



Neoen Renewables Finland Oy

Marjakeitaan tuulivoimapuiston meluselvitys

101017590-004, 08.05.2023

Tekijä(t)
Mika Laitinen
Juulianna Lähteinen

pvm
08/05/2023

Osasto
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinumero
101017590-004

E-mail
mika.laitinen@afry.com
juulianna.lahteinen@afry.com

Raporttiversio
002

Raportin tila
VALMIS

Asiakas

Neoen Renewables Finland Oy
Maija-Leena Oinonen

Marjakeitaan tuulivoimapuiston meluselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.10.2022/ Mika Laitinen, Senior Consultant	12.10.2022/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	08.05.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	08.05.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutos.

Aineistojen käyttöoikeudet

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

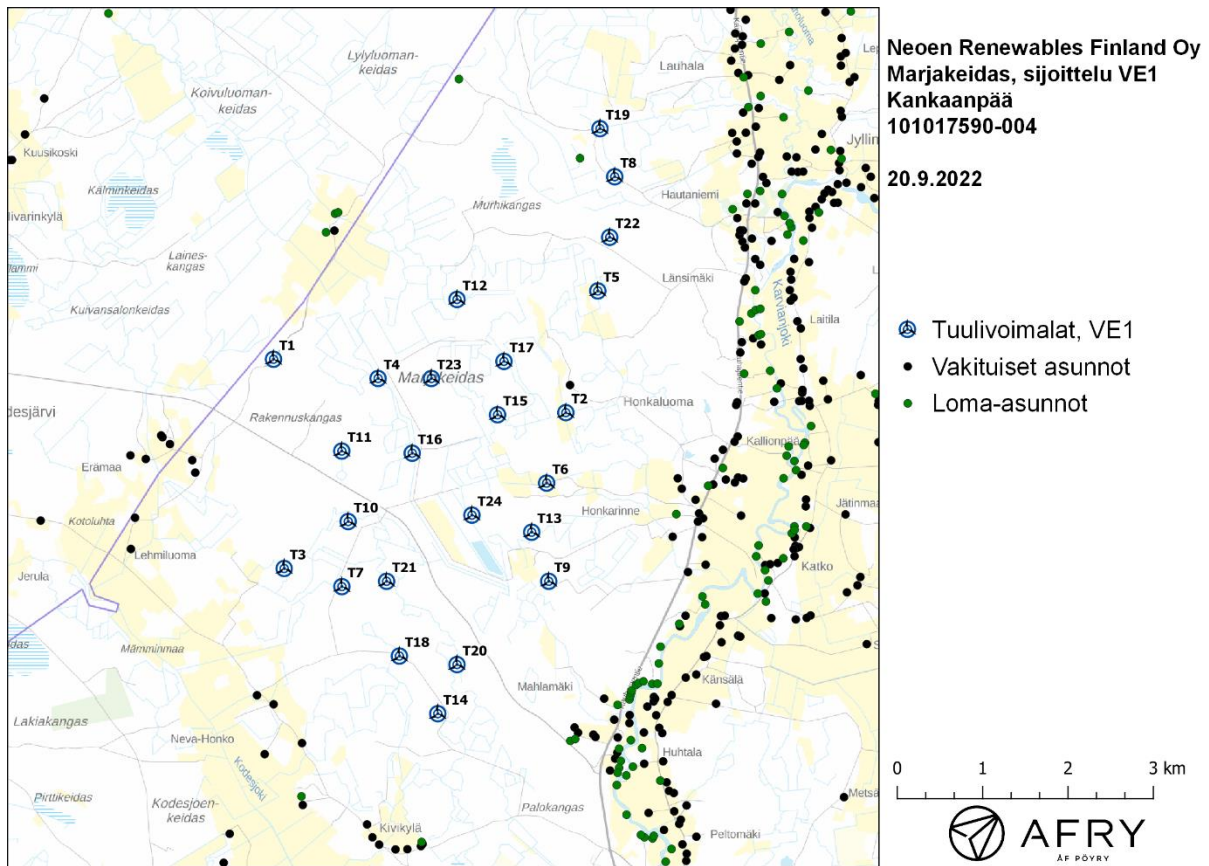
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	10
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	10
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	11
2.3	Ohjearovot	12
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	14
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	14
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	20
4	Yhteenveto	25
5	Viitteet.....	26
6	Melumallinnuksen tiedot.....	27

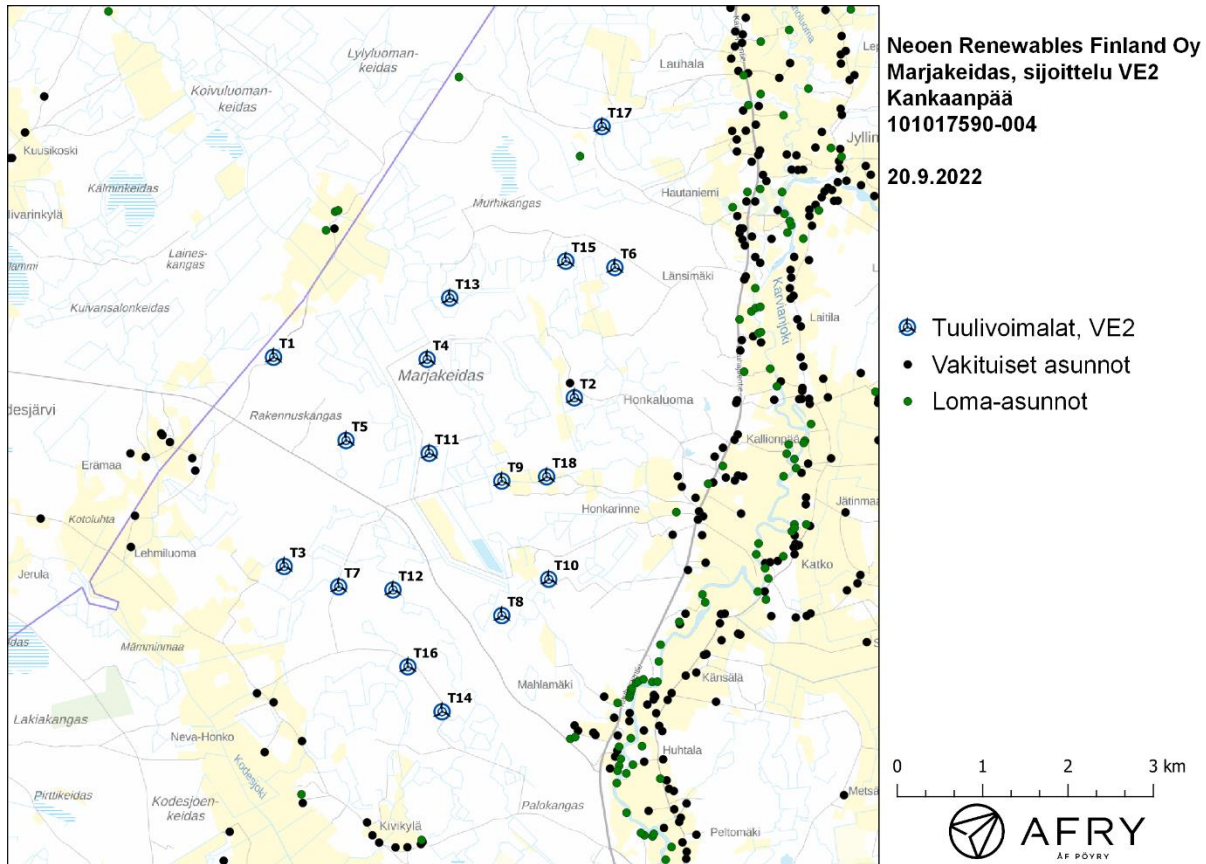
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapaiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitussuunnitelmille VE1 (24 voimalaa), VE2 (18 voimalaa) ja VE3 (9 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttaphjalla kuvissa (Kuva 1–Kuva 3) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1–Taulukko 3).

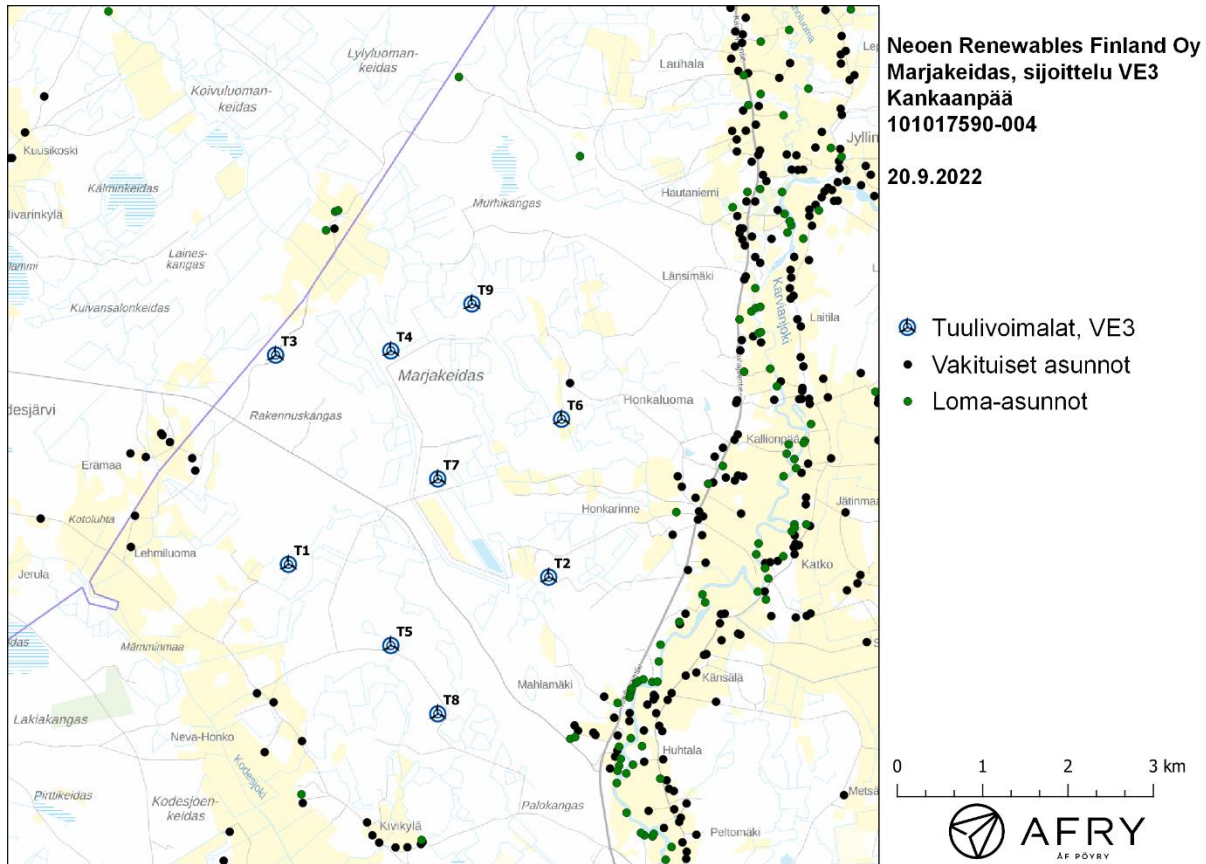
Mallinuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 215 m ja turbiinityypin SG170 6.2 MW Mode AM0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 3: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitussuunnitelmalla VE3.

Taulukko 1: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE1: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246386	6890001	123
T2	249811	6889376	115
T3	246511	6887551	113
T4	247611	6889776	122
T5	250186	6890801	122
T6	249586	6888551	113
T7	247187	6887339	118
T8	250384	6892138	128
T9	249611	6887401	115
T10	247261	6888101	119
T11	247186	6888926	124
T12	248536	6890701	120
T13	249411	6887976	115
T14	248311	6885851	115
T15	249011	6889351	119
T16	248011	6888901	118
T17	249086	6889976	120
T18	247861	6886526	118
T19	250211	6892701	131
T20	248536	6886426	116
T21	247711	6887401	120
T22	250325	6891429	127
T23	248236	6889776	120
T24	248711	6888176	118

Taulukko 2: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE2: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246386	6890001	123
T2	249911	6889526	115
T3	246511	6887551	113
T4	248186	6889976	121
T5	247236	6889026	125
T6	250386	6891051	125
T7	247150	6887313	117
T8	249061	6886976	115
T9	249061	6888551	114
T10	249611	6887401	115
T11	248211	6888876	119
T12	247786	6887276	119
T13	248451	6890693	122
T14	248361	6885851	115
T15	249811	6891126	124
T16	247961	6886376	118
T17	250236	6892701	130
T18	249586	6888601	113

Taulukko 3: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE3: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246561	6887576	113
T2	249611	6887426	115
T3	246411	6890026	123
T4	247761	6890076	120
T5	247761	6886626	118
T6	249761	6889276	114
T7	248311	6888576	118
T8	249061	6886976	115
T9	249061	6888551	114

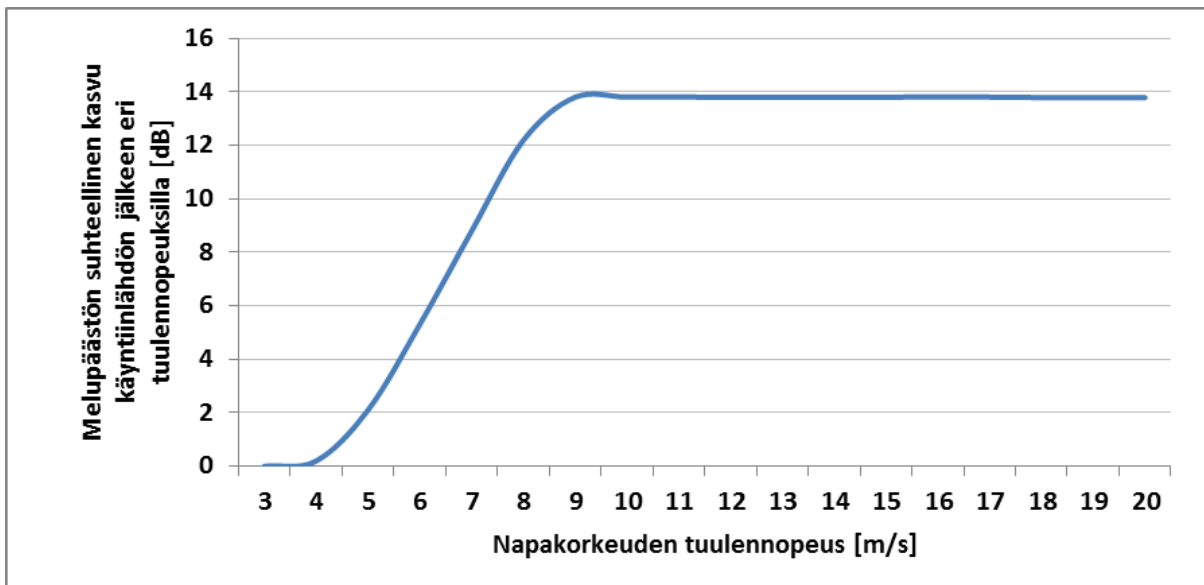
2 Tuulivoimaloiden melu

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 [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 4).



Kuva 4: 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 teollisuismelu 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 kokemusperäisesti 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 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 epävarmuustarkastelua, 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 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 4).

Taulukko 4: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} 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 5). 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 5: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.

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 SG170 6.2 MW Mode AM 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

- Standard Acoustic Emission, SG 6.0-170, Rev. 0, Hub Height 135 m. Document ID: SGRE ON NE&ME TE SAS N-40-0000-046AC30-00 2020-05-26.

Dokumentissa esitetyn taajuusjakauman melutaso perustuu standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Ilmoitettuun melutasoon 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 6,2 MW Mode AM 0 valmistajan ilmoittama äänitehotaso on 106,0 dB(A), joten mallinnuksissa tälle turbiinityypille käytettiin äänitehotasoa 108,0 dB(A). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksissa voimaloiden napakorkeus oli 215 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

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.

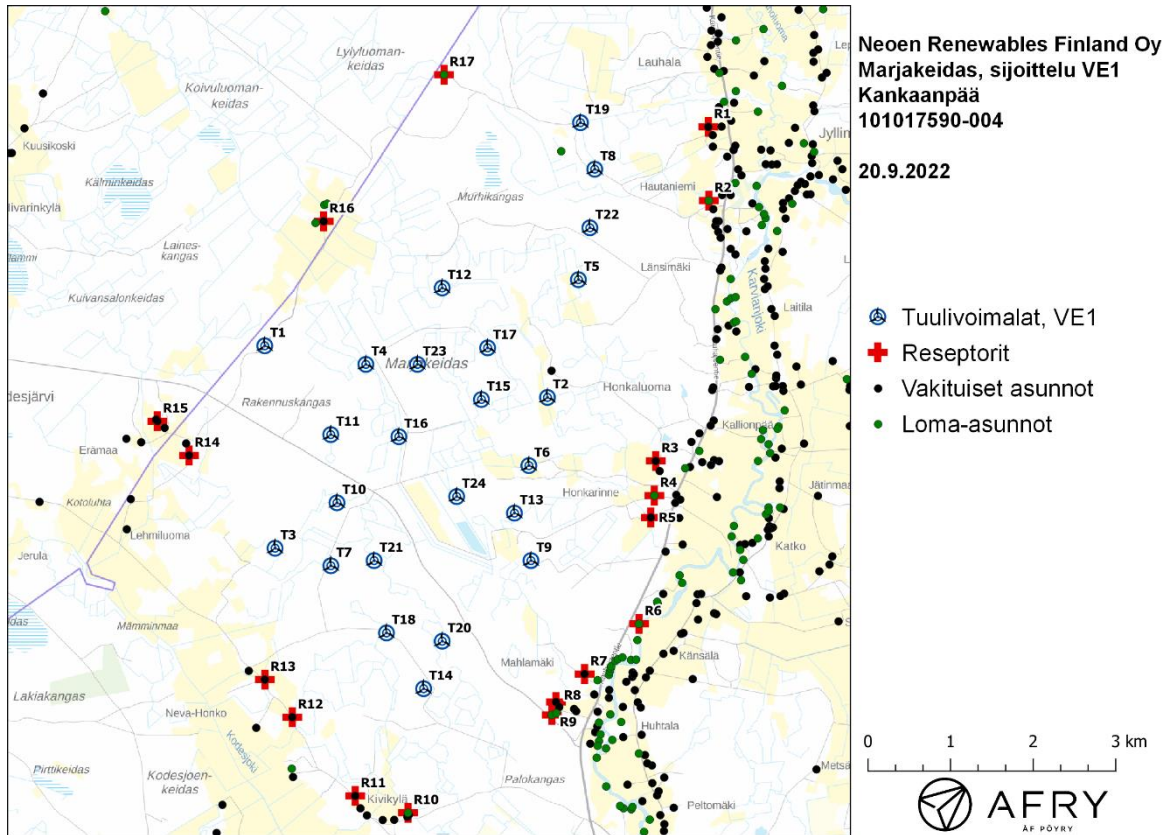
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 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 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 17 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttaphojalla (Kuva 5). Kiinteistöt sijaitsevat noin 1,4–3,7 km etäisyydellä lähimmästä voimalasta.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Maastotietokannan mukaan sijoitussuunnitelman VE1 mukaisen voimalan T19 lounaispuolella on loma-asunto, mutta todellisuudessa kyseessä on metsästysmaja, johon ei sovelleta melun ohjearvoja. Sijoitussuunnitelman VE1 voimalan T2 pohjoispuolella on asuinrakennus, jonka käyttötarkoitus on asiakkaalta tulleen tiedon mukaan muutettu muuksi rakennukseksi, jota melun ohjearvot eivät koske. Tämän vuoksi kyseistä rakennusta ei ole huomioitu meluvaikutusten arvioinnissa.

Taulukko 6: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	251761	6892649	120	vakituinen asuinrakennus
R2	251767	6891756	113	loma-asuinrakennus
R3	251124	6888605	112	vakituinen asuinrakennus
R4	251107	6888186	109	loma-asuinrakennus
R5	251064	6887921	106	vakituinen asuinrakennus
R6	250922	6886634	101	loma-asuinrakennus
R7	250262	6886026	105	vakituinen asuinrakennus
R8	249915	6885688	108	vakituinen asuinrakennus
R9	249865	6885531	112	loma-asuinrakennus
R10	248123	6884347	106	loma-asuinrakennus
R11	247483	6884552	105	vakituinen asuinrakennus
R12	246721	6885504	98	vakituinen asuinrakennus
R13	246389	6885959	97	vakituinen asuinrakennus
R14	245470	6888672	111	vakituinen asuinrakennus
R15	245086	6889086	109	vakituinen asuinrakennus
R16	247101	6891505	115	vakituinen asuinrakennus
R17	248559	6893279	139	loma-asuinrakennus



Kuva 5: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

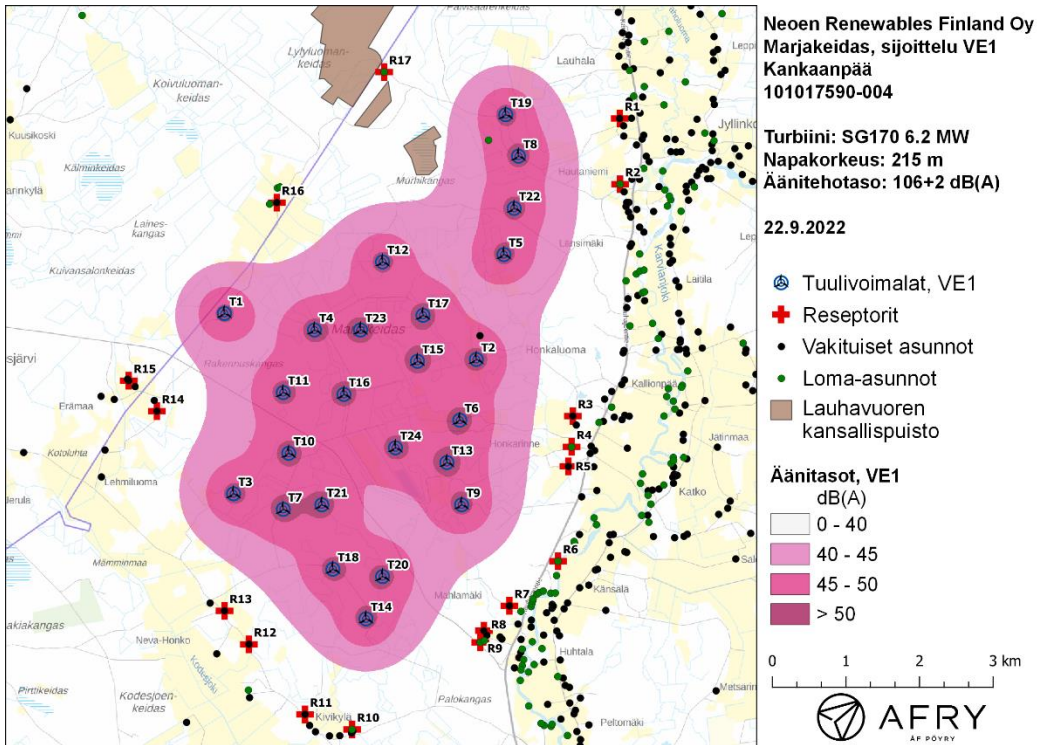
Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{aeq} on esitetty karttakuvina (Kuva 6 ja Kuva 7). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7).

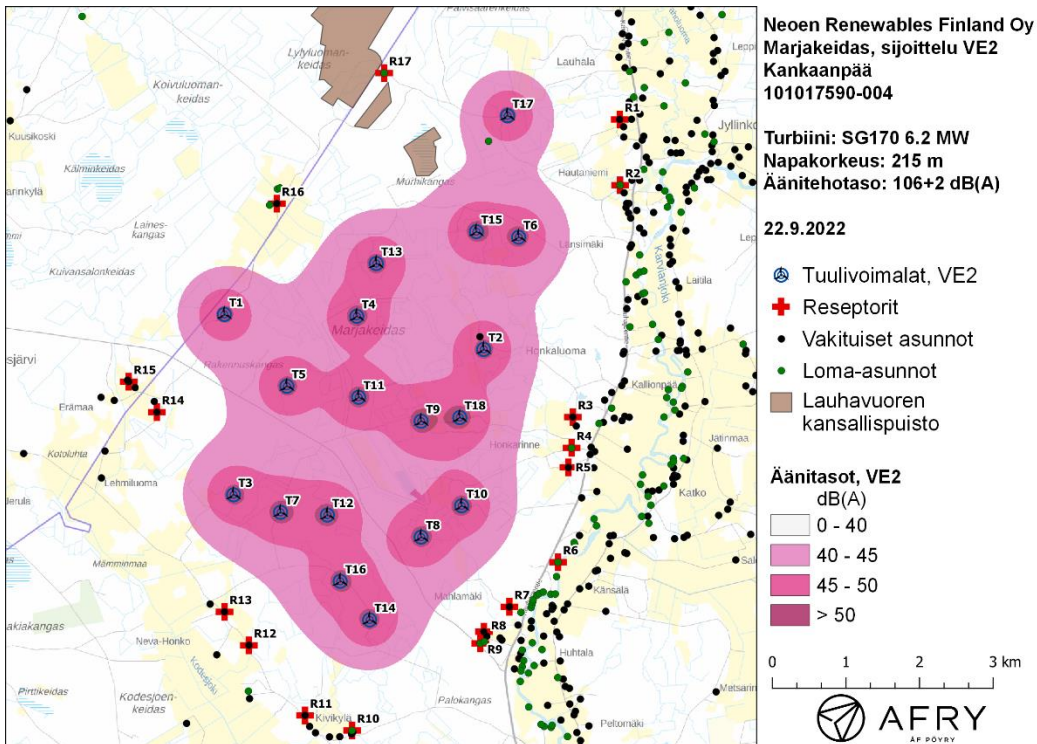
Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen rakennusten kohdilla. Melumallinnusten karttakuviin on merkitty myös Lauhanvuoren kansallispuiston alue. Keskiäänitasot jäävät alle 40 dB(A):n ohjearvon kansallispuiston alueella.

Taulukko 7: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

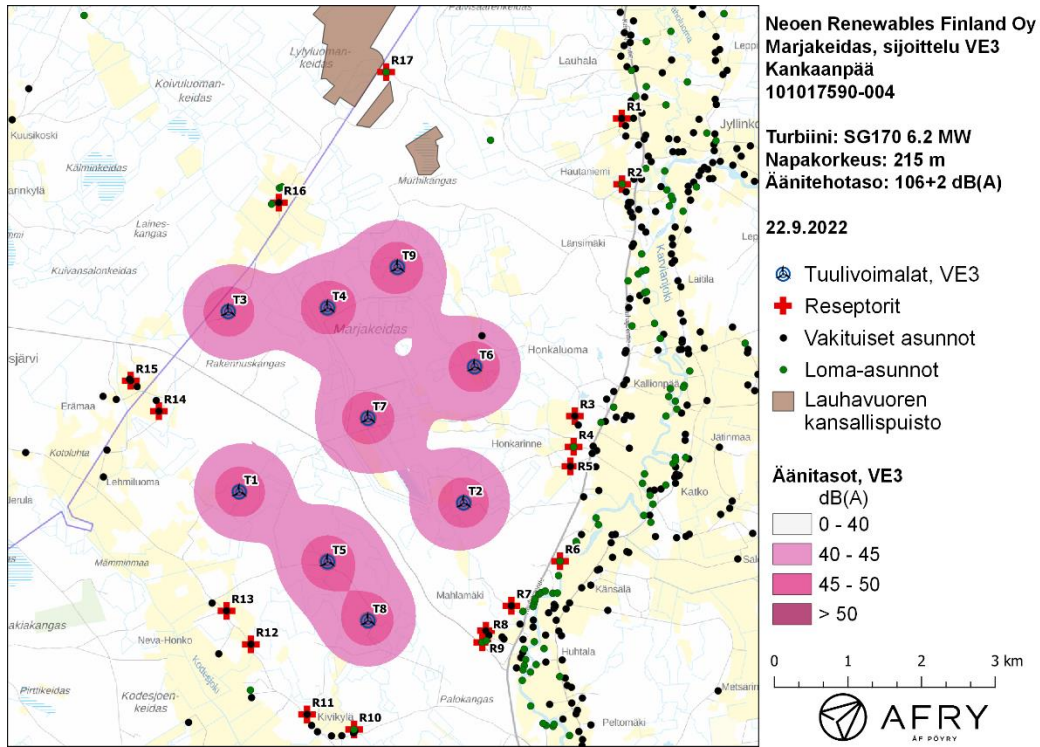
Reseptori	Suunnitelma VE1 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE2 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE3 Äänitaso dB(A)
R1	34,6	32,3	22,7
R2	35,6	33,4	24,7
R3	36,6	35,6	32,5
R4	36,4	35,3	32,3
R5	36,4	35,3	32,4
R6	34,4	33,9	31,4
R7	35,4	35,1	32,3
R8	35,7	35,3	32,6
R9	35,3	34,9	32,3
R10	33,5	32,9	31,5
R11	33,7	33,1	31,7
R12	35,8	35,2	33,4
R13	36,4	35,7	33,6
R14	36,4	35,2	33,2
R15	34,3	33,3	31,6
R16	35,7	34,7	33,6
R17	32,8	31,5	26,0



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq Marjakeitaan sijoitussuunnitelmalle VE1.



Kuva 7: Keskiäänitasot LAeq Marjakeitaan sijoitussuunnitelmalle VE2.



Kuva 8: Keskiäänitasot LAeq Marjakeitaan sijoitussuunnitelmalle VE3.

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 5). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulkinnassa 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 ääneneristävyyssparametri (ΔL_o) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden 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 vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyyssarvoja. Taulukossa (Taulukko 8) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 8: Rakennuksen äänieristävyyden 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 8) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 9–Taulukko 11). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Sijoitussuunnitelmilla VE1 ja VE2 korkeimmat matalataajuuden melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön R3. Sijoitussuunnitelmalla VE3 korkeimmat matalataajuuden melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön R13. Näiden kiinteistöjen kohdilla laskettuja sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin kuvissa (Kuva 9–Kuva 11). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät kaikilla sijoitussuunnitelmilla asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 5) 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 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. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuuden 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 ilmastieristykseen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 9: Matalataajuuden ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE1.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,8	52,0	50,4	49,0	47,2	45,4	43,6	43,3	39,2	35,5	32,8
R2	54,6	52,8	51,3	49,8	48,0	46,3	44,5	44,2	40,1	36,4	33,7
R3	55,9	54,0	52,5	51,1	49,3	47,5	45,8	45,5	41,4	37,7	35,0
R4	55,7	53,9	52,3	50,9	49,1	47,3	45,6	45,3	41,2	37,5	34,8
R5	55,6	53,8	52,3	50,9	49,0	47,3	45,5	45,3	41,2	37,5	34,7
R6	54,5	52,7	51,2	49,7	47,9	46,1	44,3	44,0	39,9	36,1	33,3
R7	54,9	53,1	51,6	50,2	48,3	46,6	44,8	44,5	40,4	36,7	33,9
R8	55,0	53,2	51,7	50,2	48,4	46,6	44,9	44,6	40,5	36,8	34,0
R9	54,8	52,9	51,4	50,0	48,2	46,4	44,6	44,3	40,2	36,5	33,8
R10	53,4	51,6	50,0	48,6	46,7	45,0	43,2	42,9	38,7	34,9	32,1
R11	53,6	51,8	50,3	48,8	47,0	45,2	43,4	43,1	39,0	35,2	32,4
R12	55,1	53,3	51,7	50,3	48,5	46,7	45,0	44,7	40,6	36,9	34,2
R13	55,5	53,7	52,2	50,7	48,9	47,2	45,4	45,1	41,1	37,4	34,7
R14	55,6	53,8	52,2	50,8	49,0	47,2	45,5	45,2	41,1	37,4	34,7
R15	54,4	52,5	51,0	49,6	47,8	46,0	44,2	43,9	39,8	36,0	33,2
R16	55,3	53,5	51,9	50,5	48,7	46,9	45,2	44,9	40,8	37,0	34,3
R17	53,3	51,4	49,9	48,4	46,6	44,8	43,0	42,7	38,5	34,7	31,8

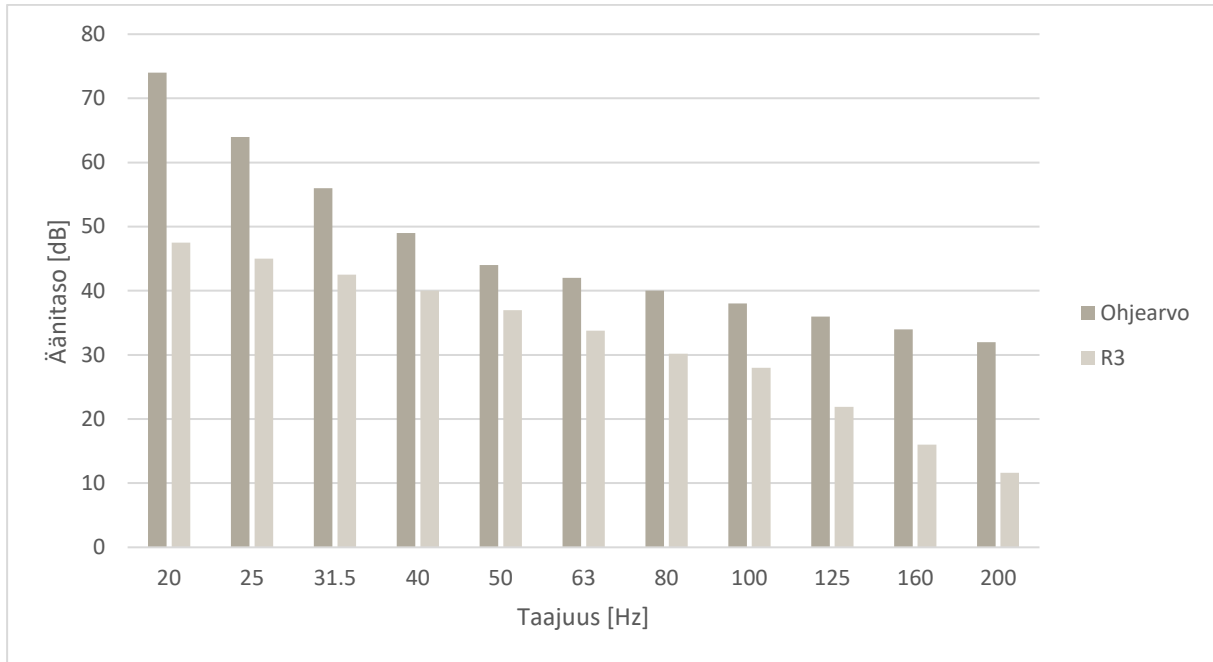
Taulukko 10: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoitus suunnitelmalla VE2.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,9	50,1	48,6	47,1	45,3	43,5	41,8	41,4	37,3	33,5	30,7
R2	52,8	51,0	49,5	48,0	46,2	44,5	42,7	42,4	38,3	34,5	31,8
R3	54,7	52,9	51,4	49,9	48,1	46,4	44,6	44,3	40,3	36,6	33,9
R4	54,5	52,7	51,2	49,8	47,9	46,2	44,4	44,2	40,1	36,4	33,7
R5	54,5	52,7	51,2	49,7	47,9	46,2	44,4	44,1	40,1	36,4	33,7
R6	53,6	51,8	50,3	48,8	47,0	45,3	43,5	43,2	39,1	35,3	32,6
R7	54,3	52,4	50,9	49,5	47,7	45,9	44,2	43,9	39,8	36,1	33,4
R8	54,3	52,5	51,0	49,5	47,7	46,0	44,2	43,9	39,9	36,2	33,5
R9	54,0	52,2	50,7	49,3	47,4	45,7	43,9	43,6	39,6	35,9	33,2
R10	52,6	50,7	49,2	47,8	45,9	44,2	42,4	42,1	37,9	34,2	31,4
R11	52,8	50,9	49,4	48,0	46,2	44,4	42,6	42,3	38,2	34,4	31,6
R12	54,2	52,4	50,9	49,4	47,6	45,9	44,1	43,8	39,8	36,1	33,4
R13	54,6	52,8	51,3	49,8	48,0	46,3	44,5	44,2	40,2	36,5	33,9
R14	54,3	52,5	51,0	49,6	47,7	46,0	44,2	44,0	39,9	36,2	33,5
R15	53,2	51,4	49,8	48,4	46,6	44,8	43,0	42,7	38,6	34,8	32,0
R16	54,1	52,3	50,7	49,3	47,5	45,7	44,0	43,7	39,6	35,9	33,1
R17	51,9	50,1	48,5	47,1	45,2	43,5	41,7	41,3	37,1	33,3	30,4

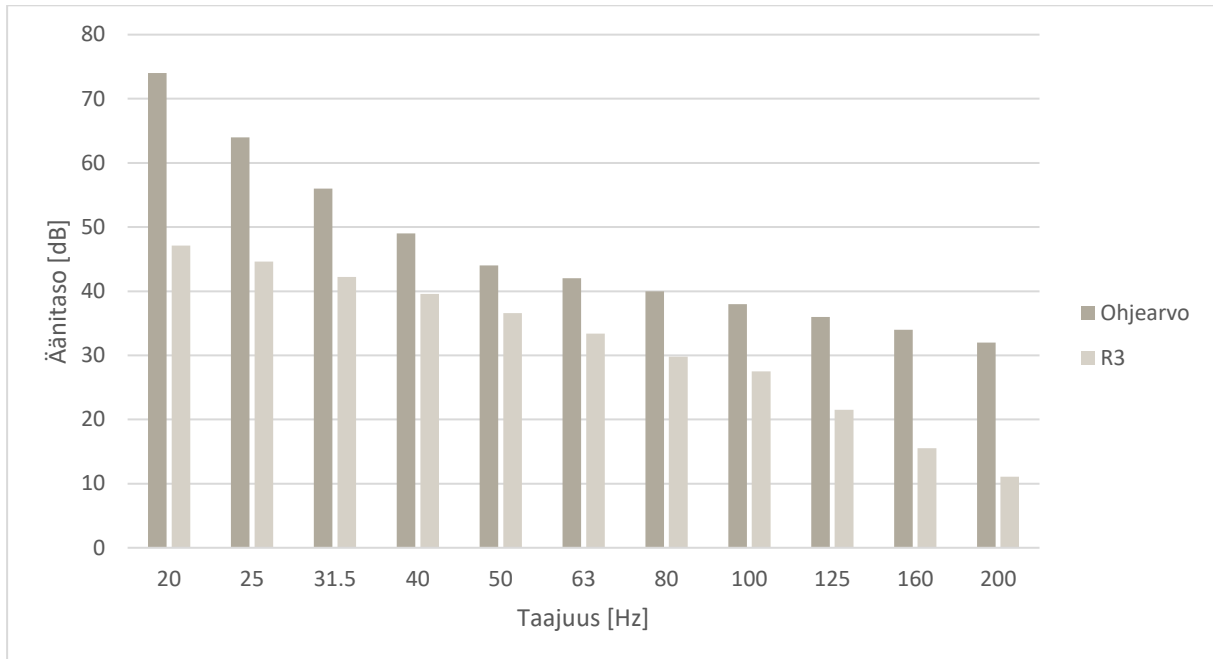
Taulukko 11: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoitus suunnitelmalla VE3.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	45,9	44,0	42,5	41,0	39,1	37,3	35,4	34,9	30,5	26,4	23,1
R2	47,0	45,2	43,6	42,2	40,3	38,5	36,6	36,2	31,9	27,8	24,7
R3	51,5	49,7	48,2	46,7	44,9	43,2	41,4	41,1	37,1	33,4	30,7
R4	51,4	49,6	48,1	46,7	44,8	43,1	41,3	41,1	37,0	33,3	30,6
R5	51,5	49,7	48,2	46,7	44,9	43,2	41,4	41,2	37,1	33,4	30,7
R6	50,9	49,0	47,5	46,1	44,2	42,5	40,7	40,4	36,3	32,6	29,9
R7	51,4	49,6	48,1	46,7	44,8	43,1	41,3	41,1	37,0	33,3	30,6
R8	51,6	49,7	48,2	46,8	45,0	43,2	41,5	41,2	37,1	33,5	30,8
R9	51,4	49,5	48,0	46,6	44,8	43,0	41,3	41,0	36,9	33,2	30,5
R10	50,5	48,7	47,2	45,8	43,9	42,2	40,4	40,1	36,1	32,3	29,6
R11	50,8	48,9	47,4	46,0	44,1	42,4	40,6	40,4	36,3	32,6	29,9
R12	52,0	50,2	48,7	47,2	45,4	43,7	42,0	41,7	37,7	34,0	31,4
R13	52,2	50,4	48,9	47,5	45,7	43,9	42,2	41,9	37,9	34,2	31,6

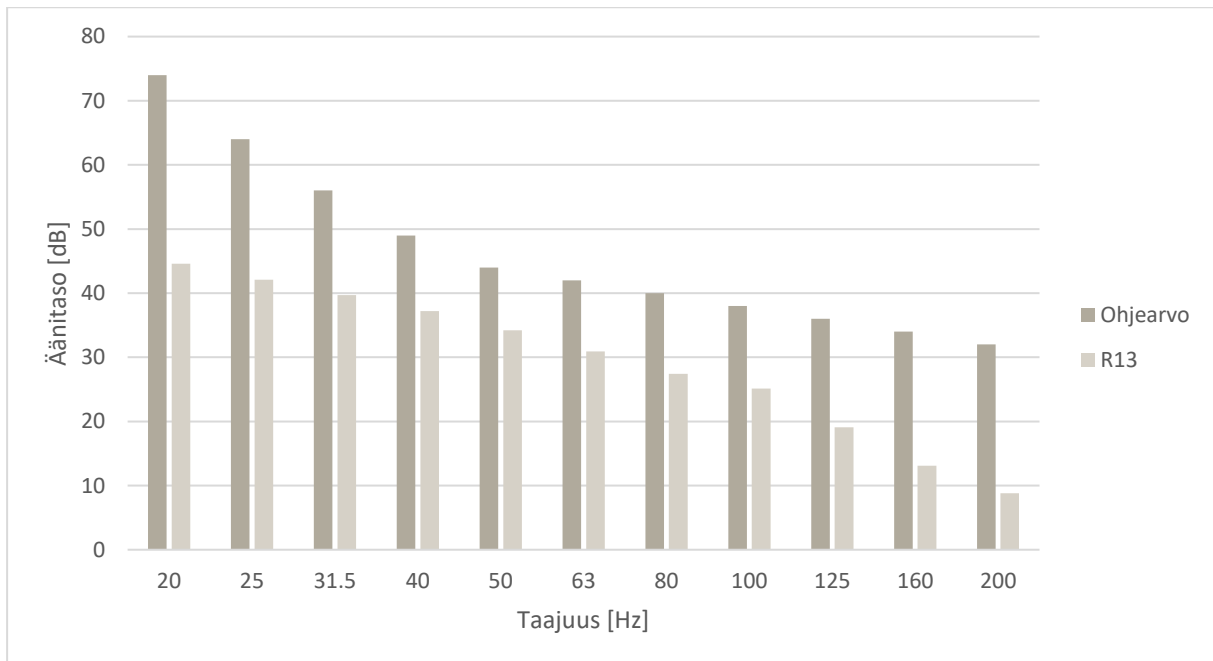
R14	52,1	50,3	48,7	47,3	45,5	43,7	42,0	41,7	37,7	34,0	31,4
R15	51,0	49,2	47,7	46,3	44,4	42,7	40,9	40,6	36,5	32,8	30,1
R16	52,2	50,4	48,9	47,4	45,6	43,9	42,2	41,9	37,9	34,2	31,6
R17	47,6	45,8	44,3	42,8	40,9	39,1	37,3	36,9	32,6	28,7	25,6



Kuva 9: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R3 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 10: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön R3 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 11: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön R13 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE3.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 24 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1, 18 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2 ja 9 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE3.

Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen kaikilla kolmella sijoitussuunnitelmalla. Melutasot jäävät ohjearvojen alapuolelle myös läheisen Lauhavuoren kansallispuiston alueella. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

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:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 12.10.2022			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Mika Laitinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Mika Laitinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Siemens Gamesa				Tyyppi: SG170 6,2 MW AM0		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 6.2 MW		Napakorkeus: 215 m		Roottorin halkaisija: 170 m		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot: SG170 6,2 MW AM0 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	65,7	200	65,7	2000	96,4
63	88,5	25	69,7	250	69,7	2500	94,0
125	95,4	31,5	73,7	315	73,7	3150	92,7
250	98,1	40	77,5	400	77,5	4000	90,3
500	99,9	50	80,3	500	80,3	5000	86,8
1000	103,8	63	83,1	630	83,1	6300	82,9
2000	101,9	80	85,9	800	85,9	8000	79,2
4000	95,3	100	89,8	1000	89,8	10000	75,5
8000	85,0	125	90,2	1250	90,2		
		160	91,7	1600	91,7		

Melun erityispiirteiden mittauss 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]				
4 m					10 m x 10 m				
Suhteellinen kosteus					Lämpötila				
70 %					15 C°				
Maastomallin lähde ja tarkkuus									
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos					Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet									
ISO 9613-2									
Vesialueet, (0) / (G)									
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)									
Maa-alueet (0) / (G)									
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus									
Neutraali									
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen									
Vapaa avaruus									
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)									
Asukkaat: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)									
Asukkaat: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille									
Virkistysalueet: 0 kpl					Luonnonsuojelualueet: 0 kpl				

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, VE1:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	53,8	54,6	55,9	55,7	55,6	54,5	54,9	55,0	54,8	53,4
25	52,0	52,8	54,0	53,9	53,8	52,7	53,1	53,2	52,9	51,6
31,5	50,4	51,3	52,5	52,3	52,3	51,2	51,6	51,7	51,4	50,0
40	49,0	49,8	51,1	50,9	50,9	49,7	50,2	50,2	50,0	48,6
50	47,2	48,0	49,3	49,1	49,0	47,9	48,3	48,4	48,2	46,7
63	45,4	46,3	47,5	47,3	47,3	46,1	46,6	46,6	46,4	45,0
80	43,6	44,5	45,8	45,6	45,5	44,3	44,8	44,9	44,6	43,2
100	43,3	44,2	45,5	45,3	45,3	44,0	44,5	44,6	44,3	42,9
125	39,2	40,1	41,4	41,2	41,2	39,9	40,4	40,5	40,2	38,7
160	35,5	36,4	37,7	37,5	37,5	36,1	36,7	36,8	36,5	34,9
200	32,8	33,7	35,0	34,8	34,7	33,3	33,9	34,0	33,8	32,1
Hz	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17			
20	53,6	55,1	55,5	55,6	54,4	55,3	53,3			
25	51,8	53,3	53,7	53,8	52,5	53,5	51,4			
31,5	50,3	51,7	52,2	52,2	51,0	51,9	49,9			
40	48,8	50,3	50,7	50,8	49,6	50,5	48,4			
50	47,0	48,5	48,9	49,0	47,8	48,7	46,6			
63	45,2	46,7	47,2	47,2	46,0	46,9	44,8			
80	43,4	45,0	45,4	45,5	44,2	45,2	43,0			
100	43,1	44,7	45,1	45,2	43,9	44,9	42,7			
125	39,0	40,6	41,1	41,1	39,8	40,8	38,5			
160	35,2	36,9	37,4	37,4	36,0	37,0	34,7			
200	32,4	34,2	34,7	34,7	33,2	34,3	31,8			

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, VE2:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	50,8	52,0	52,2	52,1	51,0	52,2	47,6	50,8	52,0	52,2
25	48,9	50,2	50,4	50,3	49,2	50,4	45,8	48,9	50,2	50,4
31,5	47,4	48,7	48,9	48,7	47,7	48,9	44,3	47,4	48,7	48,9
40	46,0	47,2	47,5	47,3	46,3	47,4	42,8	46,0	47,2	47,5
50	44,1	45,4	45,7	45,5	44,4	45,6	40,9	44,1	45,4	45,7
63	42,4	43,7	43,9	43,7	42,7	43,9	39,1	42,4	43,7	43,9
80	40,6	42,0	42,2	42,0	40,9	42,2	37,3	40,6	42,0	42,2
100	40,4	41,7	41,9	41,7	40,6	41,9	36,9	40,4	41,7	41,9
125	36,3	37,7	37,9	37,7	36,5	37,9	32,6	36,3	37,7	37,9
160	32,6	34,0	34,2	34,0	32,8	34,2	28,7	32,6	34,0	34,2
200	29,9	31,4	31,6	31,4	30,1	31,6	25,6	29,9	31,4	31,6
Hz	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17			
20	52,8	54,2	54,6	54,3	53,2	54,1	51,9			
25	50,9	52,4	52,8	52,5	51,4	52,3	50,1			
31,5	49,4	50,9	51,3	51,0	49,8	50,7	48,5			
40	48,0	49,4	49,8	49,6	48,4	49,3	47,1			
50	46,2	47,6	48,0	47,7	46,6	47,5	45,2			
63	44,4	45,9	46,3	46,0	44,8	45,7	43,5			
80	42,6	44,1	44,5	44,2	43,0	44,0	41,7			
100	42,3	43,8	44,2	44,0	42,7	43,7	41,3			
125	38,2	39,8	40,2	39,9	38,6	39,6	37,1			
160	34,4	36,1	36,5	36,2	34,8	35,9	33,3			
200	31,6	33,4	33,9	33,5	32,0	33,1	30,4			

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, VE3:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	45,9	47,0	51,5	51,4	51,5	50,9	51,4	51,6	51,4	50,5
25	44,0	45,2	49,7	49,6	49,7	49,0	49,6	49,7	49,5	48,7
31,5	42,5	43,6	48,2	48,1	48,2	47,5	48,1	48,2	48,0	47,2
40	41,0	42,2	46,7	46,7	46,7	46,1	46,7	46,8	46,6	45,8
50	39,1	40,3	44,9	44,8	44,9	44,2	44,8	45,0	44,8	43,9
63	37,3	38,5	43,2	43,1	43,2	42,5	43,1	43,2	43,0	42,2
80	35,4	36,6	41,4	41,3	41,4	40,7	41,3	41,5	41,3	40,4
100	34,9	36,2	41,1	41,1	41,2	40,4	41,1	41,2	41,0	40,1
125	30,5	31,9	37,1	37,0	37,1	36,3	37,0	37,1	36,9	36,1
160	26,4	27,8	33,4	33,3	33,4	32,6	33,3	33,5	33,2	32,3
200	23,1	24,7	30,7	30,6	30,7	29,9	30,6	30,8	30,5	29,6
Hz	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17			
20	50,8	52,0	52,2	52,1	51,0	52,2	47,6			
25	48,9	50,2	50,4	50,3	49,2	50,4	45,8			
31,5	47,4	48,7	48,9	48,7	47,7	48,9	44,3			
40	46,0	47,2	47,5	47,3	46,3	47,4	42,8			
50	44,1	45,4	45,7	45,5	44,4	45,6	40,9			
63	42,4	43,7	43,9	43,7	42,7	43,9	39,1			
80	40,6	42,0	42,2	42,0	40,9	42,2	37,3			
100	40,4	41,7	41,9	41,7	40,6	41,9	36,9			
125	36,3	37,7	37,9	37,7	36,5	37,9	32,6			
160	32,6	34,0	34,2	34,0	32,8	34,2	28,7			
200	29,9	31,4	31,6	31,4	30,1	31,6	25,6			