



Eurowind Energy

**Metsomäen tuulivoimapuiston meluselvitys**

101023002-002, 22.7.2024



Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Pinja Tikka

E-mail  
[pinja.tikka@afry.com](mailto:pinja.tikka@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
002

Asiakas  
Eurowind Energy  
Neil Stewart

Päivämäärä  
22/07/2024

Projektinumero  
101023002-002

Raportin tila  
VALMIS

## Metsomäen tuulivoimapuiston meluselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	11.04.2024/ Pinja Tikka, Technical Consultant	11.04.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	
002	22.07.2024/ Pinja Tikka, Technical Consultant	22.07.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	toteutusvaihtoehdon nimeämisen muuttaminen

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen avoimien aineistojen käyttöluvien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

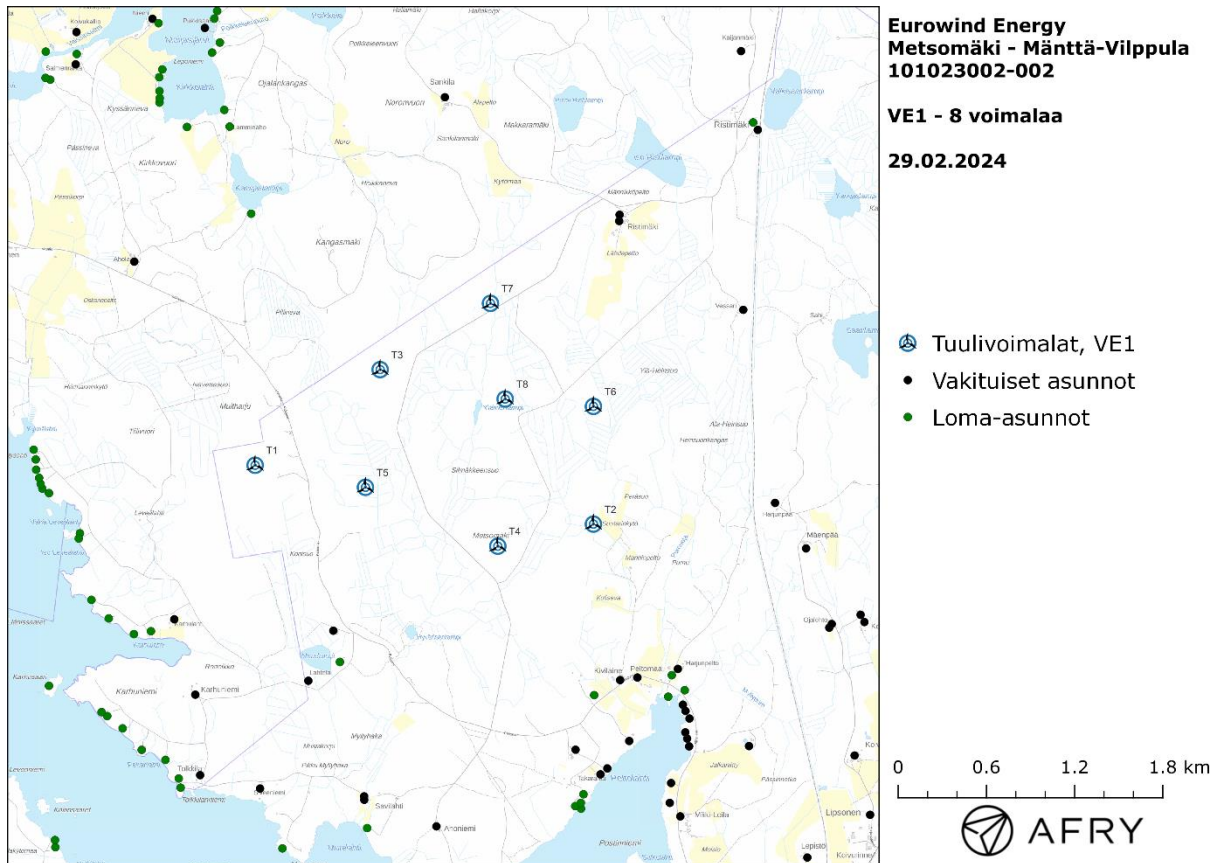
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	7
2.2	Melumallinnusohjeistus .....	8
2.3	Ohjeavot .....	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	10
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus.....	16
4	Yhteenveto .....	21
5	Viitteet.....	22
6	Melumallinnuksen tiedot.....	23

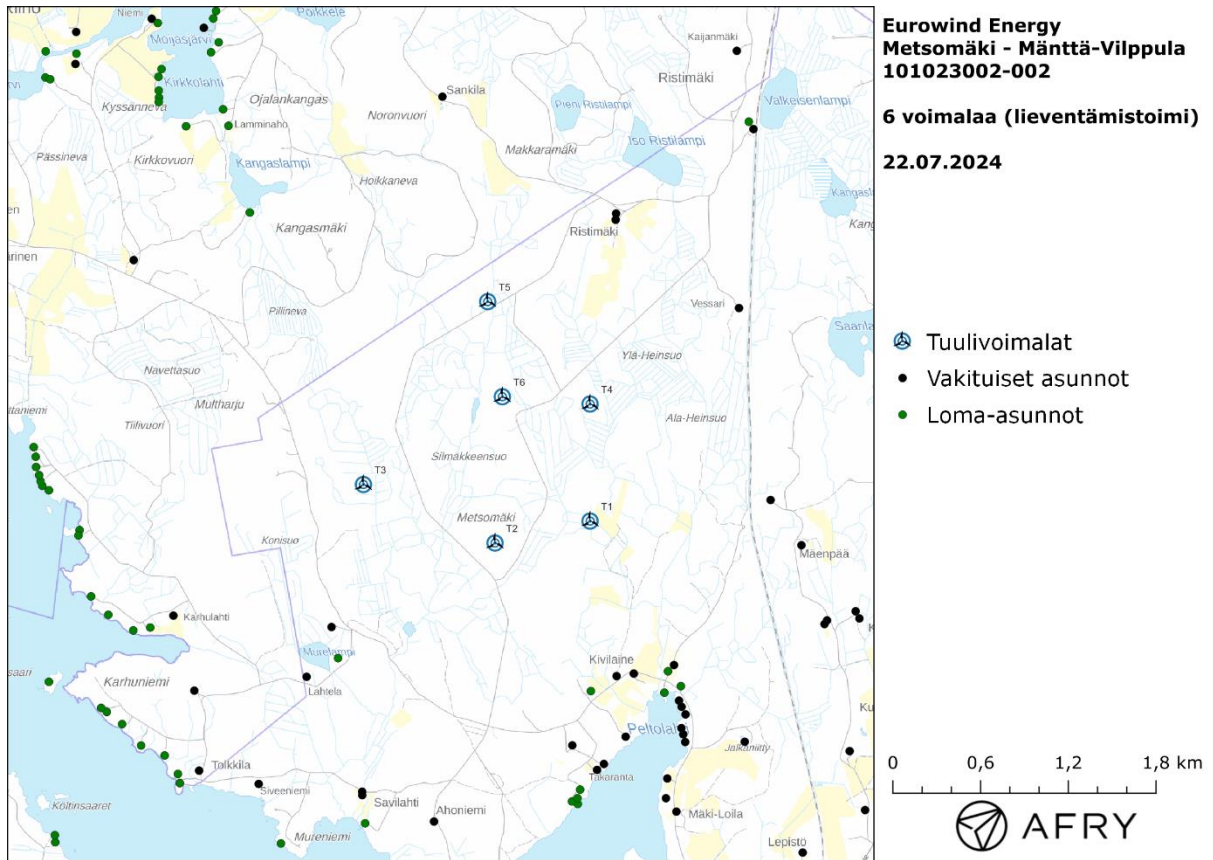
# 1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Mänttä-Vilppulan alueelle suunnitellun Metsomäen tuulivoimapaiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty sijoitussuunnitelmille VE1 (8 voimalaa) ja 6 voimalaa (lieventämisvoimi). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1 ja Taulukko 2).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 165 m ja turbiinityypin SG170 6,6 MW taajuusjakaamaa äänitehotasolla 108,0 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,0 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Metsomäen hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Metsomäen hankealueella sijoitussuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi).

*Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (8 kpl, VE1) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	366309	6896016	141
T2	368609	6895616	128
T3	367159	6896666	150
T4	367959	6895466	140
T5	367059	6895866	129
T6	368609	6896416	133
T7	367909	6897116	130
T8	368009	6896466	134

*Taulukko 2: Tuulivoimaloiden (6 kpl, lieventämistoimi) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	368609	6895616	128
T2	367959	6895466	140
T3	367059	6895866	129
T4	368609	6896416	133
T5	367909	6897116	130
T6	368009	6896466	134

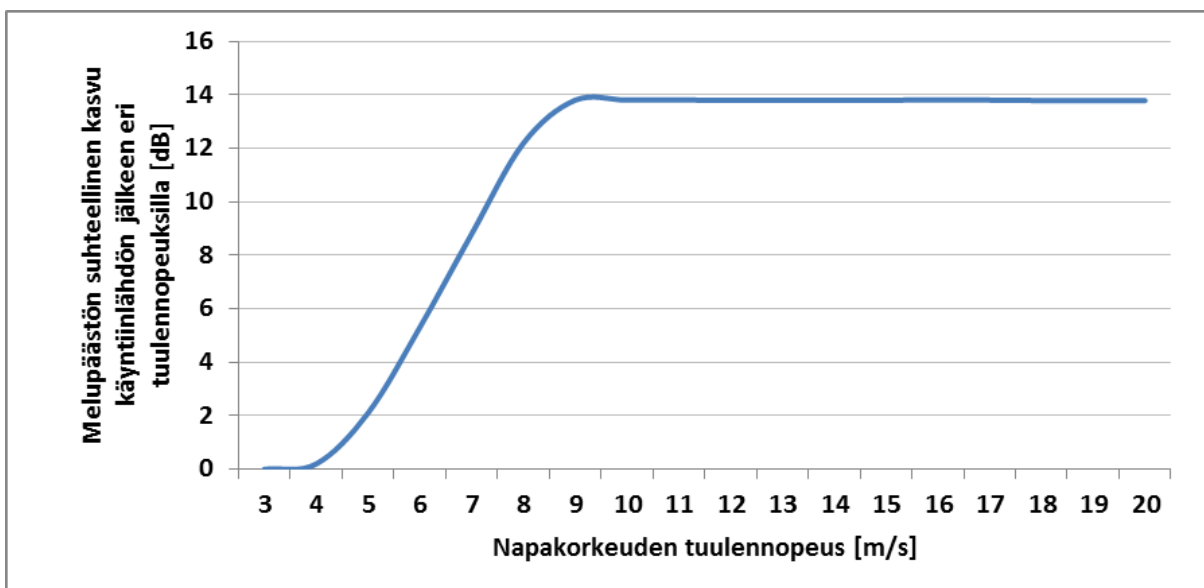
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [17].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 3).



Kuva 3: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön  $L_{WA}$  huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta,



puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa korkeudella 100 m nopeutta 12 m/s, korkeudella 160 m nopeutta 14 m/s ja korkeudella 200 m nopeutta 15 m/s.

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 tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

## 2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain 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 (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta  $L_{WA}$  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 ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka

parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

## 2.3 Ohjearvot

Valtioneuvoston 1.9.2015 voimaan astunut asetus 1107/2015 määrittää tuulivoimaloiden aiheuttaman ulkomelutason ohjearvot [9]. Päätöstä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Ohjearvot määritetään melun A-painotettuina päivä- (klo 07–22) ja yöajan (klo 22–07) ekvivalenttimelutasoina ulkoalueille asumiseen käytettävillä alueilla. Valtioneuvoston asetus korvaa aiemmat ympäristöministeriön suosittelemat suunnitteluarvot tuulivoimaloiden ulkomelutasoille [8].

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 3).

*Taulukko 3: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.*

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA <sub>eq</sub> päiväajalle (klo 7–22)	LA <sub>eq</sub> yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 4). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 4: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso $L_{eq,1h}$ [dB]	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

## 2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 4) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07-22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22-07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaissäätömallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä matalataajuisten 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 vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 7) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmastieristykseen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisten sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

## 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

### 3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty SG170 6,6 MW taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Acoustic Emission for SG 6.6-170, Rev. 0. Document ID: SG-F18.16-TR-00891\_R00. 2022-10-04.

Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin SG170 6,6 MW äänitehotaso on 106,0 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,0 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 14 m/s napakorkeudella 165 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

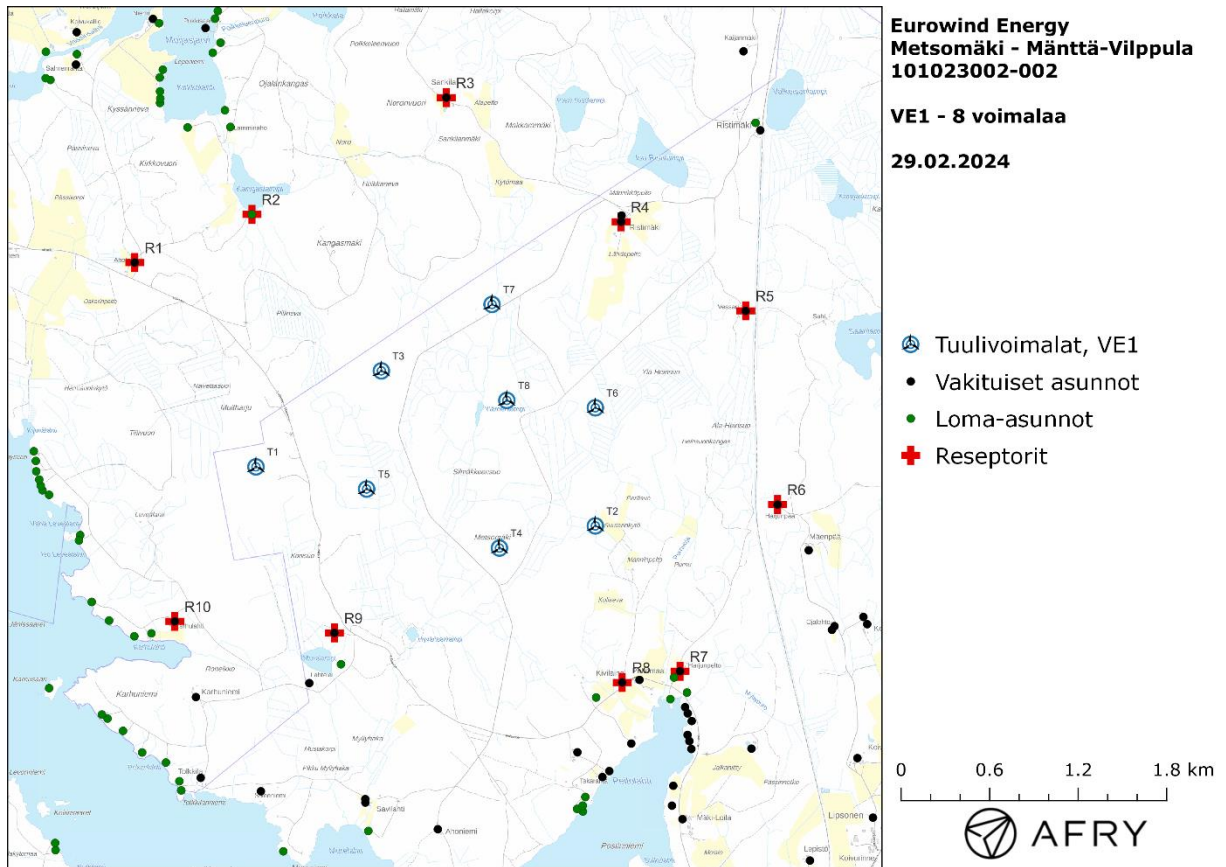
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 6 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus, äänen suuntaavuus ja sääolosuhteiden vaikutus äänen etenemiseen on määritetty ympäristöministeriön ohjeistusten mukaisesti. Tuulivoimalan sijoituspaikan ympäristössä maaston vaikutuskerroin on ollut maa-alueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Mallinnusohjeistuksen mukaisesti tuulivoimalan melupäästöön lisätään 2 dB, mikäli voimalan ja melulle altistuvan kohteen välinen korkeusero ylittää 60 m. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kymmenen vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Rakennusten sijaitsevat noin 1-1,6 km etäisyydellä sijoitussuunnitelman VE1 voimaloista, ja 1-2,2 km etäisyydellä sijoitussuunnitelman 6 voimalaa (lieventämistoimi) voimaloista.

Taulukko 5: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus	Etäisyys lähimpään voimalaan [km] VE1/ 6 voimalaa (lieventämistoimi)
R1	365489	6897398	123	vakituinen asuinrakennus	1,6 / 2,2
R2	366283	6897724	119	lomarakennus	1,4 / 1,7
R3	367600	6898515	162	vakituinen asuinrakennus	1,4 / 1,4
R4	368785	6897674	150	vakituinen asuinrakennus	1,0 / 1,0
R5	369629	6897071	135	vakituinen asuinrakennus	1,2 / 1,2
R6	369845	6895759	128	vakituinen asuinrakennus	1,2 / 1,2
R7	369184	6894630	116	vakituinen asuinrakennus	1,1 / 1,1
R8	368792	6894554	118	vakituinen asuinrakennus	1,1 / 1,1
R9	366842	6894890	120	vakituinen asuinrakennus	1,0 / 1,0
R10	365760	6894968	112	vakituinen asuinrakennus	1,2 / 1,6



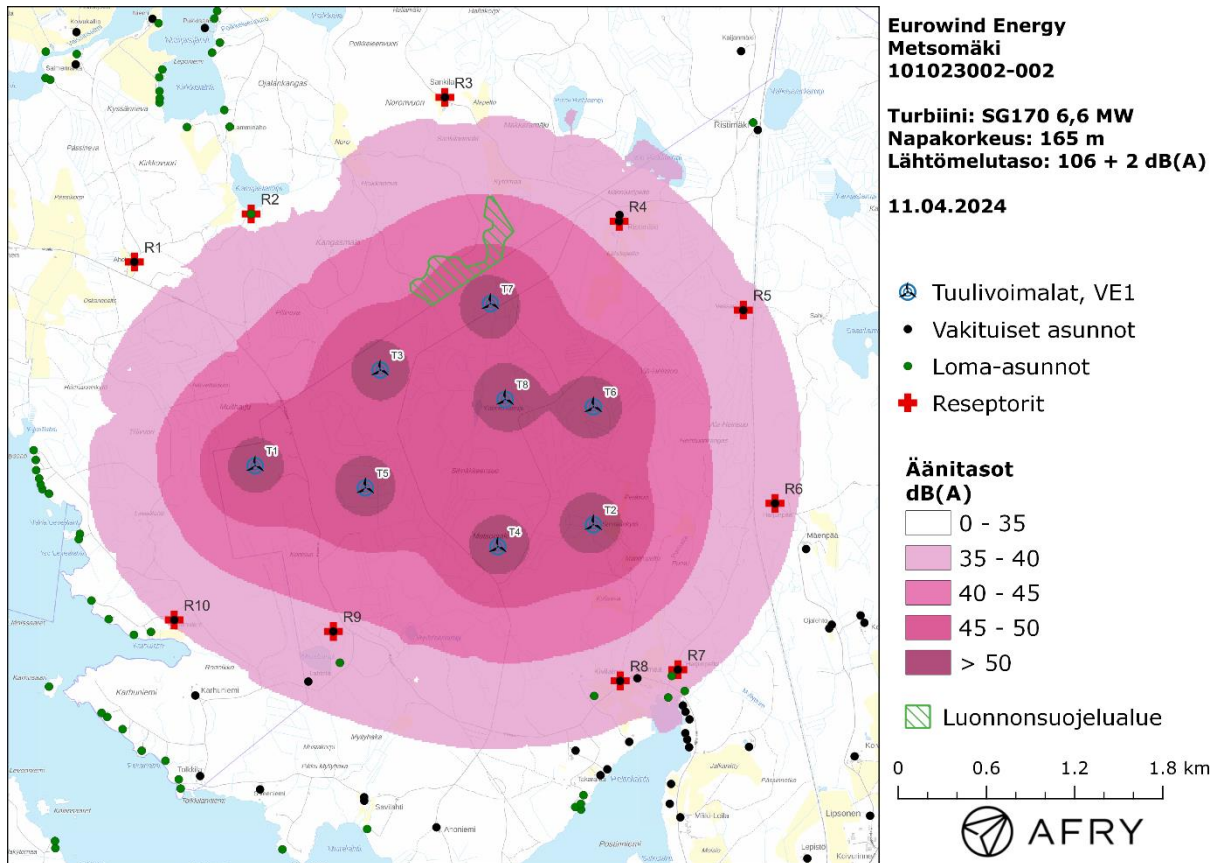
Kuva 4: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

## Meluvaikutus

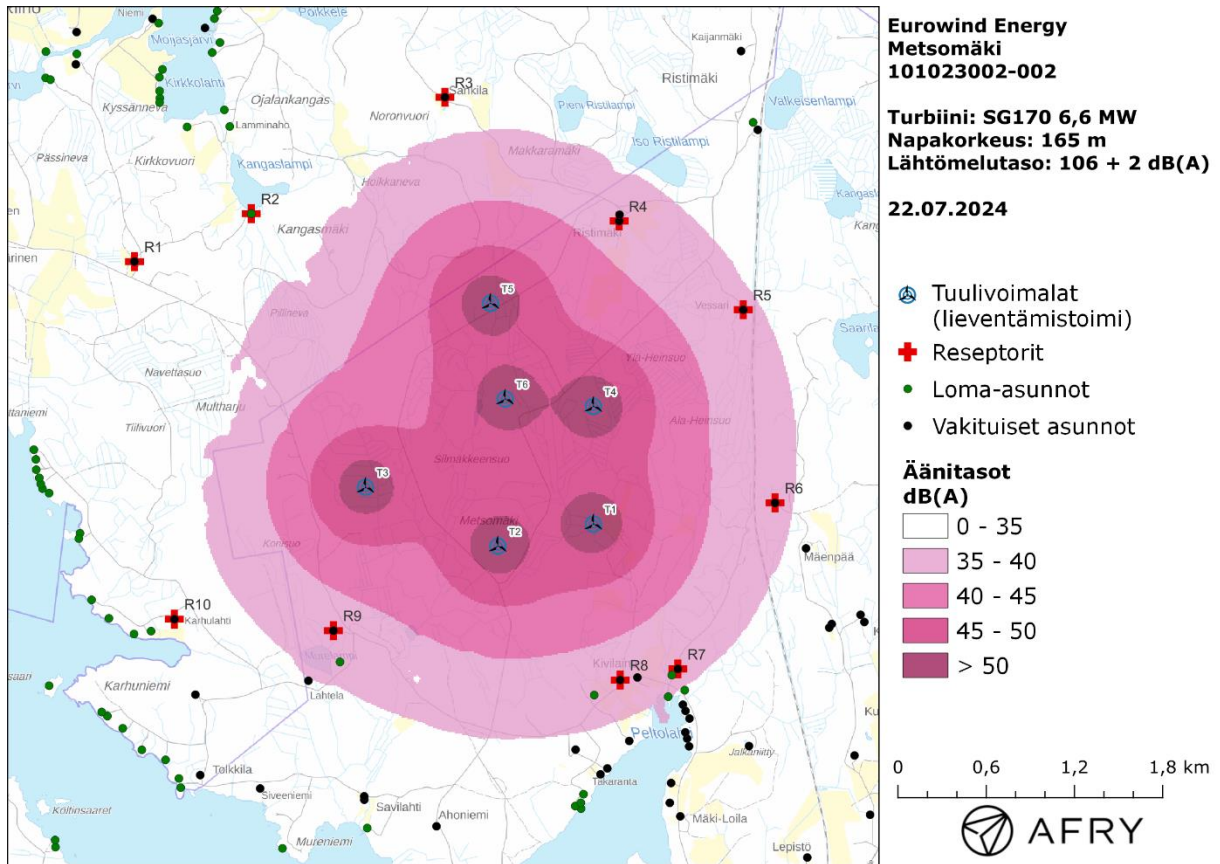
Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 5 ja Kuva 6). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 35 dB(A), 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla molemmilla sijoitussuunnitelmissa.

Karttakuvissa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa, jos niillä on merkittävää virkistyskäyttöä. Läheisellä luonnonsuojelualueella melutasot ylittävät ohjearvon. Luonnonsuojelualue sijaitsee naapurikaupungin (Keuruu) puolella.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq Metsomäen tuulivoimapaiston hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq Metsomäen tuulivoimapuiston hankealueella sijoitussuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi).



Taulukko 6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	
	VE1	6 voimalaa (lieventämistoimi)
R1	33,2	29,1
R2	34,3	29,4
R3	33,8	32,6
R4	38,1	37,7
R5	36,1	35,9
R6	36,2	36,0
R7	36,3	36,1
R8	37,4	37,1
R9	38,9	37,5
R10	35,4	31,5

### 3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

#### Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 4). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tulokinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [3], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksesta aiheutuva äänitasoero ( $\Delta L_o$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja toimenpiderajoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

*Taulukko 7: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.*

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 7) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin (Taulukko 4). Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Taulukoihin on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot. Reseptoreiden kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja ne on lueteltu taulukoissa (Taulukko 10 ja Taulukko 11).

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R9 sijoitussuunnitelmalla VE1, ja vertailurakennukseen R4 sijoitussuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi). Sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin näiden rakennusten kohdalla kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä molemmilla sijoitussuunnitelmilla VE1 ja 6 voimalaa (lieventämistoimi).

*Taulukko 8: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoittelusuunnitelmalla VE1.*

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,3	50,5	49,0	47,6	45,8	44,0	42,3	42,0	38,0	34,3	31,7
R2	53,7	51,9	50,4	49,0	47,2	45,5	43,7	43,5	39,5	35,9	33,3
R3	52,9	51,0	49,5	48,1	46,3	44,5	42,8	42,6	38,5	34,9	32,3
R4	55,4	53,6	52,1	50,7	48,9	47,2	45,5	45,3	41,3	37,8	35,3
R5	54,1	52,3	50,8	49,4	47,6	45,8	44,1	43,9	39,9	36,3	33,8
R6	54,1	52,3	50,8	49,3	47,5	45,8	44,1	43,9	39,9	36,3	33,8
R7	54,1	52,3	50,8	49,4	47,6	45,9	44,1	43,9	39,9	36,4	33,8
R8	54,9	53,0	51,5	50,1	48,3	46,6	44,9	44,7	40,7	37,2	34,7
R9	56,0	54,2	52,7	51,3	49,5	47,8	46,1	45,9	42,0	38,4	36,0
R10	53,6	51,8	50,3	48,8	47,0	45,3	43,6	43,4	39,4	35,8	33,2

*Taulukko 9: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoittelusuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi).*

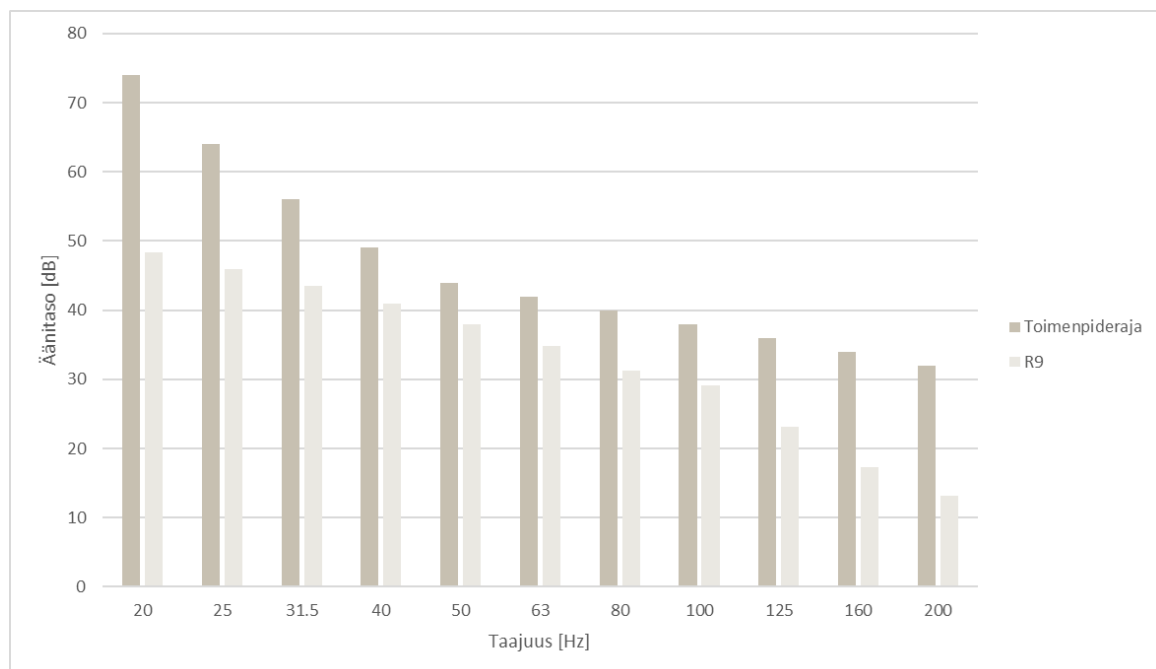
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,6	47,8	46,3	44,8	43,0	41,3	39,5	39,2	35,1	31,3	28,6
R2	51,3	49,5	48,0	46,6	44,8	43,0	41,3	41,0	37,0	33,3	30,7
R3	51,6	49,8	48,3	46,9	45,1	43,3	41,6	41,4	37,3	33,7	31,1
R4	54,8	53,0	51,5	50,1	48,3	46,6	44,9	44,7	40,7	37,2	34,8
R5	53,6	51,8	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,4	39,5	35,9	33,4
R6	53,6	51,8	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,5	39,5	36,0	33,4
R7	53,7	51,9	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,5	39,5	36,0	33,5
R8	54,4	52,6	51,1	49,7	47,9	46,2	44,5	44,3	40,3	36,8	34,3
R9	54,6	52,8	51,3	49,9	48,1	46,4	44,7	44,5	40,6	37,0	34,6
R10	50,9	49,1	47,6	46,1	44,3	42,6	40,8	40,6	36,5	32,9	30,2

*Taulukko 10: Matalataajuisen sisämelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoittelusuunnitelmalla VE1.*

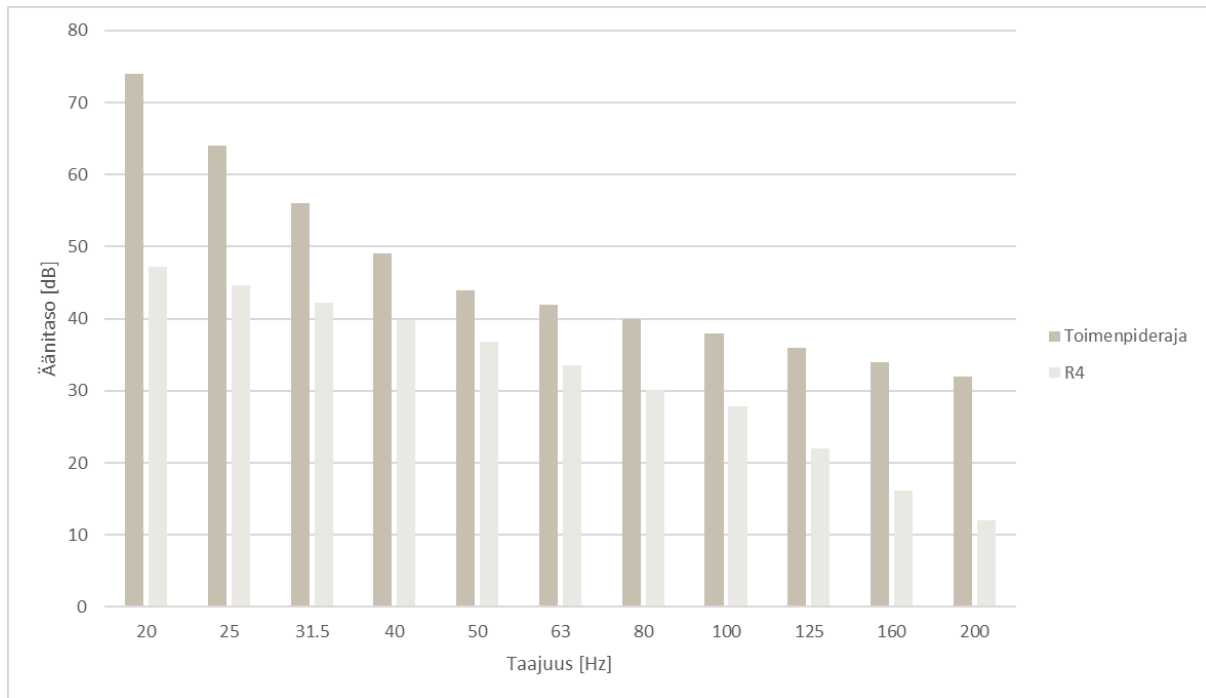
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	44,7	42,2	39,8	37,3	34,3	31,0	27,5	25,2	19,2	13,2	8,9
R2	46,1	43,6	41,2	38,7	35,7	32,5	28,9	26,7	20,7	14,8	10,5
R3	45,3	42,7	40,3	37,8	34,8	31,5	28,0	25,8	19,7	13,8	9,5
R4	47,8	45,3	42,9	40,4	37,4	34,2	30,7	28,5	22,5	16,7	12,5
R5	46,5	44,0	41,6	39,1	36,1	32,8	29,3	27,1	21,1	15,2	11,0
R6	46,5	44,0	41,6	39,0	36,0	32,8	29,3	27,1	21,1	15,2	11,0
R7	46,5	44,0	41,6	39,1	36,1	32,9	29,3	27,1	21,1	15,3	11,0
R8	47,3	44,7	42,3	39,8	36,8	33,6	30,1	27,9	21,9	16,1	11,9
R9	48,4	45,9	43,5	41,0	38,0	34,8	31,3	29,1	23,2	17,3	13,2
R10	46,0	43,5	41,1	38,5	35,5	32,3	28,8	26,6	20,6	14,7	10,4

Taulukko 11: Matalataajuisen sisämelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoittelusuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi).

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	42,0	39,5	37,1	34,5	31,5	28,3	24,7	22,4	16,3	10,2	5,8
R2	43,7	41,2	38,8	36,3	33,3	30,0	26,5	24,2	18,2	12,2	7,9
R3	44,0	41,5	39,1	36,6	33,6	30,3	26,8	24,6	18,5	12,6	8,3
R4	47,2	44,7	42,3	39,8	36,8	33,6	30,1	27,9	21,9	16,1	12,0
R5	46,0	43,5	41,1	38,6	35,6	32,4	28,9	26,6	20,7	14,8	10,6
R6	46,0	43,5	41,1	38,6	35,6	32,4	28,9	26,7	20,7	14,9	10,6
R7	46,1	43,6	41,1	38,6	35,6	32,4	28,9	26,7	20,7	14,9	10,7
R8	46,8	44,3	41,9	39,4	36,4	33,2	29,7	27,5	21,5	15,7	11,5
R9	47,0	44,5	42,1	39,6	36,6	33,4	29,9	27,7	21,8	15,9	11,8
R10	43,3	40,8	38,4	35,8	32,8	29,6	26,0	23,8	17,7	11,8	7,4



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R9 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R4 kohdalla sijoitussuunnitelmalla 6 voimalaa (lieventämistoimi).

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Mänttä-Vilppulan alueelle suunnitellun Metsomäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty sijoitussuunnitelmille VE1 (8 voimalaa) ja 6 voimalaa (lieventämistoimi) käyttäen turbiinityypin SG170 6,6 MW taajuusjakaumia ja napakorkeutta 165 m.

Mallinnusten perustella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen kummallakin sijoitussuunnitelmalla. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella. Läheisellä luonnonsuojelualueella melutasot ylittävät virkistysalueiden ohjearvon 45 dB(A). Luonnonsuojelualue sijaitsee naapurikaupungin (Keuruu) puolella.

## 5 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: 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.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] D. Halstead, N. Tam: 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.
- [17] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101023002-002				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>22.7.2024</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>AFRY Finland Oy</b>							
Vastuhenkilöt: <b>Pinja Tikka ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Pinja Tikka</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Erkki Heikkola</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Siemens Gamesa</b>				Tyyppi: <b>SG170 6,6 MW</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>6,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>165 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>170 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	<b>Ei tiedossa</b>	Ei	<b>Ei tiedossa</b>			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Acoustic Emission for SG 6.6-170, Rev. 0. Document ID: SG-F18.16-TR-00891_R00. 2022-10-04.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	90	2000	94,4
63	86,5	25	67,7	250	91,5	2500	92
125	93,4	31,5	71,7	315	92,1	3150	90,7
250	96,1	40	75,5	400	91	4000	88,3
500	97,9	50	78,3	500	92,8	5000	84,8
1000	101,8	63	81,1	630	94,8	6300	80,9
2000	99,9	80	83,9	800	96,1	8000	77,2
4000	93,3	100	87,8	1000	97,3	10000	73,5
8000	83,0	125	88,2	1250	97,5		
		160	89,7	1600	97,3		



Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
<b>4 m</b>						<b>10 m x 10 m</b>					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
<b>70 %</b>						<b>15 C°</b>					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>						Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>			Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
<b>ISO 9613-2</b>											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
<b>Neutraali</b>											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
<b>Vapaa avaruus</b>											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>						Luonnonsuojelualueet: <b>1 kpl</b>					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella:											
<b>Sijoitussuunnitelma VE1</b>											
<b>Hz</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>
<b>R1</b>	52,3	50,5	49,0	47,6	45,8	44,0	42,3	42,0	38,0	34,3	31,7
<b>R2</b>	53,7	51,9	50,4	49,0	47,2	45,5	43,7	43,5	39,5	35,9	33,3
<b>R3</b>	52,9	51,0	49,5	48,1	46,3	44,5	42,8	42,6	38,5	34,9	32,3
<b>R4</b>	55,4	53,6	52,1	50,7	48,9	47,2	45,5	45,3	41,3	37,8	35,3
<b>R5</b>	54,1	52,3	50,8	49,4	47,6	45,8	44,1	43,9	39,9	36,3	33,8
<b>R6</b>	54,1	52,3	50,8	49,3	47,5	45,8	44,1	43,9	39,9	36,3	33,8
<b>R7</b>	54,1	52,3	50,8	49,4	47,6	45,9	44,1	43,9	39,9	36,4	33,8
<b>R8</b>	54,9	53,0	51,5	50,1	48,3	46,6	44,9	44,7	40,7	37,2	34,7
<b>R9</b>	56,0	54,2	52,7	51,3	49,5	47,8	46,1	45,9	42,0	38,4	36,0
<b>R10</b>	53,6	51,8	50,3	48,8	47,0	45,3	43,6	43,4	39,4	35,8	33,2

<b>Sijoitussuunnitelma 6 voimalaa (lieventämistoimi)</b>											
<b>Hz</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>
<b>R1</b>	49,6	47,8	46,3	44,8	43,0	41,3	39,5	39,2	35,1	31,3	28,6
<b>R2</b>	51,3	49,5	48,0	46,6	44,8	43,0	41,3	41,0	37,0	33,3	30,7
<b>R3</b>	51,6	49,8	48,3	46,9	45,1	43,3	41,6	41,4	37,3	33,7	31,1
<b>R4</b>	54,8	53,0	51,5	50,1	48,3	46,6	44,9	44,7	40,7	37,2	34,8
<b>R5</b>	53,6	51,8	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,4	39,5	35,9	33,4
<b>R6</b>	53,6	51,8	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,5	39,5	36,0	33,4
<b>R7</b>	53,7	51,9	50,3	48,9	47,1	45,4	43,7	43,5	39,5	36,0	33,5
<b>R8</b>	54,4	52,6	51,1	49,7	47,9	46,2	44,5	44,3	40,3	36,8	34,3
<b>R9</b>	54,6	52,8	51,3	49,9	48,1	46,4	44,7	44,5	40,6	37,0	34,6
<b>R10</b>	50,9	49,1	47,6	46,1	44,3	42,6	40,8	40,6	36,5	32,9	30,2