



Windfarm Kairineva Oy

Kairineva

Tuulivoimapuiston meluselvitys

12.12.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101029015-002.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Windfarm Kairineva Oy

Kia Anttilainen

kia.anttilainen@neova-group.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinnumero: 101029015-002

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.12.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.12.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

SISÄLLYS

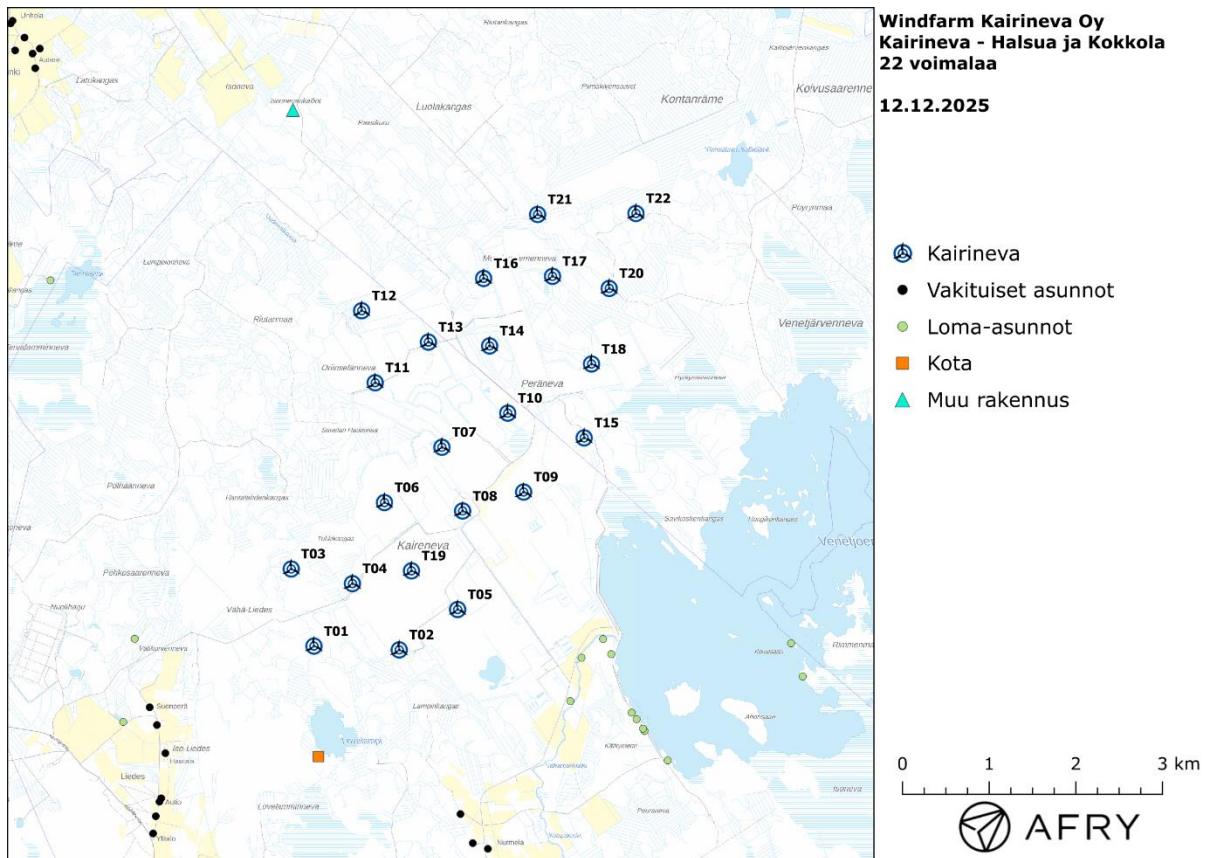
1	JOHDANTO.....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU.....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	10
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS.....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	14
3.3	Melun yhteisvaikutukset	16
4	YHTEENVETO.....	21
5	VIITTEET	22
6	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT.....	23

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Halsuan kunnan ja Kokkolan kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 22 voimalan sijoittelusuunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyypin Vestas V172 7.2 MW (toimintamoodi PO7200) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109,8 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 107,8 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyypin 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.

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Kairinevan sekä Tuohimaa-Riutanmaan tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kairinevan tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (22 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	357055	7047439	140
T02	358039	7047395	132
T03	356793	7048328	140
T04	357499	7048159	135
T05	358713	7047860	130
T06	357869	7049094	132
T07	358532	7049732	137
T08	358771	7048997	132
T09	359475	7049215	132
T10	359291	7050125	136
T11	357762	7050475	134
T12	357606	7051306	132
T13	358376	7050944	131
T14	359082	7050900	141
T15	360173	7049840	138
T16	359013	7051678	138
T17	359808	7051703	138
T18	360258	7050692	137
T19	358181	7048306	132
T20	360462	7051563	138
T21	359636	7052416	139
T22	360771	7052427	138

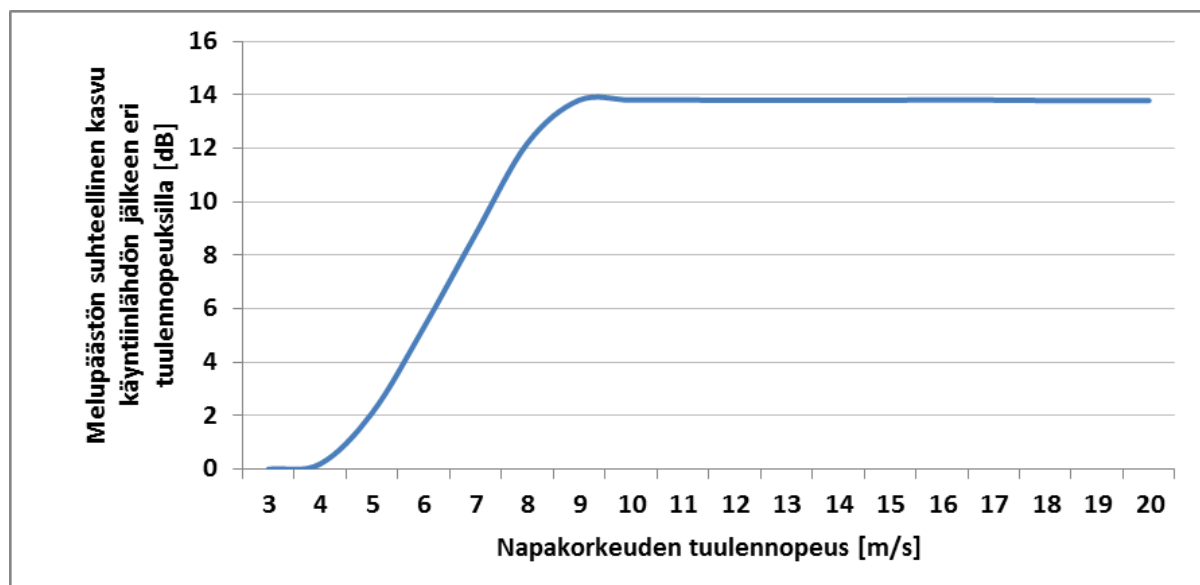
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiäänäni 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 [13]. 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 [16].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähön nopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2-1).



Kuva 2-1: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoiääntehotason 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 kokemuksperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [15].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [14]. 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 lähtöäänitasoa 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 [12].

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 tuulivoimalan 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 voimalatyypin 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 tuulivoimaloiden 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 9613-2:2024 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuuden 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].

Tuulivoimameluasetuksen 1107/1/2015 perustelumuistion mukaan asetusta ei sovelleta kaikilla luonnonsuojelualueilla, vaan ainoastaan yleiselle virkistyskäytölle tärkeillä luonnonsuojelualueilla, joille on rakennettu käyttöä palvelevia polkuja ja muita rakenteita. Asetuksen ohjearvot eivät siis koske tavanomaisia luonnonsuojelualueita.

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, lasketuun 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 mitaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2-1).

Taulukko 2-1: 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 toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 2-2). 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 2-2: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat 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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 2-2) 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 uniäiriötä 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 kokonaistäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä matalataajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpideravot. 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 ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristykseen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisen sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2:2024 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty Vestas V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista tuulivoimalavalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission, EnVentus™ V172, Document no. 0128-4336_01, 2024-11-29.

Dokumentissa esitetyt melutasot perustuvat voimalatyypillä tehtyihin testimittauksiin. 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.”

Tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 107,8 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Tuulivoimalatyyppien 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.

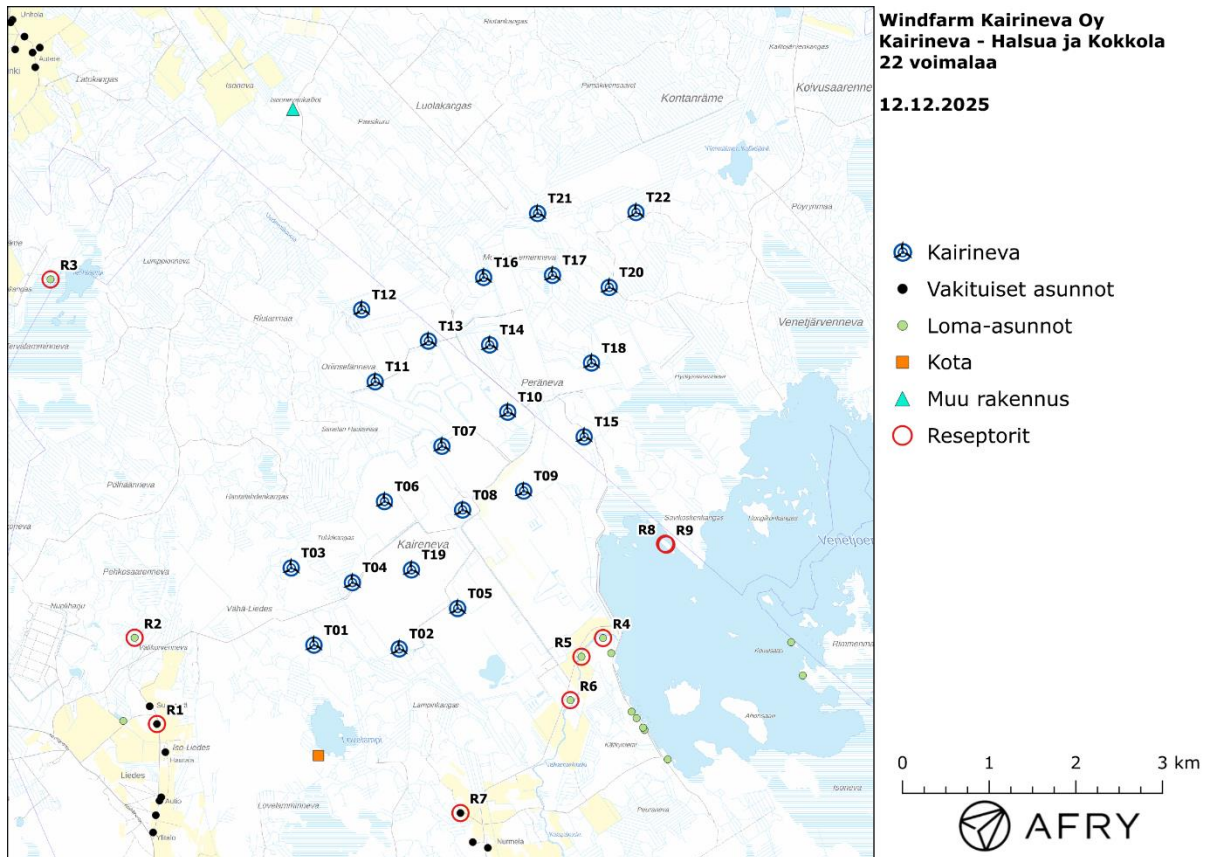
Taulukossa (Taulukko 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä yhdeksän pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty

karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5–3,6 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista.

Hankealuealueen eteläpuolella, noin 1,3 km voimalan T01 eteläpuolella sijaitsee yksi Maanmittauslaitoksen maastotietokannassa loma-asunnoksi luokiteltu rakennus. Kyseistä rakennusta ei näy Suomen ympäristökeskuksen (Syke) Ryhti-palvelusta, joka on maastotietokantaa paremmin ajan tasalla rakennusten senhetkisestä luokituksesta. Asiakkaalta saadun tiedon mukaan kyseinen rakennus on todellisuudessa kota, eikä rakennusta huomioida tästä syystä välkevaikutusten arvioinnissa. Myöskään noin 2,4 km voimalan T12 luoteispuolella sijaitsevaa rakennusta ei huomioida välkevaikutusten arvioinnissa. Kyseinen rakennus on maastotietokannassa luokiteltu loma-asunnoksi, mutta rakennusta ei ole luokiteltu Syke:n Ryhti-palvelussa. Huomioimatta jätetyt rakennukset on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1).

Taulukko 3-1: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	355245	7046527	136	vakituinen asunto
R2	354987	7047521	137	loma-asunto
R3	354017	7051654	124	loma-asunto
R4	360392	7047518	130	loma-asunto
R5	360143	7047302	129	loma-asunto
R6	360015	7046802	129	loma-asunto
R7	358747	7045500	132	vakituinen asunto
R8	361108	7048605	136	loma-asunto
R9	361122	7048596	136	loma-asunto



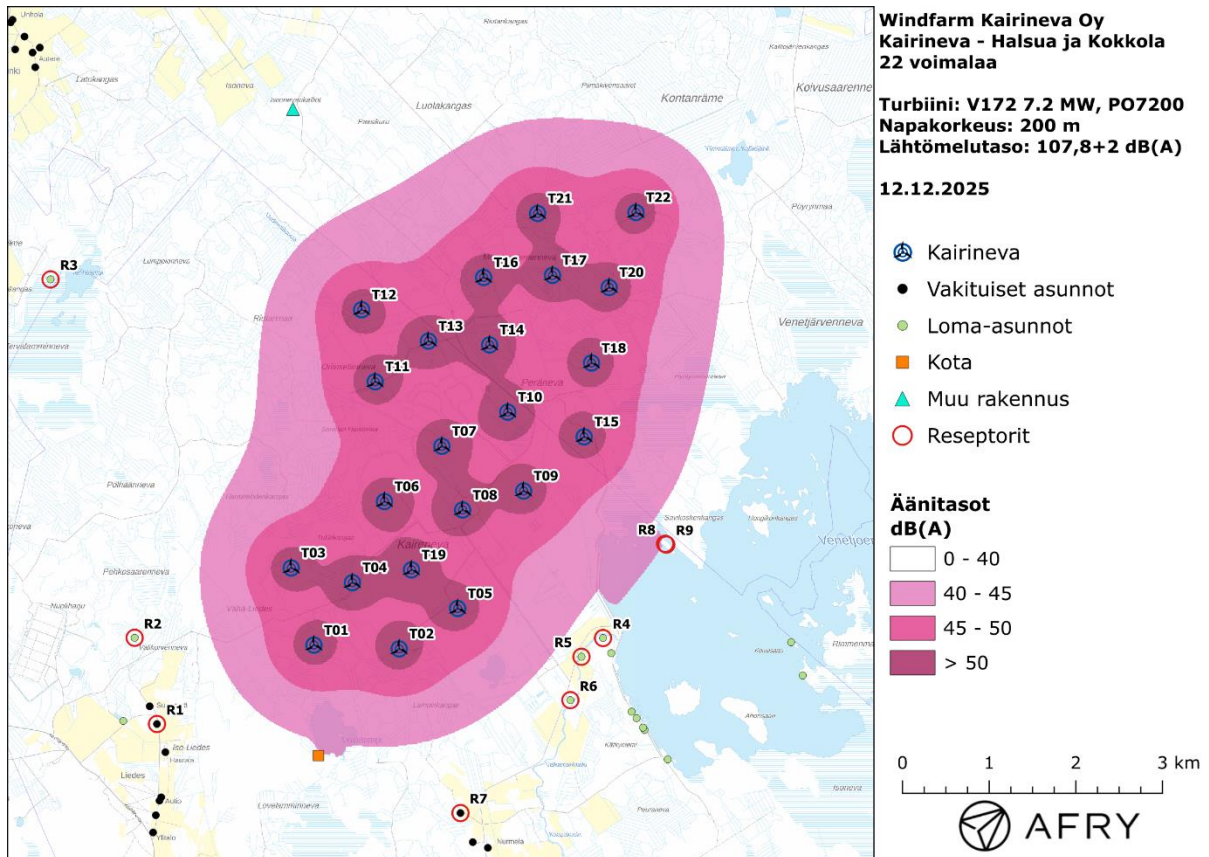
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kairinevan tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). 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 3-2). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Mallinnuksen perusteella Kairinevan lähistöllä olevilla luonnonsuojelualueilla ei saavuteta yli 40 dB:n melutasoa.



Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Kairinevan tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	34,5
R2	35,4
R3	30,7
R4	38,2
R5	38,5
R6	37,4
R7	35,2
R8	39,1
R9	39,0

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 määritettyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 2-2). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, 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 määritetty rakennuksesta aiheutuva äänitasoero (ΔL_{σ}) 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 3-3) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 3-3: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

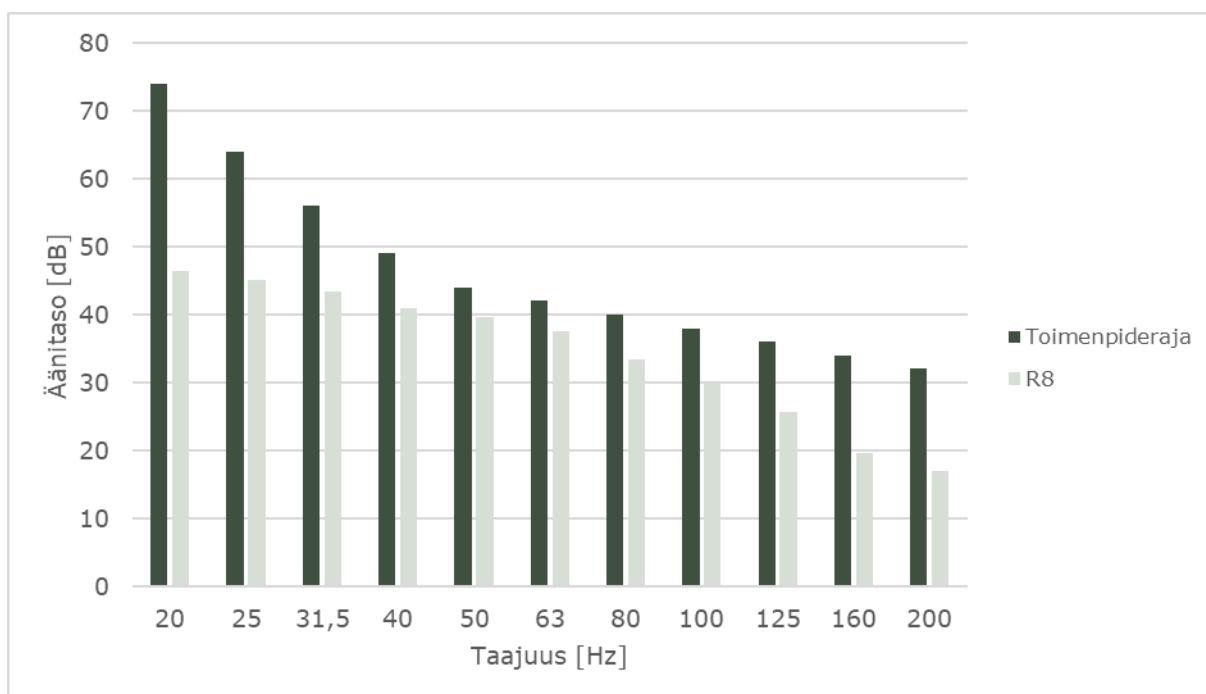
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määritettyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-3) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R8, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-3). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 3-4: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

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


Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R8 kohdalla.

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kairinevan voimaloiden sekä läheisen suunnitteilla olevan Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuiston aiheuttamaa melun yhteisvaikutusta.

Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimahanketta suunnittelee wpd Suomi Oy. Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuistoon on suunnitteilla 49 voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 700 m etäisyydellä Kairinevan voimaloista.

Melumallinnuksessa Tuohimaa-Riutanmaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m sekä tuulivoimalatyyppiä Nordex N163 5.7 MW (Mode 0.b, with serrated trailing edges), jonka lähtömelutaso on 107,2 dB(A). Tähän melutasoon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo tunnusarvon saamiseksi, joten mallinnuksessa on käytetty äänitehotasoa 109,2 dB(A). Tuulivoimatyypin melun taajuusjakaumat on saatu dokumentista:

- Third octave sound power levels, Nordex N163/5.X VPC, F008_276a_A17_EN, Revision 03, 2021-09-13.

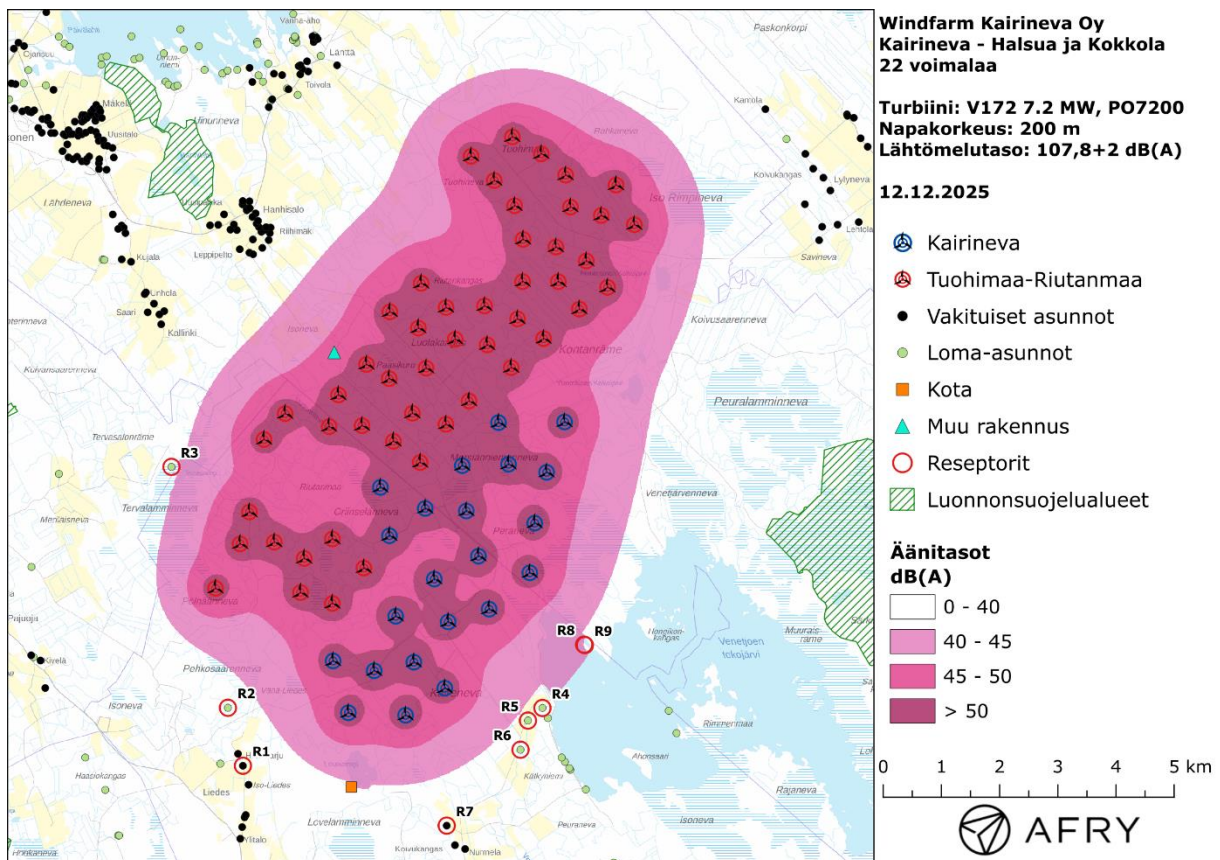
Tuohimaa-Riutanmaan voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-5).

Taulukko 3-5: Tuohimaa-Riutanmaan tuulivoimaloiden (49 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TR14	361655	7056491	141
TR15	361970	7055811	138
TR16	359874	7057317	139
TR17	360371	7057027	145
TR18	360790	7056661	146
TR19	360872	7056113	145
TR20	361402	7055969	141
TR21	359165	7056985	133
TR22	359563	7056569	148
TR23	359912	7056136	148
TR24	360057	7055559	146
TR25	360621	7055427	144
TR26	361144	7055189	140
TR27	361510	7054736	139
TR31	360049	7054835	143
TR32	360663	7054833	140
TR33	361026	7054363	140
TR36	359395	7054417	144
TR37	359963	7054194	141
TR38	360410	7053856	140
TR39	358306	7054806	136
TR40	358735	7054390	139
TR41	358891	7053845	142
TR42	359441	7053749	143
TR43	359855	7053359	140
TR44	357768	7054316	132
TR45	358258	7054037	137
TR46	358391	7053350	139
TR47	359130	7052786	140
TR48	357366	7053414	140
TR49	357757	7053170	139
TR50	358156	7052577	139
TR51	358732	7052387	138
TR52	356885	7052890	136
TR53	357291	7052364	139
TR54	358290	7051732	134
TR55	355969	7052570	127
TR56	356724	7052347	129
TR57	357830	7052096	136

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TR58	355606	7052126	133
TR63	355355	7050883	132
TR64	355783	7050366	139
TR66	356780	7050420	138
TR68	355195	7050337	130
TR69	354772	7049573	131
TR70	356296	7050086	146
TR71	356233	7049501	145
TR72	356780	7049314	142
TR73	357322	7049921	145

Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-4). Keskiäänitasot reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnustulosten perusteella Kairinevan sekä Tuohimaa-Riutanmaan aiheuttamat melun yhteisvaikutukset jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien ympäristön asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa 0,6–8,6 dB(A). Melutaso nousee eniten reseptorin R3 kohdalla, joka on lähempänä Tuohimaa-Riutanmaan voimaloita kuin Kairinevan voimaloita.



Kuva 3-4: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnuksissa huomioidaan Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan voimalat.

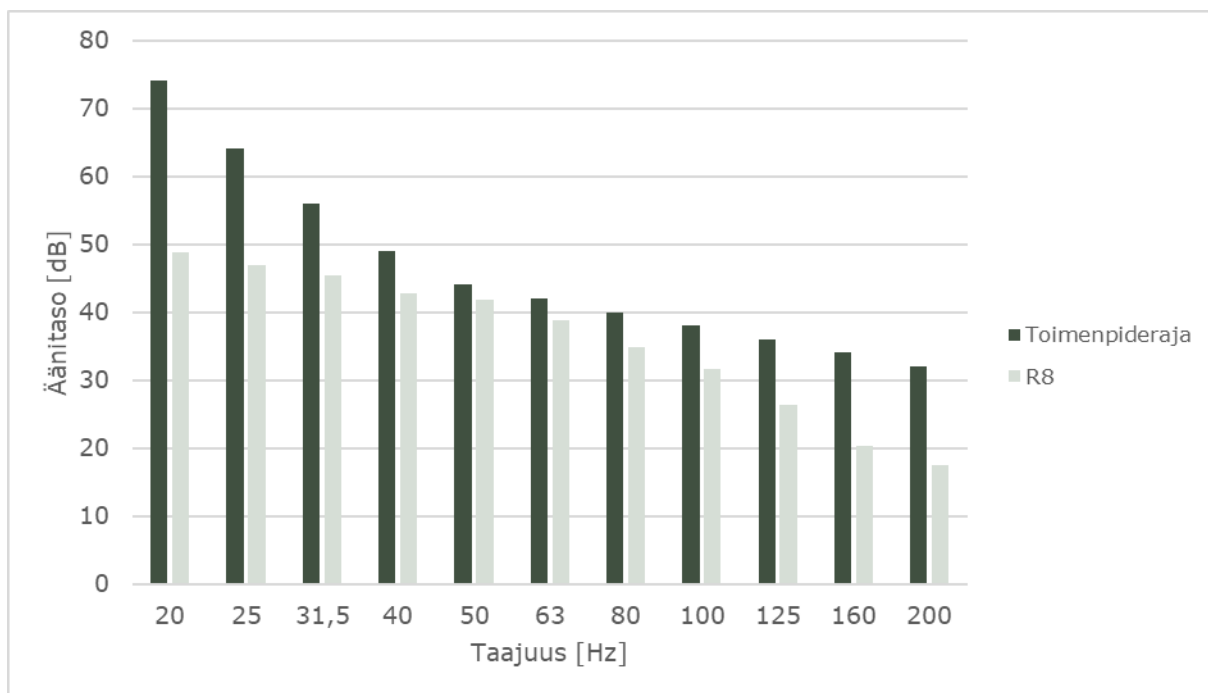
Taulukko 3-6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	36,3
R2	38,0
R3	39,3
R4	38,8
R5	39,1
R6	38,0
R7	36,0
R8	39,8
R9	39,6

Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R8, jonka kohdalla on myös laskettu sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, yhteisvaikutusten melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 3-7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan sekä Tuohimaa-Riutanmaan voimalat.

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,5	53,2	52,8	51,2	51,4	49,5	47,3	46,5	42,5	38,5	37,1
R2	55,8	54,4	54,0	52,4	52,7	50,6	48,5	47,9	43,7	39,8	38,4
R3	57,1	55,4	55,2	53,6	54,0	51,2	49,3	49,3	44,0	40,0	38,2
R4	55,9	54,8	54,3	52,7	52,9	51,4	49,2	48,1	44,8	41,0	39,9
R5	56,0	54,9	54,3	52,8	52,9	51,5	49,3	48,1	45,0	41,2	40,1
R6	55,3	54,2	53,6	52,1	52,2	50,7	48,5	47,4	44,1	40,3	39,1
R7	54,0	52,8	52,3	50,7	50,9	49,2	47,0	45,9	42,5	38,5	37,2
R8	56,4	55,2	54,7	53,1	53,3	51,8	49,6	48,5	45,2	41,4	40,3
R9	56,3	55,2	54,6	53,1	53,3	51,7	49,6	48,5	45,2	41,4	40,2



Kuva 3-5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R8 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan voimalat.

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Halsuan kunnan ja Kokkolan kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 22 voimalan suunnitelmalla käyttäen tuulivoimalatyyppin Vestas V172 7.2 MW PO7200 taajuusjakaumia ja napakorkeutta 200 m.

Mallinnusten perustella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös 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 1107/2015 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] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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 raportioijan tiedot							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101029015-002.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 12.12.2025			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Kalle Auvinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Kalle Auvinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
Mallinnusohjelman tiedot							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2:2024			
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with ser- rated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 200 m		Roottorin halkaisija: 172 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 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Third octave noise emission, EnVentus™ V172, Document no. 0128-4336_01, 2024-11-29.							
Alla oleviin arvoihin on jo lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,7	200	97,7	2000	97,2
63	89,8	25	69,9	250	99,2	2500	96,6
125	96,8	31,5	74,6	315	98,9	3150	96,8
250	101,4	40	78,4	400	97,8	4000	96,3
500	100,4	50	83,0	500	97,4	5000	92,0
1000	101,0	63	86,9	630	97,6	6300	85,7
2000	99,9	80	89,2	800	98,2	8000	81,4
4000	98,3	100	91,7	1000	98,4	10000	77,2
8000	85,5	125	94,0	1250	98,0		
		160	95,6	1600	97,5		

Melun erityispiirteiden mittaust 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 absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2:2024											
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:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,0	50,4	49,6	48,1	48,1	47,4	45,0	43,3	41,0	37,1	36,0
R2	51,6	51,0	50,1	48,7	48,6	48,0	45,7	43,9	41,6	37,8	36,8
R3	48,9	48,2	47,4	45,9	45,8	45,1	42,7	40,8	38,3	34,2	32,6
R4	53,8	53,2	52,4	50,9	50,9	50,2	48,0	46,3	44,0	40,4	39,4
R5	54,0	53,3	52,5	51,1	51,0	50,4	48,1	46,4	44,2	40,6	39,6
R6	53,2	52,5	51,7	50,3	50,2	49,6	47,3	45,6	43,4	39,7	38,7
R7	51,6	51,0	50,1	48,7	48,6	47,9	45,6	43,9	41,6	37,8	36,7
R8	54,1	53,5	52,6	51,2	51,2	50,5	48,3	46,6	44,4	40,7	39,8
R9	54,0	53,4	52,6	51,1	51,1	50,5	48,2	46,5	44,3	40,7	39,7