



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankangas

Tuulivoimapuiston meluselvitys

23.04.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101024341-004.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Pohjan Voima Oy

Sami Merelä

sami.merela@pohjanvoima.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Wind and Solar Finland, Development & Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101024341-004

Raporttiversio: 004

Raportin tila: VALMIS

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
003	09.12.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	09.12.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu. Kappale liikennemelun ja tuuli- voimamelun yhteisvaikutuk- sista poistettu
004	23.04.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	23.04.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja napakorkeus. Raporttipohjaa päivitetty

SISÄLLYS

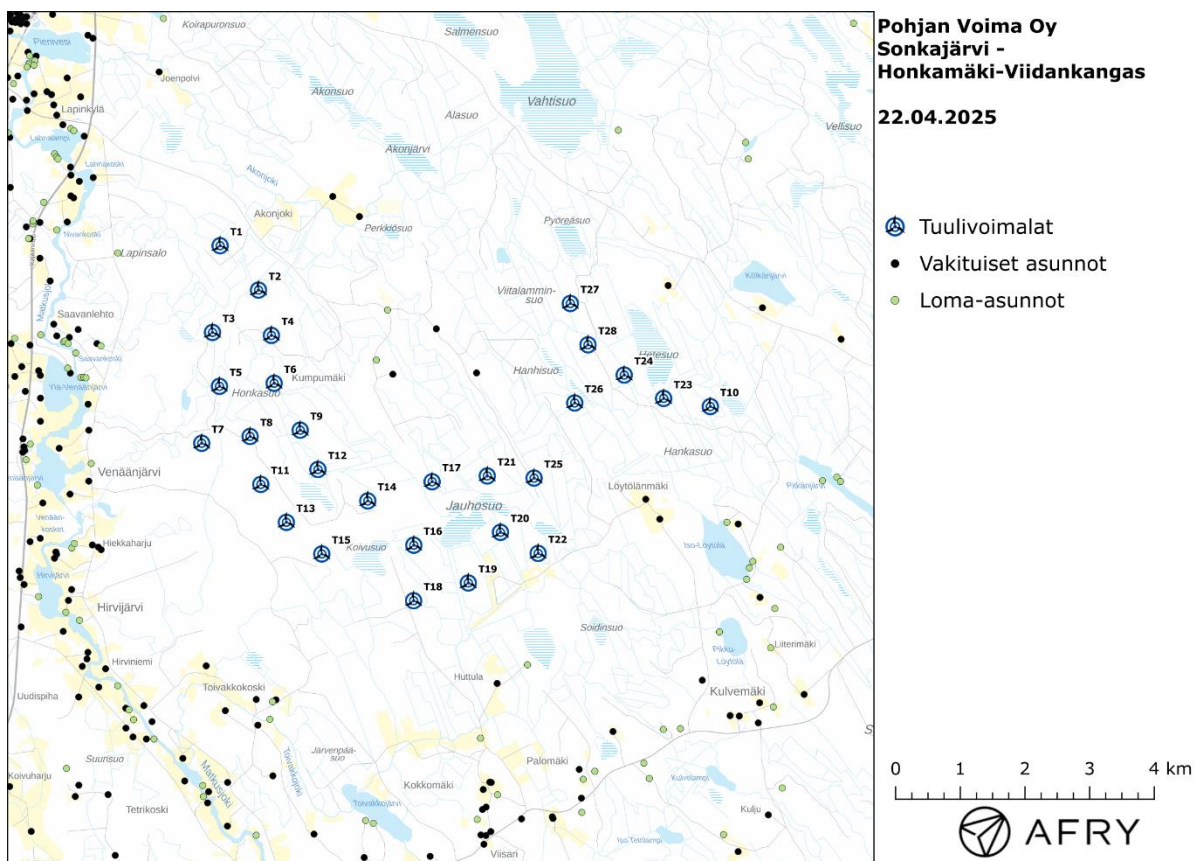
1	JOHDANTO.....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU.....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	10
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS.....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	15
3.3	Melun yhteisvaikutukset	17
4	YHTEENVETO.....	22
5	VIITTEET	23
6	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT.....	24

1 JOHDANTO

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

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyypin N175/6.X (Mode 1, STE) taajuusjakamaa äänitehotasolla 108,5 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,5 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Honkamäki-Viidankankaan melun yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuulivoimalakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



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

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (28 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523630,0	7078412,0	140,1
T2	524224,0	7077727,0	147,9
T3	523512,0	7077073,0	139,7
T4	524424,0	7077027,0	171,8
T5	523620,0	7076241,0	141,0
T6	524466,0	7076288,0	146,5
T7	523346,0	7075362,0	141,5
T8	524094,0	7075467,0	154,0
T9	524869,0	7075564,0	154,2
T10	531212,0	7075929,0	148,4
T11	524260,0	7074727,0	167,0
T12	525143,0	7074957,0	153,2
T13	524655,0	7074141,0	164,4
T14	525914,0	7074472,0	171,2
T15	525203,0	7073653,0	152,7
T16	526626,0	7073788,0	148,0
T17	526909,0	7074768,0	146,8
T18	526623,0	7072931,0	151,1
T19	527469,0	7073205,0	134,9
T20	527966,0	7073987,0	137,9
T21	527762,0	7074857,0	145,2
T22	528549,0	7073661,0	138,6
T23	530490,0	7076054,0	146,4
T24	529880,0	7076415,0	145,9
T25	528486,0	7074824,0	146,5
T26	529115,0	7075984,0	144,9
T27	529047,0	7077520,0	145,6
T28	529320,0	7076882,0	145,9

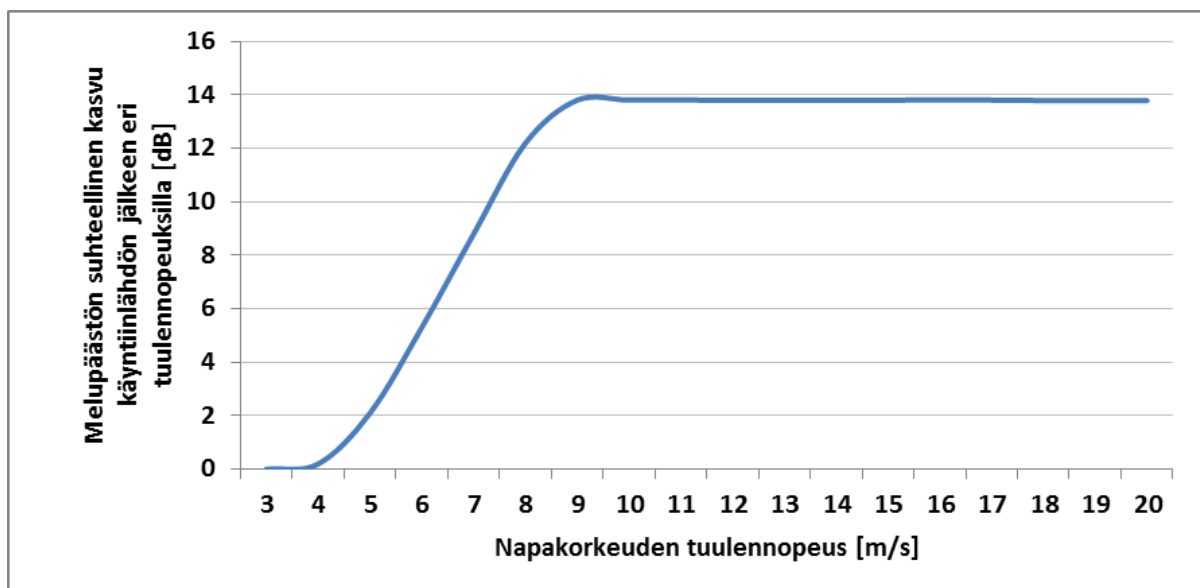
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiäänin koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta, johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [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 käyntiinlähön nopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2-1).



Kuva 2-1: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuksperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].

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

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoidituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [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 voimalatyypin melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

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

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

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

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

2.3 Ohjearvot

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

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

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, lasketuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mitaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2-1).

Taulukko 2-1: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 2-2). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin

arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 2-2: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 2-2) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07-22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22-07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti 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 kokonaismelutason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä matalataajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpideravot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan 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 ääneneristävyyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisen sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty tuulivoimalatyyppin N175/6.X (Mode 1, STE) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista tuulivoimalavalmistajan dokumenteista:

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

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

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

Tuulivoimalatyyppin N175/6.X (Mode 1, STE) 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 200 m. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 6 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

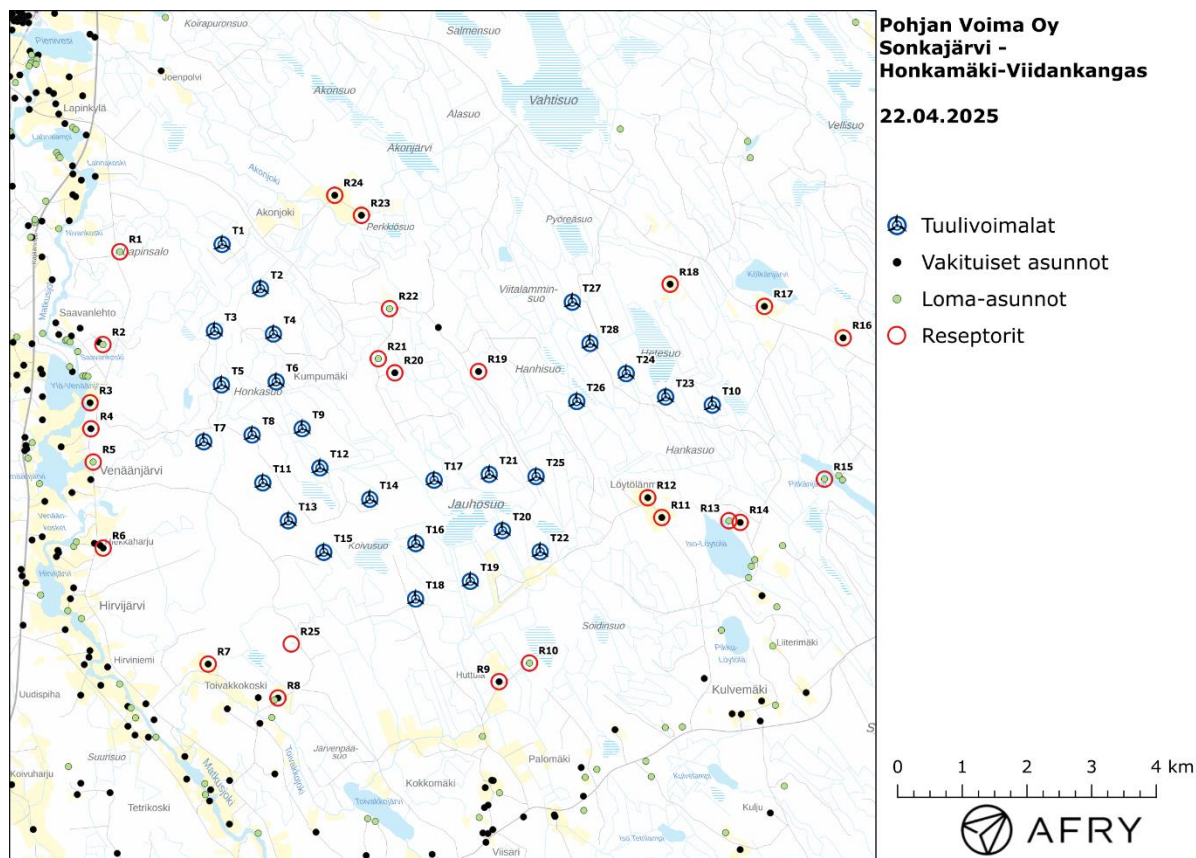
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu rakennusten kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on

esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5–2,5 km etäisyydellä voimaloista.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	522050,0	7078297,0	138,9	loma-asunto
R2	521788,0	7076862,0	123,8	loma-asunto
R3	521590,0	7075962,0	118,5	vakituinen asunto
R4	521602,0	7075560,0	118,2	vakituinen asunto
R5	521638,0	7075046,0	121,5	loma-asunto
R6	521792,0	7073716,0	126,8	vakituinen asunto
R7	523416,0	7071923,0	117,4	vakituinen asunto
R8	524495,0	7071399,0	121,2	vakituinen asunto
R9	527916,0	7071651,0	133,4	vakituinen asunto
R10	528386,0	7071939,0	135,7	loma-asunto
R11	530432,0	7074188,0	185,8	vakituinen asunto
R12	530215,0	7074494,0	191,2	vakituinen asunto
R13	531470,0	7074139,0	175,1	loma-asunto
R14	531645,0	7074113,0	185,6	vakituinen asunto
R15	532948,0	7074781,0	164,0	loma-asunto
R16	533237,0	7076966,0	194,9	vakituinen asunto
R17	532020,0	7077452,0	188,4	vakituinen asunto
R18	530561,0	7077795,0	182,3	vakituinen asunto
R19	527598,0	7076445,0	176,8	vakituinen asunto
R20	526303,0	7076425,0	185,1	vakituinen asunto
R21	526047,0	7076643,0	187,2	loma-asunto
R22	526221,0	7077417,0	178,7	loma-asunto
R23	525787,0	7078859,0	138,1	vakituinen asunto
R24	525374,0	7079169,0	140,1	vakituinen asunto
R25	524701,0	7072234,0	172,2	vakituinen asunto



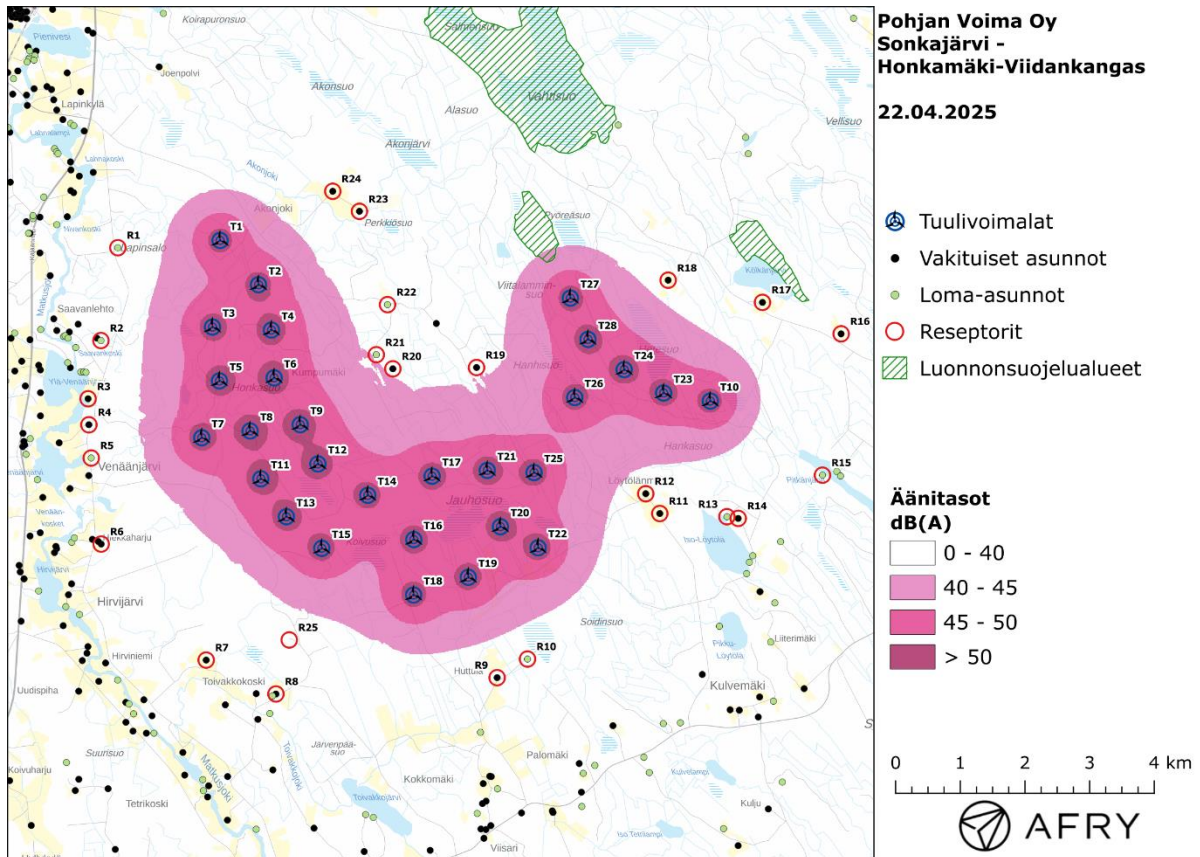
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston hanke-alueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-2). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

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



Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapaiston hanke-alueella.

Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,6	R13	34,8
R2	36,3	R14	34,1
R3	35,6	R15	30,3
R4	35,1	R16	31,1
R5	33,9	R17	34,6
R6	33,6	R18	38,1
R7	33,1	R19	39,7
R8	32,8	R20	39,7
R9	36,5	R21	39,7
R10	37,0	R22	37,7
R11	37,2	R23	35,0
R12	38,6	R24	35,4
		R25	37,2

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määritellyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 2-2). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tulkinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 3-3) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 3-3: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

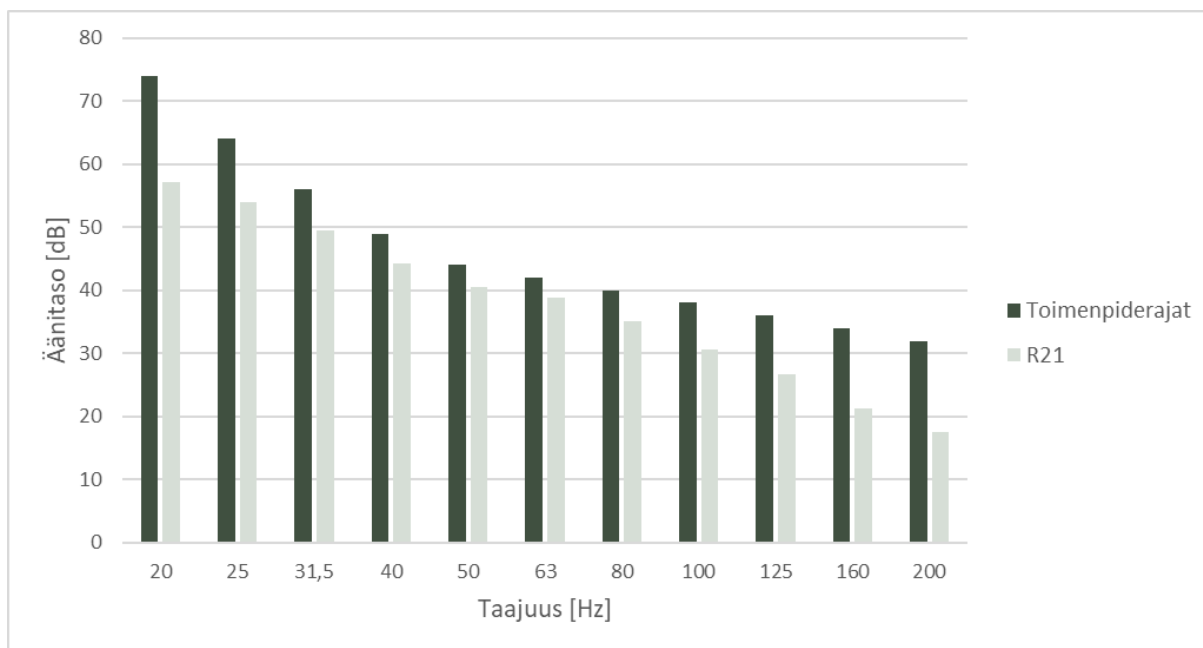
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-3) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R21, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-3). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäivät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 3-4: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

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



Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R21 kohdalla.

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksia. Metsärinteen kohteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään noin 4,5 km etäisyydellä Honkamäki-Viidankankaan voimaloista. Kurvilanmäen osalta tarkastellaan 46 voimalan suunnitelmavaihtoehtia, jonka minimietäisyys Honkamäki-Viidankankaasta on noin 8,5 km (Kuva 3-4). Naapurikohteiden voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 3-5).

Melumallinnuksissa Metsärinteen ja Kurvilanmäen voimaloille on käytetty tuulivoimalatyyppin Vestas V172 7.2 MW (PO7200, blades with serrated trailing edge) melutietoja sekä napakorkeuksia 164 m (Metsärinne) ja 199 m (Kurvilanmäki). Tämän tuulivoimalatyyppin äänitehotaso on 107,8 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, joten mallinnuksissa on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasta tuulivoimalavalmistajan dokumentista:

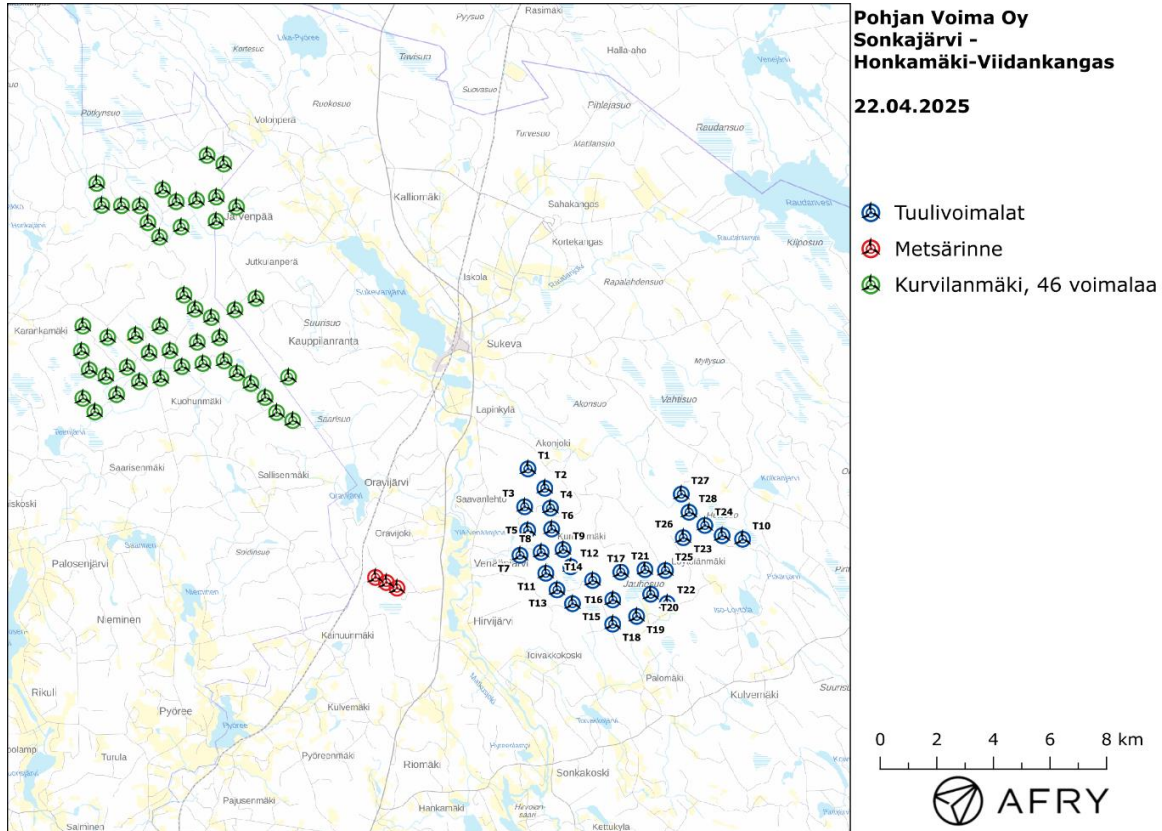
- Third octave noise emission, EnVentus™ V172. Document no.: 0128-4336 V01. 2024-11-29.

Melun yhteisvaikutuksen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-5) ja keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset eivät johda ohjearvojen ylityksiin reseptoripisteissä.

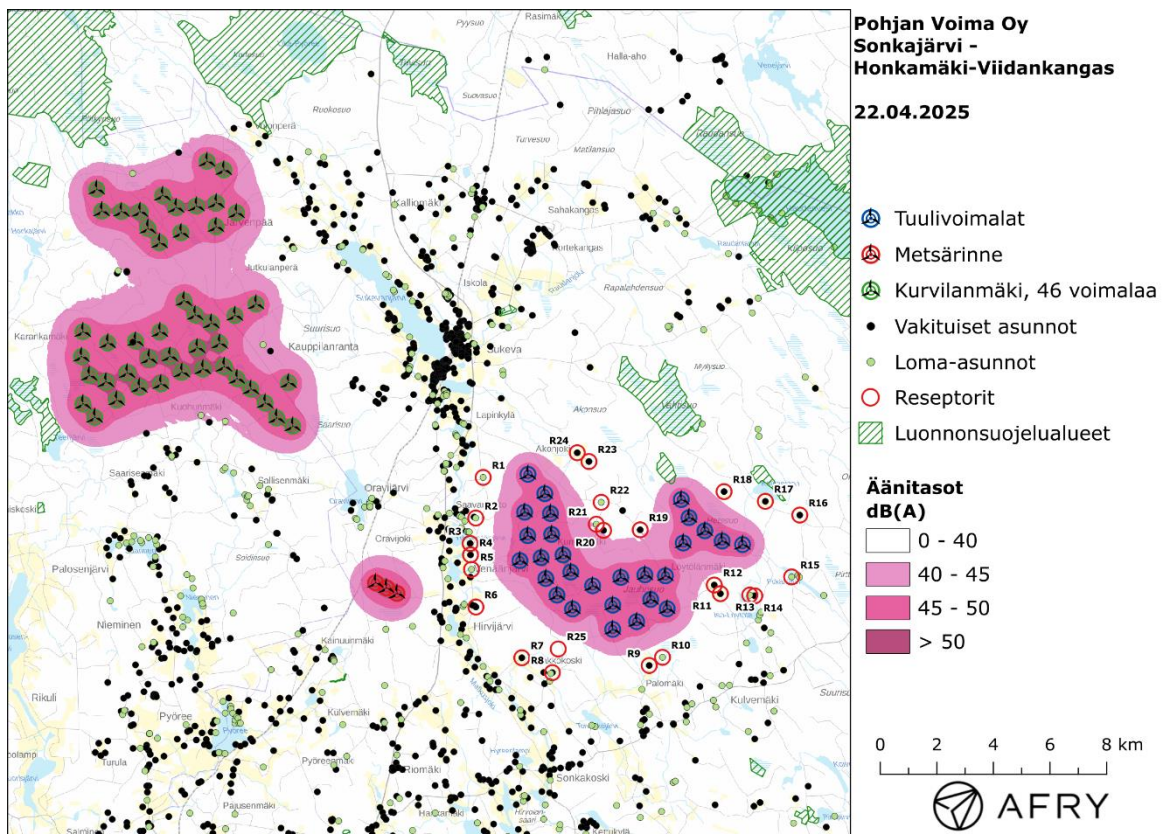
Yhteisvaikutusten pientaajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R21 kohdalla, jonka kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu asumisterveysasetuksen arvoihin kuvassa (Kuva 3-6). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 3-5: Metsärinteen (3 kpl) ja Kurvilanmäen (46 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]	Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
Metsärinne				K22	512442,3	7083755,2	206,1
M1	519002,0	7074202,0	161,5	K23	513276,1	7084024,6	194,9
M2	518627,0	7074400,0	180,7	K24	514019,3	7084428,1	181,4
M3	518242,0	7074580,0	183,2	K25	507851,6	7082570,8	167,7
Kurvilanmäki				K26	508127,9	7081904,4	161,2
K1	508391,3	7088485,8	193,1	K27	508718,3	7081678,6	163,8
K2	508570,1	7087713,7	192,5	K28	509469,3	7081998,6	174,9
K3	509266,1	7087700,1	201,2	K29	510243,7	7082502,6	182,1
K4	509923,0	7087693,6	198,4	K30	510978,5	7082583,3	177,8
K5	510722,0	7088265,7	187,4	K31	511944,6	7082880,0	186,7
K6	511199,2	7087841,6	174,6	K32	512734,4	7083039,6	200,8
K7	511917,7	7087891,2	174,9	K33	507902,8	7080900,0	161,9
K8	512291,9	7089473,9	174,7	K34	508323,3	7080420,0	158,5
K9	512882,2	7089170,4	167,5	K35	509094,9	7081031,6	164,4
K10	510200,4	7087100,2	193,5	K36	509899,0	7081484,7	171,0
K11	510613,8	7086590,5	184,7	K37	510657,8	7081606,4	176,7
K12	511372,6	7086947,3	171,6	K38	511403,1	7082019,9	174,2
K13	512618,9	7088006,7	167,3	K39	512144,6	7082131,8	194,5
K14	513331,5	7087653,2	171,8	K40	512895,0	7082220,8	207,5
K15	512609,0	7087159,1	157,7	K41	513349,3	7081792,3	204,9
K16	507903,5	7083449,5	179,0	K42	513839,3	7081422,7	190,7
K17	508781,3	7083050,5	182,5	K43	514343,1	7080931,8	182,1
K18	509761,0	7083124,1	209,1	K44	514748,7	7080400,2	177,1
K19	510626,0	7083449,7	184,6	K45	515317,2	7080114,9	165,9
K20	511474,1	7084544,4	196,6	K46	515169,3	7081648,4	155,1
K21	511868,4	7084047,8	205,5				



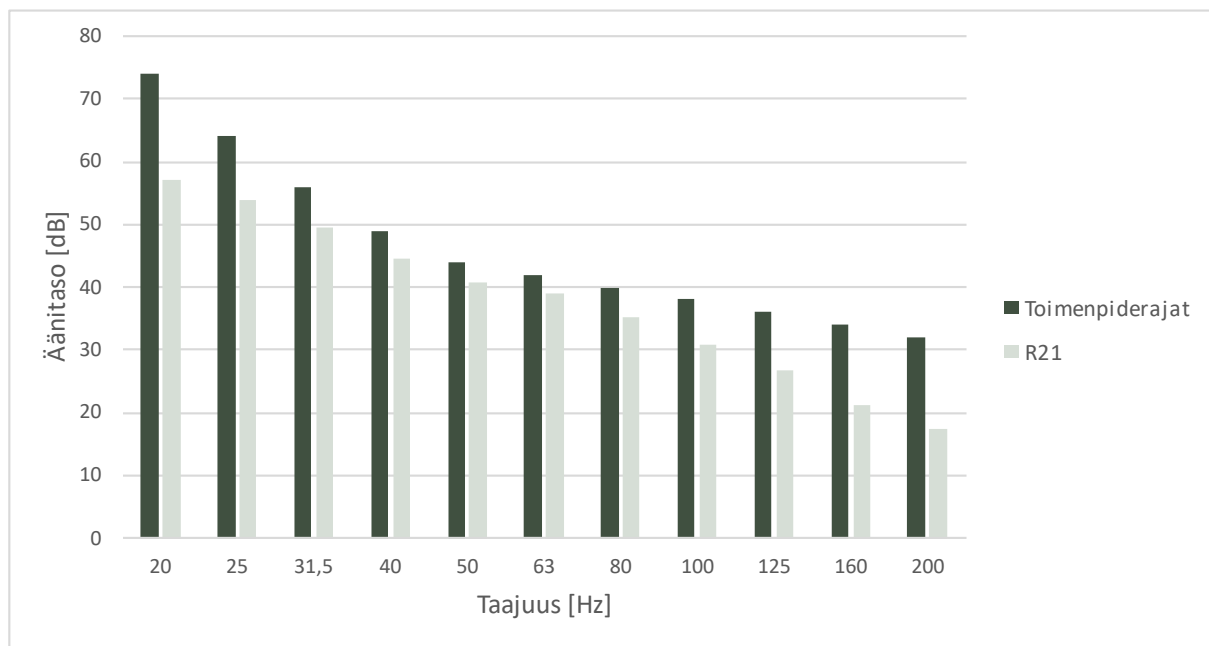
Kuva 3-4: Melumallinnuksessa huomioitujen naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.



Kuva 3-5: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnuksessa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja naapuripuistojen voimalat.

Taulukko 3-6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja naapuripuistojen voimat.

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



Kuva 3-6: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R21 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja naapuripuistojen voimat.

Taulukko 3-7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan sekä naapuripuistojen voimat.

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

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Sonkajärven kunnan alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 28 voimalan sijoittelusuunnitelmalla käyttäen tuulivoimalatyypin N175/6.X (Mode 1, STE) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 200 m.

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

5 VIITTEET

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [13] 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 raportioijan tiedot					
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101024341-004.004			Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 23.04.2025		
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy					
Vastuuhenkilöt: Kalle Auvinen ja Erkki Heikkola					
Laatija: Kalle Auvinen			Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola		
Mallinnusohjelman tiedot					
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto			Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2		
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot					
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex			Tyyppi: N175/6.X (Mode 1, STE)		Sarjanumero/t:
Nimellisteho: 6.525 MW	Napakorkeus: 200 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	61,3	58,9	55,3	51,2	48,6	48,3	46,4	43,8	41,8	38,5	36,4
R2	61,9	59,4	55,8	51,8	49,1	48,9	47,0	44,4	42,4	39,1	37,0
R3	61,5	59,1	55,5	51,4	48,8	48,5	46,6	44,0	42,0	38,7	36,5
R4	61,5	59,0	55,4	51,4	48,7	48,5	46,6	43,9	42,0	38,6	36,5
R5	61,4	58,9	55,3	51,2	48,6	48,3	46,4	43,8	41,8	38,5	36,3
R6	60,4	57,9	54,3	50,2	47,6	47,3	45,4	42,7	40,6	37,2	34,9
R7	60,3	57,8	54,2	50,1	47,5	47,2	45,2	42,5	40,5	37,0	34,7
R8	60,4	58,0	54,3	50,3	47,6	47,3	45,4	42,7	40,6	37,2	34,9
R9	62,0	59,6	56,0	51,9	49,3	49,0	47,1	44,5	42,6	39,3	37,2
R10	62,3	59,9	56,3	52,2	49,6	49,3	47,5	44,8	42,9	39,6	37,6
R11	62,6	60,1	56,5	52,5	49,8	49,6	47,7	45,1	43,2	39,9	37,9
R12	63,5	61,0	57,4	53,4	50,8	50,5	48,7	46,1	44,2	41,0	39,0
R13	60,8	58,3	54,7	50,6	48,0	47,7	45,8	43,1	41,1	37,8	35,6
R14	60,4	58,0	54,3	50,3	47,6	47,3	45,4	42,8	40,7	37,3	35,1

R15	58,7	56,2	52,6	48,5	45,9	45,5	43,6	40,8	38,7	35,2	32,8
R16	58,2	55,7	52,1	48,0	45,3	45,0	43,0	40,2	38,1	34,5	32,1
R17	60,3	57,9	54,3	50,2	47,6	47,3	45,4	42,7	40,7	37,4	35,2
R18	62,7	60,3	56,7	52,6	50,0	49,8	47,9	45,3	43,4	40,2	38,3
R19	64,5	62,1	58,5	54,5	51,9	51,6	49,8	47,2	45,3	42,1	40,1
R20	64,7	62,3	58,7	54,6	52,0	51,8	49,9	47,4	45,5	42,3	40,3
R21	64,7	62,3	58,7	54,6	52,0	51,8	49,9	47,4	45,5	42,3	40,3
R22	63,3	60,9	57,3	53,2	50,6	50,3	48,5	45,9	43,9	40,6	38,5
R23	61,5	59,0	55,4	51,4	48,7	48,4	46,5	43,9	41,9	38,5	36,3
R24	61,4	58,9	55,3	51,2	48,6	48,3	46,4	43,7	41,8	38,4	36,2
R25	62,6	60,2	56,6	52,5	49,9	49,6	47,8	45,2	43,2	40,0	37,9



Pohjan Voima Oy

Honkamäki-Viidankangas

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

23.04.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101024341-004

Kannen kuva: © AFRY

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Ilmatieteen laitoksen avoimien aineistojen käyttö lupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Pohjan Voima Oy

Sami Merelä

sami.merela@pohjanvoima.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Wind and Solar Finland, Development & Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101024341-004

Raporttiversio: 004

Raportin tila: VALMIS

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
003	09.12.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	09.12.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu
004	23.04.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	23.04.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Päivitetty voimalasijoittelu ja reseptoripisteet, Lisätty välkemallinnukset puusto huomioiden, Raporttipohjaa päivitetty

SISÄLLYS

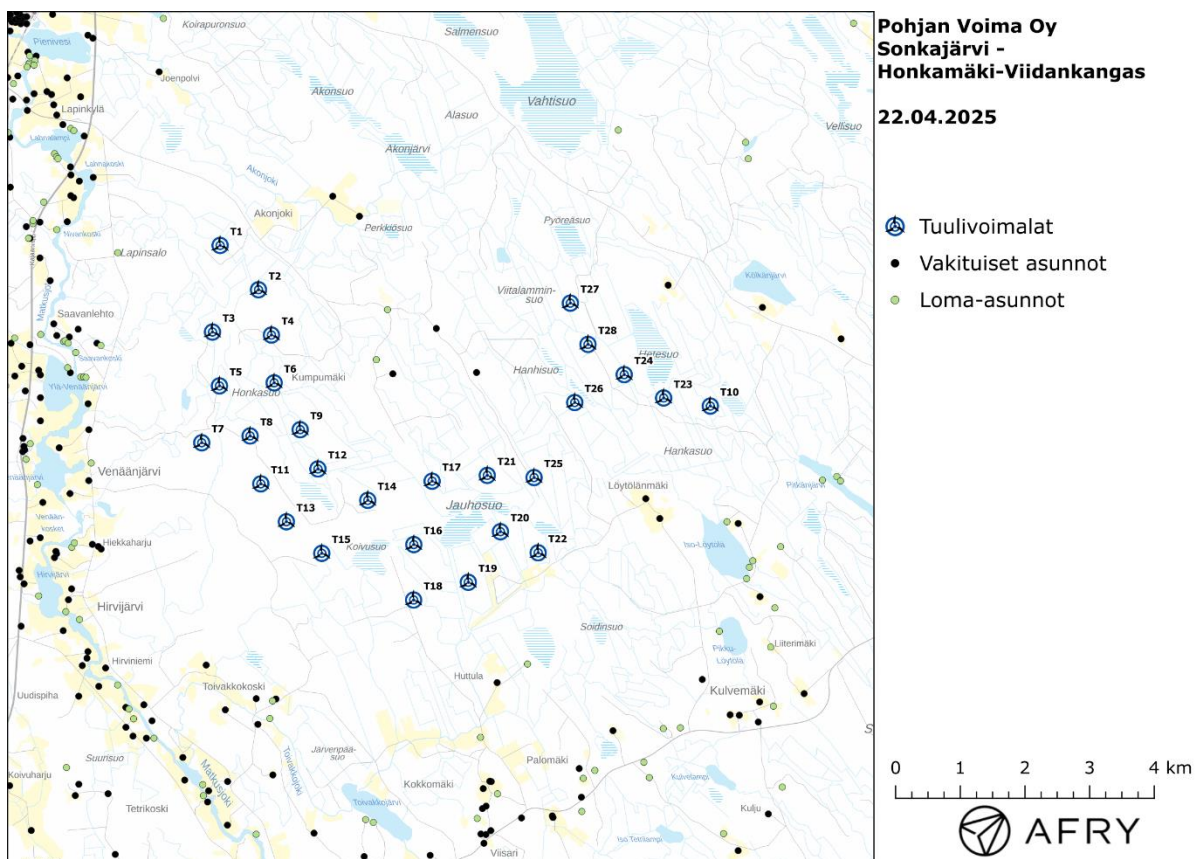
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjeavot	8
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	12
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	15
3.4	Puuston välkettä vähentävä vaikutus	16
3.5	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	18
4	YHTEENVETO.....	23
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	24
6	VIITTEET	26

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Sonkajärven kunnan alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuistolle käytetään 28 voimalan sijoittelusuunnitelmaa. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Voimalan lavan muoto on skaalattu voimalatyypistä V162 (roottorin halkaisija 162 m), jota on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välke aikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyypin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Voimalatyypin V162 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi voimaloiden välkevaikutusta. Lavan profiilia on levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,55 m (V162:n levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Honkamäki-Viidankankaan välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Metsärinteen (Eurowind Energy) ja Kurvilanmäen (wpd Finland) tuuli-voimakohteiden kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.5.



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

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (28 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	523630,0	7078412,0	140,1
T2	524224,0	7077727,0	147,9
T3	523512,0	7077073,0	139,7
T4	524424,0	7077027,0	171,8
T5	523620,0	7076241,0	141,0
T6	524466,0	7076288,0	146,5
T7	523346,0	7075362,0	141,5
T8	524094,0	7075467,0	154,0
T9	524869,0	7075564,0	154,2
T10	531212,0	7075929,0	148,4
T11	524260,0	7074727,0	167,0
T12	525143,0	7074957,0	153,2
T13	524655,0	7074141,0	164,4
T14	525914,0	7074472,0	171,2
T15	525203,0	7073653,0	152,7
T16	526626,0	7073788,0	148,0
T17	526909,0	7074768,0	146,8
T18	526623,0	7072931,0	151,1
T19	527469,0	7073205,0	134,9
T20	527966,0	7073987,0	137,9
T21	527762,0	7074857,0	145,2
T22	528549,0	7073661,0	138,6
T23	530490,0	7076054,0	146,4
T24	529880,0	7076415,0	145,9
T25	528486,0	7074824,0	146,5
T26	529115,0	7075984,0	144,9
T27	529047,0	7077520,0	145,6
T28	529320,0	7076882,0	145,9

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 kestoon 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 iltajat). 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.

Todennäköisen ja teoreettisen välkkeen mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puuston välkettä vähentävä vaikutus on mallinnettu erikseen. 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]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välikkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välikkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa teoreettisen maksimivälikkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välikkeen hallintatyökalu.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

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 tuulivoimaloiden 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, tuulivoimalan 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.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan 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 tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan 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 välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Välkelaskennassa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu voimalatyypistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 95 metriin, lapaa on skaalattu leveämmäksi 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 tuulivoimaloiden 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 tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan 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 suuntaakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisdella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa

tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisyys 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 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3-1: 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

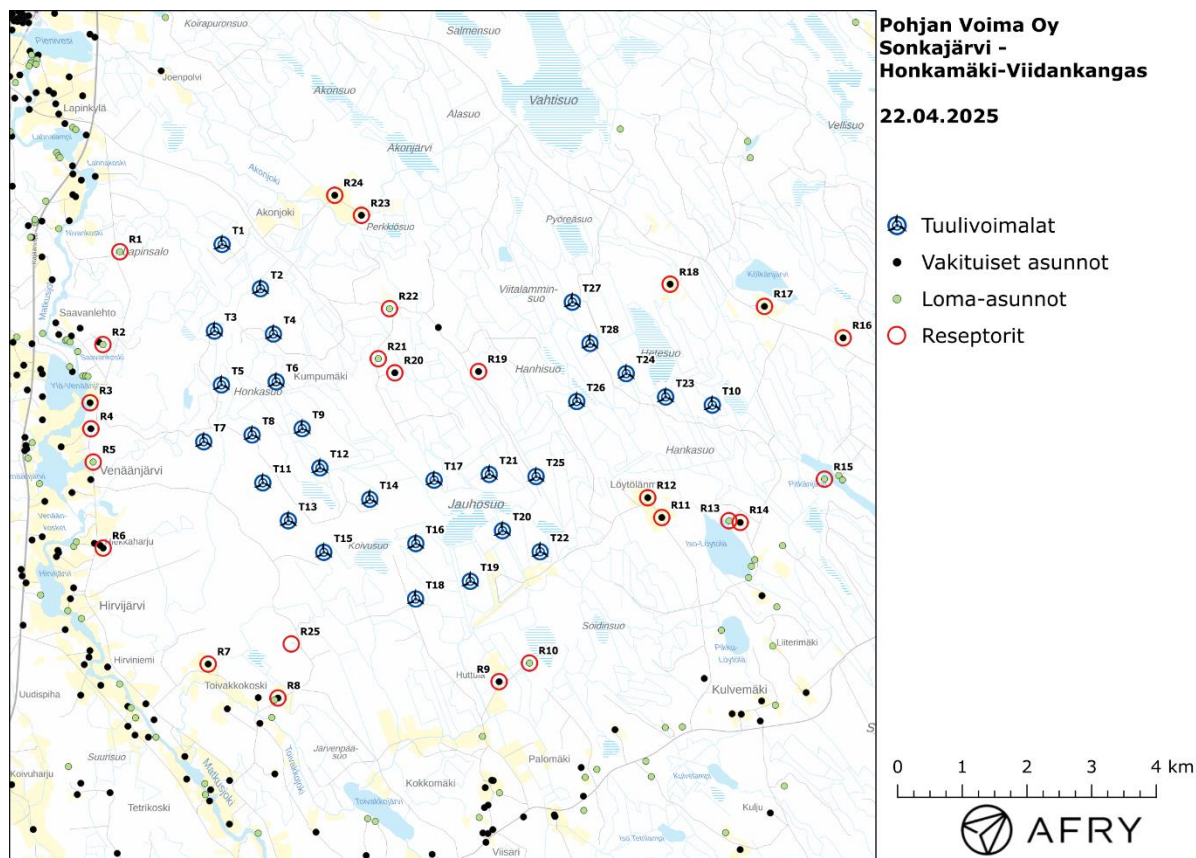
Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

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 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu rakennusten kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5–2,5 km etäisyydellä voimaloista.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	522050,0	7078297,0	138,9	loma-asunto
R2	521788,0	7076862,0	123,8	loma-asunto
R3	521590,0	7075962,0	118,5	vakituinen asunto
R4	521602,0	7075560,0	118,2	vakituinen asunto
R5	521638,0	7075046,0	121,5	loma-asunto
R6	521792,0	7073716,0	126,8	vakituinen asunto
R7	523416,0	7071923,0	117,4	vakituinen asunto
R8	524495,0	7071399,0	121,2	vakituinen asunto
R9	527916,0	7071651,0	133,4	vakituinen asunto
R10	528386,0	7071939,0	135,7	loma-asunto
R11	530432,0	7074188,0	185,8	vakituinen asunto
R12	530215,0	7074494,0	191,2	vakituinen asunto
R13	531470,0	7074139,0	175,1	loma-asunto
R14	531645,0	7074113,0	185,6	vakituinen asunto
R15	532948,0	7074781,0	164,0	loma-asunto
R16	533237,0	7076966,0	194,9	vakituinen asunto
R17	532020,0	7077452,0	188,4	vakituinen asunto
R18	530561,0	7077795,0	182,3	vakituinen asunto
R19	527598,0	7076445,0	176,8	vakituinen asunto
R20	526303,0	7076425,0	185,1	vakituinen asunto
R21	526047,0	7076643,0	187,2	loma-asunto
R22	526221,0	7077417,0	178,7	loma-asunto
R23	525787,0	7078859,0	138,1	vakituinen asunto
R24	525374,0	7079169,0	140,1	vakituinen asunto
R25	524701,0	7072234,0	172,2	vakituinen asunto



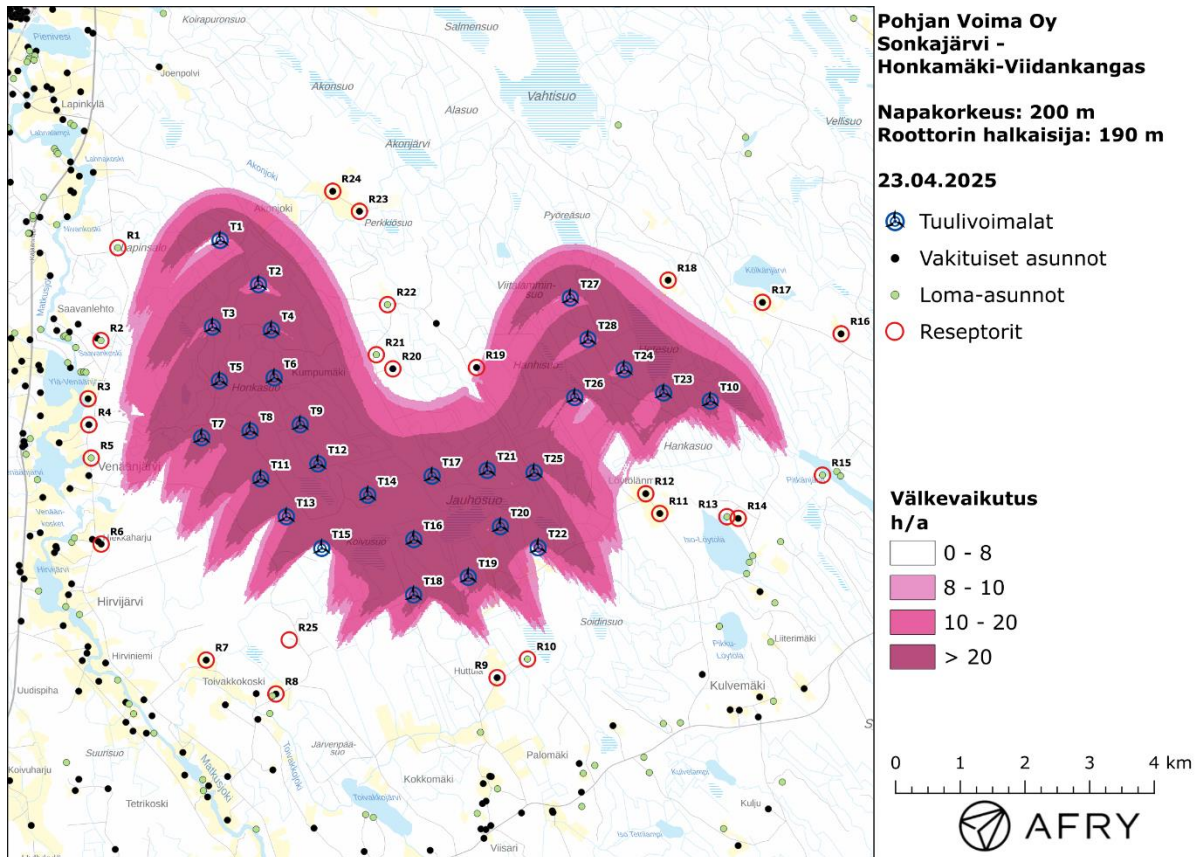
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston hanke-alueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). Tässä mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen, mutta puuston vaikutusta arvioidaan myöhemmin luvussa 3.4. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välke aika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Korkein vuotuinen välkevaikutus saavutetaan reseptorin R19 kohdalla. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tässä pisteessä on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	2:25	0:05
R2	2:50	0:05
R3	1:57	0:03
R4	2:05	0:05
R5	1:41	0:05
R6	1:00	0:03
R7	1:01	0:02
R8	0:00	0:00
R9	0:56	0:03
R10	1:44	0:04
R11	1:18	0:03
R12	2:03	0:04
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	1:01	0:04
R16	0:12	0:02
R17	1:18	0:03
R18	5:15	0:05
R19	7:41	0:05
R20	4:58	0:05
R21	6:17	0:05
R22	1:50	0:03
R23	0:59	0:02
R24	1:21	0:03
R25	1:08	0:03

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R19 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	0:47	0:26	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	1:21
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	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45
Huhtikuu	0:00	0:00	0:38	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Toukokuu	0:00	0:19	0:51	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	1:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08
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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:29	0:15	0:01	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	0:19	3:14	1:26	0:10	1:33	0:43	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	7:41

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän reseptorin kohdalla. Kolmessa näistä reseptoripisteistä ylittyy myös Saksan 30 minuutin ohjearvo teoreettiselle päiväkohtaiselle maksimivälkeajalle. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R19 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

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. Teoreettisen välkevaikutuksen ajoittumistaulukosta reseptorin R19 osalta (Taulukko 3-7) nähdään, että välkettä esiintyy pääosin talvikuukausina tai hyvin aikaisina kesäaamuina, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen tai auringonpaiste jää puiden varjoon.

Taulukko 3-6: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	13:24	0:21
R2	13:34	0:18
R3	9:20	0:16
R4	9:45	0:24
R5	7:05	0:19
R6	3:43	0:11
R7	3:47	0:09
R8	0:00	0:00
R9	3:48	0:14
R10	6:56	0:15
R11	6:22	0:14
R12	10:29	0:17
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	3:58	0:14
R16	1:20	0:10
R17	11:52	0:20
R18	36:47	0:31
R19	53:41	0:50
R20	37:54	0:33
R21	42:05	0:27
R22	10:53	0:16
R23	6:47	0:14
R24	10:05	0:16
R25	4:31	0:13

Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R19 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	8:00	4:32	1:20	0:00	0:00	0:00	0:00	13:52
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08	0:13	0:38	0:00	0:00	0:00	0:00	1:59
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	4:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:03
Huhtikuu	0:00	0:00	2:33	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:37
Toukokuu	0:00	1:24	2:56	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:20
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	4:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:11
Elokuu	0:00	0:00	2:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:41
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	3:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:36
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:31	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	2:27	7:21	3:39	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	13:46
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:00
Yhteensä	0:00	1:24	12:21	8:15	2:27	18:29	8:24	2:21	0:00	0:00	0:00	0:00	53:41

3.4 Puuston välkettä vähentävä vaikutus

Karttakuvassa (Kuva 3-3) on esitetty todennäköisen vuotuisen välkkeen mallinnus, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan. Laskennassa puustodatana on käytetty Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2021 [5]. Mallinnuksen perusteella puusto rajoittaa merkittävästi Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloiden näkyvyyttä ja siten vähentää välkevaikutusta.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus alittaa Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Puuston huomioivat vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-8).

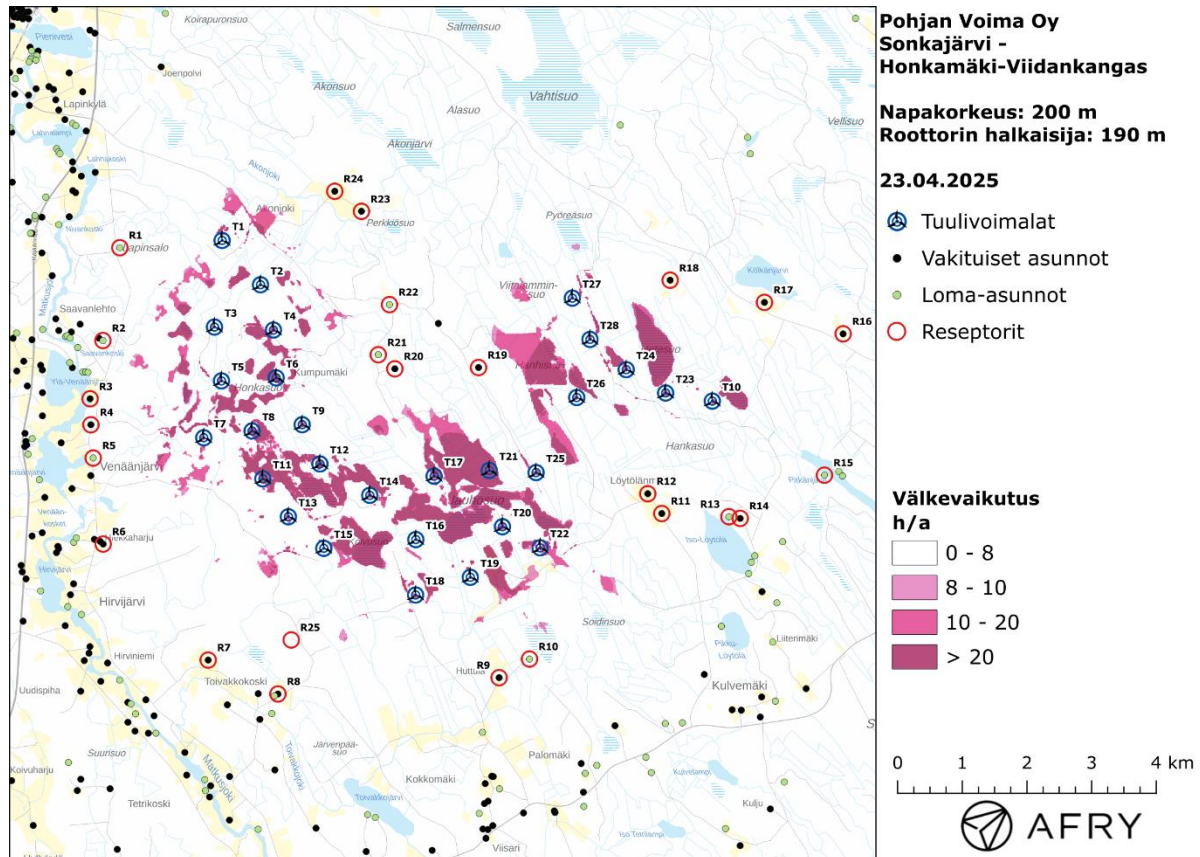
Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R18 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-9). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-8: Todennäköinen välkevaikutus puuston vaikutus huomioiden tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke- puuston vaikutus aika huomioiden	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi puuston vaikutus huomioiden
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	1:56	0:03
R4	1:23	0:04
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	1:01	0:02
R8	0:00	0:00
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	1:18	0:03
R12	2:03	0:04
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	0:00	0:00
R16	0:12	0:02
R17	1:08	0:03
R18	5:15	0:05
R19	2:36	0:04
R20	3:26	0:04
R21	1:06	0:03
R22	0:00	0:00
R23	0:17	0:02
R24	1:21	0:03
R25	0:00	0:00

Taulukko 3-9: Todennäköisen välkevaikutuksen (puuston vaikutus huomioiden) ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R18 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	0:17	0:30	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:21	0:00	0:00	0:00	1:08
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:50	0:00	0:00	0:00	0:56
Huhtikuu	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
Toukokuu	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
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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	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
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39	0:00	0:00	0:00	0:39
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:39	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	1:15	1:41	1:51	0:00	0:00	0:00	5:15



Kuva 3-3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä puuston väkettä vähentävä vaikutus huomioiden.

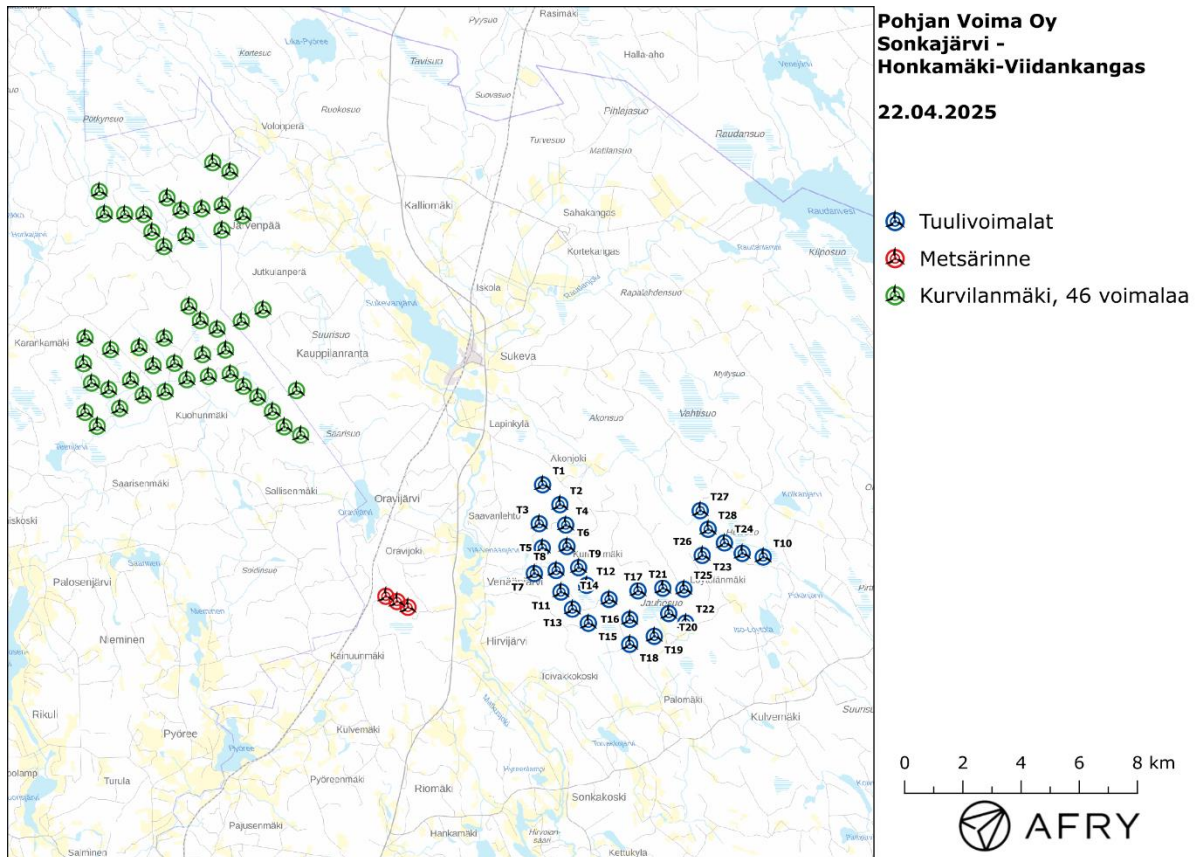
3.5 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloiden ja sen länsipuolelle suunniteltujen Metsärinteen ja Kurvilanmäen tuulipuistojen välkkeen 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 3-4).

Tässä selvityksessä käytettävillä turbiinimitoilla välkevaikutus ulottuu korkeintaan 2,5–2,6 km etäisyydelle tuulivoimaloista. Tällä perusteella Honkalampi-Viidankankaan ja Kurvilanmäen voimaloilla ei tule olemaan välkkeen yhteisvaikutuksia, ja Kurvilanmäki jätetään huomioimatta selvityksen mallinnuksissa. Metsärinteen tuulivoimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 3-10), ja mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 164 m ja voimalatyyppin Vestas V172 lapaprofiilia.

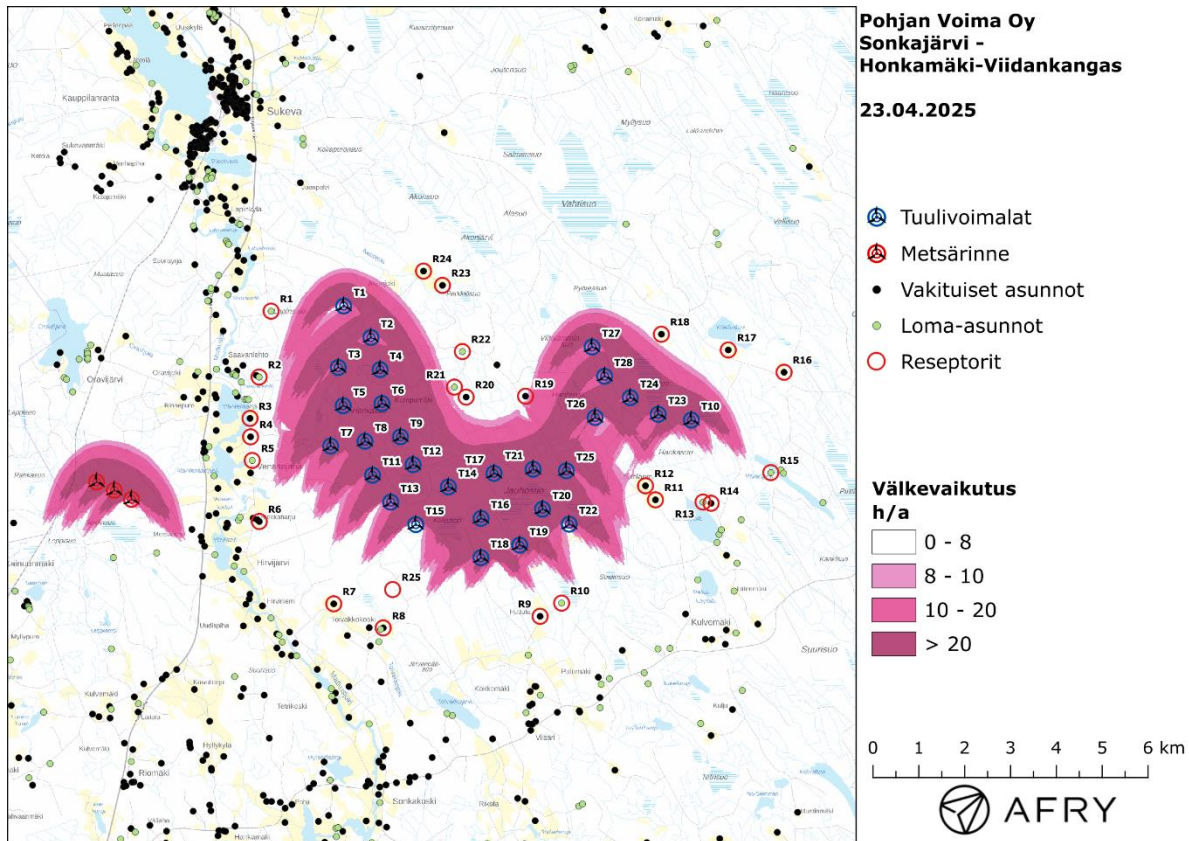
Taulukko 3-10: Metsärinteen (3 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	519002,0	7074202,0	161,5
M2	518627,0	7074400,0	180,7
M3	518242,0	7074580,0	183,2

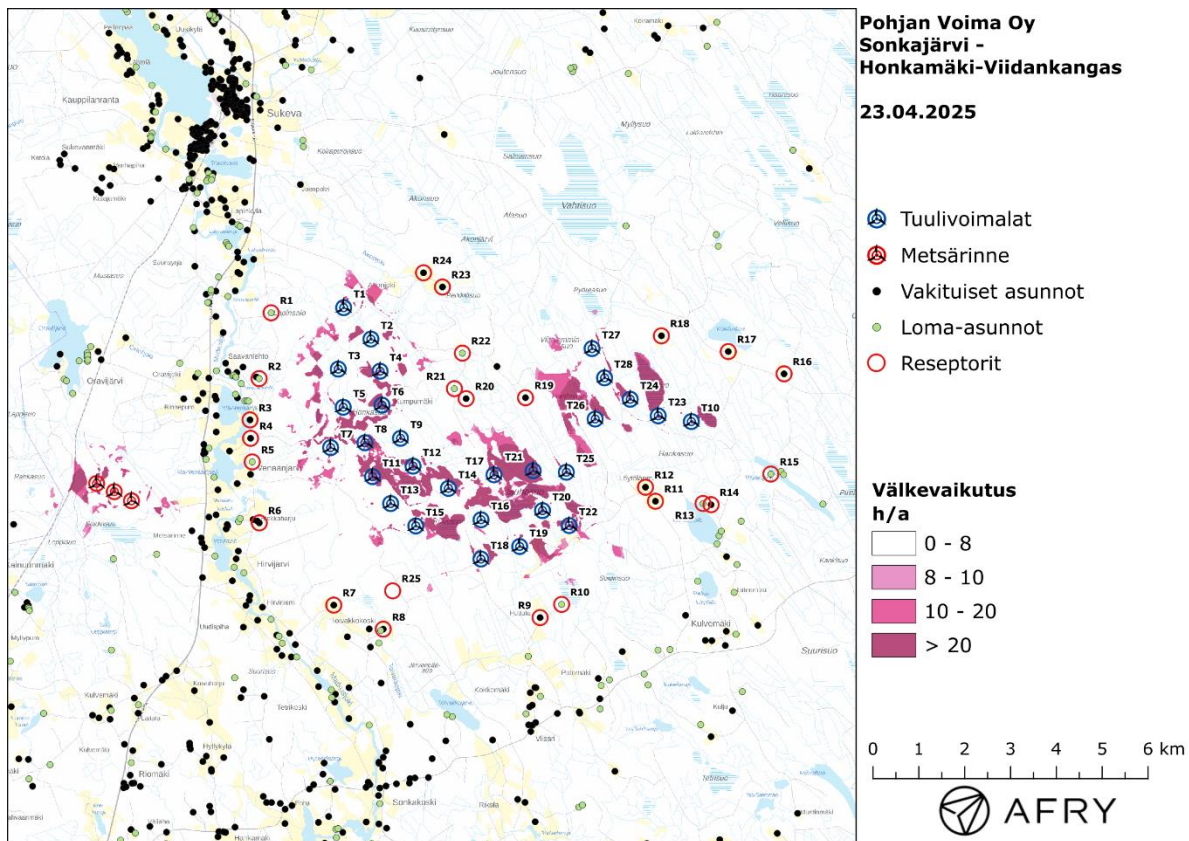


Kuva 3-4: Vääkemallinnuksessa huomioitujen naapurivoimaloiden sijainnit suhteessa Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimaloihin.

Honkamäki-Viidankankaan ja Metsärinteen todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-5) ja vastaava mallinnus puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden on esitetty karttakuvana (Kuva 3-6). Todennäköiset väleajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-11) ja todennäköinen väle puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden on listattu taulukossa (Taulukko 3-12). Mallinnusten perusteella Metsärinteen voimalat eivät aiheuta muutoksia reseptoripisteiden väleaikoihin.



Kuva 3-5: Honkamäki-Viidankankaan ja Metsärinteen tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.



Kuva 3-6: Honkamäki-Viidankankaan ja Metsärinteen tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden.

Taulukko 3-11: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja Metsärinteen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaja	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	2:25	0:05	13:24	0:21
R2	2:50	0:05	13:34	0:18
R3	1:57	0:03	9:20	0:16
R4	2:05	0:05	9:45	0:24
R5	1:41	0:05	7:05	0:19
R6	1:00	0:03	3:43	0:11
R7	1:01	0:02	3:47	0:09
R8	0:00	0:00	0:00	0:00
R9	0:56	0:03	3:48	0:14
R10	1:44	0:04	6:56	0:15
R11	1:18	0:03	6:22	0:14
R12	2:03	0:04	10:29	0:17
R13	0:00	0:00	0:00	0:00
R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	1:01	0:04	3:58	0:14
R16	0:12	0:02	1:20	0:10
R17	1:18	0:03	11:52	0:20
R18	5:15	0:05	36:47	0:31
R19	7:41	0:05	53:41	0:50
R20	4:58	0:05	37:54	0:33
R21	6:17	0:05	42:05	0:27
R22	1:50	0:03	10:53	0:16
R23	0:59	0:02	6:47	0:14
R24	1:21	0:03	10:05	0:16
R25	1:08	0:03	4:31	0:13

Taulukko 3-12: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Honkamäki-Viidankankaan ja Metsärinteen voimalat. Taulukossa on esitetty todennäköisen välkkeen vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	1:56	0:03
R4	1:23	0:04
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	1:01	0:02
R8	0:00	0:00
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	1:18	0:03
R12	2:03	0:04
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	0:00	0:00
R16	0:12	0:02
R17	1:08	0:03
R18	5:15	0:05
R19	2:36	0:04
R20	3:26	0:04
R21	1:06	0:03
R22	0:00	0:00
R23	0:17	0:02
R24	1:21	0:03
R25	0:00	0:00

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Sonkajärven kunnan alueelle suunnitellun Honkamäki-Viidankankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 28 voimalan sijoittelusuunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 190 m ja napakorkeudella 200 m. Todennäköinen välkevaikutus on laskettu sekä ilman puuston välkettä vähentävää vaikutusta että sen kanssa. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Honkamäki-Viidankankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

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

Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin ohjearvon neljän reseptoripisteen kohdalla. Kolmessa näistä reseptoripisteistä ylittyy myös Saksan 30 minuutin ohjearvo teoreettiselle päiväkohtaiselle maksimivälkkeelle. Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmassa 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 maapallolta 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 tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden 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.

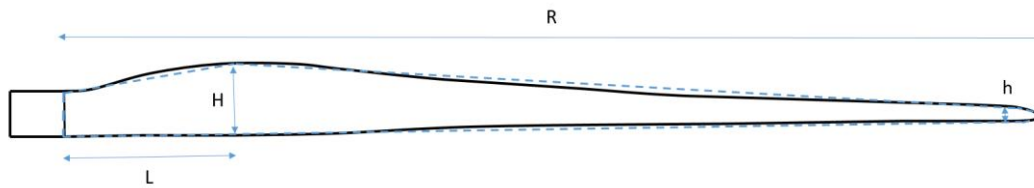
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan 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 tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan 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 5-1) 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 tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan 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 kust-nära 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.
- [5] Luonnonvarakeskus: Monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMi) kartta-aineisto 2021, 2023.