



Neoen Renewables Finland Oy

Marjakeidas

Tuulivoimapuiston meluselvitys

11.09.2025

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 101025072-011.

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:

Neoen Renewables Finland Oy

Maija-Leena Oinonen

maija-leena.oinonen@neoen.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101025072-011

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	03.09.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	03.09.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	11.09.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	11.09.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Napakorkeutta muutettu, Reseptoripisteitä muutettu, Lukujen 2.3 ja 3.1 tekstiä sel- keytetty.

SISÄLLYS

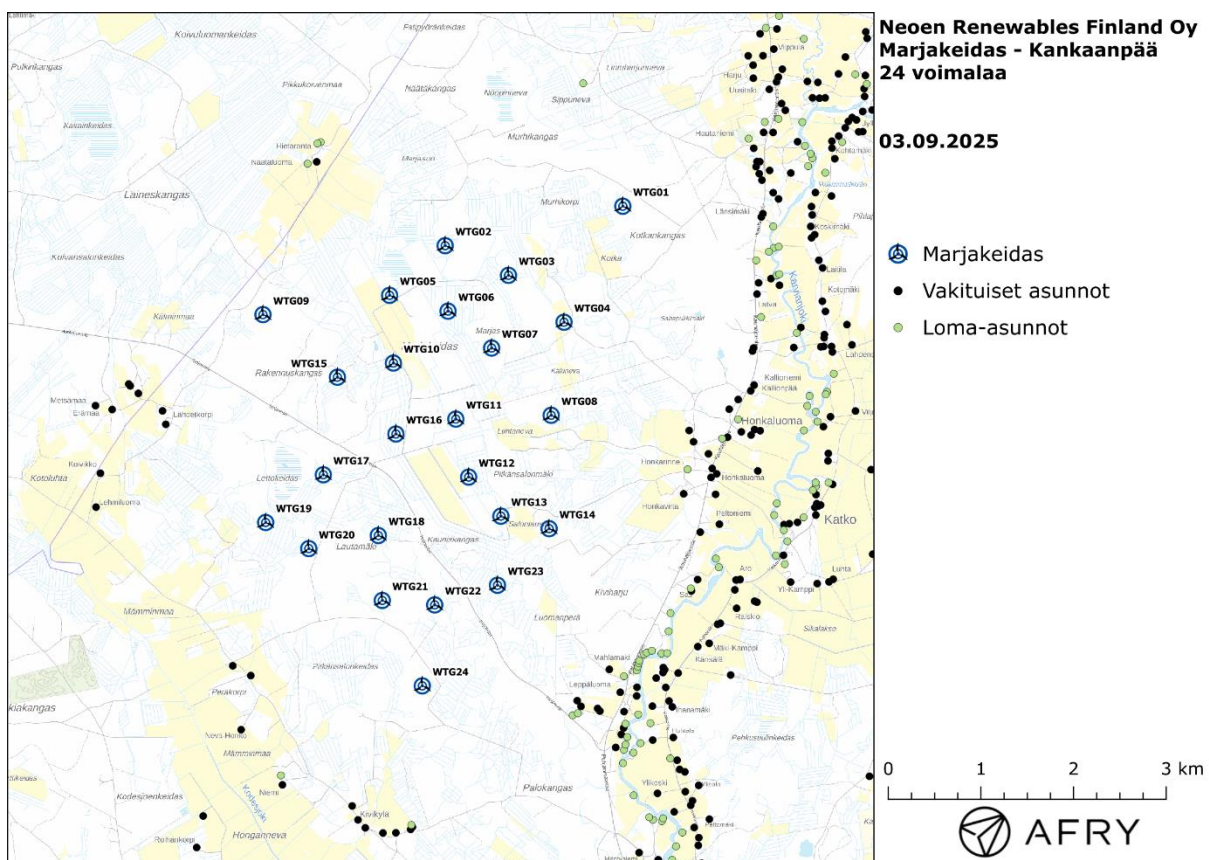
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus	8
2.3	Ohjearvot	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi	10
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	15
4	YHTEENVETO	18
5	VIITTEET	19
6	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT	20

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Marjakeitaan tuulivoimapuistolle käytetään 24 voimalan sijoittelusuunnitelmaa. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja tuulivoimalatyypin Vestas V172 7.2 MW 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.

Marjakeitaan tuulivoimapuiston läheisyydessä sijaitsee olemassa olevat tuulivoimapuistot Kirkonkallio ja Kooninkallio, sekä tiedossa olevat suunnitellut tuulivoimapuistot Kolmihaara, Haukkasalo ja Paholammi. Marjakeitaan suunniteltujen voimalasijaintien etäisyys lähimpiin olemassa oleviin ja suunniteltuihin voimalasijainteihin on yli 6 km, eikä Marjakeitaan tuulivoimaloiden katsota siten aiheuttavan merkittäviä melun yhteisvaikutuksia näiden tuulivoimapuistojen kanssa. Marjakeitaan tuulivoimapuiston aiheuttamien meluvaiikutusten arvioimiseksi riittää siis tarkastella ainoastaan Marjakeitaan tuulivoimapuiston tuulivoimaloita.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan hankealueella.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (24 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatissa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	250406	6891028	125
WTG02	248487	6890602	120
WTG03	249171	6890282	120
WTG04	249771	6889776	117
WTG05	247887	6890066	120
WTG06	248518	6889895	120
WTG07	248989	6889497	122
WTG08	249632	6888771	116
WTG09	246519	6889858	124
WTG10	247928	6889335	120
WTG11	248602	6888730	117
WTG12	248741	6888104	117
WTG13	249089	6887682	115
WTG14	249610	6887547	116
WTG15	247323	6889182	125
WTG16	247955	6888569	118
WTG17	247171	6888129	118
WTG18	247765	6887473	119
WTG19	246548	6887614	112
WTG20	247014	6887332	113
WTG21	247808	6886772	118
WTG22	248374	6886724	117
WTG23	249052	6886936	115
WTG24	248240	6885850	115

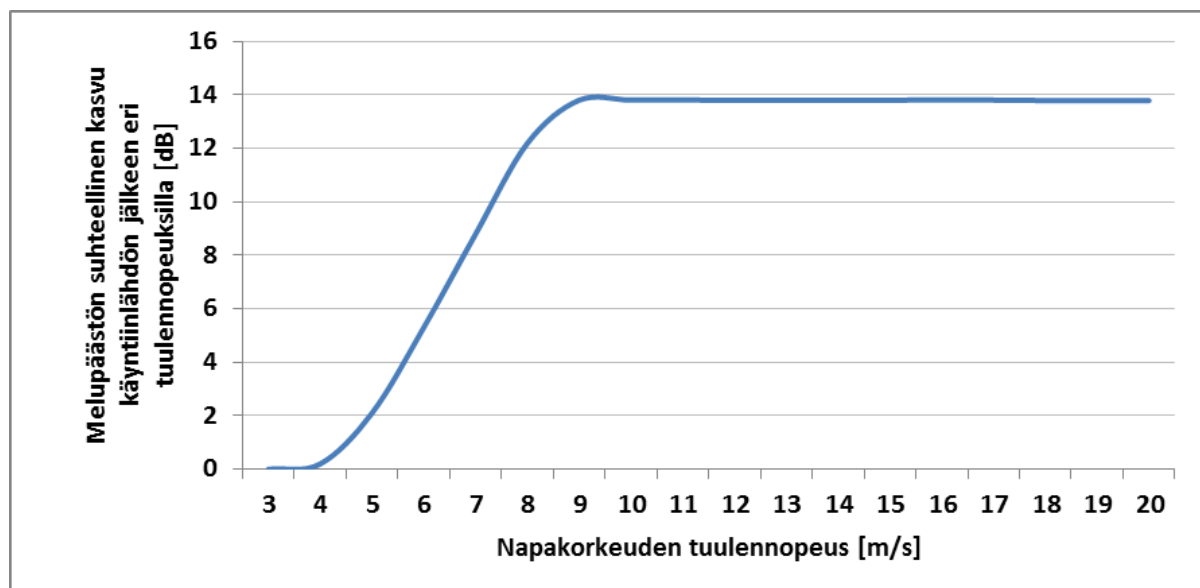
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiäänin 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 tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta 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 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 ilmaston 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].

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 kokonaismelutason 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.”

Tuulivoimalatyypin V172 7.2 MW PO7200 ilmoitettu äänitehotaso on 107,8 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

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

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

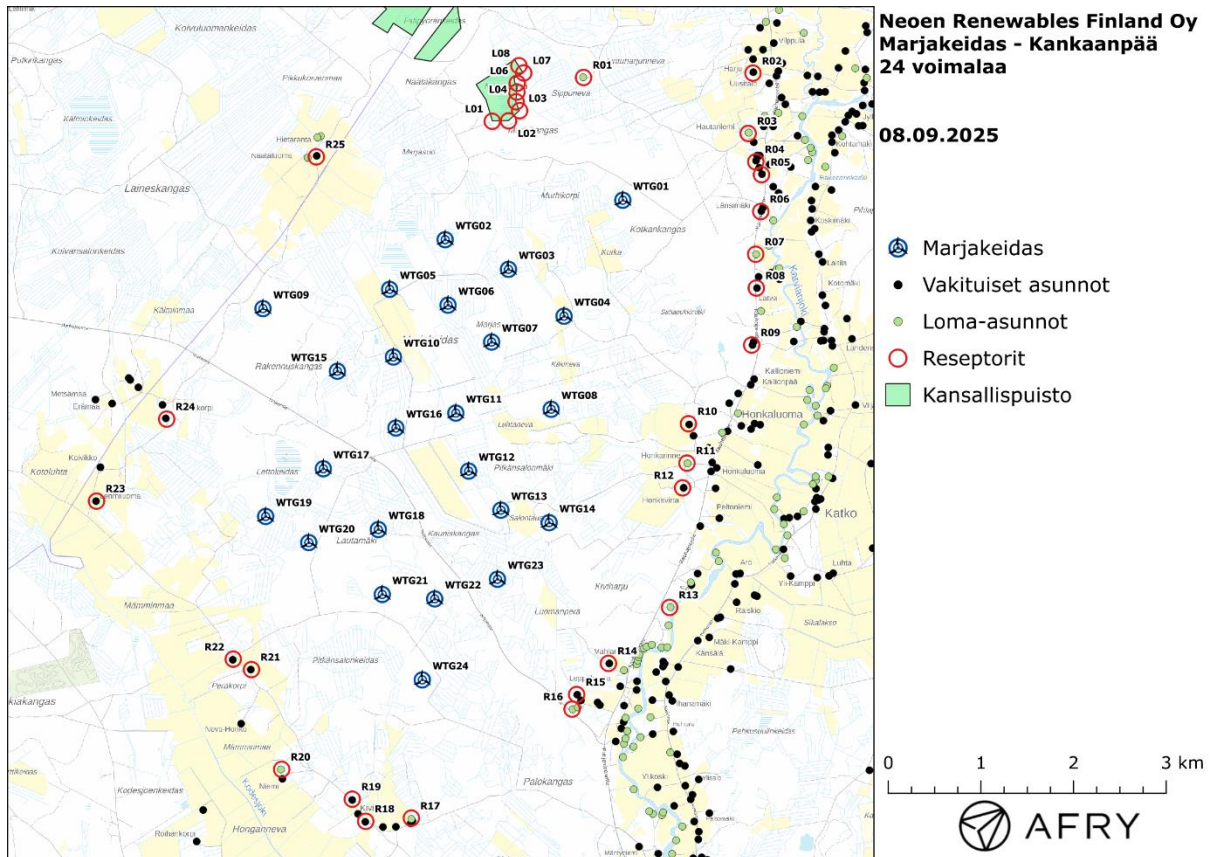
Taulukossa (Taulukko 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuuden melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä

kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,4–2,1 km etäisyydellä voimaloista.

Reseptoripisteiden lisäksi meluvaikutuksen pistemäisiä tarkasteluja tehdään Marjakeitaan pohjoispuolella sijaitsevan Lauhanvuoren kansallispuiston reunalta useasta pisteestä. Pistemäisillä tarkasteluilla tarkastellaan kansallispuistoille asetettua valtioneuvoston asetuksen mukaista 40 dB(A) ohjearvoa.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R01	249983	6892351	132	loma-asunto
R02	251813	6892398	118	vakituinen asunto
R03	251761	6891747	114	loma-asunto
R04	251843	6891441	110	vakituinen asunto
R05	251905	6891302	109	vakituinen asunto
R06	251897	6890904	107	vakituinen asunto
R07	251842	6890443	109	loma-asunto
R08	251849	6890078	110	vakituinen asunto
R09	251799	6889463	111	vakituinen asunto
R10	251116	6888613	112	vakituinen asunto
R11	251100	6888188	110	loma-asunto
R12	251053	6887921	106	vakituinen asunto
R13	250913	6886630	102	loma-asunto
R14	250252	6886026	106	vakituinen asunto
R15	249908	6885690	108	vakituinen asunto
R16	249859	6885532	111	loma-asunto
R17	248123	6884356	106	loma-asunto
R18	247630	6884321	102	vakituinen asunto
R19	247485	6884560	104	vakituinen asunto
R20	246722	6884882	95	loma-asunto
R21	246396	6885959	97	vakituinen asunto
R22	246199	6886072	96	vakituinen asunto
R23	244722	6887778	95	vakituinen asunto
R24	245480	6888663	112	vakituinen asunto
R25	247096	6891494	116	vakituinen asunto
L01	248997	6891878	136	kansallispuisto
L02	249173	6891883	136	kansallispuisto
L03	249292	6891993	137	kansallispuisto
L04	249255	6892089	137	kansallispuisto
L05	249263	6892194	138	kansallispuisto
L06	249267	6892289	138	kansallispuisto
L07	249337	6892400	137	kansallispuisto
L08	249285	6892478	137	kansallispuisto



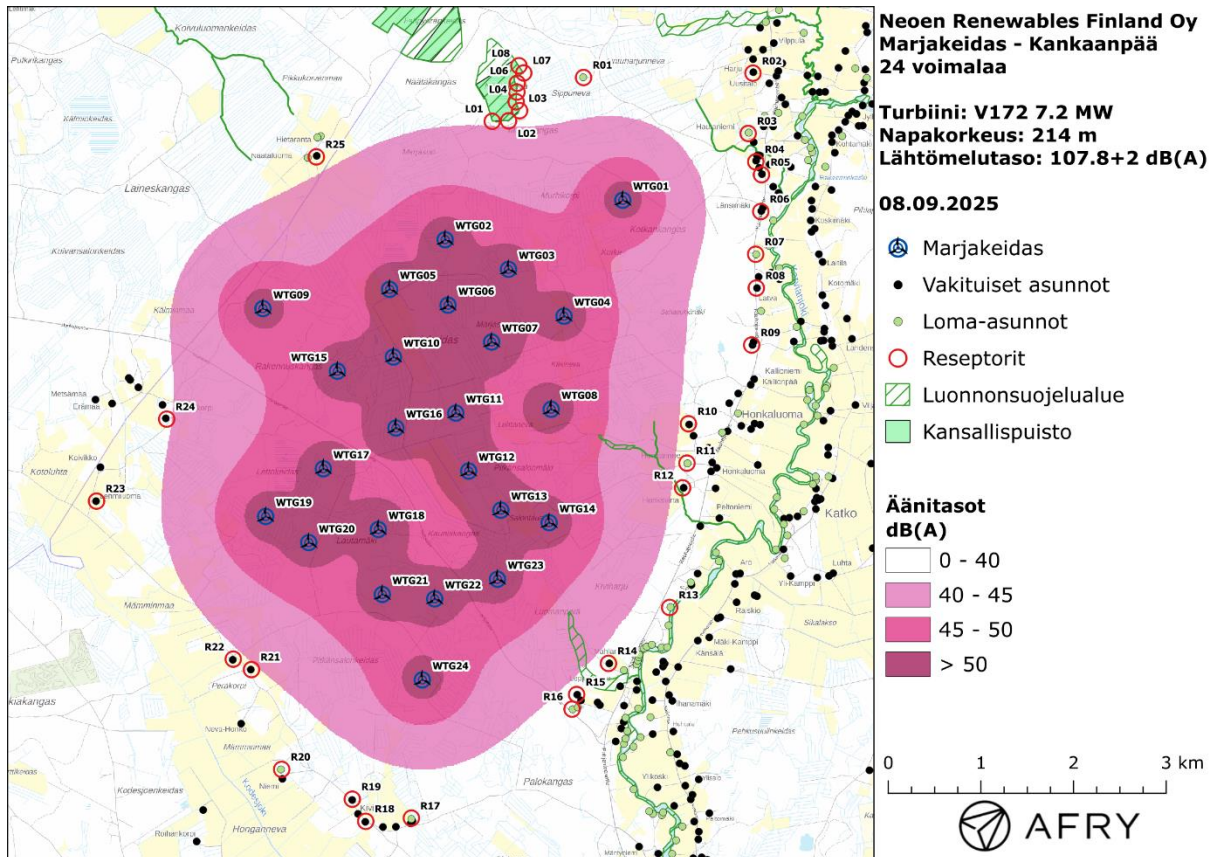
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Marjakeitaan tuulivoimapuiston hankealueella.

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 sekä kansallispuistot. Mallinnustulosten perusteella kansallispuistoissa jätään valtioneuvoston asetuksen mukaisen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle.



Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Marjakeitaan tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R01	37,4
R02	33,0
R03	35,4
R04	35,6
R05	35,5
R06	35,5
R07	36,0
R08	35,9
R09	36,2
R10	39,5
R11	39,3
R12	39,4
R13	37,9
R14	39,1
R15	39,2
R16	38,7
R17	36,7
R18	36,0
R19	37,0

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R20	36,6
R21	39,7
R22	39,4
R23	36,4
R24	39,7
R25	39,1
L01	39,7
L02	39,6
L03	39,1
L04	38,6
L05	38,1
L06	37,7
L07	37,1
L08	36,7

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakauksia 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 määritellyjä 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 ylittivät 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.

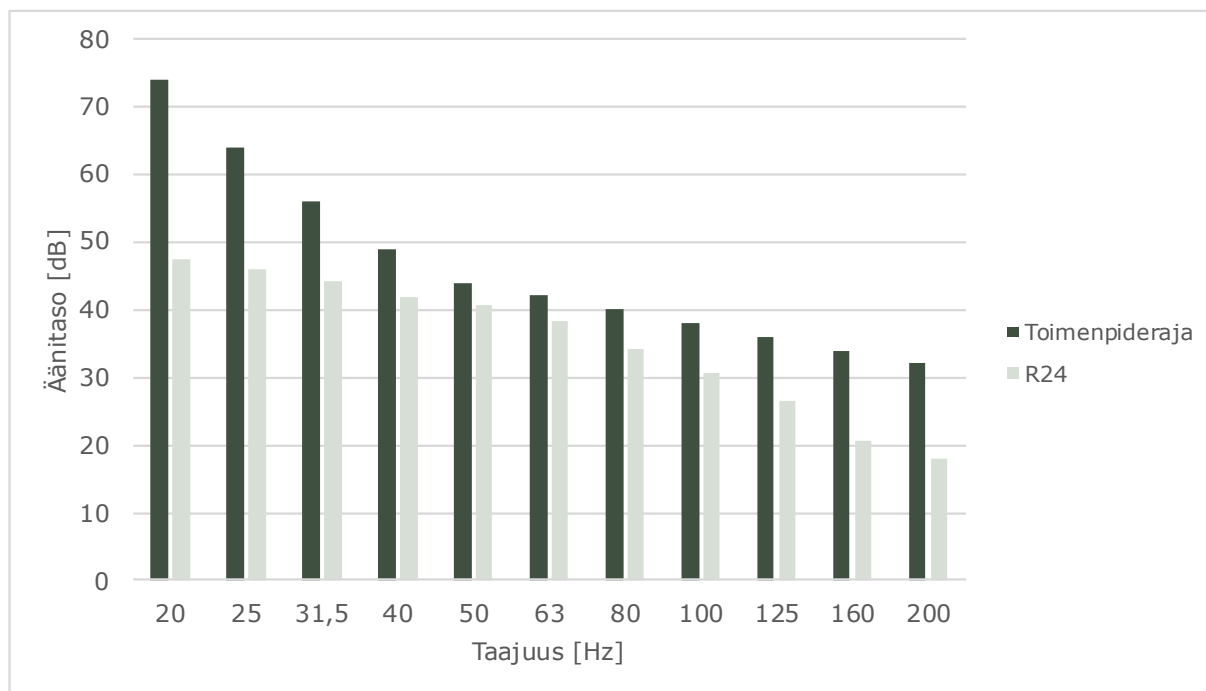
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen, asutusta käsittelevien, 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 R24, 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
R01	53,0	52,4	51,5	50,1	50,1	49,4	47,1	45,4	43,2	39,5	38,5
R02	50,4	49,8	48,9	47,5	47,4	46,7	44,4	42,5	40,2	36,3	35,0
R03	51,6	51,0	50,2	48,7	48,7	48,0	45,7	43,9	41,6	37,9	36,8
R04	51,9	51,2	50,4	49,0	48,9	48,2	46,0	44,2	41,9	38,1	37,1
R05	51,9	51,3	50,4	49,0	48,9	48,2	46,0	44,2	41,9	38,1	37,1
R06	52,3	51,6	50,8	49,4	49,3	48,7	46,4	44,6	42,4	38,6	37,5
R07	52,7	52,0	51,2	49,8	49,7	49,1	46,8	45,0	42,8	39,0	38,0
R08	52,8	52,1	51,3	49,8	49,8	49,1	46,8	45,1	42,8	39,1	38,0
R09	53,0	52,3	51,5	50,0	50,0	49,3	47,0	45,3	43,0	39,3	38,2
R10	54,8	54,2	53,4	51,9	51,9	51,3	49,0	47,3	45,1	41,5	40,6
R11	54,7	54,1	53,3	51,8	51,8	51,2	48,9	47,2	45,0	41,4	40,5
R12	54,8	54,1	53,3	51,9	51,9	51,2	48,9	47,3	45,1	41,5	40,5
R13	53,9	53,2	52,4	51,0	50,9	50,3	48,0	46,3	44,1	40,4	39,4
R14	54,5	53,8	53,0	51,6	51,5	50,9	48,6	47,0	44,8	41,1	40,2
R15	54,5	53,8	53,0	51,6	51,5	50,9	48,6	47,0	44,8	41,1	40,2
R16	54,1	53,5	52,7	51,3	51,2	50,6	48,3	46,6	44,4	40,8	39,9
R17	52,6	52,0	51,1	49,7	49,6	49,0	46,7	45,0	42,7	39,0	38,0
R18	52,3	51,6	50,8	49,4	49,3	48,6	46,3	44,6	42,3	38,6	37,5
R19	52,9	52,2	51,4	50,0	49,9	49,2	47,0	45,2	43,0	39,3	38,3
R20	52,7	52,1	51,3	49,8	49,8	49,1	46,8	45,1	42,8	39,1	38,0
R21	54,8	54,2	53,4	51,9	51,9	51,3	49,0	47,3	45,2	41,6	40,7
R22	54,6	54,0	53,2	51,7	51,7	51,1	48,8	47,1	45,0	41,4	40,5
R23	52,7	52,0	51,2	49,8	49,7	49,1	46,8	45,0	42,8	39,0	37,9
R24	54,9	54,3	53,5	52,0	52,0	51,4	49,1	47,5	45,3	41,7	40,8
R25	54,5	53,8	53,0	51,6	51,6	50,9	48,7	47,0	44,8	41,1	40,2



Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R24 kohdalla.

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 24 voimalan suunnitelmalla käyttäen tuulivoimalatyypin Vestas V172 7.2 MW taajuusjakaumia ja napakorkeutta 214 m.

Mallinnusten perustella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten sekä kansallispuiston 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: 101025072-011.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 11.09.2025			
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: 214 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	91,8	25	69,9	250	99,2	2500	96,6
125	98,8	31,5	74,6	315	98,9	3150	96,8
250	103,4	40	78,4	400	97,8	4000	96,3
500	102,4	50	83,0	500	97,4	5000	92,0
1000	103,0	63	86,9	630	97,6	6300	85,7
2000	101,9	80	89,2	800	98,2	8000	81,4
4000	100,3	100	91,7	1000	98,4	10000	77,2
8000	87,5	125	94,0	1250	98,0		
		160	95,6	1600	97,5		

Melun erityispiirteiden mittaus 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
R01	53,0	52,4	51,5	50,1	50,1	49,4	47,1	45,4	43,2	39,5	38,5
R02	50,4	49,8	48,9	47,5	47,4	46,7	44,4	42,5	40,2	36,3	35,0
R03	51,6	51,0	50,2	48,7	48,7	48,0	45,7	43,9	41,6	37,9	36,8
R04	51,9	51,2	50,4	49,0	48,9	48,2	46,0	44,2	41,9	38,1	37,1
R05	51,9	51,3	50,4	49,0	48,9	48,2	46,0	44,2	41,9	38,1	37,1
R06	52,3	51,6	50,8	49,4	49,3	48,7	46,4	44,6	42,4	38,6	37,5
R07	52,7	52,0	51,2	49,8	49,7	49,1	46,8	45,0	42,8	39,0	38,0
R08	52,8	52,1	51,3	49,8	49,8	49,1	46,8	45,1	42,8	39,1	38,0
R09	53,0	52,3	51,5	50,0	50,0	49,3	47,0	45,3	43,0	39,3	38,2
R10	54,8	54,2	53,4	51,9	51,9	51,3	49,0	47,3	45,1	41,5	40,6
R11	54,7	54,1	53,3	51,8	51,8	51,2	48,9	47,2	45,0	41,4	40,5
R12	54,8	54,1	53,3	51,9	51,9	51,2	48,9	47,3	45,1	41,5	40,5
R13	53,9	53,2	52,4	51,0	50,9	50,3	48,0	46,3	44,1	40,4	39,4

Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R14	54,5	53,8	53,0	51,6	51,5	50,9	48,6	47,0	44,8	41,1	40,2
R15	54,5	53,8	53,0	51,6	51,5	50,9	48,6	47,0	44,8	41,1	40,2
R16	54,1	53,5	52,7	51,3	51,2	50,6	48,3	46,6	44,4	40,8	39,9
R17	52,6	52,0	51,1	49,7	49,6	49,0	46,7	45,0	42,7	39,0	38,0
R18	52,3	51,6	50,8	49,4	49,3	48,6	46,3	44,6	42,3	38,6	37,5
R19	52,9	52,2	51,4	50,0	49,9	49,2	47,0	45,2	43,0	39,3	38,3
R20	52,7	52,1	51,3	49,8	49,8	49,1	46,8	45,1	42,8	39,1	38,0
R21	54,8	54,2	53,4	51,9	51,9	51,3	49,0	47,3	45,2	41,6	40,7
R22	54,6	54,0	53,2	51,7	51,7	51,1	48,8	47,1	45,0	41,4	40,5
R23	52,7	52,0	51,2	49,8	49,7	49,1	46,8	45,0	42,8	39,0	37,9
R24	54,9	54,3	53,5	52,0	52,0	51,4	49,1	47,5	45,3	41,7	40,8
R25	54,5	53,8	53,0	51,6	51,6	50,9	48,7	47,0	44,8	41,1	40,2