



Vapo Terra Oy

**Pallonevan tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys**

101021740-001, 02.05.2024

Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Mika Laitinen

E-mail  
[mika.laitinen@afry.com](mailto:mika.laitinen@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
001

Asiakas  
Vapo Terra Oy  
Ville Kenttämää

Päivämäärä  
02/05/2024

Projektinumero  
101021740-001

Raportin tila  
VALMIS

## Pallonevan tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laajitus	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	02.05.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	02.05.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

## 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

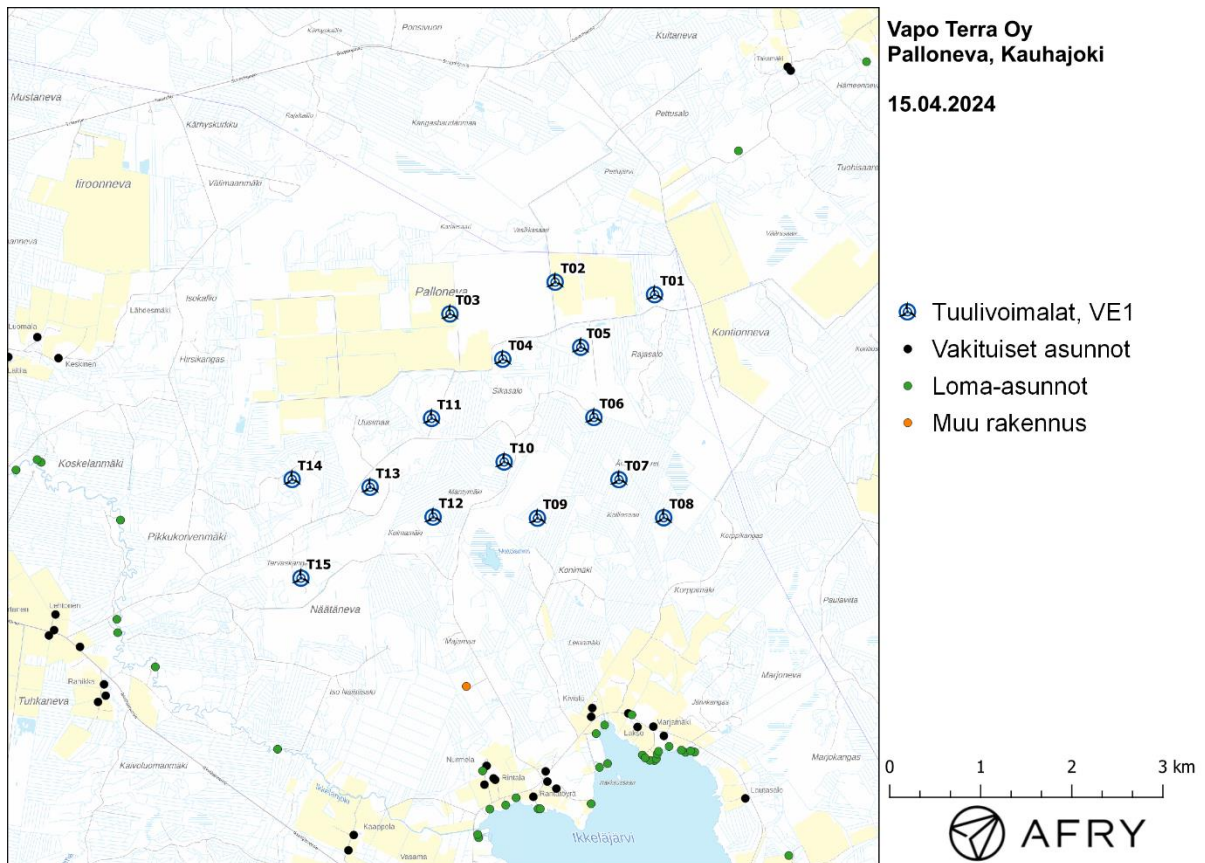
1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot .....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	11
3.1	Keskiaänitasojen LAeq mallinnus .....	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	15
3.3	Melun yhteisvaikutukset .....	17
4	Tuulivoimaloiden välke.....	24
4.1	Välkevaikutus.....	24
4.2	Välkkeen rajoittaminen.....	24
4.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	24
4.4	Ohjearvot .....	25
5	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	26
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	26
5.2	Välkevaikutus.....	28
5.3	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	31
6	Yhteenveto .....	34
7	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	35
8	Viitteet.....	37
9	Melumallinnuksen tiedot.....	38

# 1 Johdanto

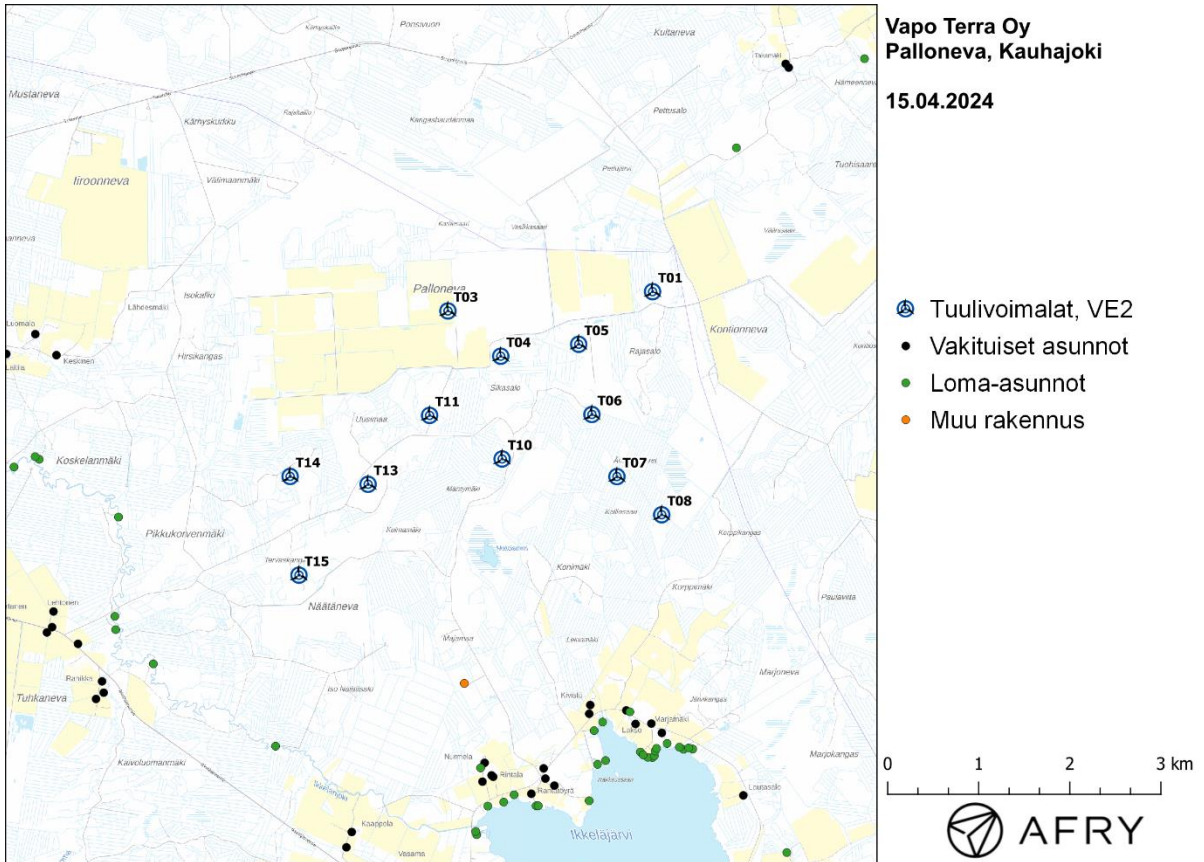
Selvityksessä arvioidaan Kauhajoen kaupungin alueelle suunnitellun Pallonevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa melu- ja välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 15 voimalan suunnitelmalle VE1 ja 12 voimalan suunnitelmalle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Selvityksessä arvioidaan myös Pallonevan voimaloiden melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.

Melumallinnuksissa Pallonevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109 dB(A) (voimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 107 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Voimalatyyppin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Välkemallinnuksissa Pallonevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Pallonevan suunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Pallonevan suunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Pallonevan suunnitelman VE1 tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Suunnitelma VE2 on muuten sama, mutta siitä on poistettu voimalat T02, T09 ja T12.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	272027	6933569	146
T02	270935	6933706	144
T03	269779	6933357	142
T04	270359	6932860	148
T05	271215	6932991	144
T06	271361	6932221	154
T07	271635	6931539	151
T08	272127	6931120	153
T09	270740	6931115	157
T10	270374	6931732	160
T11	269578	6932211	155
T12	269594	6931127	152
T13	268902	6931454	156
T14	268046	6931540	142
T15	268143	6930457	151

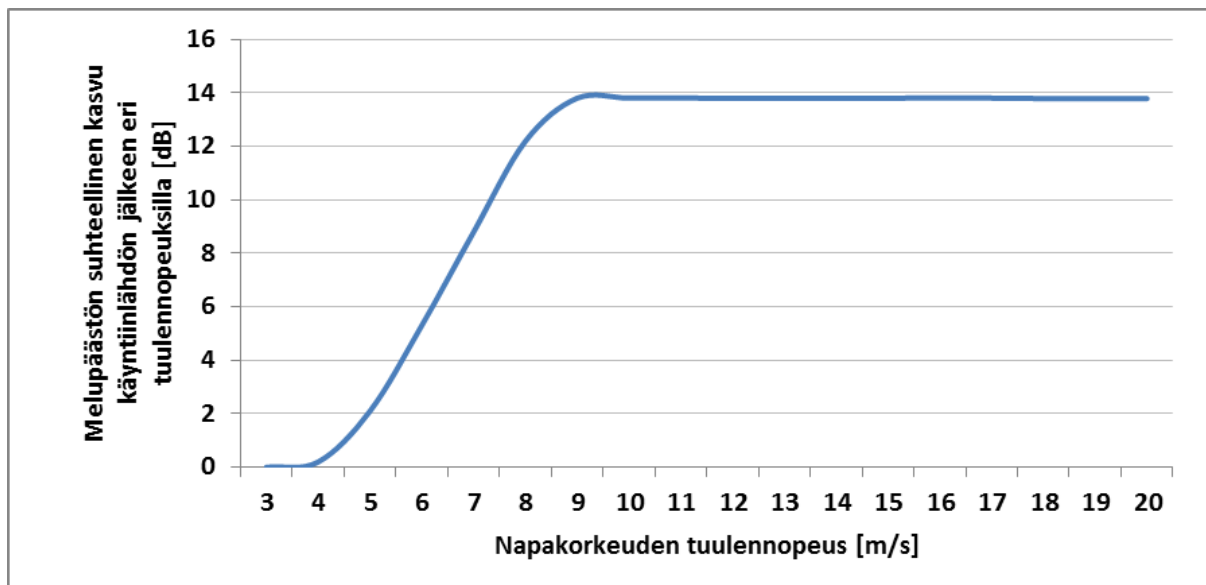
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 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 [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 3).



Kuva 3: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

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

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].



Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulenopeus 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 tuulenopeuden 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 turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

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

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan

tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

## 2.3 Ohjearvot

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

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

*Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.*

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA <sub>eq</sub> päiväajalle (klo 7–22)	LA <sub>eq</sub> yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

*Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.*

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso L <sub>eq,1h</sub> [dB]	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

## 2.4 Sisämelutasojen arviointi

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

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

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20–200 Hz. Artikkelin arvot on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisten sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

## 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

### 3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

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

Dokumentissa esitetyn taajuusjakauman melutaso perustuu standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

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

Voimalatyyppin SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges) äänitehotaso on 107 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

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

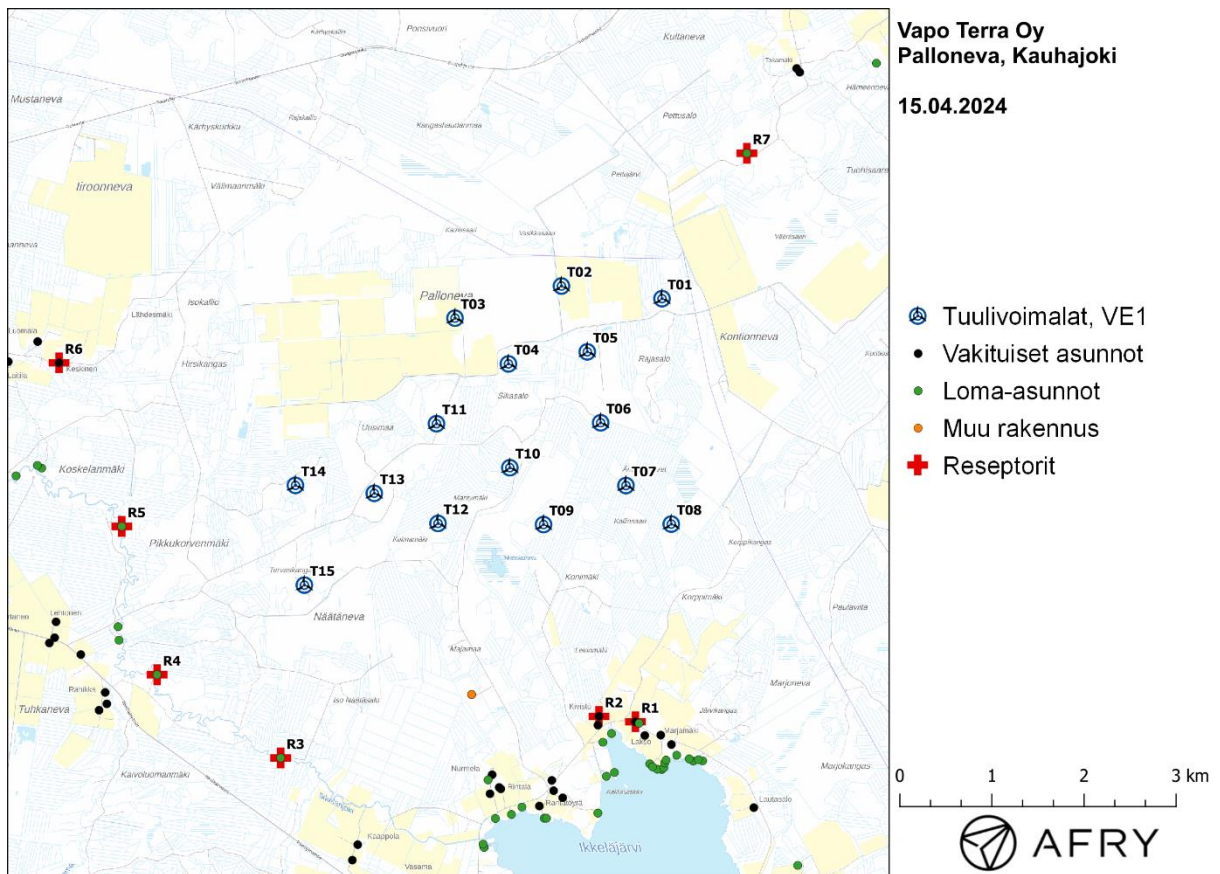
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän 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 9.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä seitsemän vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Reseptorit sijaitsevat 1,8–2,9 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Hankealueen eteläpuolella on Maanmittauslaitoksen maastotietokannassa loma-asunnoksi merkitty rakennus, mutta jolla ei ole Kauhajoen kaupungin rakennusvalvonnalta saadun

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

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

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

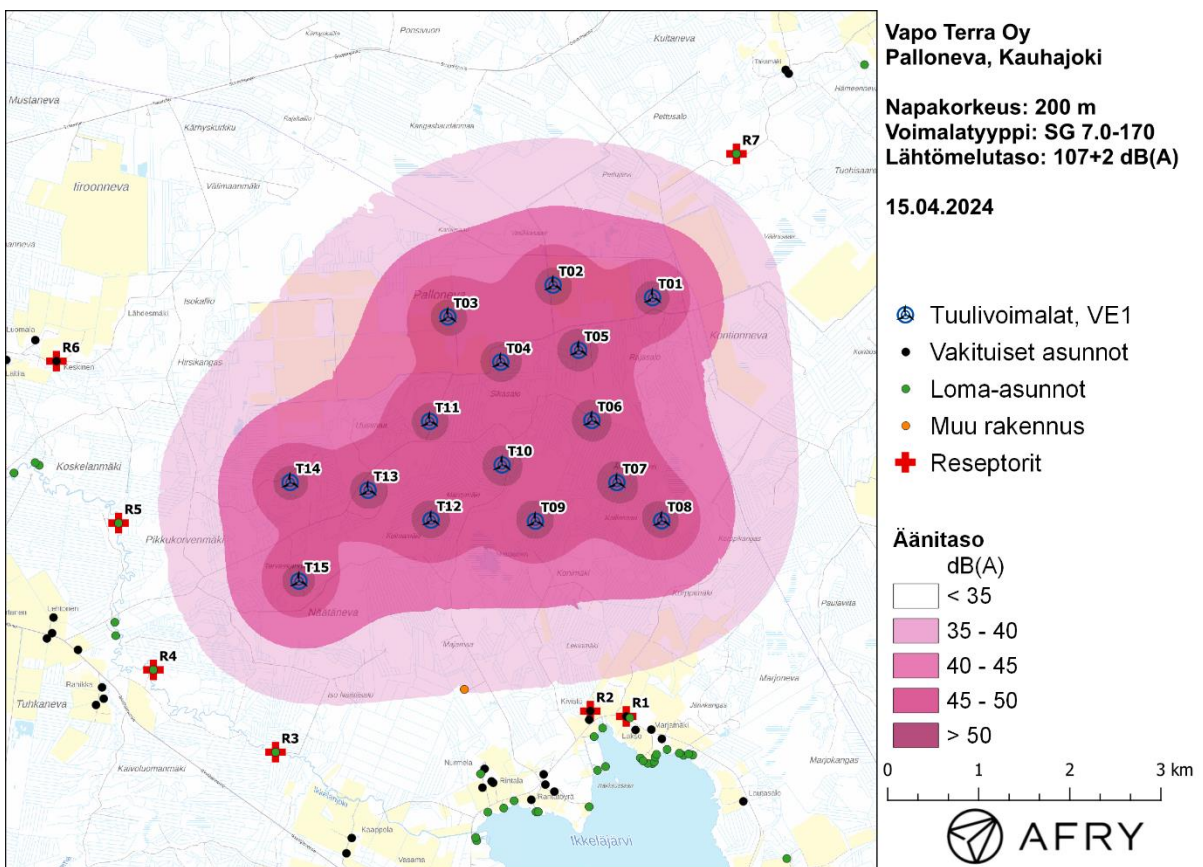


Kuva 4: Reseptorien paikat Pallonevan tuulivoimapaiston ympäristössä.

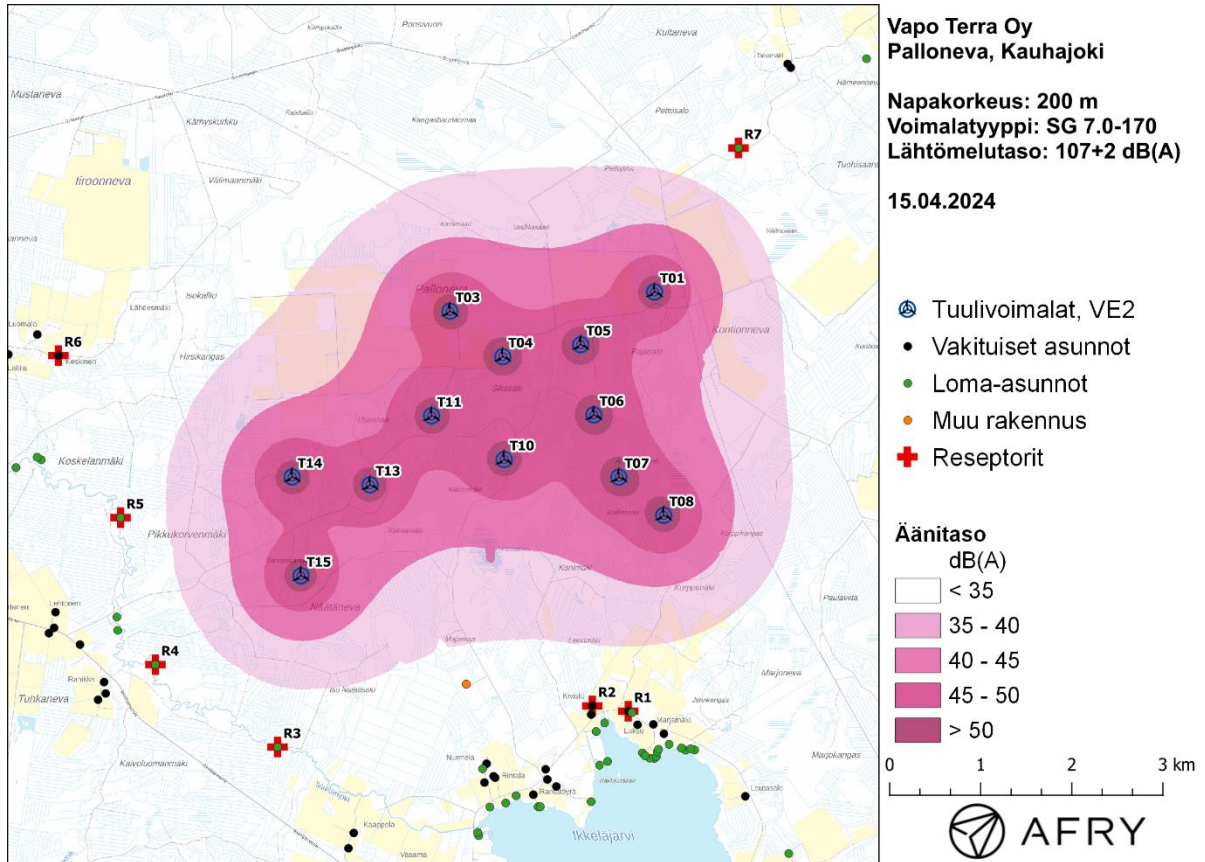
## Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 5 ja Kuva 6). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 35 dB(A), 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla suunnitelmilla VE1 ja VE2 on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnustulosten perusteella melutasot jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Melutasot asuntojen kohdilla eivät ylitä Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvoa.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq Pallonevan tuulivoimapuiston suunnitelmalla VE1.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq Pallonevan tuulivoimapuiston suunnitelmalla VE2.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Suunnitelma VE1 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE2 Äänitaso dB(A)
R1	32,9	31,6
R2	33,4	31,8
R3	31,9	31,1
R4	31,7	31,2
R5	32,4	32,0
R6	28,5	27,9
R7	32,8	31,8

### 3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

#### Meluvaikutus

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

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

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

Taulukko 6: Rakennuksen äänieristävyiden arvoja taajuuskaistoittain.

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

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 7 ja Taulukko 8). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat suunnitelmilla VE1 ja VE2 reseptoriin R2. Tämä asunnon kohdilla laskettuja sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät molemmilla suunnitelmilla toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

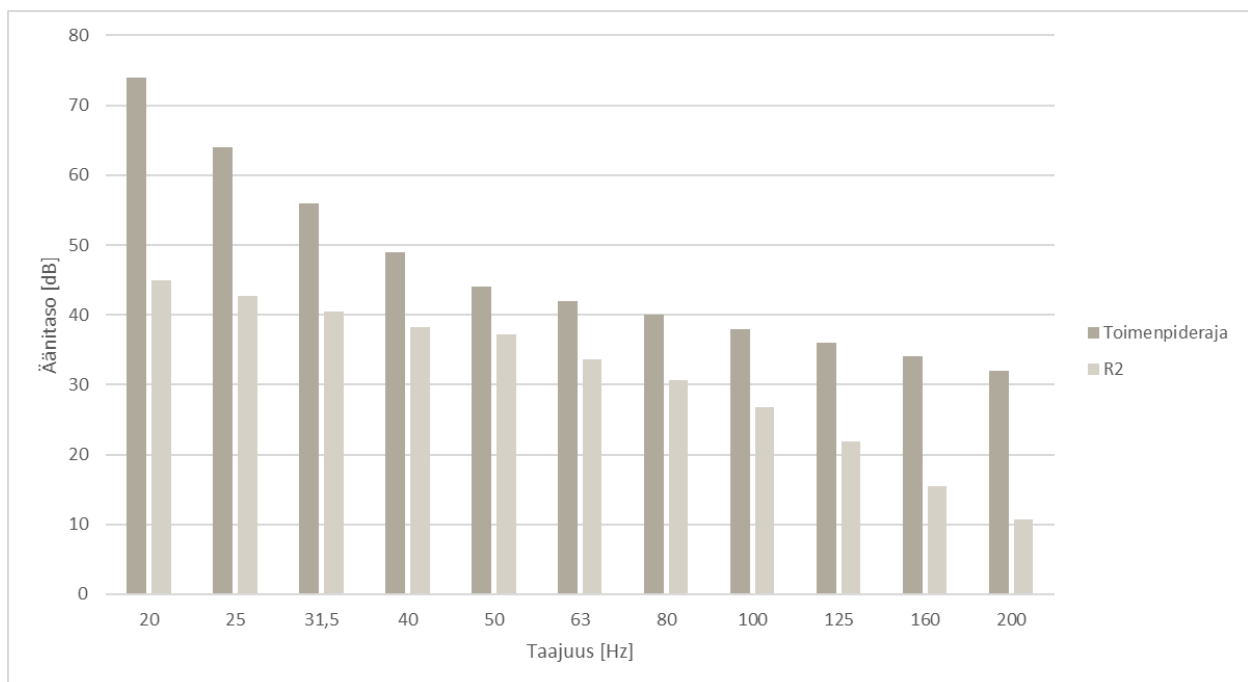


Taulukko 7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE1.

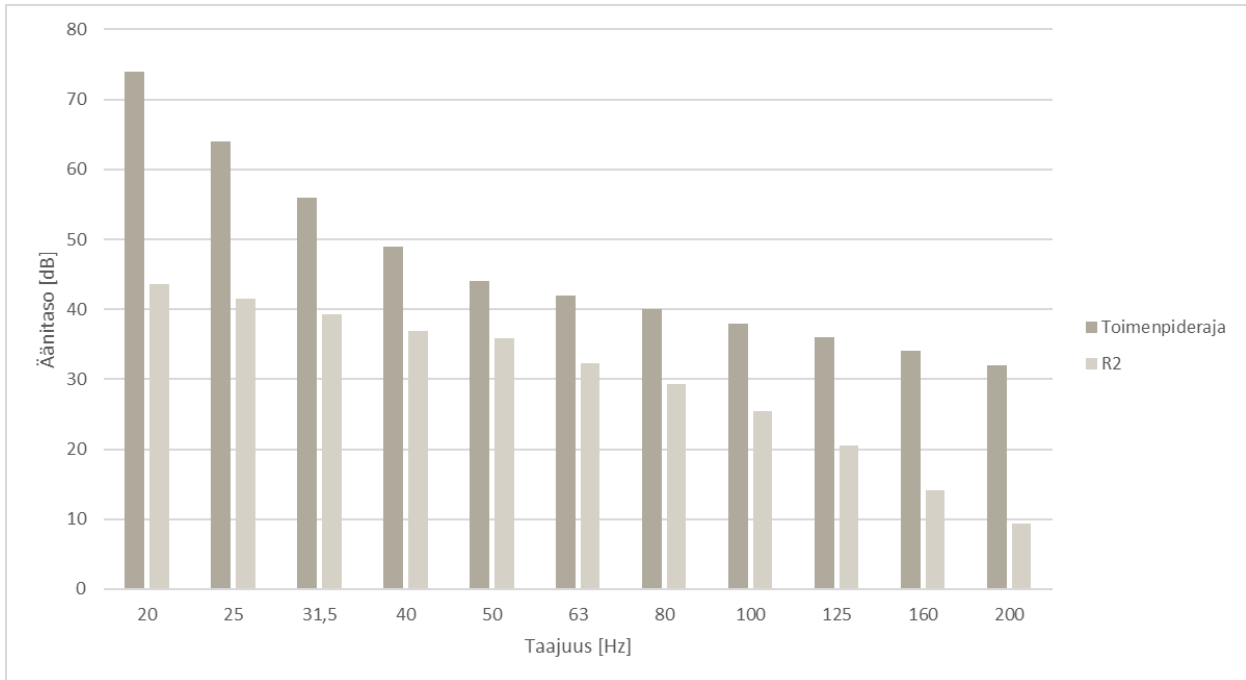
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,1	50,6	49,3	48,1	48,2	46,2	45,1	43,1	40,2	36,1	33,0
R2	52,5	51,1	49,7	48,5	48,7	46,7	45,5	43,6	40,6	36,6	33,6
R3	51,1	49,7	48,4	47,1	47,3	45,3	44,1	42,1	39,1	35,0	31,9
R4	50,9	49,5	48,2	46,9	47,1	45,1	43,9	41,9	38,9	34,9	31,8
R5	51,5	50,1	48,7	47,5	47,6	45,7	44,5	42,5	39,6	35,5	32,5
R6	49,3	47,8	46,5	45,2	45,3	43,3	42,1	40,0	36,9	32,6	29,3
R7	51,7	50,3	48,9	47,7	47,9	45,9	44,7	42,8	39,8	35,8	32,7

Taulukko 8: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE2.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,9	49,4	48,1	46,8	47,0	45,0	43,8	41,9	38,9	34,8	31,7
R2	51,2	49,7	48,4	47,2	47,3	45,4	44,2	42,2	39,3	35,2	32,1
R3	50,2	48,8	47,5	46,2	46,4	44,4	43,2	41,2	38,2	34,2	31,1
R4	50,2	48,8	47,4	46,2	46,4	44,4	43,2	41,2	38,2	34,2	31,1
R5	50,8	49,4	48,1	46,8	47,0	45,0	43,9	41,9	39,0	35,0	31,9
R6	48,5	47,0	45,7	44,4	44,6	42,5	41,3	39,3	36,2	31,9	28,6
R7	50,7	49,3	48,0	46,7	46,9	44,9	43,7	41,8	38,8	34,8	31,7



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R2 kohdalla suunnitelmalla VE1.



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R2 kohdalla suunnitelmalla VE2.

### 3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Pallonevan melun yhteisvaikutuksia lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan Pallonevan lisäksi suunnitteilla olevat tuulivoimapuistot ATP Palloneva Oy:n Palloneva pohjoinen (9 voimalaa) ja Harjanneva VE1 (13 voimalaa) sekä jo toiminnassa olevat tuulivoimapuistot Ponsivuori (7 voimalaa), Rustari (8 voimalaa), Suolakangas (9 voimalaa).

Mallinuksissa voimaloille on käytetty taulukossa (Taulukko 9) lueteltuja napakorkeuksia, voimalatyyppejä ja äänitehotasoja. Mallinuksessa käytetyt tuulivoimaloiden tiedot on saatu hankkeista vastaavilta toimijoilta. Voimalatyyppien melun taajuusjakaumat on saatu seuraavista voimalavalmistajien dokumenteista:

- Acoustic Emission for SG 7.0-170, Rev. 0. Document no. 110000107392\_R00, 2024-03-12.
- Third octave noise emission EnVentusTM V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336\_00. 2022-06-30.
- Acoustic Emission for SG 6.6-170, Rev. 0. Document no. SG-F18.16-TR-00891\_R00, 2022-10-04.
- V150-4.0/4.2 MW Third octave noise emission. Document no. DMS 0067-4767 V05, 2018-15-03.
- Third octave sound power levels Nordex N149/4.0-4.5. Document no. F008\_270a\_A17\_EN Revision 02, 2019-01-15.

Taulukko 9: Melun yhteisvaikutusten mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät voimalatyypit, napakorkeudet ja äänitehotasot. Rustarin voimaloille on käytetty tuulivoimapuiston rakennusluvan melumallinnusten mukaista varmuusarvoa 1,55 dB. Muiden tuulivoimapuistojen voimaloille on käytetty varmuusarvoa 2 dB.

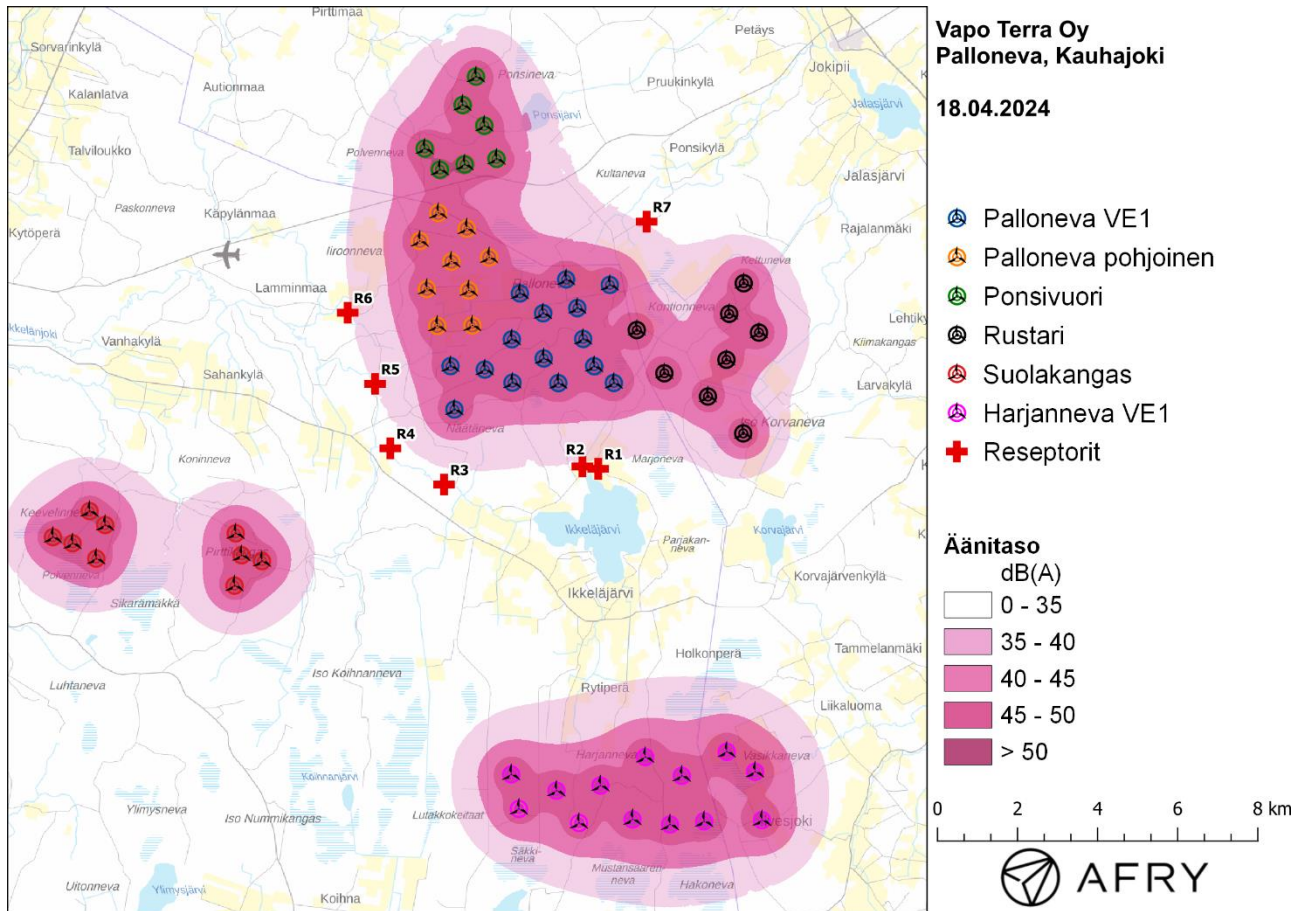
Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Voimalatyyppi	Äänitehotaso [dB(A)]
Palloneva	200	Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 with serrated trailing edges	107,0+2
Palloneva pohjoinen	214	Siemens Gamesa SG 7.0-170 AM 0 with serrated trailing edges	107,0+2
Ponsivuori	135	Nordex N149 4.5MW Mode 0.a with serrated trailing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

Yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq suunnitelmille Pallonevan suunnitelmien VE1 ja VE2 kanssa on esitetty karttakuvina (Kuva 9 ja Kuva 10). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Mallinnustulosten perusteella melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdilla. Pallonevan suunnitelmalla VE1 Reseptorin R5 kohdalla mallinnettu keskiäänitaso on 35,1 dB(A) eli Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvo ylittyy marginaalisesti. Suolakankaan ja Harjannevan voimalat ovat yli 5 km etäisyydellä reseptorista R5, mutta mallinuksissa ne nostavat melutasoa hieman. Kun melu mallinnettiin ilman Suolakankaan ja Harjannevan voimaloita, melutasoksi reseptorin R5 kohdalla saatiin 34,97 dB(A), eli melutaso jää alle 35 dB(A), jos mallinuksista jätetään pois yli 5 km etäisyydellä olevat voimalat. Reseptorimelujen mallinuksissa voi syntyä 0,1 dB(A):n eroja riippuen esimerkiksi tarkkuudesta ja datasta, jolla maaston muodot ja maaston äänivaimennukset mallinnetaan. Melutason ylitys 0,1 dB(A) ei siis ole mallinnustarkkuuden suhteen merkittävä.

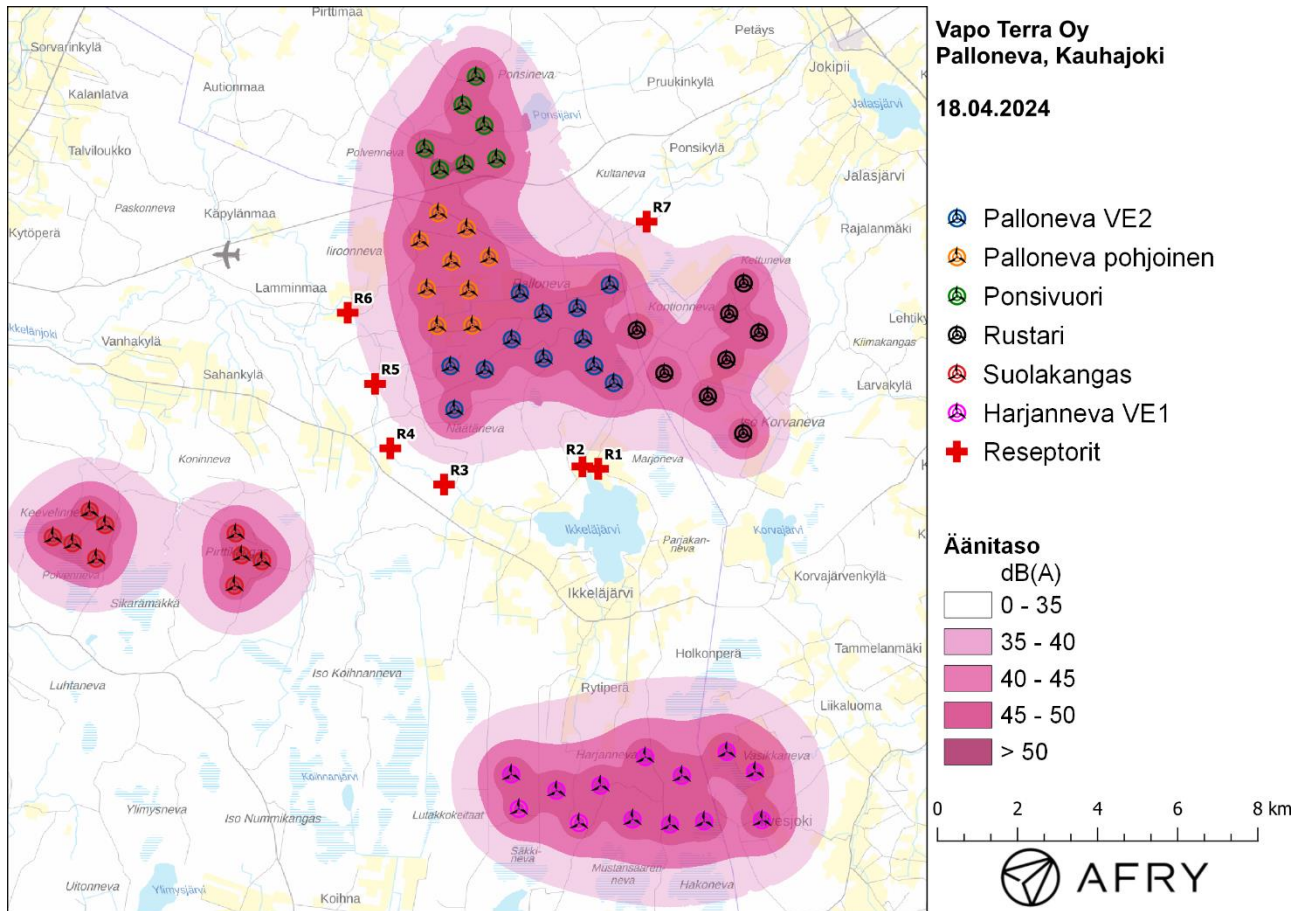
Yhteisvaikutusten matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 11 ja Taulukko 12). Molemmilla Pallonevan suunnitelmilla yhteisvaikutusten korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R5. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin kuvissa (Kuva 11 ja Kuva 12). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, yhteisvaikutusten matalataajuisen sisämelun tasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä Pallonevan suunnitelmilla VE1 ja VE2.

Taulukko 10: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

Reseptori	Palloneva VE1 + lähipuistot Äänitaso dB(A)	Palloneva VE2 + lähipuistot Äänitaso dB(A)
R1	34,3	33,3
R2	34,6	33,4
R3	33,3	32,7
R4	33,4	33,1
R5	35,1	34,9
R6	34,6	34,5
R7	34,8	34,2



Kuva 9: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE1, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.



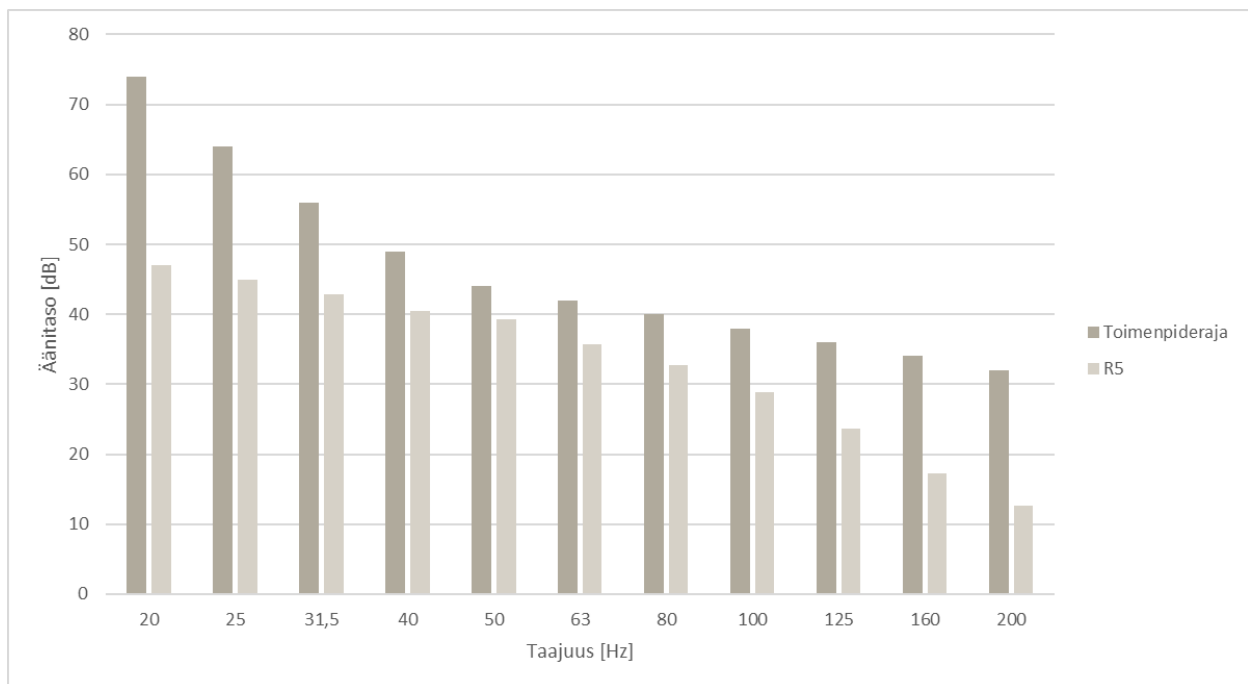
Kuva 10: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE2, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

Taulukko 11: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE1, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

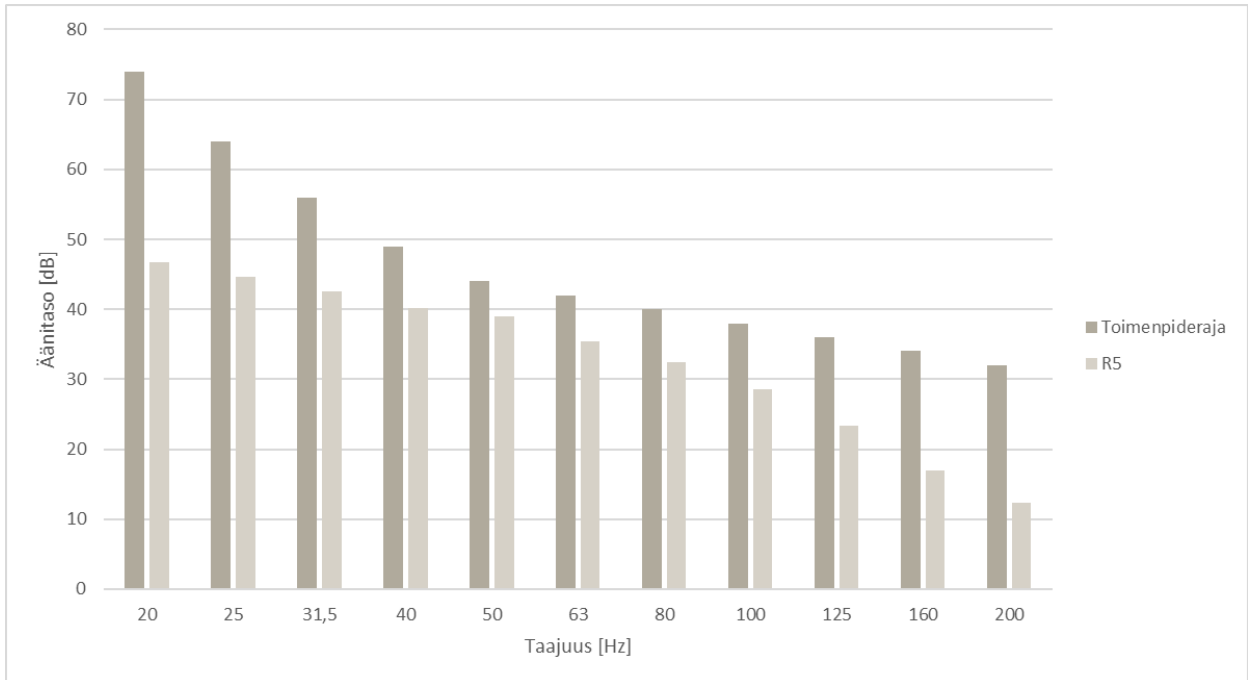
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,3	52,9	51,7	50,4	50,3	48,3	46,9	44,9	41,8	37,6	34,7
R2	54,5	53,1	51,9	50,6	50,5	48,6	47,2	45,2	42,1	38,0	35,0
R3	53,4	52,0	50,8	49,5	49,5	47,5	46,1	44,2	41,0	36,8	33,7
R4	53,6	52,1	50,9	49,6	49,6	47,6	46,2	44,3	41,2	37,0	33,9
R5	54,7	53,2	52,0	50,7	50,8	48,8	47,5	45,6	42,5	38,4	35,4
R6	54,3	52,9	51,7	50,4	50,5	48,4	47,1	45,3	42,0	37,9	34,8
R7	54,5	53,1	52,0	50,6	50,5	48,4	47,0	45,1	41,8	37,7	34,8

Taulukko 12: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE2, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,6	52,2	51,0	49,8	49,5	47,6	46,1	44,1	41,0	36,8	33,8
R2	53,7	52,3	51,1	49,9	49,7	47,8	46,3	44,3	41,2	37,0	34,0
R3	52,9	51,5	50,3	49,0	48,9	47,0	45,6	43,6	40,5	36,3	33,1
R4	53,2	51,7	50,5	49,2	49,2	47,2	45,9	43,9	40,8	36,6	33,5
R5	54,4	52,9	51,7	50,4	50,5	48,5	47,2	45,3	42,2	38,1	35,1
R6	54,1	52,6	51,5	50,2	50,2	48,1	46,8	45,1	41,8	37,7	34,6
R7	54,1	52,6	51,5	50,2	50,0	47,9	46,4	44,6	41,2	37,1	34,2



Kuva 11: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R5 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE1, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.



Kuva 12: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R5 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE2, Palloneva pohjoinen, Ponsivuori, Rustari, Suolakangas ja Harjanneva VE1.



## 4 Tuulivoimaloiden välke

### 4.1 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 ilta-ajat). 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.

### 4.2 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 kellon-aikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

### 4.3 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 Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 50 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.

#### 4.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [8]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi korkeintaan 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen väлкеajan suositusarvo on korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä [19]. Teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot Saksassa ovat 30 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä.

## 5 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

### 5.1 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 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, 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 ihmissilmän 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 väkelaskennan 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 väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa Pallonevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lavan leveysprofiili on mallinnettu voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 lavasta: roottorin halkaisija on skaalattu 170 metristä 200 metriin ja samalla lapa on skaalattu 5 % leveämmäksi. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätötila (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 voimaloiden 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 [20] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn voimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa voimalat 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 voimalan käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 13).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [21]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 14). Suunta-kohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioon-ottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

*Taulukko 13: 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	0,181	0,209	0,167	0,128	0,119	0,135

*Taulukko 14: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.*

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

## 5.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten väkjetuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 13 ja Kuva 14). 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.

Taulukoissa (Taulukko 15 ja Taulukko 16) on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana. Suunnitelman VE1 välkevaikutus ulottuu laajemmalle kuin suunnitelman VE2, mutta asutuksen kohdalla molempien suunnitelmien välkevaikutus on sama.

Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Myös todennäköisen väkkeen suurin päiväkohtainen määrä jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien reseptoreiden kohdilla.

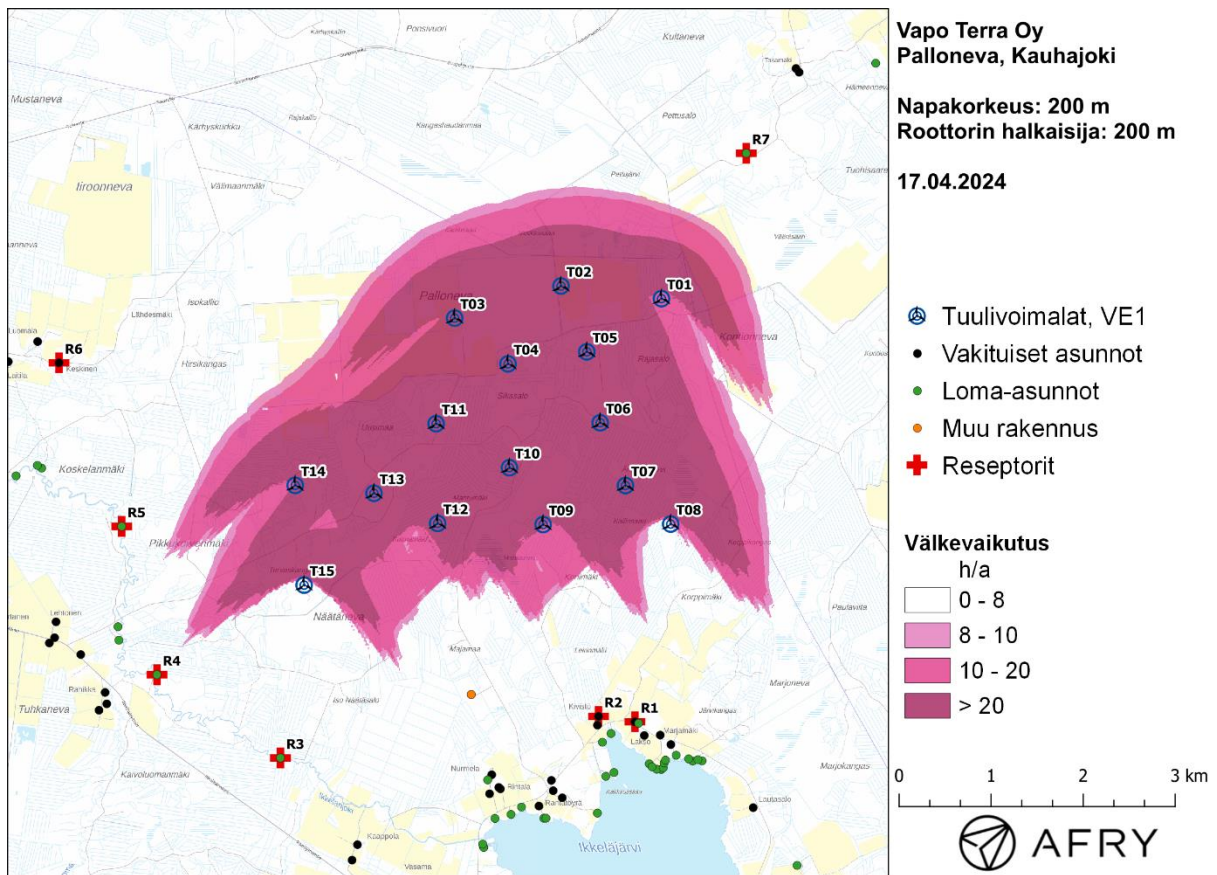
Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptorin R4 kohdalla olevaan asuntoon. Todennäköisen väkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 17). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

*Taulukko 15: Välkeajat tunteina ([h:min]) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE1. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.*

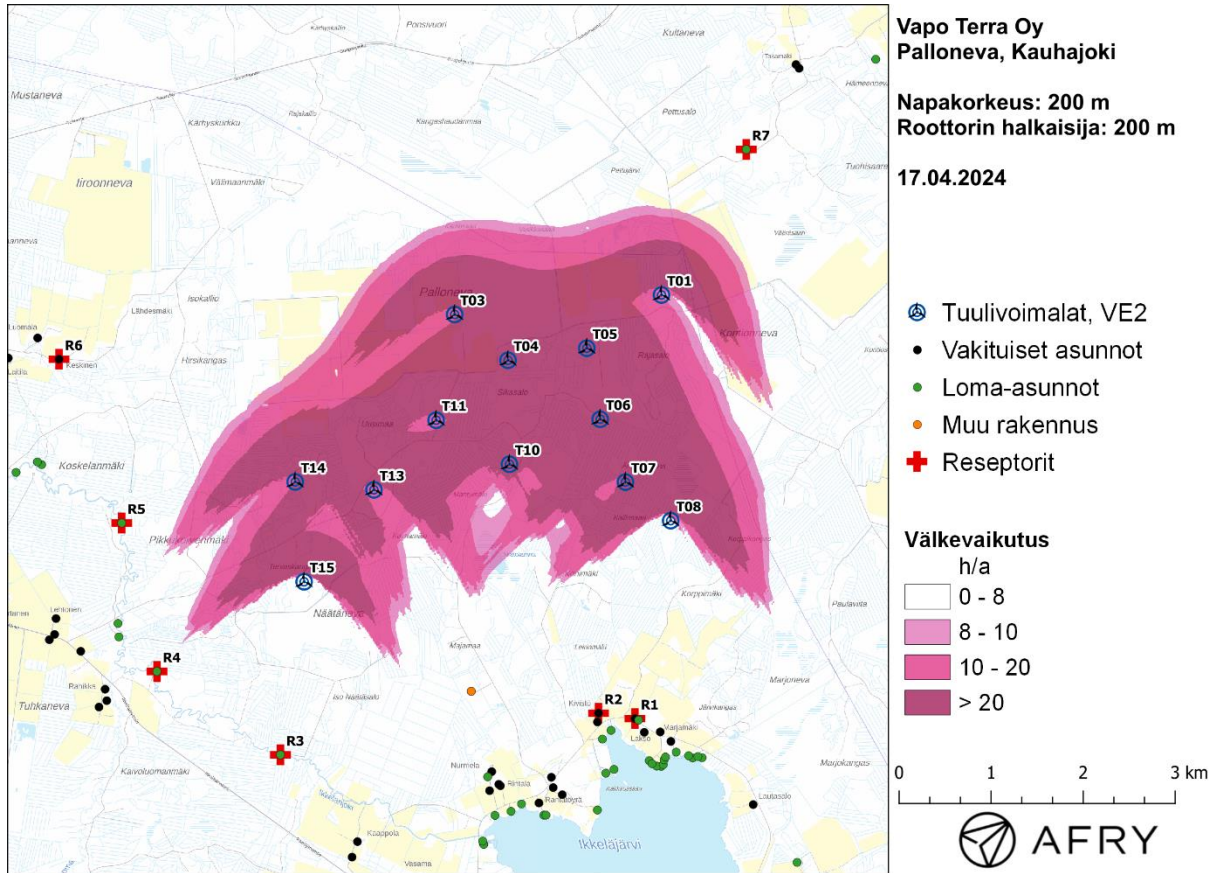
Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:07	0:06	11:02	0:23
R5	1:37	0:05	6:44	0:15
R6	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	0:45	0:02	7:27	0:18

Taulukko 16: Välkeajat tunteina ([h:min]) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE2. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja 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	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:07	0:06	11:02	0:23
R5	1:37	0:05	6:44	0:15
R6	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	0:45	0:02	7:27	0:18



Kuva 13: Suunnitelman VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.



Kuva 14: Suunnitelman VE2 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 17: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R4 kohdalla. Välkevaikutus on sama suunnitelmissa VE1 ja VE2.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	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
Maaliskuu	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
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	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Kesäkuu	0:00	0:00	1:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:41
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	0:00	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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	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
Marraskuu	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
Joulukuu	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
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>3:07</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>3:07</b>

### 5.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Pallonevan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan suunnitteilla oleva ATP Palloneva Oy:n Palloneva pohjoisen tuulivoimapuisto sekä jo toiminnassa olevat Rustarin, Ponsivuoren ja Suolakankaan tuulivoimapuistot. Välkemallinnuksissa käytetään taulukossa (Taulukko 18) lueteltuja napakorkeuksia, roottorin halkaisijoita ja voimalatyyppejä. Voimaloiden lapaprofiileja on arvioitu voimalavalmistajien toimittamien tietojen perusteella.

*Taulukko 18: Välkkeen yhteisvaikutusten mallinnuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja voimalatyyppit.*

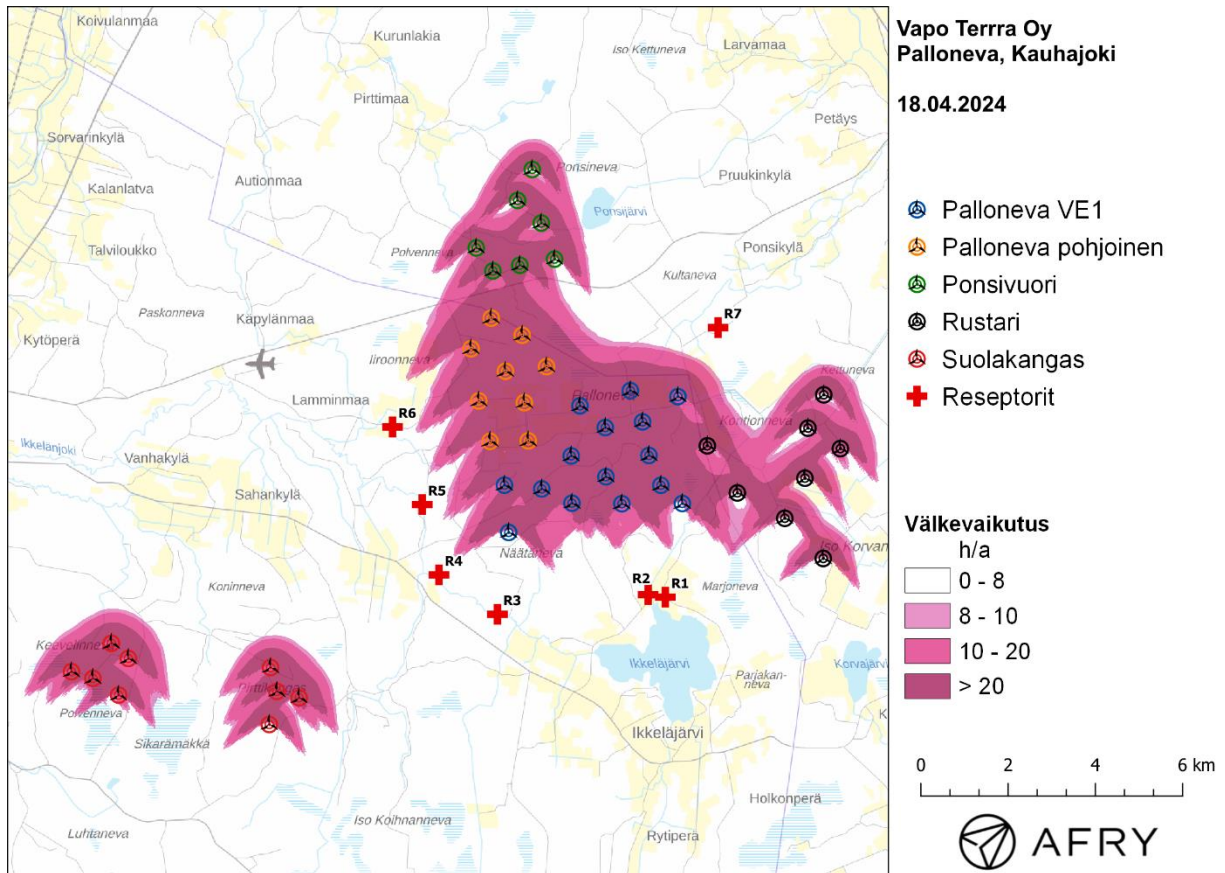
Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Voimalatyyppi
Palloneva	200	200	skaalattu voimalatyyppistä SG 7.0-170
Palloneva pohjoinen	214	200	skaalattu voimalatyyppistä SG 7.0-170
Ponsivuori	135	149	Nordex N149 4.5MW
Rustari	151	158	GE158 5.5MW
Suolakangas	155	150	Vestas V150-4.2MW

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnukset Pallonevan suunnitelmille VE1 ja VE2 on esitetty karttakuvina (Kuva 15 ja Kuva 16). Todennäköiset välkeajat ja teoreettisen maksivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 19). Reseptoreiden kohdilla välkkeen yhteisvaikutukset ovat samat suunnitelmille VE1 ja VE2. Mallinnusten perusteella yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä. Reseptoreiden kohdilla Pallonevan lähelle suunnitellut tai rakennetut tuulivoimapuistot aiheuttavat välkettä vain reseptoriin R6, johon taas Pallonevan voimalat eivät aiheuta välkettä. Reseptoreiden kohdilla ei siis esiinny välkkeen yhteisvaikutuksia.

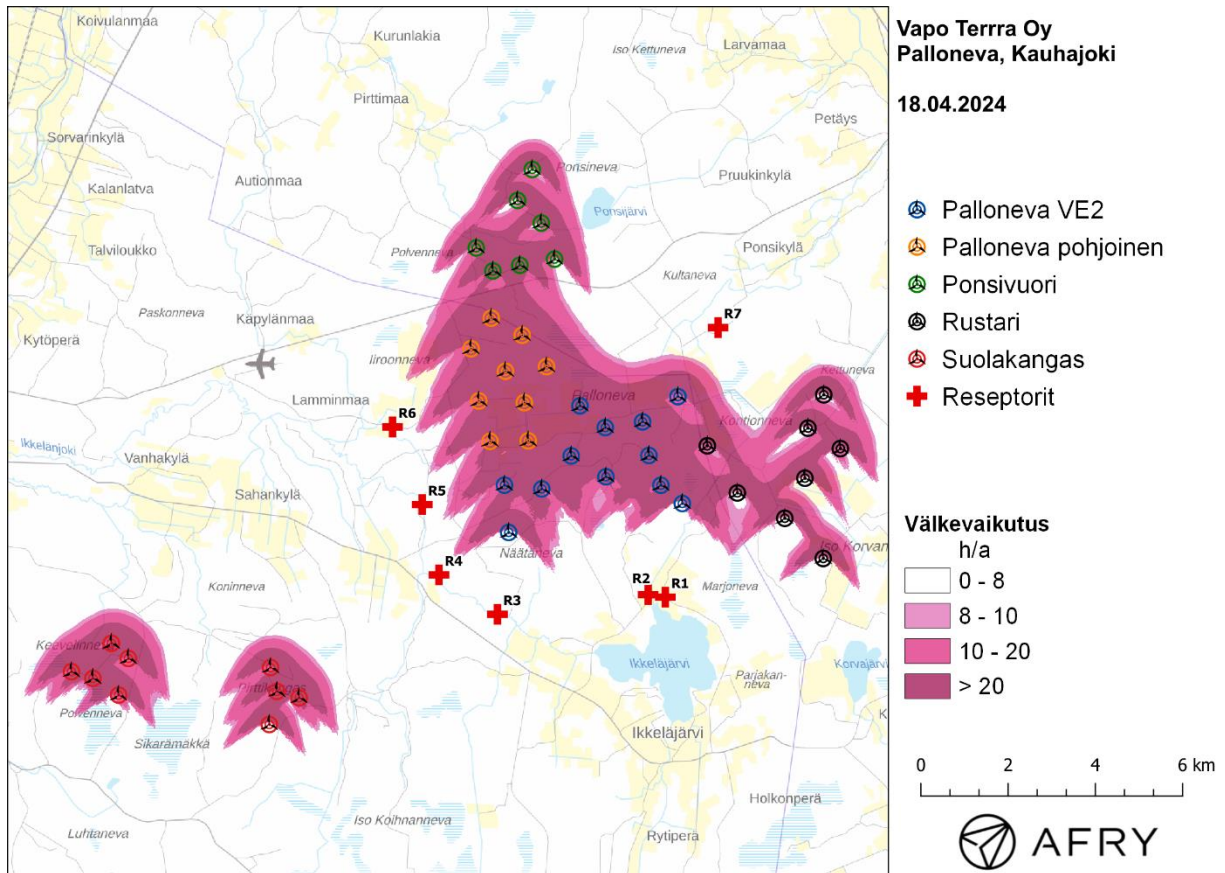
*Taulukko 19: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinnuksissa huomioidaan tuulivoimapuistot Palloneva VE1, Palloneva pohjoinen, Rustari, Ponsivuori ja Suolakangas. Reseptoreiden kohdilla välkkeen yhteisvaikutukset ovat samat Pallonevan suunnitelmille VE1 ja VE2. Taulukossa on esitetty vuotuinen 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	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:07	0:06	11:02	0:23
R5	1:37	0:05	6:44	0:15
R6	1:24	0:04	5:34	0:13
R7	0:45	0:02	7:27	0:18





Kuva 15: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE1, Palloneva pohjoinen, Rustari, Ponsivuori ja Suolakangas.



Kuva 16: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva VE2, Palloneva pohjoinen, Rustari, Ponsivuori ja Suolakangas.

## 6 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Kauhajoen kaupungin alueelle suunnitellun Pallonevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman ympäristölleen melu- ja välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Vaikutusten arviot on tehty 15 voimalan suunnitelmalle VE1 ja 12 voimalan suunnitelmalle VE2. Selvityksessä on arvioitu myös melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia Pallonevan lähelle suunniteltujen tai rakennettujen tuulivoimapuistojen kanssa.

Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen suunnitelmilla VE1 ja VE2. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella molemmilla suunnitelmilla. Melutasot asutuksen kohdalla eivät ylitä Kauhajoen kaupungin asettamaa 35 dB(A):n ohjearvoa.

Mallinnusten mukaan Pallonevan voimaloiden välkevaikutus on vähäinen. Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Todennäköinen välkevaikutus jää selvästi alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen Pallonevan suunnitelmilla VE1 ja VE2. Myös teoreettinen maksimivälke jää alle Saksan raja-arvojen molemmilla Pallonevan suunnitelmilla.

Lähelle suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu Pallonevan voimaloiden kanssa jonkin verran melun yhteisvaikutuksia, mutta meluvaikutukset pysyvät valtioneuvoston ohjearvoissa ja asumisterveysasetuksen toimenpiderajoissa myös, kun yhteisvaikutukset huomioidaan. Yhteisvaikutusten mallinuksissa keskiäänitaso nousi yhden asunnon kohdalla arvoon 35,1 dB(A), eli Kauhajoen kaupungin 35 dB(A):n ohjearvo ylittyi marginaalisesti. Pallonevan voimaloilla ei ole merkittäviä välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen tai rakennettujen tuulivoimapuistojen kanssa. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.

## 7 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 tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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.

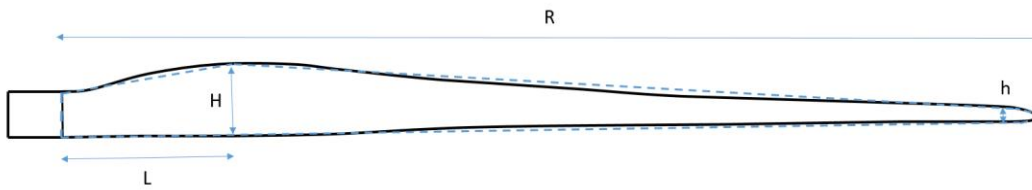
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 17) on esitetty yksinkertaistettu 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 voimalan lavan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 17: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa 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 väkelaskennassa huomioidaan tarkemmin voimalan muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

## 8 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.
- [19] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [20] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [21] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.

## 9 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>02.05.2024</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>AFRY Finland Oy</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Erkki Heikkola</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Siemens Gamesa</b>				Tyyppi: <b>SG 7.0-170 AM 0 (with serrated trailing edges)</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>7,0 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>170 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	<b>Ei tiedossa</b>	Ei	<b>Ei tiedossa</b>			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Acoustic Emission for SG 7.0-170, Rev. 0. Document no. 110000107392_R00, 2024-03-12.							
Alla oleviin arvoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Melupäästötiedot: (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	65,8	200	94,5	2000	99,4
63	91,9	25	70,2	250	95,3	2500	97,9
125	97,9	31,5	74,4	315	96,5	3150	96,1
250	100,3	40	78,4	400	95,3	4000	94,1
500	100,5	50	83,2	500	94,8	5000	90,1
1000	102,9	63	85,8	630	96,8	6300	83,9
2000	103,5	80	89,2	800	96,6	8000	77,2
4000	98,8	100	91,5	1000	98,4	10000	72,8
8000	85,0	125	93,1	1250	99,0		
		160	94,4	1600	98,8		

Melun erityispiirteiden mittausta ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
<b>4 m</b>						<b>10 m x 10 m</b>					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
<b>70 %</b>						<b>15 C°</b>					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>						Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>			Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
<b>ISO 9613-2</b>											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
<b>Neutraali</b>											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
<b>Vapaa avaruus</b>											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>						Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella suunnitelmalla VE1:											
<b>Hz</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>
R1	52,1	50,6	49,3	48,1	48,2	46,2	45,1	43,1	40,2	36,1	33,0
R2	52,5	51,1	49,7	48,5	48,7	46,7	45,5	43,6	40,6	36,6	33,6
R3	51,1	49,7	48,4	47,1	47,3	45,3	44,1	42,1	39,1	35,0	31,9
R4	50,9	49,5	48,2	46,9	47,1	45,1	43,9	41,9	38,9	34,9	31,8
R5	51,5	50,1	48,7	47,5	47,6	45,7	44,5	42,5	39,6	35,5	32,5
R6	49,3	47,8	46,5	45,2	45,3	43,3	42,1	40,0	36,9	32,6	29,3
R7	51,7	50,3	48,9	47,7	47,9	45,9	44,7	42,8	39,8	35,8	32,7



Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella suunnitelmalla VE2:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,9	49,4	48,1	46,8	47,0	45,0	43,8	41,9	38,9	34,8	31,7
R2	51,2	49,7	48,4	47,2	47,3	45,4	44,2	42,2	39,3	35,2	32,1
R3	50,2	48,8	47,5	46,2	46,4	44,4	43,2	41,2	38,2	34,2	31,1
R4	50,2	48,8	47,4	46,2	46,4	44,4	43,2	41,2	38,2	34,2	31,1
R5	50,8	49,4	48,1	46,8	47,0	45,0	43,9	41,9	39,0	35,0	31,9
R6	48,5	47,0	45,7	44,4	44,6	42,5	41,3	39,3	36,2	31,9	28,6
R7	50,7	49,3	48,0	46,7	46,9	44,9	43,7	41,8	38,8	34,8	31,7