

# Kairinevan tuulivoimapuiston melu- ja välkesselvitys

LIITE 9

Neova Oy

**FCG Finnish Consulting Group Oy**

27.11.2023

P44728



Neova Oy

**Kairinevan tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys**

101021740-002

Tekijä  
Mika Laitinen

pvm  
09/11/2023

Osasto  
Wind and Solar Finland

Projektinnumero  
101021740-002

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

Raporttiversio  
001

Raportin tila  
VALMIS

Asiakas

Neova Oy  
Joni Vainio

## Kairinevan tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	09.11.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	09.11.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen, Ilmatieteen laitoksen ja Luonnonvarakeskuksen 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

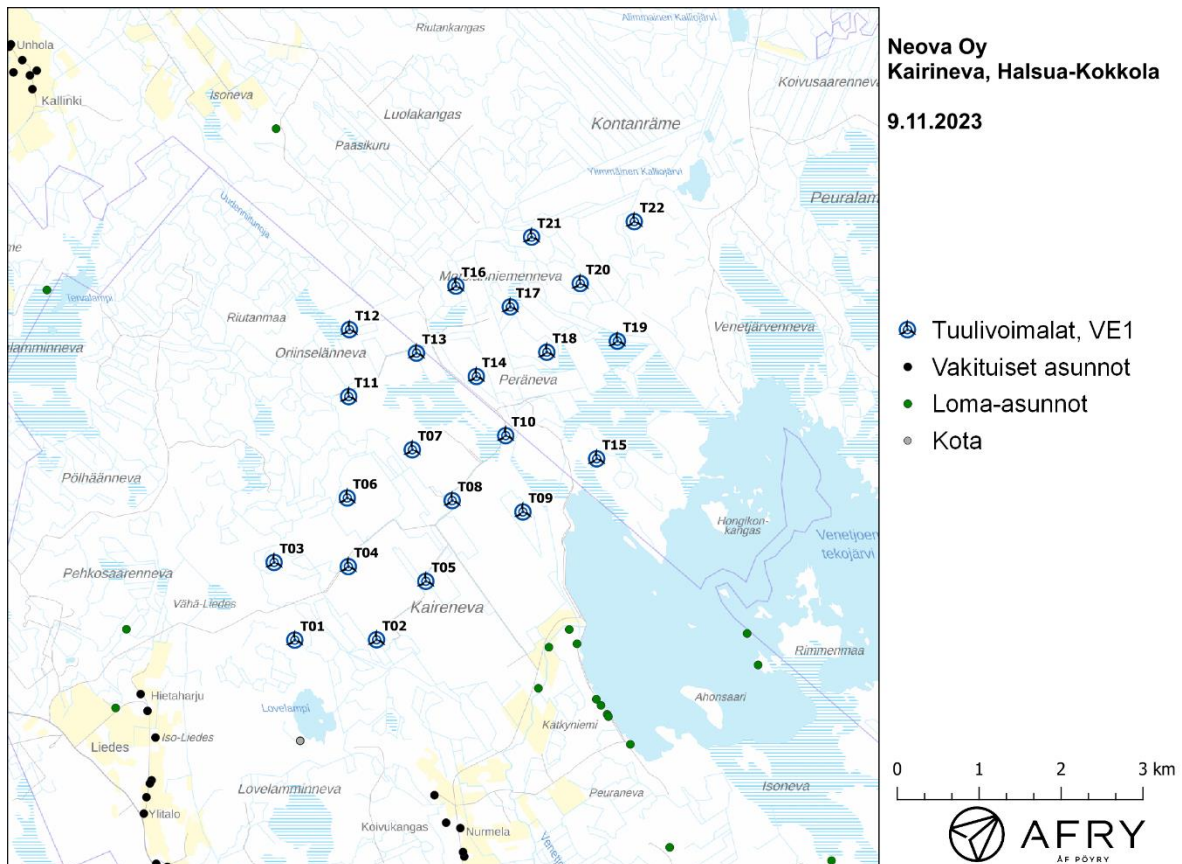
1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	8
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	8
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	9
2.3	Ohjearvot .....	10
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	12
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	12
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	16
3.3	Melun yhteisvaikutukset .....	19
4	Tuulivoimaloiden välke .....	23
4.1	Välkevaikutus.....	23
4.2	Välkkeen rajoittaminen.....	23
4.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	23
4.4	Ohjearvot .....	24
5	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	25
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	25
5.2	Välkevaikutus.....	27
5.3	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	30
6	Yhteenveto .....	32
7	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	33
8	Viitteet.....	35
9	Melumallinnuksen tiedot.....	36

# 1 Johdanto

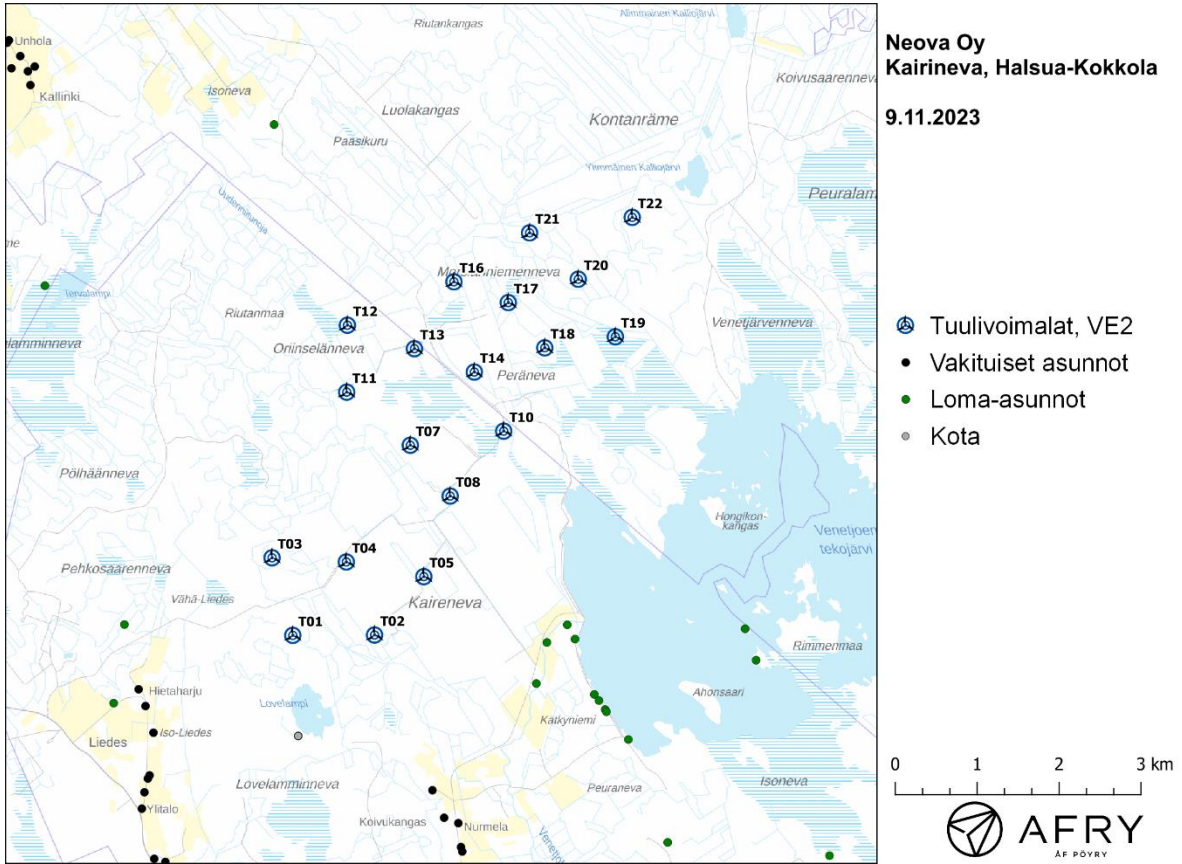
Selvityksessä arvioidaan Halsuan kunnan ja Kokkolan kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa melu- ja välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 22 voimalan suunnitelmalle VE1 ja 19 voimalan suunnitelmalle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1 ja Taulukko 2). Selvityksessä arvioidaan myös Kairinevan voimaloiden melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Tuohimaa-Riutanmaan ja Länsi-Toholammin tuulivoimapuistojen kanssa.

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

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



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kairinevan suunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Kairinevan suunnitelmalla VE2.

*Taulukko 1: Kairinevan suunnitelman VE1 tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	357041	7047391	139
T02	358039	7047395	132
T03	356788	7048337	140
T04	357694	7048286	133
T05	358640	7048107	131
T06	357681	7049122	133
T07	358475	7049710	138
T08	358962	7049090	134
T09	359825	7048952	138
T10	359615	7049882	134
T11	357699	7050357	134
T12	357708	7051174	132
T13	358526	7050887	133
T14	359257	7050603	137
T15	360725	7049600	136
T16	359008	7051703	136
T17	359671	7051450	138
T18	360116	7050898	138
T19	360978	7051033	137
T20	360525	7051735	140
T21	359931	7052300	140
T22	361184	7052489	145



*Taulukko 2: Kairinevan suunnitelman VE2 tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Suunnitelma VE2 on muuten sama kuin VE1, mutta suunnitelmasta VE2 on poistettu voimalat T06, T09 ja T15.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	357041	7047391	139
T02	358039	7047395	132
T03	356788	7048337	140
T04	357694	7048286	133
T05	358640	7048107	131
T07	358475	7049710	138
T08	358962	7049090	134
T10	359615	7049882	134
T11	357699	7050357	134
T12	357708	7051174	132
T13	358526	7050887	133
T14	359257	7050603	137
T16	359008	7051703	136
T17	359671	7051450	138
T18	360116	7050898	138
T19	360978	7051033	137
T20	360525	7051735	140
T21	359931	7052300	140
T22	361184	7052489	145

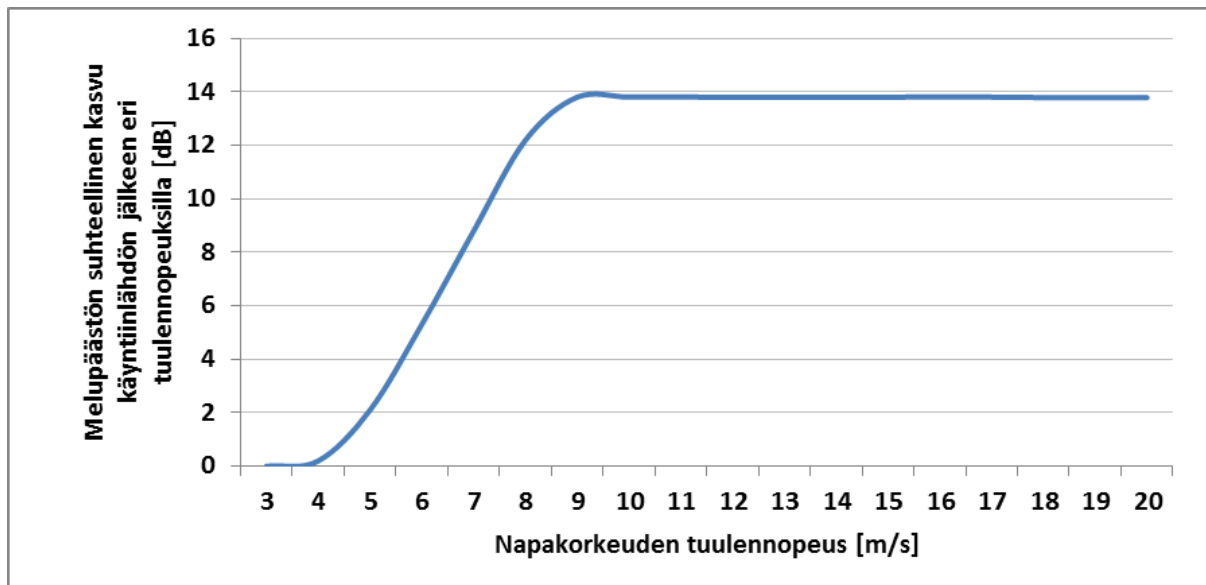
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen 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 ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

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

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

## 2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

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

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen 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 ilmankäytön absorptio 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 terssikaistoitain, 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 3).

*Taulukko 3: 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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoitain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 4). 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 4: Asumisterveysasetuksen ylärajat 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

## 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

### 3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnohjelmissä. Mallinnuksessa on käytetty voimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakauma. Taajuusjakauma on saatu seuraavasta voimalavalmistajan dokumentista:

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa esitetyn taajuusjakauman melutaso perustuu standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Ilmoitettuun melutasoon on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

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

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

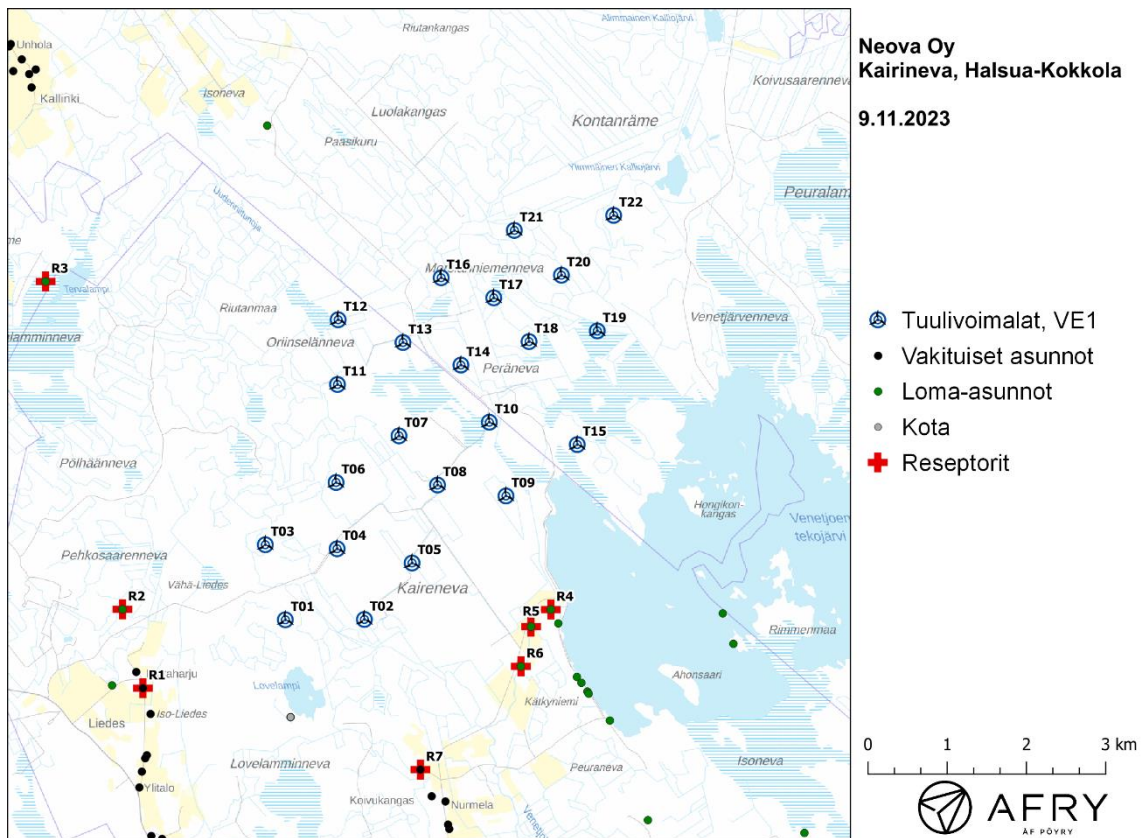
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 9 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. Mallinnohjeistuksen 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 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä seitsemän rakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Kiinteistöt sijaitsevat noin 1,5–3,7 km etäisyydellä lähimmästä voimaloista. Tuulivoimaloiden eteläpuolella Lovelammen rannalla on Kota, jota ei ole valittu reseptoriksi, mutta jota käsitellään melumallinnuksissa virkistysalueena.

Taulukko 5: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

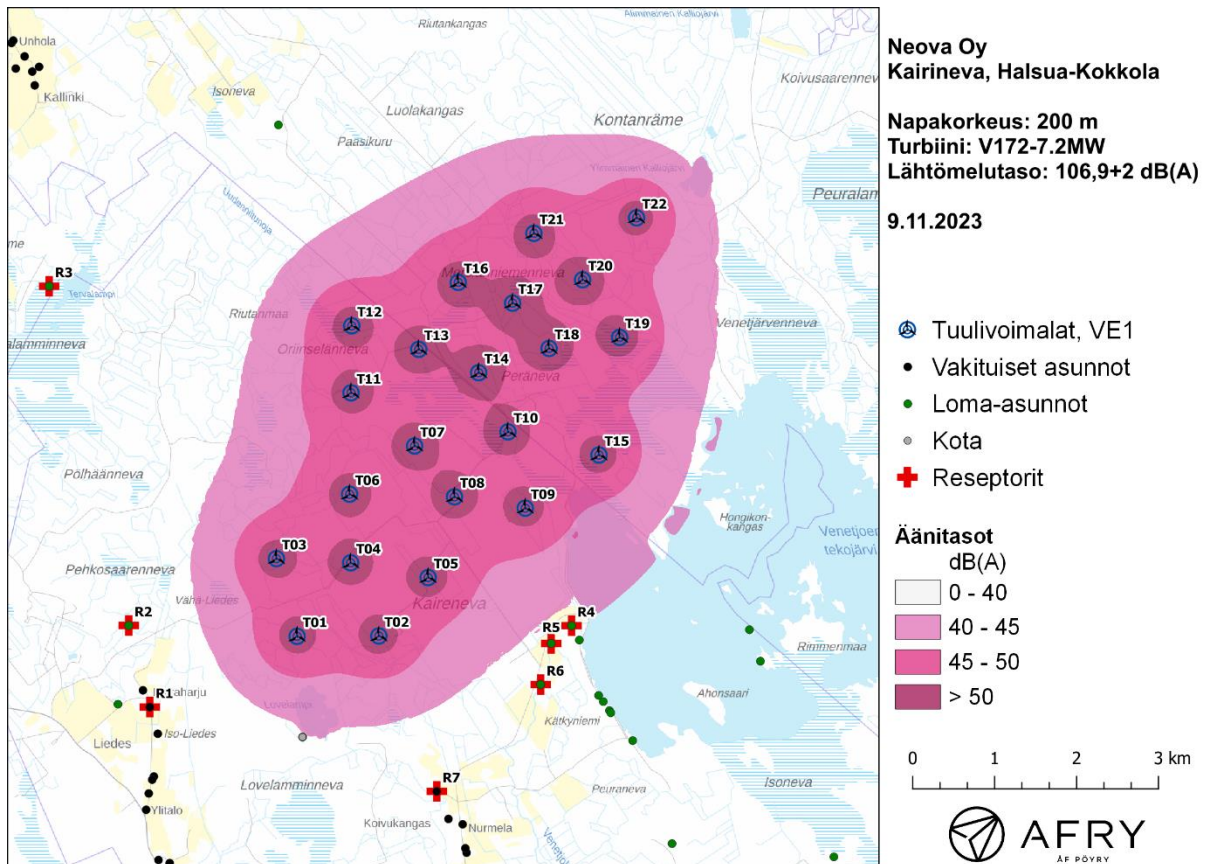
Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	273207	6782199	84	vakituisen asuinrakennus
R2	273026	6782114	83	loma-asuinrakennus
R3	270882	6782041	73	loma-asuinrakennus
R4	270864	6782049	73	loma-asuinrakennus
R5	270916	6782314	87	loma-asuinrakennus
R6	270914	6782352	89	loma-asuinrakennus
R7	271037	6784879	75	vakituisen asuinrakennus



Kuva 4: Reseptorien paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

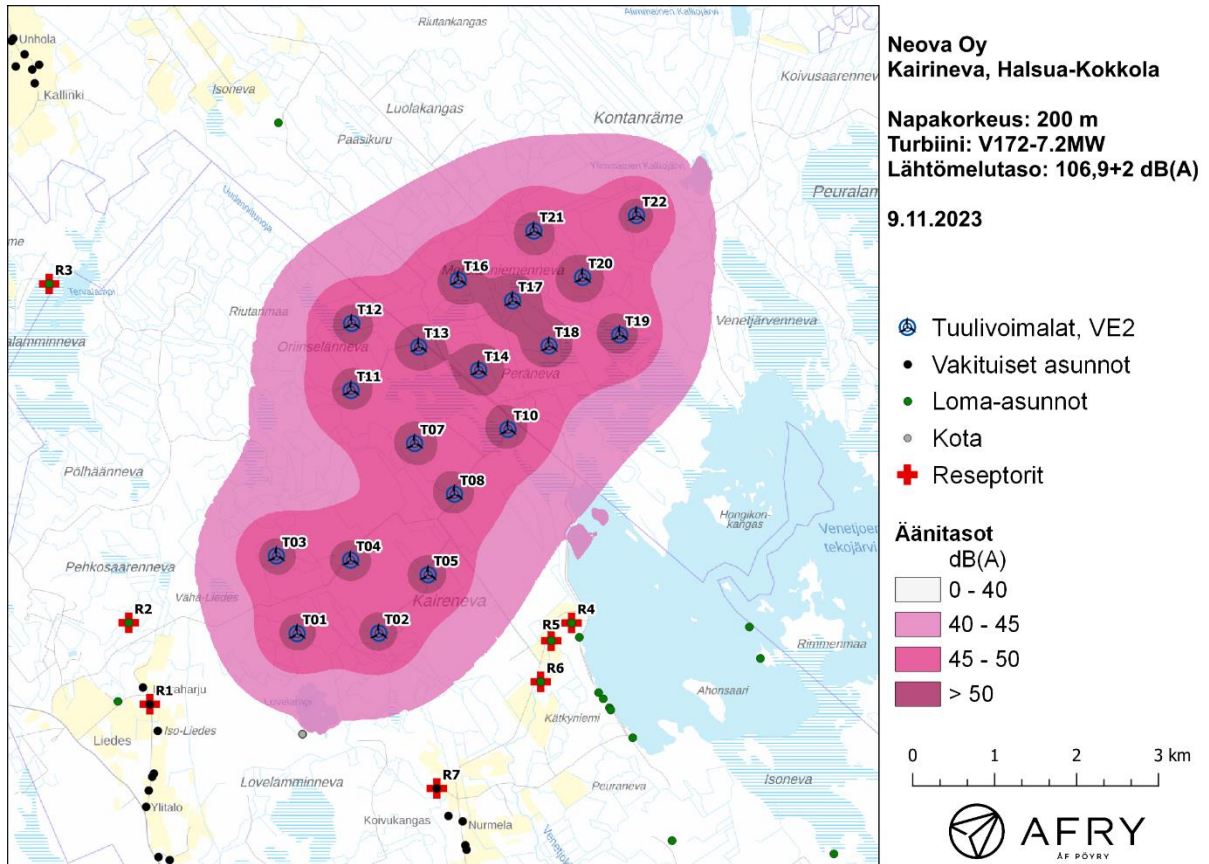
## Meluvaikutus

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 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen asuntojen kohdilla suunnitelmilla VE1 ja VE2. Voimaloiden eteläpuolella olevan kodan kohdalla melu jää alle virkistysalueiden 45 dB(A):n ohjearvon.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq Kairinevan tuulivoimajuonon suunnitelmalla VE1.





Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq Kairinevan tuulivoimajuonon suunnitelmalla VE2.

Taulukko 6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Suunnitelma VE1 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE2 Äänitaso dB(A)
R1	34,6	34,2
R2	35,4	35,0
R3	30,7	30,2
R4	39,1	37,3
R5	39,0	37,5
R6	37,4	36,3
R7	35,1	34,6

## 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 4). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, 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 määritelty rakennuksen ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_o$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyyssarvoja. Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 7: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

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

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 7) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat suunnitelmalla VE1 reseptoriin R4 ja suunnitelmalla VE2 reseptoriin R5. Näiden kiinteistöjen kohdilla laskettuja sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyyden, melutasot jäävät molemmilla suunnitelmissa asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

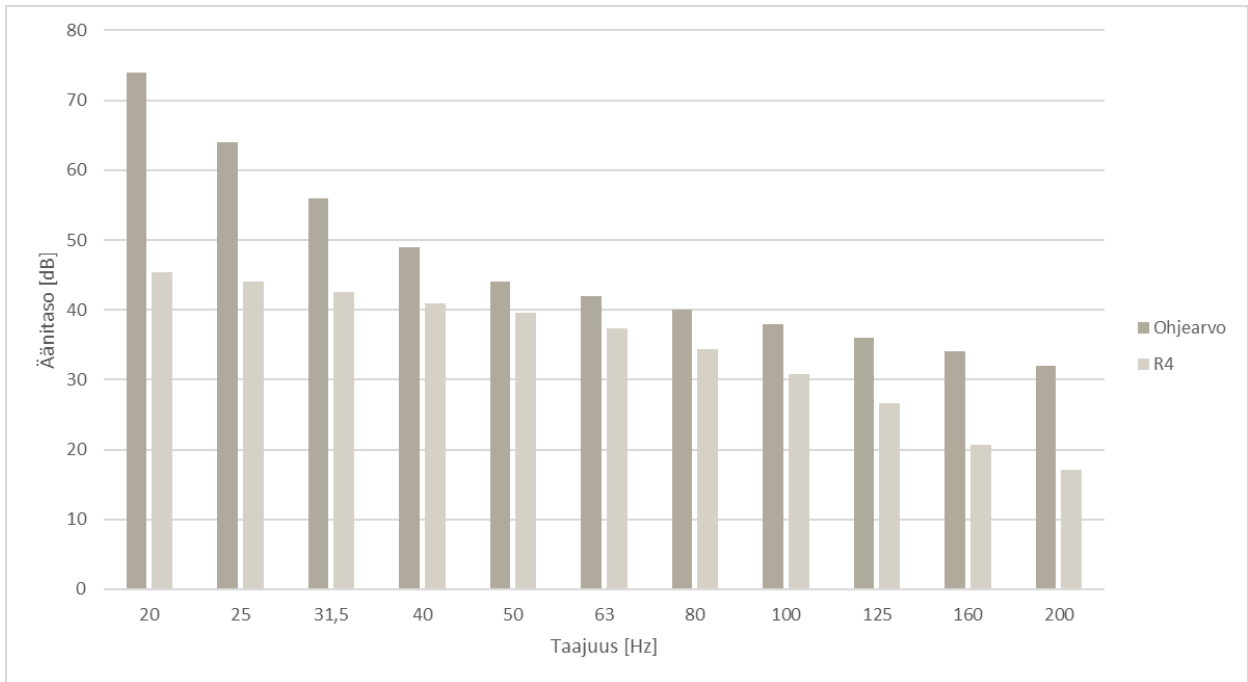
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 4) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti inihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisten melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Näin tapahtuu tämän raportin mallinnusten perusteella (lukujen 3.1 ja 3.2 tulokset), eikä sisätilojen kokonaismelutasojen tarkistus edellytä erillisiä mallinnuksia. Tätä johtopäätöstä tukevat tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmastieristykseen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 8: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE1.

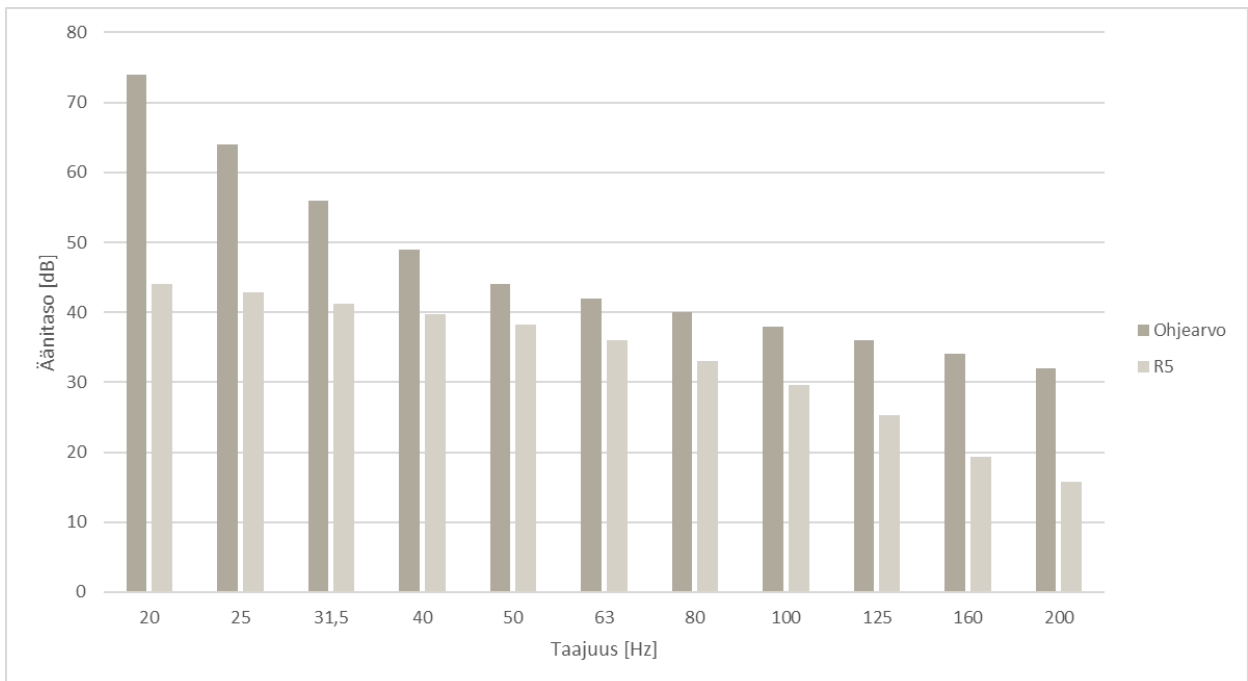
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,8	49,1	48,5	48,0	47,8	47,0	45,8	44,2	41,9	38,0	36,0
R2	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,5	38,7	36,7
R3	47,7	47,0	46,4	45,9	45,6	44,8	43,5	41,8	39,2	35,1	32,7
R4	53,0	52,3	51,7	51,3	51,1	50,3	49,1	47,6	45,5	41,8	40,0
R5	52,9	52,3	51,6	51,2	51,0	50,2	49,1	47,6	45,4	41,7	39,9
R6	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,1	46,5	44,3	40,6	38,7
R7	50,3	49,6	49,0	48,5	48,3	47,5	46,3	44,7	42,4	38,6	36,5

Taulukko 9: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE2.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,3	43,7	41,4	37,6	35,6
R2	49,8	49,2	48,5	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,2	36,3
R3	47,1	46,5	45,8	45,3	45,1	44,2	42,9	41,2	38,7	34,6	32,2
R4	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,9	47,7	46,2	44,0	40,2	38,3
R5	51,7	51,1	50,5	50,0	49,8	49,0	47,9	46,3	44,1	40,4	38,5
R6	51,0	50,3	49,7	49,3	49,0	48,3	47,1	45,5	43,3	39,6	37,6
R7	49,6	49,0	48,4	47,9	47,6	46,9	45,7	44,1	41,8	38,0	36,0



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R4 kohdalla suunnitelmalla VE1.



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R5 kohdalla suunnitelmalla VE2.

### 3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kairinevan ja läheisten tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia. Koska Kairinevan suunnitelma VE1 aiheuttaa suuremman meluvaikutuksen kuin suunnitelma VE2, riittää tarkastella yhteisvaikutuksia suunnitelmalla VE1. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan kymmenen kilometrin säteellä Kairinevan voimaloista olevat hankkeet. Tällä perusteella yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan wpd Finland Oyn suunnittelemat Tuohimaa-Riutanmaan ja Länsi-Toholammen tuulivoimapuistot. Kairinevan voimalat ovat lähimmillään 0,9 km etäisyydellä Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista ja 6,7 km etäisyydellä Länsi-Toholammen voimaloista.

Tuohimaa-Riutanmaan puistossa on kaksi vaihtoehtoista suunnitelmaa: VE1 (70 voimalaa) ja VE2 (55 voimalaa). Näistä suunnitelma VE1 aiheuttaa suuremman meluvaikutuksen, joten yhteisvaikutusten tarkastelut riittää tehdä Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelmalle VE1. Länsi-Toholammen suunnitelmassa on 25 voimalaa.

Melumallinuksissa Tuohimaa-Riutanmaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityyppiä Nordex N163/5.X VPC Mode 0.a (with serrated trailing edges). Länsi-Toholammen voimaloille on käytetty samaa turbiinityyppiä ja napakorkeutta 170 m. Tämän turbiinityypin äänitehotaso on 107,2 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, eli mallinuksissa on käytetty äänitehotasoa 109,2 dB(A). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasta turbiinivalmistajan dokumentista:

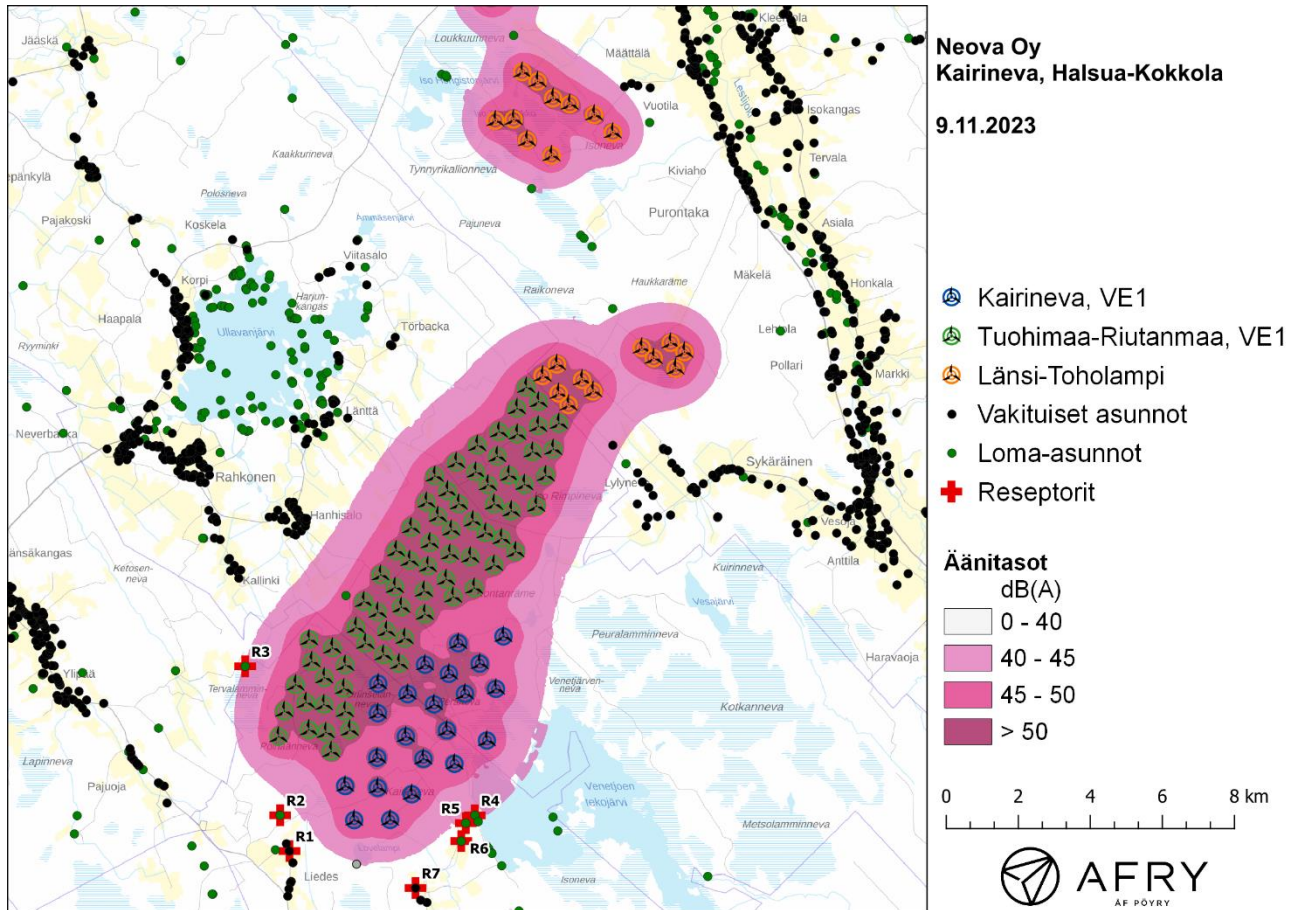
- Third octave sound power levels Nordex N163/5.X VPC. Document ID: F008\_276a\_A17\_EN Revision 03, 2021-09-13.

Melun yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 9). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset aiheuttavat 40 dB(A):n ohjearvon ylityksen reseptorin R3 kohdalla olevan loma-asunnon kohdalla. Reseptori on 3,7 km etäisyydellä lähimmästä Kairinevan voimalasta. Tuohimaa-Riutanmaan puiston suunnitelmassa VE1 on 18 voimalaa lähempänä tätä reseptoria ja reseptoriin R3 kohdistuva melu aiheutuu pääosin Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista. Tämän vuoksi tämä asunto on melun suhteen Tuohimaa-Riutanmaan vaikutuspiirissä.

Melukartan perusteella Tuohimaa-Riutanmaan voimaloiden länsipuolella on yksi loma-asunto noin 500 m etäisyydellä Tuohimaa-Riutanmaan lähimmästä voimalasta. Kartoissa tämä rakennus näkyy reseptorin R3 koillispuolella. wpd:n mukaan kyseessä on rakennuksen kehikko, jolla ei ole rakennuslupaa. wpd ei huomioi tätä rakennusta omissa Tuohimaa-Riutanmaan mallinuksissaan eikä rakennusta ole huomioitu myöskään tämän selvityksen mallinuksissa. Melukartan perusteella myös Länsi-Toholammin läheisyydessä on asuntoja, joiden kohdilla tulee 40 dB(A):n ohjearvon ylityksiä. Kairinevan voimalat ovat yli 6 km etäisyydellä näistä rakennuksista, eivätkä vaikuta näihin melun ohjearvojen ylityksiin. Kartan rakennustieto on peräisin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta, eivätkä asuntojen tiedot ole välttämättä ajan tasalla.

Yhteisvaikutusten matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 11). Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R3 kohdalla, mutta melu aiheutuu pääosin Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista. Kairinevan voimaloiden vaikutusalueella korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R4. Tämän reseptorin kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin

kuvassa (Kuva 10). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, yhteisvaikutusten matalataajuiset melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



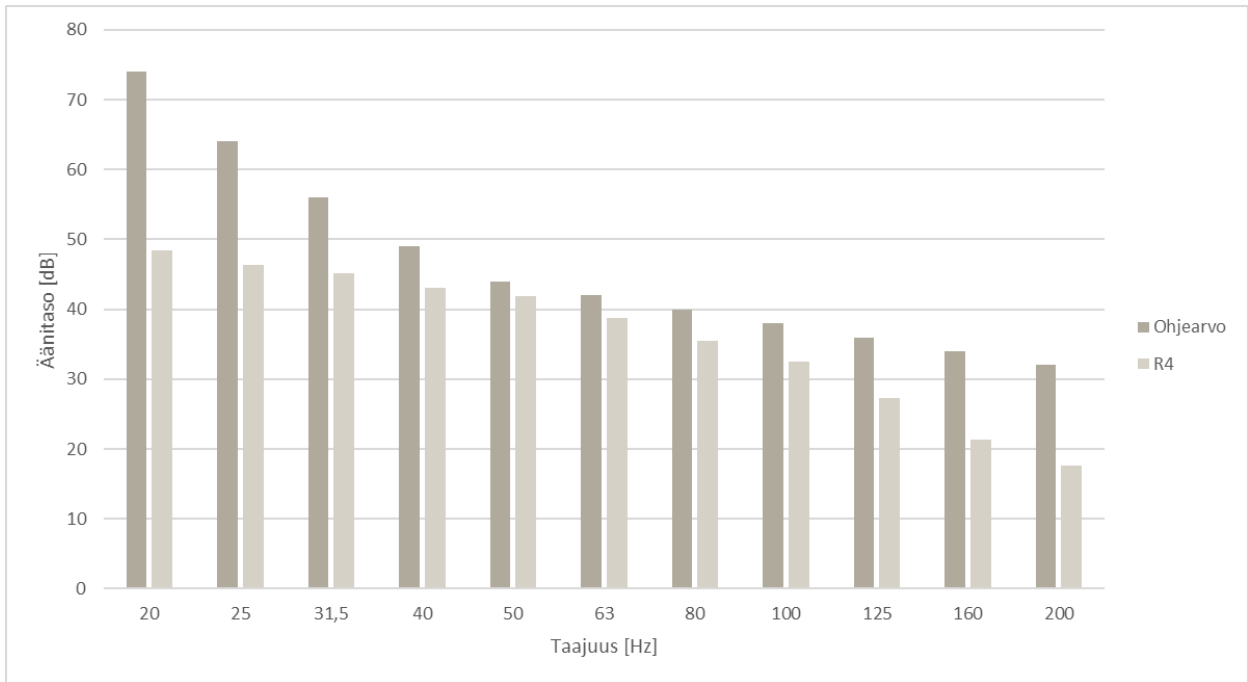
Kuva 9: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma. Kuvassa ei näy kaikki Länsi-Toholammen voimalat.

*Taulukko 10: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma.*

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	36,4
R2	38,3
R3	40,3
R4	39,6
R5	39,5
R6	38,0
R7	35,9

*Taulukko 11: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma.*

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,7	53,2	52,9	51,7	51,8	49,6	48,1	47,4	43,4	39,4	37,3
R2	56,1	54,5	54,3	53,0	53,2	50,9	49,3	48,8	44,6	40,6	38,6
R3	58,1	56,3	56,2	54,6	55,0	52,1	50,4	50,5	45,1	41,1	39,1
R4	56,0	54,7	54,3	53,4	53,4	51,7	50,3	49,3	46,1	42,4	40,4
R5	55,9	54,6	54,3	53,3	53,3	51,6	50,3	49,2	46,1	42,3	40,3
R6	55,2	53,9	53,5	52,5	52,5	50,8	49,4	48,3	45,0	41,2	39,2
R7	53,9	52,5	52,2	51,1	51,1	49,3	47,8	46,8	43,3	39,3	37,1



Kuva 10: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön R4 kohdalla, kun mallinnuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma.



## 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 Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 105 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]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [19]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja.

## 5 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

### 5.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa Kairinevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalattu lapa on koko lavan matkalta 7 % leveämpi kuin voimalan V162 lapa. Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätö (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [20] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien

ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 12).

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 13). Suunta-kohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioon-ottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 12: 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	0,166	0,201	0,182	0,124	0,118	0,143

Taulukko 13: 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 väkettuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 11 ja Kuva 12). 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 14 ja Taulukko 15) 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.

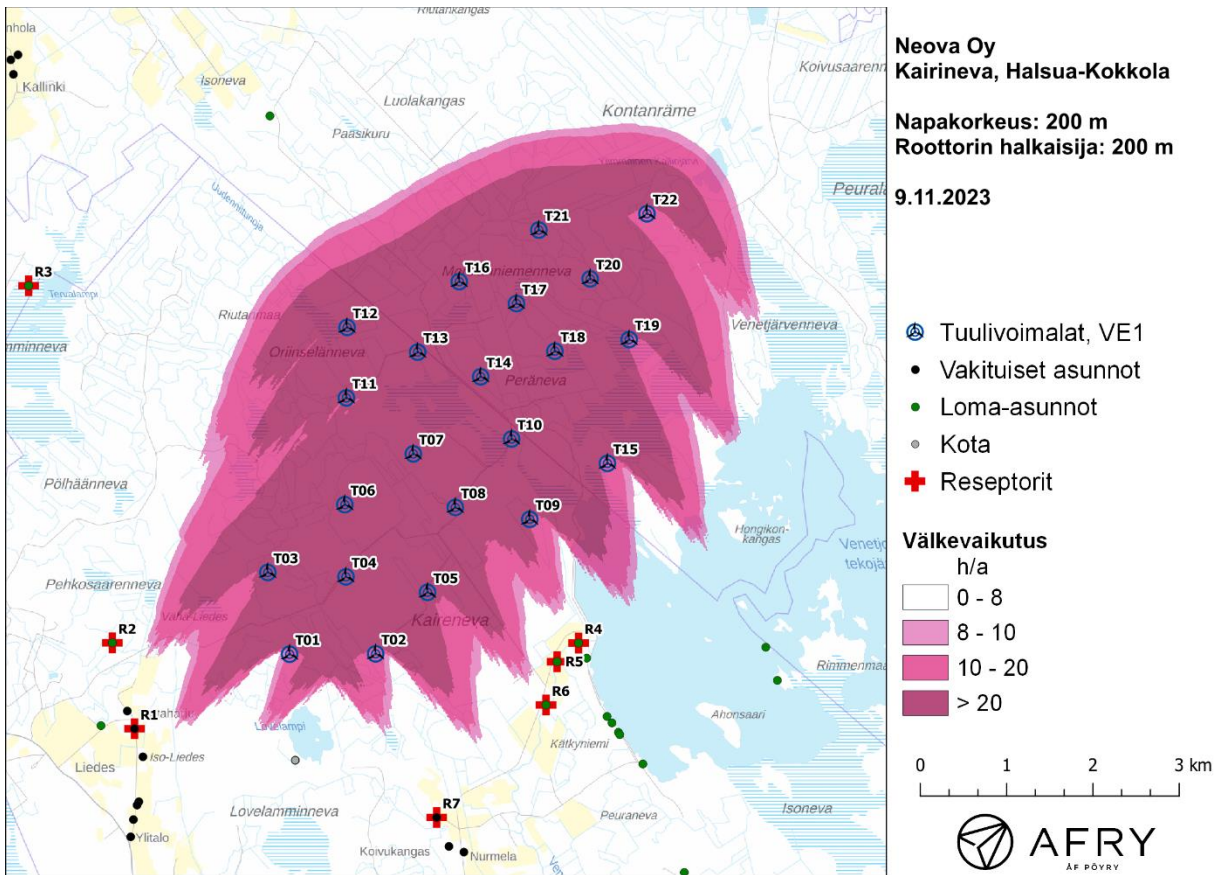
Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptorin R6 kohdalla olevaan asuntoon. Todennäköisen väkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 16). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

*Taulukko 14: 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.*

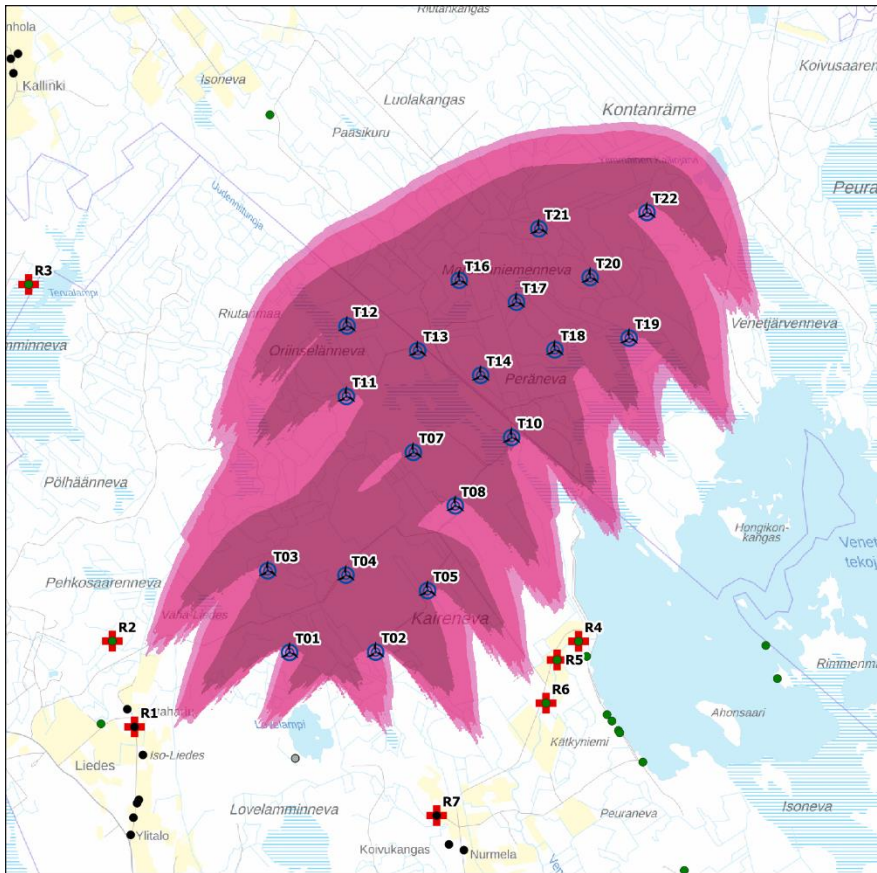
Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:42	0:05	6:06	0:17
R2	2:23	0:05	9:19	0:17
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	4:09	0:05	17:00	0:20
R5	2:49	0:06	12:09	0:22
R6	4:40	0:06	18:23	0:24
R7	0:00	0:00	0:00	0:00

Taulukko 15: 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	1:42	0:05	6:06	0:17
R2	2:23	0:05	9:19	0:17
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	4:09	0:05	17:00	0:20
R5	2:49	0:06	12:09	0:22
R6	4:40	0:06	18:23	0:24
R7	0:00	0:00	0:00 </td <td>0:00</td>	0:00








Kuva 11: Suunnitelman VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.







**Neova Oy**  
**Kairineva, Halsua-Kokkola**

**Napakorkeus: 200 m**  
**Roottorin halkaisija: 200 m**

**9.11.2023**

-  Tuulivoimalat, VE2
-  Vakituiset asunnot
-  Loma-asunnot
-  Kota
-  Reseptorit

- Välkevaikutus**  
 h/a
-  0 - 8
  -  8 - 10
  -  10 - 20
  -  > 20

0 1 2 3 km

Kuva 12: Suunnitelman VE2 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 16: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R6 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	0:25	0:00	0:00	0:25
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45	0:00	0:45
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:31	0:00	1:31
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:34	0:00	1:34
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:25	0:00	0:00	0:25
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
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50	3:50	0:00	4:40

### 5.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kairinevan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1 sekä wpd Finland Oyn suunnittelemat Tuohimaa-Riutanmaan ja Länsi-Toholammen tuulivoimapuistot, kuten melun yhteisvaikutusten arvioinnissa. Tuohimaa-Riutanmaan kahdesta suunnitelmasta 70 voimalan VE1 aiheuttaa suuremman välkevaikutuksen. Yhteisvaikutusten tarkastelut riittää siis tehdä Kairinevan suunnitelmalle VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelmalle VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelmalle.

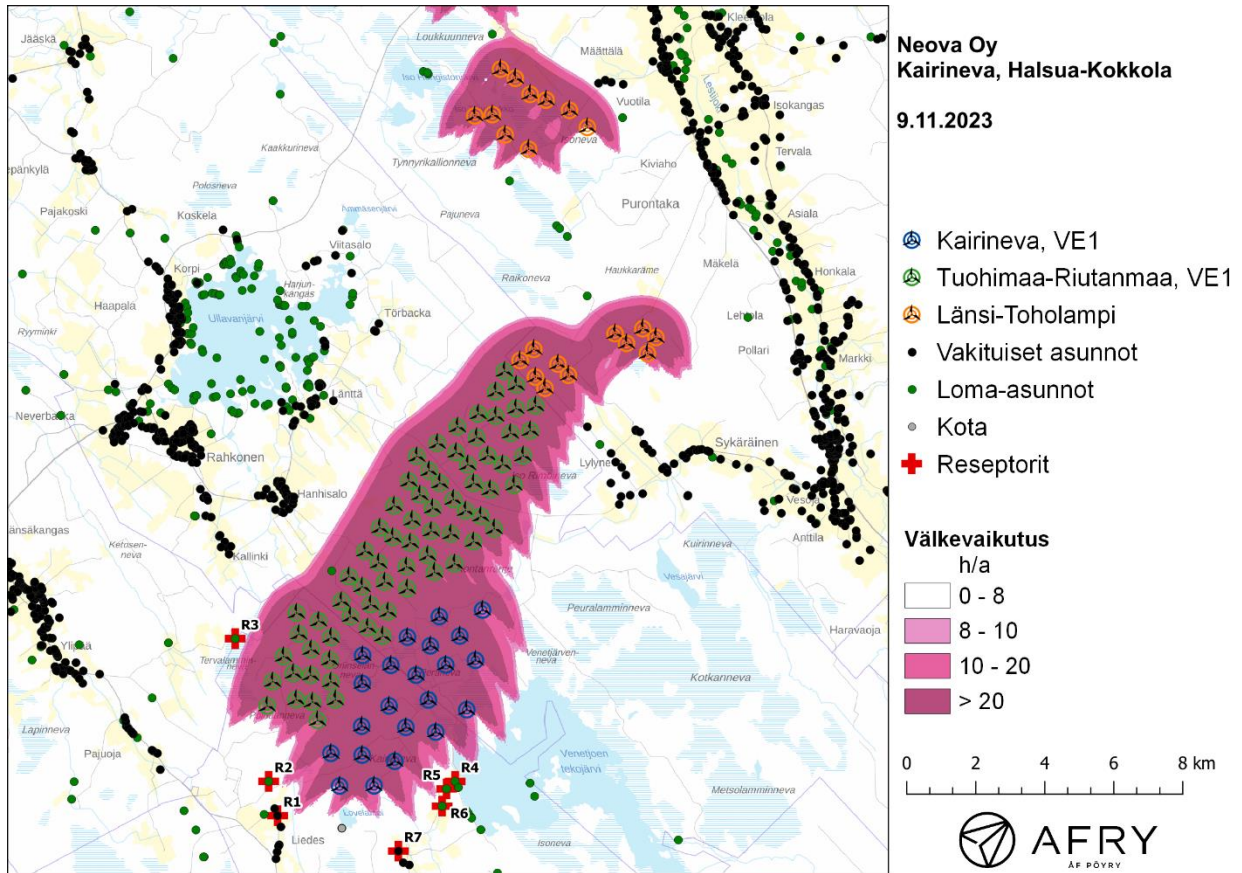
Välkemallinnuksissa Tuohimaa-Riutanmaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin Nordex N163/5.X VPC lapaprofilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Skaalattun roottorin maksimileveys on 4,5 m. Länsi-Toholammen voimaloille on käytetty samaa turbiinityyppiä ja napakorkeutta 170 m.

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 13). Todennäköiset välkeajat ja teoreettisen maksivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 17). Tuohimaa-Riutanmaan voimalat aiheuttavat välkevaikusta reseptorin R3 kohdalla, mutta Kairinevan voimaloista ei aiheudu välkettä tähän reseptoriin. Muiden reseptoreiden kohdalla Tuohimaa-Riutanmaan tai Länsi-Toholammen eivät aiheuta välkettä. Kairinevan ja Länsi-Toholammin voimaloilla ei ole ollenkaan välkkeen yhteisvaikutuksia, koska näiden tuulivoimapuistojen voimaloiden etäisyys on yli 6 km. Mallinnusten perusteella välkkeen yhteisvaikutukset eivät siis osu asutuksen kohdalle. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.

*Taulukko 17: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinnuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.*

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:42	0:05	6:06	0:17
R2	2:23	0:05	9:19	0:17
R3	3:29	0:04	17:40	0:18
R4	4:09	0:05	17:00	0:20
R5	2:49	0:06	12:09	0:22
R6	4:40	0:06	18:23	0:24
R7	0:00	0:00	0:00	0:00





Kuva 13: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan suunnitelma VE1, Tuohimaa-Riutanmaan suunnitelma VE1 ja Länsi-Toholammen suunnitelma. Kuvassa ei näy kaikki Länsi-Toholammen voimalat.

## 6 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Halsuan kunnan ja Kokkola kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman melu- ja välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Vaikutusten arviot on tehty 22 voimalan suunnitelmalle VE1 ja 19 voimalan suunnitelmalle VE2. Selvityksessä on arvioitu myös melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia Kairinevan lähelle suunniteltujen Tuohimaa-Riutanmaan ja Länsi-Toholammen 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.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon alueen kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla suunnitelmilla VE1 ja VE2. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen kohdilla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdilla. Myös teoreettisen maksimivälkkeen päiväkohtainen arvo alittaa Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdilla.

Melun yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset aiheuttavat 40 dB(A):n ohjearvon ylityksen yhden asunnon kohdalla. Ylitys tulee loma-asunnon kohdalla, johon kohdistuu melua pääosin Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu matalataajuisen melun ohjearvojen ylityksiä. Välkkeestä ei aiheudu yhteisvaikutuksia asutuksen kohdalla. 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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

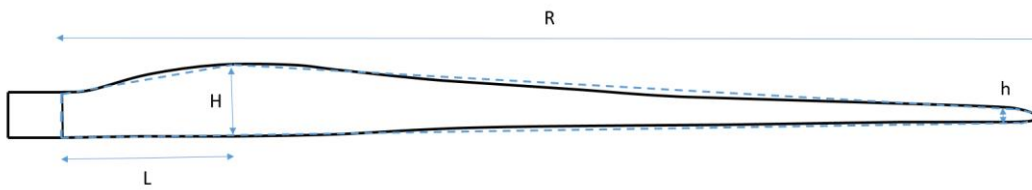
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

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

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

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

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 14) 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 turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 14: 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 turbiinin 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 International 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>09.11.2023</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>Vestas</b>				Tyyppi: <b>V172-7.2MW PO7200</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>7,2 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>172 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							
Melupäästötiedot: V172-7.2MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,0	200	98,1	2000	92,2
63	92,5	25	69,2	250	98,7	2500	89,8
125	100,2	31,5	74,0	315	98,8	3150	87,1
250	103,3	40	78,8	400	99,0	4000	84,1
500	103,5	50	83,2	500	98,7	5000	80,7
1000	101,8	63	87,0	630	98,5	6300	76,9
2000	97,2	80	90,3	800	98,0	8000	72,8
4000	89,5	100	93,1	1000	97,1	10000	68,3
8000	78,7	125	95,3	1250	95,8		
		160	97,0	1600	94,2		

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	<b>ei</b>		kyllä	<b>ei</b>		kyllä	<b>ei</b>		kyllä	<b>ei</b>	
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:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,8	49,1	48,5	48,0	47,8	47,0	45,8	44,2	41,9	38,0	36,0
R2	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,5	38,7	36,7
R3	47,7	47,0	46,4	45,9	45,6	44,8	43,5	41,8	39,2	35,1	32,7
R4	53,0	52,3	51,7	51,3	51,1	50,3	49,1	47,6	45,5	41,8	40,0
R5	52,9	52,3	51,6	51,2	51,0	50,2	49,1	47,6	45,4	41,7	39,9
R6	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,1	46,5	44,3	40,6	38,7
R7	50,3	49,6	49,0	48,5	48,3	47,5	46,3	44,7	42,4	38,6	36,5

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella suunnitelmalla VE2:											
<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	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,3	43,7	41,4	37,6	35,6
R2	49,8	49,2	48,5	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,2	36,3
R3	47,1	46,5	45,8	45,3	45,1	44,2	42,9	41,2	38,7	34,6	32,2
R4	51,6	50,9	50,3	49,9	49,6	48,9	47,7	46,2	44,0	40,2	38,3
R5	51,7	51,1	50,5	50,0	49,8	49,0	47,9	46,3	44,1	40,4	38,5
R6	51,0	50,3	49,7	49,3	49,0	48,3	47,1	45,5	43,3	39,6	37,6
R7	49,6	49,0	48,4	47,9	47,6	46,9	45,7	44,1	41,8	38,0	36,0