Utajärven kunta

• Tynnyrikorven tuulivoima- ja aurinkovoimapuiston osayleiskaava

Tuulivoimaloiden melumallinnus osayleiskaavoitusta varten, tekninen raportti

Kaavaluonnosvaihe

08.09.2026

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Tuulialfa Oy

Antti Tanskanen

antti.tanskanen@tuulialfa.fi

P. 044 977 0409

www.tuulialfa.fi

Kaavaa laativa konsultti:

AFRY Finland Oy

Kaavoituksen projektipäällikkö

Ismo Vendelin, Kaavan laatija YKS-611

puh. 050 326 3557

etunimi.sukunimi@afry.com

Melumallinnuksen suorittaja:

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 101021307-002.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2026, ellei toisin mainita.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 4

TERMIT JA LYHENTEET 5

1 JOHDANTO 6
- 1.1 Ympäristömelu 6
- 1.2 Tuulivoimamelu 6
- 1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015 8
- 1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa 8

2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT 9
- 2.1 Mallinnusohjeistus 9
- 2.2 Digitaalikartta-aineisto 10
- 2.3 Tuulivoimalamalli 10
- 2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit 11
- 2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit 12
  - 2.5.1 Tuulivoimalat ja laskenta-alue 12
  - 2.5.2 Aurinkovoimala 14
- 2.6 Pienitaajuisen melun laskenta 14

3 MALLINNUSTULOKSET 16
- 3.1 Ulkomelumallinnus 16
  - 3.1.1 Osayleiskaava 16
  - 3.1.2 Osayleiskaavan yhteismeluvaikutukset 17
- 3.2 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa 19

4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN 22
- 4.1 Tekniset ratkaisut 22

5 LÄHDELUETTELO 24

LIITTEET

Liite 1. Voimala- ja reseptoripistekoordinaatit

Liite 2. Melumallinnuskartta –Tynnyrikorven kaavaluonnos

Liite 3. Melumallinnuskartta -Yhteismelukartta Mustasuo-Tynnyrikorpi

Liite 4. Pienitaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 5. Melumallinnuksen perustiedot

Copyright © AFRY Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Tuulialfa Oy suunnittelee Tynnyrikorven tuulivoima-alueen rakentamista Utajärven kunnan luoteisosaan, yhteensä noin 28 km^2 kokoiselle alueelle. Kaava-alue rajautuu lännessä Oulun kaupungin rajaan ja pohjoisessa Pudasjärven kunnanrajaan. Kaava-alue sijaitsee noin 23 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen, ja noin 17 kilometriä Juorkunan keskustasta luoteeseen. Tynnyrikorven kaava-alueelle suunnitellaan enintään 21 tuulivoimalaa. Kunkin tuulivoimalan yksikköteho on noin 6–10 MW ja tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus enintään 300 metriä. Tuulivoima-alue tulee koostumaan tuulivoimaloista perustuksineen, niitä yhdistävistä maakaapeleista tai ilmajohdoista, aurinkovoimalasta, huoltotieverkostosta, mahdollisesta energiavarastosta sekä tuulivoima-alueen sähköasemista ja kantaverkkoon liittymisen voimajohdosta (400 kV tai 400 kV+110 kV), jolle on toteutettu erillinen YVA-menettely.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Tynnyrikorven tuulivoimapuiston osayleiskaavan 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 Tynnyrikorven osayleiskaavan 21 voimalan lasketut ulkomelutasot eivät ylitä Vna 1107/2015 säädetyn tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvon lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla. Melun leviämislaskennan perusteella osayleiskaavan yhteismeluvaikutus Mustasuon tuulivoimaloiden (37 voimalaa) kanssa 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy yhden (1) kohteen kohdalla (reseptoripiste R15). Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Muiden laskentapisteiden osalta yöajan ohjearvo alitetaan. Vastaavasti pienitaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat ylittyvät reseptoripisteessä R15. Muissa reseptoripisteissä (R1-R14) sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Pientaajuisen melun sisätilan toimenpiderajat ylittyvät yhteismeluvaikutuksessa Tynnyrikorven tuulivoimaloiden kanssa reseptoripisteessä R15. Muissa reseptoripisteissä (R1-R14) pienitaajuisen yhteismelun sisätilan toimenpiderajat alittuvat.

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

Copyright © AFRY Finland Oy

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 verifioinnissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.
Varmuusarvo	Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyypin 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 ääneksen äänenpainetason ja peittoäänen tason erotusta kriittisellä kaistalla ääneksen (ääneksien) ympärillä. Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä ääneksiä 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 impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle altistuvalla alueella.

Copyright © AFRY Finland Oy

1 JOHDANTO

Tuulialfa Oy suunnittelee Tynnyrikorven tuulivoima-alueen rakentamista Utajärven kunnan luoteisosaan, yhteensä noin 28 km^2 kokoiselle alueelle. Kaava-alue rajautuu lännessä Oulun kaupungin rajaan ja pohjoisessa Pudasjärven kunnanrajaan. Kaava-alue sijaitsee noin 23 kilometriä Ylikiimingin keskustasta koilliseen, ja noin 17 kilometriä Juorkunan keskustasta luoteeseen. Tynnyrikorven kaava-alueelle suunnitellaan enintään 21 tuulivoimalaa.

Kaavoitus ja päätöksenteko koskevat Utajärven kunnan alueelle sijoittuvaa kaava-aluetta, mutta vaikutukset arvioidaan koko hankekokonaisuuden osalta.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Raportti on valmisteltu Tynnyrikorven tuulivoimapuiston 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 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 Leq ja A-taajuuspainotettuna LAeq, tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

1.2 Tuulivoimamelu

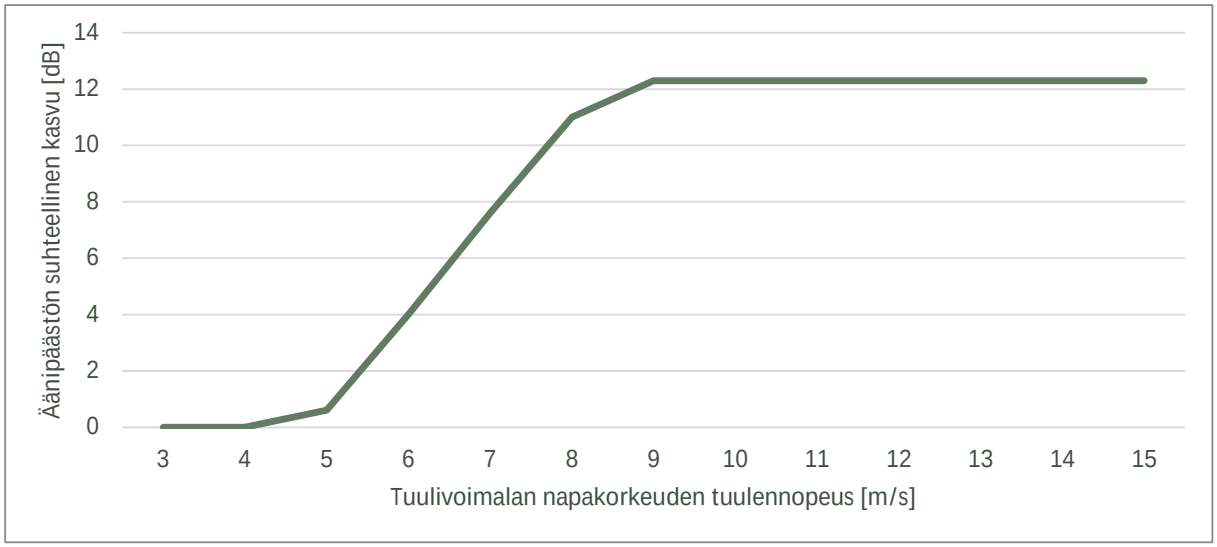
Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta, johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta lapojen suuren vaikutus-pinta-alan vuoksi (Gupta, M. Madsen, K., 2019). Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1 000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun

Copyright © AFRY Finland Oy

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 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 peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N.,2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla (Bolin, K, 2012.). Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12,5 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 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).

Copyright © AFRY Finland Oy

1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015

Valtioneuvoston 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 pientaajuiselle 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 toimistohuoneet	45 dB	–

Copyright © AFRY Finland Oy

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 verifioinnissa 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 sykinnän 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

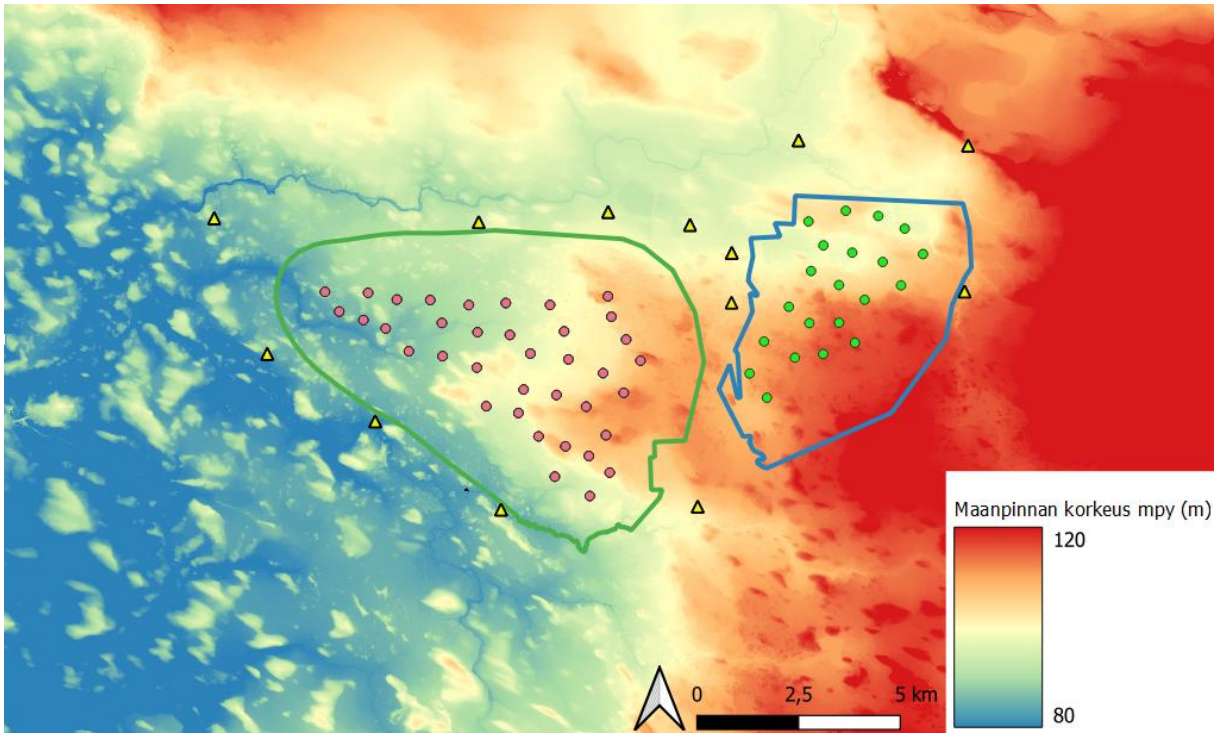
Copyright © AFRY Finland Oy

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 digitaalikartan topografiamalli, mpy [m]. Kuvassa osayleiskaavan voimalasijoittelu, jossa Mustasuon voimalat (vas.) esitetty punaisilla pisteillä ja Tynnyrikorven voimalat (oik.) vihreällä.

2.3 Tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin 6,8 MW:n voimalamallille, jolle käytettiin Nordex N175 6,8 MW:n ja serraatiosiiven mukaista äänipäästötasoa 106,9 dB lisättynä + 2 dB:n varmuusarvolla K

Copyright © AFRY Finland Oy

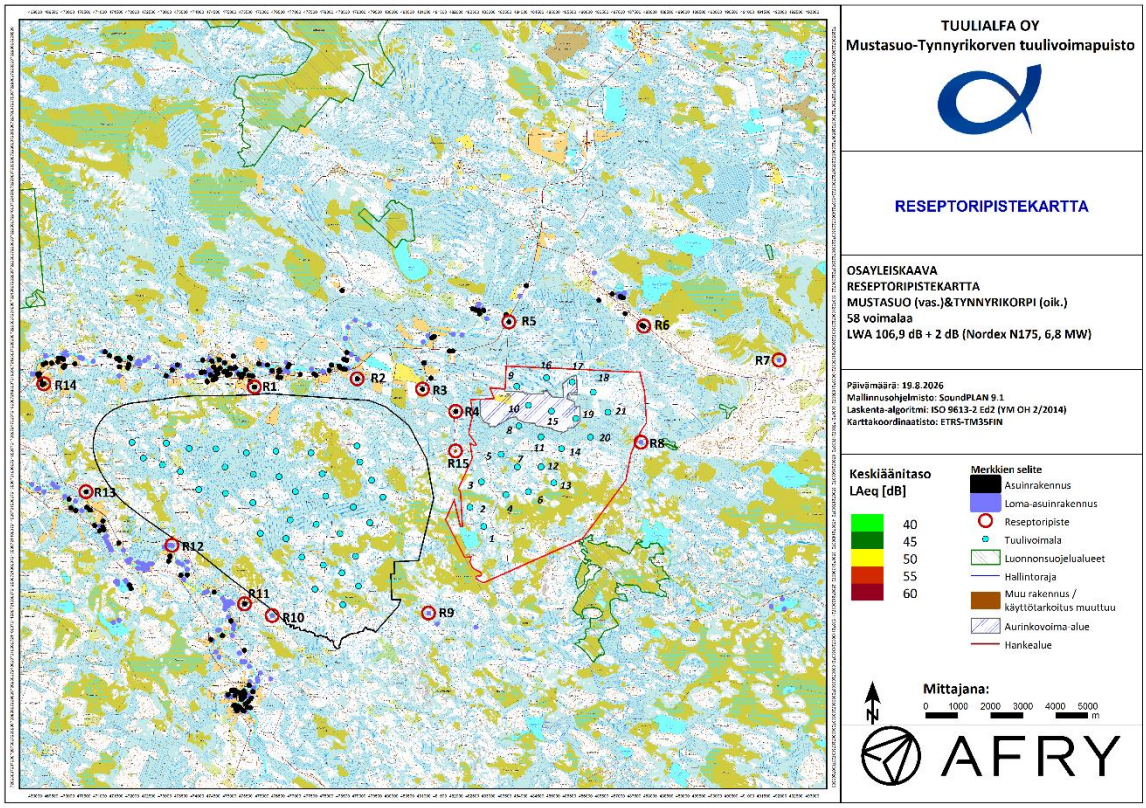
(YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Siten pistemäisen äänilähteen (yksi voimala) kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on 108,9 dB.

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

2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1–R15 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 osayleiskaavan tuulivoimaloiden sijainnit (turkoosit pisteet). Hankealueet esitetty kuvassa Tynnyrikorvelle punaisella viivalla (oik.) ja Mustasuolle mustalla viivalla (vas.). Asuinrakennukset on merkitty mustilla pisteillä ja lomarakennukset violeteilla pisteillä.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) on esitetty Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimahankkeen osayleiskaavoituksessa käytetyt hankevaihtoehdot, voimaloiden lukumäärät,

äänitehotaso sekä napakorkeus. Hankevaihtoehdoissa on mukana aurinkovoimala, mutta melumallinnuksen karttojen osalta vain kuvaobjektina, ks. Kuva 2-2.

Taulukko 2-1. Melumallinnuksen voimalat.

Hanke	Voimaloiden lkm	Napakorkeus	Yhden voimalan äänipäästö
Tynnyrikorpi, Utajärvi	21	200 m	Nordex N175, 6,8 MW 106,9 dB + 2 dB
Mustasuo, Oulun kaupunki	37	200 m	Nordex N175, 6,8 MW 106,9 dB + 2 dB

Taulukko 2-2. Tuulivoimalamallin Nordex N175, 6,8MW 106,9 dB + 2 dB äänitehotaso LWA taajuuskaistoittain.

	Sum. LWA	10Hz	12.5Hz	16Hz	20Hz	25Hz	31Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz
dB	135,3	131,5	129,3	127,2	124,3	121,9	118,5	114,9	112,5	112,8	111,8
dB(A)	108,9	61,1	65,9	70,5	73,8	77,2	79,1	80,3	82,3	86,6	89,3
Taa-juus		100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz
dB		110,0	109,6	108,9	107,4	105,6	104,4	102,5	100,7	99,7	99,3
dB(A)		90,9	93,5	95,5	96,5	97,0	97,8	97,7	97,5	97,8	98,5
Taa-juus		1kHz	1.25kHz	1.6kHz	2kHz	2.5kHz	3.15kHz	4kHz	5kHz	6.3kHz	8kHz
dB		98,5	98,1	97,0	95,4	92,1	88,9	84,8	81,1	74,7	68,0
dB(A)		98,5	98,7	98,0	96,6	93,4	90,1	85,8	81,7	74,6	66,9

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 äänenpaineeksi 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.

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

Copyright © AFRY Finland Oy

Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitason käyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa (Taulukko 2-3) 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 (akustisesti puolikova) 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 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 2-3. 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, 2026), 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)
Häiritsevyyskorjaukset	ks. luku 2.1

Copyright © AFRY Finland Oy

Lähtötieto	Parametrit
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, 55 dB ja 60 dB

2.5.2 Aurinkovoimala

Hankealueen sisälle suunniteltujen aurinkovoimaloiden 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 aurinkovoimaloiden 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 Pienitaajuisen 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 Leq,1h mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

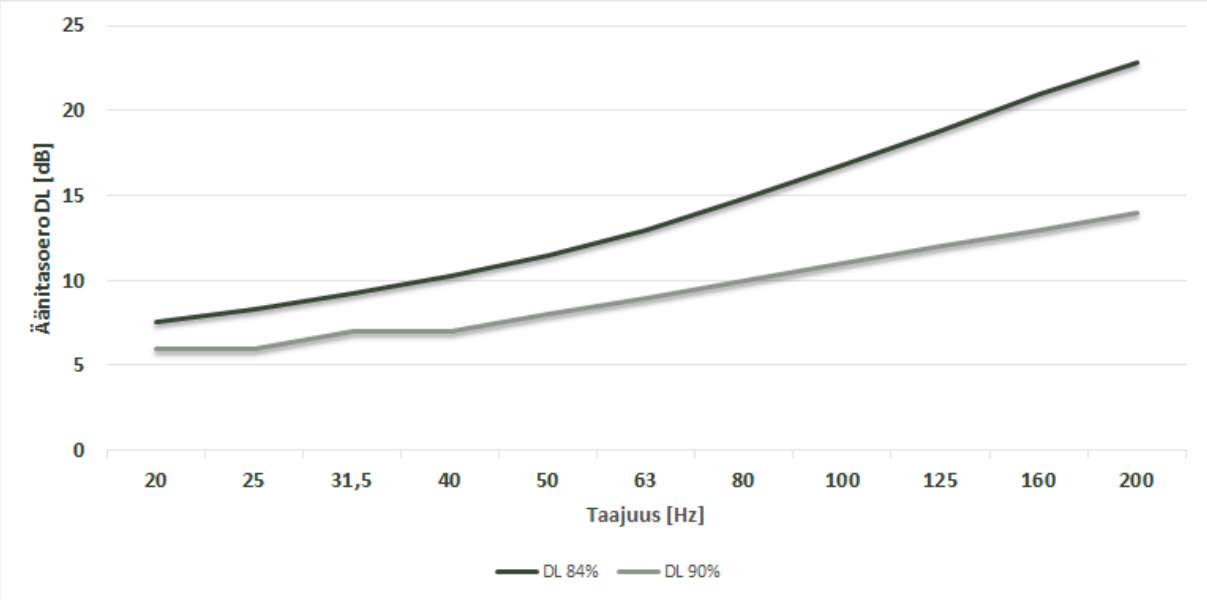
Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen 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 ääneneristävyyttä 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

Copyright © AFRY Finland Oy

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 pienitaajuisen sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia. Pientalojen ilmaäänieristävyyden 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 % persentiileille 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 pientaajuisen 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.

Copyright © AFRY Finland Oy

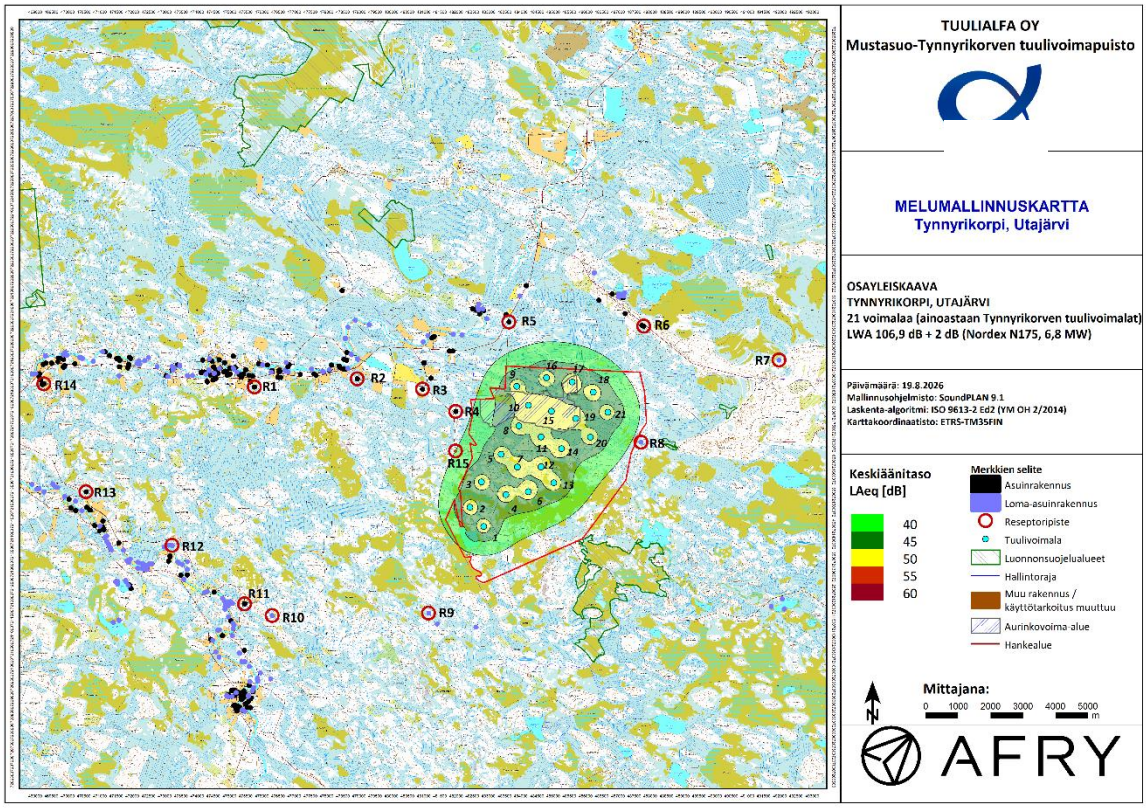
3 MALLINNUSTULOKSET

Digitaaliselle topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleessa 3.1 osayleiskaavaluonnoksen mukaiselle hankesuunnitelmalle. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.2 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteessä 4.

3.1 Ulkomelumallinnus

3.1.1 Osayleiskaava

Tynnyrikorven osayleiskaavan melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Tynnyrikorven hankealueen 21:lle suunnitellulle voimalalle (Nordex N165, 6,8MW). 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. Tynnyrikorven osayleiskaavan melumallinnuskartta (voimalamalli Nordex N175), keskiäänitaso LAeq.

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

Taulukko 3-1. Osayleiskaavan melumallinnuksen (voimalamalli Nordex N175) reseptoripistetulokset.

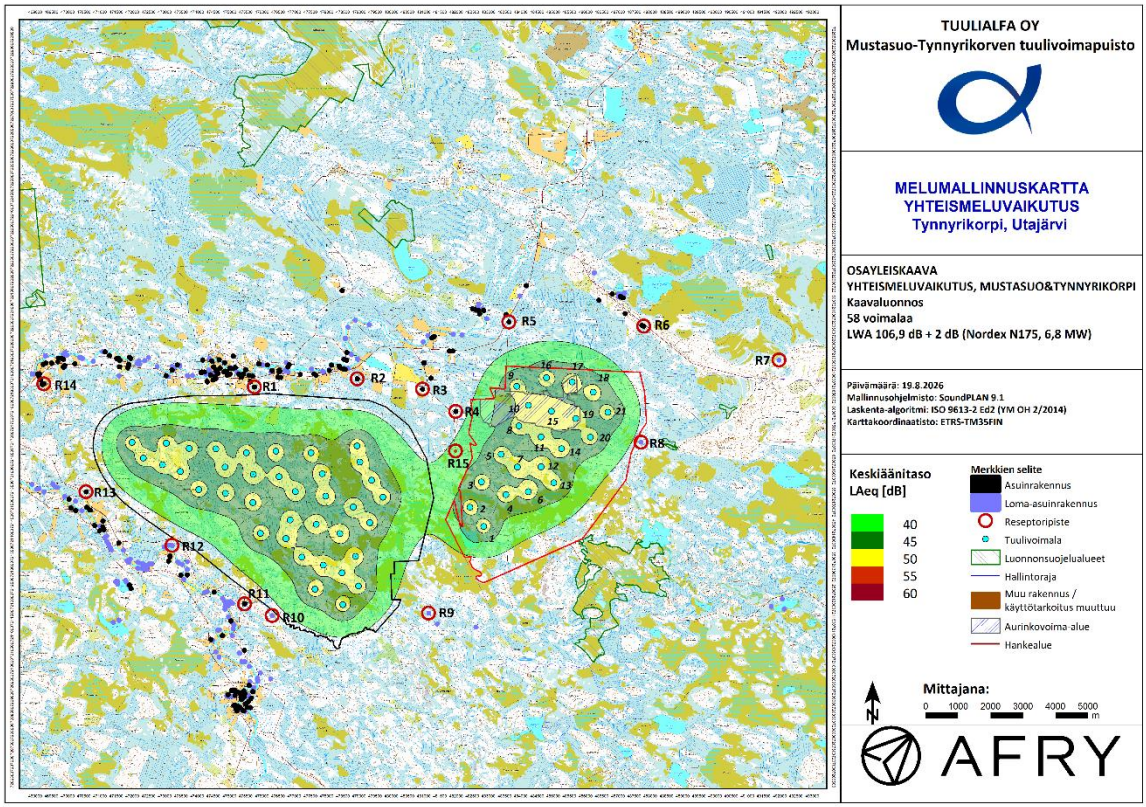
Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	23,1 dB	R8	loma-asuinrakennus	38,3 dB
R2	asuinrakennus	27,9 dB	R9	loma-asuinrakennus	29,3 dB
R3	asuinrakennus	33,1 dB	R10	loma-asuinrakennus	22,4 dB
R4	asuinrakennus	37,7 dB	R11	asuinrakennus	21,7 dB
R5	asuinrakennus	35,3 dB	R12	loma-asuinrakennus	20,0 dB
R6	asuinrakennus	32,8 dB	R13	asuinrakennus	17,7 dB
R7	loma-asuinrakennus	25,0 dB	R14	asuinrakennus	16,5 dB
			R15	loma-asuinrakennus	40,0 dB

Melun leviämislaskennan perusteella huomioiden tarkastellut voimalamallivaihtoehdot osayleiskaavan 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona alittuu kaikkien lähimpien kohteiden pihoilla. Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Päiväajan ohjearvo 45 dB ei ylity missään reseptoripisteessä (R1-R15).

3.1.2 Osayleiskaavan yhteismeluvaikutukset

Osayleiskaavan melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Mustasuon hankealueen 37:lle ja Tynnyrikorven hankealueen 21:lle suunnitellulle voimalalle eroteltuna kahteen voimalamalliin (Nordex N175 ja Vestas V172). Tynnyrikorven 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.

Copyright © AFRY Finland Oy



Kuva 3-2. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuskartta (voimalamalli Nordex N175), keskiäänitaso LAeq.

Taulukko 3-2. Osayleiskaavan yhteismelumallinnuksen (voimalamalli Nordex N175) reseptoripistetulokset.

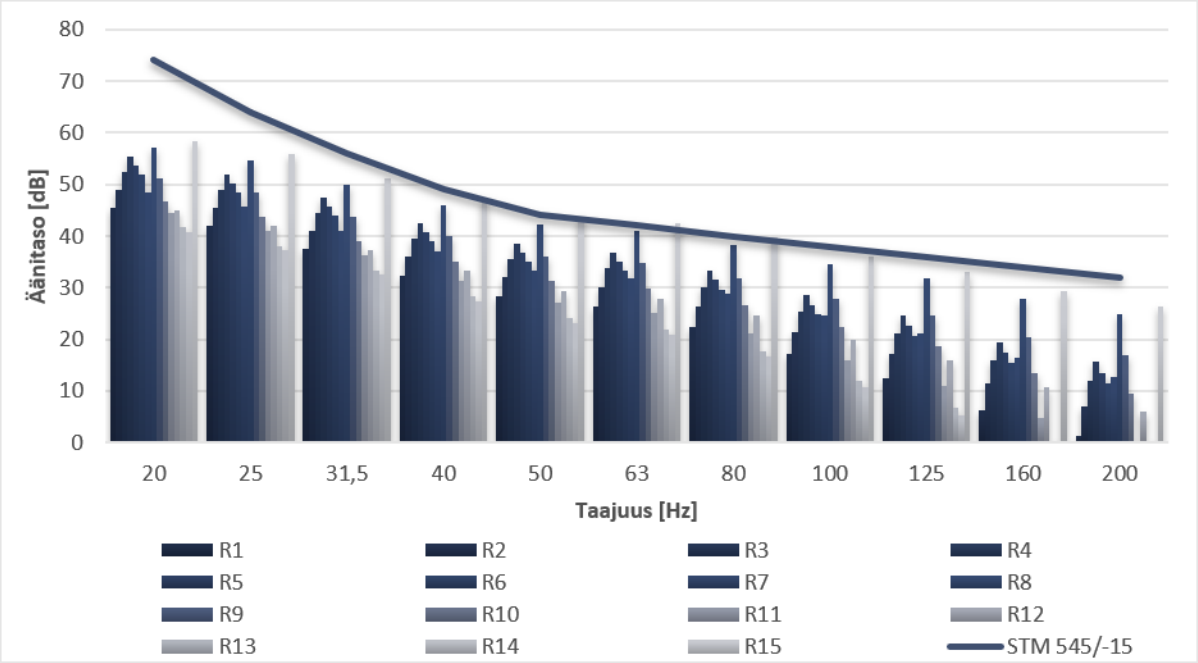
Reseptoripiste		Tulokset	Reseptoripiste		Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	asuinrakennus	37,5 dB	R8	loma-asuinrakennus	38,5 dB
R2	asuinrakennus	35,9 dB	R9	loma-asuinrakennus	35,5 dB
R3	asuinrakennus	36,0 dB	R10	loma-asuinrakennus	38,3 dB
R4	asuinrakennus	38,7 dB	R11	asuinrakennus	37,1 dB
R5	asuinrakennus	35,8 dB	R12	loma-asuinrakennus	37,3 dB
R6	asuinrakennus	33,1 dB	R13	asuinrakennus	35,0 dB
R7	loma-asuinrakennus	25,9 dB	R14	asuinrakennus	29,6 dB
			R15	loma-asuinrakennus	40,9 dB

Copyright © AFRY Finland Oy

Yhteismelun leviämislaskennan perusteella huomioiden tarkastellut voimalamallivaihtoehdot osayleiskaavan 40 dB:n yöajan ohjearvo ulkona ylittyy reseptoripisteessä R15. Reseptoripisteen R15 loma-asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta neuvotellaan. Päiväajan ohjearvo 45 dB ei ylity missään reseptoripisteessä (R1-R15).

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).



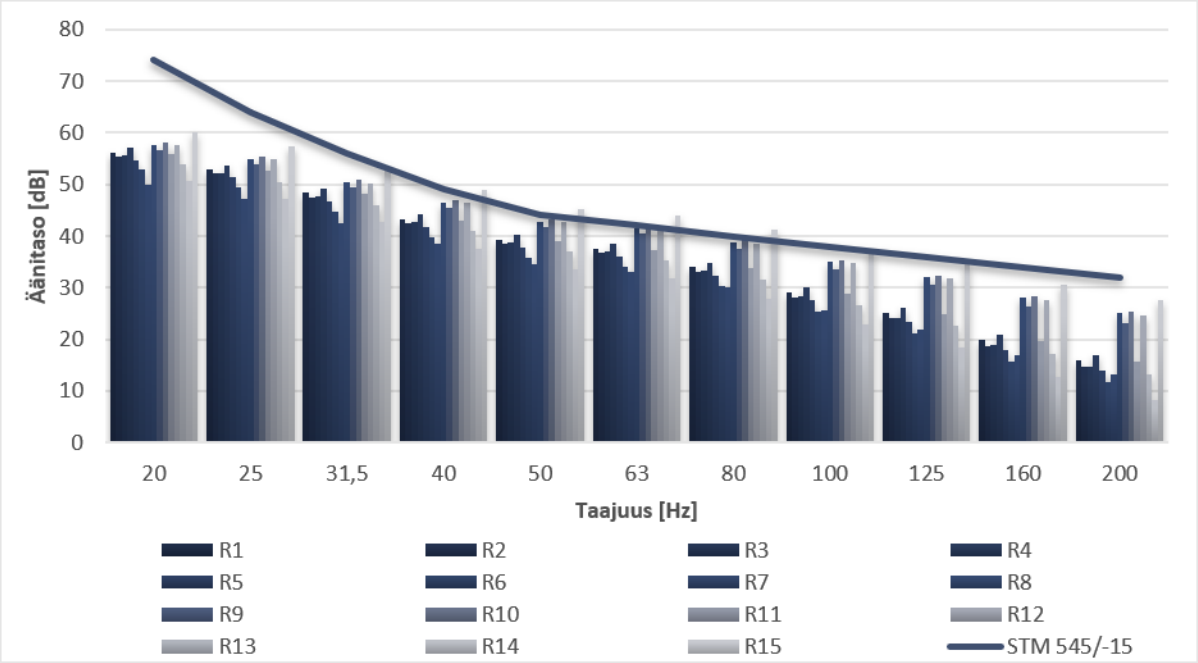
Kuva 3-3. Tynnyrikorven osayleiskaavan pienitaajuisen melulaskennan tuloskuvaaja (voimalamalli Nordex N175).

Taulukko 3-3. Osayleiskaavan pientaajuisen melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Nordex N175). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-28,5	-22,0	-18,6	-16,6	-15,7	-15,7	-17,6	-20,9	-23,5	-27,7	-30,6
R2	-25,0	-18,4	-15,0	-13,0	-12,0	-11,8	-13,6	-16,6	-18,9	-22,6	-25,0
R3	-21,6	-15,0	-11,5	-9,5	-8,5	-8,2	-9,9	-12,7	-14,8	-18,1	-20,1
R4	-18,6	-12,0	-8,5	-6,4	-5,4	-5,1	-6,7	-9,4	-11,3	-14,5	-16,3
R5	-20,4	-13,7	-10,3	-8,2	-7,2	-6,9	-8,5	-11,3	-13,3	-16,6	-18,4
R6	-22,1	-15,4	-12,0	-10,0	-8,9	-8,7	-10,3	-13,2	-15,3	-18,6	-20,6
R7	-25,5	-18,3	-14,9	-11,9	-10,7	-10,1	-11,2	-13,3	-14,8	-17,6	-19,3
R8	-16,8	-9,5	-6,1	-2,9	-1,7	-0,9	-1,7	-3,4	-4,3	-6,2	-7,1
R9	-22,8	-15,5	-12,1	-9,1	-7,9	-7,2	-8,1	-10,0	-11,3	-13,6	-15,0
R10	-27,4	-20,2	-16,9	-13,9	-12,7	-12,2	-13,4	-15,7	-17,4	-20,4	-22,5
R11	-29,5	-23,0	-19,6	-17,7	-16,8	-16,8	-18,8	-22,2	-24,9	-29,3	-32,3
R12	-29,1	-22,0	-18,7	-15,7	-14,6	-14,2	-15,5	-18,0	-20,0	-23,4	-25,9
R13	-32,4	-26,0	-22,6	-20,8	-19,9	-20,1	-22,3	-26,1	-29,3	-34,4	-38,1
R14	-33,2	-26,8	-23,5	-21,7	-20,9	-21,1	-23,4	-27,3	-30,7	-36,0	-40,0
R15	-15,5	-8,2	-4,8	-1,6	-0,4	0,4	-0,3	-2,0	-2,9	-4,7	-5,6

Pienitaajuisen melulaskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat voi ylittyä osayleiskaavassa reseptoripisteessä R15. Sisätilan toimenpiderajat ylittyvät reseptoripisteessä R15 ainoastaan + 0,4 dB melumallinnustulosten mukaan. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluita. Muissa reseptoripisteissä alitetaan pienitaajuisen melun sisätilan toimenpiderajat.

Copyright © AFRY Finland Oy



Kuva 3-4. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pienitaajuisen melulaskennan tuloskuvaaja (voimalamalli Nordex N175).

Taulukko 3-4. Yhteismeluvaikutus, Osayleiskaavan pientaajuisen melun vertailu toimenpidearvoihin STM 545/2015 (voimalamalli Nordex N175). Negatiivinen arvo tarkoittaa toimenpiderajan alittumista.

Reseptori	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	-17,8	-11,1	-7,7	-5,7	-4,6	-4,4	-6,0	-8,8	-10,9	-14,2	-16,1
R2	-18,5	-11,9	-8,5	-6,5	-5,5	-5,2	-6,9	-9,8	-11,9	-15,3	-17,4
R3	-18,4	-11,8	-8,3	-6,3	-5,3	-5,1	-6,7	-9,6	-11,8	-15,2	-17,2
R4	-16,9	-10,3	-6,8	-4,8	-3,8	-3,5	-5,1	-7,9	-9,9	-13,2	-15,1
R5	-19,3	-12,7	-9,2	-7,2	-6,2	-6,0	-7,6	-10,5	-12,6	-16,0	-17,9
R6	-21,2	-14,6	-11,2	-9,2	-8,2	-8,0	-9,7	-12,7	-14,8	-18,3	-20,4
R7	-24,0	-16,8	-13,5	-10,5	-9,4	-8,9	-10,0	-12,4	-14,0	-17,0	-18,9
R8	-16,3	-9,0	-5,6	-2,5	-1,3	-0,5	-1,3	-3,1	-4,0	-6,0	-7,0
R9	-17,3	-10,0	-6,7	-3,5	-2,3	-1,6	-2,5	-4,4	-5,5	-7,7	-9,0
R10	-15,8	-8,5	-5,1	-2,0	-0,8	0,0	-0,8	-2,6	-3,6	-5,7	-6,7
R11	-18,0	-11,4	-7,9	-5,9	-4,9	-4,6	-6,3	-9,1	-11,1	-14,5	-16,4
R12	-16,4	-9,1	-5,7	-2,6	-1,4	-0,6	-1,4	-3,3	-4,3	-6,4	-7,5
R13	-20,1	-13,5	-10,0	-8,0	-7,0	-6,8	-8,4	-11,3	-13,4	-16,8	-18,7
R14	-23,3	-16,8	-13,3	-11,4	-10,4	-10,3	-12,1	-15,2	-17,6	-21,3	-23,7
R15	-14,0	-6,6	-3,3	-0,1	1,1	1,9	1,1	-0,6	-1,5	-3,5	-4,5

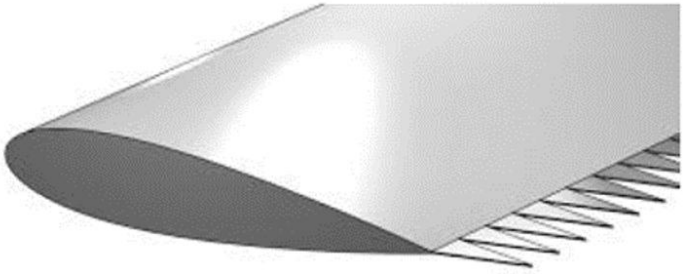
Pienitaajuisen melulaskennan yhteismeluvaikutusten mukaan sisätilan toimenpiderajat ylittyvät osayleiskaavassa reseptoripisteessä R15. Suurimmat arvot sisätiloissa saavutetaan osayleiskaavan laskentojen reseptoripisteissä R10 ja R15. Reseptoripisteessä R15 käydään rakennuksen käyttötarkoituksen muutosneuvotteluita. Kaikkiaan reseptoripisteen R15 ylitykset ovat taajuudesta riippuen välillä 1,1–1,9 dB.

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).

Copyright © AFRY Finland Oy



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 tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus ja -suunta sekä kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnustulosten perusteella Mustasuon osayleiskaavassa melutason optimointia ei tarvita. Mallinnus on tehty kaavan ohjeellisilla sijoituspaikoilla, joka mahdollistaa myös voimaloiden siirron etäämmäksi kohteesta tv-alueiden rajojen puitteissa.

Copyright © AFRY Finland Oy

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 Con-ference 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 Envinronment 156, 2019.

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

R. M. Martínez, R. at 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. Yhteenveto 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.

Copyright © AFRY Finland Oy

Liite 1. Tuulivoimaloiden (Tynnyrikorpi pun. ja Mustasuo sin.) ja reseptoripisteiden koordinaatit melumallinnuksen ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa

Tuulivoimaloiden koordinaatit, osayleiskaava.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus, m
TV1	482853,7	7214316,3	111,3	200,0
TV2	482428,0	7214911,7	110,3	200,0
TV3	483540,8	7215299,8	113,2	200,0
TV4	483896,6	7216149,6	110,2	200,0
TV5	484234,4	7215390,5	116,0	200,0
TV6	484625,9	7216158,7	115,0	200,0
TV7	485016,6	7215665,2	116,6	200,0
TV8	484624,4	7217082,1	104,7	200,0
TV9	483938,8	7217426,2	102,1	200,0
TV10	484240,6	7218056,7	99,3	200,0
TV11	484791,9	7218906,9	104,2	200,0
TV12	485589,9	7218779,0	98,8	200,0
TV13	486241,0	7218467,3	98,7	200,0
TV14	484950,4	7217877,8	99,2	200,0
TV15	485255,5	7216720,3	109,7	200,0
TV16	482782,7	7215696,3	109,6	200,0
TV17	483392,0	7216548,9	106,8	200,0
TV18	483875,9	7218643,3	103,4	200,0
TV19	485699,6	7217649,6	102,5	200,0
TV20	486149,2	7217076,2	107,3	200,0
TV21	486689,93	7217843,6	104,7	200,0
TV22	471991,3	7216914,6	89,1	200,0
TV23	472340,8	7216432,4	85,6	200,0
TV24	473050,7	7216890,1	91,7	200,0
TV25	472935,5	7216223,2	85,0	200,0
TV26	473481,2	7216017,0	88,9	200,0
TV27	474051,0	7215457,8	89,7	200,0
TV28	474881,3	7215338,0	90,9	200,0
TV29	475723,9	7215056,1	100,8	200,0
TV30	475954,5	7214107,8	96,5	200,0
TV31	476745,9	7213942,1	98,3	200,0
TV32	477900,9	7213123,6	108,7	200,0

TV33	477239,4	7213367,7	100,4	200,0
TV34	478476,9	7212887,1	106,0	200,0
TV35	478896,5	7213397,1	111,5	200,0
TV36	478988,9	7212478,9	101,4	200,0
TV37	477640,2	7212377,8	96,6	200,0
TV38	478501,1	7211903,4	98,3	200,0
TV39	479029,2	7216305,7	102,5	200,0
TV40	478943,8	7216806,6	107,6	200,0
TV41	479392,9	7215744,7	105,2	200,0
TV42	479745,0	7215224,7	109,3	200,0
TV43	473757,5	7216726,5	90,8	200,0
TV44	474578,7	7216713,7	89,4	200,0
TV45	474864,3	7216152,3	89,3	200,0
TV46	475526,6	7216591,9	92,2	200,0
TV47	475739,9	7215924,3	91,8	200,0
TV48	476436,2	7216641,2	94,8	200,0
TV49	477521,3	7216593,7	99,2	200,0
TV50	476872,0	7214517,6	99,4	200,0
TV51	477679,3	7214383,6	102,5	200,0
TV52	478409,2	7214097,7	110,9	200,0
TV53	477038,8	7215399,8	97,7	200,0
TV54	476534,2	7215858,0	95,2	200,0
TV55	479333,3	7214436,6	111,6	200,0
TV56	478826,5	7214920,3	102,5	200,0
TV57	477974,4	7215257,7	101,8	200,0
TV58	477868,4	7215944,7	100,4	200,0

Reseptoripisteiden koordinaatit.

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Korkeus maanpin-nalta
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

Copyright © AFRY Finland Oy

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

Copyright © AFRY Finland Oy

Liite 4. Pienitaajuisen melun numeeriset laskentatulokset.

Tynnyrikorpi (Nordex N175), osayleiskaava, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,1	50,3	46,6	42,7	39,8	39,3	37,2	33,9	31,3	27,3	24,2
R2	56,6	53,9	50,2	46,3	43,5	43,2	41,2	38,2	35,9	32,4	29,8
R3	60,0	57,3	53,7	49,8	47,0	46,8	44,9	42,1	40,0	36,9	34,7
R4	63,0	60,3	56,7	52,9	50,1	49,9	48,1	45,4	43,5	40,5	38,5
R5	61,2	58,6	54,9	51,1	48,3	48,1	46,3	43,5	41,5	38,4	36,4
R6	59,5	56,9	53,2	49,3	46,6	46,3	44,5	41,6	39,5	36,4	34,2
R7	54,5	51,7	48,1	44,1	41,3	40,9	38,8	35,7	33,2	29,4	26,7
R8	63,2	60,5	56,9	53,1	50,3	50,1	48,3	45,6	43,7	40,8	38,9
R9	57,2	54,5	50,9	46,9	44,1	43,8	41,9	39,0	36,7	33,4	31,0
R10	52,6	49,8	46,1	42,1	39,3	38,8	36,6	33,3	30,6	26,6	23,5
R11	52,1	49,3	45,6	41,6	38,7	38,2	36,0	32,6	29,9	25,7	22,5
R12	50,9	48,0	44,3	40,3	37,4	36,8	34,5	31,0	28,0	23,6	20,1
R13	49,2	46,3	42,6	38,5	35,6	34,9	32,5	28,7	25,5	20,6	16,7
R14	48,4	45,5	41,7	37,6	34,6	33,9	31,4	27,5	24,1	19,0	14,8
R15	64,5	61,8	58,2	54,4	51,6	51,4	49,7	47,0	45,1	42,3	40,4

Mustasuo-Tynnyrikorpi (Nordex N175), osayleiskaava, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	63,8	61,2	57,5	53,6	50,9	50,6	48,8	46,0	43,9	40,8	38,7
R2	63,1	60,4	56,7	52,8	50,0	49,8	47,9	45,0	42,9	39,7	37,4
R3	63,2	60,5	56,9	53,0	50,2	49,9	48,1	45,2	43,0	39,8	37,6
R4	64,7	62,0	58,4	54,5	51,7	51,5	49,7	46,9	44,9	41,8	39,7
R5	62,3	59,6	56,0	52,1	49,3	49,0	47,2	44,3	42,2	39,0	36,9
R6	60,4	57,7	54,0	50,1	47,3	47,0	45,1	42,1	40,0	36,7	34,4
R7	56,0	53,2	49,5	45,5	42,6	42,1	40,0	36,6	34,0	30,0	27,1
R8	63,7	61,0	57,4	53,5	50,7	50,5	48,7	45,9	44,0	41,0	39,0
R9	62,7	60,0	56,3	52,5	49,7	49,4	47,5	44,6	42,5	39,3	37,0
R10	64,2	61,5	57,9	54,0	51,2	51,0	49,2	46,4	44,4	41,3	39,3
R11	63,6	60,9	57,3	53,4	50,6	50,4	48,5	45,7	43,7	40,5	38,4
R12	63,6	60,9	57,3	53,4	50,6	50,4	48,6	45,7	43,7	40,6	38,5
R13	61,5	58,8	55,2	51,3	48,5	48,2	46,4	43,5	41,4	38,2	36,1

Copyright © AFRY Finland Oy

Mustasuo-Tynnyrikorpi (Nordex N175), osayleiskaava, 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	65,9	63,3	59,6	55,8	53,0	52,8	51,1	48,3	46,4	43,4	41,2

Copyright © AFRY Finland Oy

Liite 5. Melumallinnuksen perustiedot.

RAPORTIN TIEDOT		
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021307-002		
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 napakorkeutta (kokonaiskorkeus 300 m)	Napakorkeus: 200 m	
Lukumäärä: Tynnyrikorpi 21 kpl, Mustasuo 37 kpl	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 / laserkeilausaineisto	
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
Vesialueet:	Maa-alueet:	Aurinkovoimala-alueet
0	0,4	0,4

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]

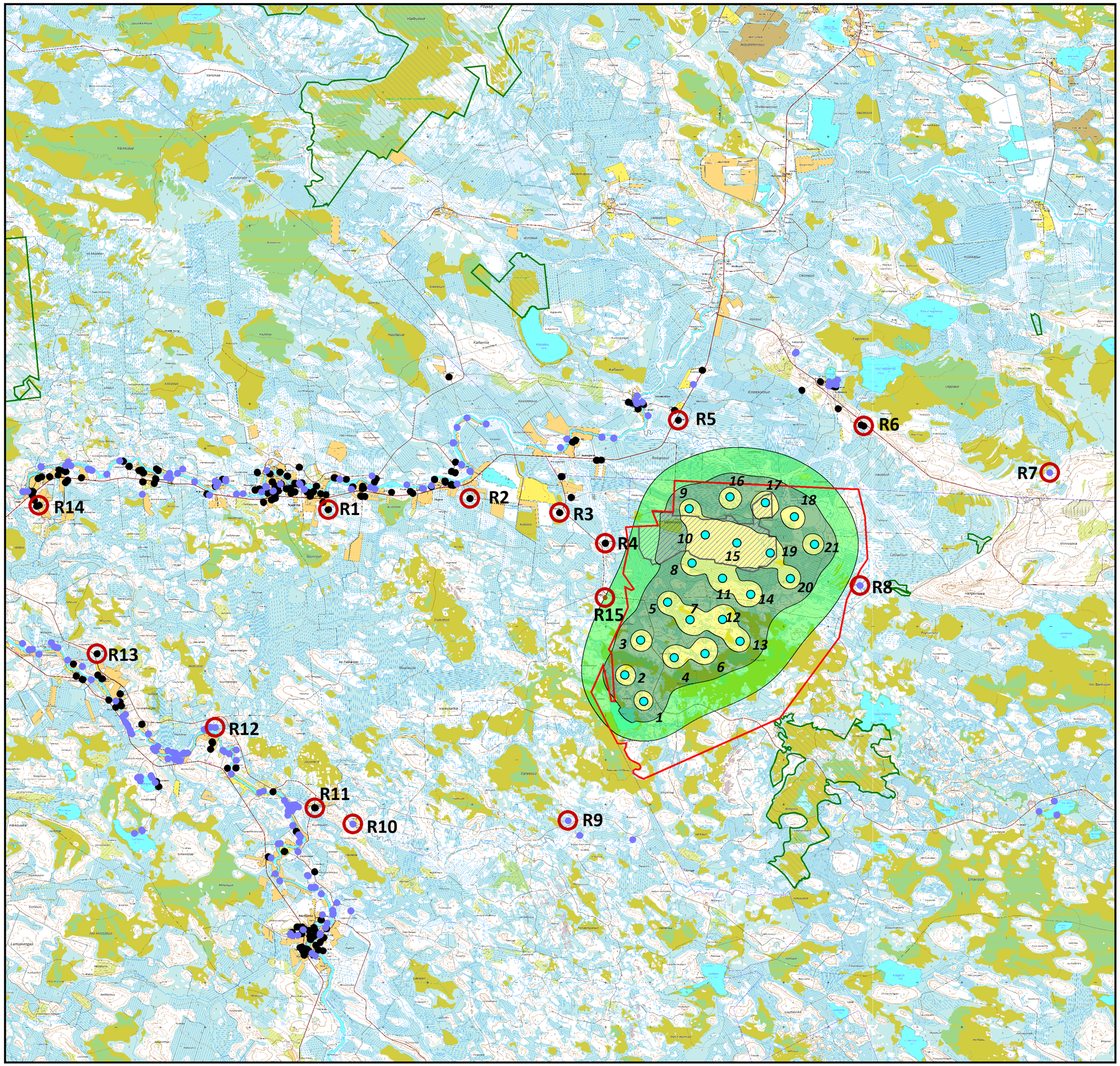
20	*25*	*31,5*	*40*	*50*	*63*	*80*	*100*	*125*	*160*	*200*
6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8

LASKENTATULOKSET	
Laskentavaihtoehdot 2 kpl	
Laskentakartat: 2 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 40dB, 45dB, 50dB, 55dB ja 60 dB

Copyright © AFRY Finland Oy

Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl	Reseptoripisteet: 15 kpl, R1-R15
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, 1 kpl (R15) (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)	
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 1 kpl	Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl
PIENITAAJUISEN MELULASKENNAN TULOKSET	
Tynnyrikorven osayleiskaavaa huomioiden reseptoripiste R15 (+ 0,4 dB). Yhteismeluvaikutus Mustasuon kanssa ylitystä reseptoripisteissä R15 (+1,9 dB)	

Copyright © AFRY Finland Oy



TUULIALFA OY
Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuisto

LIITE 2
MELUMALLINNUSKARTTA
Tynnyrikorpi, Utajärvi

OSAYLEISKAAVA
TYNNYRIKORPI, UTAJÄRVI
21 voimalaa (ainoastaan Tynnyrikorven tuulivoimalat)
LWA 106,9 dB + 2 dB (Nordex N175, 6,8 MW)

Päivämäärä: 8.9.2026
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 Ed2 (YM OH 2/2014)
Karttakoordinaatisto: ETRS-TM35FIN

Keskiäänitaso LAeq [dB]

- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

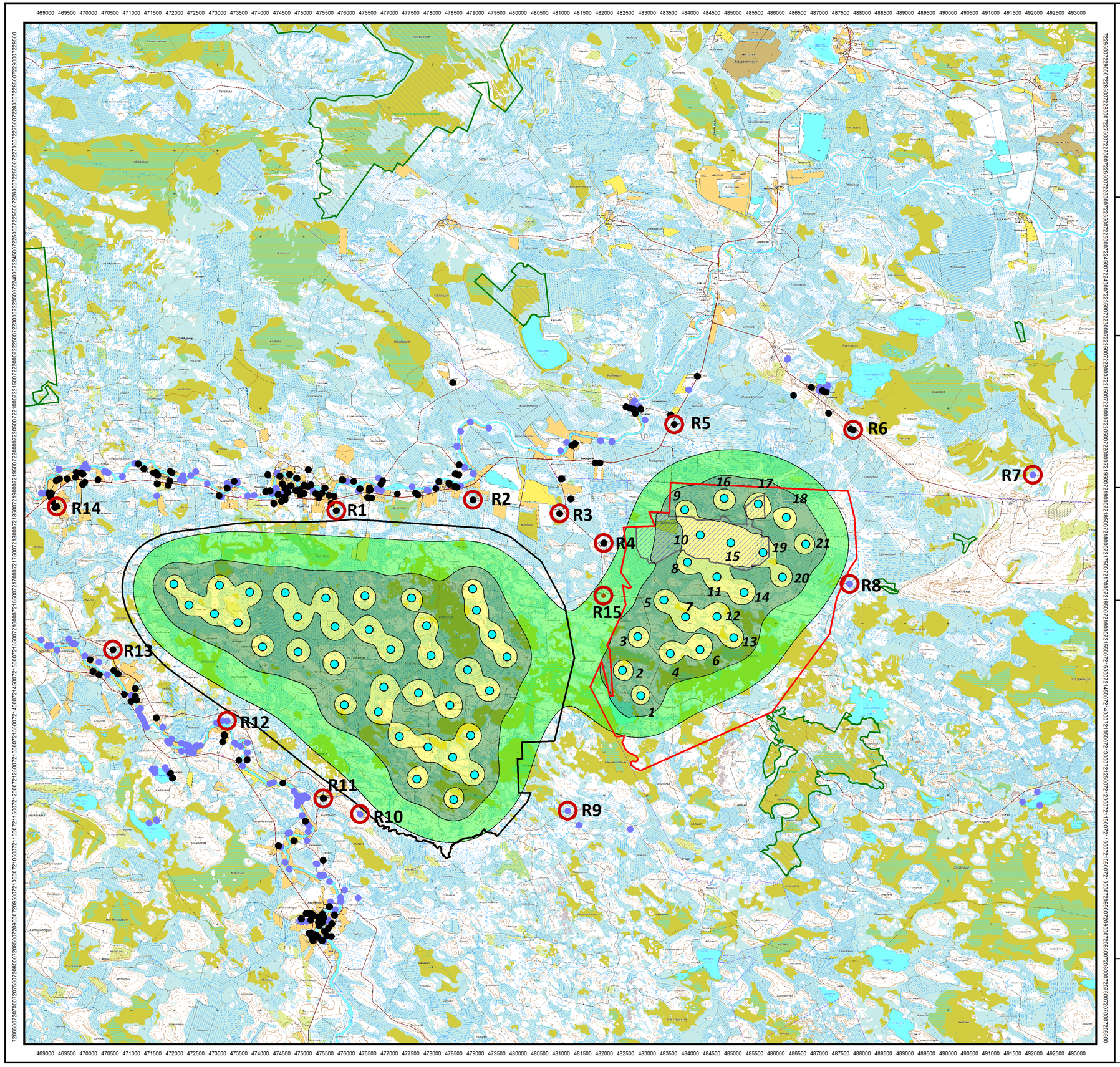
Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Reseptoripiste
- Tuulivoimala
- Luonnonsuojelualueet
- Hallintoraja
- Muu rakennus / käyttötarkoitus muuttuu
- Aurinkovoima-alue
- Hankealue

N

Mittajana:
0 1000 2000 3000 4000 5000 m

AFRY



TUULIALFA OY
Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuisto

LIITE 3
MELUMALLINNUSKARTTA
YHTEISMELUVAIKUTUS
Tynnyrikorpi, Utajärvi

OSAYLEISKAAVA
YHTEISMELUVAIKUTUS, MUSTASUO&TYNNYRIKORPI
Kaavaluonnos
58 voimalaa
LWA 106,9 dB + 2 dB (Nordex N175, 6,8 MW)

Päivämäärä: 8.9.2026
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 Ed2 (YM OH 2/2014)
Karttakoordinaatisto: ETRS-TM35FIN

Keskiäänitaso LAeq [dB]

- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Reseptoripiste
- Tuulivoimala
- Luonnonsuojelualueet
- Hallintoraja
- Muu rakennus / käyttötarkoitus muuttuu
- Aurinkovoima-alue
- Hankealue

N

Mittajana:
0 1000 2000 3000 4000 5000 m

AFRY