



Pohjan Voima Oy

Moskuankankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys, VE1

101021203-006

Tekijä
AFRY Finland Oy
Kalle Auvinen

E-mail
kalle.auvinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
15/03/2024

Projektinumero
101021203-006

Raportin tila
VALMIS

Moskuankankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys, VE1

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	11.10.2023/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	11.10.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen (Raportti 101021203-006.001)
002	15.03.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	15.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Hallakallion voimalakoordinaatit lisätty raporttiin (Raportti 101021203-006.002)

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

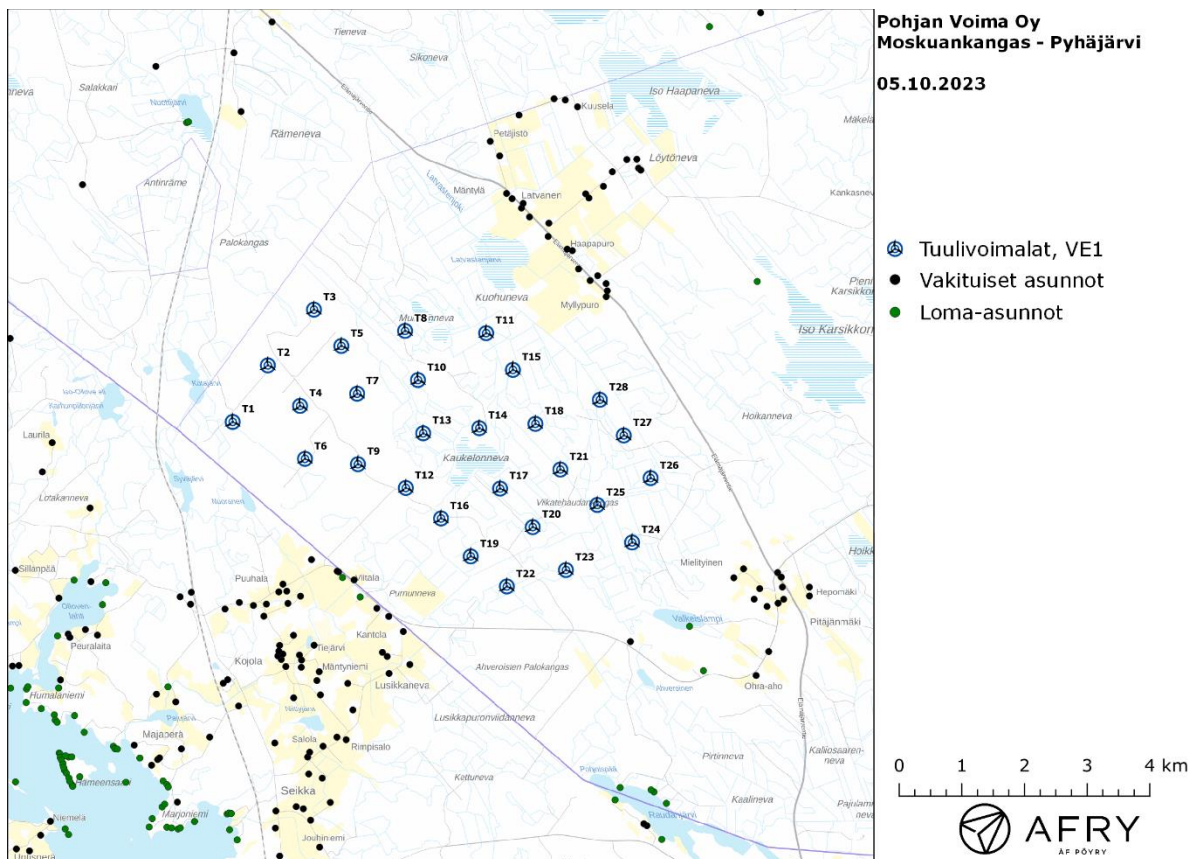
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	9
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	9
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	13
3.3	Moskuankankaan, Hallakallion ja Pajuperäntankaan yhteisvaikutus	16
4	Yhteenveto	21
5	Viitteet	22
6	Melumallinnuksen tiedot	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Pyhäjärven kunnan alueelle suunnitellun Moskuankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Moskuankankaan tuulivoimapuistolle käytetään 28 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 (blades with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiini valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan myös Moskuankankaan sekä läheisten Pajuperänkankaan (rakenteilla) ja Hallakallion (suunnitteilla) tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Moskuankankaan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini-paikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	418894	7051545	128
T2	419455	7052445	155
T3	420191	7053333	156
T4	419969	7051800	159
T5	420628	7052755	158
T6	420048	7050957	144
T7	420880	7051994	156
T8	421645	7052995	145
T9	420893	7050871	144
T10	421851	7052212	150
T11	422939	7052959	140
T12	421657	7050493	143
T13	421934	7051364	147
T14	422829	7051445	145
T15	423366	7052374	140
T16	422219	7050007	138
T17	423161	7050483	145
T18	423725	7051514	143
T19	422693	7049403	138
T20	423682	7049869	148
T21	424123	7050786	146
T22	423269	7048924	142
T23	424212	7049186	156
T24	425268	7049625	155
T25	424712	7050222	153
T26	425563	7050650	150
T27	425135	7051329	145
T28	424754	7051897	141

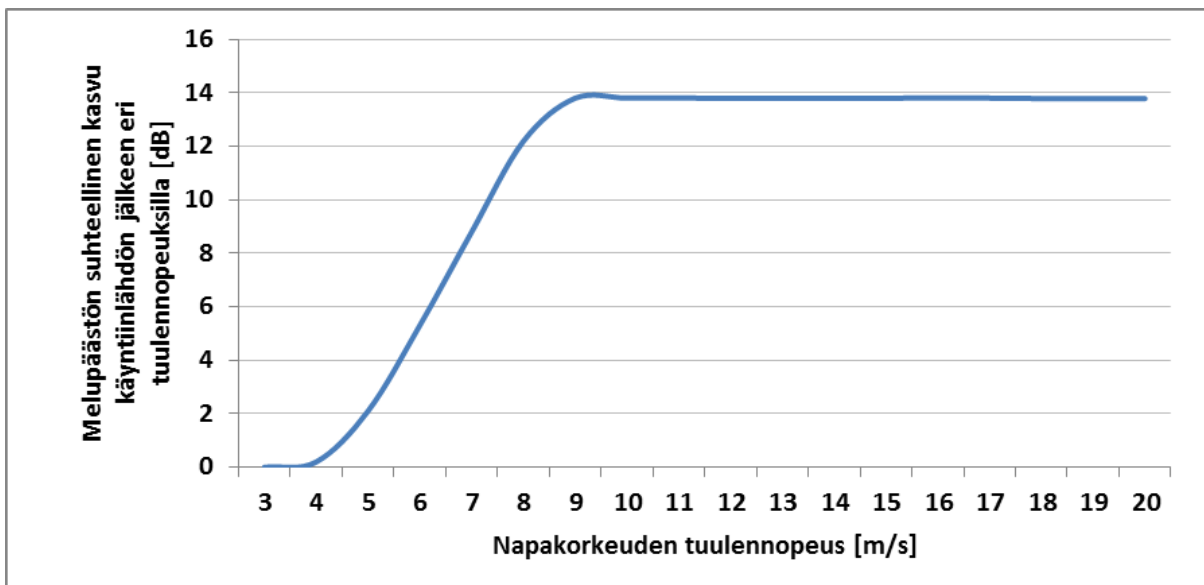
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen 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 [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoidituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa (declared value) $L_{WA,d}$. Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta L_{WA} sekä varmuusarvosta K, joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa

määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän 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].

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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan äänen-eristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat 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

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

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudi-modulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

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

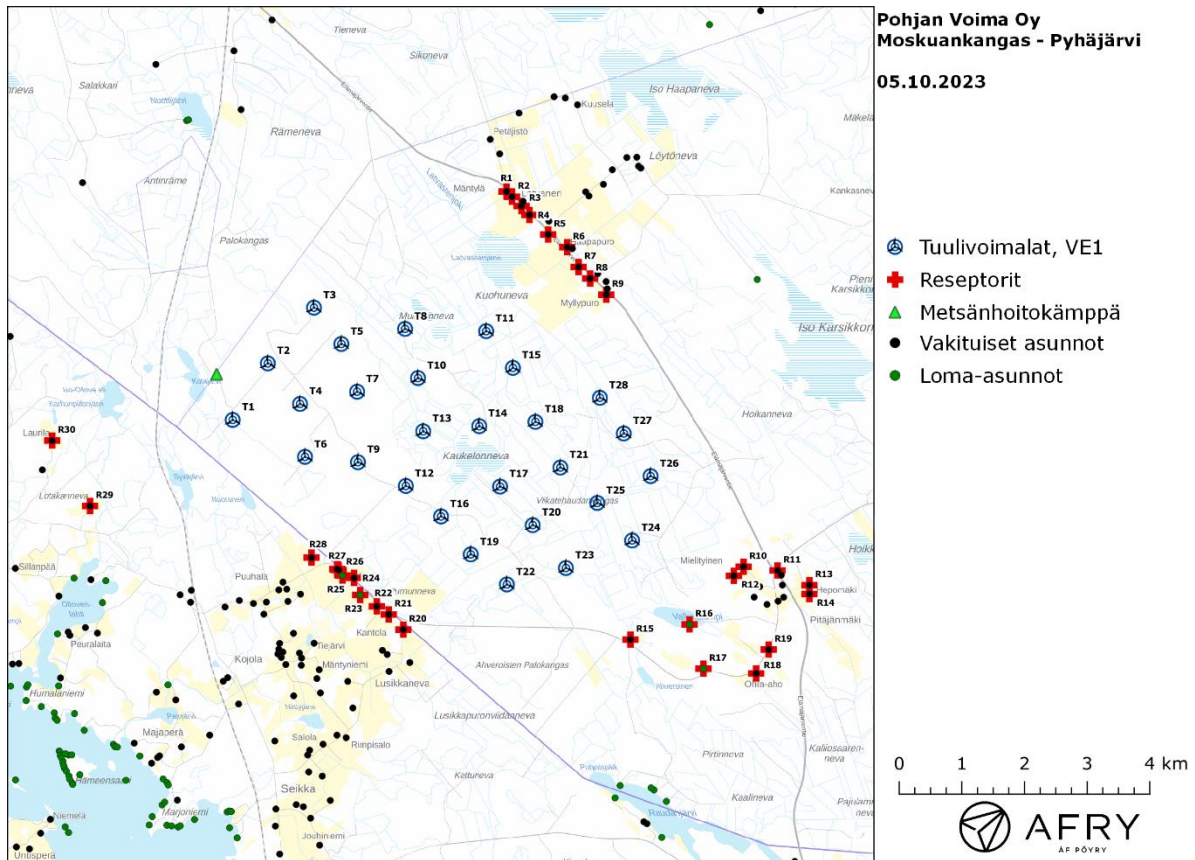
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 30 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 1,5–3,0 km etäisyydellä voimaloista.

Moskuankankaan länsipuolella, noin 800 m voimalan T1 pohjoispuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan, kyseinen kiinteistö on rakennusluvan puolesta todellisuudessa metsänhoitokämpä, eikä kiinteistöä ole otettu tästä syystä melu-vaikutusten arvioinnissa huomioon.

Taulukko 4: Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	423266	7055182	140	vakituinen asunto
R2	423354	7055098	139	vakituinen asunto
R3	423504	7054949	139	vakituinen asunto
R4	423632	7054807	140	vakituinen asunto
R5	423929	7054496	139	vakituinen asunto
R6	424233	7054294	139	vakituinen asunto
R7	424415	7053979	140	vakituinen asunto
R8	424599	7053795	141	vakituinen asunto
R9	424857	7053538	143	vakituinen asunto
R10	427048	7049203	216	vakituinen asunto
R11	427591	7049143	192	vakituinen asunto
R12	426892	7049059	210	vakituinen asunto
R13	428099	7048911	198	vakituinen asunto
R14	428099	7048770	194	vakituinen asunto
R15	425243	7048043	162	vakituinen asunto
R16	426186	7048286	162	loma-asunto
R17	426407	7047580	199	loma-asunto
R18	427249	7047503	189	vakituinen asunto
R19	427450	7047884	191	vakituinen asunto
R20	421618	7048203	131	vakituinen asunto
R21	421386	7048444	133	vakituinen asunto
R22	421195	7048572	131	vakituinen asunto
R23	420929	7048754	128	loma-asunto
R24	420833	7049026	126	vakituinen asunto
R25	420648	7049063	125	loma-asunto
R26	420585	7049153	127	vakituinen asunto
R27	420563	7049165	127	vakituinen asunto
R28	420153	7049349	128	vakituinen asunto
R29	416620	7050172	128	vakituinen asunto
R30	416015	7051213	128	vakituinen asunto



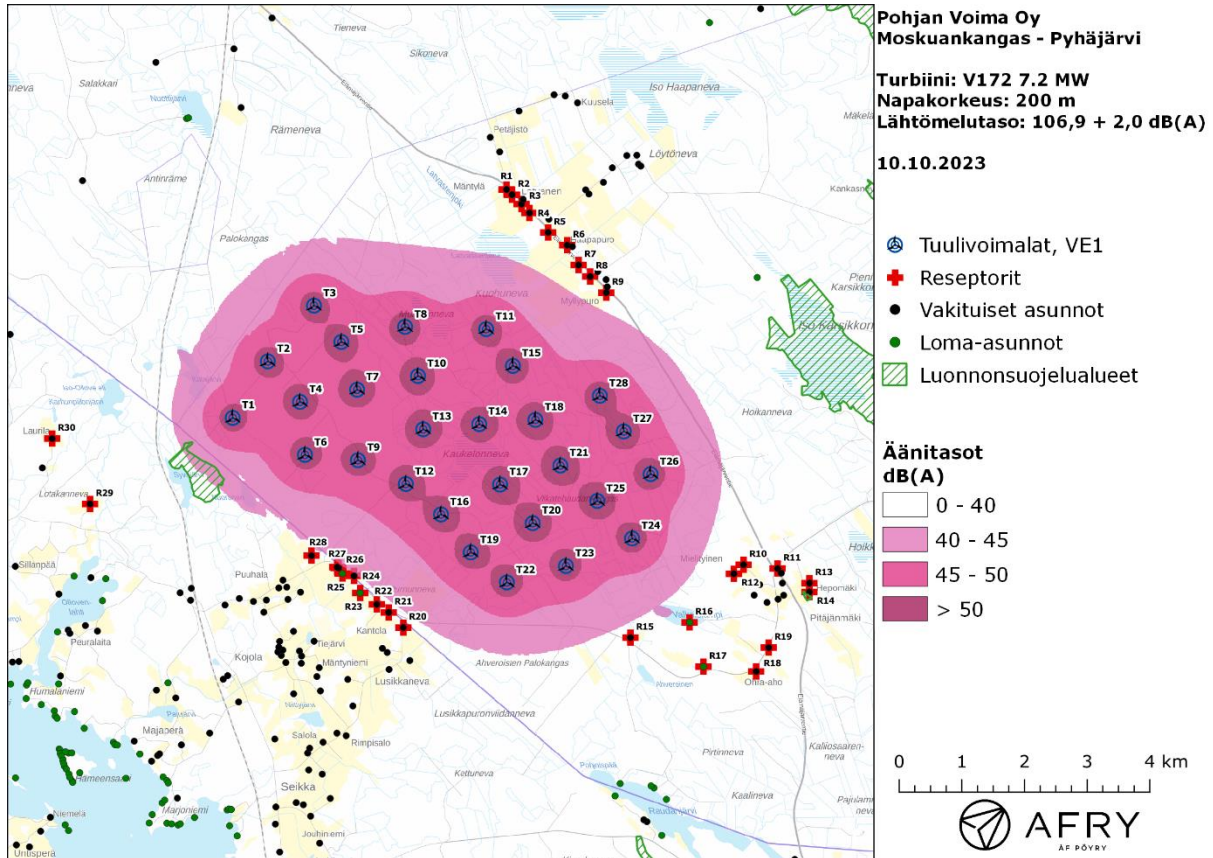
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{eq} 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 ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa. Myös luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,5
R2	35,7
R3	36,0
R4	36,4
R5	37,1
R6	37,2
R7	38,1
R8	38,3
R9	38,8
R10	36,5
R11	33,0
R12	36,9
R13	32,1

R14	31,5
R15	38,8
R16	38,2
R17	33,7
R18	28,5
R19	31,1
R20	38,9
R21	39,2
R22	39,2
R23	39,2
R24	39,9
R25	39,5
R26	39,7
R27	39,7
R28	39,3
R29	32,4
R30	31,4

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyt.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4]

eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

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

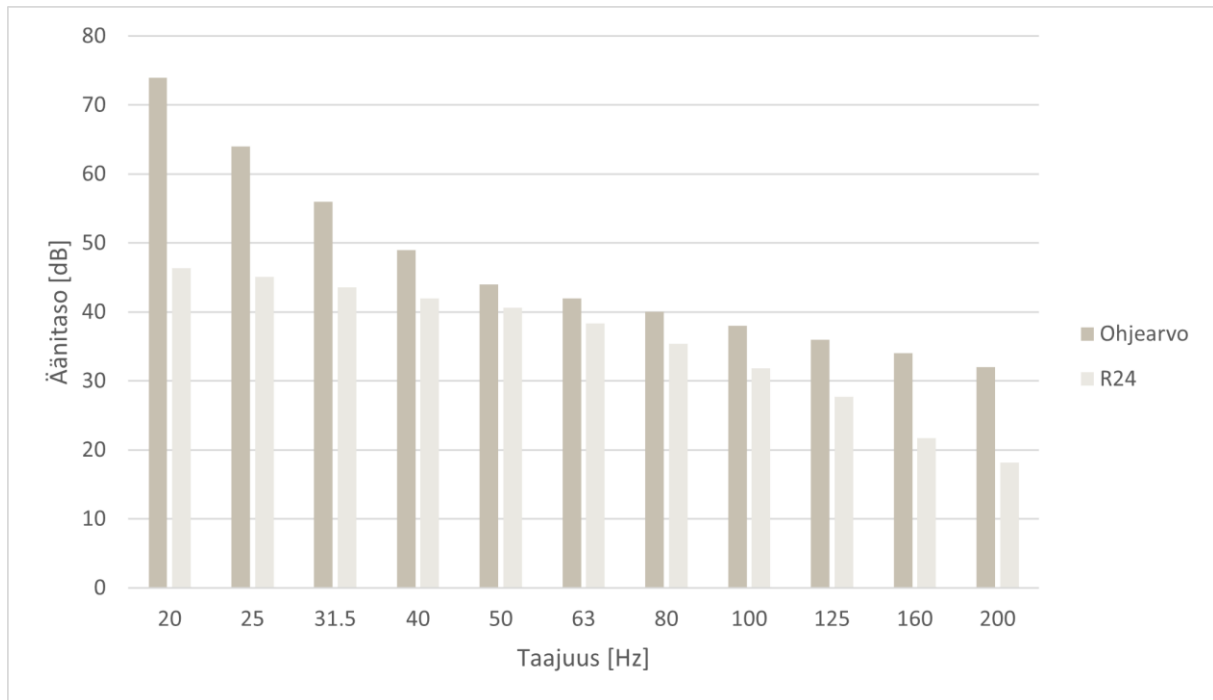
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso 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 R24, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuvälillä.

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

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

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,0	50,3	49,7	49,2	49,0	48,2	47,0	45,4	43,0	39,1	37,0
R2	51,1	50,5	49,8	49,4	49,1	48,3	47,1	45,5	43,2	39,3	37,2
R3	51,3	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,4	39,6	37,5
R4	51,6	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R5	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,5	44,2	40,5	38,5
R6	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,7
R7	52,7	52,0	51,4	51,0	50,7	50,0	48,8	47,2	45,0	41,3	39,3
R8	52,9	52,2	51,6	51,1	50,9	50,2	49,0	47,4	45,2	41,5	39,6
R9	53,1	52,5	51,8	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,5	41,8	39,9
R10	51,4	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,6	39,8	37,8
R11	50,0	49,4	48,7	48,3	48,0	47,2	46,0	44,3	42,0	38,1	35,9
R12	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R13	48,9	48,2	47,5	47,1	46,8	46,0	44,7	43,0	40,5	36,5	34,2
R14	48,7	48,1	47,4	46,9	46,7	45,8	44,6	42,9	40,4	36,4	34,0
R15	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,3	49,1	47,6	45,4	41,7	39,9
R16	51,9	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,4	38,4
R17	50,1	49,5	48,8	48,4	48,1	47,3	46,1	44,4	42,1	38,2	36,0
R18	48,8	48,1	47,5	47,0	46,7	45,9	44,6	42,9	40,4	36,4	34,1
R19	49,0	48,3	47,7	47,2	46,9	46,1	44,8	43,1	40,7	36,7	34,3
R20	53,3	52,7	52,0	51,6	51,4	50,6	49,4	47,9	45,7	42,0	40,1
R21	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	45,9	42,3	40,4
R22	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	45,9	42,3	40,4
R23	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,1	45,9	42,3	40,4
R24	54,0	53,4	52,7	52,3	52,1	51,3	50,2	48,7	46,5	42,8	41,0
R25	53,8	53,2	52,5	52,1	51,9	51,1	49,9	48,4	46,2	42,6	40,7
R26	53,9	53,3	52,6	52,2	52,0	51,2	50,1	48,6	46,4	42,7	40,9
R27	53,9	53,3	52,6	52,2	52,0	51,2	50,1	48,6	46,4	42,7	40,9
R28	53,7	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,9	48,4	46,2	42,5	40,7
R29	48,7	48,0	47,4	46,9	46,6	45,8	44,5	42,8	40,4	36,3	34,0
R30	48,1	47,4	46,8	46,3	46,0	45,1	43,8	42,1	39,6	35,5	33,1



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R24 kohdalla.

3.3 Moskuankankaan, Hallakallion ja Pajuperänkankaan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Moskuankankaan voimaloiden ja läheisyyteen suunnitellun Hallakallion ja rakenteilla olevan Pajuperänkankaan tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksia. Hallakallion tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 28 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 4,7 km etäisyydellä Moskuankankaan voimaloista. Pajuperänkankaan tuulivoimapuistoon on rakenteilla 14 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 7,4 km etäisyydellä Moskuankankaan voimaloista.

Moskuankankaan sekä Pajuperänkankaan tuulivoimapuistot ovat riittävän etäällä toisistaan, jotta ne eivät aiheuta yhteisvaikutuksia näiden tuulivoimapuistojen välissä sijaitsevalle asutukselle. Riittää siis tarkastella pelkästään Moskuankankaan sekä Hallakallion voimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Hallakallion hankekehittäjän (YIT Suomi Oy) verkkosivuillaan jakamien tietojen mukaan, Hallakallioon suunnitellaan korkeintaan 310 m kokonaiskorkeuden voimaloita. Melumallinnuksessa Hallakallion voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m sekä samaa turbiinityyppiä ja äänitehotasoa kuin Moskuankankaan voimaloilla (V172-7.2 MW, 106,9 + 2,0 dB(A)). Hallakallion voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).

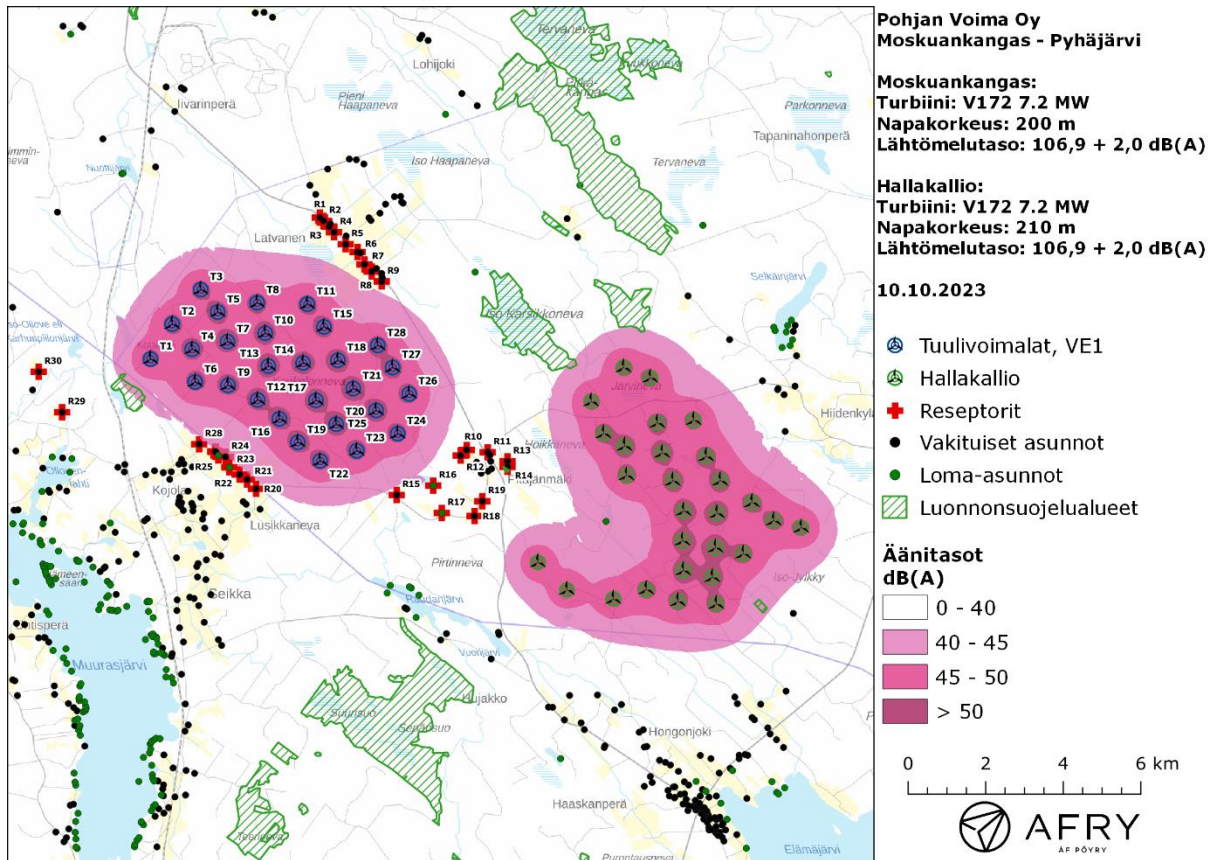
Taulukko 8: Hallakallion voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
H01	431088	7051329	168
H02	431779	7051064	168
H03	432899	7049975	165

H04	433219	7049043	158
H05	433583	7048416	163
H06	434401	7047858	178
H07	434959	7047391	166
H08	431960	7049903	172
H09	432087	7049133	173
H10	432357	7048412	162
H11	432637	7047640	154
H12	433498	7047578	152
H13	430574	7049631	186
H14	431115	7049309	180
H15	432609	7046872	166
H16	433458	7046695	151
H17	434177	7046539	156
H18	432629	7046106	162
H19	433379	7045931	149
H20	431674	7045617	155
H21	432492	7045311	146
H22	433480	7045242	150
H23	429630	7045604	153
H24	430826	7045372	160
H25	435671	7047205	165
H26	430255	7050454	185
H27	431166	7048552	188
H28	428881	7046314	155

Moskuankankaan ja Hallakallion mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnustulosten perusteella Moskuankankaan ja Hallakallion melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot jäävä valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien loma-asuntojen, vakituisten asuinrakennusten ja luonnonsuojelualueiden kohdilla. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 6,3 dB(A) reseptorin R18 kohdalla.

Moskuankankaan ja Hallakallion aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R24, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneneristävyys, Moskuankankaan ja Hallakallion voimaloiden aiheuttamat melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimalat.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimalat.

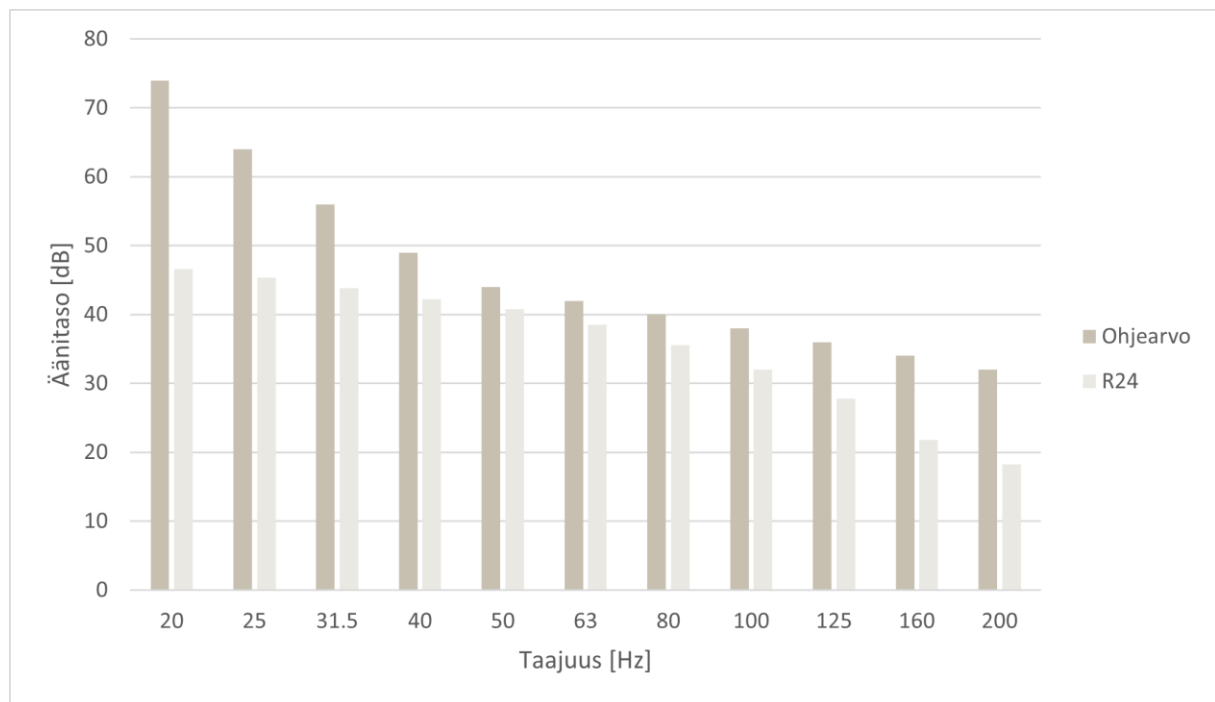
Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,6
R2	35,8
R3	36,1
R4	36,5
R5	37,3
R6	37,4
R7	38,2
R8	38,4
R9	38,9
R10	37,8
R11	36,1
R12	37,7
R13	36,8

R14	36,5
R15	39,0
R16	38,5
R17	35,5
R18	34,9
R19	35,5
R20	39,0
R21	39,3
R22	39,3
R23	39,2
R24	39,9
R25	39,6
R26	39,7
R27	39,7
R28	39,4
R29	32,5
R30	31,5

Taulukko 10: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimat.

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

R17	52,2	51,6	50,9	50,5	50,2	49,4	48,1	46,4	44,0	40,0	37,8
R18	52,2	51,6	50,9	50,5	50,2	49,4	48,1	46,4	44,0	40,0	37,8
R19	52,4	51,8	51,1	50,6	50,4	49,6	48,3	46,7	44,2	40,3	38,0
R20	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,7	48,1	45,9	42,1	40,2
R21	53,8	53,2	52,6	52,1	51,9	51,1	49,9	48,4	46,1	42,4	40,5
R22	53,8	53,2	52,6	52,1	51,9	51,1	49,9	48,4	46,1	42,4	40,5
R23	53,8	53,2	52,5	52,1	51,9	51,1	49,9	48,3	46,1	42,4	40,4
R24	54,3	53,6	53,0	52,5	52,3	51,5	50,4	48,8	46,6	42,9	41,0
R25	54,1	53,4	52,8	52,3	52,1	51,3	50,1	48,6	46,4	42,7	40,8
R26	54,2	53,5	52,9	52,4	52,2	51,4	50,3	48,7	46,5	42,8	40,9
R27	54,2	53,5	52,9	52,4	52,2	51,4	50,2	48,7	46,5	42,8	40,9
R28	54,0	53,3	52,7	52,2	52,0	51,2	50,1	48,5	46,3	42,6	40,7
R29	49,2	48,5	47,8	47,3	47,0	46,1	44,8	43,1	40,5	36,4	34,0
R30	48,6	47,9	47,2	46,7	46,4	45,5	44,2	42,4	39,8	35,6	33,1



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R24 kohdalla, kun mallinnuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimat

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Pyhäjärven kunnan alueella suunnitellun Moskuankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Moskuankankaan tuulivoimapuistolle on käytetty 28 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE1. Arviointi on tehty turbiinityypillä V172-7.2 MW ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on arvioitu myös Moskuankankaan ja läheisen rakenteilla olevan Pajuperänkankaan sekä suunnitteilla olevan Hallakallion tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia.

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

Moskuankankaan, Pajuperänkankaan ja Hallakallion yhteisvaikutuksista ei aiheudu melun ohje-arvojen 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 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.



6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021203-006.002				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 15.13.2024			
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			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172-7.2 MW PO7200 (blades 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™, V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00, 2022-06-30.							
Melupäästötiedot: V172-7.2MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		



Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
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					
Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,0	50,3	49,7	49,2	49,0	48,2	47,0	45,4	43,0	39,1	37,0
R2	51,1	50,5	49,8	49,4	49,1	48,3	47,1	45,5	43,2	39,3	37,2
R3	51,3	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,4	39,6	37,5
R4	51,6	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R5	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,5	44,2	40,5	38,5
R6	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,7
R7	52,7	52,0	51,4	51,0	50,7	50,0	48,8	47,2	45,0	41,3	39,3
R8	52,9	52,2	51,6	51,1	50,9	50,2	49,0	47,4	45,2	41,5	39,6
R9	53,1	52,5	51,8	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,5	41,8	39,9
R10	51,4	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,6	39,8	37,8
R11	50,0	49,4	48,7	48,3	48,0	47,2	46,0	44,3	42,0	38,1	35,9

Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R12	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R13	48,9	48,2	47,5	47,1	46,8	46,0	44,7	43,0	40,5	36,5	34,2
R14	48,7	48,1	47,4	46,9	46,7	45,8	44,6	42,9	40,4	36,4	34,0
R15	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,3	49,1	47,6	45,4	41,7	39,9
R16	51,9	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,4	38,4
R17	50,1	49,5	48,8	48,4	48,1	47,3	46,1	44,4	42,1	38,2	36,0
R18	48,8	48,1	47,5	47,0	46,7	45,9	44,6	42,9	40,4	36,4	34,1
R19	49,0	48,3	47,7	47,2	46,9	46,1	44,8	43,1	40,7	36,7	34,3
R20	53,3	52,7	52,0	51,6	51,4	50,6	49,4	47,9	45,7	42,0	40,1
R21	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	45,9	42,3	40,4
R22	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	45,9	42,3	40,4
R23	53,5	52,9	52,3	51,8	51,6	50,8	49,7	48,1	45,9	42,3	40,4
R24	54,0	53,4	52,7	52,3	52,1	51,3	50,2	48,7	46,5	42,8	41,0
R25	53,8	53,2	52,5	52,1	51,9	51,1	49,9	48,4	46,2	42,6	40,7
R26	53,9	53,3	52,6	52,2	52,0	51,2	50,1	48,6	46,4	42,7	40,9
R27	53,9	53,3	52,6	52,2	52,0	51,2	50,1	48,6	46,4	42,7	40,9
R28	53,7	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,9	48,4	46,2	42,5	40,7
R29	48,7	48,0	47,4	46,9	46,6	45,8	44,5	42,8	40,4	36,3	34,0
R30	48,1	47,4	46,8	46,3	46,0	45,1	43,8	42,1	39,6	35,5	33,1



Pohjan Voima Oy

Moskuankankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys, VE2

101021203-006

Tekijä
AFRY Finland Oy
Kalle Auvinen

E-mail
kalle.auvinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
15/03/2024

Projektinumero
101021203-006

Raportin tila
VALMIS

Moskuankankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys, VE2

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	11.10.2023/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	11.10.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen (Raportti 101021203-006.001)
002	15.03.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	15.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Hallakallion voimalakoordinaatit lisätty raporttiin (Raportti 101021203-006.002)

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

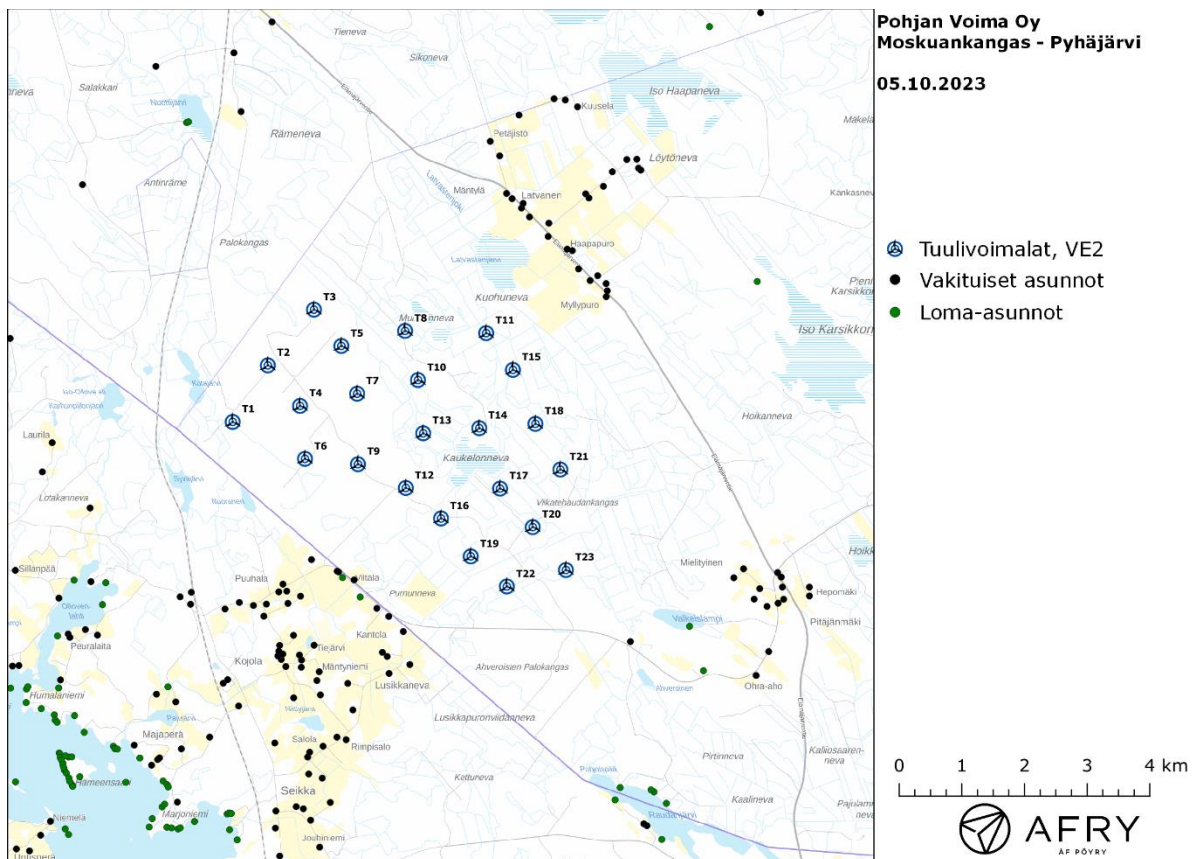
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	9
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	9
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	13
3.3	Moskuankankaan, Hallakallion ja Pajuperänkankaan yhteisvaikutus	16
4	Yhteenveto	21
5	Viitteet	22
6	Melumallinnuksen tiedot	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Pyhäjärven kunnan alueelle suunnitellun Moskuankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Moskuankankaan tuulivoimapuistolle käytetään 23 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 (blades with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiini valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan myös Moskuankankaan sekä läheisten Pajuperänkankaan (rakenteilla) ja Hallakallion (suunnitteilla) tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Moskuankankaan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini-paikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	418894	7051545	128
T2	419455	7052445	155
T3	420191	7053333	156
T4	419969	7051800	159
T5	420628	7052755	158
T6	420048	7050957	144
T7	420880	7051994	156
T8	421645	7052995	145
T9	420893	7050871	144
T10	421851	7052212	150
T11	422939	7052959	140
T12	421657	7050493	143
T13	421934	7051364	147
T14	422829	7051445	145
T15	423366	7052374	140
T16	422219	7050007	138
T17	423161	7050483	145
T18	423725	7051514	143
T19	422693	7049403	138
T20	423682	7049869	148
T21	424123	7050786	146
T22	423269	7048924	142
T23	424212	7049186	156



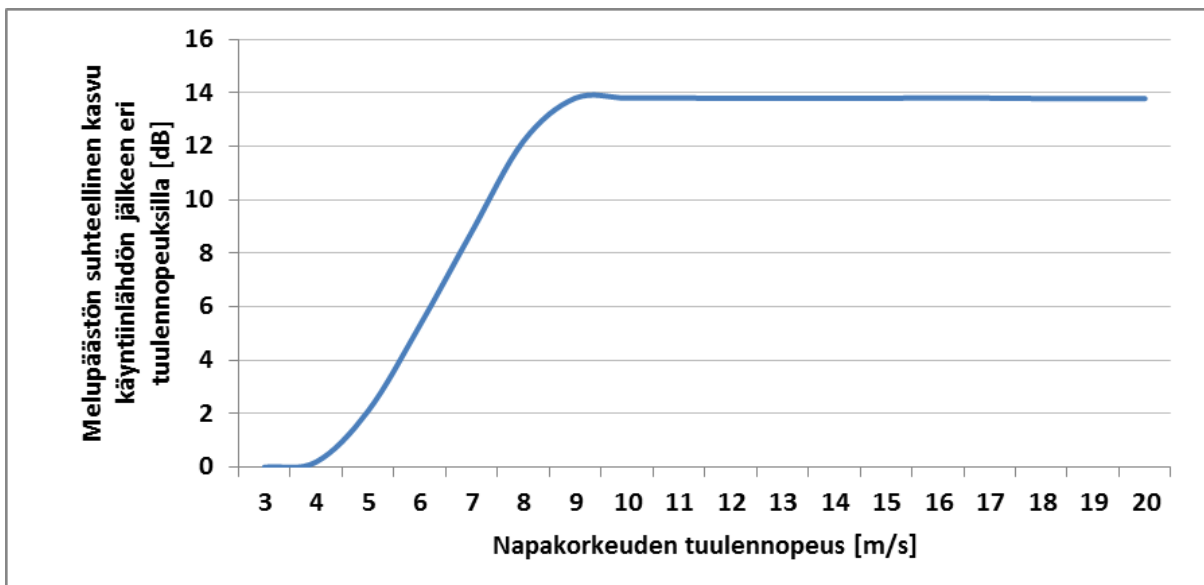
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen 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 käyntiinlähönnopeutta 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 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 kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoiduksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa (declared value) L_{WAd} . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta L_{WA} sekä varmuusarvosta K, joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa

määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän 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].

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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan äänen-eristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat 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

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

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudi-modulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

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

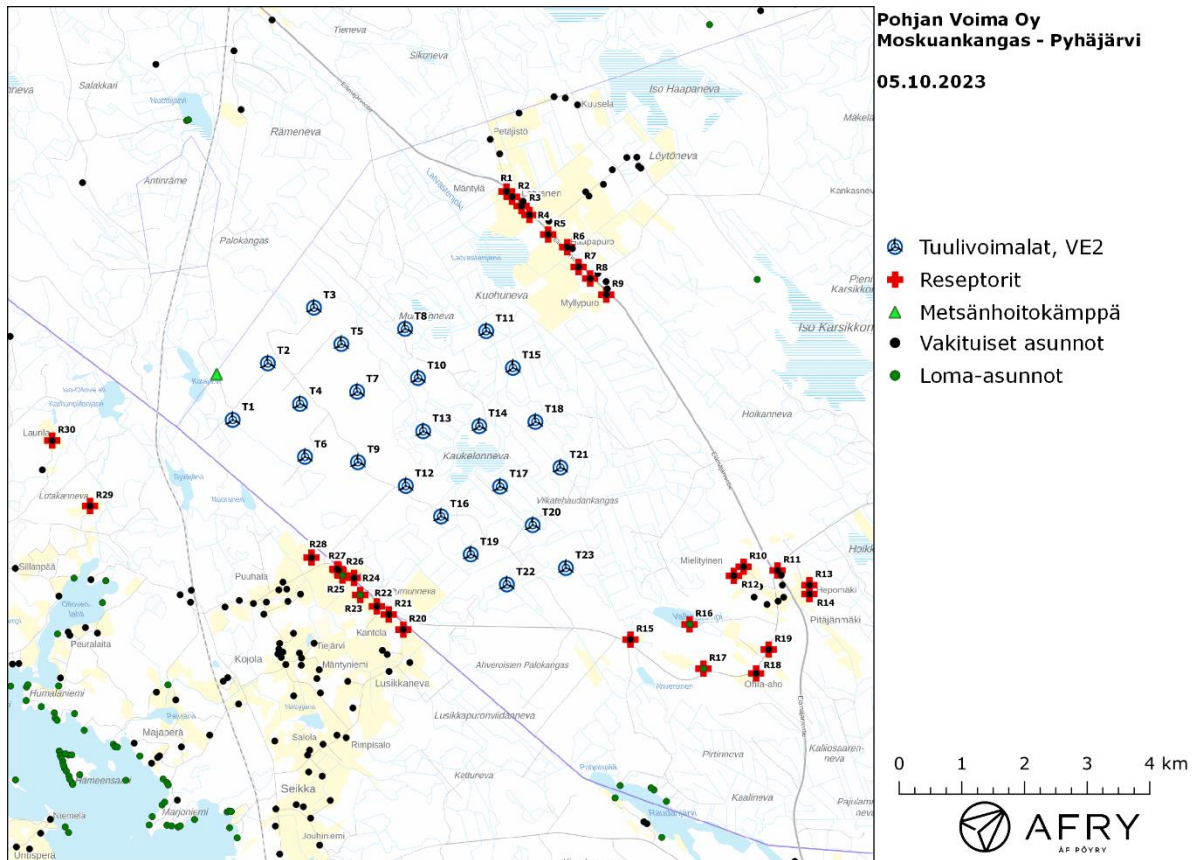
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 30 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 1,5–3,9 km etäisyydellä voimaloista.

Moskuankankaan länsipuolella, noin 800 m voimalan T1 pohjoispuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan, kyseinen kiinteistö on rakennusluvan puolesta todellisuudessa metsänhoitokämpä, eikä kiinteistöä ole otettu tästä syystä melu-vaikutusten arvioinnissa huomioon.

Taulukko 4: Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	423266	7055182	140	vakituinen asunto
R2	423354	7055098	139	vakituinen asunto
R3	423504	7054949	139	vakituinen asunto
R4	423632	7054807	140	vakituinen asunto
R5	423929	7054496	139	vakituinen asunto
R6	424233	7054294	139	vakituinen asunto
R7	424415	7053979	140	vakituinen asunto
R8	424599	7053795	141	vakituinen asunto
R9	424857	7053538	143	vakituinen asunto
R10	427048	7049203	216	vakituinen asunto
R11	427591	7049143	192	vakituinen asunto
R12	426892	7049059	210	vakituinen asunto
R13	428099	7048911	198	vakituinen asunto
R14	428099	7048770	194	vakituinen asunto
R15	425243	7048043	162	vakituinen asunto
R16	426186	7048286	162	loma-asunto
R17	426407	7047580	199	loma-asunto
R18	427249	7047503	189	vakituinen asunto
R19	427450	7047884	191	vakituinen asunto
R20	421618	7048203	131	vakituinen asunto
R21	421386	7048444	133	vakituinen asunto
R22	421195	7048572	131	vakituinen asunto
R23	420929	7048754	128	loma-asunto
R24	420833	7049026	126	vakituinen asunto
R25	420648	7049063	125	loma-asunto
R26	420585	7049153	127	vakituinen asunto
R27	420563	7049165	127	vakituinen asunto
R28	420153	7049349	128	vakituinen asunto
R29	416620	7050172	128	vakituinen asunto
R30	416015	7051213	128	vakituinen asunto



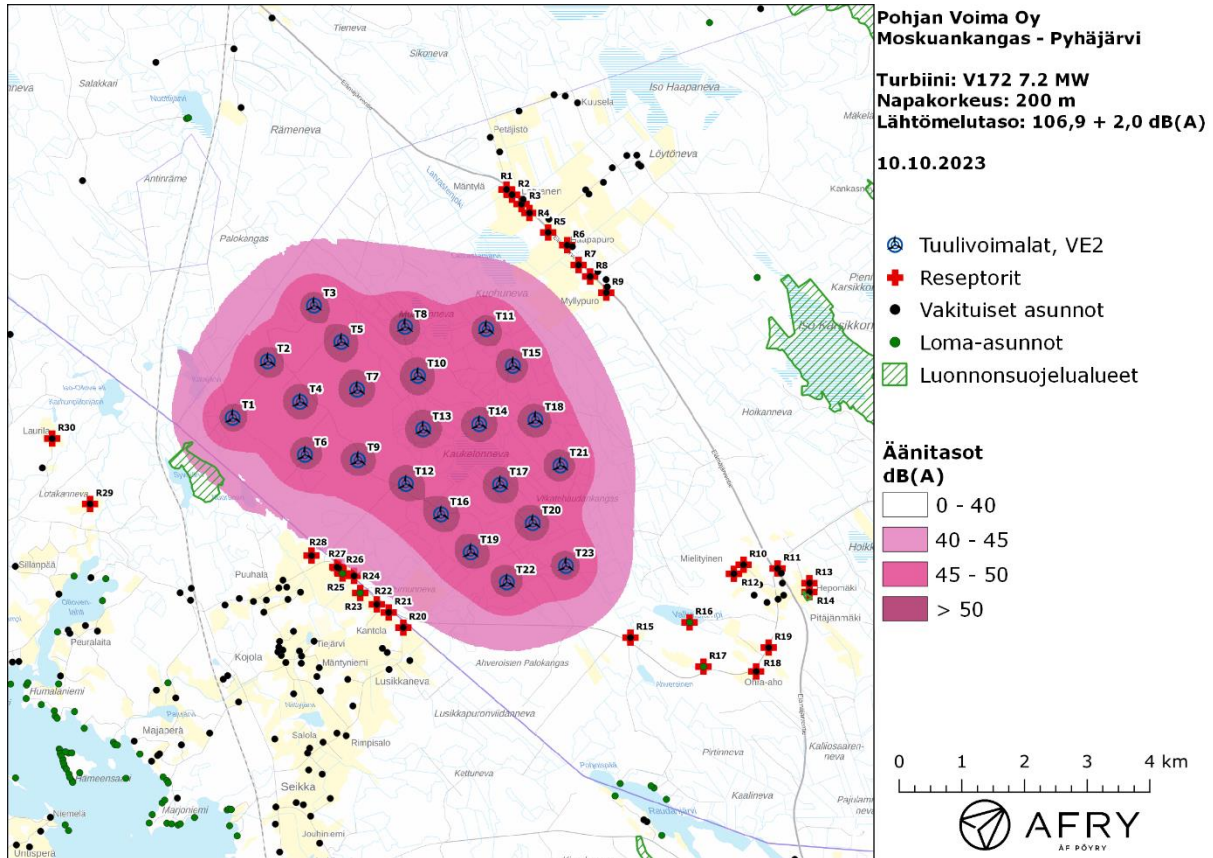
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{eq} 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 ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa. Myös luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	34,9
R2	35,1
R3	35,4
R4	35,8
R5	36,4
R6	36,3
R7	36,9
R8	36,9
R9	36,9
R10	32,4
R11	27,5
R12	32,8
R13	28,4

R14	27,1
R15	36,7
R16	35,0
R17	30,9
R18	26,4
R19	28,4
R20	38,7
R21	39,0
R22	39,0
R23	39,0
R24	39,7
R25	39,4
R26	39,5
R27	39,5
R28	39,2
R29	32,2
R30	31,3

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyys.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4]

eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

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

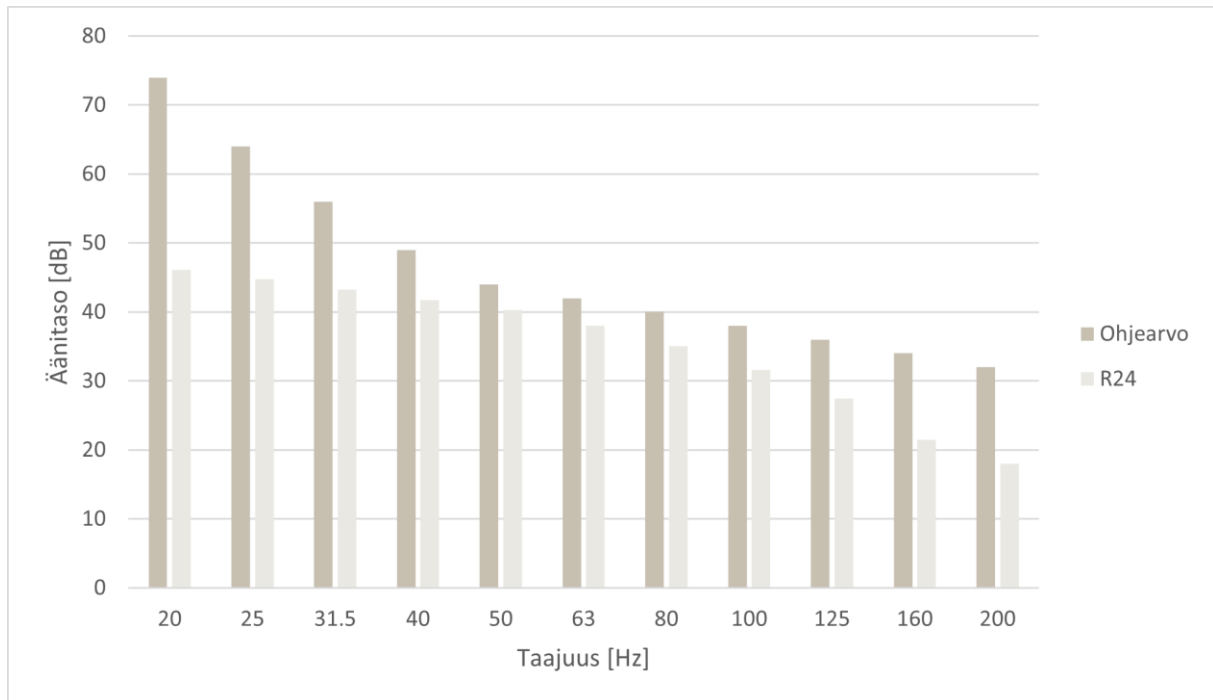
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso 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 R24, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuvälillä.

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

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

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,3	49,7	49,1	48,6	48,3	47,5	46,3	44,7	42,4	38,6	36,5
R2	50,4	49,8	49,2	48,7	48,5	47,7	46,5	44,9	42,5	38,7	36,6
R3	50,6	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,1	42,8	39,0	36,9
R4	50,8	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,9	45,3	43,0	39,2	37,2
R5	51,2	50,6	49,9	49,5	49,3	48,5	47,3	45,7	43,4	39,7	37,7
R6	51,2	50,6	49,9	49,5	49,3	48,5	47,3	45,7	43,4	39,7	37,7
R7	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,9	47,7	46,1	43,9	40,1	38,2
R8	51,6	51,0	50,3	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,2	38,2
R9	51,5	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R10	48,5	47,9	47,2	46,7	46,5	45,7	44,4	42,7	40,3	36,3	34,0
R11	47,5	46,9	46,2	45,7	45,4	44,6	43,3	41,6	39,1	35,0	32,5
R12	48,8	48,1	47,5	47,0	46,7	45,9	44,6	43,0	40,6	36,6	34,4
R13	46,6	45,9	45,3	44,8	44,5	43,6	42,3	40,5	37,9	33,7	31,1
R14	46,6	45,9	45,2	44,7	44,4	43,5	42,2	40,5	37,8	33,6	31,0
R15	51,2	50,5	49,9	49,5	49,2	48,5	47,3	45,7	43,5	39,8	37,9
R16	49,5	48,8	48,2	47,7	47,5	46,7	45,4	43,8	41,5	37,6	35,5
R17	48,2	47,5	46,9	46,4	46,2	45,3	44,1	42,4	39,9	35,9	33,6
R18	46,9	46,2	45,6	45,1	44,8	43,9	42,6	40,9	38,3	34,1	31,6
R19	46,9	46,3	45,6	45,1	44,8	44,0	42,7	40,9	38,3	34,2	31,7
R20	52,9	52,2	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,5	45,3	41,7	39,8
R21	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R22	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R23	53,2	52,5	51,9	51,5	51,3	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R24	53,7	53,1	52,4	52,0	51,8	51,0	49,9	48,4	46,2	42,6	40,8
R25	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,3	40,5
R26	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,8	48,3	46,1	42,5	40,7
R27	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,8	48,3	46,1	42,5	40,7
R28	53,4	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,1	46,0	42,3	40,5
R29	48,4	47,7	47,1	46,6	46,3	45,5	44,3	42,6	40,1	36,1	33,8
R30	47,8	47,1	46,4	46,0	45,7	44,8	43,6	41,9	39,4	35,3	32,9



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R24 kohdalla.

3.3 Moskuankankaan, Hallakallion ja Pajuperänkankaan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Moskuankankaan voimaloiden ja läheisyyteen suunnitellun Hallakallion ja rakenteilla olevan Pajuperänkankaan tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksia. Hallakallion tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 28 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 5,5 km etäisyydellä Moskuankankaan voimaloista. Pajuperänkankaan tuulivoimapuistoon on rakenteilla 14 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 7,4 km etäisyydellä Moskuankankaan voimaloista.

Moskuankankaan sekä Pajuperänkankaan tuulivoimapuistot ovat riittävän etäällä toisistaan, jotta ne eivät aiheuta yhteisvaikutuksia näiden tuulivoimapuistojen välissä sijaitsevalle asutukselle. Riittää siis tarkastella pelkästään Moskuankankaan sekä Hallakallion voimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Hallakallion hankekehittäjän (YIT Suomi Oy) verkkosivuillaan jakamien tietojen mukaan, Hallakallioon suunnitellaan korkeintaan 310 m kokonaiskorkeuden voimaloita. Melumallinnuksessa Hallakallion voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m sekä samaa turbiinityyppiä ja äänitehotasoa kuin Moskuankankaan voimaloilla (V172-7.2 MW, 106,9 + 2,0 dB(A)). Hallakallion voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).

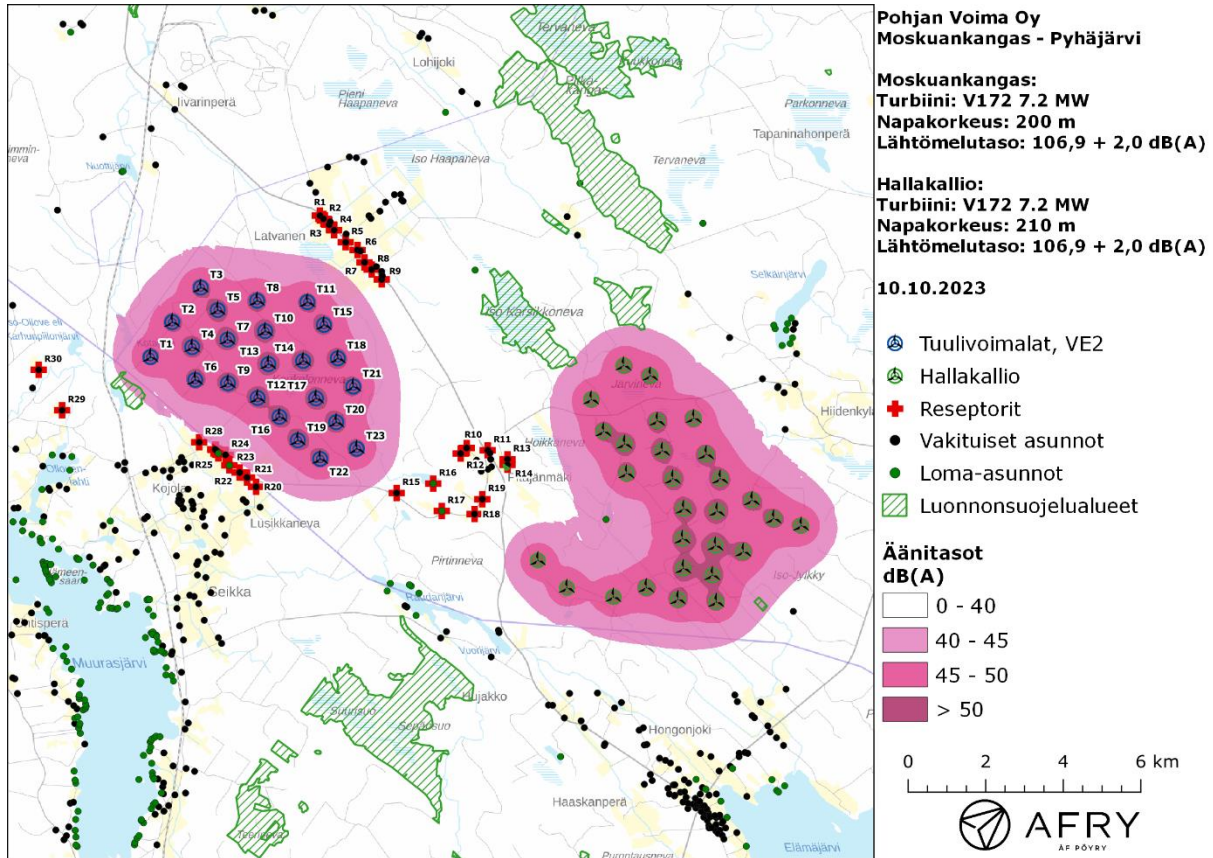
Taulukko 8: Hallakallion voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
H01	431088	7051329	168
H02	431779	7051064	168
H03	432899	7049975	165

H04	433219	7049043	158
H05	433583	7048416	163
H06	434401	7047858	178
H07	434959	7047391	166
H08	431960	7049903	172
H09	432087	7049133	173
H10	432357	7048412	162
H11	432637	7047640	154
H12	433498	7047578	152
H13	430574	7049631	186
H14	431115	7049309	180
H15	432609	7046872	166
H16	433458	7046695	151
H17	434177	7046539	156
H18	432629	7046106	162
H19	433379	7045931	149
H20	431674	7045617	155
H21	432492	7045311	146
H22	433480	7045242	150
H23	429630	7045604	153
H24	430826	7045372	160
H25	435671	7047205	165
H26	430255	7050454	185
H27	431166	7048552	188
H28	428881	7046314	155

Moskuankankaan ja Hallakallion mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnustulosten perusteella Moskuankankaan ja Hallakallion melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot jäävä valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien loma-asuntojen, vakituisten asuinrakennusten ja luonnonsuojelualueiden kohdilla. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 8,4 dB(A) reseptorin R14 kohdalla.

Moskuankankaan ja Hallakallion aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R24, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneneristävyys, Moskuankankaan ja Hallakallion voimaloiden aiheuttamat melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimalat.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimalat.

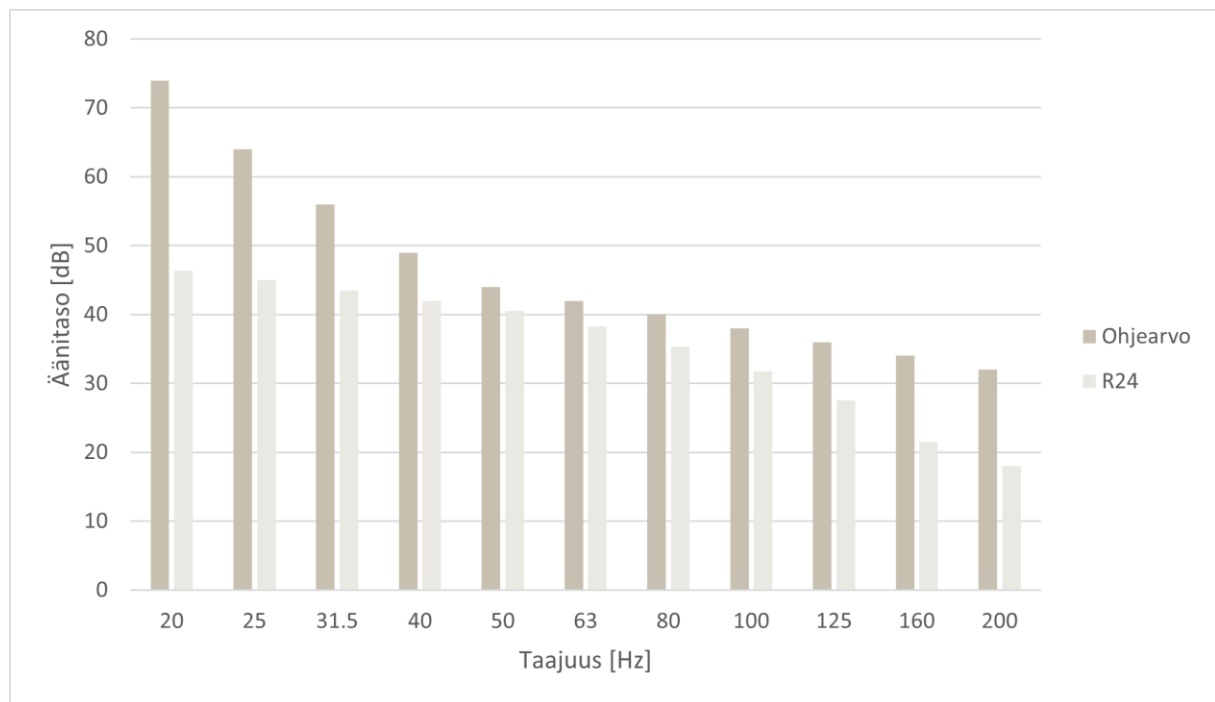
Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,1
R2	35,3
R3	35,6
R4	35,9
R5	36,5
R6	36,5
R7	37,1
R8	37,1
R9	37,0
R10	35,2
R11	34,2
R12	34,5
R13	35,9

R14	35,5
R15	37,0
R16	35,6
R17	33,9
R18	34,4
R19	34,7
R20	38,8
R21	39,1
R22	39,0
R23	39,1
R24	39,8
R25	39,4
R26	39,6
R27	39,6
R28	39,3
R29	32,3
R30	31,4

Taulukko 10: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimat.

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

R17	51,2	50,5	49,9	49,4	49,1	48,2	47,0	45,3	42,8	38,7	36,3
R18	51,5	50,8	50,2	49,7	49,4	48,6	47,3	45,6	43,2	39,2	36,9
R19	51,6	51,0	50,3	49,8	49,6	48,7	47,5	45,8	43,3	39,3	37,0
R20	53,2	52,6	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,8	45,5	41,8	39,9
R21	53,5	52,8	52,2	51,8	51,5	50,7	49,6	48,0	45,8	42,1	40,2
R22	53,5	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,0	45,8	42,1	40,2
R23	53,5	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,0	45,8	42,1	40,2
R24	54,0	53,3	52,7	52,3	52,0	51,3	50,1	48,6	46,3	42,7	40,8
R25	53,8	53,1	52,5	52,1	51,8	51,0	49,9	48,3	46,1	42,4	40,6
R26	53,9	53,2	52,6	52,2	51,9	51,2	50,0	48,5	46,3	42,6	40,7
R27	53,9	53,2	52,6	52,2	51,9	51,2	50,0	48,5	46,2	42,6	40,7
R28	53,7	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,8	48,3	46,1	42,4	40,5
R29	48,9	48,2	47,5	47,0	46,8	45,9	44,6	42,8	40,3	36,2	33,9
R30	48,3	47,6	46,9	46,4	46,1	45,2	43,9	42,1	39,6	35,4	33,0



Kuva 7: Matalataajuisten sisämelun tasot reseptorin R24 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Moskuankankaan ja Hallakallion voimat

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Pyhäjärven kunnan alueella suunnitellun Moskuankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Moskuankankaan tuulivoimapuistolle on käytetty 23 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE2. Arviointi on tehty turbiinityypillä V172-7.2 MW ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on arvioitu myös Moskuankankaan ja läheisen rakenteilla olevan Pajuperänkankaan sekä suunnitteilla olevan Hallakallion tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia.

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

Moskuankankaan, Pajuperänkankaan ja Hallakallion yhteisvaikutuksista ei aiheudu melun ohje-arvojen 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 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021203-006.002				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 15.03.2024			
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			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172-7.2 MW PO7200 (blades 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™, V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00, 2022-06-30.							
Melupäästötiedot: V172-7.2MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		



Melun erityispiirteiden 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					
Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,3	49,7	49,1	48,6	48,3	47,5	46,3	44,7	42,4	38,6	36,5
R2	50,4	49,8	49,2	48,7	48,5	47,7	46,5	44,9	42,5	38,7	36,6
R3	50,6	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,1	42,8	39,0	36,9
R4	50,8	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,9	45,3	43,0	39,2	37,2
R5	51,2	50,6	49,9	49,5	49,3	48,5	47,3	45,7	43,4	39,7	37,7
R6	51,2	50,6	49,9	49,5	49,3	48,5	47,3	45,7	43,4	39,7	37,7
R7	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,9	47,7	46,1	43,9	40,1	38,2
R8	51,6	51,0	50,3	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,2	38,2
R9	51,5	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R10	48,5	47,9	47,2	46,7	46,5	45,7	44,4	42,7	40,3	36,3	34,0
R11	47,5	46,9	46,2	45,7	45,4	44,6	43,3	41,6	39,1	35,0	32,5

Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R12	48,8	48,1	47,5	47,0	46,7	45,9	44,6	43,0	40,6	36,6	34,4
R13	46,6	45,9	45,3	44,8	44,5	43,6	42,3	40,5	37,9	33,7	31,1
R14	46,6	45,9	45,2	44,7	44,4	43,5	42,2	40,5	37,8	33,6	31,0
R15	51,2	50,5	49,9	49,5	49,2	48,5	47,3	45,7	43,5	39,8	37,9
R16	49,5	48,8	48,2	47,7	47,5	46,7	45,4	43,8	41,5	37,6	35,5
R17	48,2	47,5	46,9	46,4	46,2	45,3	44,1	42,4	39,9	35,9	33,6
R18	46,9	46,2	45,6	45,1	44,8	43,9	42,6	40,9	38,3	34,1	31,6
R19	46,9	46,3	45,6	45,1	44,8	44,0	42,7	40,9	38,3	34,2	31,7
R20	52,9	52,2	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,5	45,3	41,7	39,8
R21	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R22	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R23	53,2	52,5	51,9	51,5	51,3	50,5	49,3	47,8	45,6	42,0	40,1
R24	53,7	53,1	52,4	52,0	51,8	51,0	49,9	48,4	46,2	42,6	40,8
R25	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,3	40,5
R26	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,8	48,3	46,1	42,5	40,7
R27	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,8	48,3	46,1	42,5	40,7
R28	53,4	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,1	46,0	42,3	40,5
R29	48,4	47,7	47,1	46,6	46,3	45,5	44,3	42,6	40,1	36,1	33,8
R30	47,8	47,1	46,4	46,0	45,7	44,8	43,6	41,9	39,4	35,3	32,9