



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston meluselvitys, VE1

101021203-011, 14.3.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Erkki Heikkola
Carlo Di Napoli
E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
14/03/2024

Projektinumero
101021203-011

Raportin tila
VALMIS

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston meluselvitys, VE1

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	07.02.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	07.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	14.03.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja uusi reseptoripiste

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	Pienitaajuisen melun mallinnus.....	14
3.3	Melun yhteisvaikutukset	17
4	Liikennemelun ja tuulivoimamelun yhteisvaikutukset	22
5	Yhteenveto	26
6	Viitteet	27
7	Melumallinnuksen tiedot.....	28

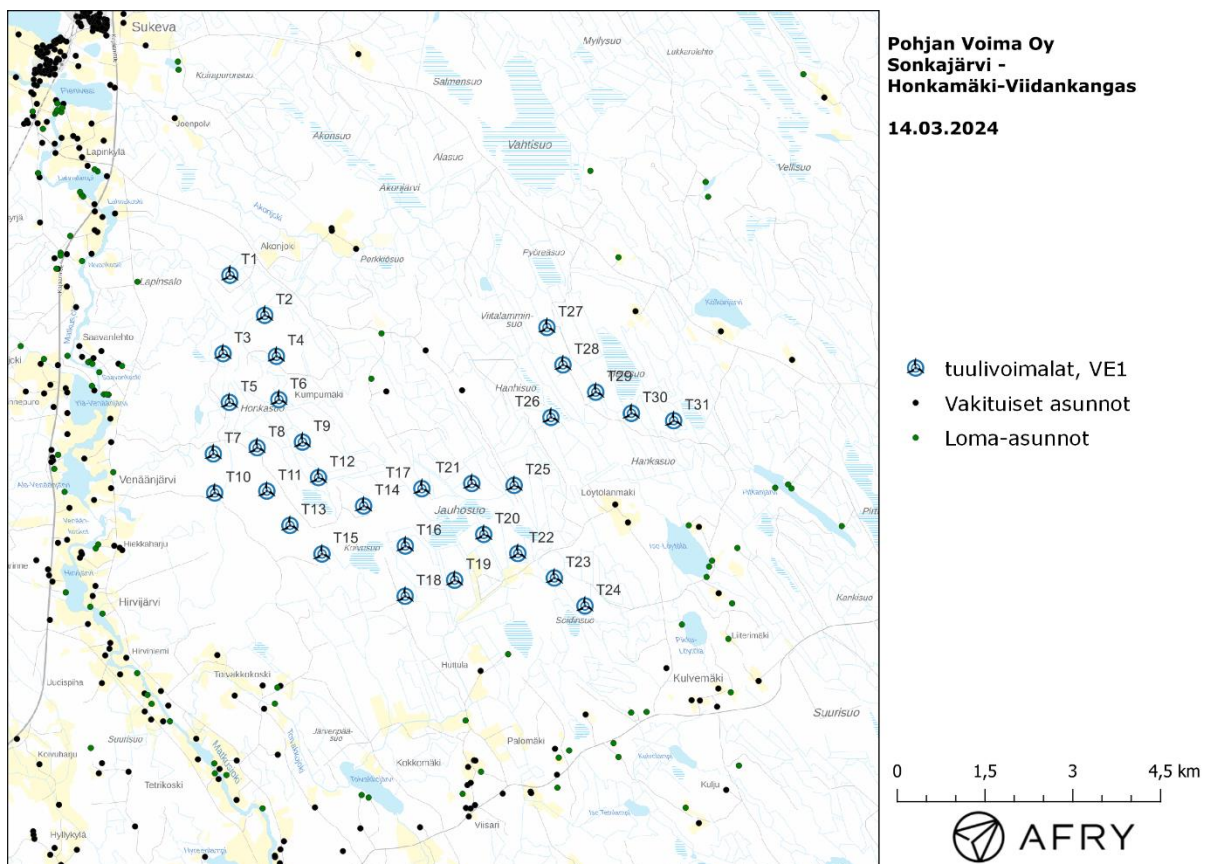
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sonkajärven alueelle suunnittelun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 31 voimalan sijoitus suunnitelmalle VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 215 m ja turbiinityypin N175 6.5 MW (mode 1, with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,5 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,5 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 lisäksi Honkamäki-Viidankankaan melun yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuulivoimakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.

Pelkän tuulivoimamelman mallinnusten lisäksi on suoritettu liikennemelun ja tuulivoimamelman yhteisvaikutusten mallinnukset, joiden tulokset on raportoitu luvussa 4. Liikennemelun osalta on otettu huomioon kohdealueen länsipuolelta kulkevat Kajaanintie (valtatie 5), Hirvijärventie ja Tetricoskentie, ja mallinnuksissa on arvioitu erikseen yö- ja päiväajan melutasoja.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkamäki-Viidankankaan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (31 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Tuulivoimala	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523629,6	7078412,0	141,1
T2	524224,1	7077727,3	149,1
T3	523512,1	7077073,2	140,3
T4	524423,8	7077027,4	172,8
T5	523620,2	7076240,8	141,8
T6	524466,3	7076288,1	147,2
T7	523346,1	7075361,8	142,5
T8	524094,3	7075467,4	156,0
T9	524869,0	7075564,0	155,2
T10	523369,2	7074693,8	138,7
T11	524260,3	7074726,8	166,4
T12	525143,4	7074956,6	154,9
T13	524655,1	7074140,8	165,2
T14	525914,0	7074472,0	171,8
T15	525203,0	7073653,0	152,8
T16	526626,1	7073788,5	149,2
T17	526909,0	7074768,0	147,3
T18	526623,1	7072931,4	151,6
T19	527469,4	7073205,2	135,7
T20	527966,2	7073986,7	138,4
T21	527762,3	7074856,6	146,1
T22	528548,6	7073661,1	138,6
T23	529172,6	7073242,9	138,4
T24	529695,8	7072765,1	141,1
T25	528485,9	7074824,4	147,5
T26	529114,6	7075984,2	145,8
T27	529046,6	7077520,2	146,0
T28	529320,0	7076882,2	145,9
T29	529879,7	7076415,5	145,2
T30	530489,6	7076054,5	147,8
T31	531211,7	7075928,7	148,2

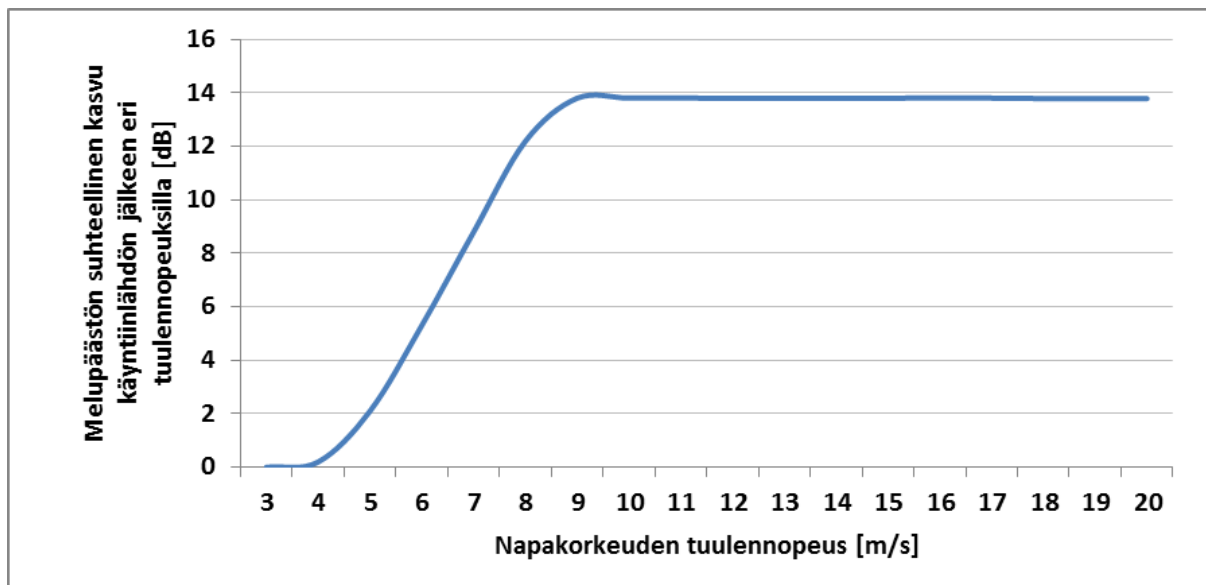
2 Tuulivoimaloiden melu

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 [15]. 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 [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 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 kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

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

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

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [6].

2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [8]. 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 keskitäajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitäajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuulivoimaloiden melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisen 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. Pienitaajuisen 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 [10]. 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 [9].

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [8] 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 pienitaajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [7]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat pienitaajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

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

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

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

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisten sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 6) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä pienitaajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos pienitaajuisten 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 turbiinityypin N175 6.5 MW (mode 1, with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

- Third octave sound power levels, Nordex N175/6.X. Document no. 9003492, Rev. 03, 2023-10-18.

Dokumenttia varten turbiinityypin N175 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat aerodynaamisella mallilla laskettuihin arvioihin. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [11]:

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

Turbiinityypin N175 6.5 MW (mode 1) ilmoitettu äänitehotaso on 106,5 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,5 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella 215 m. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

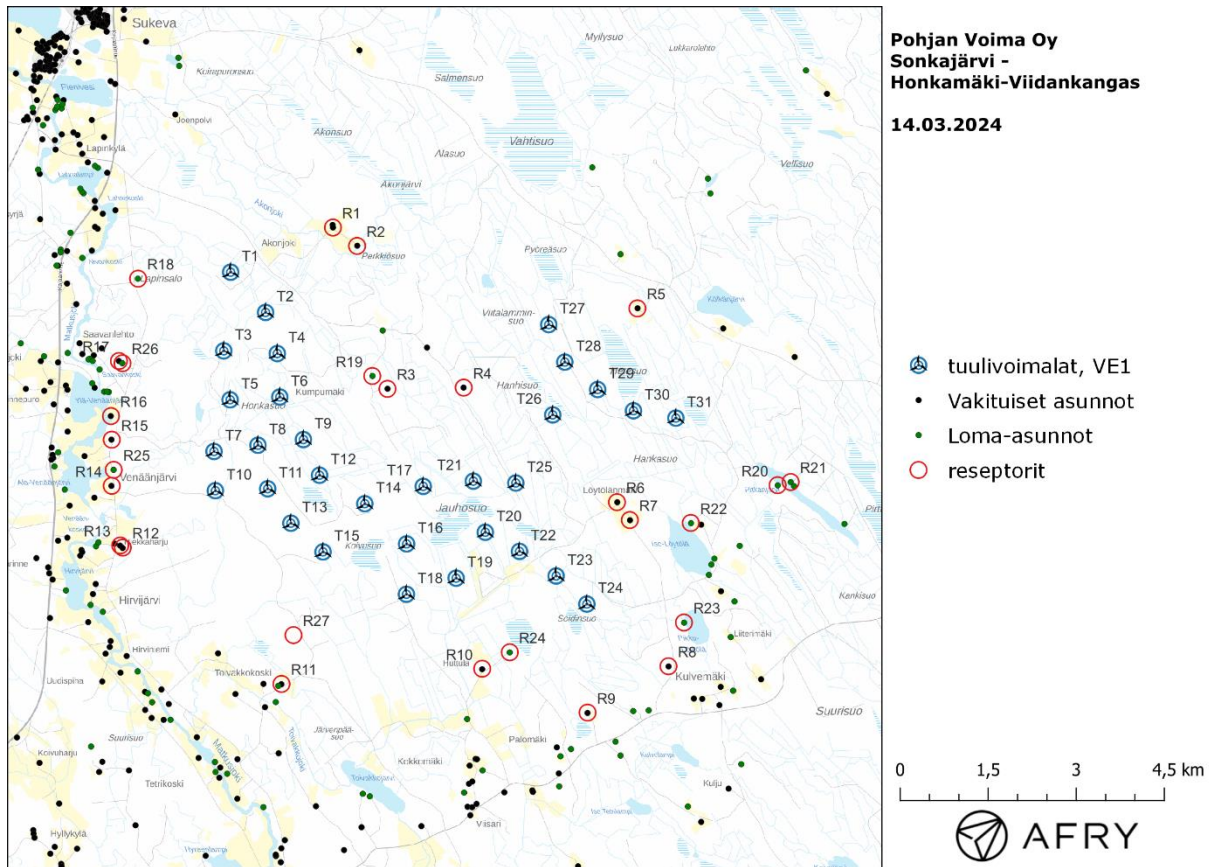
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Voimalavalmistajan dokumentissa 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 laskentahilaan, 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 7.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 27 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja pienitaajuuden melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttaphojalla (Kuva 3). Rakennusten sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	525373	7079169	139,9	vakituinen asuinrakennus
R2	525784	7078856	137,1	vakituinen asuinrakennus
R3	526301	7076424	185,8	vakituinen asuinrakennus
R4	527600	7076445	176,2	vakituinen asuinrakennus
R5	530558	7077793	181,8	vakituinen asuinrakennus
R6	530210	7074496	191,0	vakituinen asuinrakennus
R7	530429	7074192	185,5	vakituinen asuinrakennus
R8	531087	7071704	183,1	vakituinen asuinrakennus
R9	529709	7070915	166,8	vakituinen asuinrakennus
R10	527915	7071662	133,4	vakituinen asuinrakennus
R11	524497	7071403	120,5	vakituinen asuinrakennus
R12	521794	7073723	127,0	vakituinen asuinrakennus
R13	521751	7073759	128,0	vakituinen asuinrakennus
R14	521606	7074774	117,7	vakituinen asuinrakennus
R15	521606	7075559	119,5	vakituinen asuinrakennus
R16	521593	7075961	120,4	vakituinen asuinrakennus
R17	521729	7076898	123,7	vakituinen asuinrakennus
R18	522054	7078299	140,3	lomarakennus
R19	526043	7076643	186,9	lomarakennus
R20	532946	7074785	156,6	lomarakennus
R21	533168	7074839	148,4	lomarakennus
R22	531467	7074143	175,5	lomarakennus
R23	531351	7072448	165,8	lomarakennus
R24	528385	7071942	135,1	lomarakennus
R25	521640	7075046	122,1	lomarakennus
R26	521789	7076860	125,6	lomarakennus
R27	524701	7072234	172,2	vakituinen asuinrakennus



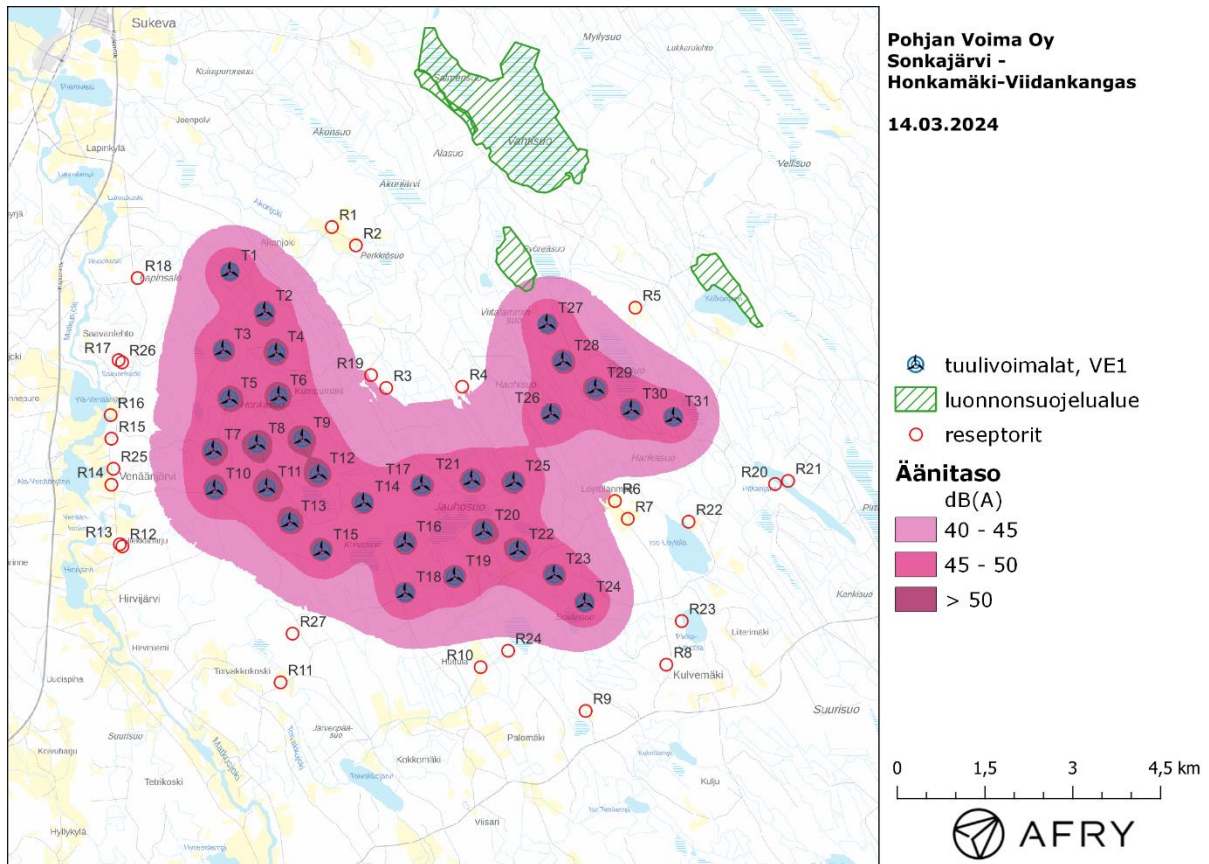
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapauston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa, jos niillä on merkittävää virkistyskäyttöä. Kohteen lähellä sijaitsevilla luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,4	R14	35,7
R2	35,2	R15	36,0
R3	39,8	R16	36,2
R4	39,8	R17	36,3
R5	38,2	R18	35,7
R6	39,7	R19	39,8
R7	38,8	R20	30,7
R8	33,7	R21	31,0
R9	33,9	R22	35,9
R10	37,5	R23	34,3
R11	33,4	R24	38,8
R12	34,9	R25	35,3
R13	34,9	R26	36,6
		R27	37,5

3.2 Pienitaajuisten melun mallinnus

Pienitaajuisten melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [8]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Pienitaajuisten melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

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

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen pienitaajuisten 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.

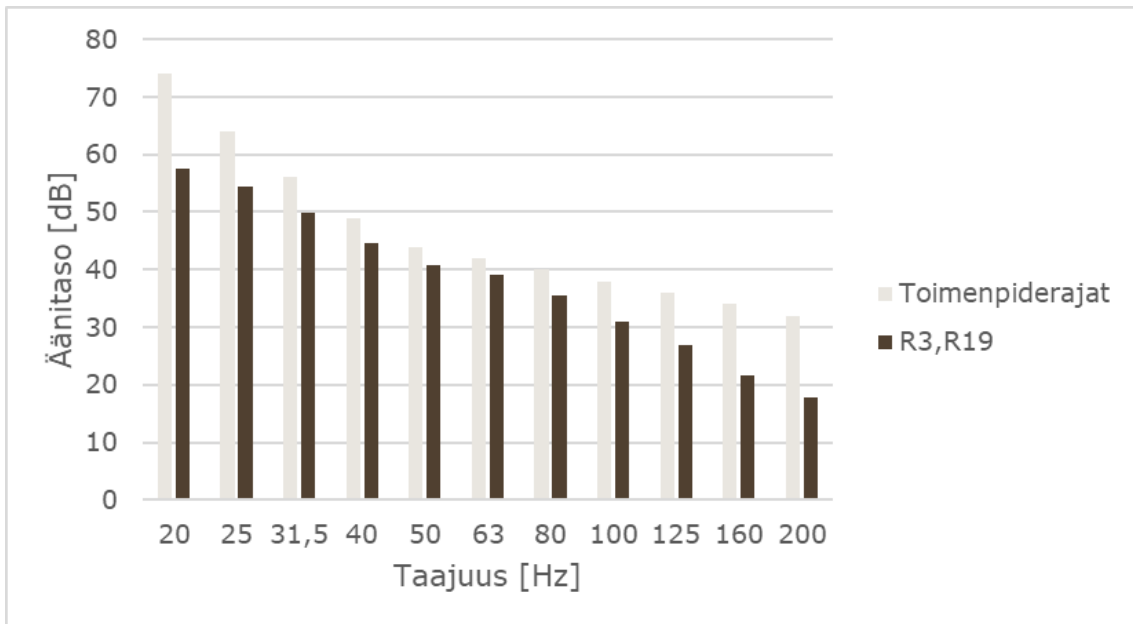
Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti 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 pienitaajuisia 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 pienitaajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat pienitaajuisten melun tasot kohdistuvat vertailurakennuksiin R3 ja R19, joiden kohdilla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



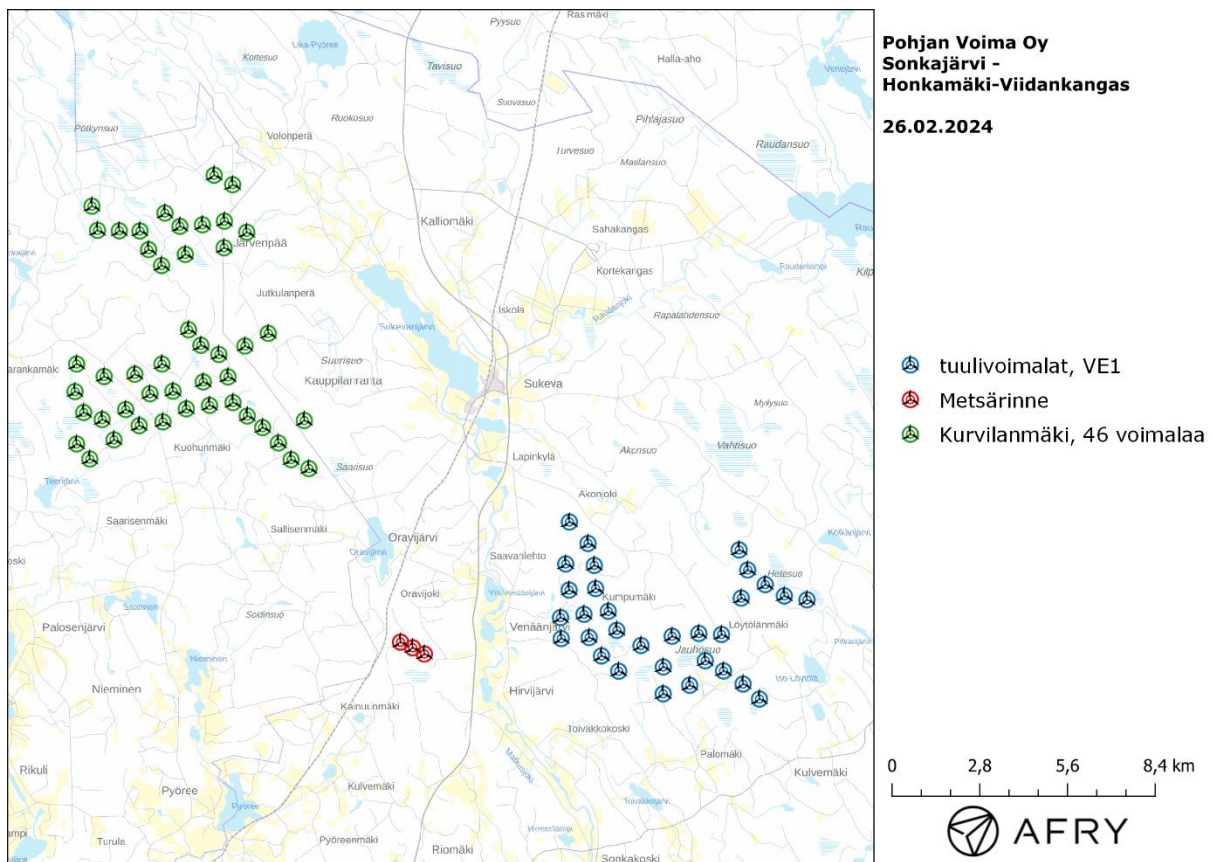
Kuva 5: Pienitaajuisten sisämelun tasot reseptorien R3 ja R19 kohdilla.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	61,5	59,1	55,4	51,4	48,7	48,5	46,6	R1	61,5	59,1	55,4
R2	61,7	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	R2	61,7	59,2	55,6
R3	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	R3	64,9	62,5	58,9
R4	64,7	62,3	58,7	54,7	52,0	51,8	49,9	R4	64,7	62,3	58,7
R5	62,9	60,4	56,8	52,8	50,2	49,9	48,0	R5	62,9	60,4	56,8
R6	64,3	61,9	58,3	54,3	51,6	51,4	49,5	R6	64,3	61,9	58,3
R7	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	R7	63,7	61,3	57,7
R8	60,0	57,6	53,9	49,9	47,2	46,9	45,0	R8	60,0	57,6	53,9
R9	60,3	57,8	54,2	50,1	47,5	47,2	45,2	R9	60,3	57,8	54,2
R10	62,9	60,5	56,9	52,8	50,2	49,9	48,0	R10	62,9	60,5	56,9
R11	60,8	58,4	54,8	50,7	48,0	47,7	45,8	R11	60,8	58,4	54,8
R12	61,2	58,8	55,1	51,1	48,4	48,1	46,2	R12	61,2	58,8	55,1
R13	61,2	58,7	55,1	51,0	48,4	48,1	46,2	R13	61,2	58,7	55,1
R14	61,8	59,4	55,8	51,7	49,1	48,8	46,9	R14	61,8	59,4	55,8
R15	62,1	59,6	56,0	52,0	49,3	49,0	47,2	R15	62,1	59,6	56,0
R16	62,0	59,6	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	R16	62,0	59,6	55,9
R17	62,0	59,5	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	R17	62,0	59,5	55,9
R18	61,5	59,1	55,5	51,4	48,8	48,5	46,6	R18	61,5	59,1	55,5
R19	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	R19	64,9	62,5	58,9
R20	59,2	56,8	53,1	49,1	46,4	46,1	44,1	R20	59,2	56,8	53,1
R21	58,8	56,3	52,7	48,6	46,0	45,6	43,7	R21	58,8	56,3	52,7
R22	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	R22	61,6	59,2	55,6
R23	60,5	58,1	54,4	50,4	47,7	47,4	45,5	R23	60,5	58,1	54,4
R24	63,6	61,2	57,6	53,5	50,9	50,7	48,8	R24	63,6	61,2	57,6
R25	62,1	59,6	56,0	51,9	49,3	49,0	47,2	R25	62,1	59,6	56,0
R26	62,2	59,7	56,1	52,1	49,4	49,2	47,3	R26	62,2	59,7	56,1
R27	63,0	60,5	56,9	52,9	50,2	50,0	48,1	R27	63,0	60,5	56,9

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulipuistojen yhteisvaikutuksia. Metsärinteen kohteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään noin 4,5 km etäisyydellä Honkamäki-Viidankankaan voimaloista. Kurvilanmäen osalta tarkastellaan 46 voimalan suunnitelmavaihtoehtoa, jonka minimietäisyys Honkamäki-Viidankankaasta on noin 8,5 km (Kuva 6). Naapurikohteiden voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).



Kuva 6: Melumallinnuksessa huomioitujen naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.

Taulukko 8: Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimalaoiden sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

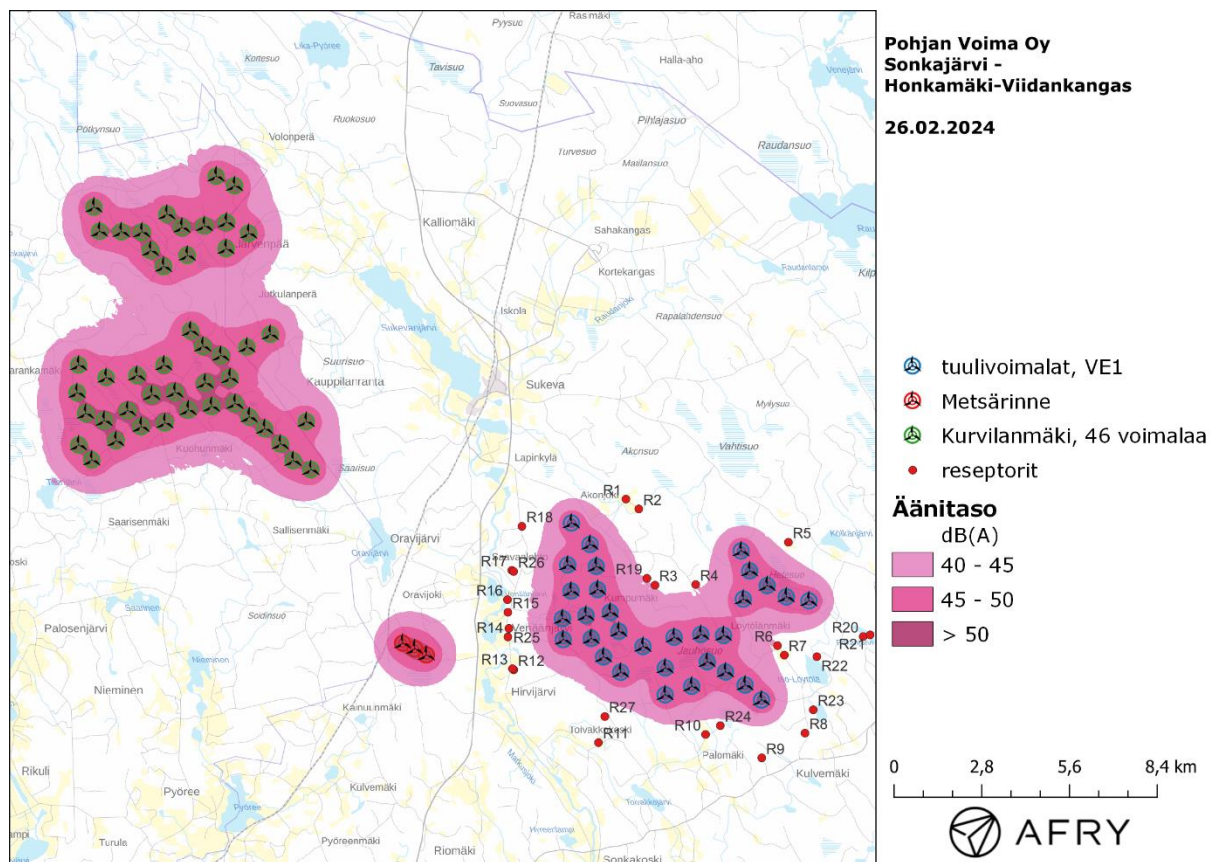
Voimala	E	N	Maaston korkeus	Voimala	E	N	Maaston korkeus
Metsärinne				K22	512442,3	7083755,2	206,3
M1	519002	7074202	161,8	K23	513276,1	7084024,6	195,8
M2	518627	7074400	182,5	K24	514019,3	7084428,1	180,8
M3	518242	7074580	183,7	K25	507851,6	7082570,8	168,1
Kurvilanmäki				K26	508127,9	7081904,4	160,0
K1	508391,3	7088485,8	192,5	K27	508718,3	7081678,6	164,2
K2	508570,1	7087713,7	192,0	K28	509469,3	7081998,6	174,7
K3	509266,1	7087700,1	200,4	K29	510243,7	7082502,6	181,0
K4	509923,0	7087693,6	198,3	K30	510978,5	7082583,3	177,8
K5	510722,0	7088265,7	188,4	K31	511944,6	7082880,0	186,3
K6	511199,2	7087841,6	174,5	K32	512734,4	7083039,6	202,6
K7	511917,7	7087891,2	173,0	K33	507902,8	7080900,0	162,6
K8	512291,9	7089473,9	174,4	K34	508323,3	7080420,0	159,3
K9	512882,2	7089170,4	167,1	K35	509094,9	7081031,6	165,7
K10	510200,4	7087100,2	194,0	K36	509899,0	7081484,7	170,6
K11	510613,8	7086590,5	184,6	K37	510657,8	7081606,4	177,2
K12	511372,6	7086947,3	170,8	K38	511403,1	7082019,9	173,5
K13	512618,9	7088006,7	167,0	K39	512144,6	7082131,8	194,2
K14	513331,5	7087653,2	171,6	K40	512895,0	7082220,8	206,1
K15	512609,0	7087159,1	157,9	K41	513349,3	7081792,3	202,7
K16	507903,5	7083449,5	179,5	K42	513839,3	7081422,7	191,0
K17	508781,3	7083050,5	181,4	K43	514343,1	7080931,8	182,2
K18	509761,0	7083124,1	209,7	K44	514748,7	7080400,2	175,6
K19	510626,0	7083449,7	185,4	K45	515317,2	7080114,9	167,1
K20	511474,1	7084544,4	197,7	K46	515169,3	7081648,4	154,9
K21	511868,4	7084047,8	206,4				

Melumallinnuksissa Metsärinteen ja Kurvilanmäen voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V172 7.2 MW PO7200 melutietoja ja napakorkeuksia 164 m (Metsärinne) ja 199 m (Kurvilanmäki). Tämän turbiinityypin äänitehotaso on 106,9 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, joten mallinnuksissa on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

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

Melun yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 7) ja keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset eivät johda ohjearvojen ylityksiin reseptoripisteissä.

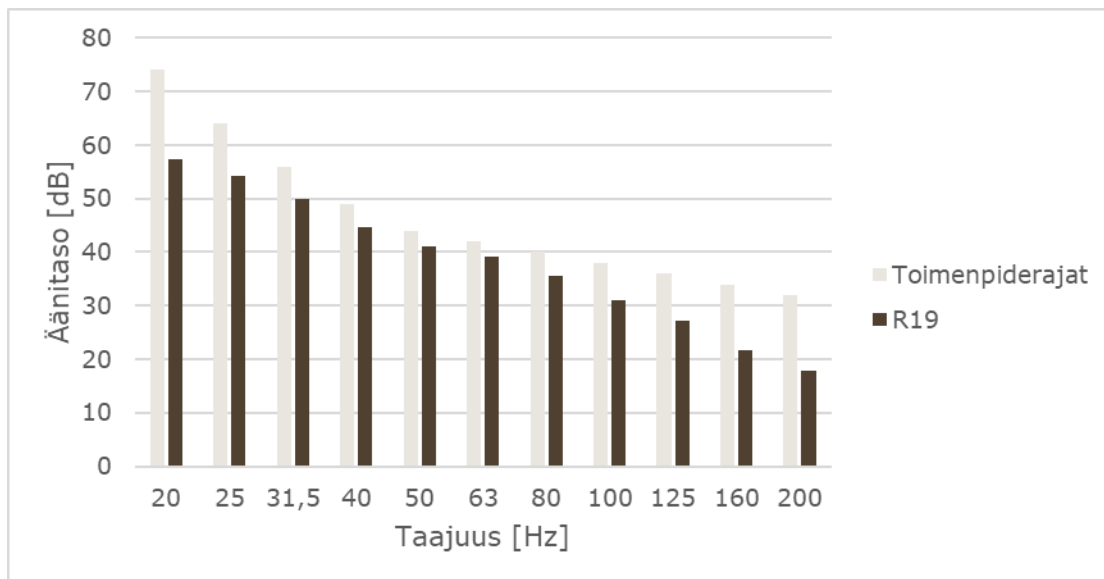
Yhteisvaikutusten pienitaajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R19 kohdalla, jonka kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu asumisterveysasetuksen arvoihin kuvassa (Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 7: Keskiäänitasot LAeq, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,6	R14	37,1
R2	35,4	R15	37,1
R3	39,9	R16	37,3
R4	39,8	R17	36,8
R5	38,2	R18	36,1
R6	39,7	R19	39,9
R7	38,8	R20	30,7
R8	33,8	R21	31,0
R9	33,9	R22	36,0
R10	37,6	R23	34,3
R11	33,5	R24	38,9
R12	35,9	R25	36,6
R13	36,0	R26	37,1
		R27	37,6



Kuva 8: Pienitaajuisen sisämelun tasot reseptorin R19 kohdalla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Taulukko 10: Pienitaajuisten ulkomelun tason reseptoreiden kohdilla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	61,5	59,1	55,4	51,4	48,7	48,5	46,6	43,9	41,9	38,5	36,3
R2	61,7	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,0	42,0	38,6	36,4
R3	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	47,5	45,6	42,4	40,4
R4	64,7	62,3	58,7	54,7	52,0	51,8	49,9	47,4	45,5	42,3	40,3
R5	62,9	60,4	56,8	52,8	50,2	49,9	48,0	45,5	43,6	40,4	38,4
R6	64,3	61,9	58,3	54,3	51,6	51,4	49,5	47,0	45,1	41,9	40,0
R7	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	46,3	44,5	41,2	39,2
R8	60,0	57,6	53,9	49,9	47,2	46,9	45,0	42,3	40,2	36,8	34,5
R9	60,3	57,8	54,2	50,1	47,5	47,2	45,2	42,5	40,5	37,0	34,8
R10	62,9	60,5	56,9	52,8	50,2	49,9	48,0	45,4	43,5	40,2	38,2
R11	60,8	58,4	54,8	50,7	48,0	47,7	45,8	43,1	41,1	37,6	35,3
R12	61,2	58,8	55,1	51,1	48,4	48,1	46,2	43,6	41,6	38,2	35,9
R13	61,2	58,7	55,1	51,0	48,4	48,1	46,2	43,5	41,5	38,1	35,9
R14	61,8	59,4	55,8	51,7	49,1	48,8	46,9	44,2	42,3	39,0	36,8
R15	62,1	59,6	56,0	52,0	49,3	49,0	47,2	44,5	42,6	39,3	37,1
R16	62,0	59,6	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	44,4	42,5	39,2	37,0
R17	62,0	59,5	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	44,4	42,5	39,2	37,1
R18	61,5	59,1	55,5	51,4	48,8	48,5	46,6	44,0	42,0	38,7	36,6
R19	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	47,5	45,7	42,4	40,4
R20	59,2	56,8	53,1	49,1	46,4	46,1	44,1	41,4	39,3	35,8	33,4
R21	58,8	56,3	52,7	48,6	46,0	45,6	43,7	40,9	38,8	35,2	32,7
R22	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,1	42,1	38,7	36,6
R23	60,5	58,1	54,4	50,4	47,7	47,4	45,5	42,8	40,8	37,4	35,1
R24	63,6	61,2	57,6	53,5	50,9	50,7	48,8	46,2	44,4	41,1	39,1
R25	62,1	59,6	56,0	51,9	49,3	49,0	47,2	44,5	42,6	39,3	37,1
R26	62,2	59,7	56,1	52,1	49,4	49,2	47,3	44,7	42,7	39,4	37,3
R27	63,0	60,5	56,9	52,9	50,2	50,0	48,1	45,5	43,5	40,3	38,2

4 Liikennemelun ja tuulivoimamelun yhteisvaikutukset

Honkamäki-Viidankankaan melumallinnusten lisäksi arvioitiin kohdealueen läheltä kulkevien teiden (VT5, Hirvijärventie, Tetricoskentie) tieliikennemelun sekä tuulivoimamelun yhteisvaikutuksia. Mallilaskennoissa otettiin huomioon myös VT5:n länsipuolelle suunnitellun Metsärin kolmen voimalan tuulipuisto. Etäämmälle sijoittuva Kurvilanmäen tuulipuisto jätettiin huomioimatta mallinnoissa, koska sen vaikutus valtatie 5:n lähellä sijaitseviin asuntoihin arvioitiin vähäiseksi.

Koska tuulivoima- ja tieliikennemelun laskennat eroavat mallinnusteknisesti toisistaan varsin merkittävästi (mm. ohje, laskenta-algoritmi, korkeus, jne.), on laskentaperusteiden yksityiskohtia koottu alla olevaan taulukkoon (Taulukko 11). Huolimatta eroista, mallinnuksen toteuttaminen oli ohjelmallisesti mahdollista, mutta yhteistulosten vertailu ohjearvoihin ei ole mahdollista niiden erilaisuuden vuoksi. Tieliikennemelussa asutukselle käytetään ympäristömelun ohjearvoja eli LAeq 55 dB päivällä ja 50 dB yöllä. Tuulivoimamelulle on oman asetuksen mukaan asetettu LAeq 45 dB päivällä ja 40 dB yöllä asuinrakennuksille.

Honkamäki-Viidankankaan osalta laskennassa käytettiin kohteen aiempaa 32 voimalan toteutusvaihtoehtoa, mutta muuten laskennan lähtötiedot ovat samat kuin luvussa 3. Yhteisvaikutusten mallinnoissa tuulivoimaloiden meluvaikutus on siis suurempi kuin viimeisimmässä toteutussuunnitelmassa, joten mallinnustulokset antavat turvallisen arvion yhteisvaikutuksille.

Tieliikennetietojen osalta lähtötietona käytettiin Väyläviraston tietokannan aineistoja (karttapalvelu <https://suomenvaylat.vayla.fi/>). Tieliikennemelulaskennan lähtötiedot huomioiduille tieosuuksille on koottu taulukkoon (Taulukko 12). Tieliikennemäärän jako on tehty kansallisen melumallinnusohjeen YM 20/2007 mukaan siten että päiväajan klo 07-22 (15h) sisällä kulkee 90 % kokonaisliikennemäärästä ja yöaikana klo 22-07 (9h) 10 %.

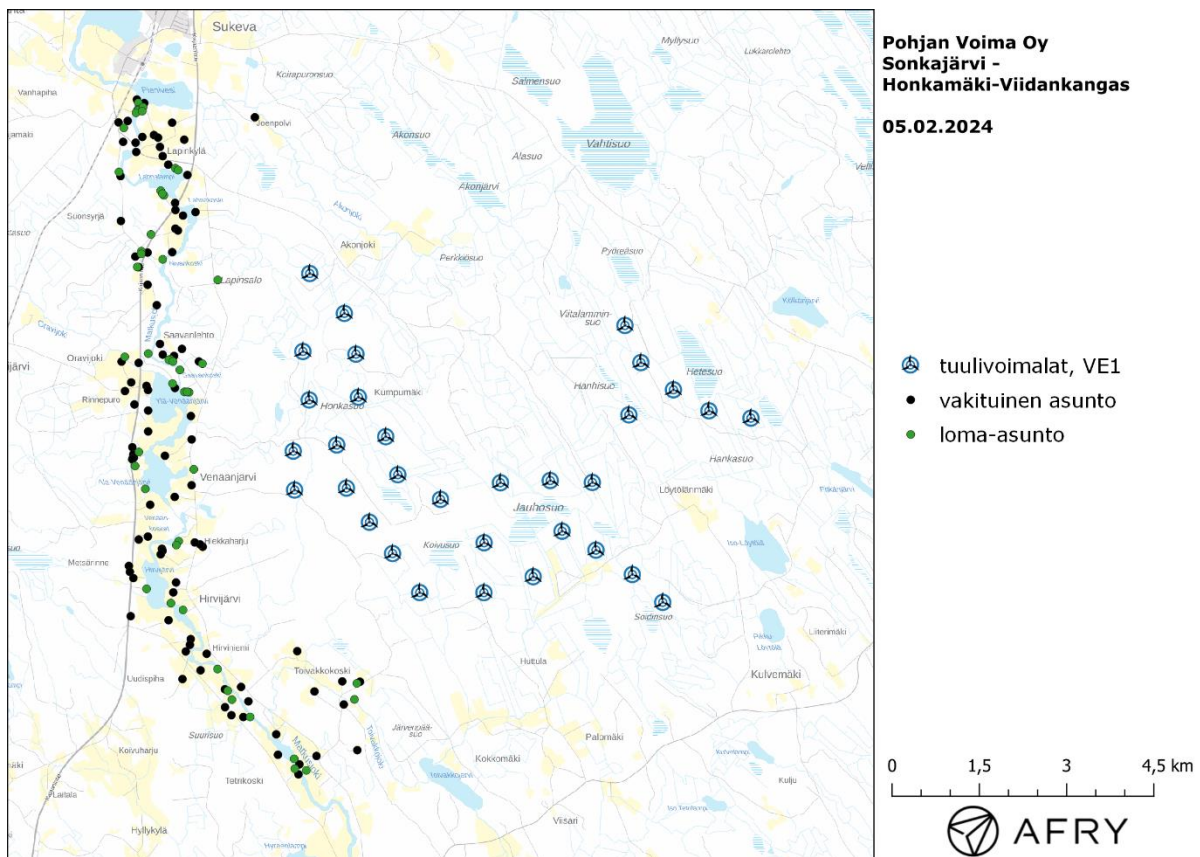
Taulukko 11: Yhteenvedo tuulivoima- ja liikennemelun mallinnusten toteutuksesta.

Asia	Tuulivoimamelu	Tieliikennemelu
Kansallinen laskentaohje	YM OH 2/2014	YM 20/2007 [5]
Algoritmi	ISO 9613-2	Pohjoismainen tieliikennemalli
Maavaimennus	vesialueet 0, maa-alueet 0,4	vesialueet 0, maa-alueet 1
Laskentakorkeus	4 m	2 m
Laskentaverkon tiheys	20 m x 20 m	
Taajuuskaistat	kyllä, 1/3 oktaavit	ei
Laskentaohjelmisto	Soundplan 8.2	

Taulukko 12: Tieliikennemelulaskennan lähtötiedot

Lähtötieto	Kajaanintie, VT5	Hirvijärventie	Tetrikoskentie
Tienumero	VT5	16295	16288
Liikennemäärä, 2021 (ajoneuvoa/vuorokausi)	2794	78	88
Liikennemäärä, raskaat ajoneuvot	312	8	8
Nopeus, km/h	100	80	80
Päivä- ja yöajan osuudet liikennemäärästä	90 % / 10 %	90 % / 10 %	90 % / 10 %

Laskentaan valittiin maastotietokannan asunnoista yhteensä 142 reseptoripistettä, jotka sijaitsevat etenkin laskettujen tieosuuksien ja suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston välissä (Kuva 9). Asuinrakennuksia on näistä 94 reseptoripistettä ja loma-asuinrakennuksia 48. Mallinnuksessa laskettiin yhteismelutilanteet melukartalle (Kuva 10) sekä valittuihin lähimpiin reseptoripisteisiin tieosuuksien ja suunnitellun tuulivoimapuiston välissä.



Kuva 9: Tuulivoima- ja liikennemelun yhteisvaikutusten arvioinnissa käytetyt reseptoripisteet.

Pelkästään tieliikennemelun osalta päiväajan korkein tulos keskiäänitasolla LAeq,klo 07-22 on 66 dB ja yöaikana LAeq,klo 22-07 on 59 dB. Valtioneuvoston VNp 993/1992 tieliikennemelun ohjearvo ylittyy tuntuvasti päivä- ja yöaikana teitä lähimpien (asuin)rakennusten kohdalla.

Yhteismelutilanne kasvattaa keskiäänitasoa LAeq joidenkin reseptoripisteiden kohdalla, mutta kaikissa näissä pisteissä tieliikennemelun osuus on varsin alhainen ja yleisesti noin 30-35 dB:n tasolla. Tieliikennemelun ja yhteismelun arvioidut tasot valikoitujen luvussa 3 määriteltyjen reseptoripisteiden kohdilla on lueteltuna taulukkoon (Taulukko 13), josta myös ilmenee, että tuulivoimamelun vaikutus on suurin pisteessä, jossa tieliikennemelu on alhainen. Tuulivoimaloiden aiheuttama keskimääräinen melutason nousu 142 reseptoripisteen kohdilla on koottuna taulukkoon (Taulukko 14).

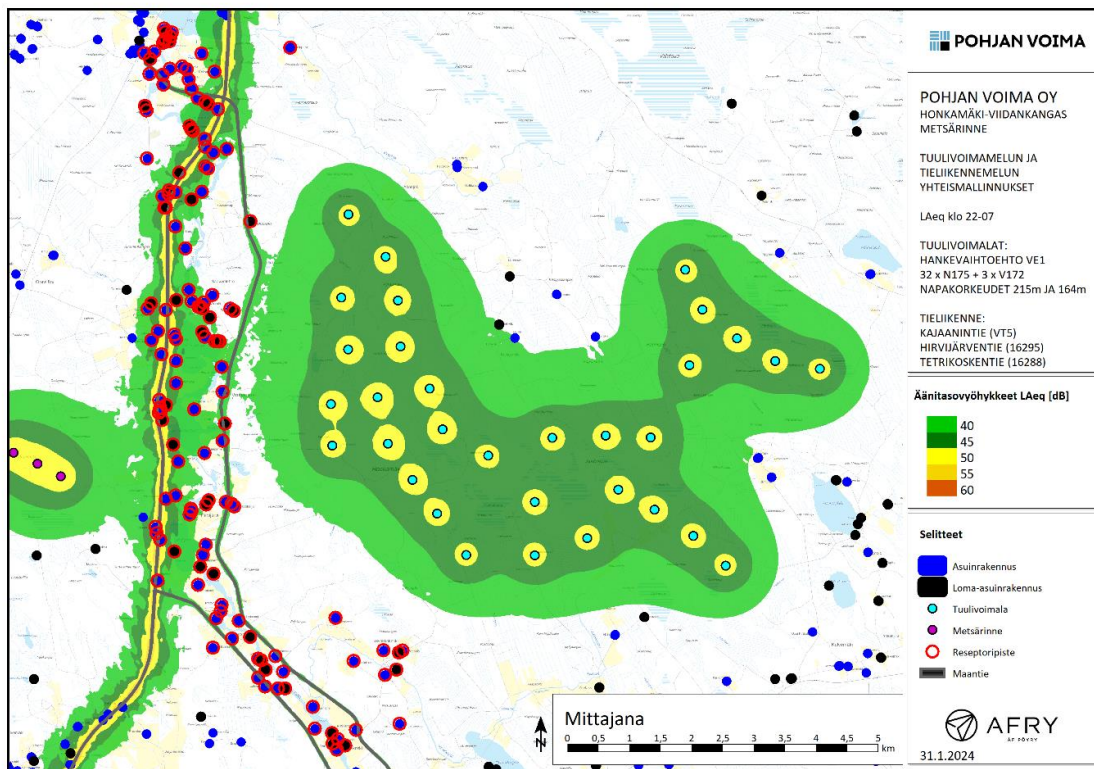
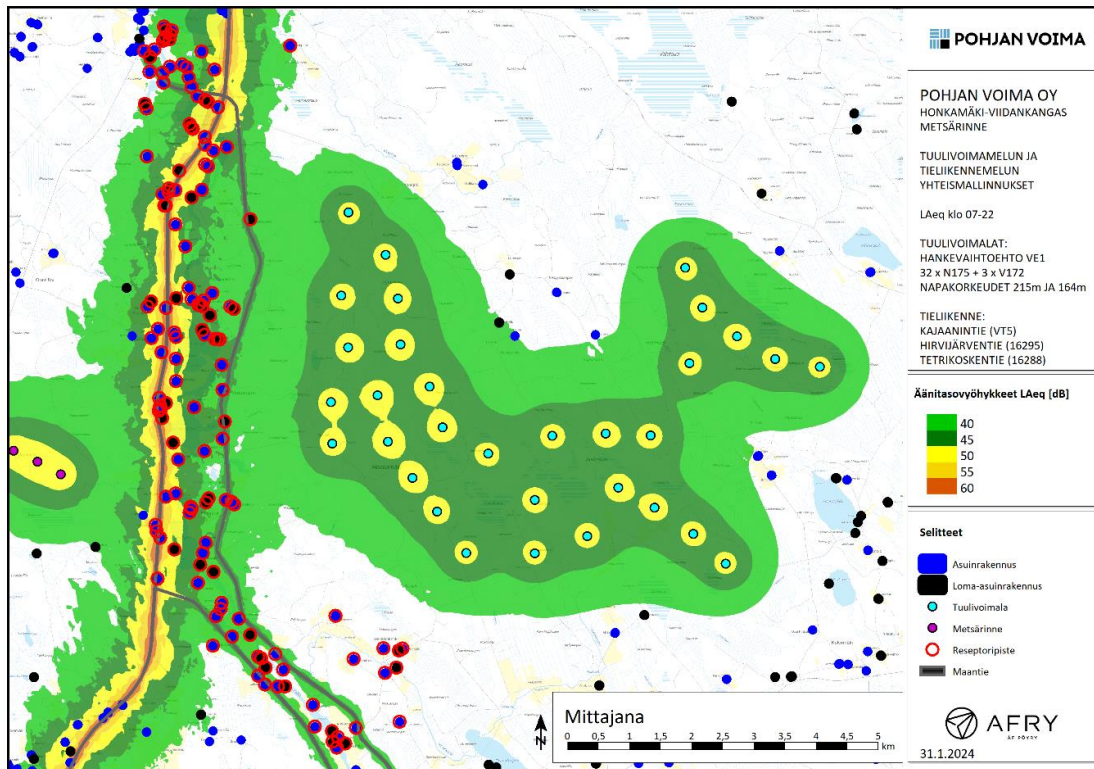
Tulosten perusteella teoreettisen keskiäänitason LAeq kasvu liikennemelun nykytilasta on suurempaa yöaikana, sillä päiväaikana tieliikennemelun merkitys (ja taso) on suurempi. Lisäksi melutason kasvu kohdistuu etenkin tuulivoimapuistoa lähinnä oleviin kohteisiin, joissa tieliikennemelun osuus jäi vähäiseksi. Vastaavasti VT5 lähellä laskennallisen melutason kasvu tuulivoimapuiston seurauksena on laskennallisesti alle 1 dB.

Taulukko 13: Mallinnetut tieliikennemelun ja yhteismelun keskiäänitasot valikoiduissa reseptoripisteissä (dB).

Reseptori	tieliikennemelu (päivä)	tieliikennemelu (yö)	Honkamäki-Viidankangas + tieliikennemelu (päivä)	Honkamäki-Viidankangas + tieliikennemelu (yö)
R11	32,1	24,8	36,6	35,1
R12	43,0	35,7	43,6	38,4
R13	44,2	37,1	44,7	39,2
R14	46,0	38,8	46,4	40,5
R15	47,0	39,8	47,3	41,3
R16	45,8	38,5	46,3	40,5
R17	41,5	34,3	42,6	38,4
R18	47,9	40,6	48,1	41,7
R25	45,7	38,5	46,1	40,3
R26	41,1	33,8	42,4	38,4

Taulukko 14: Keskiäänitason LAeq teoreettinen kasvu, kun alueelle lisätään Honkamäki-Viidankankaan sekä Metsärinteen tuulivoimapuistot

Keskiäänitason aikajakso	Honkamäki-Viidankangas + tieliikennemelu	Honkamäki-Viidankangas + Metsärinne + tieliikennemelu
LAeq, klo 7-22	0,4 dB	0,5 dB
LAeq, klo 22-7	1,3 dB	1,5 dB



Kuva 10: Tuulivoimaloiden ja liikenteen aiheuttamat keskiäänitasot päiväaikaan (ylhällä) ja yöaikaan (alhaalla).

5 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 31 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1 käyttäen turbiinityypin N175 6,5 MW (mode 1) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 215 m. Selvityksessä on arvioitu myös melun yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimapuistojen kanssa.

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

Honkamäki-Viidankankaan melumallinnusten lisäksi arvioitiin kohdealueen läheltä kulkevien teiden (VT5, Hirvijärventie, Tetricoskentie) tieliikennemelun sekä tuulivoimamelun yhteisvaikutuksia. Tulosten perusteella teoreettisen keskiäänitason LAeq kasvu liikennemelun nykytilasta on suurempaa yöaikana, sillä päiväaikana tieliikennemelun merkitys (ja taso) on suurempi. Lisäksi melutason kasvu kohdistuu etenkin tuulivoimapuistoa lähinnä oleviin kohteisiin, joissa tieliikennemelun osuus on suhteellisen vähäinen. Valtatien lähellä laskennallisen melutason kasvu tuulivoimapuiston seurauksena on laskennallisesti alle 1 dB. Tuulivoima- ja liikennemelun yhteisvaikutus Honkamäki-Viidankankaan alueella ei ole merkittävä.

6 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] Melutta -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.
- [6] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [7] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [8] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [9] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [10] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [13] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [14] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [15] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [16] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

7 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT					
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021203-011		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 14.3.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy					
Vastuhenkilöt: Erkki Heikkola					
Laatija: Erkki Heikkola		Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT					
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto		Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT					
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex		Tyyppi: N175 6,5 MW (mode 1, with serrated trailing edges)	Sarjanumero/t:		
Nimellisteho: 6,5 MW	Napakorkeus: 215 m	Roottorin halkaisija: 175 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

Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos						Vaakaresoluutio: 2 m			Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan 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	61,5	59,1	55,4	51,4	48,7	48,5	46,6	43,9	41,9	38,5	36,3
R2	61,7	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,0	42,0	38,6	36,4
R3	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	47,5	45,6	42,4	40,4
R4	64,7	62,3	58,7	54,7	52,0	51,8	49,9	47,4	45,5	42,3	40,3
R5	62,9	60,4	56,8	52,8	50,2	49,9	48,0	45,5	43,6	40,4	38,4
R6	64,3	61,9	58,3	54,3	51,6	51,4	49,5	47,0	45,1	41,9	40,0
R7	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	46,3	44,5	41,2	39,2
R8	60,0	57,6	53,9	49,9	47,2	46,9	45,0	42,3	40,2	36,8	34,5
R9	60,3	57,8	54,2	50,1	47,5	47,2	45,2	42,5	40,5	37,0	34,8
R10	62,9	60,5	56,9	52,8	50,2	49,9	48,0	45,4	43,5	40,2	38,2
R11	60,8	58,4	54,8	50,7	48,0	47,7	45,8	43,1	41,1	37,6	35,3
R12	61,2	58,8	55,1	51,1	48,4	48,1	46,2	43,6	41,6	38,2	35,9
R13	61,2	58,7	55,1	51,0	48,4	48,1	46,2	43,5	41,5	38,1	35,9
R14	61,8	59,4	55,8	51,7	49,1	48,8	46,9	44,2	42,3	39,0	36,8
R15	62,1	59,6	56,0	52,0	49,3	49,0	47,2	44,5	42,6	39,3	37,1
R16	62,0	59,6	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	44,4	42,5	39,2	37,0

R17	62,0	59,5	55,9	51,9	49,2	49,0	47,1	44,4	42,5	39,2	37,1
R18	61,5	59,1	55,5	51,4	48,8	48,5	46,6	44,0	42,0	38,7	36,6
R19	64,9	62,5	58,9	54,8	52,2	52,0	50,1	47,5	45,7	42,4	40,4
R20	59,2	56,8	53,1	49,1	46,4	46,1	44,1	41,4	39,3	35,8	33,4
R21	58,8	56,3	52,7	48,6	46,0	45,6	43,7	40,9	38,8	35,2	32,7
R22	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,1	42,1	38,7	36,6
R23	60,5	58,1	54,4	50,4	47,7	47,4	45,5	42,8	40,8	37,4	35,1
R24	63,6	61,2	57,6	53,5	50,9	50,7	48,8	46,2	44,4	41,1	39,1
R25	62,1	59,6	56,0	51,9	49,3	49,0	47,2	44,5	42,6	39,3	37,1
R26	62,2	59,7	56,1	52,1	49,4	49,2	47,3	44,7	42,7	39,4	37,3
R27	63,0	60,5	56,9	52,9	50,2	50,0	48,1	45,5	43,5	40,3	38,2



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston meluselvitys, VE2

101021203-011, 14.3.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Erkki Heikkola

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
14/03/2024

Projektinumero
101021203-011

Raportin tila
VALMIS

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston meluselvitys, VE2

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	07.02.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	07.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	14.03.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja uusi reseptoripiste

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

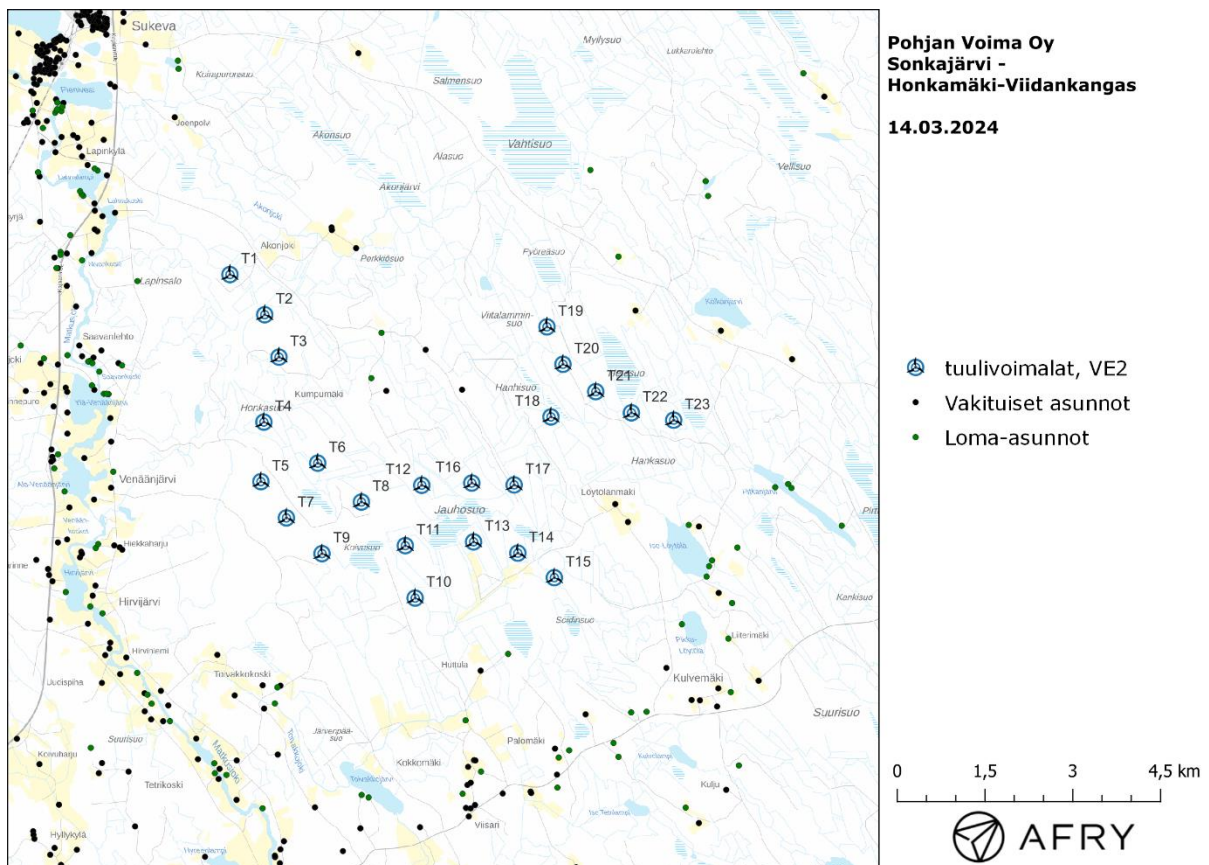
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Pienitaajuisen melun mallinnus.....	14
3.3	Melun yhteisvaikutukset	17
4	Yhteenveto	22
5	Viitteet	23
6	Melumallinnuksen tiedot.....	24

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sonkajärven alueelle suunnittelun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 23 voimalan sijoitus suunnitelmalle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 215 m ja turbiinityypin N175 6.5 MW (mode 1, with serrated trailing edges) taajuusjakamaa äänitehotasolla 108,5 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,5 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 lisäksi Honkamäki-Viidankankaan melun yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuulivoimakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkamäki-Viidankankaan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (23 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523629,6	7078412,0	141,1
T2	524224,1	7077727,3	149,1
T3	524467,8	7077004,1	173,1
T4	524209,8	7075896,5	140,9
T5	524158,8	7074880,3	172,1
T6	525129,5	7075195,7	158,8
T7	524594,4	7074261,9	168,0
T8	525876,2	7074532,7	172,7
T9	525203,0	7073653,0	152,8
T10	526794,0	7072894,5	139,3
T11	526626,1	7073788,5	149,2
T12	526906,9	7074818,7	147,1
T13	527792,4	7073853,3	137,7
T14	528548,6	7073661,1	138,6
T15	529172,6	7073242,9	138,4
T16	527762,3	7074856,6	146,1
T17	528485,9	7074824,4	147,5
T18	529114,6	7075984,2	145,8
T19	529046,6	7077520,2	146,0
T20	529320,0	7076882,2	145,9
T21	529879,7	7076415,5	145,2
T22	530489,6	7076054,5	147,8
T23	531211,7	7075928,7	148,2

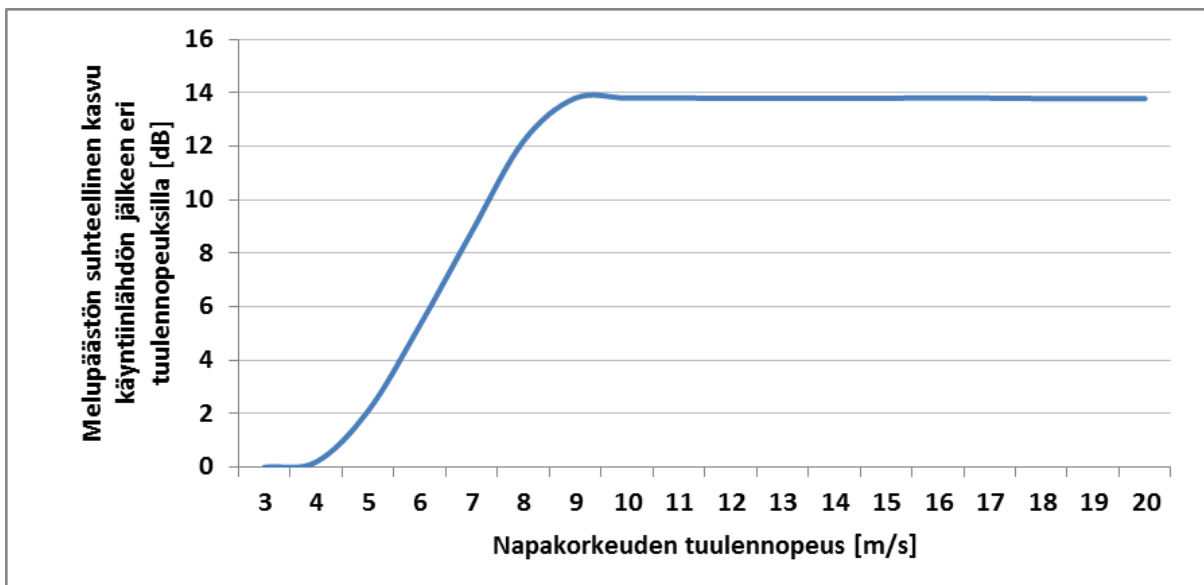
2 Tuulivoimaloiden melu

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 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 kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].

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

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan 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 keskitajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuulivoimaloiden melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pienitaajuisen 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. Pienitaajuisen 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 pienitaajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat pienitaajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

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

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

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

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä pienitaajuisten sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 6) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä pienitaajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos pienitaajuisten 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 turbiinityypin N175 6.5 MW (mode 1, with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

- Third octave sound power levels, Nordex N175/6.X. Document no. 9003492, Rev. 03, 2023-10-18.

Dokumenttia varten turbiinityypin N175 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat aerodynaamisella mallilla laskettuihin arvioihin. 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 N175 6.5 MW (mode 1) ilmoitettu äänitehotaso on 106,5 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,5 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella 215 m. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

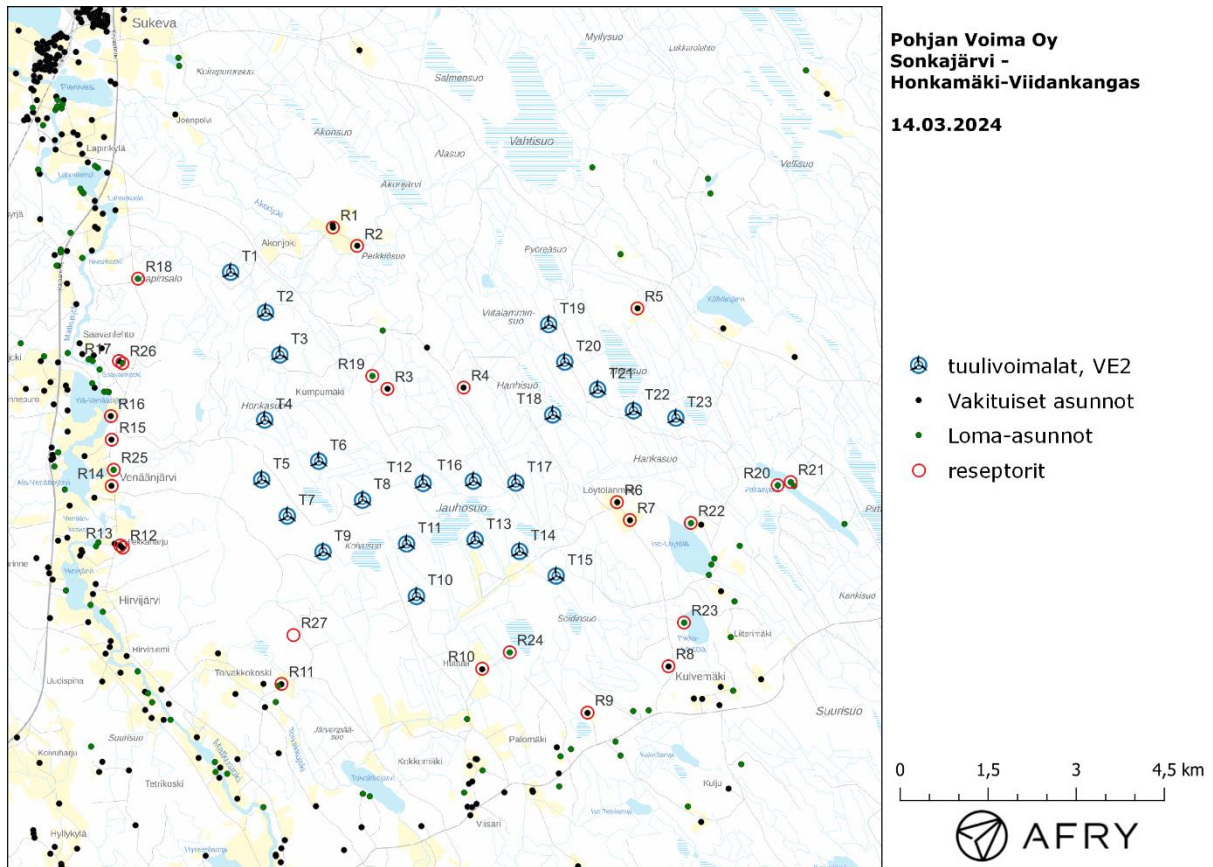
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Voimalavalmistajan dokumentissa 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 laskentahilaan, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorptioon 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 27 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja pienitaajuuden melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttaphojalla (Kuva 3). Rakennusten sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	525373	7079169	139,9	vakituinen asuinrakennus
R2	525784	7078856	137,1	vakituinen asuinrakennus
R3	526301	7076424	185,8	vakituinen asuinrakennus
R4	527600	7076445	176,2	vakituinen asuinrakennus
R5	530558	7077793	181,8	vakituinen asuinrakennus
R6	530210	7074496	191,0	vakituinen asuinrakennus
R7	530429	7074192	185,5	vakituinen asuinrakennus
R8	531087	7071704	183,1	vakituinen asuinrakennus
R9	529709	7070915	166,8	vakituinen asuinrakennus
R10	527915	7071662	133,4	vakituinen asuinrakennus
R11	524497	7071403	120,5	vakituinen asuinrakennus
R12	521794	7073723	127,0	vakituinen asuinrakennus
R13	521751	7073759	128,0	vakituinen asuinrakennus
R14	521606	7074774	117,7	vakituinen asuinrakennus
R15	521606	7075559	119,5	vakituinen asuinrakennus
R16	521593	7075961	120,4	vakituinen asuinrakennus
R17	521729	7076898	123,7	vakituinen asuinrakennus
R18	522054	7078299	140,3	lomarakennus
R19	526043	7076643	186,9	lomarakennus
R20	532946	7074785	156,6	lomarakennus
R21	533168	7074839	148,4	lomarakennus
R22	531467	7074143	175,5	lomarakennus
R23	531351	7072448	165,8	lomarakennus
R24	528385	7071942	135,1	lomarakennus
R25	521640	7075046	122,1	lomarakennus
R26	521789	7076860	125,6	lomarakennus
R27	524701	7072234	172,2	vakituinen asuinrakennus



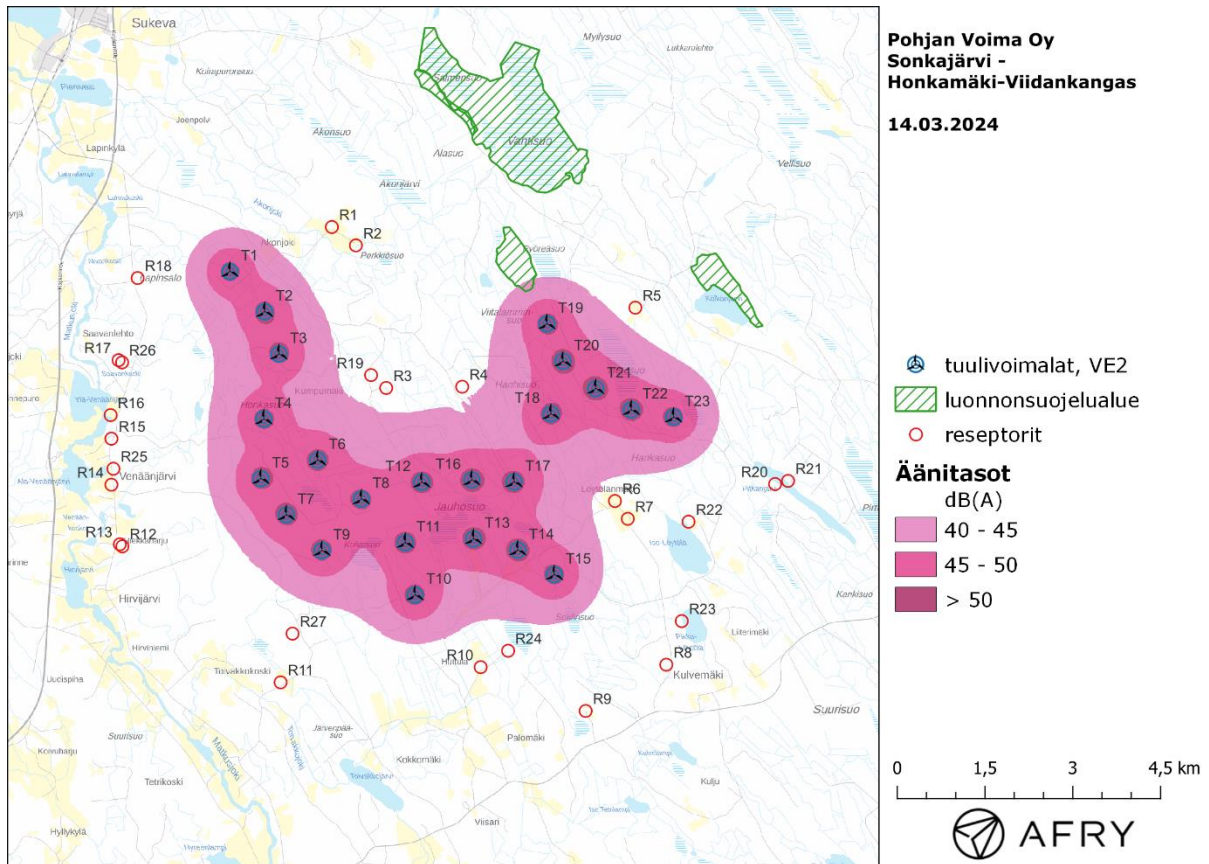
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa, jos niillä on merkittävää virkistyskäyttöä. Kohteen lähellä sijaitsevilla luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	34,4	R14	31,2
R2	34,1	R15	31,1
R3	38,7	R16	31,9
R4	39,4	R17	32,4
R5	38,1	R18	33,7
R6	39,0	R19	38,4
R7	37,9	R20	30,4
R8	31,1	R21	30,8
R9	31,6	R22	35,1
R10	36,1	R23	31,8
R11	32,0	R24	37,2
R12	31,2	R25	30,3
R13	31,2	R26	32,7
		R27	36,4

3.2 Pienitaajuisen melun mallinnus

Pienitaajuisen 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. Pienitaajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

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

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen pienitaajuisen 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.

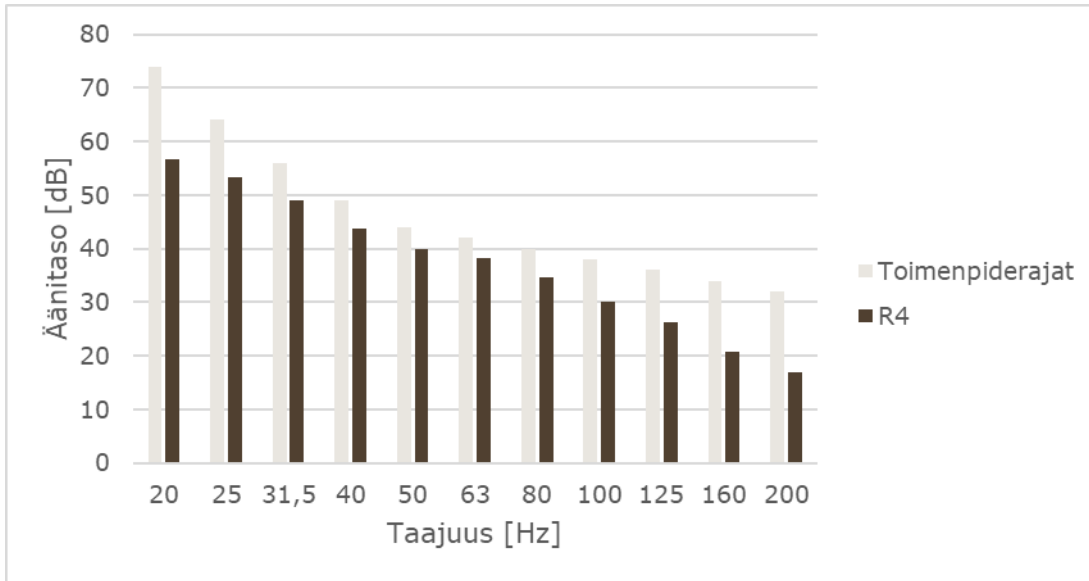
Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti 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 pienitaajuisia 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 pienitaajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat pienitaajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R4, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



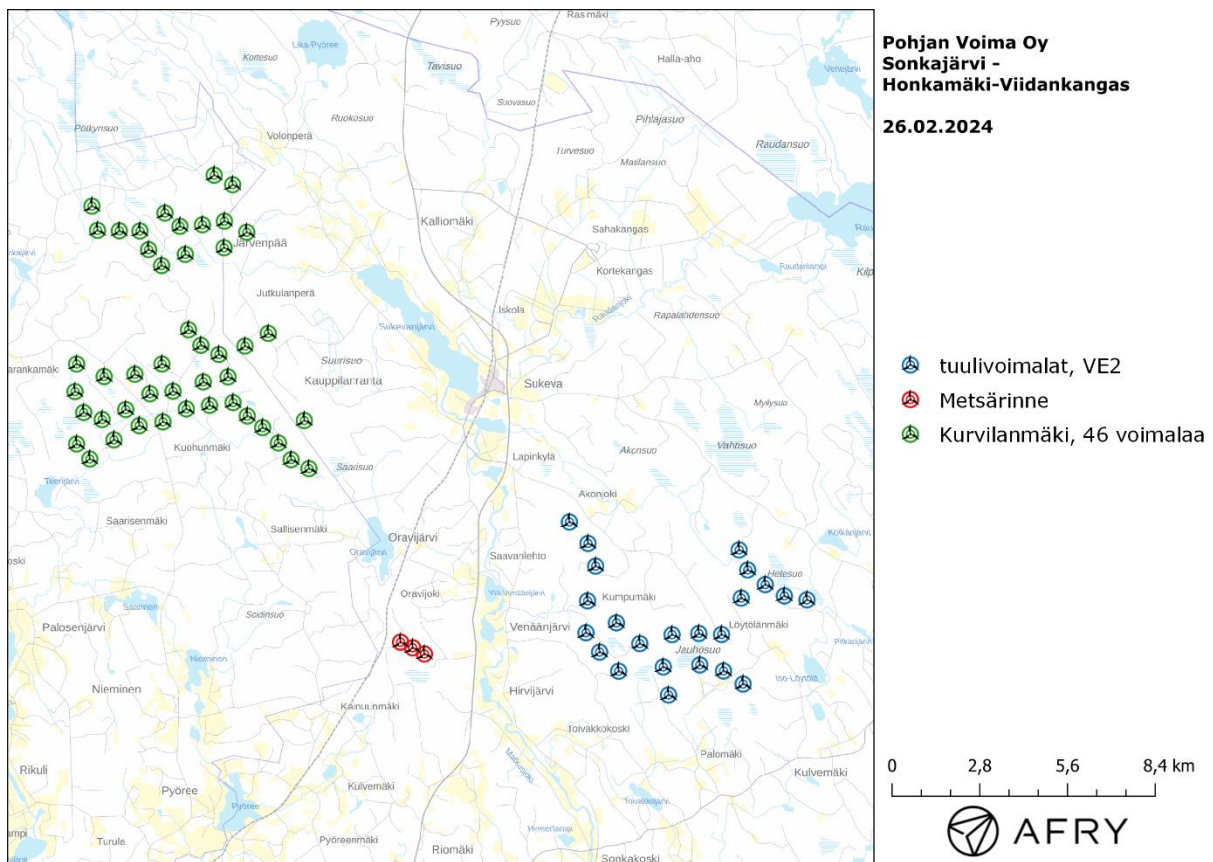
Kuva 5: Pienitaajuisen sisämelun tasot reseptorien R4 kohdalla.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	60,3	57,9	54,2	50,2	47,5	47,2	45,3	42,7	40,7	37,3	35,2
R2	60,5	58,0	54,4	50,3	47,7	47,4	45,5	42,8	40,8	37,5	35,3
R3	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R4	64,1	61,7	58,1	54,0	51,4	51,2	49,3	46,8	44,9	41,8	39,8
R5	62,6	60,1	56,5	52,5	49,9	49,6	47,8	45,2	43,3	40,2	38,2
R6	63,6	61,2	57,6	53,6	50,9	50,7	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R7	62,8	60,4	56,8	52,8	50,1	49,9	48,0	45,5	43,6	40,4	38,4
R8	58,3	55,8	52,2	48,1	45,5	45,1	43,2	40,4	38,3	34,8	32,3
R9	58,6	56,2	52,5	48,5	45,8	45,5	43,5	40,8	38,7	35,2	32,8
R10	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,1	42,2	38,9	36,8
R11	59,5	57,0	53,4	49,3	46,7	46,4	44,4	41,7	39,7	36,2	33,9
R12	58,5	56,1	52,5	48,4	45,7	45,4	43,5	40,7	38,6	35,1	32,7
R13	58,5	56,0	52,4	48,3	45,7	45,3	43,4	40,7	38,6	35,0	32,6
R14	58,8	56,3	52,7	48,6	45,9	45,6	43,7	41,0	38,9	35,4	33,0
R15	58,9	56,5	52,8	48,8	46,1	45,8	43,9	41,2	39,1	35,6	33,3
R16	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,3
R17	59,1	56,7	53,0	49,0	46,3	46,0	44,1	41,4	39,3	35,9	33,6
R18	59,5	57,1	53,5	49,4	46,8	46,5	44,6	41,9	39,9	36,6	34,5
R19	63,5	61,1	57,5	53,4	50,8	50,6	48,7	46,1	44,3	41,1	39,0
R20	58,6	56,1	52,5	48,4	45,8	45,4	43,5	40,8	38,7	35,2	32,9
R21	58,1	55,7	52,0	47,9	45,3	45,0	43,0	40,3	38,2	34,6	32,3
R22	60,8	58,4	54,7	50,7	48,1	47,8	45,9	43,3	41,3	38,0	35,8
R23	58,9	56,4	52,8	48,7	46,1	45,8	43,8	41,1	39,0	35,5	33,1
R24	62,2	59,8	56,2	52,1	49,5	49,2	47,4	44,8	42,9	39,6	37,6
R25	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,2
R26	59,3	56,8	53,2	49,1	46,5	46,2	44,2	41,6	39,5	36,1	33,8
R27	61,7	59,3	55,6	51,6	49,0	48,7	46,8	44,2	42,3	39,0	37,0

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulipuistojen yhteisvaikutuksia. Metsärinteen kohteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään noin 4,5 km etäisyydellä Honkamäki-Viidankankaan voimaloista. Kurvilanmäen osalta tarkastellaan 46 voimalan suunnitelmavaihtoehtoa, jonka minimietäisyys Honkamäki-Viidankankaasta on noin 8,5 km (Kuva 6). Naapurikohteiden voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).



Kuva 6: Melumallinnuksessa huomioitujen naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.

Taulukko 8: Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimalaoiden sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

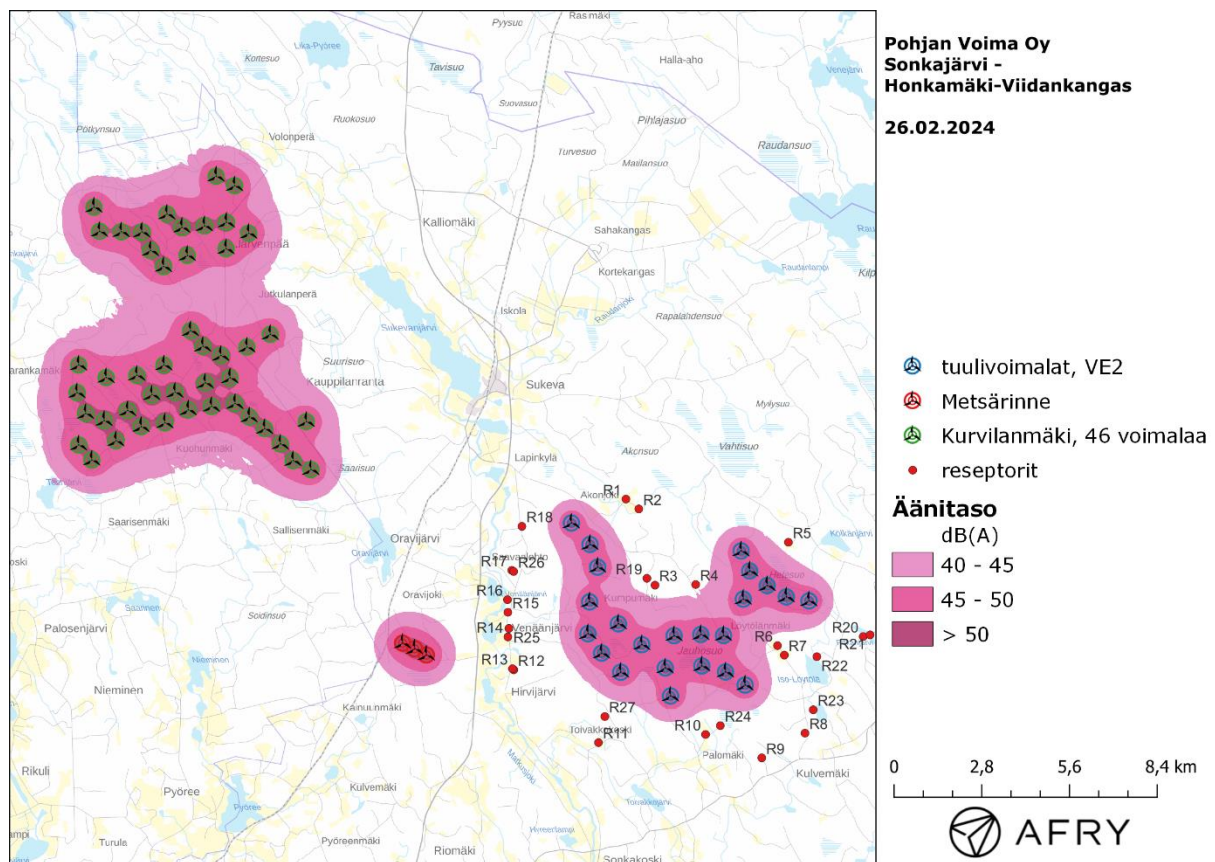
Voimala	E	N	Maaston korkeus	Voimala	E	N	Maaston korkeus
Metsärinne				K22	512442,3	7083755,2	206,3
M1	519002	7074202	161,8	K23	513276,1	7084024,6	195,8
M2	518627	7074400	182,5	K24	514019,3	7084428,1	180,8
M3	518242	7074580	183,7	K25	507851,6	7082570,8	168,1
Kurvilanmäki				K26	508127,9	7081904,4	160,0
K1	508391,3	7088485,8	192,5	K27	508718,3	7081678,6	164,2
K2	508570,1	7087713,7	192,0	K28	509469,3	7081998,6	174,7
K3	509266,1	7087700,1	200,4	K29	510243,7	7082502,6	181,0
K4	509923,0	7087693,6	198,3	K30	510978,5	7082583,3	177,8
K5	510722,0	7088265,7	188,4	K31	511944,6	7082880,0	186,3
K6	511199,2	7087841,6	174,5	K32	512734,4	7083039,6	202,6
K7	511917,7	7087891,2	173,0	K33	507902,8	7080900,0	162,6
K8	512291,9	7089473,9	174,4	K34	508323,3	7080420,0	159,3
K9	512882,2	7089170,4	167,1	K35	509094,9	7081031,6	165,7
K10	510200,4	7087100,2	194,0	K36	509899,0	7081484,7	170,6
K11	510613,8	7086590,5	184,6	K37	510657,8	7081606,4	177,2
K12	511372,6	7086947,3	170,8	K38	511403,1	7082019,9	173,5
K13	512618,9	7088006,7	167,0	K39	512144,6	7082131,8	194,2
K14	513331,5	7087653,2	171,6	K40	512895,0	7082220,8	206,1
K15	512609,0	7087159,1	157,9	K41	513349,3	7081792,3	202,7
K16	507903,5	7083449,5	179,5	K42	513839,3	7081422,7	191,0
K17	508781,3	7083050,5	181,4	K43	514343,1	7080931,8	182,2
K18	509761,0	7083124,1	209,7	K44	514748,7	7080400,2	175,6
K19	510626,0	7083449,7	185,4	K45	515317,2	7080114,9	167,1
K20	511474,1	7084544,4	197,7	K46	515169,3	7081648,4	154,9
K21	511868,4	7084047,8	206,4				

Melumallinnuksissa Metsärinteen ja Kurvilanmäen voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V172 7.2 MW PO7200 melutietoja ja napakorkeuksia 164 m (Metsärinne) ja 199 m (Kurvilanmäki). Tämän turbiinityypin äänitehotaso on 106,9 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, joten mallinnuksissa on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

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

Melun yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 7) ja keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset eivät johda ohjearvojen ylityksiin reseptoripisteissä.

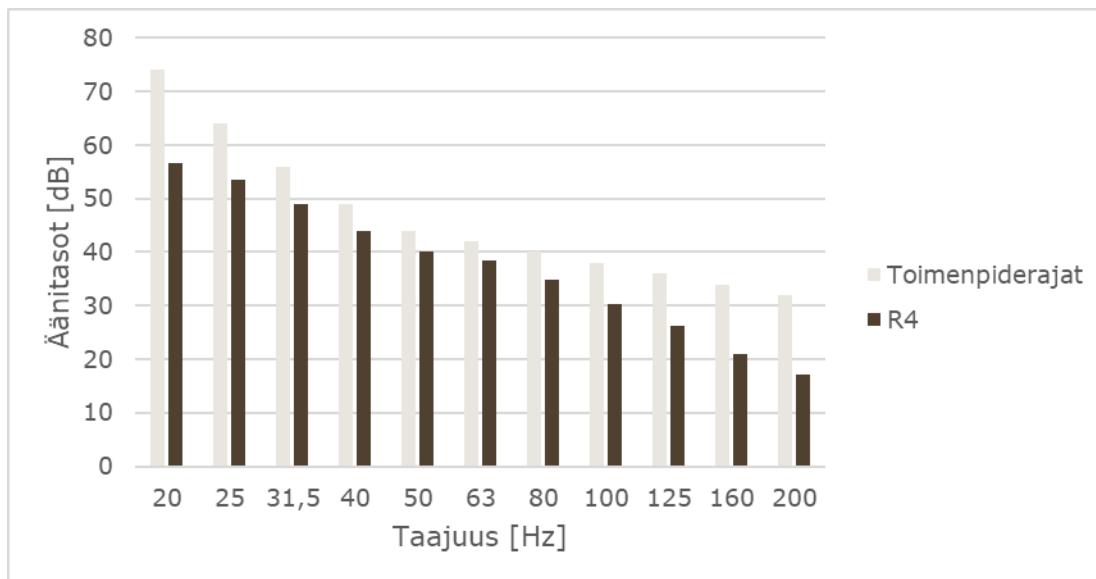
Yhteisvaikutusten pienitaajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R4 kohdalla, jonka kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu asumisterveysasetuksen arvoihin kuvassa (Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyyden, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 7: Keskiäänitasot LAeq, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	34,6	R14	34,3
R2	34,3	R15	33,9
R3	38,7	R16	34,4
R4	39,4	R17	33,7
R5	38,1	R18	34,3
R6	39,1	R19	38,5
R7	37,9	R20	30,5
R8	31,2	R21	30,8
R9	31,7	R22	35,2
R10	36,2	R23	31,9
R11	32,2	R24	37,2
R12	33,3	R25	33,6
R13	33,5	R26	33,8
		R27	36,5



Kuva 8: Pienitaajuisen sisämelun tasot reseptorin R4 kohdalla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

Taulukko 10: Pienitaajuisten ulkomelun tason reseptoreiden kohdilla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen ja Kurvilanmäen kanssa.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	60,3	57,9	54,2	50,2	47,5	47,2	45,3	42,7	40,7	37,3	35,2
R2	60,5	58,0	54,4	50,3	47,7	47,4	45,5	42,8	40,8	37,5	35,3
R3	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R4	64,1	61,7	58,1	54,0	51,4	51,2	49,3	46,8	44,9	41,8	39,8
R5	62,6	60,1	56,5	52,5	49,9	49,6	47,8	45,2	43,3	40,2	38,2
R6	63,6	61,2	57,6	53,6	50,9	50,7	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R7	62,8	60,4	56,8	52,8	50,1	49,9	48,0	45,5	43,6	40,4	38,4
R8	58,3	55,8	52,2	48,1	45,5	45,1	43,2	40,4	38,3	34,8	32,3
R9	58,6	56,2	52,5	48,5	45,8	45,5	43,5	40,8	38,7	35,2	32,8
R10	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,1	42,2	38,9	36,8
R11	59,5	57,0	53,4	49,3	46,7	46,4	44,4	41,7	39,7	36,2	33,9
R12	58,5	56,1	52,5	48,4	45,7	45,4	43,5	40,7	38,6	35,1	32,7
R13	58,5	56,0	52,4	48,3	45,7	45,3	43,4	40,7	38,6	35,0	32,6
R14	58,8	56,3	52,7	48,6	45,9	45,6	43,7	41,0	38,9	35,4	33,0
R15	58,9	56,5	52,8	48,8	46,1	45,8	43,9	41,2	39,1	35,6	33,3
R16	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,3
R17	59,1	56,7	53,0	49,0	46,3	46,0	44,1	41,4	39,3	35,9	33,6
R18	59,5	57,1	53,5	49,4	46,8	46,5	44,6	41,9	39,9	36,6	34,5
R19	63,5	61,1	57,5	53,4	50,8	50,6	48,7	46,1	44,3	41,1	39,0
R20	58,6	56,1	52,5	48,4	45,8	45,4	43,5	40,8	38,7	35,2	32,9
R21	58,1	55,7	52,0	47,9	45,3	45,0	43,0	40,3	38,2	34,6	32,3
R22	60,8	58,4	54,7	50,7	48,1	47,8	45,9	43,3	41,3	38,0	35,8
R23	58,9	56,4	52,8	48,7	46,1	45,8	43,8	41,1	39,0	35,5	33,1
R24	62,2	59,8	56,2	52,1	49,5	49,2	47,4	44,8	42,9	39,6	37,6
R25	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,2
R26	59,3	56,8	53,2	49,1	46,5	46,2	44,2	41,6	39,5	36,1	33,8
R27	61,7	59,3	55,6	51,6	49,0	48,7	46,8	44,2	42,3	39,0	37,0

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 23 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2 käyttäen turbiinityypin N175 6,5 MW (mode 1) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 215 m. Selvityksessä on arvioitu myös melun yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimapuistojen kanssa.

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

5 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus 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: 101021203-011		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 14.3.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy					
Vastuhenkilöt: Erkki Heikkola					
Laatija: Erkki Heikkola		Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT					
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto		Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT					
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex		Tyyppi: N175 6,5 MW (mode 1, with serrated trailing edges)	Sarjanumero/t:		
Nimellisteho: 6,5 MW	Napakorkeus: 215 m	Roottorin halkaisija: 175 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

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:				
kyllä	ei	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	60,3	57,9	54,2	50,2	47,5	47,2	45,3	42,7	40,7	37,3	35,2
R2	60,5	58,0	54,4	50,3	47,7	47,4	45,5	42,8	40,8	37,5	35,3
R3	63,7	61,3	57,7	53,6	51,0	50,8	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R4	64,1	61,7	58,1	54,0	51,4	51,2	49,3	46,8	44,9	41,8	39,8
R5	62,6	60,1	56,5	52,5	49,9	49,6	47,8	45,2	43,3	40,2	38,2
R6	63,6	61,2	57,6	53,6	50,9	50,7	48,9	46,3	44,5	41,3	39,3
R7	62,8	60,4	56,8	52,8	50,1	49,9	48,0	45,5	43,6	40,4	38,4
R8	58,3	55,8	52,2	48,1	45,5	45,1	43,2	40,4	38,3	34,8	32,3
R9	58,6	56,2	52,5	48,5	45,8	45,5	43,5	40,8	38,7	35,2	32,8
R10	61,6	59,2	55,6	51,5	48,9	48,6	46,7	44,1	42,2	38,9	36,8
R11	59,5	57,0	53,4	49,3	46,7	46,4	44,4	41,7	39,7	36,2	33,9
R12	58,5	56,1	52,5	48,4	45,7	45,4	43,5	40,7	38,6	35,1	32,7
R13	58,5	56,0	52,4	48,3	45,7	45,3	43,4	40,7	38,6	35,0	32,6
R14	58,8	56,3	52,7	48,6	45,9	45,6	43,7	41,0	38,9	35,4	33,0
R15	58,9	56,5	52,8	48,8	46,1	45,8	43,9	41,2	39,1	35,6	33,3
R16	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,3

R17	59,1	56,7	53,0	49,0	46,3	46,0	44,1	41,4	39,3	35,9	33,6
R18	59,5	57,1	53,5	49,4	46,8	46,5	44,6	41,9	39,9	36,6	34,5
R19	63,5	61,1	57,5	53,4	50,8	50,6	48,7	46,1	44,3	41,1	39,0
R20	58,6	56,1	52,5	48,4	45,8	45,4	43,5	40,8	38,7	35,2	32,9
R21	58,1	55,7	52,0	47,9	45,3	45,0	43,0	40,3	38,2	34,6	32,3
R22	60,8	58,4	54,7	50,7	48,1	47,8	45,9	43,3	41,3	38,0	35,8
R23	58,9	56,4	52,8	48,7	46,1	45,8	43,8	41,1	39,0	35,5	33,1
R24	62,2	59,8	56,2	52,1	49,5	49,2	47,4	44,8	42,9	39,6	37,6
R25	58,9	56,5	52,8	48,7	46,1	45,8	43,9	41,1	39,1	35,6	33,2
R26	59,3	56,8	53,2	49,1	46,5	46,2	44,2	41,6	39,5	36,1	33,8
R27	61,7	59,3	55,6	51,6	49,0	48,7	46,8	44,2	42,3	39,0	37,0



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys, VE1

101021203-011, 14.03.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Erkki Heikkola

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
14/03/2024

Projektinnumero
101021203-011

Raportin tila
VALMIS

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys, VE1

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	06.02.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	06.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	14.03.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja uusi reseptoripiste

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen 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

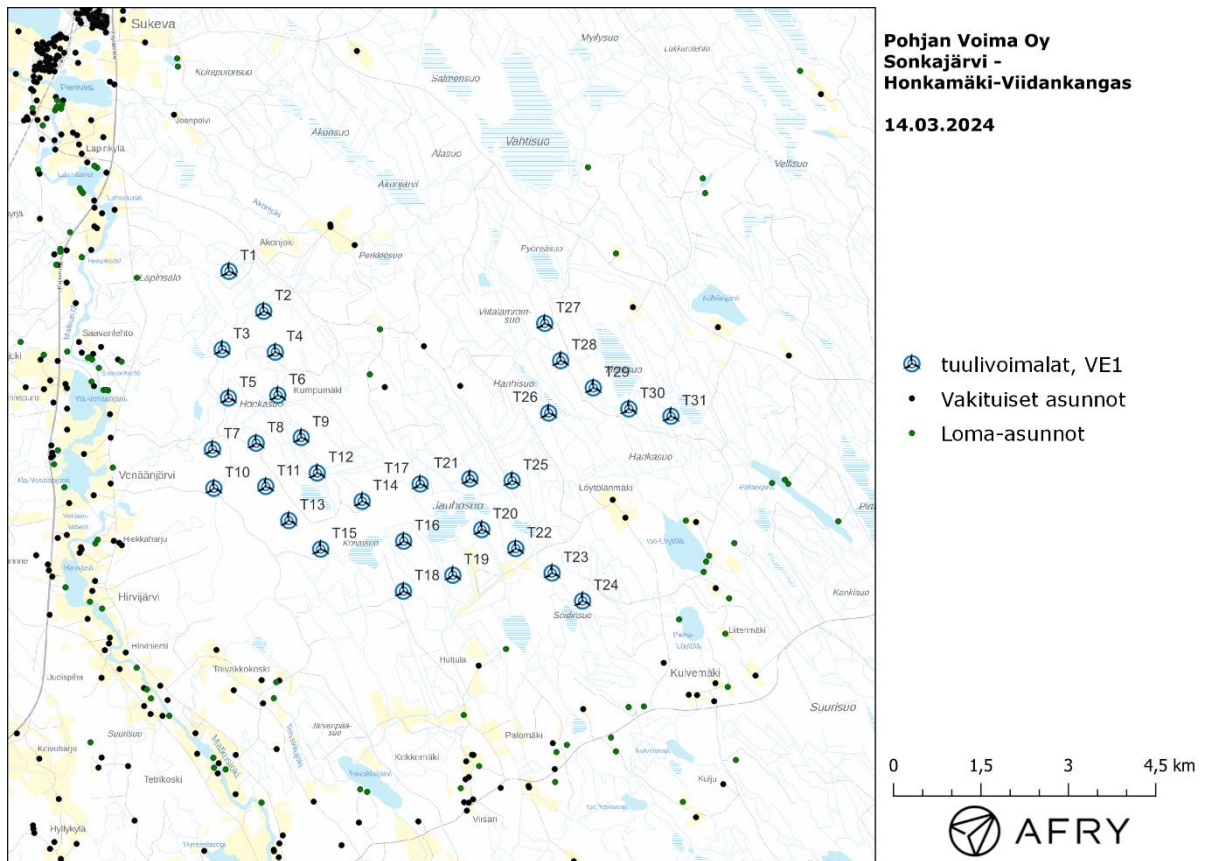
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	14
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset	16
4	Yhteenveto	19
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	20
6	Viitteet	22

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 31 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 95 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,55 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Honkamäki-Viidankankaan välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuulivoimakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkamäki-Viidankankaan hankealueella suunnitelmalla VE1.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (31 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Tuulivoimala	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523629,6	7078412,0	141,1
T2	524224,1	7077727,3	149,1
T3	523512,1	7077073,2	140,3
T4	524423,8	7077027,4	172,8
T5	523620,2	7076240,8	141,8
T6	524466,3	7076288,1	147,2
T7	523346,1	7075361,8	142,5
T8	524094,3	7075467,4	156,0
T9	524869,0	7075564,0	155,2
T10	523369,2	7074693,8	138,7
T11	524260,3	7074726,8	166,4
T12	525143,4	7074956,6	154,9
T13	524655,1	7074140,8	165,2
T14	525914,0	7074472,0	171,8
T15	525203,0	7073653,0	152,8
T16	526626,1	7073788,5	149,2
T17	526909,0	7074768,0	147,3
T18	526623,1	7072931,4	151,6
T19	527469,4	7073205,2	135,7
T20	527966,2	7073986,7	138,4
T21	527762,3	7074856,6	146,1
T22	528548,6	7073661,1	138,6
T23	529172,6	7073242,9	138,4
T24	529695,8	7072765,1	141,1
T25	528485,9	7074824,4	147,5
T26	529114,6	7075984,2	145,8
T27	529046,6	7077520,2	146,0
T28	529320,0	7076882,2	145,9
T29	529879,7	7076415,5	145,2
T30	530489,6	7076054,5	147,8
T31	531211,7	7075928,7	148,2

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja keston vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Siilinjärven sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 90 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 95 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,55 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Siilinjärven sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,196	0,171	0,147	0,128	0,131	0,162

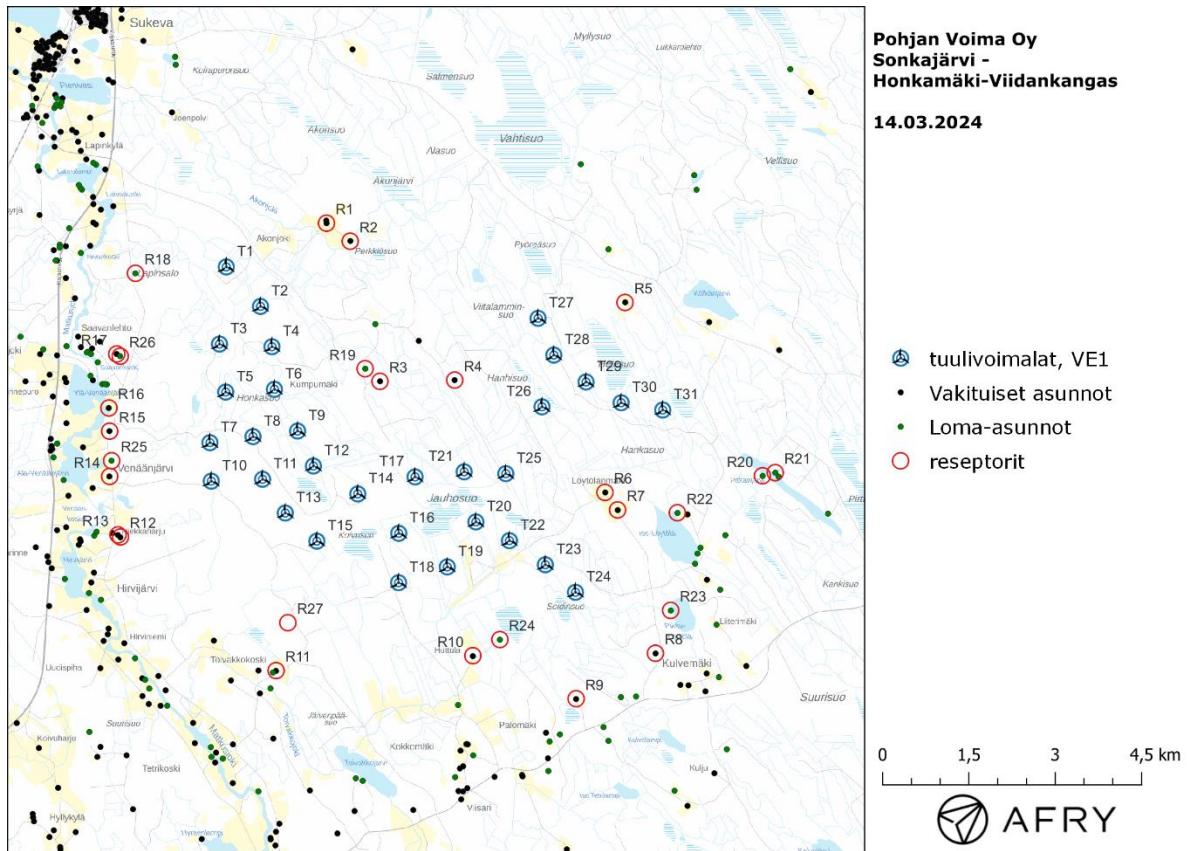
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,154
Helmikuu	0,262
Maaliskuu	0,332
Huhtikuu	0,432
Toukokuu	0,454
Kesäkuu	0,424
Heinäkuu	0,456
Elokuu	0,406
Syyskuu	0,299
Lokakuu	0,186
Marraskuu	0,108
Joulukuu	0,082

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 27 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	525373	7079169	139,9	vakituinen asuinrakennus
R2	525784	7078856	137,1	vakituinen asuinrakennus
R3	526301	7076424	185,8	vakituinen asuinrakennus
R4	527600	7076445	176,2	vakituinen asuinrakennus
R5	530558	7077793	181,8	vakituinen asuinrakennus
R6	530210	7074496	191,0	vakituinen asuinrakennus
R7	530429	7074192	185,5	vakituinen asuinrakennus
R8	531087	7071704	183,1	vakituinen asuinrakennus
R9	529709	7070915	166,8	vakituinen asuinrakennus
R10	527915	7071662	133,4	vakituinen asuinrakennus
R11	524497	7071403	120,5	vakituinen asuinrakennus
R12	521794	7073723	127,0	vakituinen asuinrakennus
R13	521751	7073759	128,0	vakituinen asuinrakennus
R14	521606	7074774	117,7	vakituinen asuinrakennus
R15	521606	7075559	119,5	vakituinen asuinrakennus
R16	521593	7075961	120,4	vakituinen asuinrakennus
R17	521729	7076898	123,7	vakituinen asuinrakennus
R18	522054	7078299	140,3	lomarakennus
R19	526043	7076643	186,9	lomarakennus
R20	532946	7074785	156,6	lomarakennus
R21	533168	7074839	148,4	lomarakennus
R22	531467	7074143	175,5	lomarakennus
R23	531351	7072448	165,8	lomarakennus
R24	528385	7071942	135,1	lomarakennus
R25	521640	7075046	122,1	lomarakennus
R26	521789	7076860	125,6	lomarakennus
R27	524701	7072234	172,2	vakituinen asuinrakennus



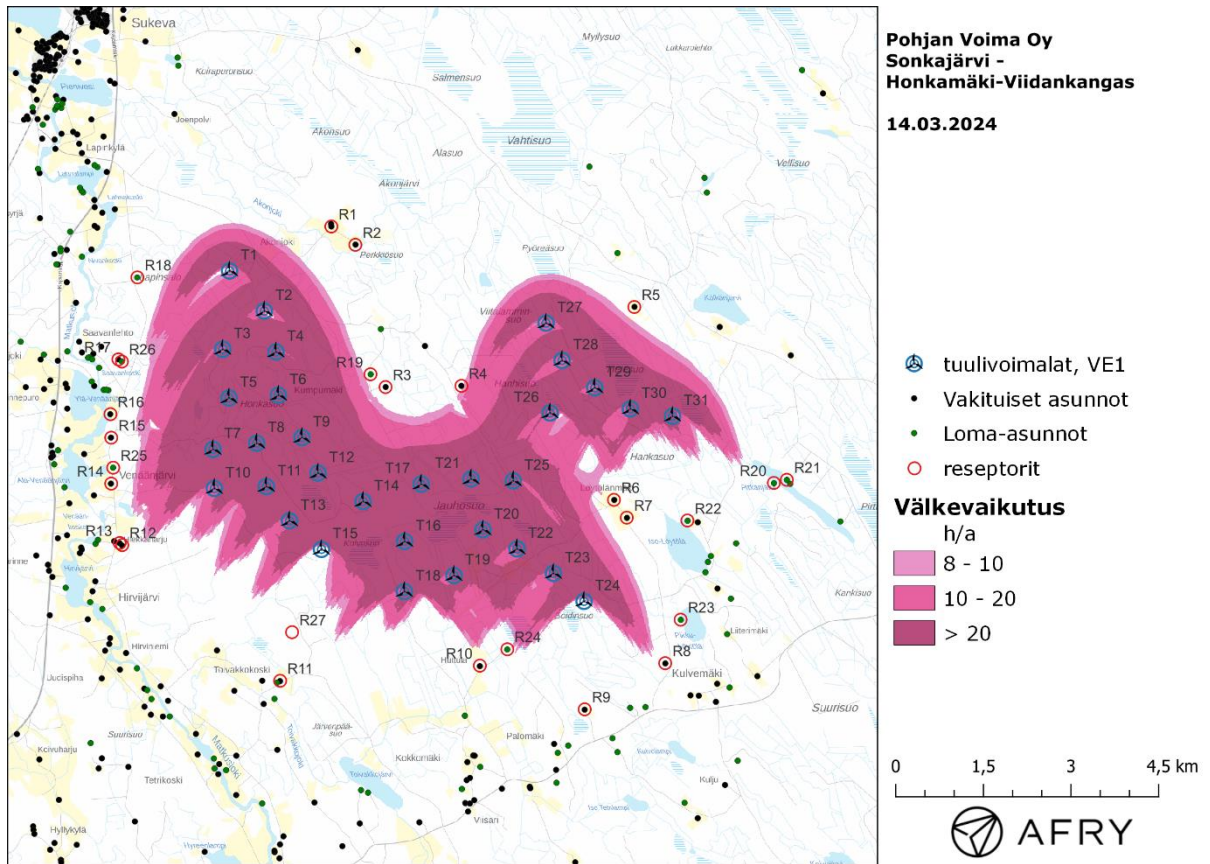
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus pysyy alle 8 tunnin ohjearvon ja päiväkohtainen todennäköinen välke aika alle 30 minuutin ohjearvon kaikilla lähialueen asunnoilla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Korkein vuotuinen välkevaikutus saavutetaan reseptorin R4 kohdalla. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tässä pisteessä on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	1:21	3
R2	0:59	2
R3	4:59	5
R4	7:43	5
R5	5:17	5
R6	3:50	4
R7	3:24	4
R8	3:16	7
R9	0:00	0
R10	2:00	3
R11	0:00	0
R12	2:49	5
R13	3:00	4
R14	2:38	4
R15	2:32	5
R16	2:12	3
R17	2:14	4
R18	2:26	5
R19	6:20	5
R20	1:02	4
R21	0:33	3
R22	0:21	2
R23	1:48	5
R24	6:07	8
R25	2:12	5
R26	2:51	5
R27	1:08	3

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R4 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:26	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	1:20
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:02	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
Huhtikuu	0:00	0:00	0:38	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38
Toukokuu	0:00	0:20	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Elokuu	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:03	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:30	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06
Yhteensä	0:00	0:20	3:15	1:26	0:10	1:33	0:44	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	7:43

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän reseptorin kohdalla. Myös Saksan 30 minuutin teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittyy neljän reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Todennäköisen välkkeen ajoittumistaulukosta reseptorin R4 osalta (Taulukko 6) nähdään, että välkettä esiintyy pääosin talvikuukausina tai hyvin aikaisina kesäaamuina, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen tai auringonpaiste jää puiden varjoon.

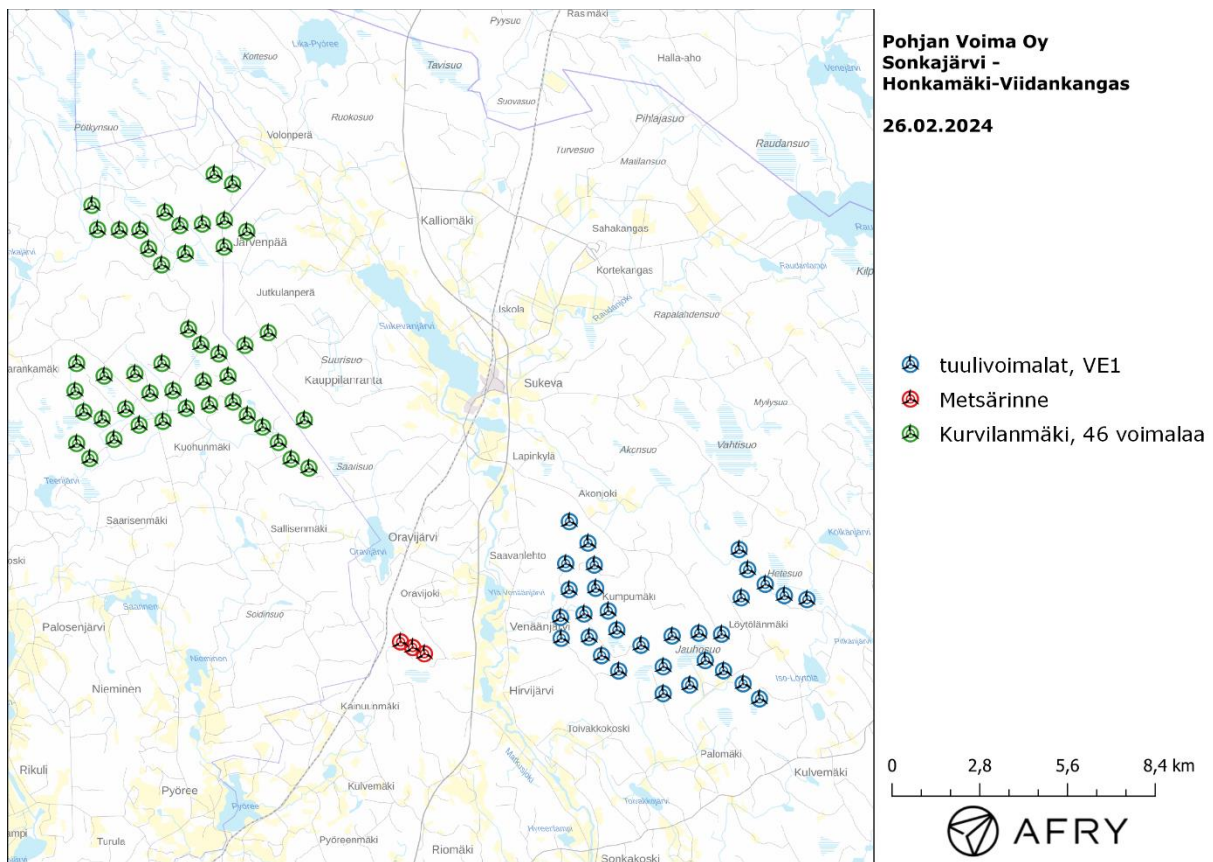
Taulukko 7: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	10:06	16
R2	6:51	15
R3	38:00	33
R4	53:47	50
R5	36:37	31
R6	27:30	23
R7	24:59	24
R8	12:28	25
R9	0:00	0
R10	7:48	14
R11	0:00	0
R12	10:46	17
R13	11:32	16
R14	11:39	18
R15	12:48	24
R16	11:18	16
R17	11:01	18
R18	13:31	22
R19	42:19	27
R20	4:01	14
R21	2:19	11
R22	2:34	10
R23	7:40	19
R24	23:45	33
R25	10:25	19
R26	13:37	18
R27	4:30	13

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkalampi-Viidankankaan ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulipuistojen yhteisvaikutuksia. Metsärinteen kohteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään noin 4,5 km etäisyydellä Honkamäki-Viidankankaan voimaloista. Kurvilanmäen osalta tarkastellaan 46 voimalan suunnitelmavaihtoehtoa, jonka minimietäisyys Honkamäki-Viidankankaasta on noin 8,5 km (Kuva 4). Tässä selvityksessä käytettävillä turbiinimitoilla välkevaikutus ulottuu korkeintaan 2,5-2,6 km etäisyydelle voimaloista. Tällä perusteella Honkalampi-Viidankankaan ja Kurvilanmäen voimaloilla ei tule olemaan välkkeen yhteisvaikutuksia, ja Kurvilanmäki jätetään huomioimatta selvityksen mallinuksissa.

Metsärinteen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8), ja mallinuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 164 m ja turbiinityypin Vestas V172 lapaprofiilia.



Kuva 4: Naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.

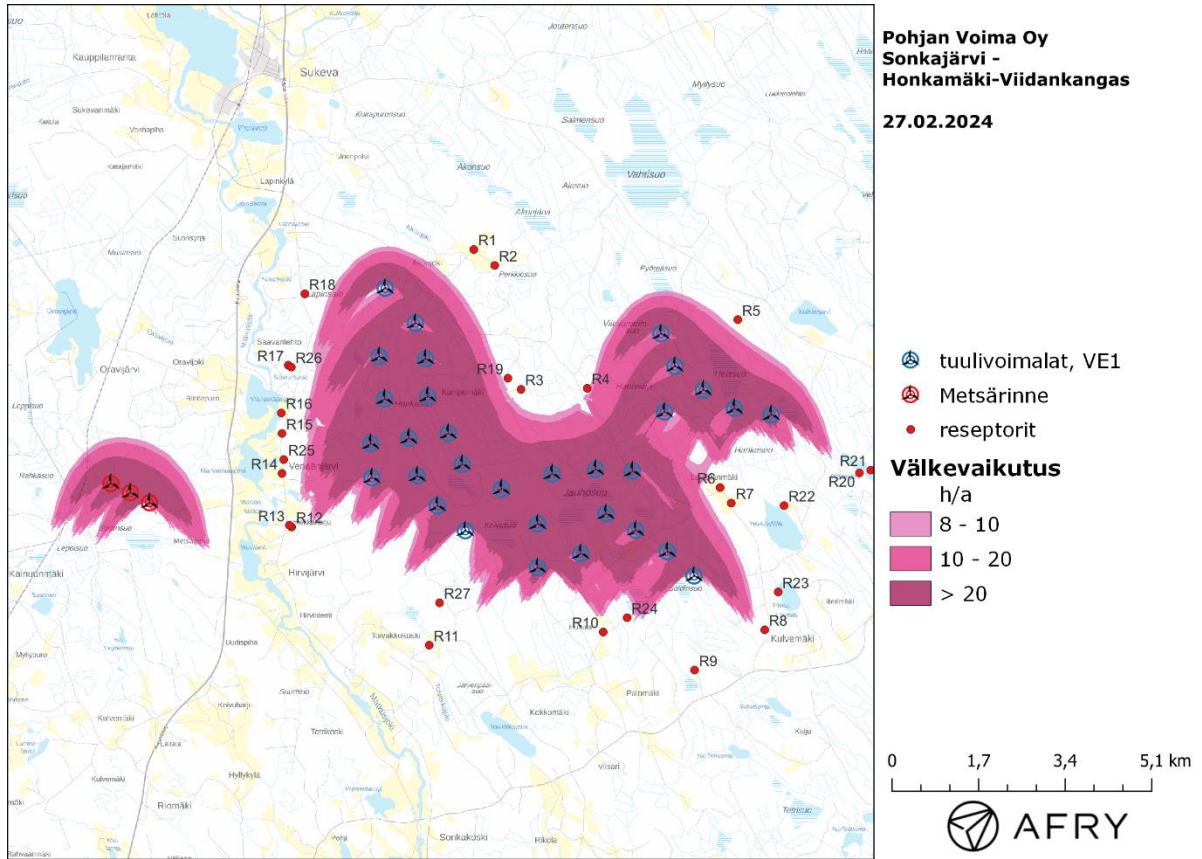
Taulukko 8: Metsärinteen (3 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	519002	7074202	161,8
M2	518627	7074400	182,5
M3	518242	7074580	183,7

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taukossa (Taulukko 9). Mallinnusten mukaan Metsärinteen voimat eivät aiheuta muutoksia reseptoripisteiden välkeaikoihin.

Taulukko 9: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen kanssa. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:21	3	10:06	16
R2	0:59	2	6:51	15
R3	4:59	5	38:00	33
R4	7:43	5	53:47	50
R5	5:17	5	36:37	31
R6	3:50	4	27:30	23
R7	3:24	4	24:59	24
R8	3:16	7	12:28	25
R9	0:00	0	0:00	0
R10	2:00	3	7:48	14
R11	0:00	0	0:00	0
R12	2:49	5	10:46	17
R13	3:00	4	11:32	16
R14	2:38	4	11:39	18
R15	2:32	5	12:48	24
R16	2:12	3	11:18	16
R17	2:14	4	11:01	18
R18	2:26	5	13:31	22
R19	6:20	5	42:19	27
R20	1:02	4	4:01	14
R21	0:33	3	2:19	11
R22	0:21	2	2:34	10
R23	1:48	5	7:40	19
R24	6:07	8	23:45	33
R25	2:12	5	10:25	19
R26	2:51	5	13:37	18
R27	1:08	3	4:30	13



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan yhteisvaikutus Metsärinteen kanssa.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 31 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimapuistojen kanssa.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus pysyy ohjearvojen alapuolella kaikkien alueen rakennusten kohdilla. Metsärinteen voimalat eivät aiheuta muutoksia rakennusten välkeikoihin.

Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin ohjearvon neljän rakennuksen kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin ohjearvon neljän rakennuksen kohdalla. Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

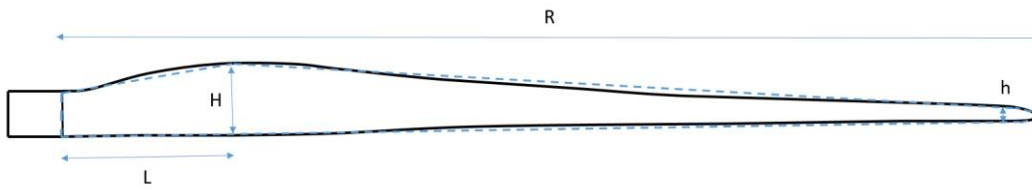
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 6) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin välkkelaskennassa huomioidaan tarkemmin turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P.Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys, VE2

101021203-011, 14.03.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Erkki Heikkola

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
14/03/2024

Projektinumero
101021203-011

Raportin tila
VALMIS

Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys, VE2

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	06.02.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	06.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	14.03.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja uusi reseptoripiste

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen 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

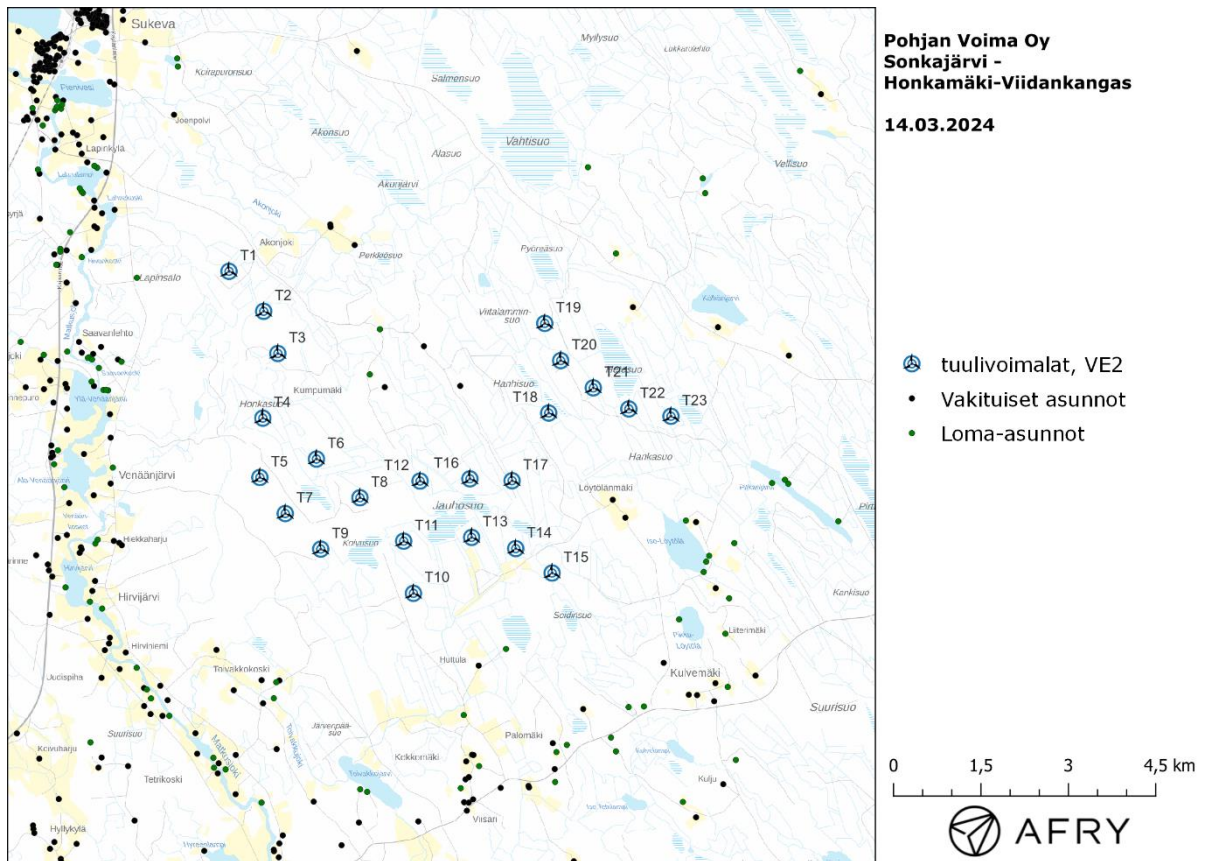
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	14
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset	16
4	Yhteenveto	19
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	20
6	Viitteet	22

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 23 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 95 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,55 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Honkamäki-Viidankankaan välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuulivoimakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkamäki-Viidankankaan hankealueella suunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (23 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523629,6	7078412,0	141,1
T2	524224,1	7077727,3	149,1
T3	524467,8	7077004,1	173,1
T4	524209,8	7075896,5	140,9
T5	524158,8	7074880,3	172,1
T6	525129,5	7075195,7	158,8
T7	524594,4	7074261,9	168,0
T8	525876,2	7074532,7	172,7
T9	525203,0	7073653,0	152,8
T10	526794,0	7072894,5	139,3
T11	526626,1	7073788,5	149,2
T12	526906,9	7074818,7	147,1
T13	527792,4	7073853,3	137,7
T14	528548,6	7073661,1	138,6
T15	529172,6	7073242,9	138,4
T16	527762,3	7074856,6	146,1
T17	528485,9	7074824,4	147,5
T18	529114,6	7075984,2	145,8
T19	529046,6	7077520,2	146,0
T20	529320,0	7076882,2	145,9
T21	529879,7	7076415,5	145,2
T22	530489,6	7076054,5	147,8
T23	531211,7	7075928,7	148,2

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja keston vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Siilinjärven sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 90 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 95 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,55 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Siilinjärven sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,196	0,171	0,147	0,128	0,131	0,162

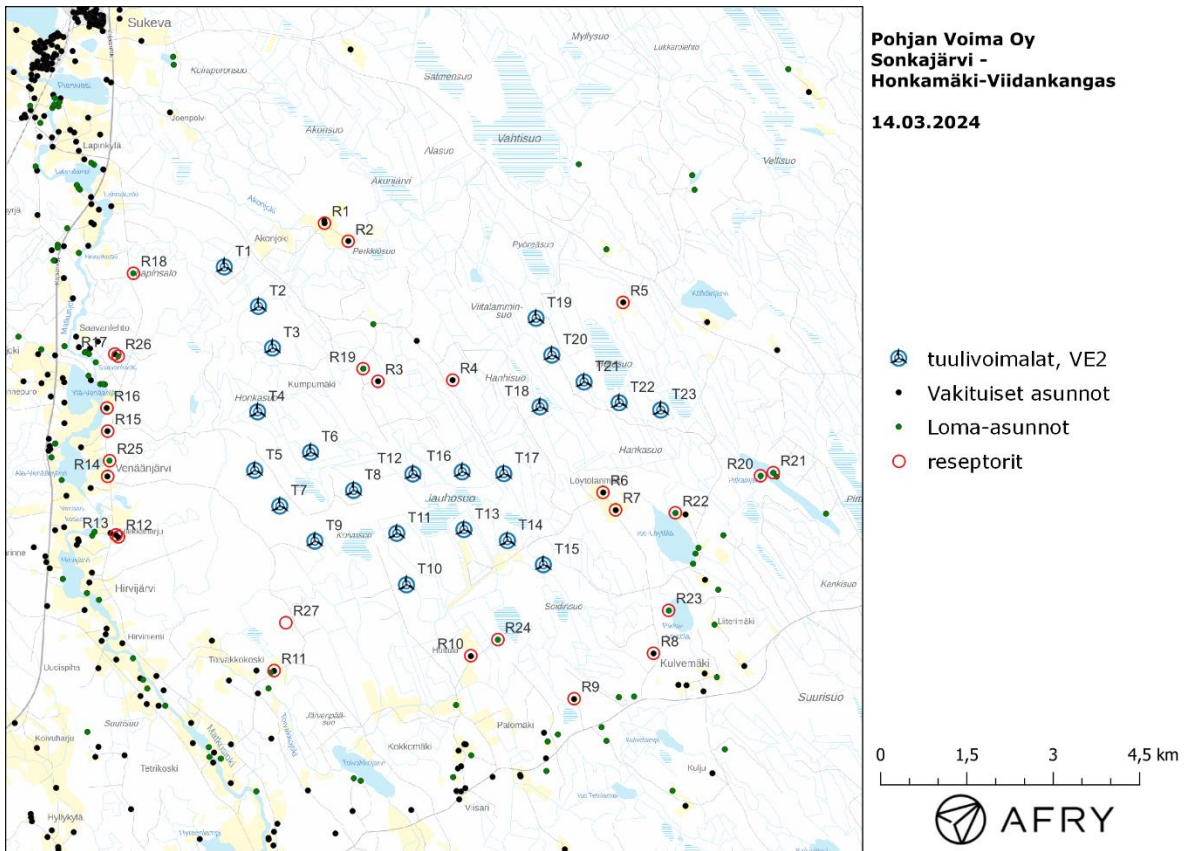
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,154
Helmikuu	0,262
Maaliskuu	0,332
Huhtikuu	0,432
Toukokuu	0,454
Kesäkuu	0,424
Heinäkuu	0,456
Elokuu	0,406
Syyskuu	0,299
Lokakuu	0,186
Marraskuu	0,108
Joulukuu	0,082

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 27 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	525373	7079169	139,9	vakituinen asuinrakennus
R2	525784	7078856	137,1	vakituinen asuinrakennus
R3	526301	7076424	185,8	vakituinen asuinrakennus
R4	527600	7076445	176,2	vakituinen asuinrakennus
R5	530558	7077793	181,8	vakituinen asuinrakennus
R6	530210	7074496	191,0	vakituinen asuinrakennus
R7	530429	7074192	185,5	vakituinen asuinrakennus
R8	531087	7071704	183,1	vakituinen asuinrakennus
R9	529709	7070915	166,8	vakituinen asuinrakennus
R10	527915	7071662	133,4	vakituinen asuinrakennus
R11	524497	7071403	120,5	vakituinen asuinrakennus
R12	521794	7073723	127,0	vakituinen asuinrakennus
R13	521751	7073759	128,0	vakituinen asuinrakennus
R14	521606	7074774	117,7	vakituinen asuinrakennus
R15	521606	7075559	119,5	vakituinen asuinrakennus
R16	521593	7075961	120,4	vakituinen asuinrakennus
R17	521729	7076898	123,7	vakituinen asuinrakennus
R18	522054	7078299	140,3	lomarakennus
R19	526043	7076643	186,9	lomarakennus
R20	532946	7074785	156,6	lomarakennus
R21	533168	7074839	148,4	lomarakennus
R22	531467	7074143	175,5	lomarakennus
R23	531351	7072448	165,8	lomarakennus
R24	528385	7071942	135,1	lomarakennus
R25	521640	7075046	122,1	lomarakennus
R26	521789	7076860	125,6	lomarakennus
R27	524701	7072234	172,2	vakituinen asuinrakennus



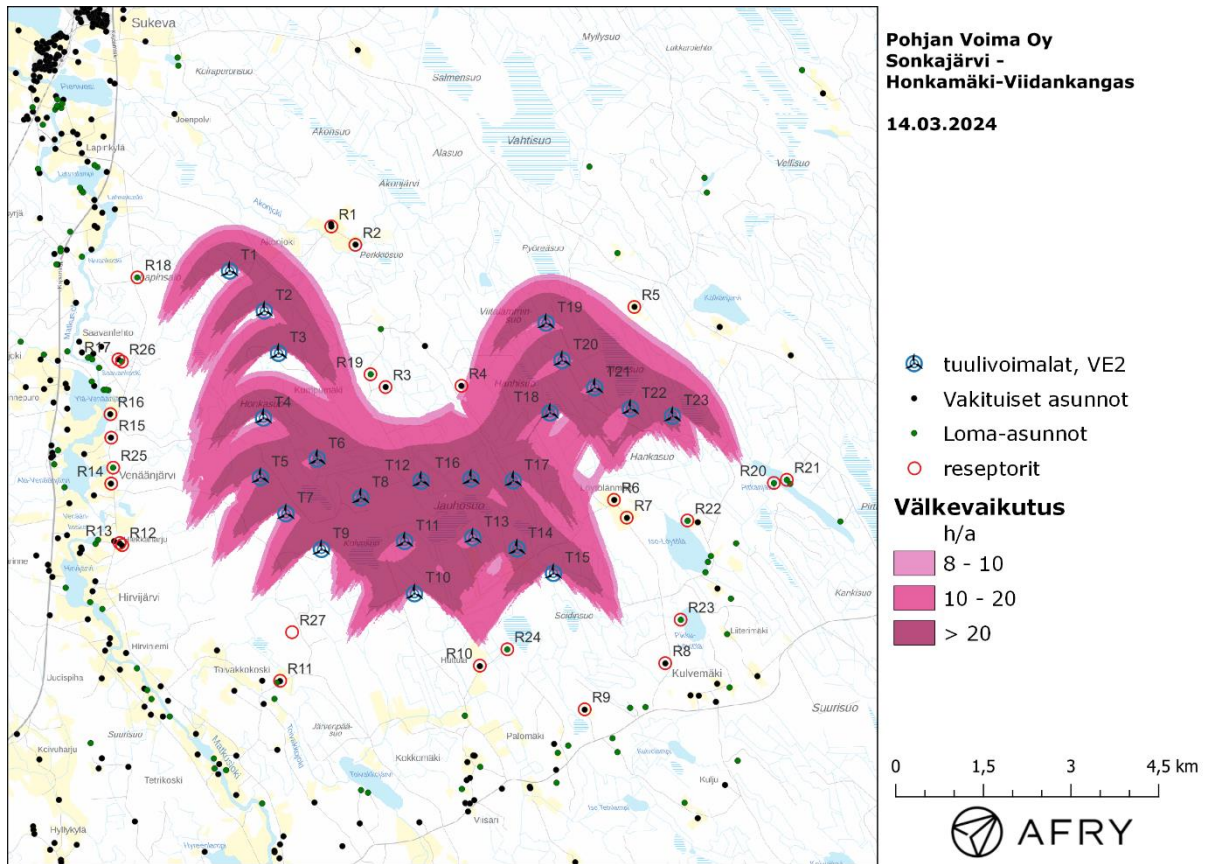
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus pysyy alle 8 tunnin ohjearvon ja päiväkohtainen todennäköinen välke aika alle 30 minuutin ohjearvon kaikilla lähialueen asunnoilla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Korkein vuotuinen välkevaikutus saavutetaan reseptorin R4 kohdalla. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tässä pisteessä on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	1:21	3
R2	0:59	2
R3	4:06	4
R4	7:45	5
R5	5:17	5
R6	3:01	4
R7	2:15	3
R8	0:23	2
R9	0:00	0
R10	0:00	0
R11	0:00	0
R12	0:00	0
R13	0:00	0
R14	0:08	2
R15	0:00	0
R16	0:00	0
R17	0:32	2
R18	1:51	5
R19	4:47	5
R20	1:02	4
R21	0:33	3
R22	0:07	1
R23	0:21	2
R24	2:24	4
R25	0:07	1
R26	0:49	2
R27	0:54	3

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R4 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	0:23	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	1:18
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:01	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
Huhtikuu	0:00	0:00	0:38	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38
Toukokuu	0:00	0:20	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Elokuu	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:03	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:29	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06
Yhteensä	0:00	0:20	3:15	1:26	0:10	1:28	0:40	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	7:45

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän reseptorin kohdalla. Myös Saksan 30 minuutin teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeika ylittyy kolmen reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Todennäköisen välkkeen ajoittumistaulukosta reseptorin R4 osalta (Taulukko 6) nähdään, että välkettä esiintyy pääosin talvikuukausina tai hyvin aikaisina kesäaamuina, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen tai auringonpaiste jää puiden varjoon.

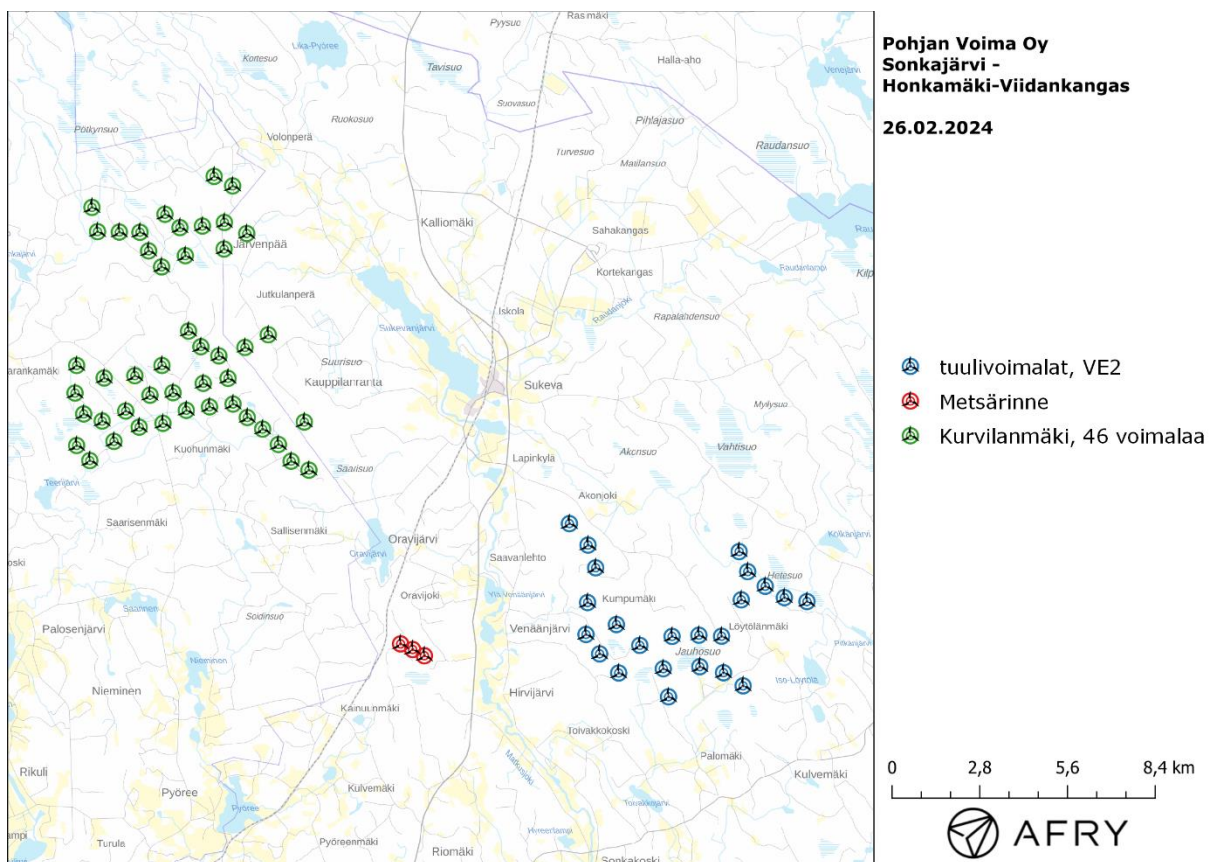
Taulukko 7: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	10:07	16
R2	6:55	15
R3	32:03	36
R4	53:57	53
R5	36:37	31
R6	18:13	23
R7	13:39	22
R8	1:29	8
R9	0:00	0
R10	0:00	0
R11	0:00	0
R12	0:00	0
R13	0:00	0
R14	0:39	6
R15	0:00	0
R16	0:00	0
R17	1:59	8
R18	8:52	22
R19	32:28	25
R20	4:01	14
R21	2:19	11
R22	0:50	7
R23	1:30	9
R24	9:33	17
R25	0:42	6
R26	3:05	9
R27	3:31	11

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkalampi-Viidankankaan ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulipuistojen yhteisvaikutuksia. Metsärinteen kohteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään noin 4,5 km etäisyydellä Honkamäki-Viidankankaan voimaloista. Kurvilanmäen osalta tarkastellaan 46 voimalan suunnitelmavaihtoehtoa, jonka minimietäisyys Honkamäki-Viidankankaasta on noin 8,5 km (Kuva 4). Tässä selvityksessä käytettävillä turbiinimitoilla välkevaikutus ulottuu korkeintaan 2,5-2,6 km etäisyydelle voimaloista. Tällä perusteella Honkalampi-Viidankankaan ja Kurvilanmäen voimaloilla ei tule olemaan välkkeen yhteisvaikutuksia, ja Kurvilanmäki jätetään huomioimatta selvityksen mallinuksissa.

Metsärinteen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8), ja mallinuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 164 m ja turbiinityypin Vestas V172 lapaprofiilia.



Kuva 4: Naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.

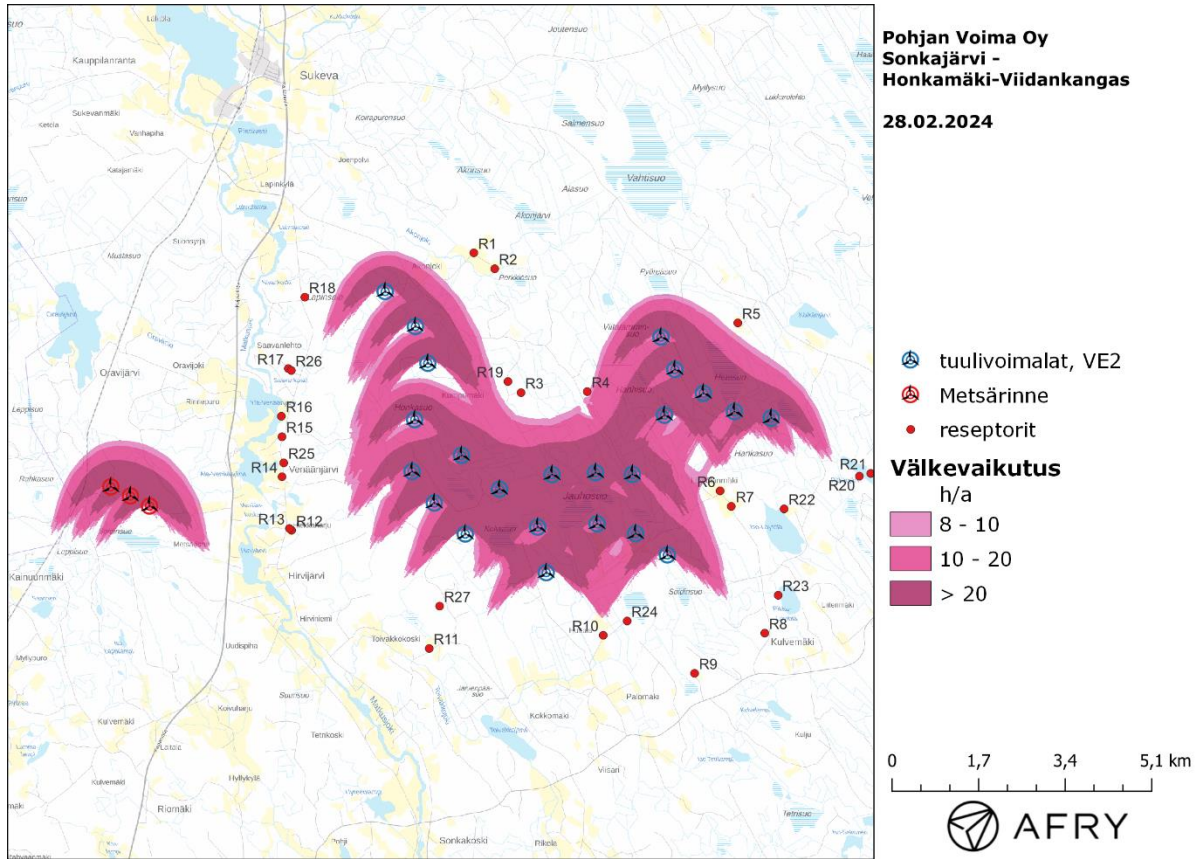
Taulukko 8: Metsärinteen (3 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	519002	7074202	161,8
M2	518627	7074400	182,5
M3	518242	7074580	183,7

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten mukaan Metsärinteen voimat eivät aiheuta muutoksia reseptoripisteiden välkeaikoihin.

Taulukko 9: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan yhteisvaikutukset Metsärinteen kanssa. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:21	3	10:07	16
R2	0:59	2	6:55	15
R3	4:06	4	32:03	36
R4	7:45	5	53:57	53
R5	5:17	5	36:37	31
R6	3:01	4	18:13	23
R7	2:15	3	13:39	22
R8	0:23	2	1:29	8
R9	0:00	0	0:00	0
R10	0:00	0	0:00	0
R11	0:00	0	0:00	0
R12	0:00	0	0:00	0
R13	0:00	0	0:00	0
R14	0:08	2	0:39	6
R15	0:00	0	0:00	0
R16	0:00	0	0:00	0
R17	0:32	2	1:59	8
R18	1:51	5	8:52	22
R19	4:47	5	32:28	25
R20	1:02	4	4:01	14
R21	0:33	3	2:19	11
R22	0:07	1	0:50	7
R23	0:21	2	1:30	9
R24	2:24	4	9:33	17
R25	0:07	1	0:42	6
R26	0:49	2	3:05	9
R27	0:54	3	3:31	11



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan yhteisvaikutus Metsärinteen kanssa.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sonkajärven alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 23 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimapuistojen kanssa.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus pysyy ohjearvojen alapuolella kaikkien alueen rakennusten kohdilla. Metsärinteen voimalat eivät aiheuta muutoksia rakennusten välkeikoihin.

Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin ohjearvon neljän rakennuksen kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin ohjearvon neljän rakennuksen kohdalla. Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

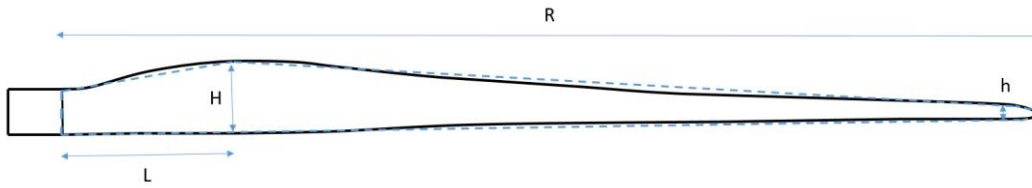
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 6) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin välkkelaskennassa huomioidaan tarkemmin turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P.Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.