



SUOMEN HYÖTYTUULI OY

Tahkoluodon merituulipuiston laajennus, melumallinnus

101013470-005

Tekijä  
Carlo Di Napoli/Johtava asiantuntija  
Osasto  
Kestävä Kehitys ja Ilmastonmuutos

pvm  
10/02/2022  
Projektinumero  
101013470-005

Asiakas

Suomen Hyötytuuli Oy

Tahkoluodon merituulipuiston laajennus

Melumallinnuksen päivitys 02-2022

## Sisällys

1	Johdanto .....	6
1.1	Ympäristömelu .....	6
1.2	Tuulivoimamelu .....	6
1.3	Vertailuohjeavot ulkona .....	8
1.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa .....	8
2	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät .....	9
2.1	Digitaalikärtta-aineisto .....	9
2.2	Mallinnetut tuulivoimamallit .....	9
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit .....	10
2.4	Melumallinnuksen laskentaparametrit .....	11
2.5	Pienitaajuisten melun laskenta .....	12
3	Mallinnustulokset .....	13
3.1	Ulkomelumallinnus, Laajennusosa .....	13
3.2	Ulkomelumallinnus, yhteismelu .....	14
3.3	Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa .....	15
3.4	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen .....	16
3.5	Vaikutusten seuranta .....	16
4	Lähteet .....	17

## Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. Melumallinnuskartta, Laajennusosa

Liite 3. Melumallinnuskartta, Yhteismelumallinnus

Liite 4. Pientaajuisten melun numeeriset tulokset ulkona ja sisätiloissa

Liite 5. Koostetaulukko, laskennan parametrit ja laskentatulokset

## Kuvat ja taulukot

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

Taulukko 2-1. Melumallinnuksen lähtötiedot.....	10
Taulukko 2-2. Voimalan äänipäästö lisättynä +2 dB:n epävarmuudella [dB]. .....	10
Taulukko 2-3. Pientaajuisen melun äänipäästö lisättynä +2 dB:n epävarmuudella [dB]. ...	10
Kuva 2-1. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit .....	11
Taulukko 2-4. Laskennan parametrit.....	11
Kuva 3-1. Melumallinnuskartta, Tahkoluodon laajennushanke.....	13
Taulukko 3-1. Melumallinnuksen tulokset lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä. ....	14
Kuva 3-2. Melumallinnuskartta, nykytila ja laajennus .....	14
Taulukko 3-2. Melumallinnuksen tulokset lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä, nykytila + laajennushanke. ....	15
Kuva 3-3. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10, Laajennus .....	16
Kuva 3-4. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10, Nykytila + Laajennus .....	16
Kuva 3-5. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta $f_T$ ja ääneksen erottuvuudesta $A_T$ . (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta $f_m$ ja modulaatiosyvyydestä $D_m$ . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta $R_{on}$ ja tasoerosta $DL$ (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykkinnän sanktiomenettelyä. ....	17

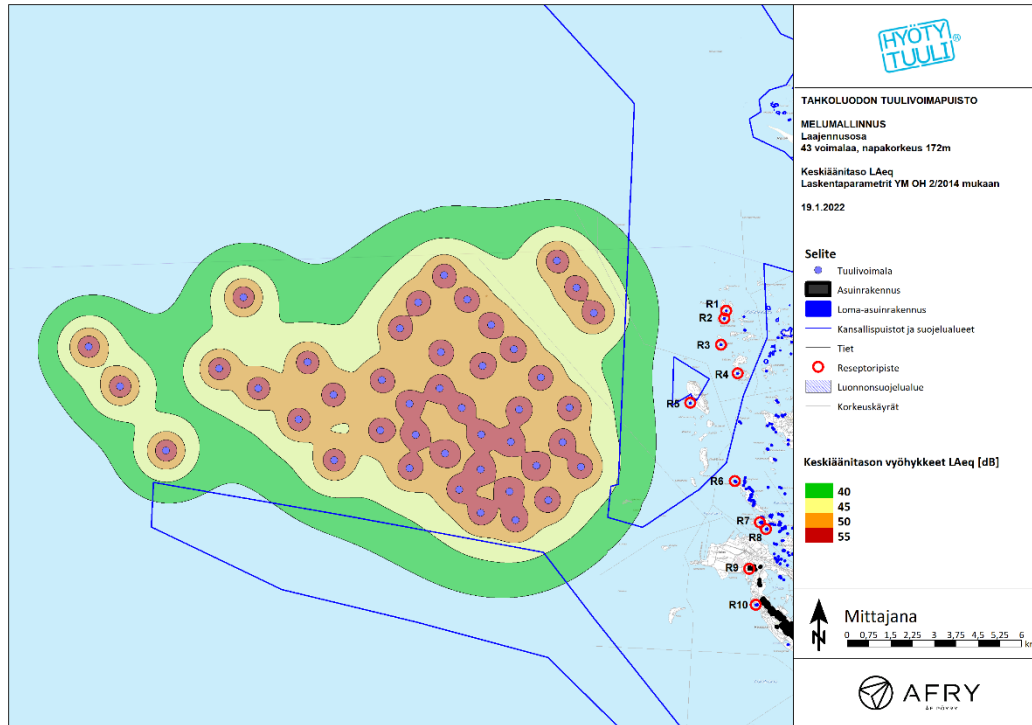
## Yhteenveto

Suomen Hyötytuuli Oy suunnittelee Tahkoluodon merituulipuiston laajennusta Porissa. Hankealue sijaitsee Porin edustalla merialueella, lähimmillään noin 4 kilometrin etäisyydellä Tahkoluodosta ja 30 kilometriä Porin keskustasta luoteeseen. Alue rajautuu pohjoisessa Merikarvian kunnanrajaan. Lähimmät vakituiset asuinrakennukset sijaitsevat Tahkoluodossa noin 5 kilometrin etäisyydellä hankealueesta itään ja lähimmät lomaa-asuinrakennukset Iso-Enskerissä noin 4,2 kilometrin etäisyydellä hankealueen itäpuolella. Tässä raportissa käsitellään vedenpäällisen melun leviämisen mallinnusmenettelyt ja tulokset ja raportti on valmisteltu Tahkoluodon merituulivoimapuiston osayleiskaavan laadintaa varten.

Ympäristöministeriön ohjeiden 2/2014 mukaisesti toteutetun ylärajalaskennan mukaan 43 voimalan hankevaihtoehdoilla nykytilan kanssa laskennalliset ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen lähimmissä altistuvissa kohteissa. Reseptoristelaskennan perusteella suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä R9, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus, on noin 39 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

40 dB:n meluvyöhyke ei ulotu Selkämeren kansallispuistoon sisältyvään Iso-Enskerin saareen asti, jonne on rakennettu virkistyskäyttöä palvelevia polkuja ja rakenteita. 40 dB:n meluvyöhyke käsittää jo nykytilassa Hylkiriutan. Yhteismelualue ulottuu osittain Silakkariutalle asti. Näillä riutoilla ei sijaitse virkistyskäyttöä palvelevia polkuja ja muita rakenteita. Kansallispuistoihin sovellettava melutason ohjearvo 40 dB ylittyy Selkämeren kansallispuiston alueella Tahkoluodon satama-alueen, meriliikenteen ja tuulivoimamelun vuoksi jo tälläkin hetkellä. Kysymyksessä ei siten ole erityisen hiljainen alue, jonka olosuhteisiin melu aiheuttaisi olennaisia muutoksia. Tuulivoimameluasetuksen ohjearvojen tarkoituksena on ensisijaisesti ihmisten suojeleminen. Myös kansallispuistoja koskevan ohjearvon tarkoitus on ensisijaisesti ihmisten suojeleminen. Tarkoituksena on suojella kansallispuistossa oleskelevia ja liikkuvia ihmisiä melulta. Lähin retkeily- ja luontomatkavyöhykkeeseen kuuluva alue on Iso-Enskerin saari, joka sijoittuu 40 dB(A)

melualueen ulkopuolelle. Kansallispuiston tuulivoimaloiden melulle altistuvan alueen merkitys virkistyskäytön kannalta ei ole merkittävä.



Pienitaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmastieristävyyden vaatimus olisi noin 12 dB taajuusalueella 200 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä asuinrakennuksen vaipan rakenteella. Pienitaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty suomalaisten pientalojen ilmastieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittausohjelman tuloksista.

Rakentamisen jälkeen käyttövaiheen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaassa YM OH 3-4/2014 soveltuvin osin. Vaikka tuulivoimalat sijaitsevat merellä, on mittauksin mahdollista todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja tuulivoimamelun ohjearvoihin, missä ohjearvovertailu tehdään YM:n ohjeen 1/1995 mukaisesti. Rannikon taustamelutason peittovaikutuksesta johtuen mittausten suoritus vaatii kuitenkin huolellisen mittaustajärjestelyn ja olosuhteet, jotka edesauttavat mitattavan signaalin luotettavaa tallennusta referenssituulenopeudella 8 m/s 10m:n korkeudella mahdollisimman korkealla signaali-kohinasuhteella. Tutkimuksissa on osoitettu että yli 10 dB korkeampi taustamelutaso suhteessa mitattavaan tuulivoimameluun käytännössä peittää kokonaan tuulivoimamelun signaalin tarkkuuden (Bolin, 2012). Tulokset, joissa siis esiintyy voimakasta taustamelua, ei voi siten käyttää arvioitaessa tuulivoimamelun voimakkuutta mittauspisteessä.

# 1 Johdanto

Suomen Hyötytuuli Oy suunnittelee Tahkoluodon merituulipuiston laajennusta Porissa. Hankealue sijaitsee Porin edustalla merialueella, lähimmillään noin 4 kilometrin etäisyydellä Tahkoluodosta ja 30 kilometriä Porin keskustasta luoteeseen. Alue rajautuu pohjoisessa Merikarvian kunnanrajaan. Lähimmät vakituiset asuinrakennukset sijaitsevat Tahkoluodossa noin 5 kilometrin etäisyydellä hankealueesta itään ja lähimmät lomaa-asuinrakennukset Iso-Enskerissä noin 4,2 kilometrin etäisyydellä hankealueen itäpuolella. Tässä raportissa käsitellään vedenpäällisen melun leviämisen mallinnusmenettelyt ja tulokset ja raportti on valmisteltu Tahkoluodon merituulivoimapuiston osayleiskaavan laadintaa varten.

## 1.1 Ympäristömelu

Ääni on aaltoliikettä, joka tarvitsee väliaineen välittyäkseen eteenpäin. Ilmassa äänellä on nopeus, joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksista riippuen. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa.

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

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle käytetään referenssipainetta 20  $\mu\text{Pa}$  ilmalle sekä 1  $\mu\text{Pa}$  vedelle. Tällöin 1 Pa:n paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä ilmassa ja vastavasti vedessä 120 dB. (ISO 226:2003). Vertailun vuoksi ilmanpaineen normaaliarvo merenpinnalla on 101 325 Pa.

Ääniaallon nopeus on nopeus, jolla värähtely liikkuu väliaineen läpi. Ääni liikkuu nopeammin vedessä (1500 m/s) kuin ilmassa (noin 340 m/s), koska veden mekaaniset ominaisuudet eroavat ilmakehän vastaavista ominaisuuksista. Myös lämpötila vaikuttaa äänen nopeuteen. Ääni kulkee nopeammin lämpimässä ilmassa/vedessä kuin kylmässä.

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

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

## 1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiäänien vedenpinnan yläpuolella ilmakehässä koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden





Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulenoisuus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 150 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulenoisuuden 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 serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

### 1.3 Vertailuohjeet ulkona

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimamelun ohjeista tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitason ohjeet LAeq tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

Taulukko 1-1. Tuulivoimamelun ohjeet ulkona, LAeq

Tuulivoimamelun ohjeet	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 kapeakaista melulle altistuvalla alueella, valvonnan yhteydessä saatuun mittaustulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista asetuksen 3 §:ssä säädettyihin arvoihin.

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

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

### 1.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

Taulukko 1-2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
<i>Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat</i>		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB (25 dB)
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB

<i>Kokoontumis- ja opetushuoneistot</i>		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
<i>Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)</i>		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

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

*Taulukko 1-3. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusväillä 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. Mallinnuksen ohjeena toimii Ympäristöministeriön melumallinnusohje YM OH 2/2014.

### 2.1 Digitaal kartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaal kartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,3 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten, teiden, kansallispuistojen ja suojelalueiden paikkatiedot sekä asuntojen käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

### 2.2 Mallinnetut tuulivoimalamallit

Mallinnus suoritettiin hankkeen suunnitelmien mukaiselle merituulivoimalamallille (11-20 MW), jonka äänipäästön maksimiarvona käytettiin 114,6 dB, napakorkeutena 172 m ja kokonaiskorkeutena 310 m. Melun lähtöarvot arvioitiin suurimman jo rakennetun merituulivoimalan perusteella melutasoa ylöspäin skaalaamalla, josta oli saatavilla mittaus-tietoa. Voimalan kokonaiskorkeudella (siipi yläasennossa) ei ole vaikutuksia melumallinnuksessa, sillä mallinnus suoritetaan ohjeen mukaan voimalan napakorkeudelle.

Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty taajuusjakaumaa oktaaveittain taajuusvälillä 63 Hz – 8 000 Hz, sillä geneeriselle voimalalle ei ole muuta tietoa käytettävissä. Lisäksi laskennassa käytetään äänipäästön varmuusarvoa K = +2 dB Ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti uusille, vielä tyyppitestaamattomille voimaloille (YM9/5511/2016). Siten laskennassa käytetty äänipäästön kokonaisarvo on 116,6 dB.

Vertailun vuoksi uusilla 6 MW:n serraatiosiipisillä maatuulivoimaloilla äänipäästön ta-  
 kkuarvo on asetunut noin 105 dB:n tasolle (Vestas, 2020).

Taulukko 2-1. Melumallinnuksen lähtötiedot

Valmistaja	Lukumäärä [kpl]	Nimellisteho [MW]	Napakorkeus [m]	Äänitehotaso LWA [dB]
Geneerinen	30	20	172	114,6 dB +2 dB
Siemens	1	4	80	107 dB (toiminnassa)
Siemens	10	4	90,74	110 dB (toiminnassa)
WWD3	2	3	90, 100	106,4 dB (toiminnassa)
Bonus	1	2	80	105 dB (toiminnassa)
Bonus	3	1	50	103 dB (toiminnassa)

Taulukko 2-2. Voimalan äänipäästö lisättynä +2 dB:n epävarmuudella [dB].

Freq./Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	YHT
Lw	97,2	104,9	106,9	111,0	112,2	107,8	103,0	93,5	116,6

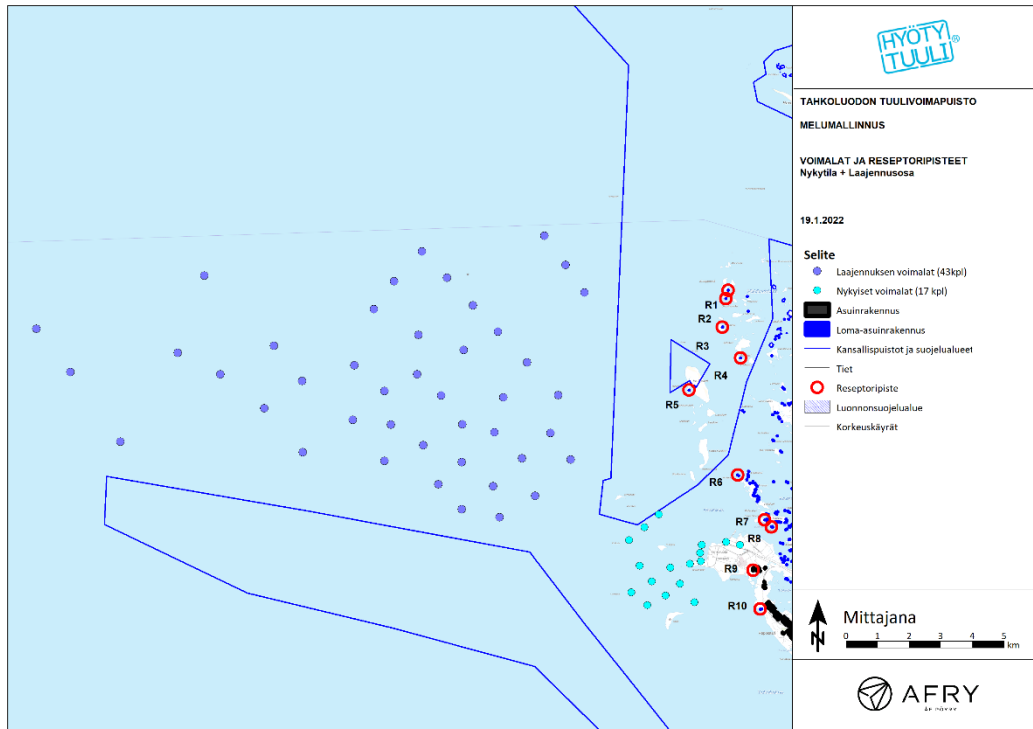
Taulukko 2-3. Pientaajuisten melun äänipäästö lisättynä +2 dB:n epävarmuudella [dB].

Freq./Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Lw	120,3	119,7	118,6	117,5	116,9	116,2	115,2	114,2	114,4	111,1	112,1

## 2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa sekä liitteessä 1 on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit kartalla. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.

Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä laskennassa on 43 voimalaa. Lisäksi yhteismelumallinnuksessa otetaan huomioon toiminnassa olevat merituulivoimalat sekä lähimmät maatuulivoimalat, jolloin nykytila + laajennushankkeen voimaloiden lukumäärä on 60 voimalaa.



Kuva 2-1. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R10 sijainnit

## 2.4 Melumallinnuksen laskentaparametrit

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

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö oktaavikaistan resoluutiolla, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Rakennusten aiheuttamaa äänen varjostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaakenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioiduilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 7.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit (Ympäristöministeriö, 2007). Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 2-4. Laskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	Standardi ISO 9613-2, ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2. Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl

Lähtötieto	Parametrit
	4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 84%:n ja 90% persentiilit (Keränen et al., 2017, 2019)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2020), topografian pystyresoluutiona on 0.3m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkko-laskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Tuulennopeus	n.12,3 m/s 172m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella maanpinnan karheudella 0,05m (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	Kpl 2.2, oktaaveittain 63 Hz – 8 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.4 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten digitaalikartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2). Laskenta-alueen kokonaispinta-ala on yhteensä noin 700 km <sup>2</sup>
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

## 2.5 Pientaajuisten melun laskenta

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

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmastieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017, 2019).

Pientalojen ilmastieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin 84%:n ja 90 % persenttiarvoina (ks. liite 5), siten että 84%:n persenttiä käytetään asuinrakennuksiin ja 90% persenttiä lomaa-asuinrakennuksiin. Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. YM:n ohjeen mukainen taajuusalue on 20-200Hz.

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa LAeq ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisten melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n

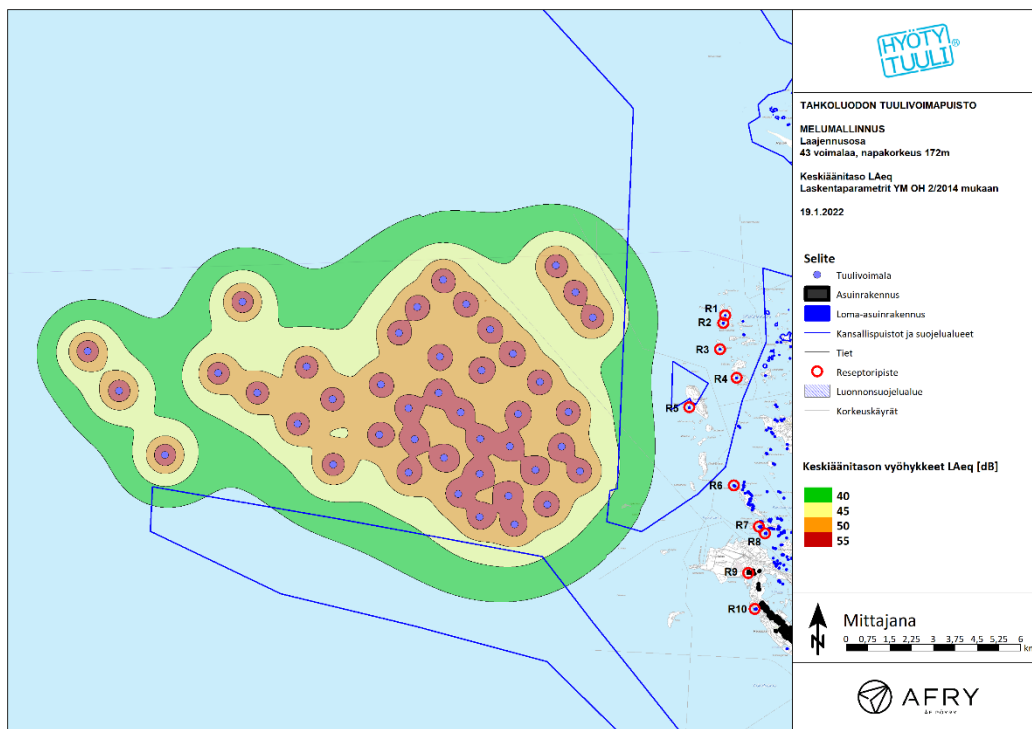
asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

### 3 Mallinnustulokset

Digitaaliseen topografiakartalle laskettu melun leviäminen Tahkoluodon laajennuksen voimaloista on esitetty alla olevissa melukartoissa sekä suurempina kuvina liitteessä 2-3. Yhteismelumallinnuksen tulokset on esitetty kappaleessa 3.2 ja suurempina kuvina liitteissä 3. Pienitaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

#### 3.1 Ulkomelumallinnus, Laajennusosa

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen laajennusosalle. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja vaaleankeltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 3-1. Melumallinnuskartta, Tahkoluodon laajennushanke

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n LAeq melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (ks. taulukko 3-1), suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä R5, jonka käyttötarkoituksena on merkitty loma-asuinrakennus, on noin 36 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona. 40 dB:n melualue ei ulotu Selkämeren kansallispuiston Iso-Enskerin saareen asti.

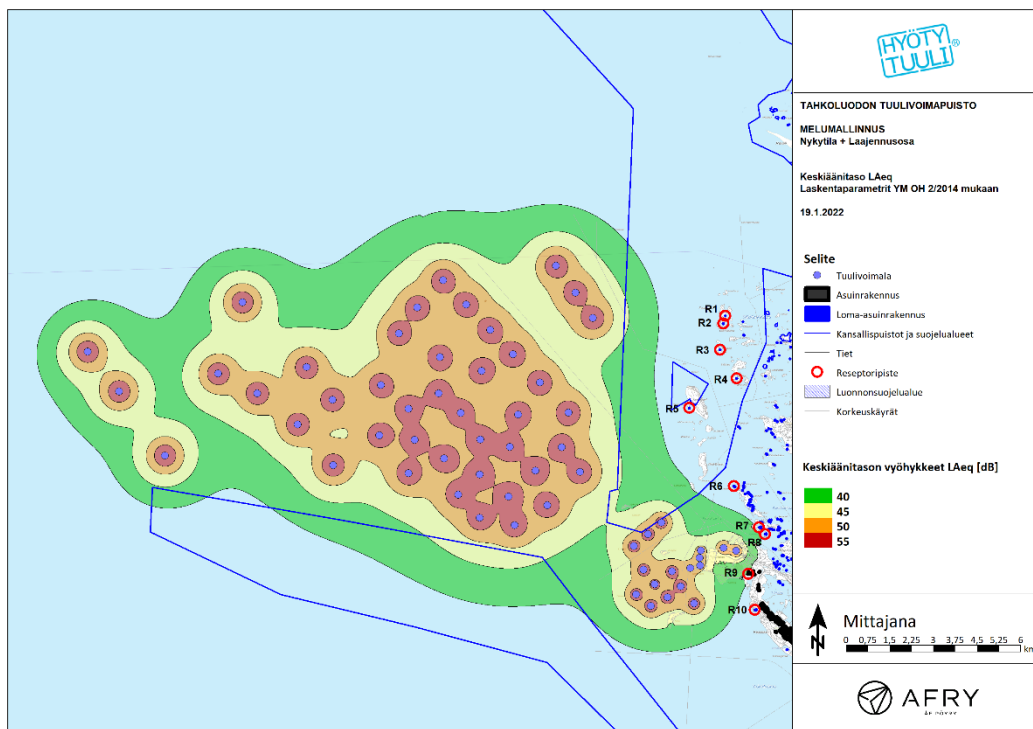
Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

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

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq		Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	
<b>R1</b>	loma-asuinrakennus	33,4		<b>R6</b>	loma-asuinrakennus	32,8	
<b>R2</b>	loma-asuinrakennus	33,9		<b>R7</b>	loma-asuinrakennus	27,5	
<b>R3</b>	loma-asuinrakennus	33,5		<b>R8</b>	loma-asuinrakennus	30,5	
<b>R4</b>	loma-asuinrakennus	32,2		<b>R9</b>	asuinrakennus	26,2	
<b>R5</b>	loma-asuinrakennus	36,4		<b>R10</b>	loma-asuinrakennus	26,2	

### 3.2 Ulkomelumallinnus, yhteismelu

Yhteismelumallinnus suoritettiin nykyisille toiminnassa oleville voimaloille sekä Tahkoluodon laajennukselle. Muiden alueen tuulivoimaloiden katsottiin olevan liian etäällä reseptoripisteistä, jotta niiden vaikutus nähtäisiin laskentatuloksissa.



Kuva 3-2. Melumallinnuskartta, nykytila ja laajennus

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

Taulukko 3-2. Melumallinnuksen tulokset lähimmissä altistuvissa kohteissa ulkona reseptoripisteissä, nykytila + laajennushanke.

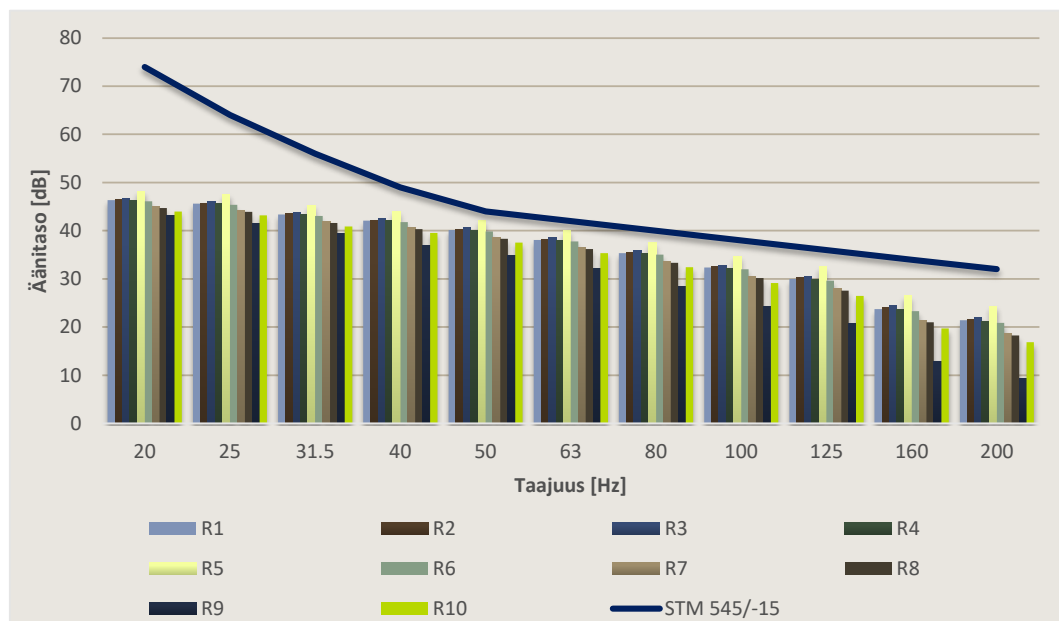
Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus
<b>R1</b>	loma-asuinrakennus	33,7	<b>R6</b>	loma-asuinrakennus	37,0		
<b>R2</b>	loma-asuinrakennus	34,2	<b>R7</b>	loma-asuinrakennus	38,0		
<b>R3</b>	loma-asuinrakennus	33,8	<b>R8</b>	loma-asuinrakennus	38,5		
<b>R4</b>	loma-asuinrakennus	33,1	<b>R9</b>	asuinrakennus	39,4		
<b>R5</b>	loma-asuinrakennus	37,1	<b>R10</b>	loma-asuinrakennus	35,5		

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n LAeq meluvyöhyke ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella suurin keskiäänitaso LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä R9, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty asuinrakennus, on noin 39 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

40 dB:n meluvyöhyke ei ulotu Selkämeren kansallispuistoon sisältyvään Iso-Enskerin saareen asti, jonne on rakennettu virkistyskäyttöä palvelevia polkuja ja rakenteita. 40 dB:n meluvyöhyke käsittää jo nykytilassa Hylkiriutan. Yhteismelualue ulottuu osittain Silakkariutalle asti. Näillä riutoilla ei sijaitse virkistyskäyttöä palvelevia polkuja ja muita rakenteita. 40 dB:n keskiäänitaso ylittyy myös yhteismallinnuksen perusteella Tahkoluodon satama-alueen, meriliikenteen ja tuulivoimamelun vuoksi jo tälläkin hetkellä.

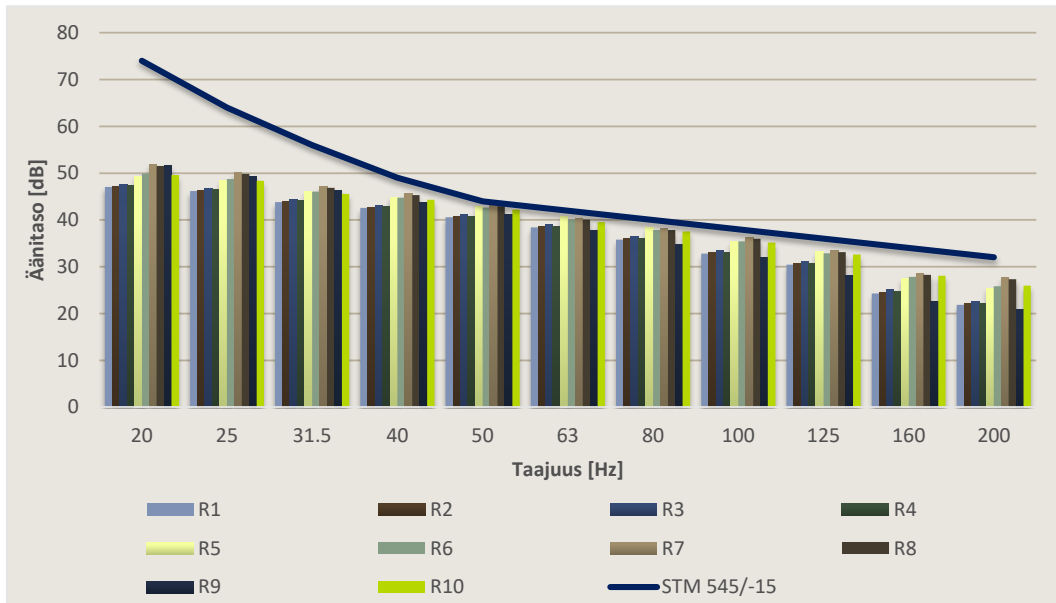
### 3.3 Pienitaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pienitaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuuusvälillä 20-200Hz. 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. Pienitaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10, Laajennus



Kuva 3-4. Pienitaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R10, Nykytila + Laajennus

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvoista sekä tuulivoimalan meluemission lisäepävarmuudesta +2 dB. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi noin 12 dB taajuusalueella 200 Hz (Nykytila+Laajennusosa) reseptoripisteessä R9, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Kirjallisuuden perusteella asuinrakennusten äänieristys 200Hz:n taajuudella on keskimäärin noin 18-26 dB (Keränen 2019, Petersen 2016).

### 3.4 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

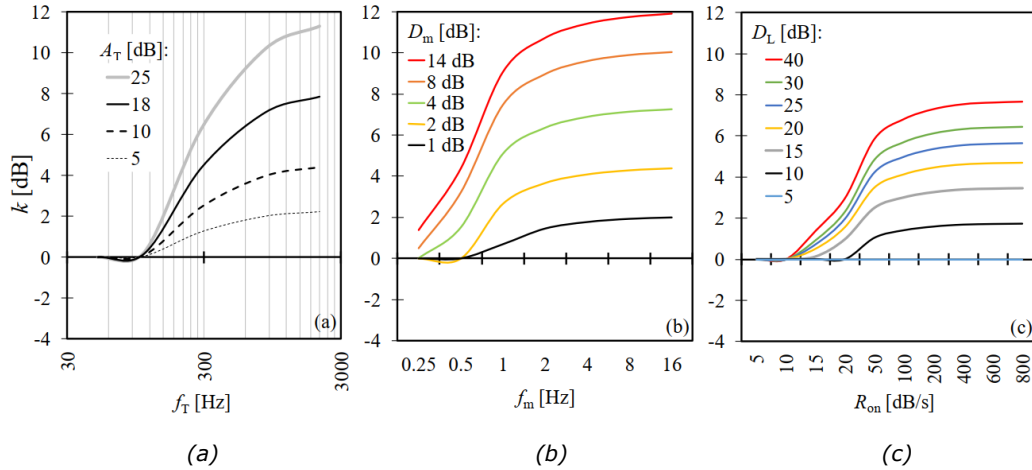
Meluvaikutusten laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaoidituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä noin 3-5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä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

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnuksen perusteella tarvetta meluoptimointiajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

### 3.5 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeen käyttövaiheen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaassa YM OH 3-4/2014 soveltuvin osin. Ohjeen julkaisemisen jälkeen on kuitenkin saatu runsaasti uutta tietoa koskien mm.

sanktiomenettelyjä esim. Anojanssi -tutkimushankkeesta (Keränen et al., 2019). Mahdollisen valvonnan yhteydessä tehtävien melumittaustulosten analyysissä suositellaan hyödynnettävien ko. tuloksia (ks. kuvat 3-5 (a)-(c) alla).



Kuva 3-5. (a) Kapeakaistamelun sanktion  $k$  riippuvuus ääneksen taajuudesta  $f_T$  ja ääneksen erotuvuudesta  $A_T$ . (b) Amplitudimoduloitun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta  $f_m$  ja modulaatiosyvyydestä  $D_m$ . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta  $R_{on}$  ja taasoerosta  $D_L$  (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinnän sanktiomenettelyä.

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

Vaikka tuulivoimalat sijaitsevat merellä, on mittauksin mahdollista todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja tuulivoimamelun ohjearvoihin, missä ohjearvovertailu tehdään YM:n ohjeen 1/1995 mukaisesti. Rannikon taustamelutason peittovaikutuksesta johtuen mittausten suoritus vaatii kuitenkin huolellisen mitausjärjestelyn ja olosuhteet, jotka edesauttavat mitattavan signaalin luotettavaa tallennusta referenssituulennopeudella 8 m/s 10m:n korkeudella mahdollisimman korkealla signaali-kohinasuhteella. Tutkimuksissa on osoitettu että yli 10 dB korkeampi taustamelutaso suhteessa mitattavaan tuulivoimameluun käytännössä peittää kokonaan tuulivoimamelun signaalin tarkkuuden (Bolin, 2012). Tulokset, joissa siis esiintyy voimakasta taustamelua, ei voi siten käyttää arvioitaessa tuulivoimamelun voimakkuutta mittauspisteessä.

## 4 Lähteet

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

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

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

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

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

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

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

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

Keränen, J. Hakala, J. Hongisto, V. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. Turku University of Applied Sciences. Building and Environment 156 (2019), s.12-20. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.061>

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

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

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

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

Petersen, C.M. Sondergaard, B. Low frequency sound insulation (8-200Hz), mapping and improvement of existing houses. Sweco Denmark, 2016.

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

STM asetus 545/2015, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksesta. Helsinki, 2015.

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeistoista

[https://www.vestas.com/en/products/enventus\\_platform/v162-6\\_0\\_mw#!technical-specifications](https://www.vestas.com/en/products/enventus_platform/v162-6_0_mw#!technical-specifications). Vestas Wind Systems A/S, 2020.

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

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016.

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

*Voimaloiden koordinaatit.*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
<b>01</b>	195980,5	6853208,2	0	172m
<b>02</b>	194363,8	6854911,3	0	172m
<b>03</b>	193574,6	6855742,7	0	172m
<b>04</b>	194893,6	6852634,4	0	172m
<b>05</b>	193417,8	6851858,9	0	172m
<b>06</b>	197884,2	6851202,7	0	172m
<b>07</b>	196899,7	6852239,9	0	172m
<b>08</b>	196740,1	6849209,3	0	172m
<b>09</b>	195820,7	6848321,0	0	172m
<b>10</b>	197156,6	6848016,8	0	172m
<b>11</b>	196026,2	6847341,3	0	172m
<b>12</b>	194834,8	6847587,8	0	172m
<b>13</b>	194089,9	6848383,4	0	172m
<b>14</b>	191384,7	6850420,6	0	172m
<b>15</b>	192592,6	6850266,7	0	172m
<b>16</b>	193613,0	6849624,0	0	172m
<b>17</b>	194183,9	6851187,9	0	172m
<b>18</b>	194854,1	6850281,8	0	172m
<b>19</b>	193462,7	6853109,2	0	172m
<b>20</b>	192385,8	6851338,4	0	172m
<b>21</b>	195188,9	6854042,0	0	172m
<b>22</b>	194827,3	6849080,6	0	172m
<b>23</b>	196153,7	6851134,3	0	172m
<b>24</b>	189797,3	6849399,1	0	172m
<b>25</b>	188579,8	6850790,6	0	172m
<b>26</b>	189776,7	6851644,5	0	172m
<b>27</b>	191435,7	6852148,0	0	172m
<b>28</b>	188882,9	6852761,1	0	172m
<b>29</b>	192051,6	6853917,9	0	172m
<b>30</b>	192686,0	6854806,7	0	172m
<b>31</b>	182448,4	6851931,6	0	172m
<b>32</b>	187194,0	6851862,0	0	172m
<b>33</b>	192391,0	6849121,1	0	172m
<b>34</b>	184024,3	6849729,8	0	172m
<b>35</b>	186681,3	6854990,0	0	172m

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
<b>36</b>	185848,5	6852538,8	0	172m
<b>37</b>	181366,3	6853297,3	0	172m
<b>38</b>	198717,2	6854445,2	0	172m
<b>39</b>	197451,7	6856241,2	0	172m
<b>40</b>	198119,2	6855315,3	0	172m
<b>41</b>	197645,1	6850011,5	0	172m
<b>42</b>	195864,8	6850028,0	0	172m
<b>43</b>	198277,5	6849165,3	0	172m

*Reseptoripisteiden R1-R10 koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
<b>R1</b>	203260	6854522	0	4m
<b>R2</b>	203190	6854258	0	4m
<b>R3</b>	203082	6853357	0	4m
<b>R4</b>	203652	6852378	0	4m
<b>R5</b>	202024	6851361	3	4m
<b>R6</b>	203561	6848679	2	4m
<b>R7</b>	204421	6847260	2	4m
<b>R8</b>	204630	6847035	2	4m
<b>R9</b>	204049	6845671	3	4m
<b>R10</b>	204278	6844434	3	4m

## Liite 4. Pientaajuisen melun tulokset

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset reseptoripisteissä ulkona, Leq [dB]*

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	52,4	51,6	50,3	49,1	48,2	47,1	45,3	43,3	42,0	36,8	35,4
<b>R2</b>	52,5	51,8	50,5	49,2	48,3	47,2	45,5	43,5	42,2	37,0	35,6
<b>R3</b>	52,8	52,1	50,8	49,5	48,6	47,5	45,8	43,9	42,6	37,4	36,1
<b>R4</b>	52,3	51,6	50,3	49,0	48,1	47,0	45,2	43,2	41,9	36,6	35,2
<b>R5</b>	54,2	53,5	52,2	51,0	50,1	49,1	47,4	45,6	44,5	39,4	38,3
<b>R6</b>	52,1	51,4	50,1	48,8	47,9	46,8	45,0	43,0	41,6	36,3	34,9
<b>R7</b>	50,9	50,2	48,9	47,6	46,6	45,4	43,6	41,5	39,9	34,4	32,7
<b>R8</b>	50,7	49,9	48,6	47,3	46,3	45,2	43,3	41,1	39,6	34,0	32,3
<b>R9</b>	50,7	49,9	48,6	47,3	46,3	45,1	43,3	41,1	39,5	33,9	32,2
<b>R10</b>	50,0	49,2	47,9	46,5	45,5	44,3	42,4	40,2	38,5	32,7	30,8

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset reseptoripisteissä sisällä äänitasoeron vähentämisen jälkeen [dB]*

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	46,4	45,6	43,3	42,1	40,2	38,1	35,3	32,3	30,0	23,8	21,4
<b>R2</b>	46,5	45,8	43,5	42,2	40,3	38,2	35,5	32,5	30,2	24,0	21,6
<b>R3</b>	46,8	46,1	43,8	42,5	40,6	38,5	35,8	32,9	30,6	24,4	22,1
<b>R4</b>	46,3	45,6	43,3	42,0	40,1	38,0	35,2	32,2	29,9	23,6	21,2
<b>R5</b>	48,2	47,5	45,2	44,0	42,1	40,1	37,4	34,6	32,5	26,4	24,3
<b>R6</b>	46,1	45,4	43,1	41,8	39,9	37,8	35,0	32,0	29,6	23,3	20,9
<b>R7</b>	44,9	44,2	41,9	40,6	38,6	36,4	33,6	30,5	27,9	21,4	18,7
<b>R8</b>	44,7	43,9	41,6	40,3	38,3	36,2	33,3	30,1	27,6	21,0	18,3
<b>R9</b>	43,1	41,6	39,4	37,0	34,8	32,1	28,5	24,3	20,7	12,9	9,4
<b>R10</b>	44,0	43,2	40,9	39,5	37,5	35,3	32,4	29,2	26,5	19,7	16,8

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset reseptoripisteissä ulkona, Leq [dB]*

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	53,0	52,2	50,8	49,6	48,6	47,4	45,8	43,8	42,4	37,3	35,9
<b>R2</b>	53,2	52,4	51,0	49,7	48,8	47,6	46,0	44,0	42,6	37,5	36,1
<b>R3</b>	53,6	52,8	51,4	50,1	49,2	48,0	46,4	44,5	43,1	38,1	36,7
<b>R4</b>	53,4	52,5	51,1	49,8	48,8	47,6	46,0	44,1	42,7	37,7	36,2
<b>R5</b>	55,3	54,4	53,0	51,8	50,9	49,7	48,3	46,5	45,3	40,6	39,3
<b>R6</b>	55,9	54,7	53,0	51,7	50,6	49,1	47,9	46,4	44,9	40,8	39,9
<b>R7</b>	57,8	56,2	54,2	52,6	51,2	49,4	48,1	47,3	45,4	41,6	41,7
<b>R8</b>	57,5	55,8	53,9	52,3	50,9	49,1	47,8	47,0	45,1	41,3	41,3
<b>R9</b>	59,3	57,6	55,5	54,0	52,6	50,6	49,5	48,8	47,0	43,5	43,7
<b>R10</b>	55,6	54,4	52,6	51,3	50,2	48,5	47,5	46,1	44,6	41,1	40,0

*Pientaajuisen melulaskennan tulokset reseptoripisteissä sisällä äänitasoeron jälkeen, Leq*

Reseptori	Taajuus [Hz]										
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	47,0	46,2	43,8	42,6	40,6	38,4	35,8	32,8	30,4	24,3	21,9
<b>R2</b>	47,2	46,4	44,0	42,7	40,8	38,6	36,0	33,0	30,6	24,5	22,1
<b>R3</b>	47,6	46,8	44,4	43,1	41,2	39,0	36,4	33,5	31,1	25,1	22,7
<b>R4</b>	47,4	46,5	44,1	42,8	40,8	38,6	36,0	33,1	30,7	24,7	22,2
<b>R5</b>	49,3	48,4	46,0	44,8	42,9	40,7	38,3	35,5	33,3	27,6	25,3
<b>R6</b>	49,9	48,7	46,0	44,7	42,6	40,1	37,9	35,4	32,9	27,8	25,9
<b>R7</b>	51,8	50,2	47,2	45,6	43,2	40,4	38,1	36,3	33,4	28,6	27,7
<b>R8</b>	51,5	49,8	46,9	45,3	42,9	40,1	37,8	36,0	33,1	28,3	27,3
<b>R9</b>	51,7	49,3	46,3	43,7	41,1	37,6	34,7	32,0	28,2	22,5	20,9
<b>R10</b>	49,6	48,4	45,6	44,3	42,2	39,5	37,5	35,1	32,6	28,1	26,0



## Liite 5. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

<b>RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT</b>										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101013470-005					Raportin hyväksyntäpäivämäärä:					
Laatija: DI Carlo Di Napoli (Johtava asiantuntija/AFRY Finland Oy)					Hyväksyjä: Miia Nurminen-Piirainen (Johtava asiantuntija/AFRY Finland Oy)					
<b>MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT</b>										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.2					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2					
<b>TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)</b>										
Tuulivoimalan valmistaja: Geneerinen					Nimellisteho: 11-20 MW					
Roottorin halkaisija: 276m					Napakorkeus: 172m					
Lukumäärä: 43 kpl					Siipityyppi: Normaali					
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>										
Melupäästötiedot (LWA): 114,6 dB					Varmuusarvo K : +2,0 dB					
Taajuusjakauma										
Ks. raportin taulukot, kpl 2.2.										
Melun erityispiirteet										
Kapeakaistaisuus: Ei			Impulssimaisuus: Ei			Korkeuserokorjaus: Ei				
<b>AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>										
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70%			Lämpötila: 15 °C				
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan										
Maastomallin lähde: MML, 06/2020					Maanpinnan pystyresoluutio: 0.3 m / laserkeilausaineisto					
Maan- ja vedenpinnan absorptioon ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:			Maa-alueet:			Muut alueet (mitkä?)				
0			0.4							
<b>PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT</b>										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL84 asuinrakennuksille ja DL90 loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz dB										
DL90%										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
6 dB	6 dB	7 dB	7 dB	8 dB	9 dB	10 dB	11 dB	12 dB	13 dB	14 dB
DL84%										
8 dB	8 dB	9 dB	10 dB	12 dB	13 dB	15 dB	17 dB	19 dB	21 dB	23 dB
<b>LASKENTATULOKSET</b>										
Laskentavaihtoehdot 1 kpl, Yhteismelumalleja 1 kpl										

Laskentakartat: yht 2 kpl	Laskentavyöhykkeet [dB]: 4 kpl: 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl	Reseptoripisteet: 10 kpl, R1-R10
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	