



ILMATAR KOTASELKÄ OY

Kotaselän tuulivoimahanke

Melumallinnus ympäristövaikutusten arviointia varten, tekninen raportti

13.3.2025



ILMATAR

efterklang:

PART OF AFRY

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 **101020883-006**.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2024, ellei toisin mainita.

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Ilmatar Kotaselkä Oy

Kirsi Kyllönen

kirsi.kyllonen@ilmatar.com

<https://ilmatar.com/fi/>

<https://ilmatar.com/projekti/kotaselka/>

Meluselvitys:

Efterklang Finland (Part of AFRY Finland Oy)

www.afry.com

<https://efterklang.org/fi/>

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	5
TERMIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Ympäristömelu	8
1.2 Tuulivoimamelu	8
1.3 Tuulivoimamelun ohjearvot YM 1107/2015.....	9
1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	10
2 LÄHTÖTIEDOT JA ARVIOINTIMENETELMÄT	11
2.1 Mallinnusohjeistus	11
2.2 Digitaalikartta-aineisto	12
2.3 Tuulivoimalamalli.....	13
2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	13
2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit.....	15
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta	17
3 MALLINNUSTULOKSET	18
3.1 Ulkomelumallinnus.....	18
3.1.1 Hankevaihtoehto 1	18
3.1.2 Hankevaihtoehto 2.....	20
3.2 Yhteismelumallinnus	21
3.2.1 Kotaselkä VE1 + Pahkakoski.....	21
3.2.2 Kotaselkä VE2 + Pahkakoski.....	22
3.3 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	24
3.4 Pienitaajuisen melun yhteismelumallinnuksen tulokset	25
4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN	26
5 LÄHDELUETTELO.....	26

LIITTEET

Liite 1 Voimala- ja reseptoripistekoordinaatit sekä mallinnusaluekartat

Liite 2 Melumallinnuskartta – Kotaselän Hankevaihtoehto 1

Liite 3 Melumallinnuskartta – Kotaselän Hankevaihtoehto 2

Liite 4 Melumallinnuskartta – Yhteismelu, Kotaselän hankevaihtoehto 1+Pahkakoski

Liite 5 Melumallinnuskartta – Yhteismelu, Kotaselän hankevaihtoehto 2+Pahkakoski

Liite 6 Pienitaajuisen melun numeeriset tulokset

Liite 7 Melumallinnuksen perustiedot

TIIVISTELMÄ

Ilmatar Energy Oy:n hankeyhtiö Ilmatar Kotaselkä Oy suunnittelee Kotaselän tuulivoimapuiston rakentamista Oulun pohjoisosiin Yli-Iin taajaman eteläpuolelle. Hankealue sijaitsee noin 3,6 kilometriä Yli-Iin keskustasta etelään, noin 17 kilometriä Kiimingin keskustasta pohjoiseen ja yli 19 kilometriä Iin keskustasta itään. Hankealue sijoittuu noin 34 kilometriä Oulun keskustasta koilliseen.

Hankealue käsittää yhtenäisen alueen, jonka pinta-ala on noin 29 km². Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tarkastellaan kahta toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehdossa 1 (VE1) hankealueelle sijoittuu enintään 18 voimalaa ja vaihtoehdossa 2 (VE2) enintään 14 voimalaa.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Lisäksi työssä lasketaan melun yhteisvaikutus 5 km:n säteellä olevan Pahkakosken tuulivoimahankeen kanssa. Raportti on valmisteltu Kotaselän tuulivoimapuiston ympäristövaikutusarviointia varten. Vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja, ja mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 18 ja 14 voimalan hankevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Myös melun yhteisvaikutukset Pahkakosken tuulivoimapuiston kanssa pysyvät ohjearvojen alapuolella.

Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus, oranssi kuvio), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistönomistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaa-vaehdotus-vaiheessa. Kyseisen vapaa-ajan rakennuksen kohdalla meluvaikutukset ylittävät ohjearvot tämänhetkisellä voimalasuunnitelmalla.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat kaikissa laskentavaihtoehdoissa. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisien pientalojen mukaisia ilmääänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaus-hankkeen tuloksista.

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

TERMIT JA LYHENTEET

YVA-selostuksessa 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 taajuuskais-toja, joiden logaritminen summa muodostaa äänitehotason.
Melupäästön ta-kuuarvo	Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (ääniteho-taso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehota-sojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.
Varmuusarvo	Tuulivoimalan laitteiston valmistajan ilmoittamaa saman tuulivoimalatyyppin melupäästön hajonnasta johtuvan epävarmuuden huomioivaa varmuusar-voa.
Oktaavikaista	Oktaavikaista käsittää kahden asetuspuheen välisen taajuusalueen. Esi-merkiksi oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 88–176 Hz.
1/3 oktaavikaista	1/3-oktaavikaista käsittää kahden asetuspuheen välisen taajuusalueen. Esimerkiksi 1/3-oktaavikaista 125 Hz kattaa taajuudet 111–140 Hz. 1/3-oktaavikaista-analyysi antaa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin oktaavi-kaista-analyysi.
Kapeakaistaisuus	Tonaalisuudella tarkoitetaan yhden tai useamman äänneksen äänenpaineta-son ja peittoäänien tason erotusta kriittisellä kaistalla äänneksen (äänneksen) ympärillä. Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavain-noin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänneksiä tai ka-peakaistaisia komponentteja melulle altistuvalla alueella.
Sykintä	Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä ää-nenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella.
Impulssimaisuus	Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle al-tistuvalla alueella.

1 JOHDANTO

Ilmatar Energy Oy:n hankeyhtiö Ilmatar Kotaselkä Oy suunnittelee Kotaselän tuulivoimapuiston rakentamista Oulun pohjoisosiin Yli-Iin taajaman eteläpuolelle. Hankealue sijaitsee noin 3,6 kilometriä Yli-Iin keskustasta etelään, noin 17 kilometriä Kiimingin keskustasta pohjoiseen ja yli 19 kilometriä Iin keskustasta itään. Hankealue sijoittuu noin 34 kilometriä Oulun keskustasta koilliseen.



Kuva 1-1. Hankealueen sijainti

Hankealue käsittää yhtenäisen alueen, jonka pinta-ala on noin 29 km². Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tarkastellaan kahta toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehdossa 1 (VE1) hankealueelle sijoittuu enintään 18 voimalaa ja vaihtoehdossa 2 (VE2) enintään 14 voimalaa.

Tässä raportissa käsitellään suunnitellun tuulivoimapuiston melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Lisäksi työssä lasketaan melun yhteisvaikutus 5 km:n säteellä olevan Pahkakosken tuulivoimahankkeen kanssa. Raportti on valmisteltu Kotaselän tuulivoimapuiston ympäristövaikutusarviointia 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 koh-teista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jat-kuvassa muutoksessa.

Melu on subjektiivinen käsite, jolla viitataan äänen negatiivisiin vaikutuksiin. Sitä käyte-tään puhuttaessa ei-toivotusta äänestä, josta seuraa ihmisille haittaa ja jonka havaitsemi-nessä 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). Ver-tailun vuoksi ilmanpaineen normaaliarvo merenpinnalla on 101 325 Pa.

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

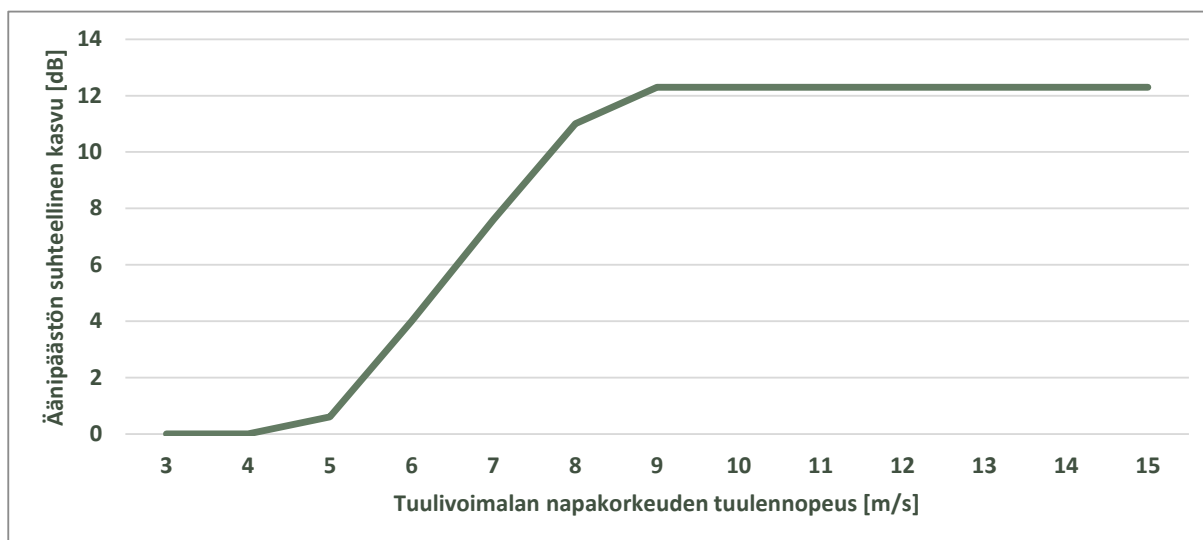
Melun ekvivalenttitaso, minkä symboli on L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva ääni-taso.

1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaami-sesta 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 painot-tunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat ylävirtalaitoksia, joissa roottori sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suun-taavuutta ylhäältä käsin, on voimalan 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 tuulennopeu-teen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyn-tiinlähtönopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimel-listeholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden.



Kuva 1-2. 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 tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan (ks. Kuva 1-2. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.).

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 kokemuksellisesti 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 12,7 m/s modernin voimalan napakorkeudella 225 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-4 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän jättöreunan serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

1.3 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 20–200Hz.

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	-

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 digitaal kartta-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 LWA,d. 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 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 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 ympäristöolosuhteearvoja.

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

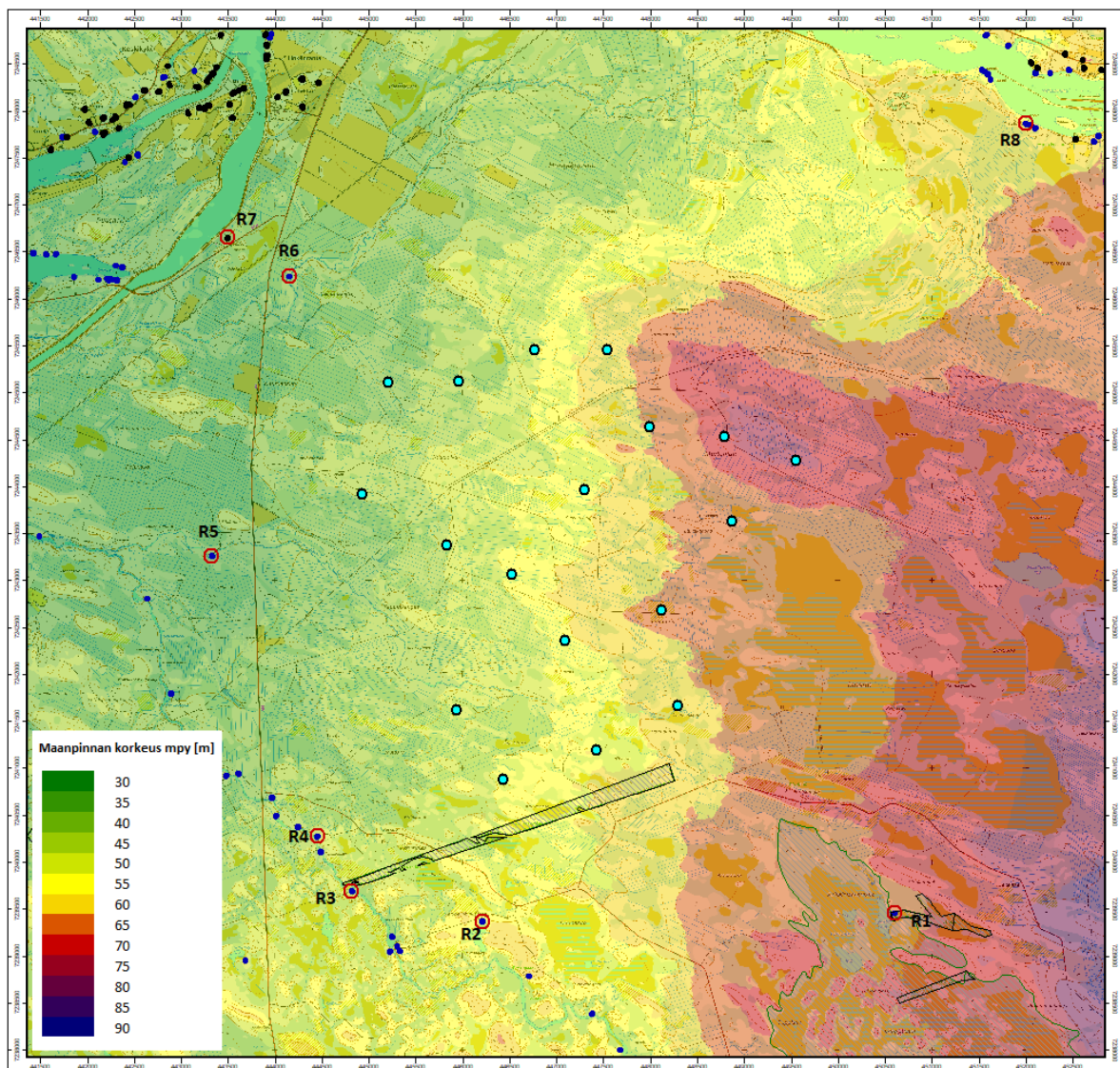
Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhteearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin (Jakobsen, J. 2012). Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorptio ja maastovaikutuksen parametrit. Pienitaajuisen melun

tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmän altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista tressikaistoittain, 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 ja vesialueille 0.

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]

2.3 Tuulivoimalamalli

Mallinnus suoritettiin tuulivoimalavoimalamallille, jolle käytettiin Vestas V172 7,2 MW:n voimalamallin ja serraatiosiiven mukaista äänipäästötasoa 107,8 dB sekä taajuusjakaumaa lisättynä +2 dB:n varmuusarvolla K (ks. YM9/5511/2016 mukainen lisäohje, Ympäristöministeriö, 2016). Pistemäisen äänilähteen kokonaisäänipäästön tunnusarvo LWA,d melumallissa on siten 109,8 dB.

Mallinnetun voimalan napakorkeudeksi on valittu 225 m, joka on kaavan sallima voimaloiden kokonaiskorkeuden 350 m yläraja. Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakaumaa 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 10 Hz – 10 000 Hz lisättynä yllä mainituilla korjauksilla sekä varmuusarvolla. Voimalan napakorkeus vastaa myös mallinnuksen pistemäisen äänilähteen korkeutta.

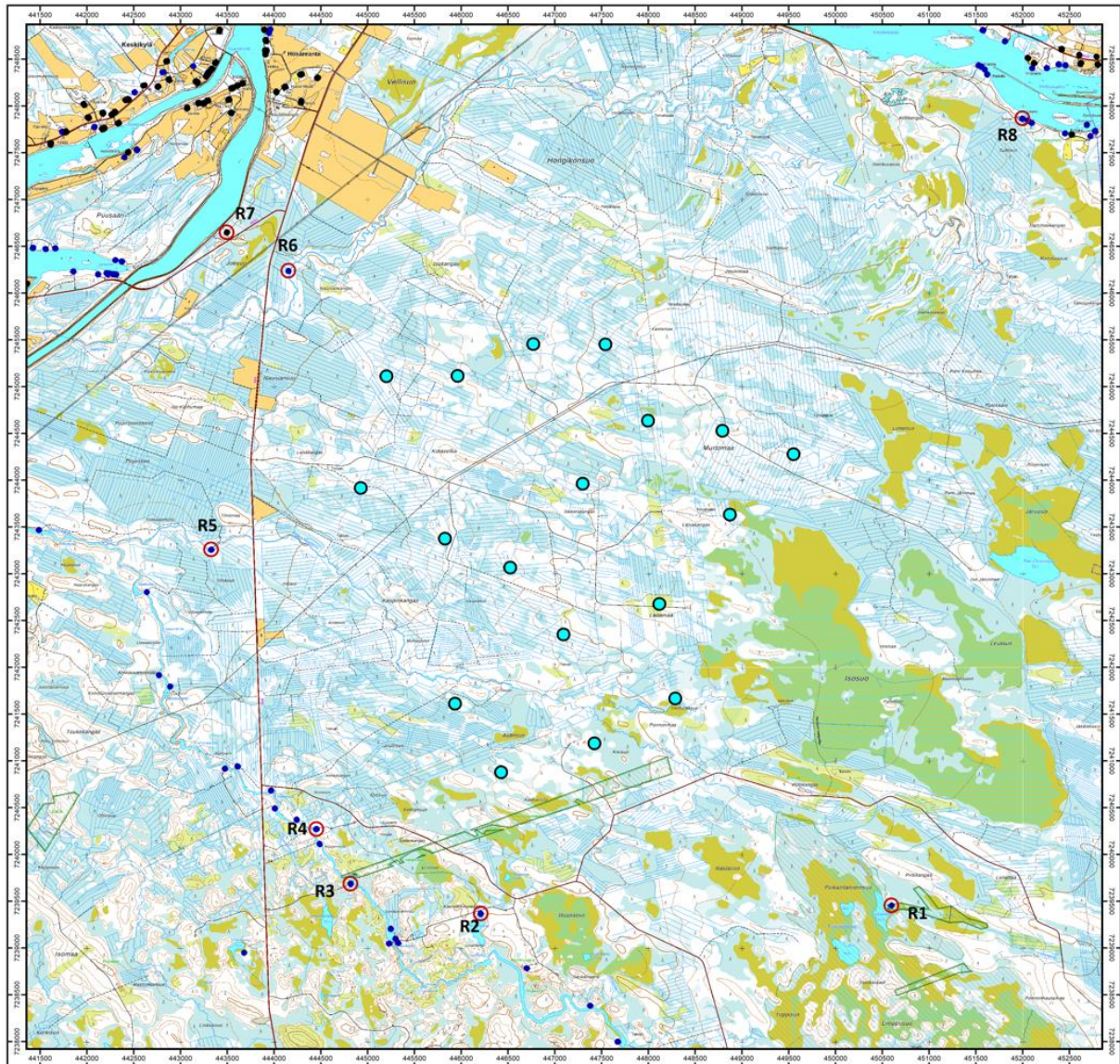
Yhteismelumallinnuksessa Pahkakosken voimalat mallinnettiin äänipäästöllä 104,8 dB + 2dB (Vestas V162, 6,2 MW serraatiosiivillä) ja napakorkeudella 164m.

Taulukko 2-1. Mallinnuksen tuulivoimalat

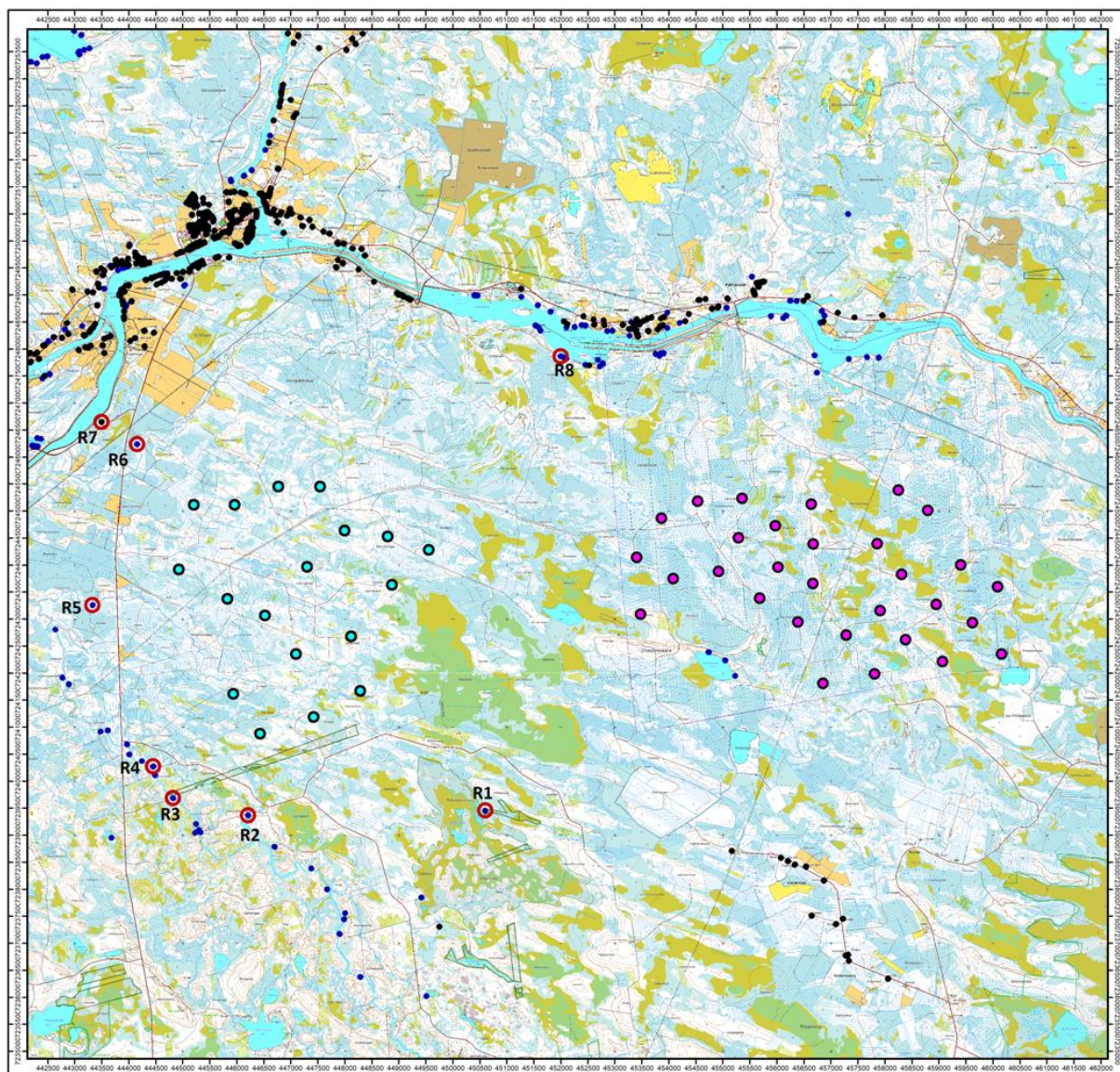
Tuulivoimalamallit	Äänipäästö	Varmuusarvo	Napakorkeus	Lukumäärä
Vestas V172 7,2MW	107,8 dB	2 dB	225 m	VE1: 18 kpl VE2: 14 kpl
Vestas V162 6,2MW	104,8 dB	2 dB	164 m	30 kpl

2.4 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R8 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.



Kuva 2-2. Melumallinnusalue, Kotaselän hankevaihtoehdon 1 tuulivoimaloiden sijainnit (vaaleansiniset pisteet) ja reseptoripisteet (punaiset ympyrät).



Kuva 2-3. Melumallinnusalue, yhteismelumallinnus. Kotaselän hankevaihtoehtoon 1 ja Pakkakosken tuulivoimaloiden sijainnit (Kotaselkä vaaleansiniset pisteet ja Pakkakoski tumman lilat pisteet) ja reseptoripisteet (punaiset ympyrät).

2.5 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melu-laskentaohjelmistoa SoundPlan v 9.1, missä änilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä. Mallinnusalgorithmiina käytettiin standardia ISO 9613-2, jonka parametrusointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

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

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 teollisuustai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit: (Ympäristöministeriö, 2007).

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämismuutusta.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä äänipäästöarvon varmuusarvolla K. Tieliikennemelussa se on vuotuinen keski vuorokausiliikenne 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 ympäristövaikutusarvioinnin ja kaavoituksen hankevaiheessa.

Taulukko 2-2.Melun leviämislaskennan parametrit.

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Keskiaänitaso LAeq ulkona: ISO 9613-2. YM OH 2/2014 kpl 4.1. Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84 %:n ja 90 %:n persentiilit (Keränen et al., 2017, 2019)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto ja maastotietokanta (© MML, 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 225 m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella maanpinnan karkeudella 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 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Häiritsevyysskorjaukset	ks. luku 4.
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)

Lähtötieto	Parametrit
Laskentaverkko	Laskentapistetä viisi kertaa viiden metrin (5x5 m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4 m) korkeudella seuraten digitaaliskartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5 sekä 4.1.9)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

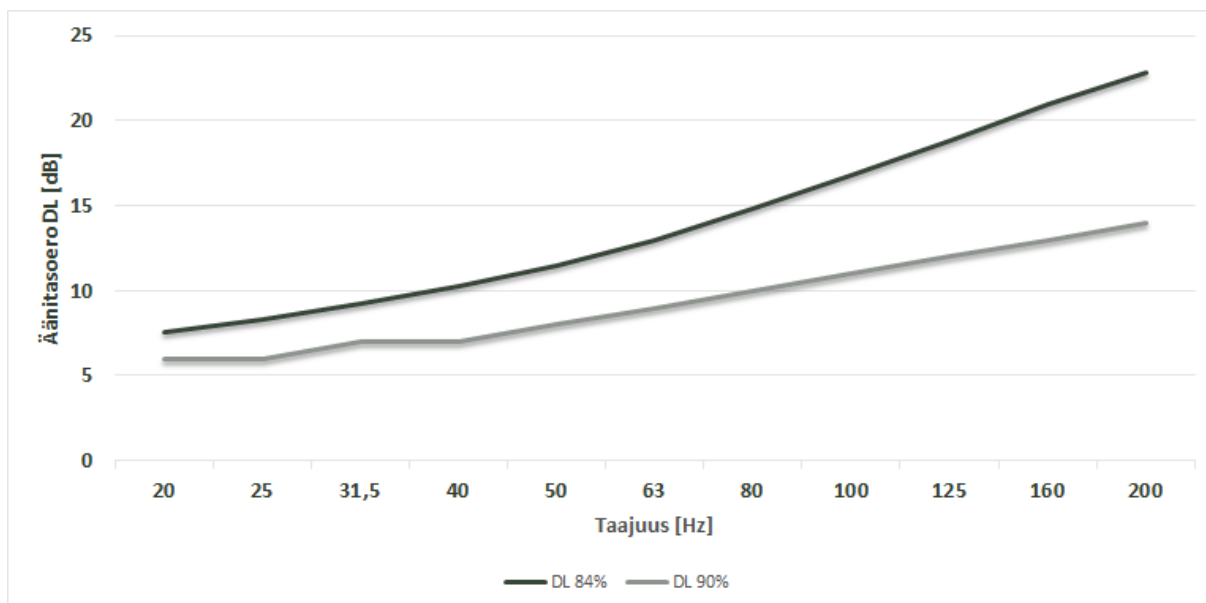
2.6 Pienitaajuisen melun laskenta

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 1-3) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutason 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 kokonaismelutason 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 ääneneristykseen 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 796/2017 vaatimustasoa.

Suomalaisten pientalojen ääneneristävyttä on tutkittu Turun AMK:n hankkeessa (Keränen et al. 2019 a ja b), jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskais-toille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Kuva 2-4) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittävät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä pienitaajuisen sisämelutason arviointiin asuinrakennusten osalta ja 90% todennäköisyydellä loma-asuinrakennusten osalta.

Rakennusten ilmaäänieristykseen 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.



Kuva 2-4. Äänitasoeron DL vähimmäisarvon estimaatit 85% 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 sisätilamitaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

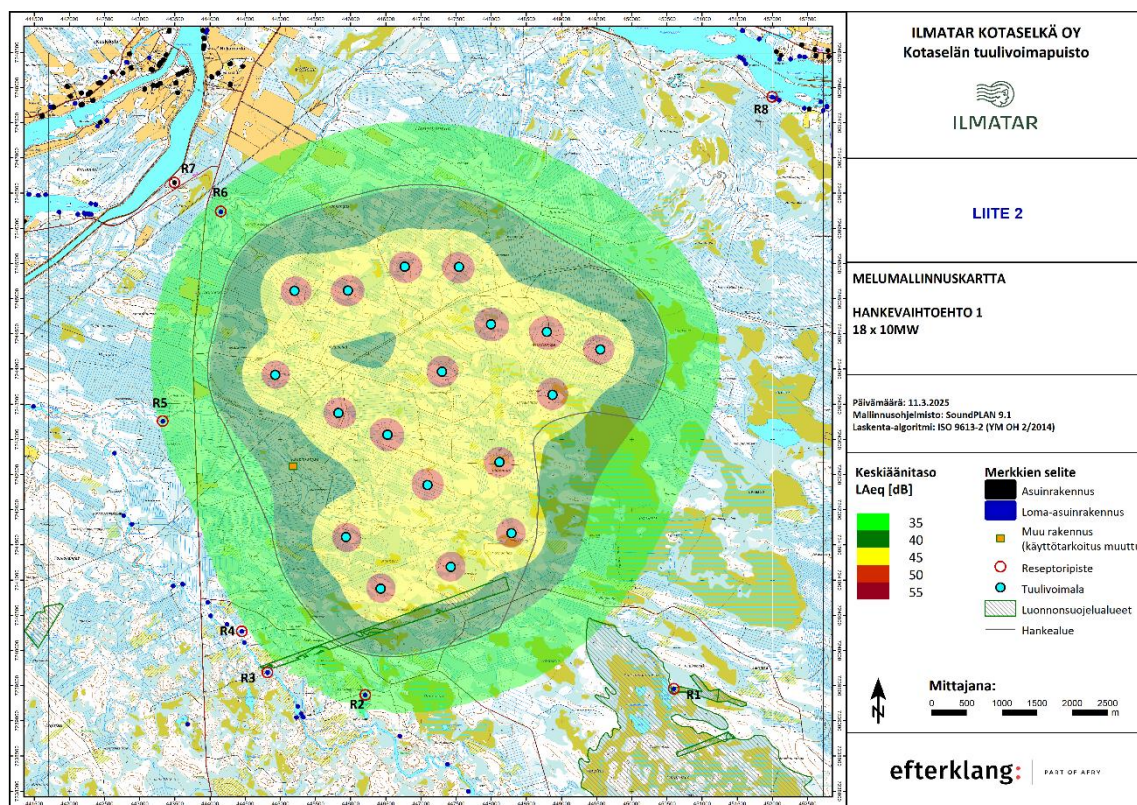
3 MALLINNUSTULOKSET

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty kappaleissa 3.1-3.2 sekä suurempina kuvina liitteissä 2-5. Pientaajuisten melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin numeerisina tuloksina liitteessä 6.

3.1 Ulkomelumallinnus

3.1.1 Hankevaihtoehto 1

Hankevaihtoehtoon 1 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Kotaselän hankealueen 18:lle suunnitellulle voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Hankevaihtoehto 1 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (Taulukko 3-1) korkein keskiäänitaso LAeq 36 dB saavutetaan reseptoripisteissä R2 ja R6, joiden käyttötarkoituksiksi on merkitty loma-asuinrakennus. Tulos alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus, oranssi kuvio), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistön omistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaavaehdotusvaiheessa. Kyseisen vapaa-ajan rakennuksen kohdalla meluvaikutukset ylittävät ohjearvot tämänhetkisellä voimalasuunnitelmalla.

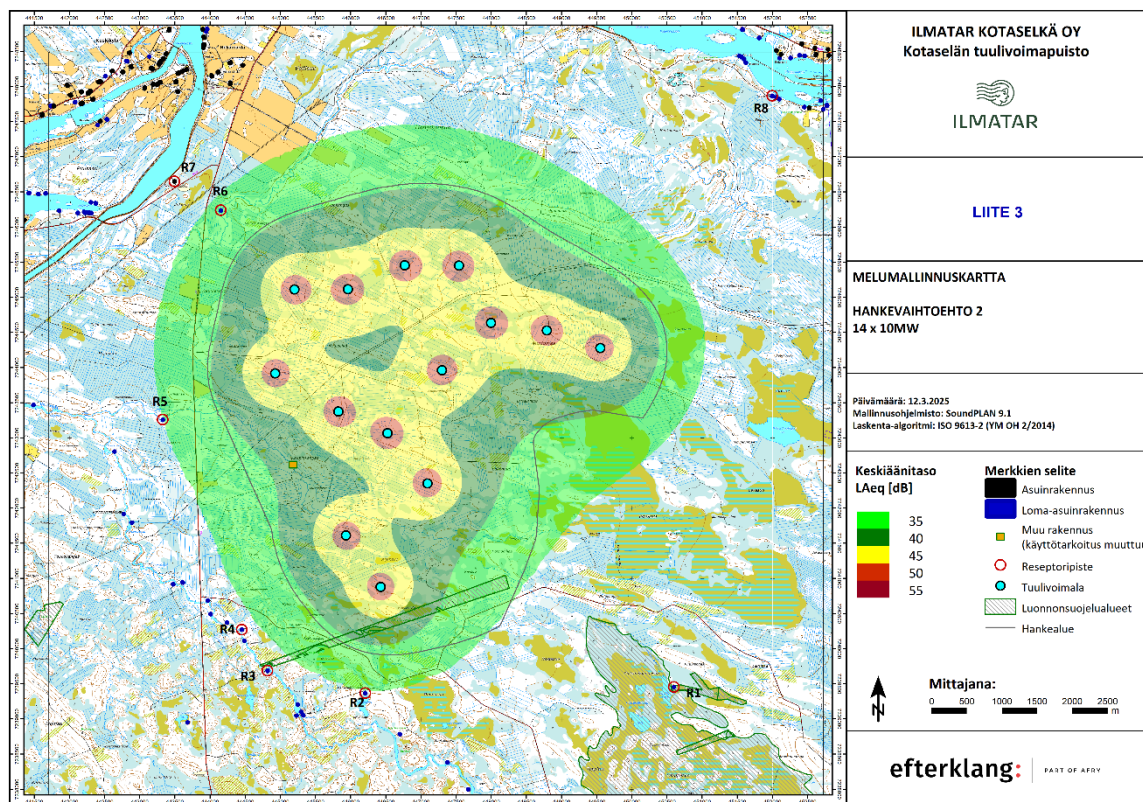
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

Taulukko 3-1. Hankevaihtoehto 1 melumallinnuksen reseptoripistetulokset

Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	30 dB	R5	loma-asuinrakennus	35 dB
R2	loma-asuinrakennus	36 dB	R6	loma-asuinrakennus	36 dB
R3	loma-asuinrakennus	34 dB	R7	asuinrakennus	32 dB
R4	loma-asuinrakennus	35 dB	R8	loma-asuinrakennus	26 dB

3.1.2 Hankevaihtoehto 2

Hankevaihtoehtoon 2 melumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavissa kuvissa on esitetty keskiäänitason LAeq leviämiskartat Kotaselän hankealueen 14:lle suunnitellulle voimalalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-2. Hankevaihtoehtoon 2 melumallinnuskartta, keskiäänitaso LAeq

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (Taulukko 3-2) korkein keskiäänitaso LAeq 36 dB saavutetaan reseptoripisteessä R6, joiden käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus. Tulos alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus, oranssi kuvio), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistön omistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaavaehdotus-vaiheessa. Kyseisen vapaa-ajan rakennuksen kohdalla meluvaikutukset ylittävät ohjearvot tämänhetkisellä voimalasuunnitelmalla.

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

Taulukko 3-2. Hankevaihtoehdon 2 melumallinnuksen reseptoripistetulokset

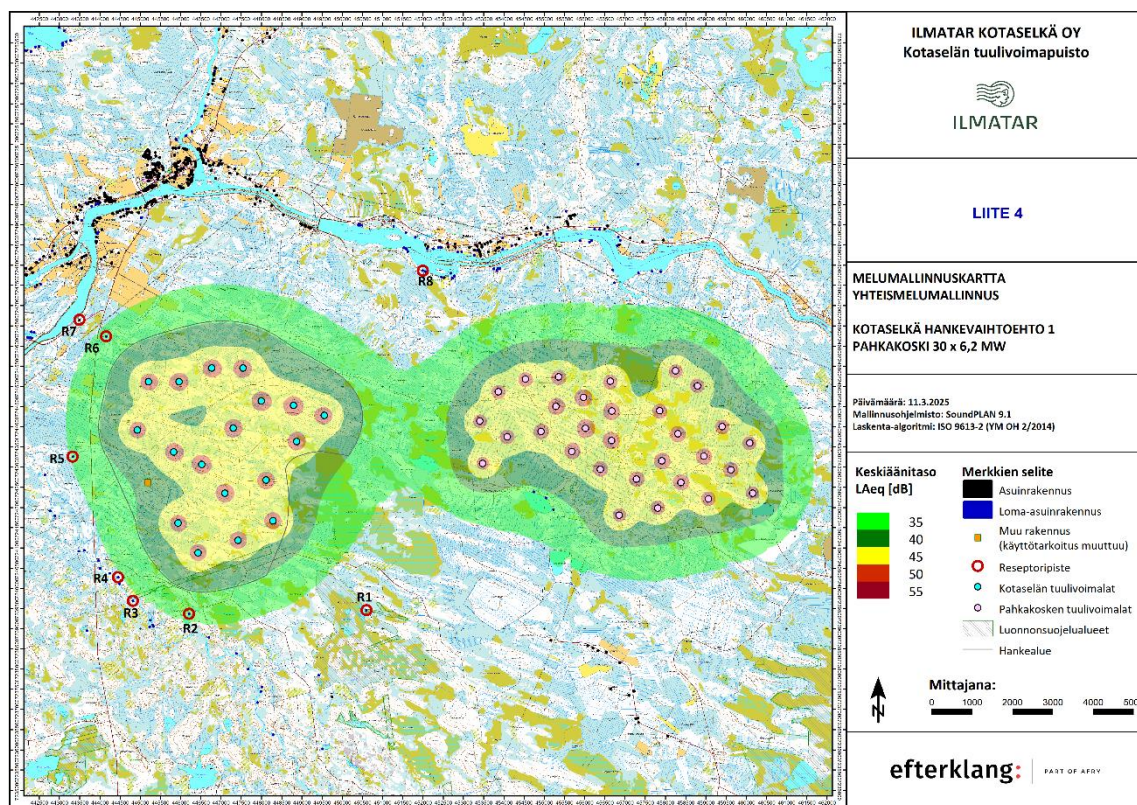
Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiaänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiaänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	27 dB	R5	loma-asuinrakennus	35 dB
R2	loma-asuinrakennus	35 dB	R6	loma-asuinrakennus	36 dB
R3	loma-asuinrakennus	33 dB	R7	asuinrakennus	32 dB
R4	loma-asuinrakennus	34 dB	R8	loma-asuinrakennus	26 dB

3.2 Yhteismelumallinnus

Yhteismelumallinnus laskettiin Kotaselän ja Ilmattaren Pahkakosken hankkeiden yhteisvaikutuslaskelmaksi molemmille Kotaselän hankevaihtoehdoille. Melumallinnuksen laskenta-alueen kokonaispinta-ala on nyt n.241 km².

3.2.1 Kotaselkä VE1 + Pahkakoski

Kotaselän hankkeen hankevaihtoehdon 1 yhteismelumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset yhdessä Pahkakosken tuulivoimapuiston kanssa on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavassa kuvassa on esitetty keskiäänitason LAeq yhteismelumallinnuksen leviämiskartta sekä reseptoripistetulokset. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.


Kuva 3-3. Yhteismelumallinnus, Kotaselkä VE1 + Pahkakoski

Taulukko 3-3. Hankevaihtoehdon 1 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset

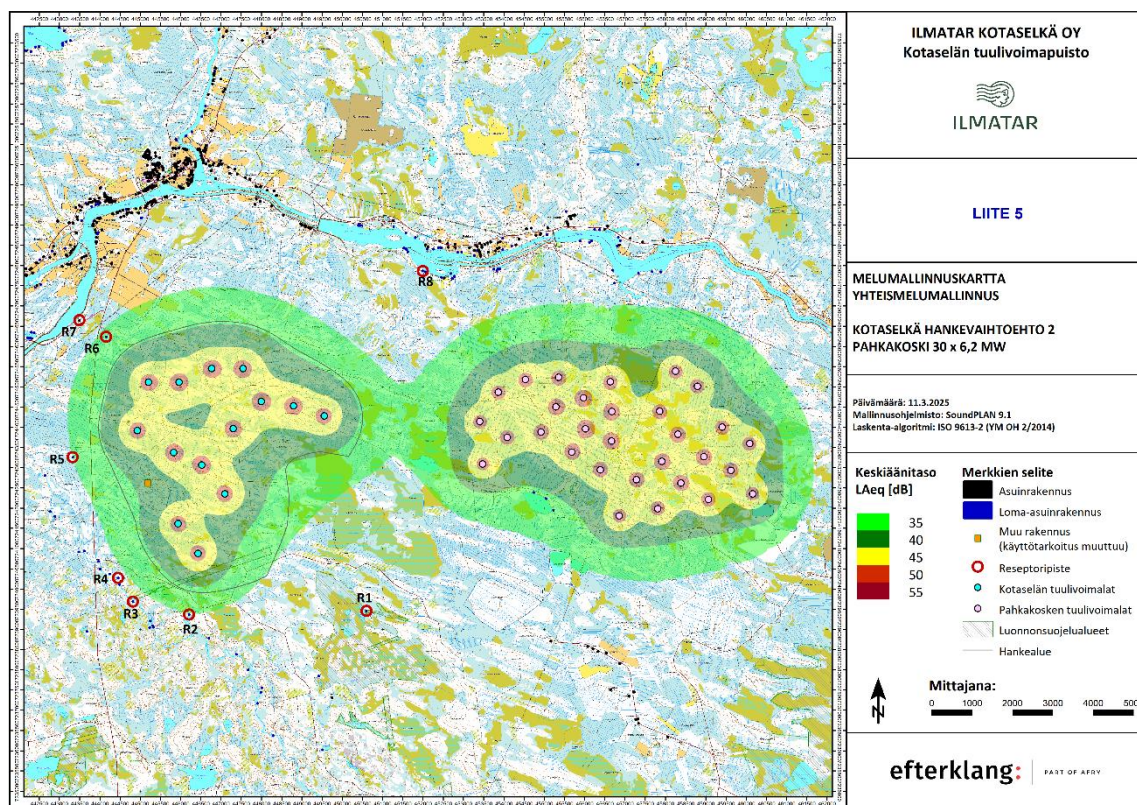
Reseptoripiste			Tulokset		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	31 dB	R5	loma-asuinrakennus	35 dB
R2	loma-asuinrakennus	36 dB	R6	loma-asuinrakennus	36 dB
R3	loma-asuinrakennus	34 dB	R7	asuinrakennus	32 dB
R4	loma-asuinrakennus	35 dB	R8	loma-asuinrakennus	30 dB

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-3) korkein keskiäänitaso LAeq 36 dB saavutetaan reseptoripisteissä R2 ja R6, joiden käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus. Kyseinen äänitaso alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. Melu laskennallinen kasvu yhteismelutilanteessa on enimmäkseen noin +4 dB reseptoripisteessä R8 verrattuna Kotaselän hankevaihtoehdon 1 tuloksiin, mutta pääsääntöisesti tulokset pysyvät muuttumattomina etenkin Kotaselän hankealueen länsipuolella.

Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus, oranssi kuvio), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistön omistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaavaehdotus-vaiheessa. Kyseisen vapaa-ajan rakennuksen kohdalla meluvaikutukset ylittävät ohjearvot tämänhetkisellä voimalasuunnitelmalla.

3.2.2 Kotaselkä VE2 + Pahkakoski

Kotaselän hankkeen hankevaihtoehdon 2 yhteismelumallinnuksen keskiäänitason LAeq tulokset yhdessä Pahkakosken tuulivoimapuiston kanssa on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Seuraavassa kuvassa on esitetty keskiäänitason LAeq yhteismelumallinnuksen leviämiskartta sekä reseptoripistetulokset. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja tummanvihreän alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 3-4. Yhteismelumallinnus, Kotaselkä VE2 + Pahkakoski

Taulukko 3-4. Hankevaihtoehto 2 yhteismelumallinnuksen reseptoripistetulokset

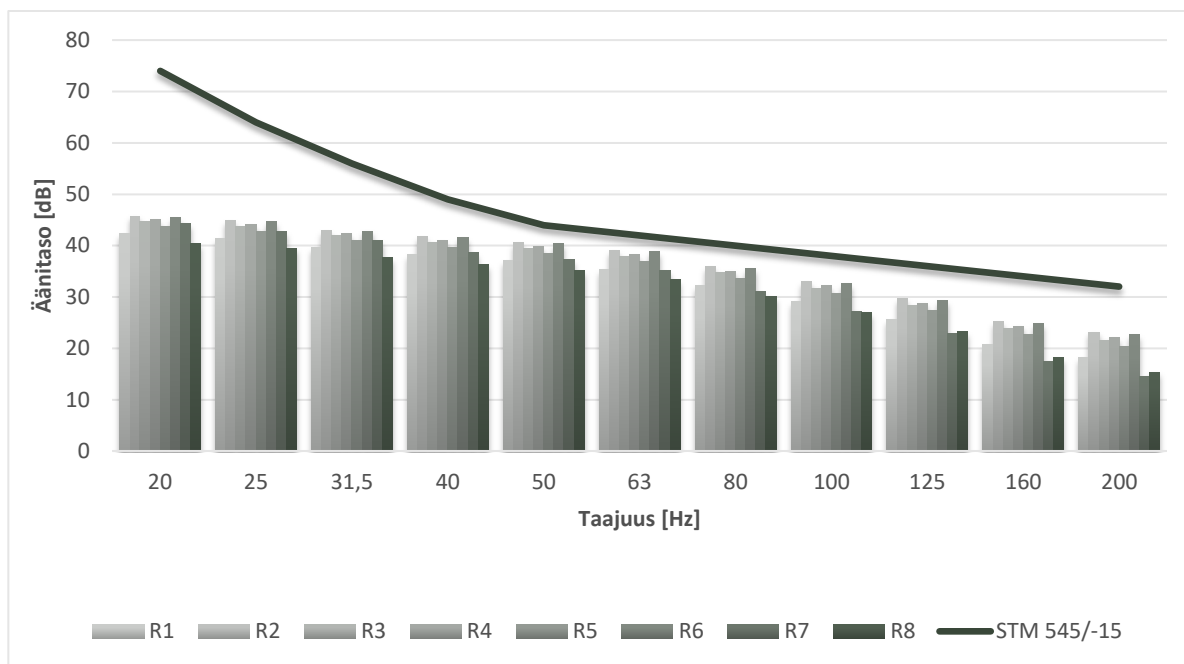
Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiaänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttö-tarkoitus	Keskiaänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	28 dB	R5	loma-asuinrakennus	35 dB
R2	loma-asuinrakennus	35 dB	R6	loma-asuinrakennus	36 dB
R3	loma-asuinrakennus	33 dB	R7	asuinrakennus	32 dB
R4	loma-asuinrakennus	34 dB	R8	loma-asuinrakennus	29 dB

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n yhteismelumallinnuksen 40 dB:n meluvyöhyke ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoripistelaskennan perusteella (Taulukko 3-4) korkein keskiäänitaso LAeq 36 dB saavutetaan reseptoripisteessä R6, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus. Tulos alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. Melu laskennallinen kasvu yhteismelutilanteessa on enimmillään noin +3 dB reseptoripisteessä R8 verrattuna Kotaselän hankevaihtoehto 1 tuloksiin, mutta pääsääntöisesti tulokset pysyvät muuttumattomina etenkin Kotaselän hankealueen länsipuolella.

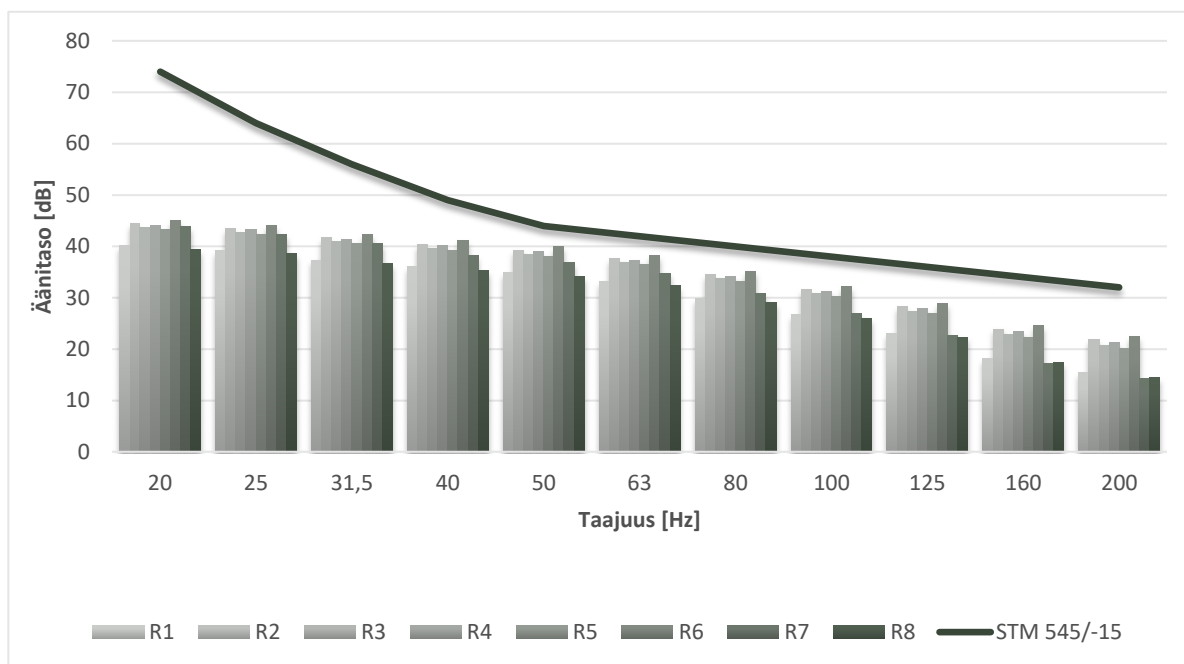
Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus, oranssi kuvio), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistön omistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaavaehdotus-vaiheessa. Kyseisen vapaa-ajan rakennuksen kohdalla meluvaikutukset ylittävät ohjearvot tämänhetkisellä voimalasuunnitelmalla.

3.3 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 3-5. Hankevaihtoehdon 1 pientaajuisen melulaskennan tulokuvaaja



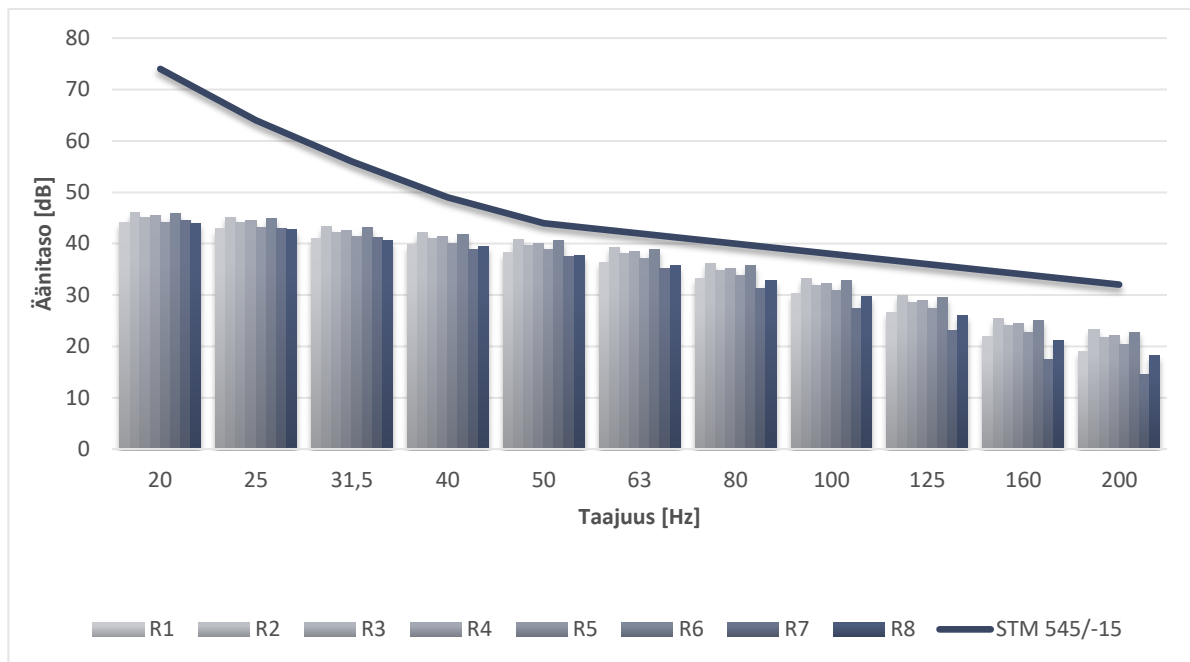
Kuva 3-6. Hankevaihtoehdon 2 pientaajuisen melulaskennan tulokuvaaja

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteessä R2 (VE1) sekä R6 (VE2), jonka pientaajuinen sisämelun

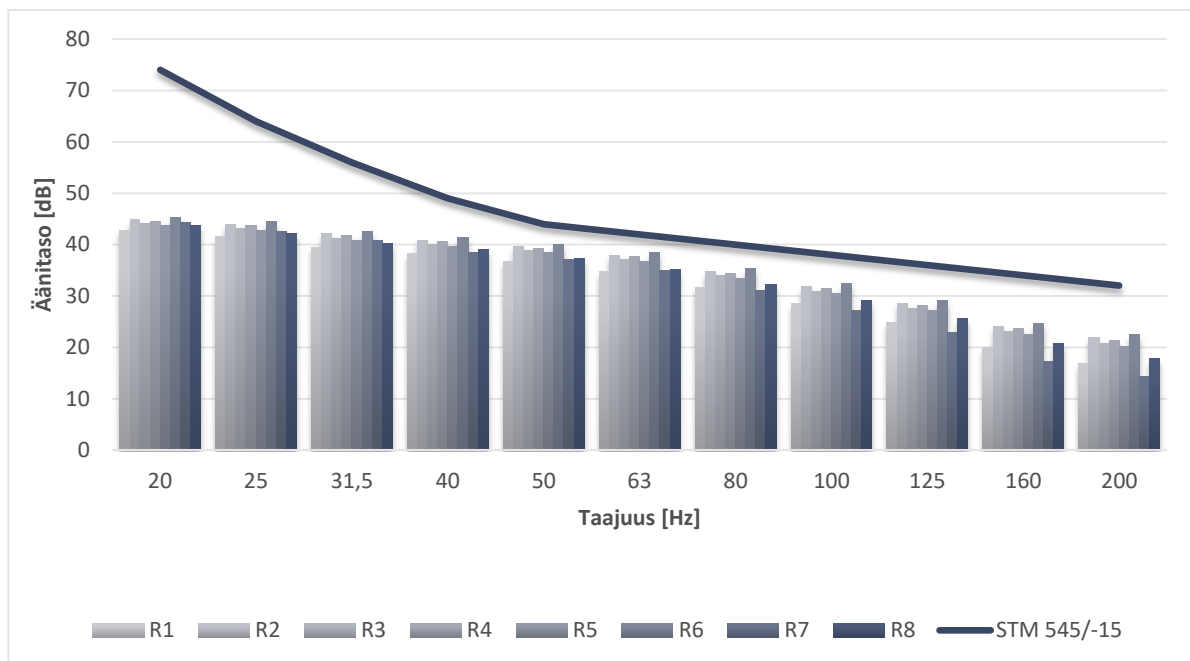
laskennassa käytetään myös alemmaa julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus).

3.4 Pienitaajuisten melun yhteismelumallinnuksen tulokset

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu yhteismelutilanteessa Kotaselän hankevaihtoehtoille 1 ja 2 laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200 Hz.



Kuva 3-7. Kotaselän hankevaihtoehtoon 1 sekä Pahkakosken hankkeen pientaajuisten melulaskennan tulostuotokuvaaja

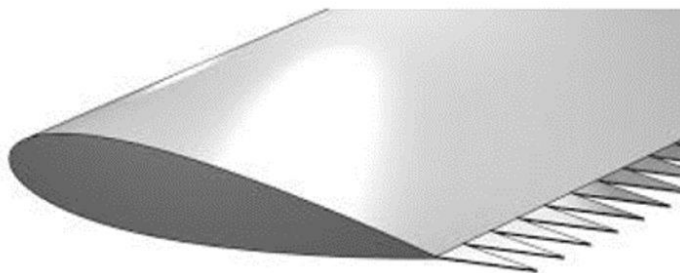


Kuva 3-8. Kotaselän hankevaihtoehtoon 2 sekä Pahkakosken hankkeen pientaajuisten melulaskennan tulostuotokuvaaja

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurimmat arvot ulkona saavutetaan reseptoripisteissä R2 (VE1) ja R6 (VE2), joiden pientaajuisten sisämelun laskennassa käytetään myös alemmaa julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoa DL90% rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella (loma-asuinrakennus).

4 VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Nykyiset tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaudoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 2-4 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).



Kuva 4-1. Havainnollistus tuulivoimalan siiven jättöreunan sahalaudoituksesta (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, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Melumallinnuksen perusteella tarvetta meluoptimointiajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

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. 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. 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 1

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
TV 1	447298	7243964	59,1	225 m
TV 2	448871	7243633	68,9	225 m
TV 3	445201	7245112	42,9	225 m
TV 4	445934	7241613	52,6	225 m
TV 5	445826	7243377	49,9	225 m
TV 6	447423	7241189	60,2	225 m
TV 7	449552	7244278	75,9	225 m
TV 8	447994	7244636	65,8	225 m
TV 9	446769	7245455	54,4	225 m
TV 10	447542	7245453	62,9	225 m
TV 11	445961	7245114	48,1	225 m
TV 12	447092	7242353	57,9	225 m
TV 13	448117	7242677	68,4	225 m
TV 14	446427	7240879	56,1	225 m
TV 15	448287	7241668	62,0	225 m
TV 16	446524	7243067	56,6	225 m
TV 17	444927	7243918	45,6	225 m
TV 18	448792	7244530	74,7	225 m

Tuulivoimaloiden koordinaatit, hankevaihtoehto 2

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
TV 1	447298	7243964	59,1	225 m
TV 2	445201	7245112	42,9	225 m
TV 3	445934	7241613	52,6	225 m
TV 4	445826	7243377	49,9	225 m
TV 5	449552	7244278	75,9	225 m
TV 6	447994	7244636	65,8	225 m
TV 7	446769	7245455	54,4	225 m
TV 8	447542	7245453	62,9	225 m
TV 9	445961	7245114	48,1	225 m
TV 10	447092	7242353	57,9	225 m
TV 11	446427	7240879	56,1	225 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
TV 12	446524	7243067	56,6	225 m
TV 13	444927	7243918	45,6	225 m
TV 14	448792	7244530	74,7	225 m

Pahkakosken tuulivoimaloiden koordinaatit

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
1	455356,0	7245233	80,9	164 m
2	458246,0	7245388	90,1	164 m
3	456854	7241812	89,7	164 m
4	460084	7243597	101,6	164 m
5	458794	7245015	92,5	164 m
6	457855	7244395	98,5	164 m
7	459404	7244004	100,8	164 m
8	459622	7242936	107,1	164 m
9	458952	7243271	107,6	164 m
10	458307	7243826	101,9	164 m
11	458383	7242622	108,0	164 m
12	457911	7243159	105,4	164 m
13	457806	7241988	101,4	164 m
14	457280	7242705	101,2	164 m
15	456666	7243656	93,9	164 m
16	456386	7242947	85,2	164 m
17	455683	7243386	82,1	164 m
18	456021	7243961	90,1	164 m
19	456671	7244387	97,3	164 m
20	456634	7245126	96,4	164 m
21	460158	7242355	107,7	164 m
22	455969	7244730	87,8	164 m
23	453473	7243093	83,6	164 m
24	459062	7242213	111,6	164 m
25	453403	7244140	75,3	164 m
26	453863	7244867	70,4	164 m
27	454534	7245180	73,5	164 m
28	455290	7244505	86,0	164 m
29	454920	7243880	76,3	164 m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
30	454082	7243750	74,3	164 m

Reseptoripisteiden koordinaatit

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Korkeus maanpinnalta
R1	450597,7	7239457,4	69,0	4 m
R2	446206,6	7239368,9	58,6	4 m
R3	444815,6	7239688,6	52,6	4 m
R4	444450,9	7240273,5	51,2	4 m
R5	443493,7	7246651,0	40,1	4 m
R6	443326,7	7243260,3	37,6	4 m
R7	444153,1	7246238,9	40,3	4 m
R8	451995,6	7247867,1	61,2	4 m

ILMATAR KOTASELKÄ OY
Kotaselän tuulivoimapuisto



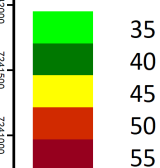
LIITE 2

MELUMALLINNUSKARTTA

HANKEVAIHTOEHTO 1
18 x 10MW

Päivämäärä: 11.3.2025
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 (YM OH 2/2014)

Keskiäänitaso
LAeq [dB]

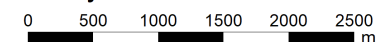


Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Muu rakennus (käyttötarkoitus muuttuu)
- Reseptoripiste
- Tuulivoimala
- Luonnonsuojelualueet
- Hankealue



Mittajana:



ILMATAR KOTASELKÄ OY
Kotaselän tuulivoimapuisto



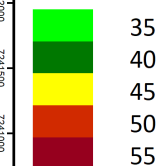
LIITE 3

MELUMALLINNUSKARTTA

HANKEVAIHTOEHTO 2
14 x 10MW

Päivämäärä: 12.3.2025
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 (YM OH 2/2014)

Keskiäänitaso
LAeq [dB]



Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Muu rakennus (käyttötarkoitus muuttuu)
- Reseptoripiste
- Tuulivoimala
- Luonnonsuojelualueet
- Hankealue



Mittajana:



ILMATAR KOTASELKÄ OY
Kotaselän tuulivoimapuisto



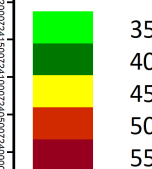
LIITE 4

MELUMALLINNUSKARTTA
YHTEISELMUMALLINNUS

KOTASELKÄ HANKEVAIHTOEHTO 1
PAHKAKOSKI 30 x 6,2 MW

Päivämäärä: 11.3.2025
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 (YM OH 2/2014)

Keskiäänitaso
LAeq [dB]

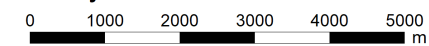


Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Muu rakennus (käyttötarkoitus muuttuu)
- Reseptoripiste
- Kotaselän tuulivoimalat
- Pahkakosken tuulivoimalat
- Luonnonsuojelualueet
- Hankealue



Mittajana:



ILMATAR KOTASELKÄ OY
Kotaselän tuulivoimapuisto



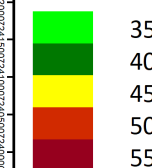
LIITE 5

MELUMALLINNUSKARTTA
YHTEISMELUMALLINNUS

KOTASELKÄ HANKEVAIHTOEHTO 2
PAHKAKOSKI 30 x 6,2 MW

Päivämäärä: 11.3.2025
Mallinnusohjelmisto: SoundPLAN 9.1
Laskenta-algoritmi: ISO 9613-2 (YM OH 2/2014)

Keskiäänitaso
LAeq [dB]

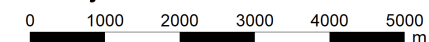


Merkkien selite

- Asuinrakennus
- Loma-asuinrakennus
- Muu rakennus (käyttötarkoitus muuttuu)
- Reseptoripiste
- Kotaselän tuulivoimalat
- Pahkakosken tuulivoimalat
- Luonnonsuojelualueet
- Hankealue



Mittajana:



Liite 6. Pienitaajuaisen melun numeeriset laskentatulokset

Kotaselkä, hankevaihtoehto 1, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48	47	47	45	45	44	42	40	38	34	32
R2	52	51	50	49	49	48	46	44	42	38	37
R3	51	50	49	48	47	47	45	43	40	37	36
R4	51	50	49	48	48	47	45	43	41	37	36
R5	50	49	48	47	47	46	44	42	39	36	34
R6	52	51	50	49	48	48	46	44	41	38	37
R7	52	51	50	49	49	48	46	44	42	38	37
R8	46	46	45	43	43	42	40	38	35	31	29

Kotaselkä, hankevaihtoehto 1, tulokset sisällä											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	42	41	40	38	37	35	32	29	26	21	18
R2	46	45	43	42	41	39	36	33	30	25	23
R3	45	44	42	41	39	38	35	32	28	24	22
R4	45	44	42	41	40	38	35	32	29	24	22
R5	44	43	41	40	39	37	34	31	27	23	20
R6	46	45	43	42	40	39	36	33	29	25	23
R7	44	43	41	39	37	35	31	27	23	17	14
R8	40	40	38	36	35	33	30	27	23	18	15

Kotaselkä, hankevaihtoehto 2, tulokset ulkona											
	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	46	45	44	43	43	42	40	38	35	31	29
R2	50	50	49	47	47	47	44	43	40	37	36
R3	50	49	48	47	46	46	44	42	39	36	35
R4	50	49	48	47	47	46	44	42	40	36	35
R5	49	48	48	46	46	45	43	41	39	35	34
R6	51	50	49	48	48	47	45	43	41	38	36
R7	51	51	50	49	48	48	46	44	42	38	37
R8	45	45	44	42	42	41	39	37	34	30	29

Kotaselkä, hankevaihtoehto 2, tulokset sisällä

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	40	39	37	36	35	33	30	27	23	18	15
R2	44	44	42	40	39	38	34	32	28	24	22
R3	44	43	41	40	38	37	34	31	27	23	21
R4	44	43	41	40	39	37	34	31	28	23	21
R5	43	42	41	39	38	36	33	30	27	22	20
R6	45	44	42	41	40	38	35	32	29	25	22
R7	44	42	41	38	37	35	31	27	23	17	14
R8	39	39	37	35	34	32	29	26	22	17	15

Kotaselkä, hankevaihtoehto 1 yhteismelu, tulokset ulkona

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50	49	48	47	46	45	43	41	39	35	33
R2	52	51	50	49	49	48	46	44	42	38	37
R3	51	50	49	48	48	47	45	43	41	37	36
R4	51	50	50	48	48	47	45	43	41	37	36
R5	50	49	48	47	47	46	44	42	39	36	34
R6	52	51	50	49	49	48	46	44	41	38	37
R7	52	51	50	49	49	48	46	44	42	38	37
R8	50	49	48	46	46	45	43	41	38	34	32

Kotaselkä, hankevaihtoehto 1 yhteismelu, tulokset sisällä

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	44	43	41	40	38	36	33	30	27	22	19
R2	46	45	43	42	41	39	36	33	30	25	23
R3	45	44	42	41	40	38	35	32	29	24	22
R4	45	44	43	41	40	38	35	32	29	24	22
R5	44	43	41	40	39	37	34	31	27	23	20
R6	46	45	43	42	41	39	36	33	29	25	23
R7	45	43	41	39	37	35	31	27	23	17	15
R8	44	43	41	39	38	36	33	30	26	21	18

Kotaselkä, hankevaihtoehto 2 yhteismelu, tulokset ulkona

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49	48	47	45	45	44	42	40	37	33	31
R2	51	50	49	48	48	47	45	43	41	37	36
R3	50	49	48	47	47	46	44	42	40	36	35
R4	51	50	49	48	47	47	44	42	40	37	35
R5	50	49	48	47	46	46	44	42	39	35	34
R6	51	50	50	48	48	47	45	43	41	38	36
R7	52	51	50	49	49	48	46	44	42	38	37
R8	50	48	47	46	45	44	42	40	37	34	32

Kotaselkä, hankevaihtoehto 2 yhteismelu, tulokset sisällä

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43	42	40	38	37	35	32	29	25	20	17
R2	45	44	42	41	40	38	35	32	29	24	22
R3	44	43	41	40	39	37	34	31	28	23	21
R4	45	44	42	41	39	38	34	31	28	24	21
R5	44	43	41	40	38	37	34	31	27	22	20
R6	45	44	43	41	40	38	35	32	29	25	22
R7	44	43	41	39	37	35	31	27	23	17	14
R8	44	42	40	39	37	35	32	29	25	21	18

Liite 7. Melumallinnuksen perustiedot

RAPORTIN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101020883-006										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v. 9.1						Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas						Nimellisteho: 7,2 MW				
Roottorin halkaisija: Mallinnuksessa vain napakorkeus						Napakorkeus: 225m				
Lukumäärä: 18 kpl (VE1), 14 kpl (VE2)						Siipityyppi: Serraatio				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin -1 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (LWA+K): 109,8 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, 08/2024						Maanpinnan pystyresoluutio: 0,5 m / laserkeilausaineisto				
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:			Maa-alueet:			Muut alueet (mitkä?)				
0			0,4			Laajat kallioalueet: 0				
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNITASOEROT										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti loma-asuinrakennuksille DL90% (ylempi taulukko) ja DL84% asuinrakennuksille (alempi taulukko) 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz [dB]										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot 2+2 kpl										

Laskentakartat: 4 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 5 kpl: 35 dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2+2 kpl	Reseptoripisteet: 8 kpl, R1-R8
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)	
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl	Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl
Pientaajuisen melun tulokset: Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen	