



Eolus Energy Oy

Hallakallio

Tuulivoimapuiston melun ja välkkeen yhteisvaikutukset lähialueen hankkeiden kanssa

3.2.2026

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 101029014-001.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Eolus Energy Oy

Johanna Laaksonen

johanna.laaksonen@eolus.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Erkki Heikkola

erkki.heikkola@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101029014-001

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	3.2.2026/ Erkki Heikkola Senior consultant	3.2.2026/ Mika Laitinen Senior consultant	Alkuperäinen

SISÄLLYS

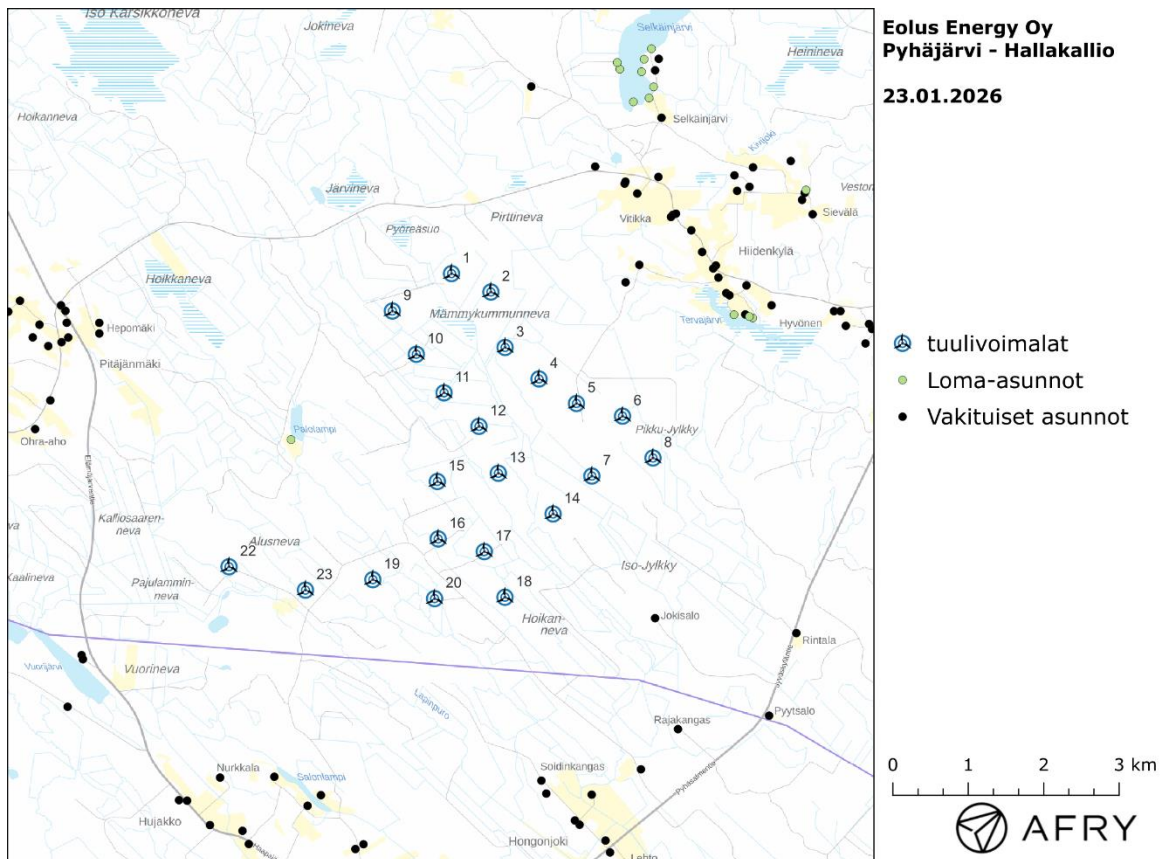
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU	11
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	11
2.2	Melumallinnusohjeistus	12
2.3	Ohjearovot	13
2.4	Sisämelutasojen arviointi	14
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS	15
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	15
3.2	Matalataajuuden melun mallinnus	20
4	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	22
4.1	Välkevaikutus	22
4.2	Välkkeen rajoittaminen	22
4.3	Arvioinnin epävarmuudet	22
4.4	Ohjearovot	23
5	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	24
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	24
5.2	Todennäköinen välkevaikutus	26
5.3	Teoreettinen välkevaikutus	28
6	YHTEENVETO	29
7	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	30
8	VIITTEET	32
9	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT	33

1 JOHDANTO

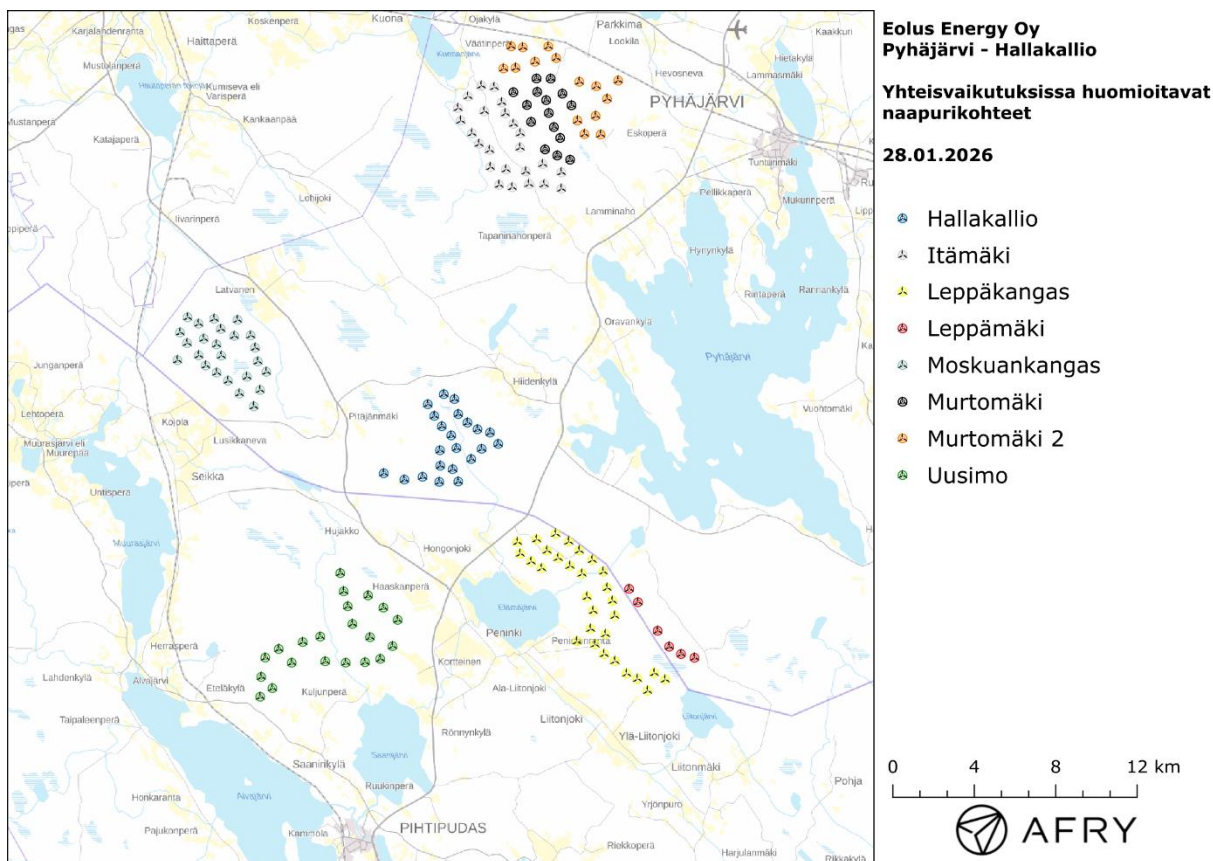
Selvityksessä arvioidaan Pyhäjärven kaupungin alueelle suunnitellun Hallakallion tuulivoimapuiston sekä lähellä sijaitsevien toiminnassa ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen aiheuttamaa melun ja väkkeen yhteisvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään Hallakallion kaavaehdotuksen mukaiselle 22 voimalan toteutusvaihtoehdolle. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan seuraavat seitsemän tuulivoimakohdetta:

- Murtomäki, 15 voimalaa (tuotannossa)
- Murtomäki II, 15 voimalaa (suunnitteilla)
- Itämäki, 24 voimalaa (suunnitteilla)
- Moskuankangas, 24 voimalaa (suunnitteilla)
- Uusimo, 21 voimalaa (suunnitteilla)
- Leppämäki, 6 voimalaa (suunnitteilla)
- Leppäkangas, 30 voimalaa, (suunnitteilla)

Naapurikohteiden tiedot selvityksen mallinuksissa perustuvat julkisesti tammikuussa 2026 saatavilla olleisiin aineistoihin. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjilla kuvissa (Kuva 1-1 ja Kuva 1-2) ja voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 1-1 - Taulukko 1-8).



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Hallakallion hankealueella.



Kuva 1-2: Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioitavat tuulivoimakohdeet.

Taulukko 1-1: Hallakallion tuulivoimaloiden (22 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	432767	7049566	165,3
T2	433289	7049322	159,9
T3	433477	7048587	159,0
T4	433927	7048170	167,2
T5	434424	7047845	176,9
T6	435034	7047677	164,0
T7	434628	7046883	153,2
T8	435438	7047123	163,5
T9	431983	7049070	172,0
T10	432301	7048497	162,2
T11	432668	7047987	156,0
T12	433131	7047542	153,3
T13	433388	7046920	152,5
T14	434114	7046382	153,5
T15	432579	7046811	167,0
T16	432590	7046050	161,3
T17	433202	7045882	153,4
T18	433475	7045278	148,3

T19	431724	7045511	154,7
T20	432543	7045260	146,9
T22	429817	7045682	156,5
T23	430831	7045372	159,8

Taulukko 1-2: Murtomäen tuulivoimaloiden (15 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	437320	7065056	165,1
T03	437355	7064398	168,1
T04	437794	7063995	168,4
T05	437923	7063362	163,7
T07	438174	7062672	161,2
T09	437739	7061577	174,4
T10	438017	7065048	160,5
T12	438590	7064311	159,4
T13	439038	7063740	158,9
T14	438967	7061070	159,0
T16	437054	7062928	164,3
T18	438483	7062139	159,7
T19	436849	7063756	165,7
T20	436184	7064384	162,7
T25	438336	7061277	163,1

Taulukko 1-3: Murtomäki 2:n tuulivoimaloiden (15 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	436068	7066634	165,3
T2	436646	7066580	166,8
T3	437898	7066622	156,3
T4	435698	7065545	164,0
T5	436292	7065578	166,7
T6	437247	7065878	168,0
T7	438283	7066058	158,5
T8	439420	7064893	159,9
T9	440252	7064676	157,6
T10	441328	7064954	160,8
T11	440785	7064058	158,9
T12	440221	7063220	160,4
T13	439332	7062989	161,5
T15	439673	7062330	160,6
T16	440471	7062302	160,3

Taulukko 1-4: Itämäen tuulivoimaloiden (24 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
I1	438539	7059645	151,4
I2	435240	7064629	157,7
I3	436124	7059718	155,3
I4	435480	7059833	154,1
I5	437691	7059860	154,1
I6	436941	7059873	156,8
I7	434606	7064701	152,5
I8	438539	7060447	160,9
I9	436790	7060488	161,8
I10	435817	7060595	152,6
I11	435051	7060707	149,4
I12	437624	7060857	163,1
I13	435013	7061545	147,1
I14	436510	7061666	160,6
I15	434496	7061850	145,9
I16	436524	7062363	162,1
I17	434146	7062365	145,0
I18	436185	7062827	161,9
I19	433597	7062985	144,9
I20	435786	7063345	160,5
I21	434753	7063448	155,4
I22	433461	7063604	138,5
I23	435611	7063879	161,9
I24	433953	7064177	140,5

Taulukko 1-5: Moskuankankaan tuulivoimaloiden (24 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M01	419688	7051232	152,2
M02	419816	7052592	159,4
M03	420191	7053333	156,5
M04	420163	7052070	159,7
M05	420722	7053024	152,6
M06	420732	7051468	151,3
M07	420977	7052288	155,2
M08	421490	7053263	144,3
M09	421074	7050970	145,7
M10	421606	7052004	149,2
M11	421821	7052764	145,0
M12	421613	7050622	140,9

M13	421839	7051452	147,3
M14	422477	7052421	143,5
M15	423284	7052445	141,4
M16	422170	7050224	138,9
M17	423098	7050420	144,0
M18	423503	7051843	142,0
M19	422728	7049595	138,4
M20	423745	7049768	149,3
M21	424051	7050662	150,3
M22	423438	7048966	144,8
M23	422639	7053211	139,3
M24	423635	7051169	143,8

Taulukko 1-6: Uusimon tuulivoimaloiden (21 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	423751	7034716	139,9
T2	424350	7035140	132,8
T3	428051	7039154	161,0
T4	429647	7036576	126,8
T5	424001	7036639	137,7
T6	428278	7038291	152,0
T7	425301	7036387	132,0
T8	430500	7038489	133,0
T9	423801	7035688	141,3
T10	428901	7036410	129,3
T11	427685	7040785	142,1
T12	426946	7036454	124,7
T13	429799	7039089	139,5
T14	425843	7037402	135,6
T15	430250	7037201	127,7
T16	424662	7037062	144,2
T17	427952	7036390	121,8
T18	427851	7039889	148,4
T19	429050	7039688	142,9
T20	426702	7037670	129,2
T21	429145	7037639	136,9

Taulukko 1-7: Leppämäen tuulivoimaloiden (6 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
L1	441868	7040011	152,0
L2	442303	7039356	154,4
L3	443266	7037951	180,3
L4	443832	7037173	167,8
L5	444415	7036812	170,4
L6	445074	7036631	171,9

Taulukko 1-8: Leppäkankaan tuulivoimaloiden (30 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	438258	7042709	141,9
T02	437321	7042440	151,9
T03	436383	7042309	148,6
T04	436516	7041736	140,7
T05	437052	7041348	139,1
T06	437830	7041885	142,0
T07	438900	7042328	141,6
T08	438377	7041525	139,4
T09	439417	7041889	141,3
T10	438962	7041139	139,5
T11	439550	7040756	138,2
T12	440054	7041429	143,0
T13	440595	7040853	141,6
T14	440782	7040055	150,5
T15	441042	7039424	157,7
T16	440096	7038925	148,5
T17	441154	7038686	162,0
T18	439968	7038045	137,9
T19	440700	7037784	148,5
T20	440185	7037283	140,5
T21	440638	7036809	145,5
T22	441165	7036466	151,9
T23	441742	7035850	160,9
T24	442271	7035592	177,5
T25	442771	7035007	169,5
T26	443098	7035876	164,9
T27	443634	7035558	163,8
T28	439300	7037435	132,3
T29	439796	7039620	136,0
T30	437565	7041023	145,1

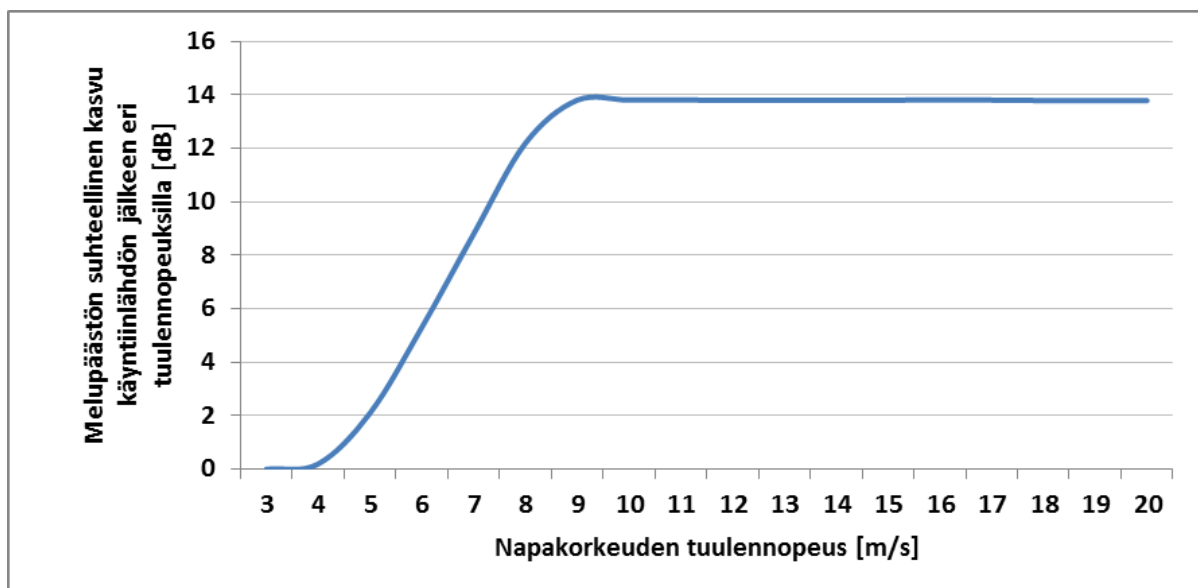
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä 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 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 kokemukseräisesti 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 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 esittämis tavat. 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 voimalatyyppien 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 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 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 perustelumistion 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 ääneneristykseen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-4) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristykseen 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. Mallinuksissa on käytetty voimalavalmistajien ilmoittamia taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista voimalavalmistajien dokumenteista:

- Third octave sound power levels. Nordex N175/6.X. Doc.: 9003492. Revision 10, 2025-10-10.
- Third octave noise emission EnVentus™ V162-6.2MW 50/60 Hz. Document no. 0105-5200_00. 2021-04-21.
- Third octave noise emission EnVentus™ V172. Document no. 0128-4336_01. 2024-11-29.
- Acoustic emission for SG 6.6-170, Rev. 0, Document ID SG-F18.16-TR-00891_R00, 2022-10-04.
- Third octave sound power levels Nordex N163/6.X. F008_277_A17_EN. Revision 11, 2025-03-07.

Dokumenteissa 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.”

Hallakallion tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 207,5 m ja tuulivoimalatyyppeä N175 6,8 MW (with serrated trailing edges), jonka ilmoitettu maksimiäänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa Hallakallion voimaloille on siis käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 12 m/s napakorkeudella, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Hallakallion ja melun yhteisvaikutuksissa huomioitujen naapurikohteiden voimalatyypit, napakorkeudet ja äänitehotasot on koottuna taulukkoon (Taulukko 3-1). Joissakin naapurikohteissa on käytetty voimalatyyppeä, joka on varustettu siipien jättöreunan serratoinnilla (with serrated trailing edges, STE), mutta joissakin on käytetty sileää jättöreunaa (without STE). Taulukossa 3-1 on mainittu kohdekohtaisesti, onko mallinuksissa käytetty siiven jättöreunan serratointia vai ei:

- serratointi käytössä: Hallakallio, Murtomäki, Murtomäki 2, Itämäki ja Moskuankangas,
- serratointi ei käytössä: Uusimo, Leppämäki ja Leppäkangas.

Taulukko 3-1: Melumallinuksissa käytetyt voimalatiedot huomioituissa tuulivoimakohdeissa.

Tuulivoimakohde	Voimaloiden lukumäärä	Napa- korkeus	Tuulivoimalatyyppi	Äänitehotaso
Hallakallio	22	207,5 m	N175 6,8 MW (STE)	106,9 + 2 dB(A)
Murtomäki	15	166 m	V162 6,2 MW (STE)	104,8 + 2 dB(A)
Murtomäki 2	15	180 m	SG170 6,6 MW (STE)	106,0 + 2 dB(A)
Itämäki	24	214 m	V172 7,2 MW (STE)	107,8 + 2 dB(A)
Moskuankangas	24	200 m	V172 7,2 MW (STE)	107,8 + 2 dB(A)
Uusimo	21	200 m	V172 7,2 MW (without STE)	111,1 + 2 dB(A)
Leppämäki	6	190 m	N163 7 MW (without STE)	109,4 + 2 dB(A)
Leppäkangas	30	200 m	N175 6,2 MW, mode 2 (without STE)	108,0 + 2 dB(A)

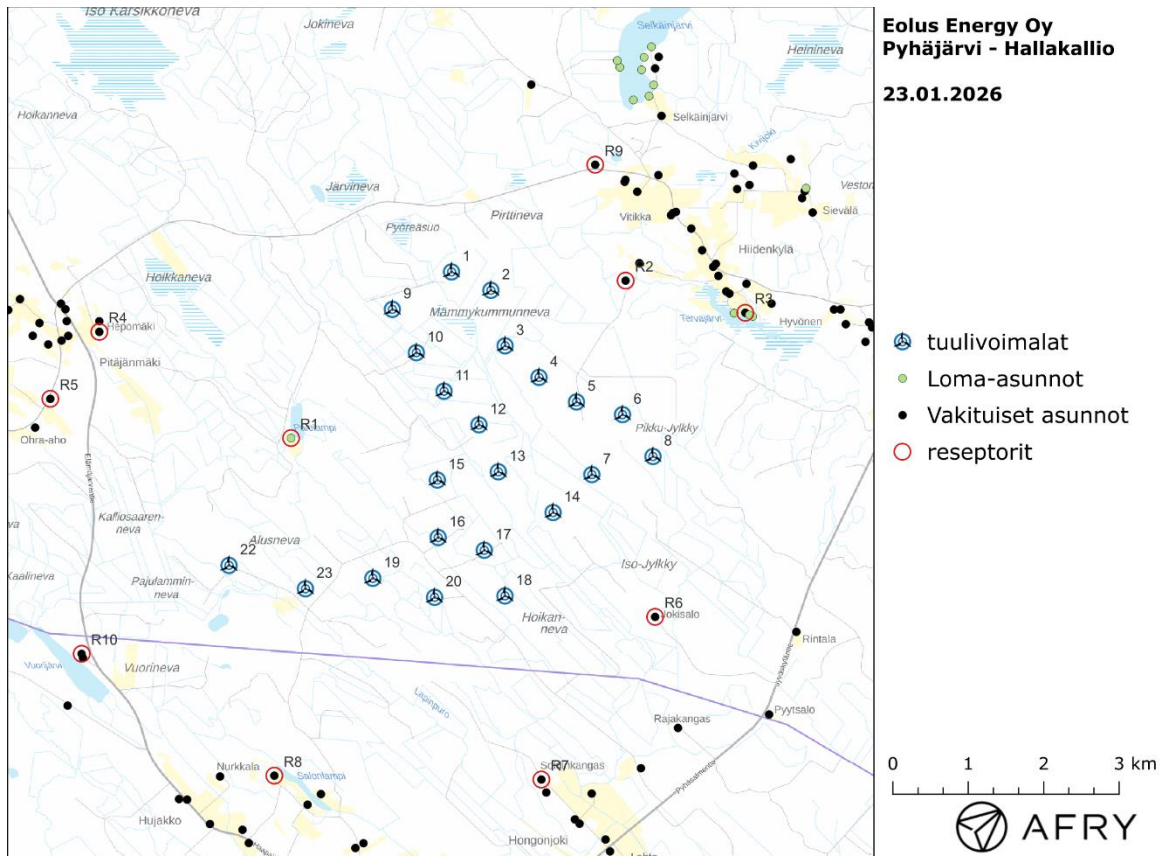
Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksessa. Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka 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 3-2) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 10 pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuuden melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pistet 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 lähimmillään noin 1,7-2 km etäisyydellä Hallakallion voimaloista.

Taulukko 3-2: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

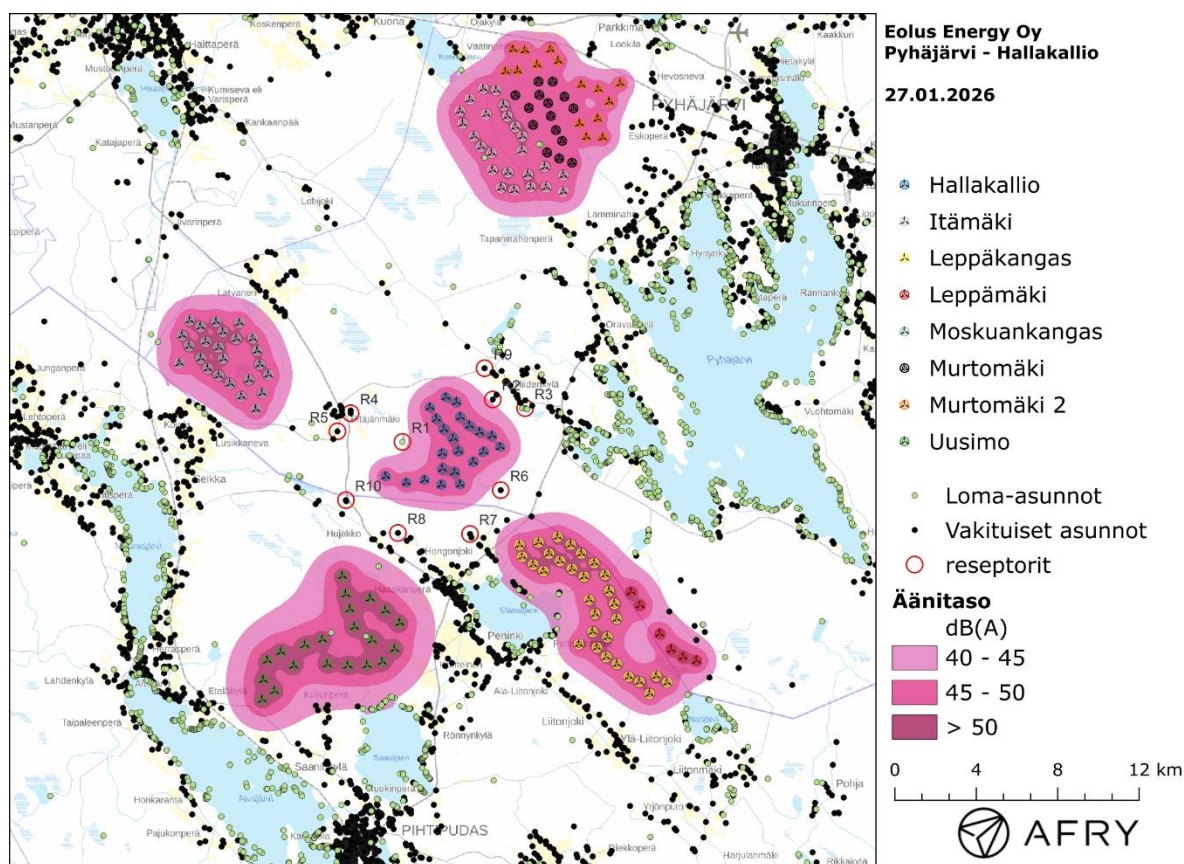
Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	430641	7047365	165,5	lomarakennus
R2	435076	7049448	153,4	vakituinen asuinrakennus
R3	436663	7049023	151,1	vakituinen asuinrakennus
R4	428099	7048770	194,2	vakituinen asuinrakennus
R5	427450	7047884	190,6	vakituinen asuinrakennus
R6	435467	7044998	148,1	vakituinen asuinrakennus
R7	433960	7042846	135,7	vakituinen asuinrakennus
R8	430419	7042897	156,2	vakituinen asuinrakennus
R9	434673	7050982	160,3	vakituinen asuinrakennus
R10	427866	7044510	146,5	vakituinen asuinrakennus


Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

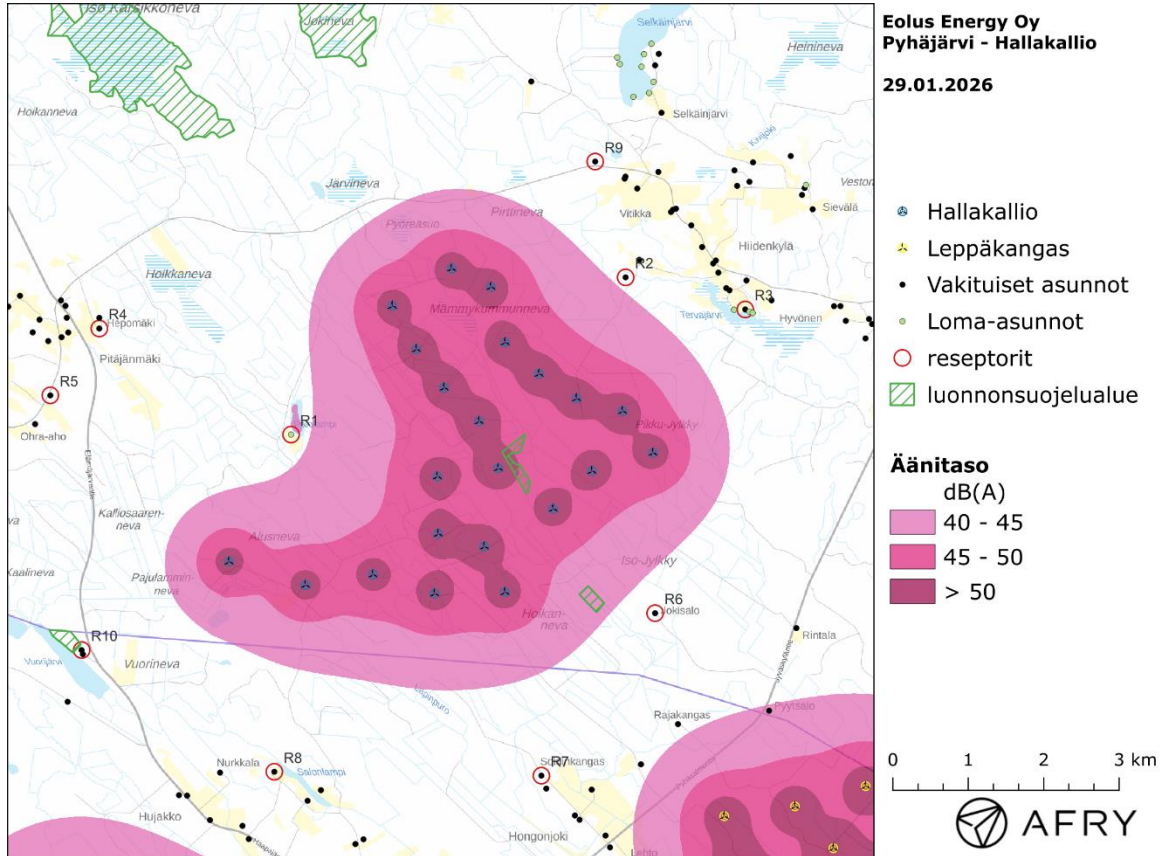
Meluvaikutus

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

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-3). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptoripisteissä R1 ja R2. Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset nostavat reseptorien melutasoja 0,4-4,7 dB(A). Suurimmillaan melutasot kasvavat reseptorin R5 kohdalla, joka sijaitsee Hallakallion ja Moskuankankaan välissä.



Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Hallakallion tuulivoimapuiston hankealueella.



Kuva 3-3: Keskiäänitasot LAeq, kun yhteisvaikutusten karttanäkymä on rajattu Hallakallion vaikutusalueelle.

Taulukko 3-3: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun huomioidaan kohteiden yhteisvaikutukset.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	39,5
R2	39,3
R3	36,2
R4	33,9
R5	34,0
R6	38,7
R7	37,0
R8	37,4
R9	35,6
R10	35,7

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

Meluvaikutus

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

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_{σ}) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja toimenpiderajoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit 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 ääneneneristävyyksille 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 ääneneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 3-4) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 3-4: 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

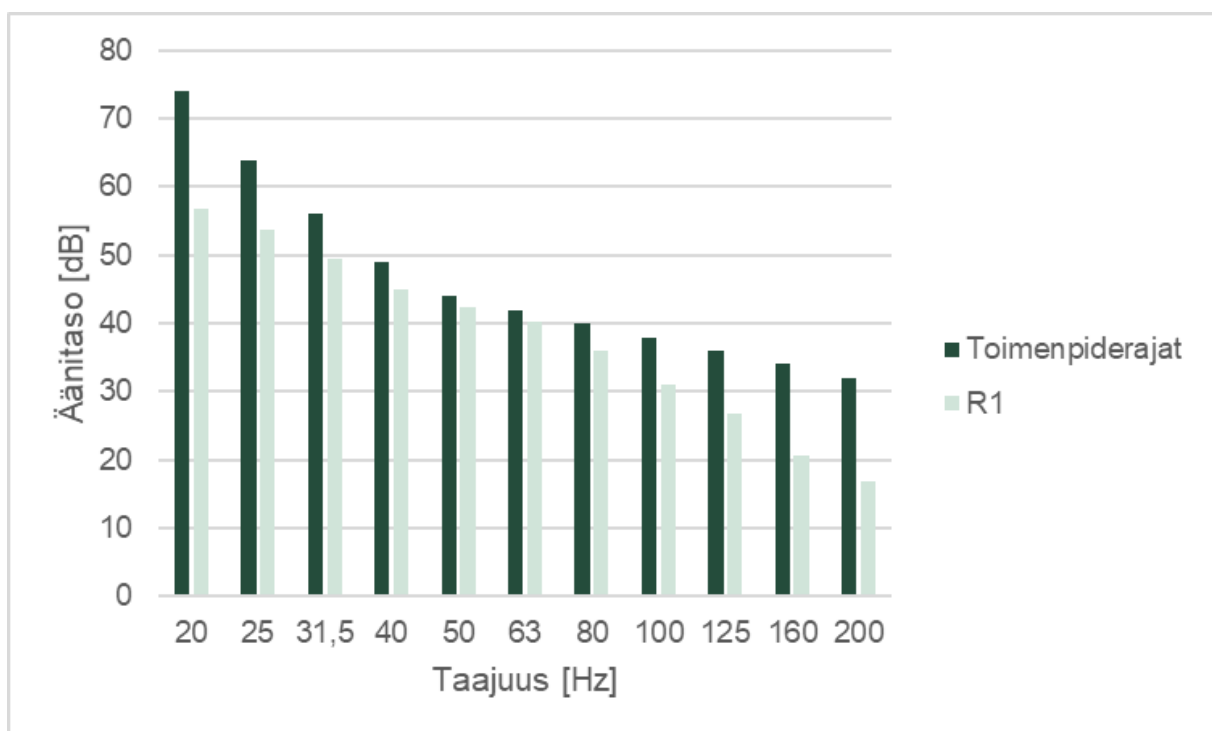
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-4) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R1, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-4).

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

Taulukko 3-5: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	64,4	62,0	58,7	55,2	53,8	53,3	50,8	47,9	45,5	41,8	39,6
R2	64,3	61,9	58,5	54,8	52,9	52,4	50,2	47,4	45,2	41,7	39,6
R3	62,1	59,7	56,4	52,8	51,2	50,6	48,1	45,2	42,7	38,9	36,4
R4	59,6	57,5	54,8	52,0	51,4	50,7	47,8	44,7	41,6	37,1	34,4
R5	59,4	57,3	54,7	52,1	51,8	51,1	48,0	44,9	41,8	37,1	34,3
R6	64,2	61,8	58,5	54,9	53,4	52,9	50,4	47,5	45,1	41,3	39,0
R7	62,9	60,6	57,6	54,5	53,8	53,3	50,4	47,2	44,3	39,9	37,2
R8	62,1	60,1	57,8	55,5	55,8	55,3	52,0	48,7	45,3	40,3	36,9
R9	61,7	59,4	56,1	52,6	51,0	50,4	47,9	45,0	42,4	38,6	36,2
R10	60,7	58,7	56,4	54,1	54,3	53,7	50,4	47,1	43,6	38,6	35,1



Kuva 3-4: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R1 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 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 kaakkoispuolelle (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 kohdittuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen välkelaskenta 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 150 km.

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

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

4.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [8]. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. välkkeen 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 välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [19]. Saksassa teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen 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 tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

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

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

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

Välkelaskennassa Hallakallion voimaloille on käytetty napakorkeutta 207,5 m ja roottorin halkaisijaa 185 m. Tuulivoimaloille on käytetty tuulivoimalatyyppin Vestas V162 lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 185 m. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,5 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Lapaprofiilia on arvioitu tuulivoimalavalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Hallakallion ja välkkeen yhteisvaikutuksissa huomioitujen naapurikohteiden voimalamitoitukset on koottuna taulukkoon (Taulukko 5-1).

Taulukko 5-1: Välkemallinuksissa käytetyt voimalatiedot huomioituissa tuulivoimakohdeissa.

Tuulivoimakohde	Voimaloiden lukumäärä	Napa- korkeus	Roottorin halkaisija	Kokonaiskorkeus
Hallakallio	22	207,5 m	185 m	300 m
Murtomäki	15	166 m	162 m	247 m
Murtomäki 2	15	180 m	200 m	280 m
Itämäki	24	214 m	172 m	300 m
Moskuankangas	24	200 m	175 m	287,5 m
Uusimo	21	200 m	200 m	300 m
Leppämäki	6	190 m	175 m	277,5 m
Leppäkangas	30	200 m	200 m	300 m

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [18] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa 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 5-2).

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 5-3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 5-2: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,180	0,166	0,153	0,145	0,130	0,164

Taulukko 5-3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

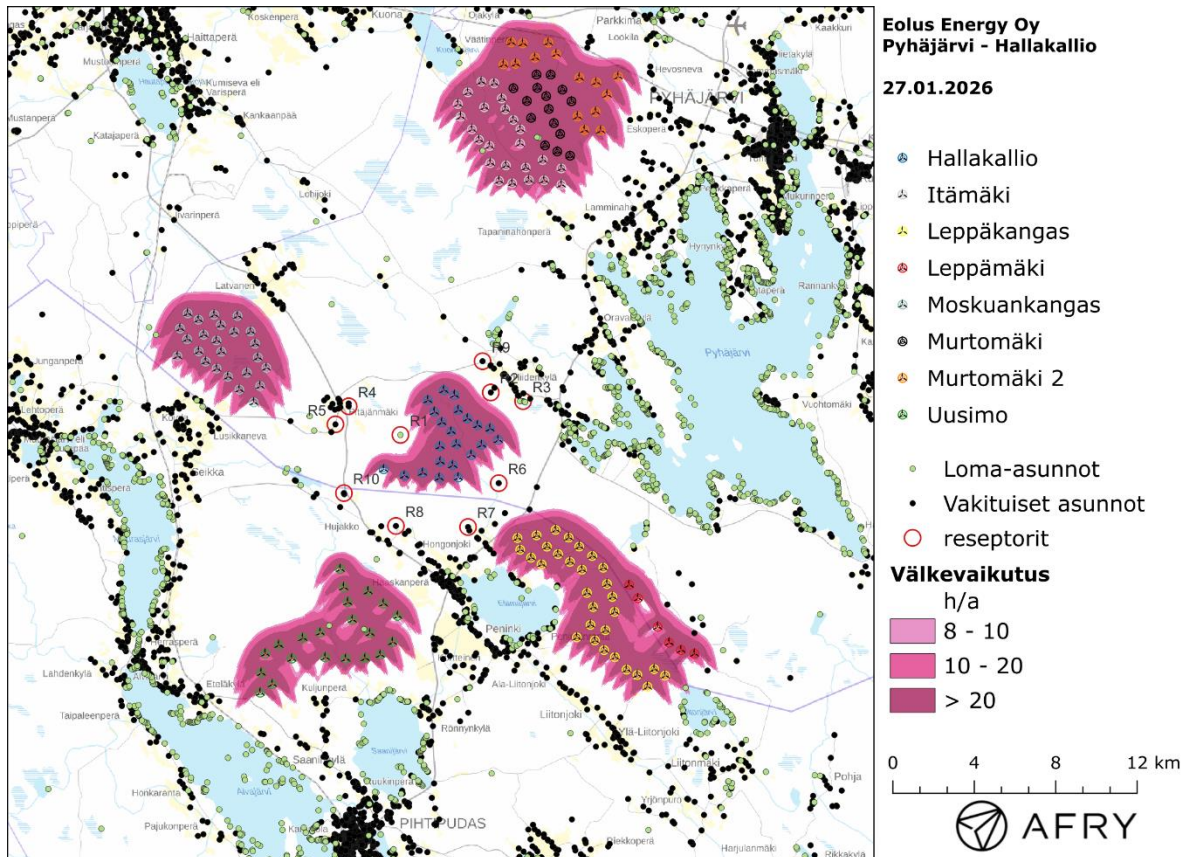
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

5.2 Todennäköinen välkevaikutus

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

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet aiemmin määritettyjen reseptorien (Taulukko 3-2) kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-4). Mallinnusten perusteella Hallakallion ja naapurikohteiden välillä ei ilmene välkkeen yhteisvaikutuksia tarkasteltavien reseptoripisteiden kohdilla.

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R1 ja R2 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 5-5 ja Taulukko 5-6). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 5-1: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta, kun mallinuksissa huomioidaan Hallakallion yhteisvaikutukset naapurikohteiden kanssa.

Taulukko 5-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	3:34	0:04
R2	3:10	0:04
R3	0:21	0:02
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	2:04	0:04
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	0:20	0:02
R10	0:00	0:00

Taulukko 5-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R1 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	0:16	0:01	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
Huhtikuu	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Toukokuu	0:00	0:00	0:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:41
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	0:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Elokuu	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13
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	0:07	0:13	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32
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	1:52	0:27	0:07	0:39	0:13	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	3:34

Taulukko 5-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R2 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	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:37
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:06
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19	0:00	0:00	0:00	0:19
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	0:11	0:00	0:00	0:00	0:35
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30
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	0:08	1:01	0:48	1:13	0:00	0:00	0:00	3:10

5.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5-7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälke aika pysyvät alle ohjearvojen kaikkien rakennusten kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Taulukko 5-7: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	20:58	0:22
R2	16:10	0:17
R3	2:04	0:11
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	7:51	0:14
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	2:15	0:11
R10	0:00	0:00

6 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Pyhjärven kaupungin alueelle suunnitellun Hallakallion tuulivoimapuiston sekä läheisten tuulivoimapuistojen aiheuttaman melun ja välkkeen yhteisvaikutusten laskennalliset arviot. Vaikutusten arvioinnit on tehty kaavaehdotuksen mukaiselle 22 voimalan suunnitelmalle. Hallakallion suunnitelman lisäksi mallinuksissa on huomioitu seuraavien tuulivoimapuistojen voimat: Murtomäki, Murtomäki II, Itämäki, Moskuankangas, Uusimo, Leppämäki sekä Leppäkangas.

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

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 asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. 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.

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 välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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

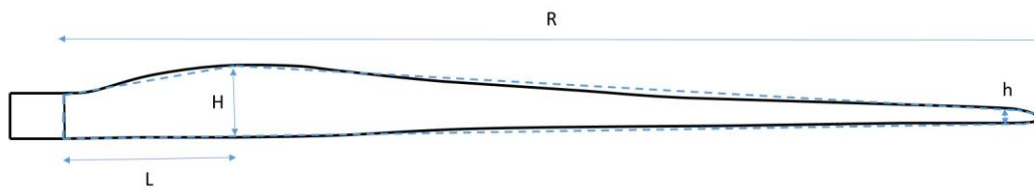
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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

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

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä väkkelaskennan 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 väkkelaskennassa 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 vastaava 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.

9 MELUMALLINNUKSEN TIEDOT

Raportin ja raportijan tiedot					
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101029014-001.001			Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 3.2.2026		
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy					
Vastuuhenkilöt: Erkki Heikkola					
Laatija: Erkki Heikkola			Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen		
Mallinnusohjelman tiedot					
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto			Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2:2024		
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot					
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex			Tyyppi: N175 6,8 MW (mode 0, with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:
Nimellisteho: 6,8 MW	Napakorkeus: 207,5 m		Roottorin halkaisija: 175 m	Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun					
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä	
Kyllä	dB	Kyllä	dB		dB
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa		dB
Akustiset tiedot/Laskennan lähtötiedot					
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot) Third octave sound power levels. Nordex N175/6.X. Doc.: 9003492. Revision 10, 2025-10-10.					

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)				Muu, mikä:			
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei		
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos						Vaakaresoluutio: 2 m			Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2:2024											
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
R1	64,4	62,0	58,7	55,2	53,8	53,3	50,8	47,9	45,5	41,8	39,6
R2	64,3	61,9	58,5	54,8	52,9	52,4	50,2	47,4	45,2	41,7	39,6
R3	62,1	59,7	56,4	52,8	51,2	50,6	48,1	45,2	42,7	38,9	36,4
R4	59,6	57,5	54,8	52,0	51,4	50,7	47,8	44,7	41,6	37,1	34,4
R5	59,4	57,3	54,7	52,1	51,8	51,1	48,0	44,9	41,8	37,1	34,3
R6	64,2	61,8	58,5	54,9	53,4	52,9	50,4	47,5	45,1	41,3	39,0
R7	62,9	60,6	57,6	54,5	53,8	53,3	50,4	47,2	44,3	39,9	37,2
R8	62,1	60,1	57,8	55,5	55,8	55,3	52,0	48,7	45,3	40,3	36,9
R9	61,7	59,4	56,1	52,6	51,0	50,4	47,9	45,0	42,4	38,6	36,2
R10	60,7	58,7	56,4	54,1	54,3	53,7	50,4	47,1	43,6	38,6	35,1