53,1	51,3	48,5	46,5	43,4	41,1
R5	63,5	60,8	57,2	53,3	50,5	50,2	48,4	45,5	43,3	40,0	37,5
R6	63,4	60,7	57,1	53,2	50,4	50,1	48,3	45,4	43,3	40,1	37,7
R7	59,9	57,2	53,5	49,6	46,7	46,4	44,4	41,4	39,0	35,4	32,6
R8	69,4	66,7	63,1	59,3	56,6	56,4	54,7	52,0	50,2	47,4	45,5
R9	64,6	61,9	58,3	54,4	51,6	51,3	49,5	46,6	44,5	41,3	38,8
R10	64,5	61,8	58,2	54,3	51,5	51,3	49,5	46,6	44,5	41,4	39,0
R11	63,9	61,2	57,6	53,7	50,9	50,6	48,8	45,9	43,8	40,6	38,1
R12	64,0	61,3	57,6	53,7	51,0	50,7	48,9	46,0	44,0	40,8	38,4
R13	61,9	59,2	55,5	51,6	48,8	48,5	46,7	43,8	41,6	38,3	35,9
R14	58,8	56,0	52,3	48,3	45,5	45,1	43,1	39,9	37,4	33,7	30,7
R15	69,0	66,4	62,8	58,9	56,2	56,0	54,3	51,6	49,7	46,8	44,9

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehto VE2, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	63,8	61,1	57,4	53,6	50,8	50,5	48,7	45,9	43,8	40,6	38,3
R2	63,6	60,9	57,2	53,3	50,6	50,3	48,5	45,6	43,5	40,2	37,8
R3	64,0	61,4	57,7	53,8	51,1	50,8	49,0	46,2	44,1	40,9	38,5
R4	65,4	62,7	59,1	55,2	52,5	52,3	50,5	47,7	45,7	42,7	40,4
R5	62,2	59,5	55,9	52,0	49,2	48,9	47,1	44,2	42,1	38,8	36,4
R6	59,7	56,9	53,3	49,4	46,5	46,2	44,3	41,3	39,1	35,6	33,0
R7	55,5	52,7	49,0	44,9	42,0	41,5	39,4	36,0	33,2	28,9	25,3
R8	61,8	59,1	55,4	51,5	48,8	48,5	46,7	43,8	41,7	38,4	36,0
R9	62,8	60,1	56,4	52,6	49,8	49,5	47,7	44,8	42,6	39,3	36,8
R10	63,3	60,6	57,0	53,1	50,3	50,1	48,3	45,4	43,3	40,1	37,7
R11	63,1	60,4	56,8	52,9	50,1	49,8	48,0	45,1	43,0	39,8	37,3
R12	63,5	60,8	57,2	53,3	50,5	50,3	48,5	45,7	43,6	40,4	38,1
R13	61,6	58,9	55,2	51,3	48,5	48,3	46,4	43,6	41,4	38,2	35,8

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehto VE2, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R14	58,3	55,5	51,8	47,9	45,1	44,7	42,7	39,6	37,2	33,5	30,6
R15	67,6	65,0	61,4	57,5	54,8	54,6	52,9	50,2	48,3	45,4	43,4

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehdot VE1 ja VE3, tulokset sisällä											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	56,6	53,2	48,7	43,7	39,7	37,9	34,3	29,4	25,3	19,9	15,7
R2	56,4	53,0	48,5	43,5	39,5	37,7	34,1	29,1	25,0	19,4	15,1
R3	57,3	53,9	49,3	44,3	40,4	38,6	35,0	30,1	26,0	20,5	16,2
R4	58,7	55,3	50,8	45,8	41,8	40,1	36,5	31,7	27,7	22,4	18,3
R5	55,9	52,5	48,0	43,0	39,0	37,2	33,6	28,7	24,5	19,0	14,7
R6	55,8	52,4	47,9	42,9	38,9	37,1	33,5	28,6	24,5	19,1	14,9
R7	53,9	51,2	46,5	42,6	38,7	37,4	34,4	30,4	27,0	22,4	18,6
R8	63,4	60,7	56,1	52,3	48,6	47,4	44,7	41,0	38,2	34,4	31,5
R9	58,6	55,9	51,3	47,4	43,6	42,3	39,5	35,6	32,5	28,3	24,8
R10	58,5	55,8	51,2	47,3	43,5	42,3	39,5	35,6	32,5	28,4	25,0
R11	56,3	52,9	48,4	43,4	39,4	37,6	34,0	29,1	25,0	19,6	15,3
R12	58,0	55,3	50,6	46,7	43,0	41,7	38,9	35,0	32,0	27,8	24,4
R13	54,3	50,9	46,3	41,3	37,3	35,5	31,9	27,0	22,8	17,3	13,1
R14	51,2	47,7	43,1	38,0	34,0	32,1	28,3	23,1	18,6	12,7	7,9
R15	63,0	60,4	55,8	51,9	48,2	47,0	44,3	40,6	37,7	33,8	30,9

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehto VE2, tulokset sisällä											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	56,2	52,8	48,2	43,3	39,3	37,5	33,9	29,1	25,0	19,6	15,5
R2	56,0	52,6	48,0	43,0	39,1	37,3	33,7	28,8	24,7	19,2	15,0
R3	56,4	53,1	48,5	43,5	39,6	37,8	34,2	29,4	25,3	19,9	15,7
R4	57,8	54,4	49,9	44,9	41,0	39,3	35,7	30,9	26,9	21,7	17,6
R5	54,6	51,2	46,7	41,7	37,7	35,9	32,3	27,4	23,3	17,8	13,6
R6	52,1	48,6	44,1	39,1	35,0	33,2	29,5	24,5	20,3	14,6	10,2
R7	49,5	46,7	42,0	37,9	34,0	32,5	29,4	25,0	21,2	15,9	11,3
R8	55,8	53,1	48,4	44,5	40,8	39,5	36,7	32,8	29,7	25,4	22,0

Mustasuo-Tynnyrikorpi, hankevaihtoehto VE2, tulokset sisällä											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R9	56,8	54,1	49,4	45,6	41,8	40,5	37,7	33,8	30,6	26,3	22,8
R10	57,3	54,6	50,0	46,1	42,3	41,1	38,3	34,4	31,3	27,1	23,7
R11	55,5	52,1	47,6	42,6	38,6	36,8	33,2	28,3	24,2	18,8	14,5
R12	57,5	54,8	50,2	46,3	42,5	41,3	38,5	34,7	31,6	27,4	24,1
R13	54,0	50,6	46,0	41,0	37,0	35,3	31,6	26,8	22,6	17,2	13,0
R14	50,7	47,2	42,6	37,6	33,6	31,7	27,9	22,8	18,4	12,5	7,8
R15	61,6	59,0	54,4	50,5	46,8	45,6	42,9	39,2	36,3	32,4	29,4

Liite 5. Melumallinnuksen perustiedot.

RAPORTIN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021307-005										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v. 9.1					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 Ed.2 (2024) (YM OH 2/2014 kpl 4.1)					
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex					Nimellisteho: 6,8 MW					
Roottorin halkaisija: Mallinnuksessa käytetty vain napa- korkeutta (kokonaiskorkeus 300 m)					Napakorkeus: 200 m					
Lukumäärä: 83 kpl (VE1/VE3), 57 kpl (VE2)					Siipityyppi: Serraatio					
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin -1 dB...-8,9 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (LWA): 106,9 dB					Varmuusarvo K: +2,0 dB					
Melun erityispiirteet										
Kapeakaistaisuus: Ei			Impulssimaisuus: Ei			Korkeuserokorjaus: Ei				
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70 %			Lämpötila: 15 °C				
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan										
Maastomallin lähde: MML, 10/2025					Maanpinnan pystyresoluutio: 0,5 m / laserkei- lausaineisto					
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:			Maa-alueet:			Aurinkovoimala-alueet VE1 ja VE2				
0			0,4			0,4				
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNITASOEROT										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti loma-asuinra- kennuksille 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 3 kpl										

Laskentakartat: 2 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 40dB, 45dB, 50dB, 55dB ja 60 dB
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl	Reseptoripisteet: 15 kpl, R1-R15
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)	
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 3 kpl (VE1/VE3), 1kpl (VE2)	Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 2 kpl (VE1/VE3)
PIENITAAJUISEN MELULASKENNAN TULOKSET	
VE1 ja VE3: Ylitykset reseptoripisteissä R8–R10 sekä R15	
VE2: Ylitys reseptoripisteessä R15	