



ATP Palloneva Oy

Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston meluselvitys (VE2)

101024733-001, 10.05.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
ATP Palloneva Oy
Jaakko Leppinen

Päivämäärä
10/05/2024

Projektinumero
101024733-001

Raportin tila
VALMIS

Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston meluseelvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laajaja	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	10.05.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	10.05.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

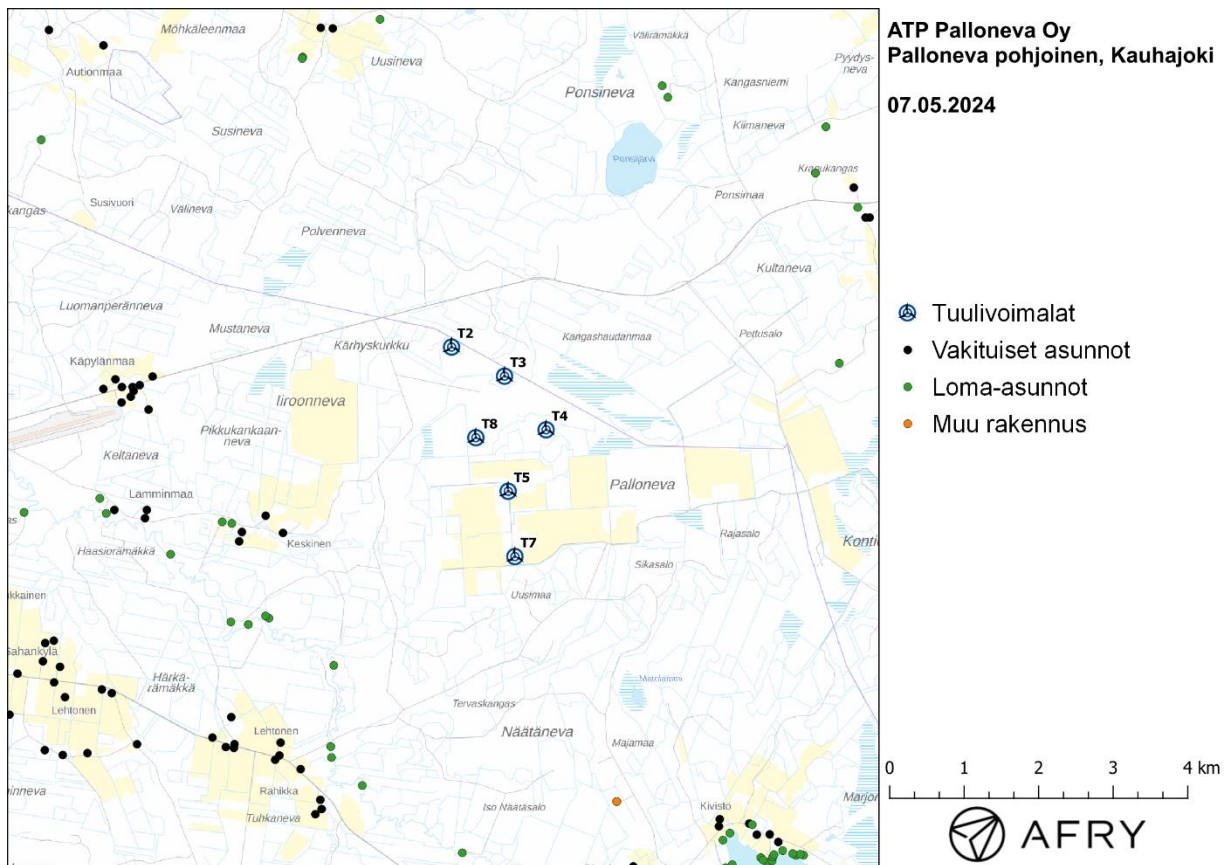
Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	Tuulivoimaloiden melu.....	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus	7
2.3	Ohjearvot	8
2.4	Sisämelutasojen arviointi	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	13
4	Yhteenveto.....	19
5	Viitteet	20
6	Melumallinnuksen tiedot	21

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kauhajoen kaupungin alueelle suunnittelun Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapuisto on osa ATP Palloneva Oy:n yhdistettyä aurinko ja tuulivoimahanketta Palloneva pohjoinen. Arviointi on tehty kuuden tuulivoimalan suunnitelmalle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Selvityksessä arvioidaan myös melun yhteisvaikutuksia lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.

Mallinnuksissa Palloneva pohjoisen voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109 dB(A) (voimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 107 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Voimalatyyppin 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.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (6 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Tuulivoimala	E	N	Maaston korkeus [m]
T2	267742	6935366	140
T3	268453	6934975	154
T4	269011	6934256	147
T5	268502	6933431	142
T7	268592	6932555	136
T8	268068	6934150	143

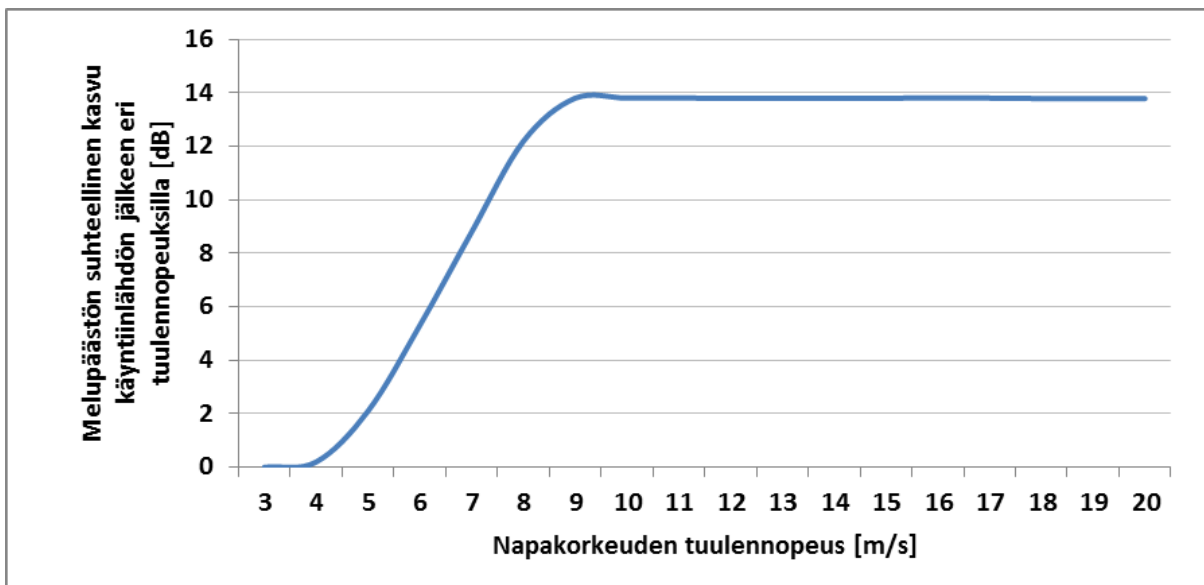
2 Tuulivoimaloiden melu

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 kokonaisäänienergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [17].

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 siipikulmasäättö 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 [16].

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 korkeudella 100 m nopeutta 12 m/s, korkeudella 160 m nopeutta 14 m/s ja korkeudella 200 m nopeutta 15 m/s.

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista 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 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 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 sykinnän 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 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 unhäiriötä 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 matalataajuisten 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 on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisten 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 voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Acoustic Emission for SG 7.0-170, Rev. 0. Document no. 110000107392_R00, 2024-03-12.

Dokumentissa esitetyn taajuusjakauman melutaso perustuu standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. 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.”

Voimalatyyppin SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges) äänitehotaso on 107 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Voimalatyyppien 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. Käytetyllä melun taajuusjakaumalla tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

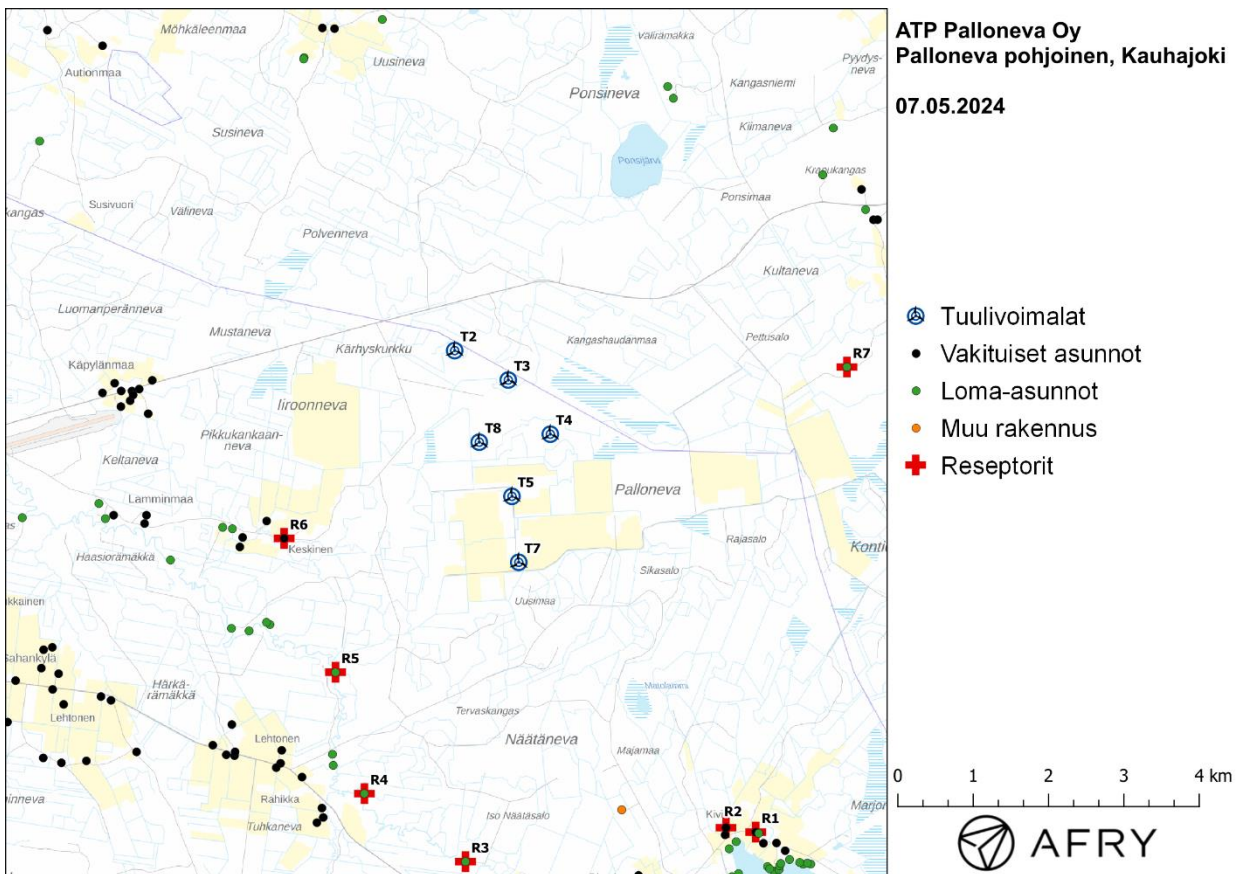
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä seitsemän 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). Reseptorit sijaitsevat 2,8–4,8 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Hankealueen kaakkoispuolella on Maanmittauslaitoksen maastotietokannassa loma-asunnoksi merkitty rakennus, mutta jolla ei ole Kauhajoen kaupungin rakennusvalvonnalta saadun

tiedon mukaan rakennuslupaa. Tämä rakennus on merkitty karttoihin oranssilla ympyrällä ja selitteellä Muu rakennus. Tätä rakennusta ei huomioida meluvaikutusten arvioinnissa.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	271739	6928971	144	vakituinen asuinrakennus
R2	271344	6929029	143	vakituinen asuinrakennus
R3	267887	6928578	141	lomarakennus
R4	266545	6929482	139	lomarakennus
R5	266162	6931093	135	lomarakennus
R6	265480	6932870	130	vakituinen asuinrakennus
R7	272949	6935146	145	lomarakennus

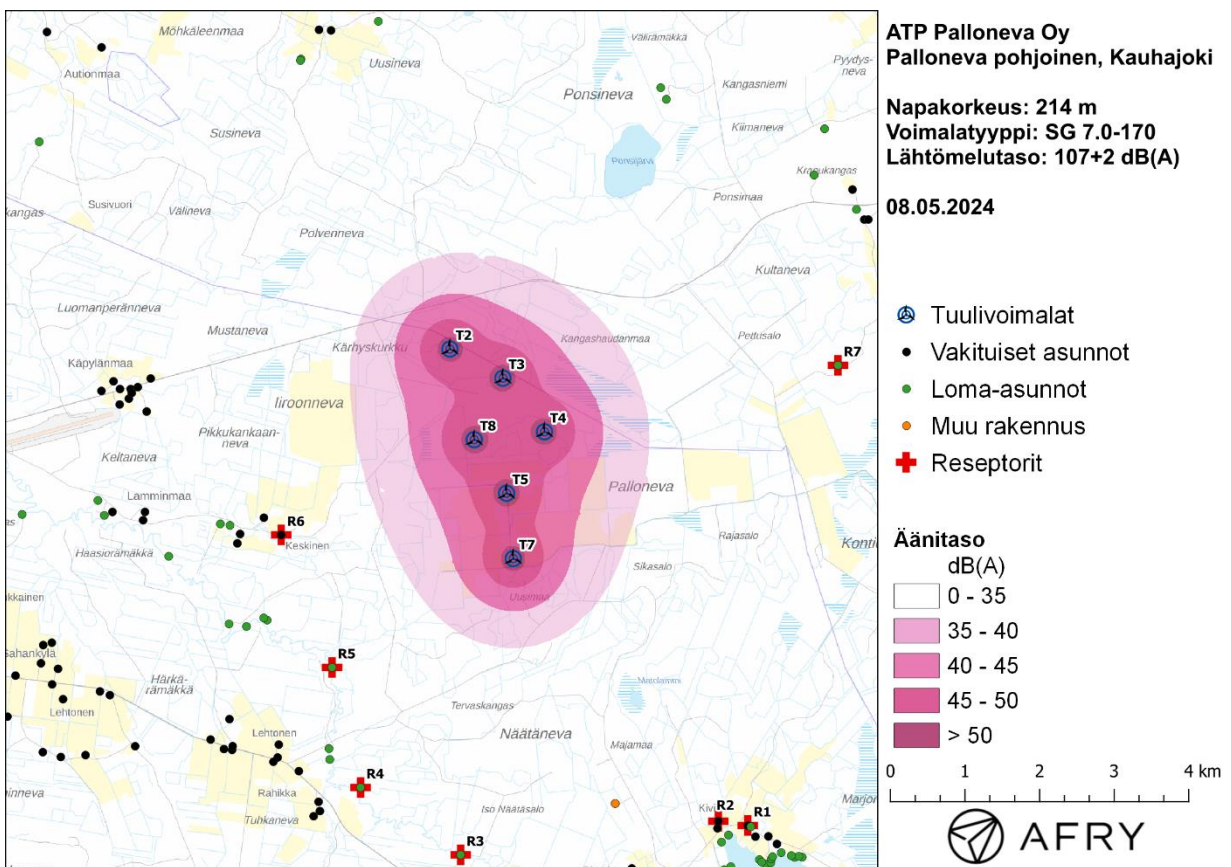


Kuva 3: Reseptoreiden paikat Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston ympäristössä.

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 35 dB(A), 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 melutasot jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Melutasot asuntojen kohdilla eivät ylitä Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvoa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	20,8
R2	20,8
R3	22,5
R4	23,7
R5	27,4
R6	28,9
R7	24,1

3.2 Matalataajuisten melun mallinnus

Matalataajuisten 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. Matalataajuisten melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

Matalataajuisten melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisten melun yöaikaisille sisämelutasoille (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisten ulkomelun tasot voimaloita lähimpien asuntojen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisten 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 äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

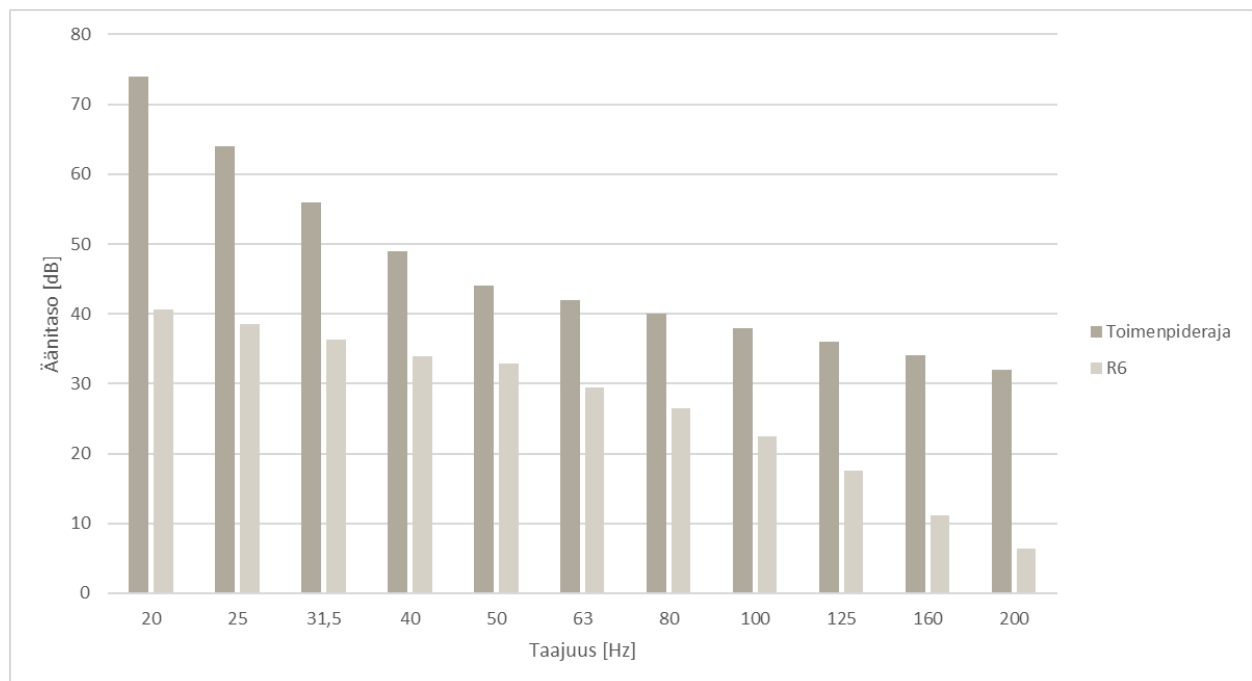
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

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 matalataajuisen 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 R6, 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	43,1	41,6	40,2	38,9	39,0	36,9	35,6	33,4	30,1	25,6	21,8
R2	43,5	42,0	40,6	39,3	39,5	37,4	36,1	33,9	30,6	26,1	22,5
R3	44,0	42,5	41,2	39,9	40,0	38,0	36,7	34,6	31,3	26,9	23,4
R4	44,9	43,4	42,1	40,8	41,0	38,9	37,6	35,6	32,4	28,1	24,6
R5	47,3	45,8	44,5	43,2	43,4	41,4	40,2	38,2	35,2	31,1	27,9
R6	48,3	46,8	45,5	44,2	44,4	42,4	41,2	39,3	36,3	32,2	29,1
R7	45,1	43,6	42,3	41,0	41,2	39,1	37,9	35,8	32,6	28,3	24,8



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R6 kohdalla.

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Palloneva pohjoisen ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan suunnitteilla olevat tuulivoimapuistot Palloneva pohjoinen VE2 (6 voimalaa), Palloneva VE1 (15 voimalaa) ja Harjanneva VE1 (13 voimalaa) sekä jo toiminnassa olevat tuulivoimapuistot Ponsivuori (7 voimalaa), Rustari (8 voimalaa) ja Suolakangas (9 voimalaa). Yhteisvaikutusten mallinnukseen on valittu puistojen suunnitteluvaihtoehtot, jotka aiheuttavat suurimmat meluvaikutukset.

Mallinuksissa voimaloille on käytetty taulukossa (Taulukko 8) lueteltuja napakorkeuksia, voimalatyyppejä ja äänitehotasoja. Mallinuksessa käytetyt tuulivoimaloiden tiedot on saatu hankkeista vastaavilta toimijoilta. Voimalatyyppien melun taajuusjakaumat on saatu seuraavista voimalavalmistajien dokumenteista:

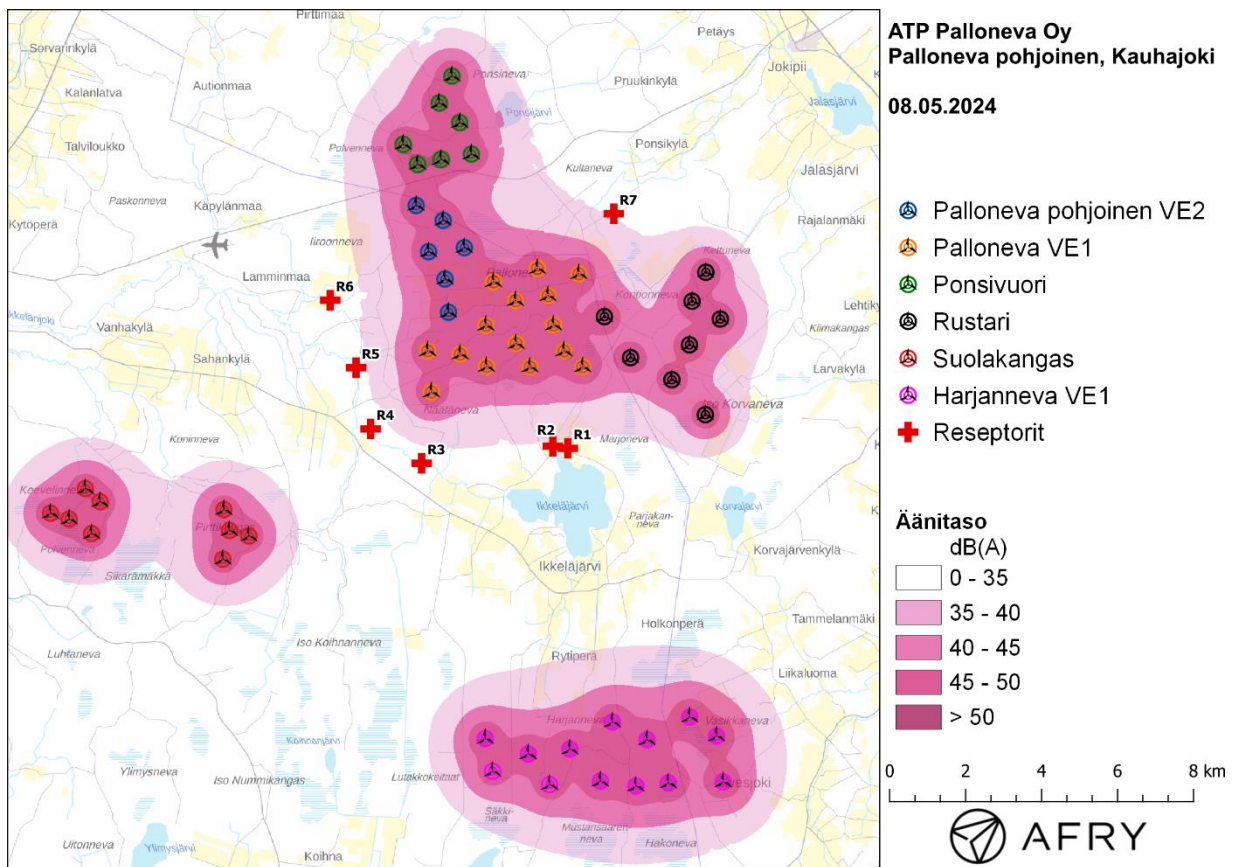
- Acoustic Emission for SG 7.0-170, Rev. 0. Document no. 110000107392_R00, 2024-03-12.
- Third octave noise emission EnVentusTM V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.
- Acoustic Emission for SG 6.6-170, Rev. 0. Document no. SG-F18.16-TR-00891_R00, 2022-10-04.
- V150-4.0/4.2 MW Third octave noise emission. Document no. DMS 0067-4767 V05, 2018-15-03.
- Third octave sound power levels Nordex N149/4.0-4.5. Document no. F008_270a_A17_EN Revision 02, 2019-01-15.

Taulukko 8: Melun yhteisvaikutusten mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät voimalatyyppit, napakorkeudet ja äänitehotasot. Rustarin voimaloille on käytetty tuulivoimapuiston rakennusluvan melumallinnusten mukaista varmuusarvoa 1,55 dB. Muiden tuulivoimapuistojen voimaloille on käytetty varmuusarvoa 2 dB.

Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Voimalatyyppi	Äänitehotaso [dB(A)]
Palloneva pohjoinen	214	Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 with serrated trailing edges	107,0+2
Palloneva VE1	200	Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 with serrated trailing edges	107,0+2
Ponsivuori	135	Nordex N149 4.5MW Mode 0.a with serrated trailing edge	106,1+2
Rustari	151	GE158 5.5MW with serrated trailing edge	106,0+1,55
Suolakangas	155	Vestas V150-4.2MW Mode 0 with serrated trailing edge	104,9+2
Harjanneva VE1	225	Vestas V172-7.2MW Mode 0 with serrated trailing edge ja Siemens Gamesa SG 6.6-170 AM 0 with serrated trailing edges (voimalat 2 ja 4)	106,9+2 ja 106,0+2

Yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnustulosten perusteella melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Yhteisvaikutusten melutasot vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla eivät ylitä Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvoa.

Tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Yhteisvaikutuksissa korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat reseptoriin R2. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, yhteisvaikutusten melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



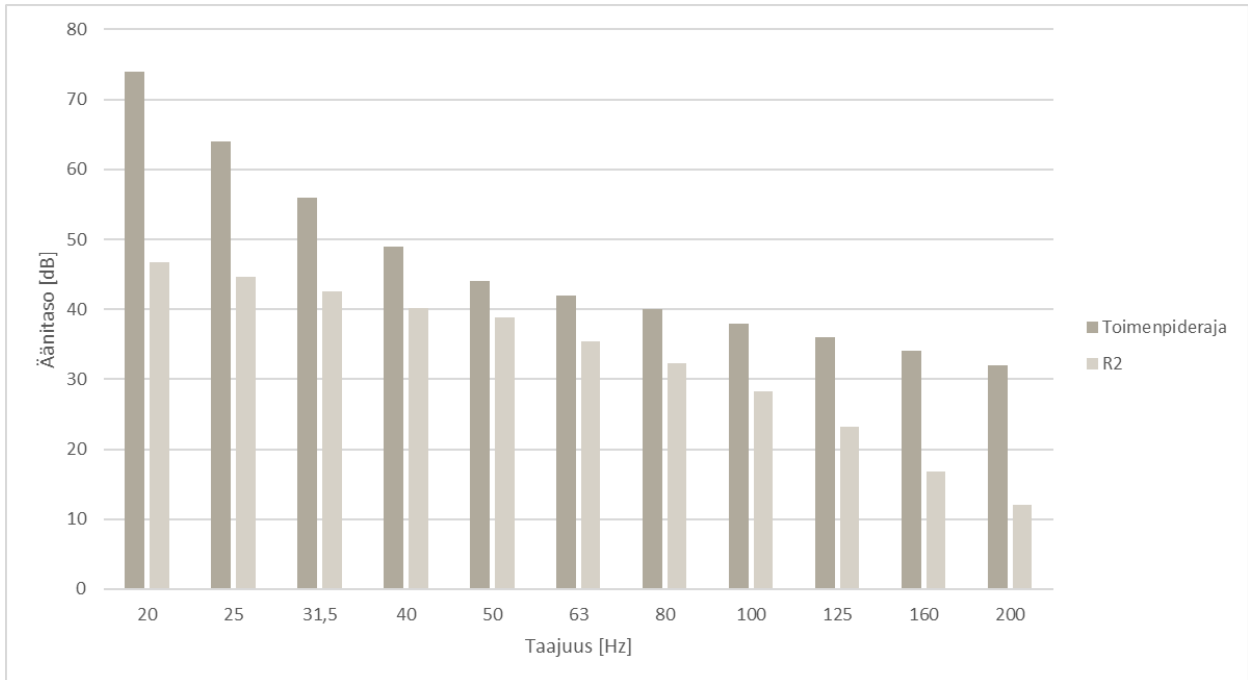
Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnoissa huomioidaan tuulivoimapuistot Palloneva pohjoinen VE2, Palloneva VE1, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva pohjoinen VE2, Palloneva VE1, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	34,2
R2	34,5
R3	33,0
R4	33,0
R5	34,0
R6	32,5
R7	34,7

Taulukko 10: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva pohjoinen VE2, Palloneva VE1, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,1	52,7	51,5	50,3	50,1	48,2	46,8	44,8	41,7	37,5	34,6
R2	54,3	53,0	51,7	50,5	50,4	48,4	47,0	45,1	42,0	37,9	34,9
R3	53,1	51,7	50,4	49,2	49,1	47,2	45,8	43,9	40,7	36,5	33,4
R4	53,1	51,7	50,4	49,2	49,1	47,1	45,8	43,9	40,7	36,5	33,5
R5	53,9	52,4	51,2	49,9	49,9	47,9	46,6	44,7	41,5	37,4	34,4
R6	53,1	51,6	50,4	49,1	49,1	47,0	45,6	43,9	40,4	36,2	33,0
R7	54,4	53,0	51,8	50,5	50,4	48,3	46,8	45,0	41,6	37,5	34,7



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R2 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva pohjoinen VE2, Palloneva VE1, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

4 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Kauhajoen kaupungin alueelle suunnitellun Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty kuuden voimalan suunnitelmalle VE2 käyttäen voimalatyyppin SG 7.0-170 taajuusjakaumaa ja napakorkeutta 214 m. Selvityksessä on arvioitu myös melun yhteisvaikutuksia Palloneva pohjoisen lähelle suunniteltujen tai rakennettujen Pallonevan, Ponsivuoren, Rustarin, Suolankankaan ja Harjannevan tuulivoimapuistojen kanssa.

Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella molemmilla suunnitelmissa. Melutasot asuntojen kohdilla eivät ylitä Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvoa.

Lähelle suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu Palloneva pohjoisen voimaloiden kanssa jonkin verran melun yhteisvaikutuksia, mutta meluvaikutukset pysyvät valtioneuvoston ohjearvoissa ja asumisterveysasetuksen toimenpiderajoissa myös, kun yhteisvaikutukset huomioidaan. Yhteisvaikutusten mallinuksissa keskiäänitaso jää alle Kauhajoen kaupungin 35 dB(A):n ohjearvon.

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] 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.
- [17] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 10.05.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Mika Laitinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Mika Laitinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Siemens Gamesa				Tyyppi: SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7,0 MW		Napakorkeus: 214 m		Roottorin halkaisija: 170 m		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Acoustic Emission for SG 7.0-170, Rev. 0. Document no. 110000107392_R00, 2024-03-12.							
Alla oleviin arvoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
		20	65,8	200	94,5	2000	99,4
63	91,9	25	70,2	250	95,3	2500	97,9
125	97,9	31,5	74,4	315	96,5	3150	96,1
250	100,3	40	78,4	400	95,3	4000	94,1
500	100,5	50	83,2	500	94,8	5000	90,1
1000	102,9	63	85,8	630	96,8	6300	83,9
2000	103,5	80	89,2	800	96,6	8000	77,2
4000	98,8	100	91,5	1000	98,4	10000	72,8
8000	85,0	125	93,1	1250	99,0		
		160	94,4	1600	98,8		

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					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	43,1	41,6	40,2	38,9	39,0	36,9	35,6	33,4	30,1	25,6	21,8
R2	43,5	42,0	40,6	39,3	39,5	37,4	36,1	33,9	30,6	26,1	22,5
R3	44,0	42,5	41,2	39,9	40,0	38,0	36,7	34,6	31,3	26,9	23,4
R4	44,9	43,4	42,1	40,8	41,0	38,9	37,6	35,6	32,4	28,1	24,6
R5	47,3	45,8	44,5	43,2	43,4	41,4	40,2	38,2	35,2	31,1	27,9
R6	48,3	46,8	45,5	44,2	44,4	42,4	41,2	39,3	36,3	32,2	29,1
R7	45,1	43,6	42,3	41,0	41,2	39,1	37,9	35,8	32,6	28,3	24,8