



Ilmatar Kuortane Oy / Ilmatar Seinäjoki Oy

**Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen meluselvitys**

101021368-007, 06.11.2023

Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Juulianna Lähteinen

E-mail  
[juulianna.lahteinen@afry.com](mailto:juulianna.lahteinen@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
004

Asiakas  
Ilmatar Kuortane Oy  
Ilmatar Seinäjoki Oy  
Noora Jaakamo

Päivämäärä  
06/11/2023

Projektinumero  
101021368-007

Raportin tila  
VALMIS

## Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen meluselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	22.03.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	22.03.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen (raportti 200_304-008.001)
002	27.04.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	27.04.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Lomarakennuksen käyttötarkoituksen muutos. (raportti 200_304-008.002)
003	17.10.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	17.10.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Lisätty 30 dB(A):n ja 35 dB(A):n melurajat karttakuvaan.
004	06.11.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	06.11.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Lisätty toteutusvaihtoehto VE2.

## 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>.

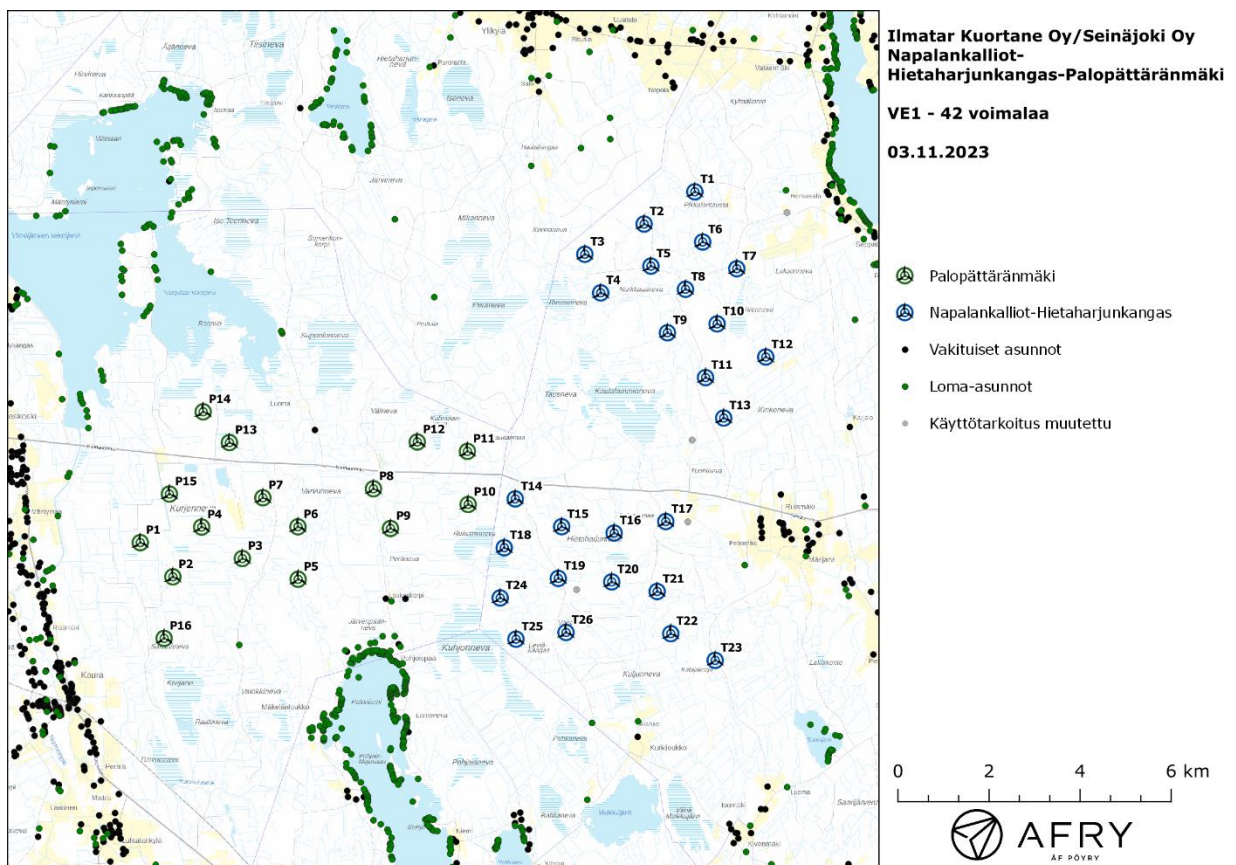
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot .....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	16
4	Yhteenvedo .....	20
5	Viitteet .....	21
6	Melumallinnuksen tiedot.....	22

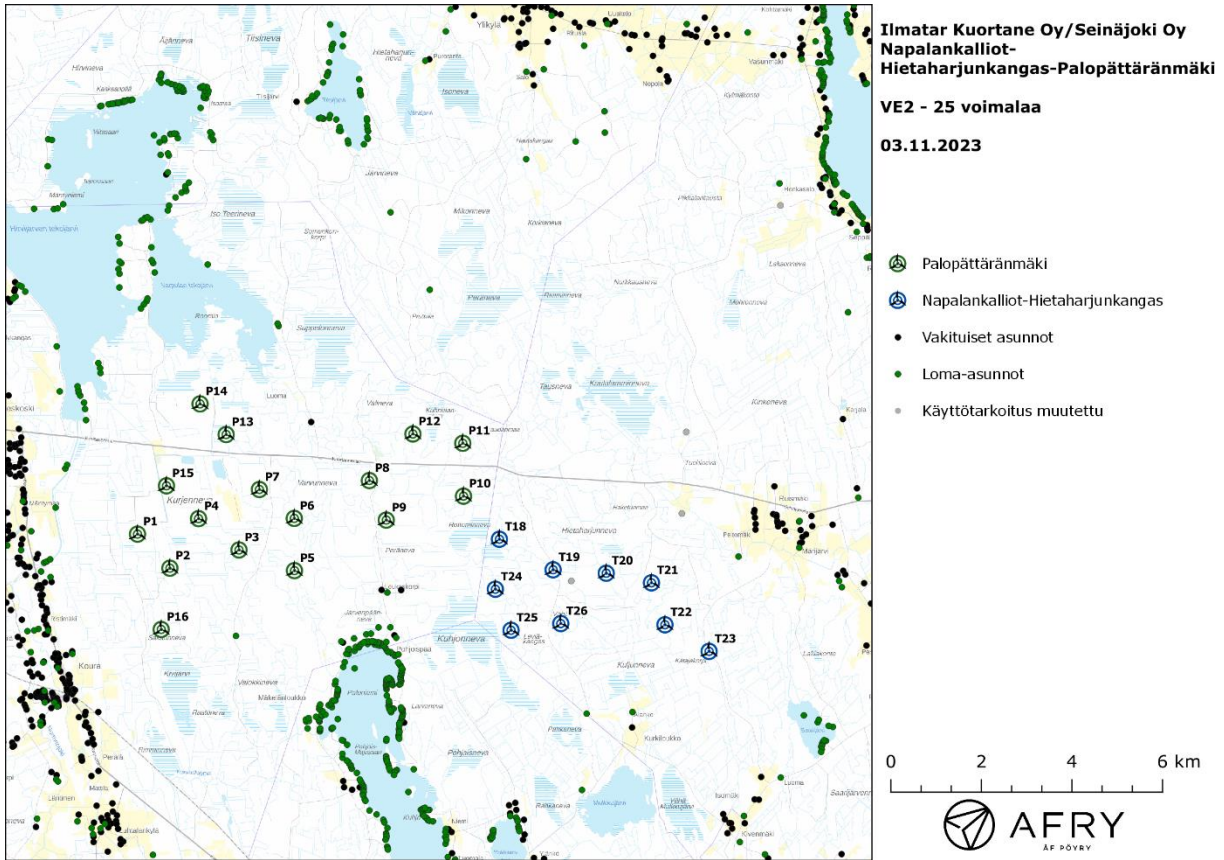
# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kuortaneen kuntaan ja Seinäjoen kaupunkiin suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään kahdella toteutusvaihtoehdolla VE1 (42 voimalaa) ja VE2 (25 voimalaa). 42 voimalan toteutusvaihtoehdosta 26 voimalaa sijaitsee Napalankallioiden ja Hietaharjunkankaan puolella Kuortaneella ja 16 voimalaa Palopättäränmäen puolella Seinäjoella. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1-Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 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 määritellynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE2.

*Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (VE1 – 42 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Toteutusvaihtoehdosta VE2 on poistettu voimalat T1-T17.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	314238	6971257	97
T2	313124	6970550	105
T3	311821	6969886	108
T4	312169	6969039	108
T5	313273	6969626	110
T6	314410	6970156	104
T7	315159	6969569	104
T8	314032	6969117	110
T9	313636	6968163	115
T10	314727	6968358	108
T11	314473	6967178	117
T12	315796	6967631	110
T13	314872	6966291	115
T14	310292	6964515	120
T15	311313	6963906	123
T16	312465	6963766	120
T17	313600	6964019	108
T18	310051	6963443	120
T19	311238	6962770	123
T20	312412	6962693	122
T21	313411	6962482	117
T22	313709	6961557	118
T23	314684	6960970	119
T24	309962	6962341	120
T25	310309	6961436	121
T26	311408	6961583	122
P1	302055	6963556	98
P2	302771	6962805	102
P3	304298	6963207	103
P4	303404	6963898	98
P5	305523	6962751	111
P6	305519	6963903	106
P7	304748	6964541	102
P8	307178	6964738	112
P9	307551	6963866	112
P10	309258	6964394	117
P11	309242	6965560	119
P12	308140	6965765	116
P13	304014	6965752	96
P14	303437	6966428	93
P15	302695	6964622	94
P16	302579	6961453	106

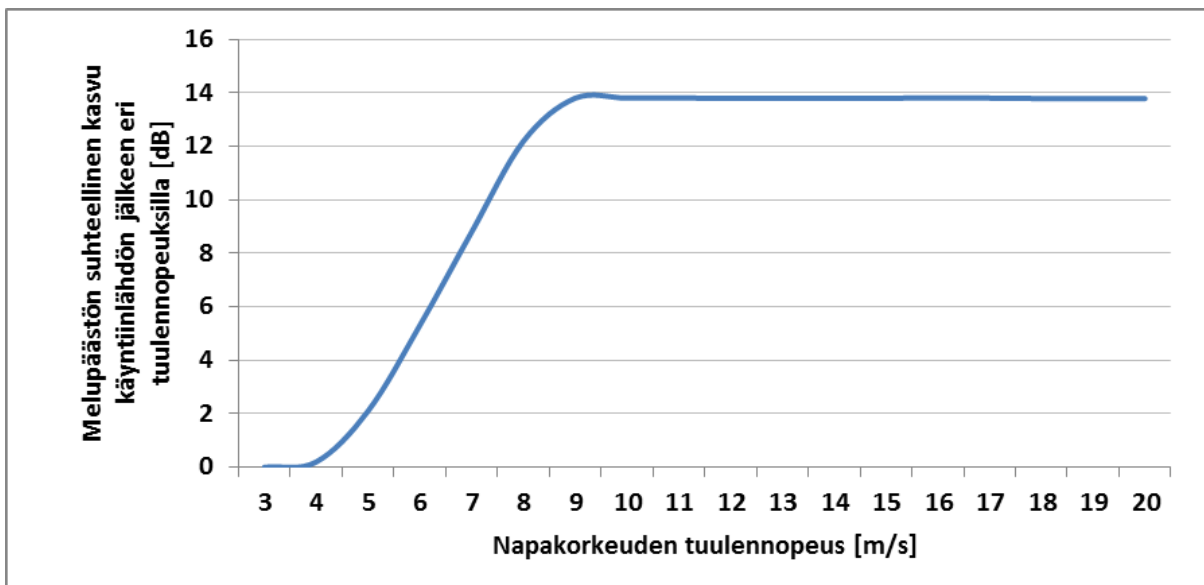
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 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 kokonaisäänienergiasta 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 [18].

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 siipikulmasäättö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet 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 kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

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 noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

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 sahalaoidituksen, 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)  $L_{WA,d}$ . 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 suunnitteluohjeistuksiin 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 mallinnus-ohjeistuksessa 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 huo-

mioon. 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 absorptio 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 2).

*Taulukko 2: 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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). 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 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainotettamattomia.*

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

## 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 V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336\_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. 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 V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 225 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.

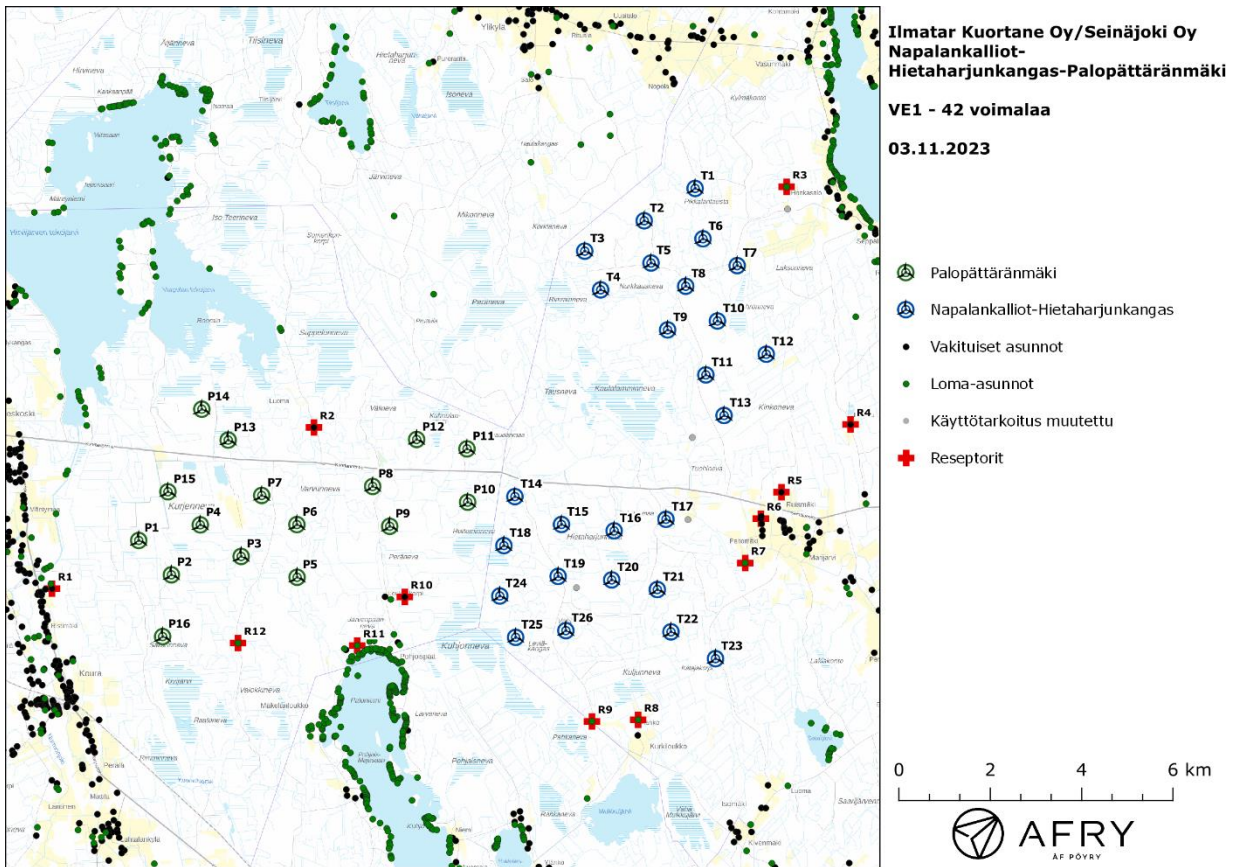
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption 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 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailurakennusta, joiden kohdilla LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Reseptoripisteet sijaitsevat noin 1,5-2,5 km etäisyydellä toteutusvaihtoehto VE1 voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan on merkitty voimalan T19 kaakkoispuolelle noin 450 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T13 lounaispuolelle noin 850 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T7 koillispuolelle noin 1,6 km etäisyydelle lomarakennus sekä voimalan T17 itäpuolelle noin 480 metrin etäisyydelle lomarakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan edellä mainittujen neljän lomarakennuksen käyttötarkoitus on muutettu, minkä vuoksi niitä ei huomioida tämän raportin melu- tarkasteluissa.

*Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.*

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	300159	6962498	95	vakituinen asuinrakennus
R2	305894	6966024	97	vakituinen asuinrakennus
R3	316243	6971288	97	lomarakennus
R4	317644	6966090	114	vakituinen asuinrakennus
R5	316130	6964607	109	vakituinen asuinrakennus
R6	315679	6964030	107	vakituinen asuinrakennus
R7	315336	6963059	100	lomarakennus
R8	312993	6959628	112	lomarakennus
R9	311981	6959593	116	lomarakennus
R10	307883	6962318	112	vakituinen asuinrakennus
R11	306842	6961252	108	lomarakennus
R12	304233	6961307	111	lomarakennus



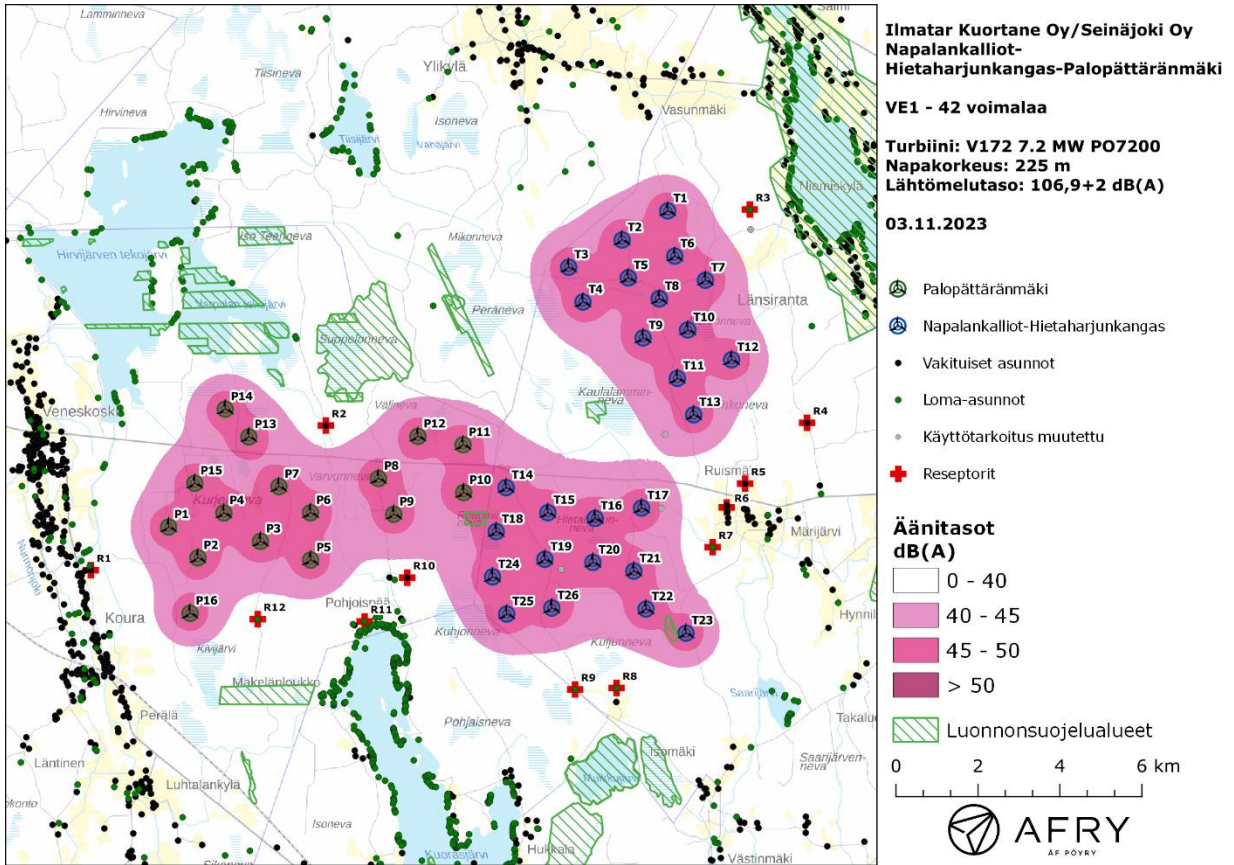
Kuva 4: Vertailurakennusten paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

## Meluvaikutus

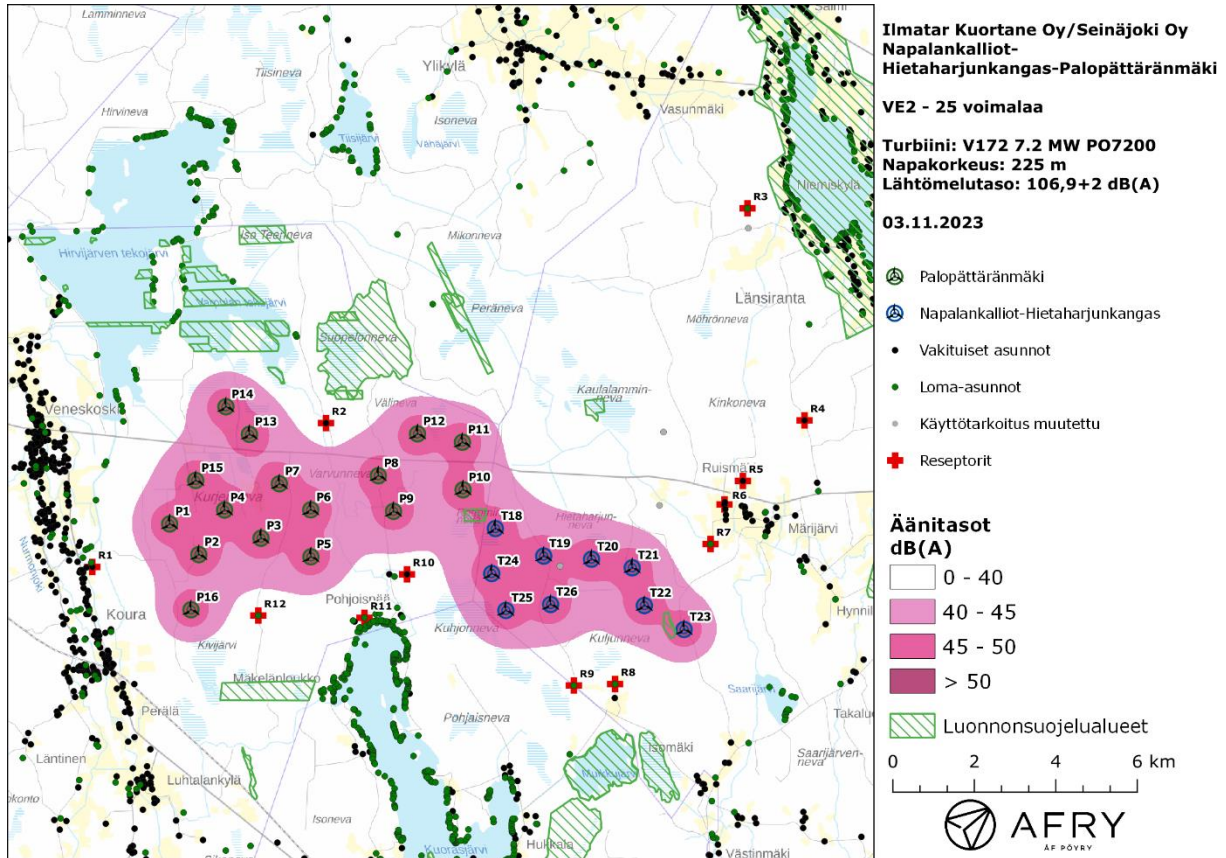
Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 5-Kuva 6). Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuin- ja lomarakennukset. Karttaan on lisäksi merkitty lomarakennukset, joiden käyttötarkoitus on asiakkaalta tulleen tiedon mukaan muutettu.

Karttakuvissa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet, joiden kohdalla sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A):n ohjearvoa. Kaksi luonnonsuojelualuetta sijoittuu tuulivoimaloiden välittömään läheisyyteen, joten niissä 45 dB:n ohjearvo ylittyy.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät alle valtioneuvoston asetuksen 40 dB:n ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE1.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	VE1 Äänitaso dB(A)	VE2 Äänitaso dB(A)
R1	33,6	33,6
R2	38,4	38,3
R3	36,5	20,9
R4	33,2	24,1
R5	35,1	29,2
R6	35,7	31,3
R7	36,8	34,6
R8	35,5	35,0
R9	35,4	34,8
R10	38,5	38,1
R11	35,7	35,4
R12	37,7	37,7



### 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 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, 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 rakennuksen ääneneristävyysparametri ( $\Delta L_G$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyysparametrit 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] eristävyysarvot 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 ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyiden arvot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänieristävyiden arvoja taajuuskaistoittain.

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

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 7-Taulukko 8). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat toteutusvaihtoehdolla VE1 vertailurakennukseen R10 ja toteutusvaihtoehdolle VE2 vertailurakennukseen R2. Näiden kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7-Kuva 8). Kun otetaan

huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä molemmilla toteutusvaihtoehdoilla.

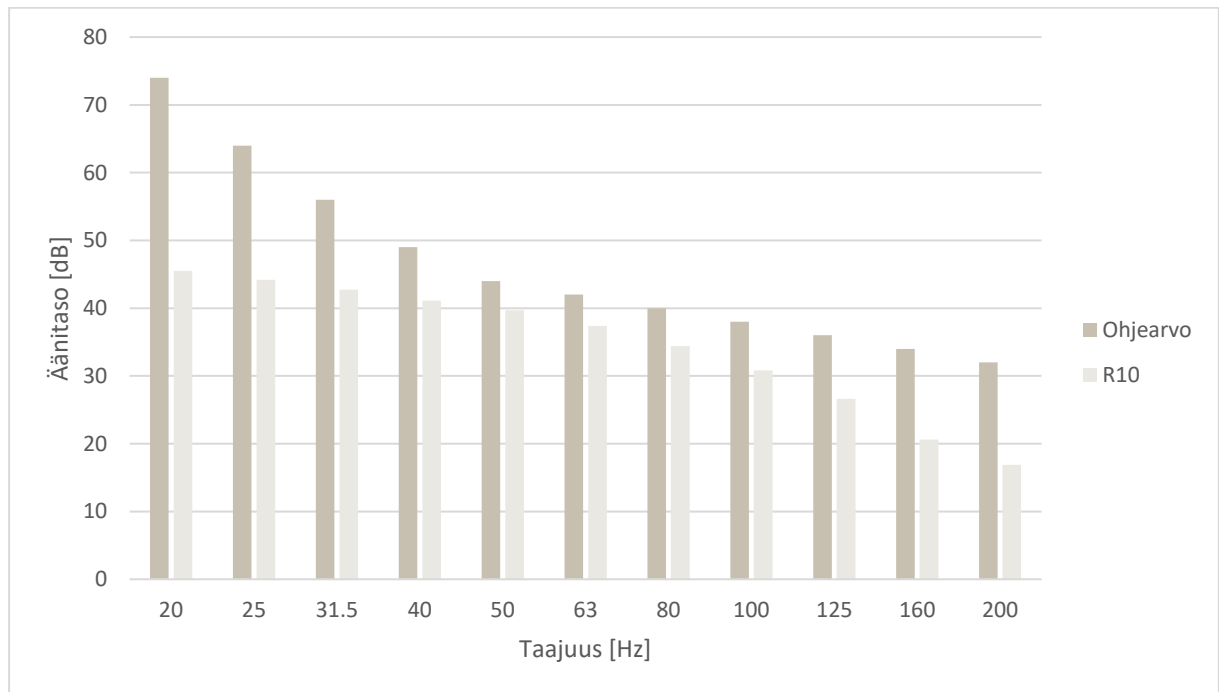
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 3) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unhäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Näin tapahtuu tämän raportin mallinnusten perusteella (lukujen 3.1 ja 3.2 tulokset), eikä sisätilojen kokonaismelutasojen tarkistus edellytä erillisiä mallinnuksia. Tätä johtopäätöstä tukevat tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla toteutusvaihtoehdolle VE1.

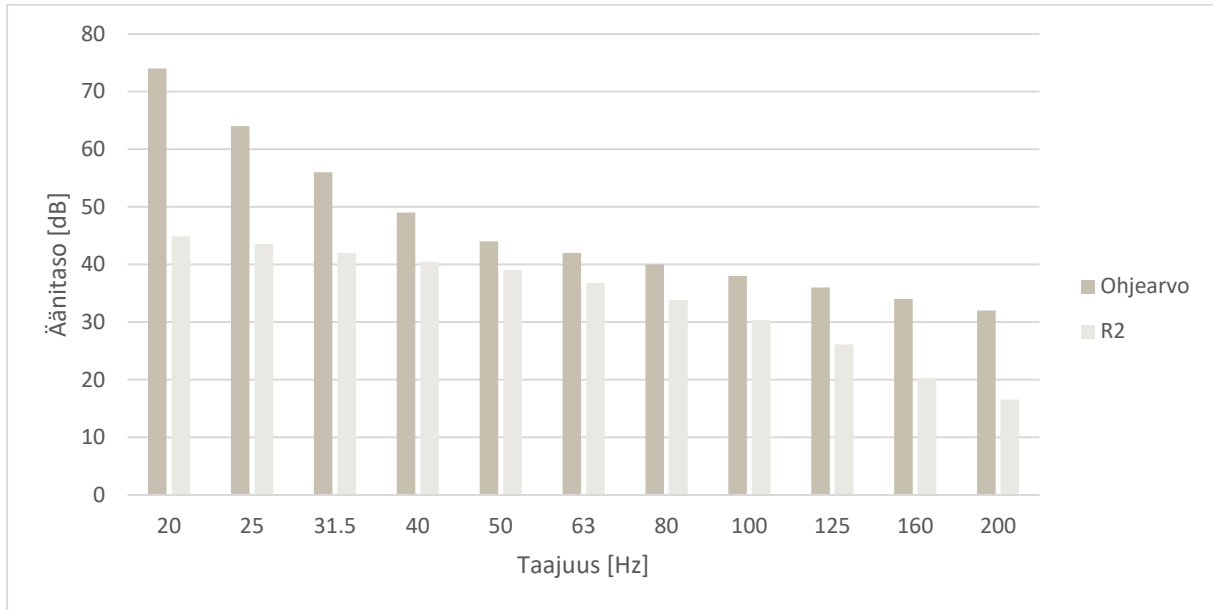
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,2	48,6	47,9	47,4	47,2	46,3	45,1	43,4	41,0	37,2	35,1
R2	53,0	52,3	51,7	51,3	51,0	50,2	49,1	47,5	45,3	41,5	39,6
R3	50,8	50,2	49,5	49,1	48,8	48,0	46,8	45,2	42,9	39,1	37,1
R4	49,5	48,8	48,2	47,7	47,4	46,5	45,3	43,6	41,1	37,1	34,8
R5	50,8	50,2	49,5	49,1	48,8	48,0	46,7	45,1	42,7	38,8	36,6
R6	51,2	50,6	50,0	49,5	49,2	48,4	47,2	45,6	43,2	39,3	37,2
R7	51,8	51,2	50,5	50,1	49,8	49,0	47,8	46,2	43,9	40,1	38,1
R8	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,0	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
R9	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
R10	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R11	51,4	50,7	50,1	49,6	49,3	48,5	47,3	45,7	43,3	39,4	37,3
R12	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,7	38,8

Taulukko 8: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla toteutusvaihtoehdolle VE2.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	44,9	43,2	40,9	37,1	35,0
R2	52,5	51,9	51,2	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,9	41,3	39,4
R3	41,4	40,6	39,9	39,3	38,9	37,8	36,2	34,0	30,7	25,5	21,6
R4	43,5	42,8	42,1	41,6	41,2	40,2	38,8	36,8	33,9	29,3	26,2
R5	46,2	45,5	44,9	44,4	44,1	43,2	41,9	40,1	37,6	33,4	31,0
R6	47,5	46,8	46,1	45,6	45,4	44,5	43,3	41,6	39,1	35,2	32,9
R7	49,4	48,7	48,1	47,6	47,4	46,6	45,4	43,8	41,5	37,8	35,8
R8	49,9	49,2	48,6	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,3	36,3
R9	49,9	49,3	48,6	48,2	47,9	47,1	45,9	44,4	42,0	38,3	36,2
R10	52,5	51,8	51,2	50,8	50,5	49,8	48,6	47,1	44,9	41,2	39,3
R11	50,7	50,1	49,5	49,0	48,8	48,0	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
R12	51,9	51,2	50,6	50,2	50,0	49,2	48,0	46,5	44,3	40,6	38,7



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R10 kohdalla toteutusvaihtoehdolle VE1.



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R2 kohdalla toteutusvaihtoehdolle VE2.

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kuortaneen kunnan ja Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty kahdelle toteutusvaihtoehdolle VE1 (42 voimalaa) ja VE2 (25 voimalaa). Voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja voimalatyyppin V172 7.2 MW taajuusjakaumaa.

Mallinnusten perusteella melutasot jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella molemmilla toteutusvaihtoehdoilla.

## 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] 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.
- [17] 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.
- [18] 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: <b>101021368-007.004</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>06.11.2023</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>AFRY Finland Oy</b>							
Vastuhenkilöt: <b>Juulianna Lähteinen ja Mika Laitinen</b>							
Laatija: <b>Juulianna Lähteinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Mika Laitinen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Vestas</b>				Tyyppi: <b>V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges)</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>7.2 MW</b>		Napakorkeus: <b>225 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>172 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							
Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:				
kyllä	ei	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)											
Asuinrakennukset: <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)											
Asuinrakennukset: <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>2 kpl</b>					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella toteutusvaihtoehdolle VE1:											
H <sub>z</sub>	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	49,2	48,6	47,9	47,4	47,2	46,3	45,1	43,4	41,0	37,2	35,1
<b>R2</b>	53,0	52,3	51,7	51,3	51,0	50,2	49,1	47,5	45,3	41,5	39,6
<b>R3</b>	50,8	50,2	49,5	49,1	48,8	48,0	46,8	45,2	42,9	39,1	37,1
<b>R4</b>	49,5	48,8	48,2	47,7	47,4	46,5	45,3	43,6	41,1	37,1	34,8
<b>R5</b>	50,8	50,2	49,5	49,1	48,8	48,0	46,7	45,1	42,7	38,8	36,6
<b>R6</b>	51,2	50,6	50,0	49,5	49,2	48,4	47,2	45,6	43,2	39,3	37,2
<b>R7</b>	51,8	51,2	50,5	50,1	49,8	49,0	47,8	46,2	43,9	40,1	38,1
<b>R8</b>	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,0	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
<b>R9</b>	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
<b>R10</b>	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
<b>R11</b>	51,4	50,7	50,1	49,6	49,3	48,5	47,3	45,7	43,3	39,4	37,3
<b>R12</b>	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,7	38,8



Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella toteutusvaihtoehdolle VE2:											
<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>	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	44,9	43,2	40,9	37,1	35,0
<b>R2</b>	52,5	51,9	51,2	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,9	41,3	39,4
<b>R3</b>	41,4	40,6	39,9	39,3	38,9	37,8	36,2	34,0	30,7	25,5	21,6
<b>R4</b>	43,5	42,8	42,1	41,6	41,2	40,2	38,8	36,8	33,9	29,3	26,2
<b>R5</b>	46,2	45,5	44,9	44,4	44,1	43,2	41,9	40,1	37,6	33,4	31,0
<b>R6</b>	47,5	46,8	46,1	45,6	45,4	44,5	43,3	41,6	39,1	35,2	32,9
<b>R7</b>	49,4	48,7	48,1	47,6	47,4	46,6	45,4	43,8	41,5	37,8	35,8
<b>R8</b>	49,9	49,2	48,6	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,3	36,3
<b>R9</b>	49,9	49,3	48,6	48,2	47,9	47,1	45,9	44,4	42,0	38,3	36,2
<b>R10</b>	52,5	51,8	51,2	50,8	50,5	49,8	48,6	47,1	44,9	41,2	39,3
<b>R11</b>	50,7	50,1	49,5	49,0	48,8	48,0	46,8	45,2	42,8	39,0	36,9
<b>R12</b>	51,9	51,2	50,6	50,2	50,0	49,2	48,0	46,5	44,3	40,6	38,7