



Ilmatar Kajaani Oy

Löytösuon tuulivoimapuiston meluselvitys

101021368-033, 19.02.2025

Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Ilmatar Kajaani Oy
Inka Hirvonen

Päivämäärä
19/02/2025

Projektinumero
101021368-033

Raportin tila
VALMIS

Löytösuo tuulivoimapuiston meluselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	05.09.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	05.09.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	19.02.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	19.02.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Karttojen asunnot on ladattu uudestaan Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta

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>.

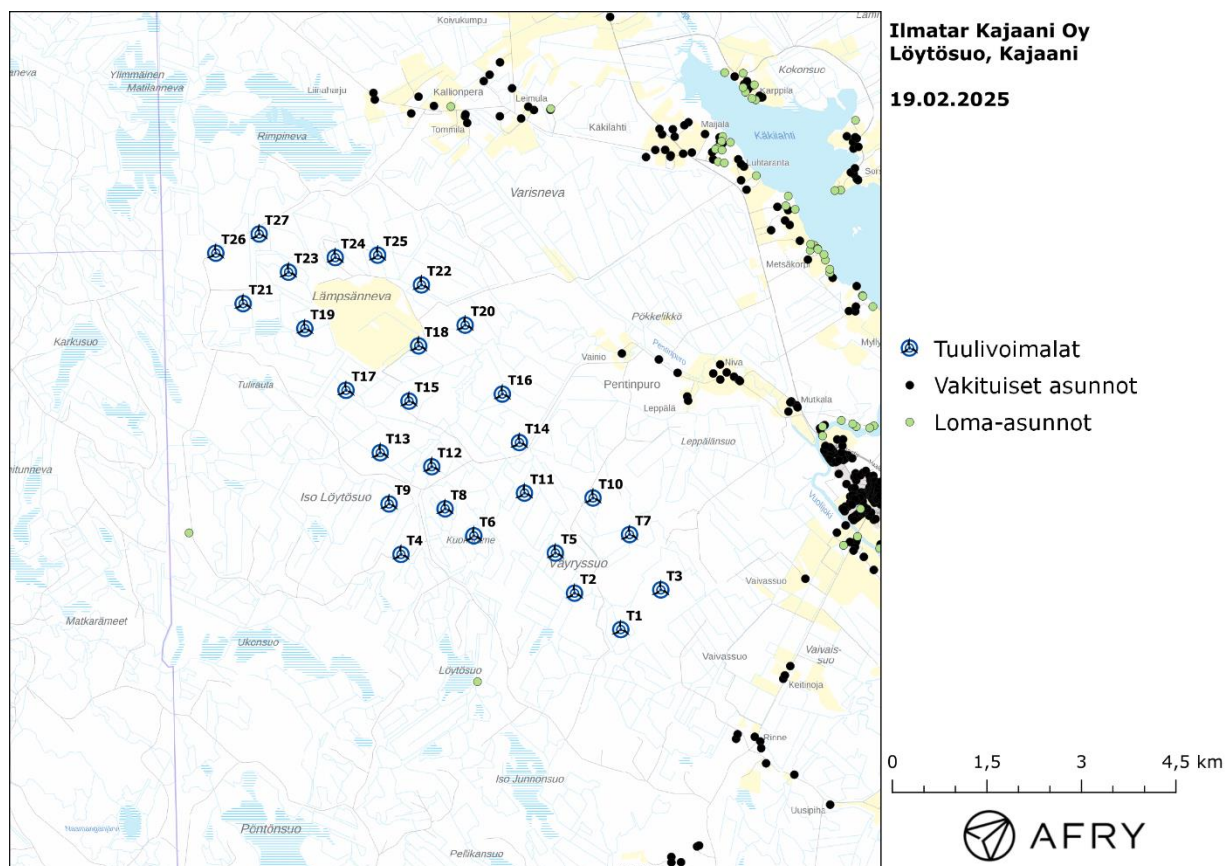
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus	7
2.3	Ohjearovot	8
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus.....	14
3.3	Löytösuo ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutus	16
4	Yhteenveto	21
5	Viitteet	22
6	Melumallinnuksen tiedot	23

1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Kajaanin kaupungin alueelle suunnitellun Löytösuo tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 27 voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyyppin 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 Löytösuo hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	496146	7115094	149
T2	495412	7115671	148
T3	496782	7115724	158
T4	492659	7116286	146
T5	495108	7116307	146
T6	493814	7116581	151
T7	496286	7116601	144
T8	493359	7117009	145
T9	492470	7117086	144
T10	495706	7117180	145
T11	494618	7117258	142
T12	493147	7117676	140
T13	492330	7117898	143
T14	494538	7118060	138
T15	492786	7118716	139
T16	494267	7118828	136
T17	491787	7118888	144
T18	492939	7119592	137
T19	491134	7119867	146
T20	493677	7119921	135
T21	490154	7120262	155
T22	492984	7120559	139
T23	490874	7120761	147
T24	491616	7120992	148
T25	492289	7121030	143
T26	489721	7121062	161
T27	490409	7121366	155

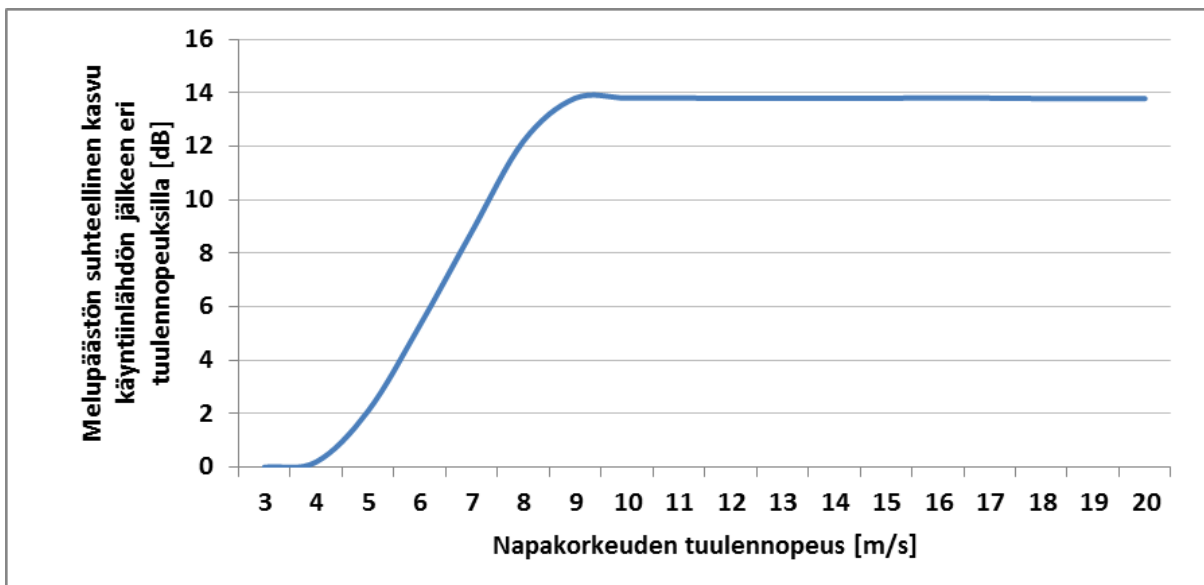
2 Tuulivoimaloiden melu

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 [15]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolessa 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 2).



Kuva 2: 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 siipikulmasääto tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

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

puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [16]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa korkeudella 100 m nopeutta 12 m/s, korkeudella 160 m nopeutta 14 m/s ja korkeudella 200 m nopeutta 15 m/s.

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahailoidituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [14].

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 voimalatyyppien 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 epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

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

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

2.3 Ohjearvot

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

Valtioneuvoston aiemmassa melutasoihin liittyvässä päätöksessä 993/1992 on annettu luonnonsuojelualueille päiväajan ohjearvo 45 dB(A) ja yöajan ohjearvo 40 dB(A) [10]. Tuulivoimameluasetuksen 1107/1/2015 perustelumuiotuksen mukaan asetusta ei sovelleta kaikilla luonnonsuojelualueilla, vaan ainoastaan yleiselle virkistyskäytölle tärkeillä luonnonsuojelualueilla, joille on rakennettu käyttöä palvelevia polkuja ja muita rakenteita. Aiemman melupäätöksen 993/1992 luonnonsuojelualueiden ohjearvoja ei siis tuulivoimamelun osalta sovellettaisi.

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2).

Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{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 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 3) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07-22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22-07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona $L_{eq,1h}$ mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä matalataajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen 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 6) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen 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 Tuulivoimakohteen melumallinnus

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

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

- Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten tuulivoimalatyyppin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat tuulivoimalatyyppillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [11]:

”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 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 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.

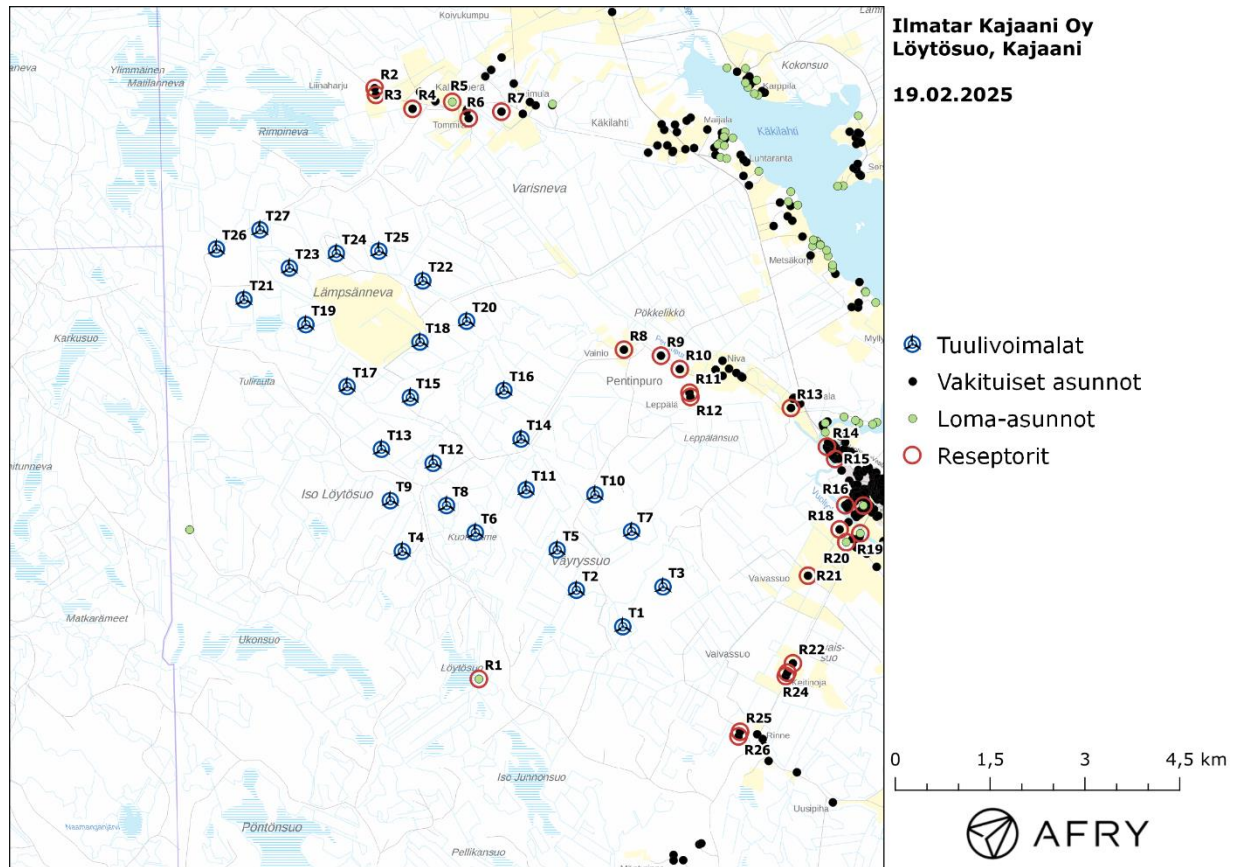
Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli 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 hilapisteistään, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus, äänen suuntaavuus ja sääolosuhteiden vaikutus äänen etenemiseen on määritetty ympäristöministeriön ohjeistusten mukaisesti. Tuulivoimalan sijoituspaikan ympäristössä maaston vaikutuskerroin on ollut maa-alueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Mallinnusohjeistuksen mukaisesti tuulivoimalan melupäästöön lisätään 2 dB, mikäli voimalan ja melulle altistuvan kohteen välinen korkeusero ylittää 60 m. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 26 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Rakennusten sijaitsevat noin 2-3,4 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	493872	7114266	156	loma-asunto
R2	492224	7123601	145	vakituinen asuinrakennus
R3	492244	7123495	145	vakituinen asuinrakennus
R4	492823	7123275	143	vakituinen asuinrakennus
R5	493451	7123384	141	loma-asunto
R6	493712	7123125	141	vakituinen asuinrakennus
R7	494228	7123230	139	vakituinen asuinrakennus
R8	496166	7119469	131	vakituinen asuinrakennus
R9	496752	7119374	131	vakituinen asuinrakennus
R10	497049	7119163	129	vakituinen asuinrakennus
R11	497204	7118789	129	vakituinen asuinrakennus
R12	497217	7118722	128	vakituinen asuinrakennus
R13	498807	7118548	128	vakituinen asuinrakennus
R14	499376	7117936	125	vakituinen asuinrakennus
R15	499508	7117742	124	vakituinen asuinrakennus
R16	499667	7117013	127	vakituinen asuinrakennus
R17	499953	7117006	132	loma-asunto
R18	499577	7116629	130	vakituinen asuinrakennus
R19	499904	7116567	125	loma-asunto
R20	499682	7116427	128	loma-asunto
R21	499077	7115898	130	vakituinen asuinrakennus
R22	498838	7114513	130	vakituinen asuinrakennus
R23	498751	7114366	130	vakituinen asuinrakennus
R24	498726	7114311	130	vakituinen asuinrakennus
R25	498002	7113432	143	vakituinen asuinrakennus
R26	497978	7113359	143	vakituinen asuinrakennus

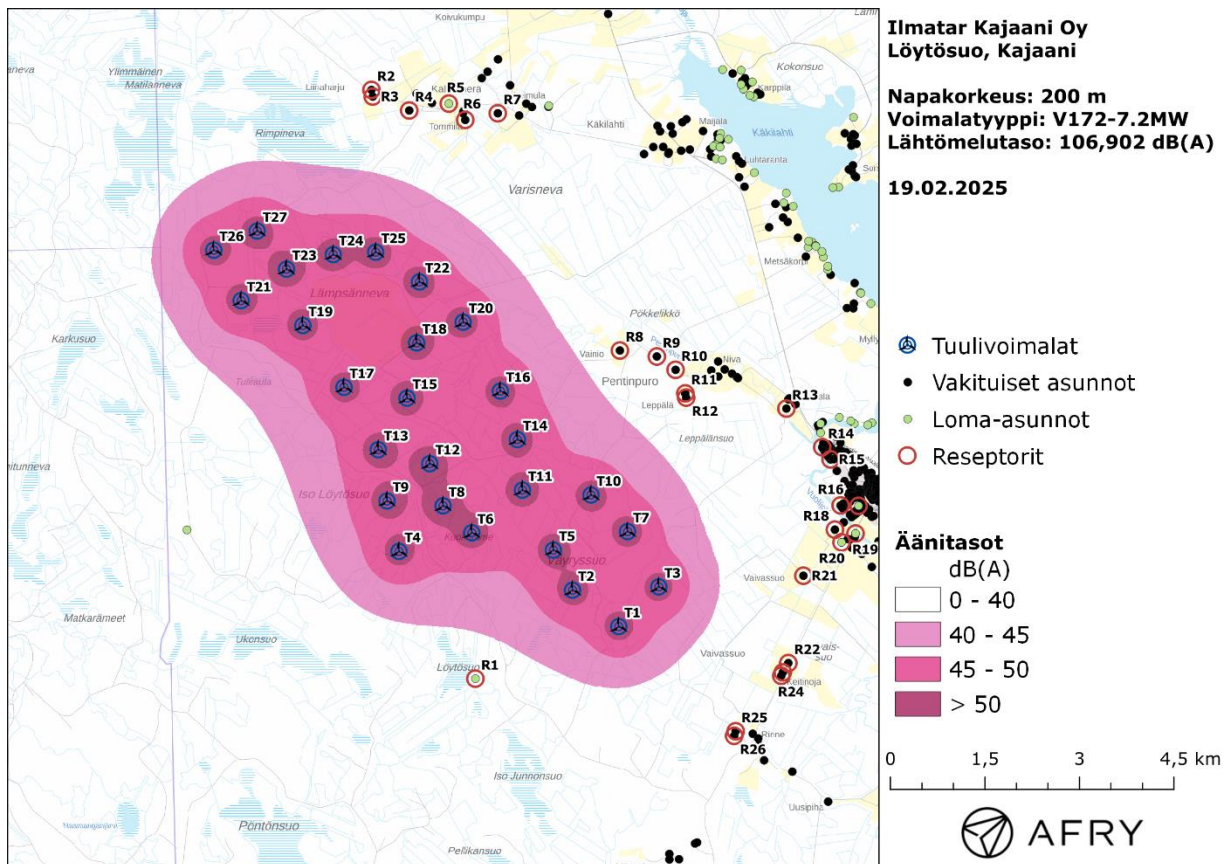


Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 5). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Löytösuo tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	37,2	R14	31,6
R2	34,3	R15	31,3
R3	34,7	R16	31,3
R4	35,0	R17	30,4
R5	33,8	R18	31,4
R6	34,3	R19	29,2
R7	33,1	R20	31,2
R8	37,5	R21	33,1
R9	36,0	R22	32,6
R10	35,6	R23	32,6
R11	35,9	R24	32,6
R12	36,0	R25	32,7
R13	32,1	R26	32,6

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 määritellyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tulokinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit 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] 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 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

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

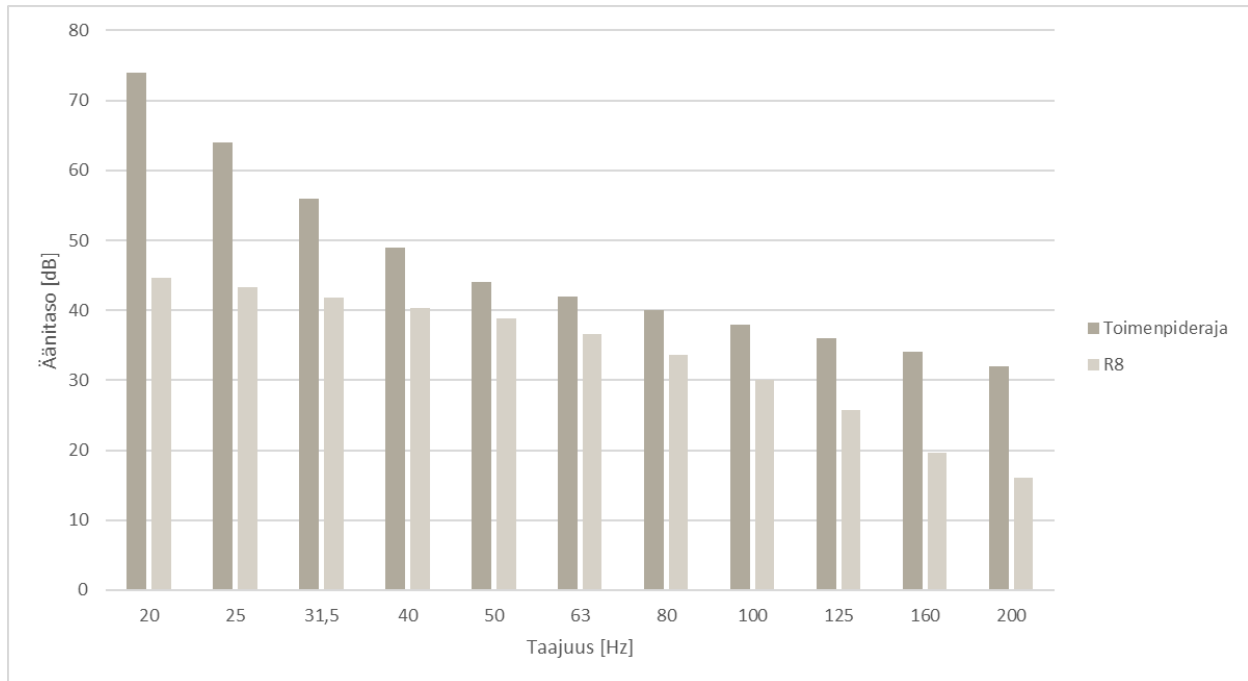
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso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

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R8, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,9	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,0	46,5	44,2	40,5	38,5
R2	50,0	49,3	48,7	48,2	48,0	47,2	45,9	44,3	41,9	38,1	35,9
R3	50,2	49,5	48,9	48,5	48,2	47,4	46,2	44,6	42,2	38,4	36,2
R4	50,4	49,8	49,1	48,7	48,4	47,6	46,4	44,8	42,5	38,6	36,5
R5	49,8	49,1	48,5	48,0	47,8	46,9	45,7	44,0	41,6	37,7	35,5
R6	50,1	49,4	48,8	48,3	48,0	47,2	46,0	44,4	42,0	38,1	35,9
R7	49,4	48,7	48,1	47,6	47,4	46,5	45,3	43,6	41,2	37,2	35,0
R8	52,3	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,4	46,8	44,5	40,8	38,8
R9	51,3	50,7	50,0	49,6	49,3	48,5	47,3	45,8	43,4	39,6	37,5
R10	51,0	50,4	49,8	49,3	49,1	48,3	47,0	45,5	43,1	39,3	37,2
R11	51,2	50,6	50,0	49,5	49,2	48,5	47,2	45,7	43,4	39,5	37,5
R12	51,3	50,6	50,0	49,5	49,3	48,5	47,3	45,7	43,4	39,6	37,6
R13	48,6	48,0	47,3	46,8	46,6	45,7	44,5	42,8	40,3	36,2	33,9
R14	48,0	47,4	46,7	46,2	46,0	45,1	43,8	42,1	39,6	35,5	33,0
R15	47,9	47,2	46,6	46,1	45,8	44,9	43,6	41,9	39,4	35,3	32,9
R16	47,8	47,1	46,5	46,0	45,7	44,9	43,6	41,9	39,3	35,2	32,8
R17	47,4	46,7	46,0	45,5	45,2	44,4	43,1	41,3	38,7	34,6	32,1
R18	48,0	47,4	46,7	46,2	46,0	45,1	43,8	42,1	39,6	35,6	33,2
R19	47,5	46,8	46,1	45,6	45,4	44,5	43,2	41,5	38,9	34,8	32,3
R20	47,9	47,2	46,5	46,0	45,8	44,9	43,6	41,9	39,4	35,3	32,9
R21	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,2	40,9	36,9	34,7

R22	48,6	48,0	47,3	46,8	46,6	45,8	44,5	42,8	40,4	36,5	34,3
R23	48,6	48,0	47,3	46,9	46,6	45,8	44,5	42,9	40,4	36,5	34,3
R24	48,6	48,0	47,3	46,8	46,6	45,7	44,5	42,8	40,4	36,5	34,3
R25	48,6	47,9	47,3	46,8	46,5	45,7	44,5	42,8	40,4	36,4	34,2
R26	48,5	47,8	47,2	46,7	46,5	45,6	44,4	42,7	40,2	36,3	34,1



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R8 kohdalla.

3.3 Löytösuo ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Löytösuo ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan toiminnassa olevat tuulivoimapuistot Piiparinmäki (41 voimalaa) ja Metsälamminkangas (24 voimalaa) sekä suunnitteilla olevat tuulivoimapuistot Kokkosuo (18 voimalaa), Pyöriänneva (24 voimalaa) ja Luolakangas (7 voimalaa). Yhteisvaikutusten mallinnukseen on valittu puistojen suunnitteluvaihtoehdot, jotka aiheuttavat suurimmat meluvaikutukset.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty taulukossa (Taulukko 8) lueteltuja napakorkeuksia, voimalatyyppejä ja äänitehotasoja. Äänitehotasoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, eli äänitehotasoja voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisina melupäästön tunnusarvoina. Mallinnuksessa käytetyt tuulivoimaloiden tiedot on saatu hankkeista vastaavilta toimijoilta. Voimalatyyppien melun taajuusjakaumat on saatu seuraavista dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V150-5.6MW. Document ID: 0079-5099_02 2019-05-20.
- V150-4.0/4.2 MW Third octave noise emission. Document ID: DMS 0067-4767 V05, 2018-15-03.

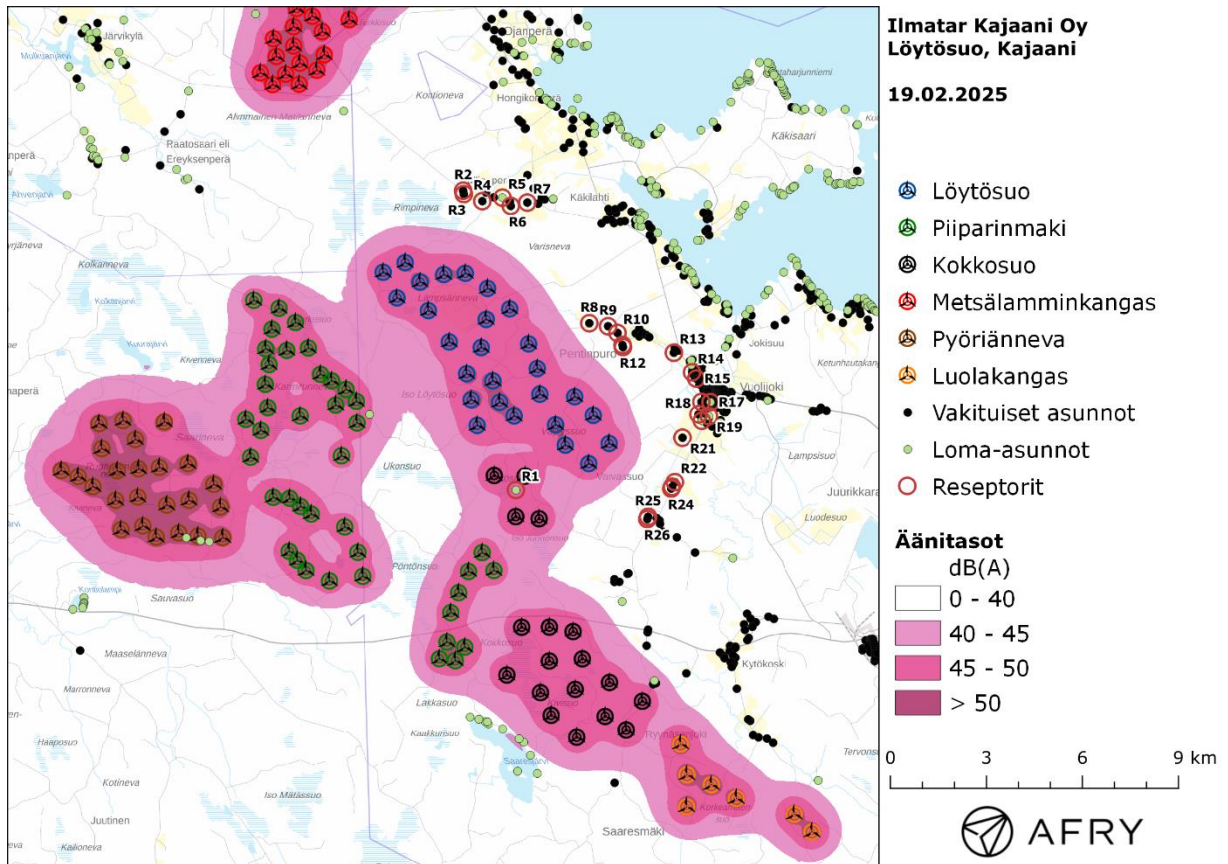
- Pyöriännevan tuulivoimahanke, melu- ja varjostusmallinnusraportti, FCG, 19.10.2023. Yhteisvaikutusten arvioinnissa Pyöriännevan voimaloille on käytetty FCG:n tekemissä melumallinnuksissa käytettyjä melun taajuusjakaumia. Melumallinnukset on tehty kuvaamaan tulevaisuuden 10 MW:n tehoista voimalaa, jonka roottorin halkaisija on 210 m. Tällaista voimalaa ei ole vielä saatavilla ja FCG:n raportissa tälle voimalalla on käytetty nimeä Generic 210-10.0 MW. FCG on arvioinut tämän voimalatyypin melun taajuusjakaumaa voimalatyypin Nordex N163 taajuusjakaumaa, jonka melumallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön tunnusarvo on 106,6+1,5 dB(A). Tähän äänitehotasoon on lisätty vielä ylimääräinen +2 dB:n varmuusarvo.

Taulukko 8: Melun yhteisvaikutusten mallinnuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät voimalatyypit, napakorkeudet ja äänitehotasot. Melumallinnuksissa äänitehotasolle on käytetty varmuusarvoa 2 dB. Piiparinmäen voimaloissa on kahta eri voimalatyyppiä: V150-5.6MW (28 voimalaa) sekä V150-4.2MW (13 voimalaa). Molemmilla voimalatyypeillä on sama äänitehotaso, mutta erilainen melun taajuusjakauma.

Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Voimalatyyppi	Äänitehotaso [dB(A)]
Piiparinmäki	155	Vestas V150-5.6MW Mode 0 with serrated trailing edge ja Vestas V150-4.2MW Mode 0 with serrated trailing edge	104,9+2
Metsälamminkangas	141 ja 151	GE158 5.5MW with serrated trailing edge	106,0+2
Kokkosuo	200	Vestas V172-7.2MW PO7200 with serrated trailing edge	106,9+2
Pyöriänneva	195	Generic 210-10.0 MW	106,6+3,5
Luolakangas	200	Nordex N163 5,7 MW without serrated trailing edge	109,2+2

Yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Reseptorin R1 kohdalla keskiäänitaso ylittää valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon jo pelkästään Kokkosuon voimaloiden vaikutuksesta. Löytösuo osuus reseptoriin R1 kohdistuvasta melusta on pieni, eikä keskiäänitason ohjearvon ylitys johdu Löytösuo voimaloista. Muiden reseptoreiden kohdilla keskiäänitasot jäävät selvästi valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle.

Tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Suurin matalataajuinen melu kohdistuu reseptoriin R1 ja matalataajuinen sisämelu ylittää Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat jo pelkästään Kokkosuon voimaloista aiheutuvasta melusta. Toimenpiderajojen ylitys ei johdu Löytösuo voimaloista. Muiden reseptoreiden kohdilla matalataajuinen sisämelu jää Asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen alle. Reseptorin R1 jälkeen seuraavaksi korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R8. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneneristävyys, yhteisvaikutusten melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnoissa huomioidaan tuulivoimapaistot Löytösuo, Kokkosuo, Piiparinmäki, Metsälamminkangas, Pyöriänneva ja Luolakangas.

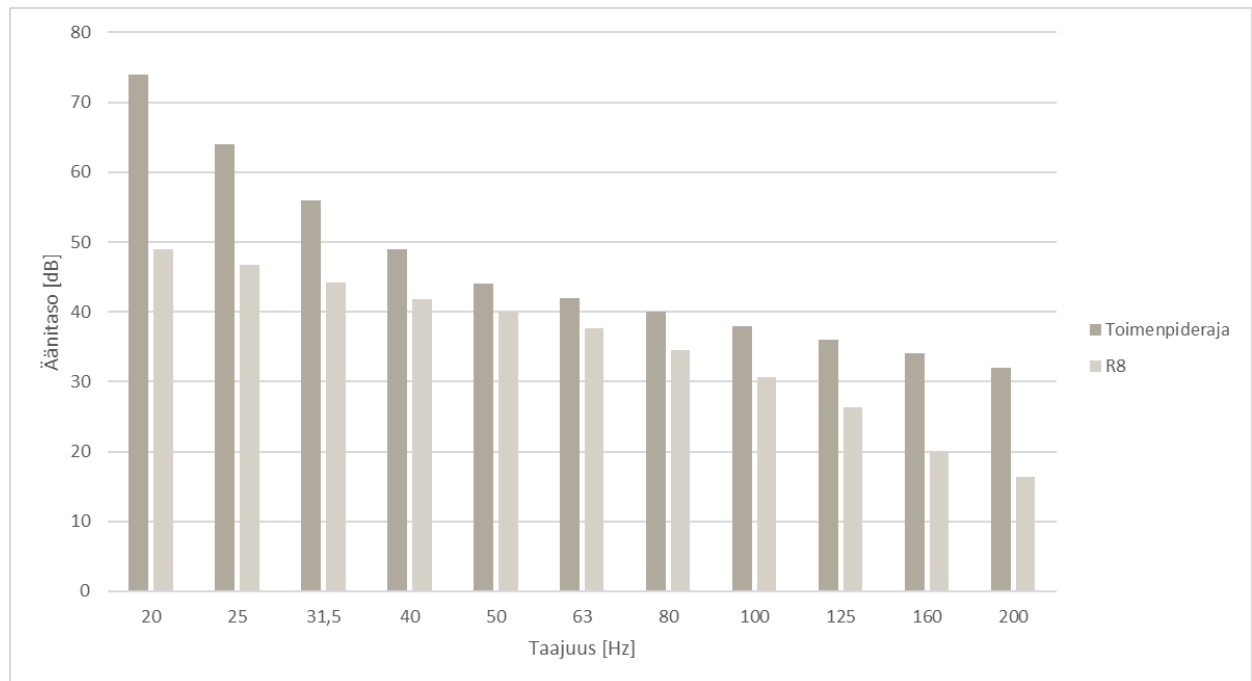
Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Löytösuo, Kokkosuo, Piiparinmäki, Metsäamminkangas, Pyöriänneva ja Luolakangas.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	46,6	R14	32,4
R2	34,9	R15	32,2
R3	35,2	R16	32,1
R4	35,5	R17	31,6
R5	34,3	R18	32,4
R6	34,8	R19	30,1
R7	33,6	R20	32,2
R8	37,8	R21	34,1
R9	36,3	R22	34,1
R10	35,9	R23	34,1
R11	36,3	R24	34,2
R12	36,4	R25	34,9
R13	32,8	R26	34,8

Taulukko 10: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Löytösuo, Kokkosuo, Piiparinmäki, Metsäamminkangas, Pyöriänneva ja Luolakangas.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	60,7	59,4	58,2	57,4	57,0	56,3	55,0	53,6	51,5	48,1	46,5
R2	56,6	54,7	52,7	51,1	50,1	49,3	47,5	45,5	42,9	38,8	36,5
R3	56,7	54,8	52,8	51,2	50,2	49,4	47,7	45,7	43,2	39,1	36,8
R4	56,5	54,7	52,8	51,2	50,2	49,5	47,8	45,8	43,3	39,2	37,0
R5	56,1	54,3	52,3	50,6	49,7	48,9	47,2	45,2	42,5	38,4	36,0
R6	56,1	54,3	52,3	50,8	49,8	49,0	47,4	45,4	42,8	38,7	36,4
R7	55,8	53,9	51,9	50,2	49,3	48,5	46,8	44,7	42,1	37,9	35,5
R8	56,6	55,0	53,4	52,1	51,5	50,7	49,3	47,5	45,1	41,2	39,1
R9	56,1	54,4	52,7	51,4	50,7	49,9	48,4	46,6	44,1	40,1	37,9
R10	55,9	54,2	52,5	51,1	50,4	49,7	48,2	46,3	43,8	39,8	37,6
R11	56,0	54,3	52,6	51,3	50,6	49,8	48,4	46,5	44,1	40,1	37,9
R12	56,0	54,4	52,6	51,4	50,7	49,9	48,4	46,6	44,1	40,2	38,0
R13	54,7	52,8	50,9	49,4	48,5	47,7	46,0	44,1	41,3	37,1	34,5
R14	54,4	52,5	50,6	49,0	48,1	47,3	45,6	43,6	40,8	36,4	33,8
R15	54,4	52,5	50,5	48,9	48,0	47,2	45,5	43,5	40,7	36,3	33,7
R16	54,4	52,5	50,5	48,9	48,1	47,2	45,5	43,5	40,7	36,4	33,8
R17	54,1	52,2	50,2	48,6	47,7	46,8	45,1	43,1	40,2	35,8	33,1
R18	54,5	52,6	50,7	49,1	48,3	47,4	45,8	43,8	41,0	36,7	34,1

R19	54,2	52,3	50,4	48,8	47,9	47,0	45,3	43,3	40,4	36,0	33,4
R20	54,4	52,5	50,6	49,0	48,2	47,3	45,7	43,7	40,9	36,5	34,0
R21	55,0	53,2	51,4	49,9	49,2	48,3	46,8	44,9	42,2	38,1	35,7
R22	55,2	53,4	51,6	50,1	49,4	48,5	46,9	45,0	42,3	38,2	35,8
R23	55,2	53,5	51,6	50,2	49,4	48,6	47,0	45,1	42,4	38,3	35,9
R24	55,3	53,5	51,6	50,2	49,4	48,6	47,0	45,1	42,5	38,3	35,9
R25	55,7	54,0	52,2	50,8	50,0	49,2	47,6	45,8	43,1	39,0	36,7
R26	55,8	54,0	52,2	50,8	50,0	49,2	47,6	45,8	43,1	39,0	36,6



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R8 kohdalla, kun mallinnoissa huomioidaan tuulivoimapaistot Löytösuo, Kokkosuo, Piiparinmäki, Metsäamminkangas, Kokkosuo ja Luolakangas.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kajaanin kaupungin alueelle suunnitellun Löytösuo tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 27 voimalan suunnitelmalle käyttäen tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 taajuusjakaumia ja napakorkeutta 214 m. Selvityksessä on arvioitu myös melun yhteisvaikutuksia Löytösuo lähelle suunniteltujen tai rakennettujen Kokkosuo, Piiparinmäen, Metsälammin kankaan, Pyöriännevan ja Luolakankaan tuulivoimapuistojen kanssa.

Mallinnusten perustella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

Lähelle suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu Löytösuo voimaloiden kanssa jonkin verran melun yhteisvaikutuksia. Melun yhteisvaikutuksista ei aiheudu valtioneuvoston ohjearvojen tai asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen ylityksiä.

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] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [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: 101021368-033				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 19.02.2025			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Mika Laitinen							
Laatija: Mika Laitinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with serrated 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							
Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot sisältäen 2 dB:n varmuusarvon)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		

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

R17	47,4	46,7	46,0	45,5	45,2	44,4	43,1	41,3	38,7	34,6	32,1
R18	48,0	47,4	46,7	46,2	46,0	45,1	43,8	42,1	39,6	35,6	33,2
R19	47,5	46,8	46,1	45,6	45,4	44,5	43,2	41,5	38,9	34,8	32,3
R20	47,9	47,2	46,5	46,0	45,8	44,9	43,6	41,9	39,4	35,3	32,9
R21	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,2	40,9	36,9	34,7
R22	48,6	48,0	47,3	46,8	46,6	45,8	44,5	42,8	40,4	36,5	34,3
R23	48,6	48,0	47,3	46,9	46,6	45,8	44,5	42,9	40,4	36,5	34,3
R24	48,6	48,0	47,3	46,8	46,6	45,7	44,5	42,8	40,4	36,5	34,3
R25	48,6	47,9	47,3	46,8	46,5	45,7	44,5	42,8	40,4	36,4	34,2
R26	48,5	47,8	47,2	46,7	46,5	45,6	44,4	42,7	40,2	36,3	34,1