

Kangaslammin tuuli- ja aurinkovoi- mahanke, Parkano ja Ikaalinen

LIITE 12. KANGASLAMMIN TV3/VE3 MELU- JA VÄLKERAPORTTI
(AFRY)



Pohjan Voima Oy

Kangaslammi, VE3

Tuulivoimapuiston melu- ja väikeselvitys

03.10.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

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

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101024341-008.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Pohjan Voima Oy

Tuomas Westerling

tuomas.westerling@pohjanvoima.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Veera Hatulainen

veera.hatulainen@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinnumero: 101024341-008

Raporttiversio: 003

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	4.4.2025/ Erkki Heikkola Senior consultant	4.4.2025/ Mika Laitinen Senior consultant	Alkuperäinen
002	01.08.2025/ Veera Hatulainen Technical consultant	01.08.2025/ Erkki Heikkola Senior consultant	Voimalapaikat muuttuneet.
003	03.10.2025/ Veera Hatulainen Technical consultant	03.10.09.2025/ Erkki Heikkola Senior consultant	Voimalaa T8 siirretty

SISÄLLYS

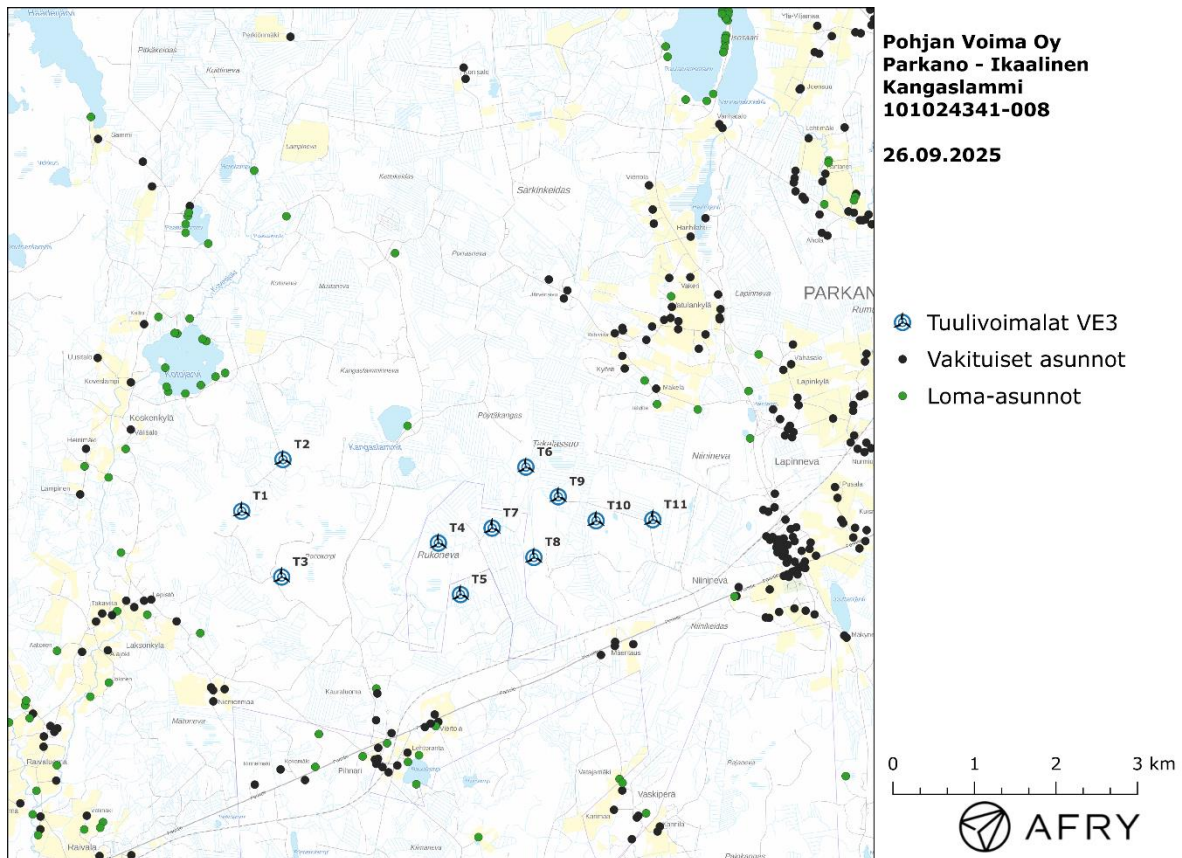
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus	8
2.3	Ohjearvot	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi	10
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	16
4	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	19
4.1	Välkevaikutus	19
4.2	Välkkeen rajoittaminen	19
4.3	Arvioinnin epävarmuudet	19
4.4	Ohjearvot	20
5	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	21
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	21
5.2	Todennäköinen välkevaikutus	23
5.3	Teoreettinen välkevaikutus	26
5.4	Puuston välkettä vähentävä vaikutus	27
6	YHTEENVETO	29
7	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	30
8	VIITTEET	32
9	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT	33

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Parkanon ja Ikaalisten alueille suunnitellun Kangaslammin tuuli-voimapuiston aiheuttamaa melu- ja välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty toteutusvaihtoehdolle VE3 (11 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Melumallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyyppin V172 7,2 MW (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109,8 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 107,8 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyyppin 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 läh-
tömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Välkemallinnuksessa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuuli-voimapuistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välkeikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyyppin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapoljen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyyppistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Profiilia on pidennetty 100 metriin ja samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kangaslammin toteutusvaihtoehdolla VE3.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (11 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatissa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	280653	6878988	155
T2	281159	6879621	158
T3	281144	6878180	164
T4	283067	6878597	161
T5	283338	6877965	158
T6	284141	6879529	164
T7	283726	6878780	161
T8	284239	6878421	161
T9	284538	6879165	163
T10	285002	6878871	162
T11	285698	6878883	155

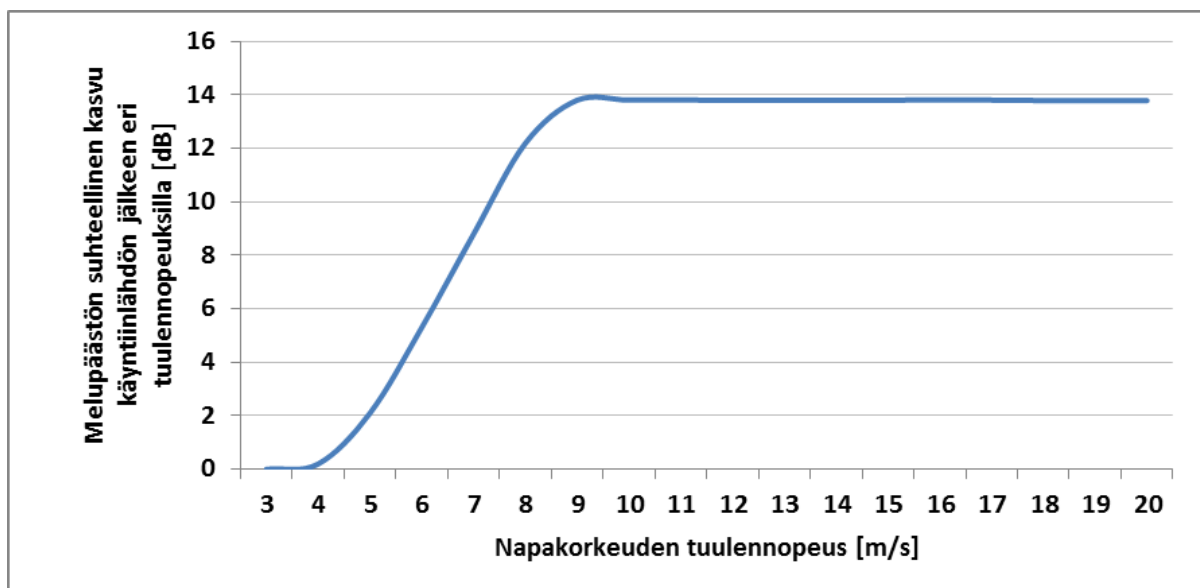
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähön nopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2-1).



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

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

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

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

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

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

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2:2024 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa

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

2.3 Ohjearvot

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

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

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

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

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

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

arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

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

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 2-2) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07-22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22-07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona $L_{eq,1h}$ mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

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

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisen sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2:2024 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty V172 7,2 MW (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavasta tuulivoimalavalmistajan dokumentista:

- Third octave noise emission EnVentus™ 172-67.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_01. 2024-11-29.

Dokumentissa esitetyt melutiedot perustuvat tuulivoimalatyypillä V172 tehtyihin testimitauksiin. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [11]:

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

Tuulivoimalatyyppin V172 7,2 MW äänitehotaso on 107,8 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 9 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

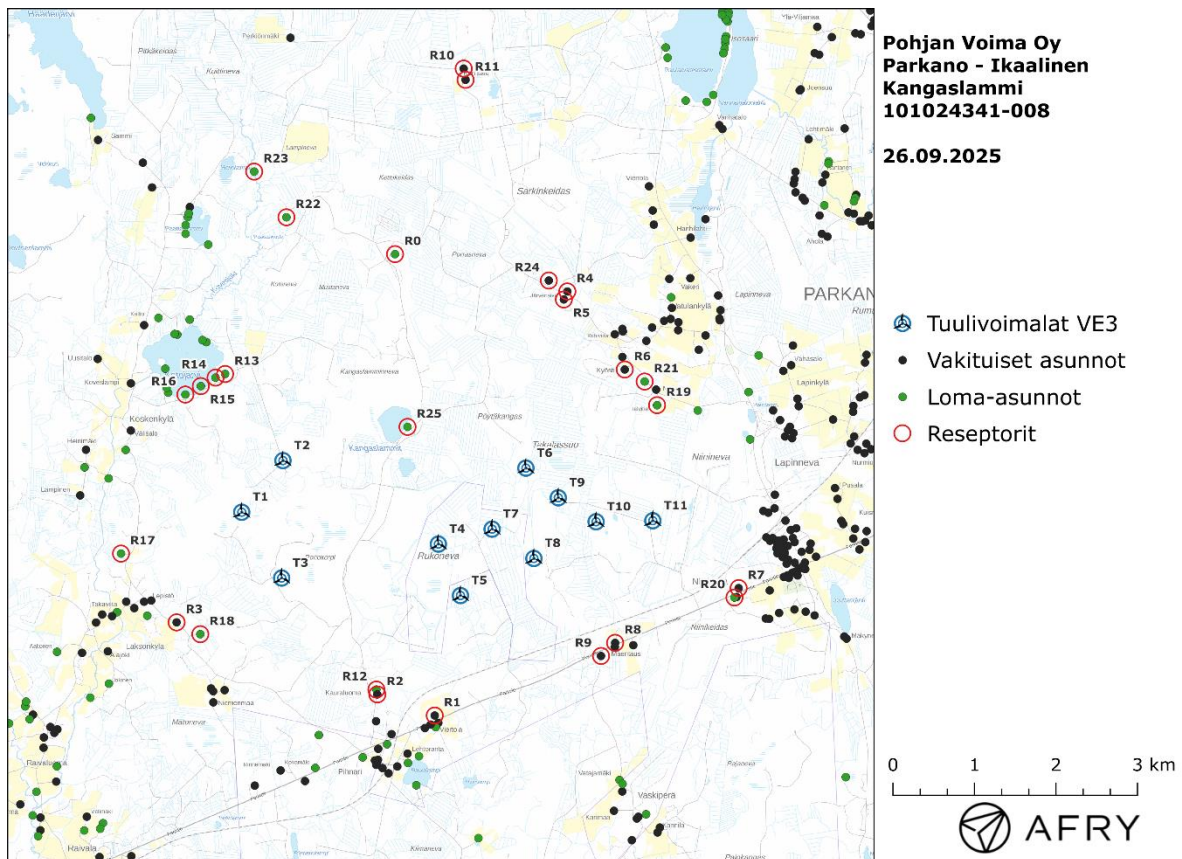
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 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. 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 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 26 pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuaisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty

karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-5 km etäisyydellä voimaloista. Reseptoripiste R25 on mukana reseptorilistalla, mutta hankkeesta vastaava on tehnyt sopimuksen reseptoripisteen R25 kiinteistön kanssa loma-asunnon käyttötarkoituksen muuttamisesta ja maanvuokrasopimuksen hankkeen aiheuttamien vaikutuksien korvaamiseksi.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R0	282536	6882152	180	Loma-asunto
R1	283023	6876492	144	Vakituinen asuinrakennus
R2	282319	6876750	154	Vakituinen asuinrakennus
R3	279855	6877634	140	Vakituinen asuinrakennus
R4	284651	6881694	159	Vakituinen asuinrakennus
R5	284608	6881596	157	Vakituinen asuinrakennus
R6	285355	6880737	154	Vakituinen asuinrakennus
R7	286753	6878055	149	Vakituinen asuinrakennus
R8	285237	6877383	149	Vakituinen asuinrakennus
R9	285064	6877222	149	Vakituinen asuinrakennus
R10	283378	6884428	165	Vakituinen asuinrakennus
R11	283402	6884290	165	Vakituinen asuinrakennus
R12	282307	6876810	155	Loma-asunto
R13	280451	6880681	145	Loma-asunto
R14	280333	6880637	141	Loma-asunto
R15	280152	6880533	138	Loma-asunto
R16	279963	6880429	140	Loma-asunto
R17	279173	6878478	127	Loma-asunto
R18	280146	6877489	140	Loma-asunto
R19	285752	6880299	152	Loma-asunto
R20	286701	6877939	149	Loma-asunto
R21	285599	6880589	151	Loma-asunto
R22	281203	6882604	151	Loma-asunto
R23	280808	6883164	146	Loma-asunto
R24	284424	6881828	158	Vakituinen asuinrakennus
R25	282689	6880033	170	Loma-asunto

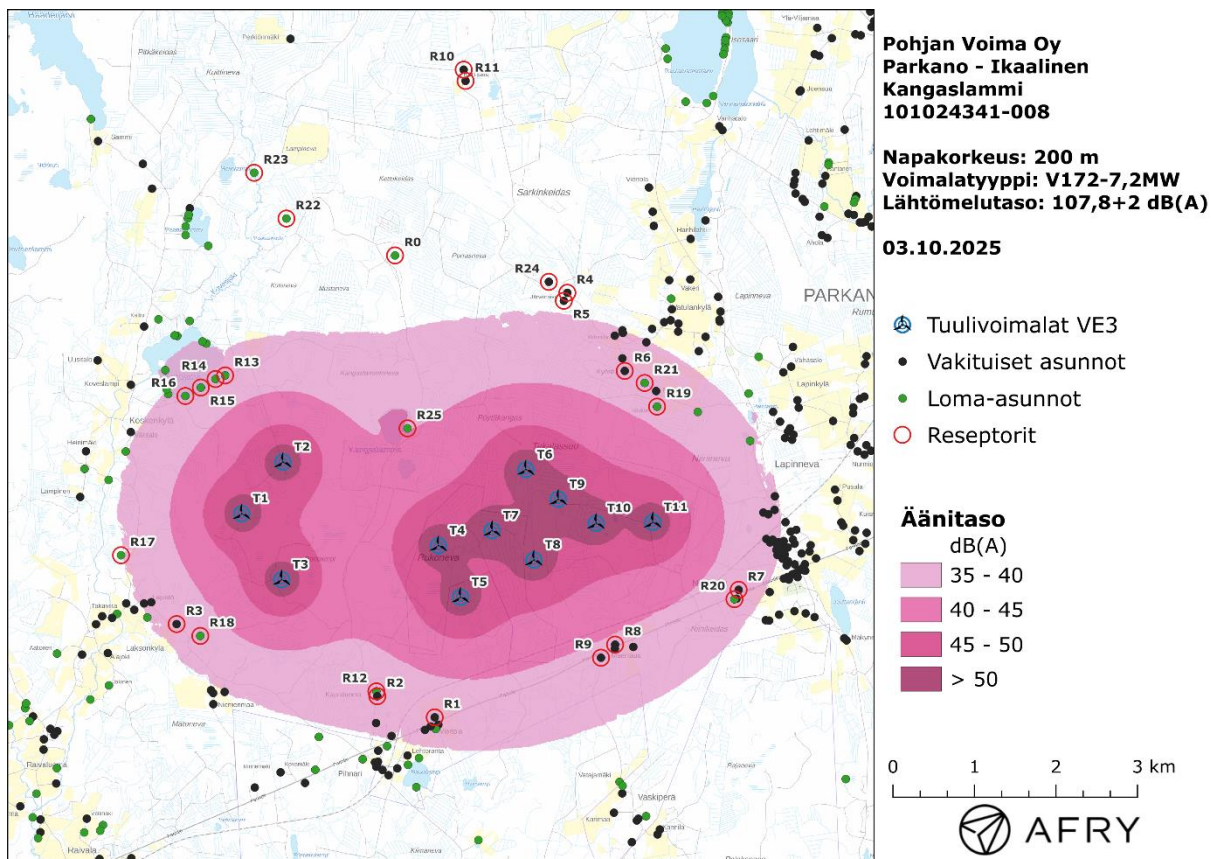


Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kangaslammin tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{Aeq} on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 35, 40, 45 ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

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



Kuva 3-2: Keskiäänitasot L_{Aeq} Kangaslammin toteutusvaihtoehdolla VE3.

Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R0	31,8
R1	36,9
R2	37,2
R3	36,6
R4	33,9
R5	34,3
R6	37,4
R7	36,8
R8	39,3
R9	38,9
R10	25,3
R11	26,0
R12	37,4
R13	36,8
R14	36,4
R15	36,2
R16	36,1
R17	34,7
R18	37,3
R19	38,5
R20	36,7
R21	37,5
R22	29,4
R23	27,8
R24	33,4
R25	40,0

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

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

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

Taulukko 3-3: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

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

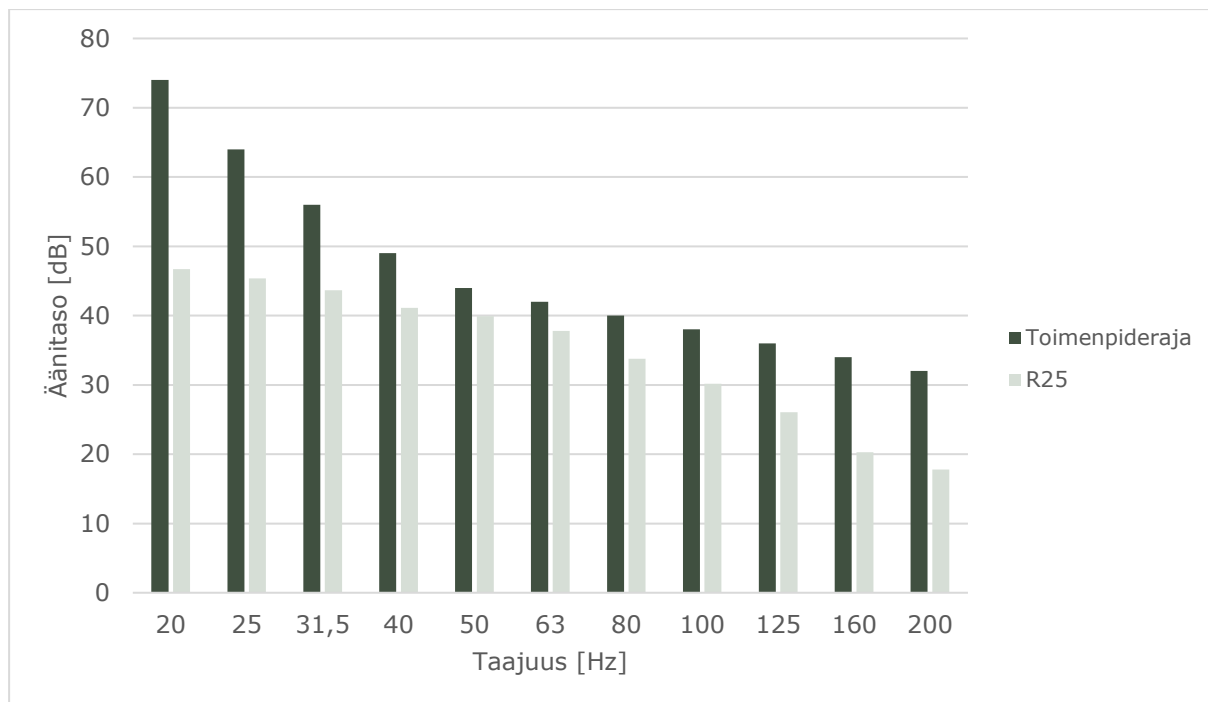
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-3) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso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

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R25, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-3).

Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuuksvälillä.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R0	48,8	48,1	47,3	45,8	45,8	45,1	42,8	41,0	38,7	34,9	33,7
R1	52,0	51,4	50,6	49,2	49,1	48,5	46,3	44,6	42,4	38,8	37,9
R2	52,3	51,6	50,8	49,4	49,4	48,7	46,5	44,8	42,7	39,1	38,2
R3	51,5	50,8	50,0	48,6	48,6	47,9	45,7	44,0	41,9	38,3	37,5
R4	50,0	49,4	48,6	47,1	47,1	46,4	44,1	42,4	40,1	36,4	35,4
R5	50,3	49,7	48,9	47,4	47,4	46,7	44,4	42,7	40,5	36,8	35,8
R6	52,3	51,7	50,9	49,4	49,4	48,8	46,5	44,9	42,7	39,2	38,3
R7	51,7	51,1	50,2	48,8	48,8	48,2	45,9	44,3	42,1	38,5	37,7
R8	53,7	53,1	52,3	50,9	50,9	50,3	48,0	46,4	44,3	40,8	40,0
R9	53,5	52,8	52,0	50,6	50,6	50,0	47,7	46,1	44,0	40,5	39,7
R10	44,9	44,2	43,3	41,8	41,7	41,0	38,6	36,6	34,0	29,7	28,0
R11	45,1	44,4	43,5	42,0	42,0	41,2	38,8	36,8	34,2	30,0	28,3
R12	52,4	51,8	51,0	49,6	49,6	48,9	46,7	45,0	42,9	39,3	38,4
R13	51,6	51,0	50,2	48,7	48,7	48,1	45,8	44,2	42,0	38,5	37,6
R14	51,5	50,9	50,1	48,6	48,6	48,0	45,7	44,1	41,9	38,3	37,5
R15	51,4	50,8	50,0	48,5	48,5	47,9	45,6	44,0	41,8	38,2	37,4
R16	51,2	50,6	49,7	48,3	48,3	47,6	45,4	43,7	41,6	38,0	37,1
R17	50,4	49,8	48,9	47,5	47,5	46,8	44,6	42,9	40,7	37,1	36,1
R18	52,0	51,4	50,6	49,2	49,2	48,5	46,3	44,6	42,5	39,0	38,2
R19	53,1	52,4	51,6	50,2	50,2	49,6	47,3	45,7	43,6	40,1	39,3
R20	51,6	51,0	50,2	48,8	48,7	48,1	45,9	44,2	42,0	38,4	37,6
R21	52,4	51,8	50,9	49,5	49,5	48,9	46,6	45,0	42,8	39,3	38,4
R22	47,3	46,6	45,8	44,3	44,3	43,5	41,2	39,4	37,0	33,0	31,7
R23	46,1	45,4	44,6	43,1	43,0	42,3	39,9	38,0	35,5	31,4	29,9
R24	49,7	49,1	48,3	46,8	46,8	46,1	43,8	42,1	39,8	36,1	35,0
R25	54,3	53,7	52,9	51,4	51,4	50,8	48,6	47,0	44,9	41,4	40,6



Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R25 kohdalla.

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 kestoon vaikuttavat tuuli-voimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

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

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

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

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

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 kellonaikoina. 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 100 km.

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

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa

välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

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. Välikkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välikkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [19]. Saksassa teoreettisen maksimivälikkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välikkeen hallintatyökalu.

5 TUULIVOIMAKOHTTEEN 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 ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä 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 voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Väkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu voimalatyypistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Profiilia on pidennetty 100 metriin ja samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [18] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntaakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat 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 tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [20]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 5-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 5-1: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,173	0,182	0,180	0,128	0,131	0,148

Taulukko 5-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

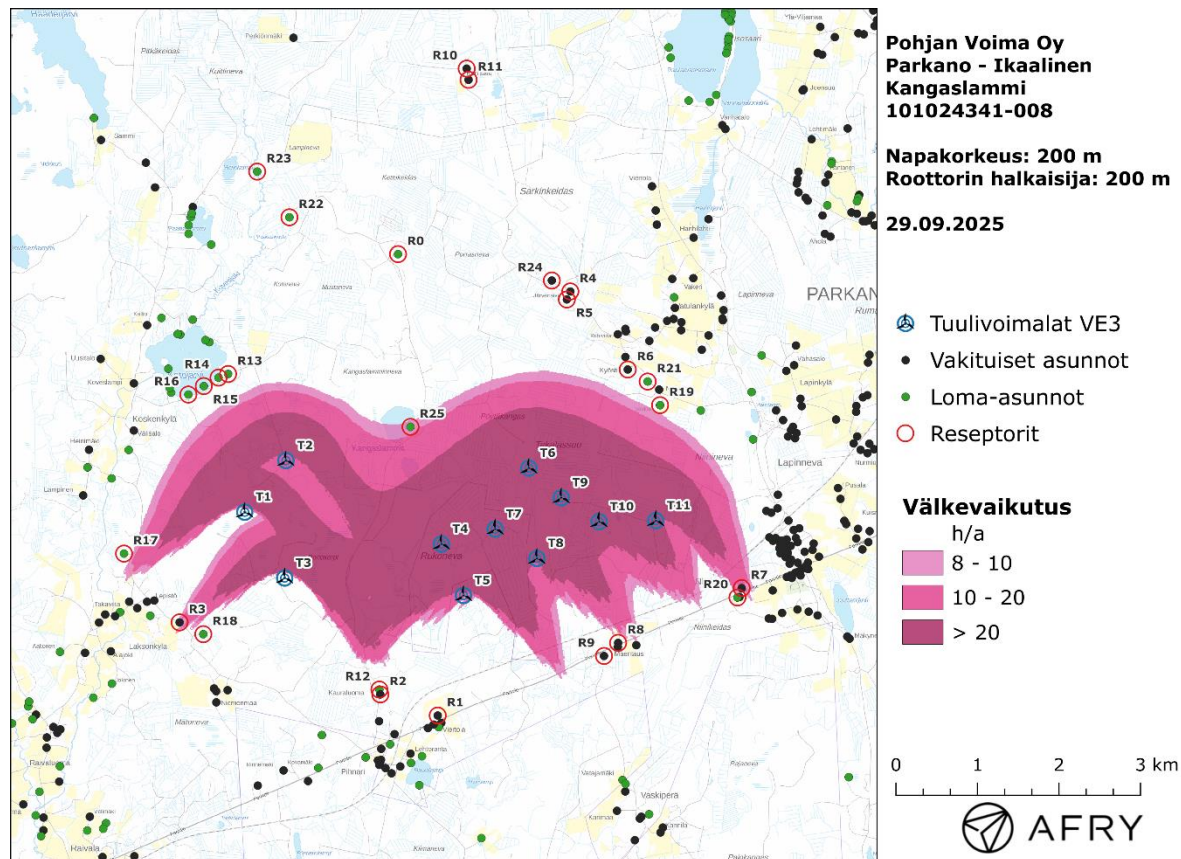
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

5.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 5-1). Tässä mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen, mutta puuston vaikutusta arvioidaan myöhemmin luvussa 5.4. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon kolmen rakennuksen kohdalla. Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet aiemmin määritettyjen reseptorien (Taulukko 3-1) kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-3).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R7 ja R25 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 5-4 ja Taulukko 5-5). Esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 5-1: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5-3: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R0	0:00	0:00
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	8:47	0:11
R4	0:40	0:02
R5	1:08	0:02
R6	4:26	0:05
R7	9:35	0:12
R8	6:02	0:09
R9	2:29	0:04
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00
R12	0:17	0:02
R13	4:14	0:06
R14	3:56	0:06
R15	3:43	0:07
R16	3:26	0:07
R17	5:49	0:08
R18	0:51	0:04
R19	6:12	0:08
R20	6:23	0:09
R21	4:34	0:04
R22	0:00	0:00
R23	0:00	0:00
R24	0:30	0:01
R25	8:54	0:09

Taulukko 5-4: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R7 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:27	0:00	0:00	0:27
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	1:32	0:00	2:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	2:54	0:00	3:04
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:20	0:00	3:20
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:44	0:00	0:00	0:44
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	1:49	7:46	0:00	9:35

Taulukko 5-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R25 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:03	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	1:09
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58	0:16	0:00	0:01	0:10	0:00	0:00	0:00	1:25
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:09	0:11	0:00	0:00	0:00	0:57	0:00	0:00	0:00	2:17
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30	0:00	0:00	0:00	1:28
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:10	0:47	0:00	0:00	0:00	0:25	0:00	0:00	0:00	1:21
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03	1:04	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	1:13
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	2:16	1:57	2:24	0:00	0:14	2:03	0:00	0:00	0:00	8:54

5.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkeaika ylittää 30 tunnin ohjearvon seitsemän reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen.

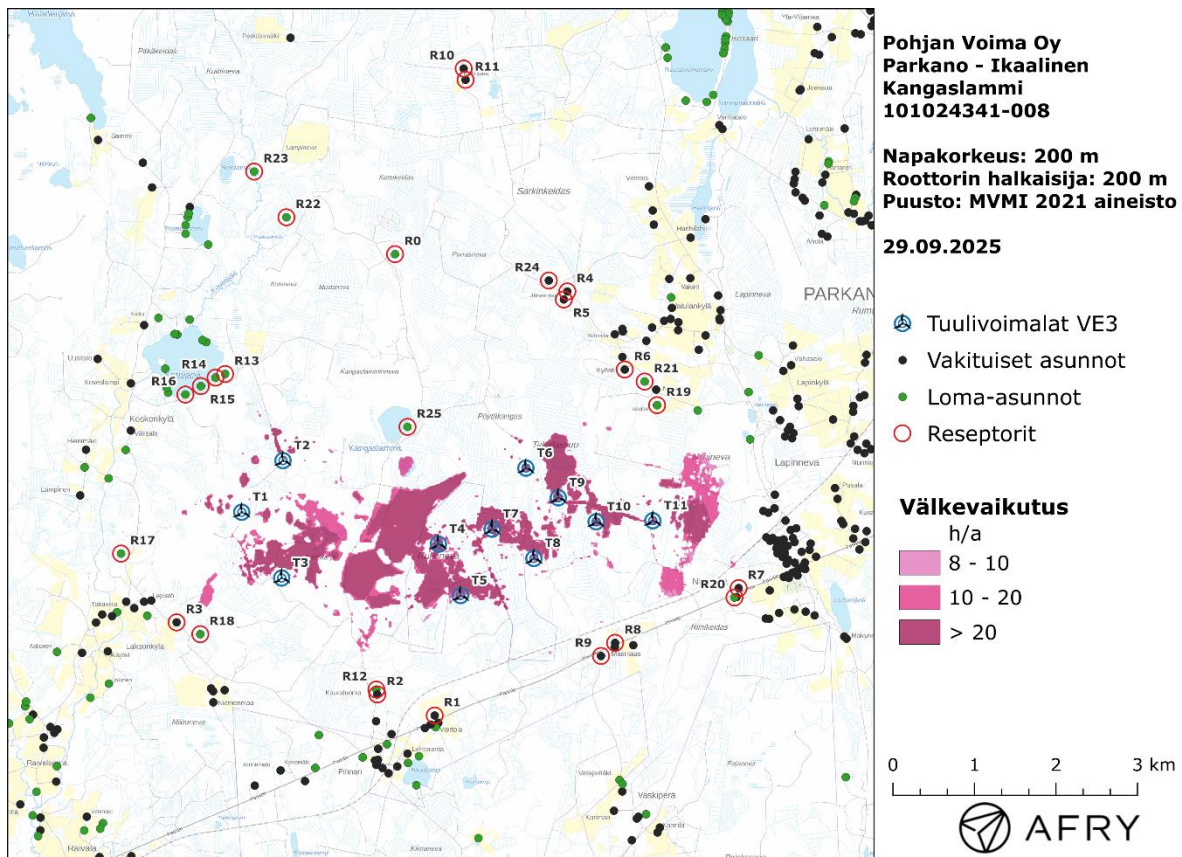
Taulukko 5-6: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R0	0:00	0:00
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	31:01	0:37
R4	7:57	0:14
R5	9:35	0:16
R6	41:41	0:48
R7	36:43	1:00
R8	23:44	0:30
R9	10:10	0:17
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00
R12	1:17	0:08
R13	33:01	0:37
R14	29:33	0:36
R15	25:59	0:35
R16	22:08	0:31
R17	21:36	0:29
R18	4:01	0:20
R19	30:25	0:37
R20	24:26	0:40
R21	41:22	0:44
R22	0:00	0:00
R23	0:00	0:00
R24	6:21	0:13
R25	59:27	0:39

5.4 Puuston välkettä vähentävä vaikutus

Karttakuvassa (Kuva 5-2) on esitetty todennäköisen vuotuisen välkkeen mallinnus, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan. Laskennassa puustodatana on käytetty Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2021 [21]. Mallinnuksen perusteella puusto rajoittaa merkittävästi Kangaslammin voimaloiden näkyvyyttä ja siten vähentää välkevaikutusta.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien rakennusten kohdilla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Puuston huomioivat vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-7).



Kuva 5-2: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden.

Taulukko 5-7: Todennäköinen välkevaikutus puuston vaikutus huomioiden tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika puuston vaikutus huomioiden	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi puuston vaikutus huomioiden
R0	0:00	0:00
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	0:00	0:00
R4	0:40	0:02
R5	0:00	0:00
R6	3:09	0:04
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	0:17	0:03
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00
R12	0:00	0:00
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	0:00	0:00
R16	0:00	0:00
R17	0:00	0:00
R18	0:00	0:00
R19	1:21	0:05
R20	0:49	0:04
R21	0:00	0:00
R22	0:00	0:00
R23	0:00	0:00
R24	0:00	0:00
R25	0:00	0:00

6 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Parkanon ja Ikaalisten alueille suunnitellun Kangaslammin tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman melu- ja väikevaikutuksen laskennalliset arviot. Vaikutusten arvioinnit on tehty 11 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3.

Mallinnusten perusteella melutasot eivät ylitä valtioneuvoston ohjearvoja asuinrakennuksilla. Kun ei huomioida reseptoria R25, jonka kiinteistön kanssa on tehty sopimus loma-asunnon käyttötarkoituksen muutoksesta ja maanvuokrasopimus hankkeen aiheuttamien vaikutusten korvaamiseksi, mallinnettu melutaso ei ole sama kuin yöajan ohjearvo 40 dB(A) minkään loma- tai asuinrakennuksen kohdalla. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

Tuulivoimaloiden väikevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen väikevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kolmen asunnon kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon seitsemän asunnon kohdalla. Puuston väikettä vähentävä vaikutus huomioiden todennäköinen väikevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuntojen kohdalla.

7 VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ

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

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

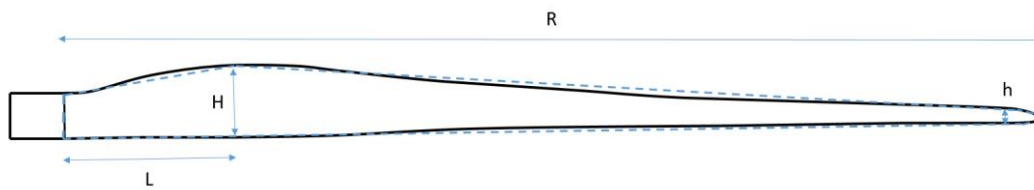
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 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.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 7-1) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti väkelaskennassa tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 7-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan 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 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [17] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.
- [18] B. Tammelin et al. : Production of the Finnish Wind Atlas. Wind energy, 2011.
- [19] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och provning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [20] P.Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [21] Luonnonvarakeskus: Monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMI) kartta-aineisto 2021, 2023.

9 MELUMALLINNUKSEN TIEDOT

Raportin ja raportioijan tiedot							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101024341-008.003				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 03.10.2025			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Erkki Heikkola, Veera Hatulainen							
Laatija: Veera Hatulainen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
Mallinnusohjelman tiedot							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2:2024			
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7,2 MW (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7,2 MW		Napakorkeus: 200 m		Roottorin halkaisija: 172 m		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus			Muu, mikä		
Kyllä	dB	Kyllä	dB		dB		
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa		dB		
Akustiset tiedot/Laskennan lähtötiedot							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_01. 2024-11-29.							
Alla oleviin arvoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,7	200	97,7	2000	97,2
63	91,8	25	69,9	250	99,2	2500	96,6
125	98,8	31,5	74,6	315	98,9	3150	96,8
250	103,4	40	78,4	400	97,8	4000	96,3
500	102,4	50	83,0	500	97,4	5000	92,0
1000	103,0	63	86,9	630	97,6	6300	85,7
2000	101,9	80	89,2	800	98,2	8000	81,4
4000	100,3	100	91,7	1000	98,4	10000	77,2
8000	87,5	125	94,0	1250	98,0		
		160	95,6	1600	97,5		

Melun erityispiirteiden mittaust ja havainnot:

Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos							Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2:2024											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
Neutraali											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
Vapaa avaruus											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl							Luonnonsuojelualueet: 0 kpl				
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R0	48,8	48,1	47,3	45,8	45,8	45,1	42,8	41,0	38,7	34,9	33,7
R1	52,0	51,4	50,6	49,2	49,1	48,5	46,3	44,6	42,4	38,8	37,9
R2	52,3	51,6	50,8	49,4	49,4	48,7	46,5	44,8	42,7	39,1	38,2
R3	51,5	50,8	50,0	48,6	48,6	47,9	45,7	44,0	41,9	38,3	37,5
R4	50,0	49,4	48,6	47,1	47,1	46,4	44,1	42,4	40,1	36,4	35,4
R5	50,3	49,7	48,9	47,4	47,4	46,7	44,4	42,7	40,5	36,8	35,8
R6	52,3	51,7	50,9	49,4	49,4	48,8	46,5	44,9	42,7	39,2	38,3
R7	51,7	51,1	50,2	48,8	48,8	48,2	45,9	44,3	42,1	38,5	37,7
R8	53,7	53,1	52,3	50,9	50,9	50,3	48,0	46,4	44,3	40,8	40,0
R9	53,5	52,8	52,0	50,6	50,6	50,0	47,7	46,1	44,0	40,5	39,7
R10	44,9	44,2	43,3	41,8	41,7	41,0	38,6	36,6	34,0	29,7	28,0
R11	45,1	44,4	43,5	42,0	42,0	41,2	38,8	36,8	34,2	30,0	28,3
R12	52,4	51,8	51,0	49,6	49,6	48,9	46,7	45,0	42,9	39,3	38,4
R13	51,6	51,0	50,2	48,7	48,7	48,1	45,8	44,2	42,0	38,5	37,6

R14	51,5	50,9	50,1	48,6	48,6	48,0	45,7	44,1	41,9	38,3	37,5
R15	51,4	50,8	50,0	48,5	48,5	47,9	45,6	44,0	41,8	38,2	37,4
R16	51,2	50,6	49,7	48,3	48,3	47,6	45,4	43,7	41,6	38,0	37,1
R17	50,4	49,8	48,9	47,5	47,5	46,8	44,6	42,9	40,7	37,1	36,1
R18	52,0	51,4	50,6	49,2	49,2	48,5	46,3	44,6	42,5	39,0	38,2
R19	53,1	52,4	51,6	50,2	50,2	49,6	47,3	45,7	43,6	40,1	39,3
R20	51,6	51,0	50,2	48,8	48,7	48,1	45,9	44,2	42,0	38,4	37,6
R21	52,4	51,8	50,9	49,5	49,5	48,9	46,6	45,0	42,8	39,3	38,4
R22	47,3	46,6	45,8	44,3	44,3	43,5	41,2	39,4	37,0	33,0	31,7
R23	46,1	45,4	44,6	43,1	43,0	42,3	39,9	38,0	35,5	31,4	29,9
R24	49,7	49,1	48,3	46,8	46,8	46,1	43,8	42,1	39,8	36,1	35,0
R25	54,3	53,7	52,9	51,4	51,4	50,8	48,6	47,0	44,9	41,4	40,6