



YIT Suomi Oy

Murtomäki 2 -tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys: yhteisvaikutukset lähialueen hankkeiden kanssa

586_304_001, 15.9.2022

Tekijä
Mika Laitinen

Osasto
Wind and Solar Power and New Energy Systems

E-mail
mika.laitinen@afry.com

pvm
15/09/2022

Projektinnumero
586_304_001

Raporttiversio
003

Raportin tila
VALMIS

Asiakas

YIT Suomi Oy
Jarno Hautamäki

Murtomäki 2 -tuulivoimapaiston melu- ja välkeselvitys:
yhteisvaikutukset lähialueen hankkeiden kanssa

Raporttihistoria

Versio	Pvm/ Laatija	Pvm/ Tarkastaja	Pvm/ Hyväksyjä	Merkinnät/ Muutokset
Alku- peräinen	23.06.2022/ Mika Laitinen	23.06.2022/ Erkki Heikkola	23.06.2022/ Pasi Tarvainen	Alkuperäinen
002	28.06.2022/ Riku Suutari	28.06.2022/ Erkki Heikkola		Raportin nimen tarkennus
003	15.09.2022/ Mika Laitinen	15.09.2022/ Erkki Heikkola		Voimalasijainnit muuttuneet

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

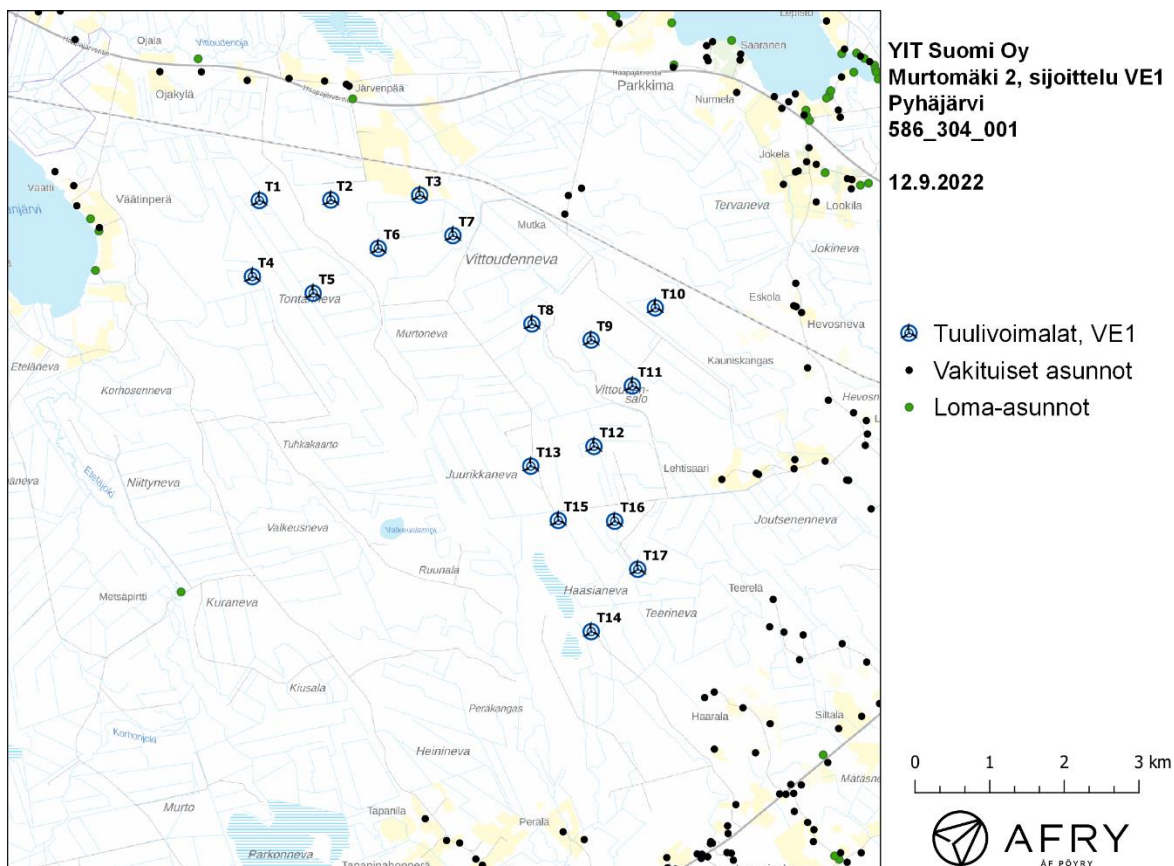
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	12
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	12
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	13
2.3	Ohjearvot	14
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	16
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	16
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	21
4	Tuulivoimaloiden välke	25
4.1	Välkevaikutus.....	25
4.2	Välkkeen rajoittaminen.....	25
4.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	25
4.4	Ohjearvot	26
5	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	27
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	27
5.2	Välkevaikutus.....	29
6	Yhteenvedo	34
7	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	35
8	Viitteet.....	37
9	Melumallinnuksen tiedot.....	38

1 Johdanto

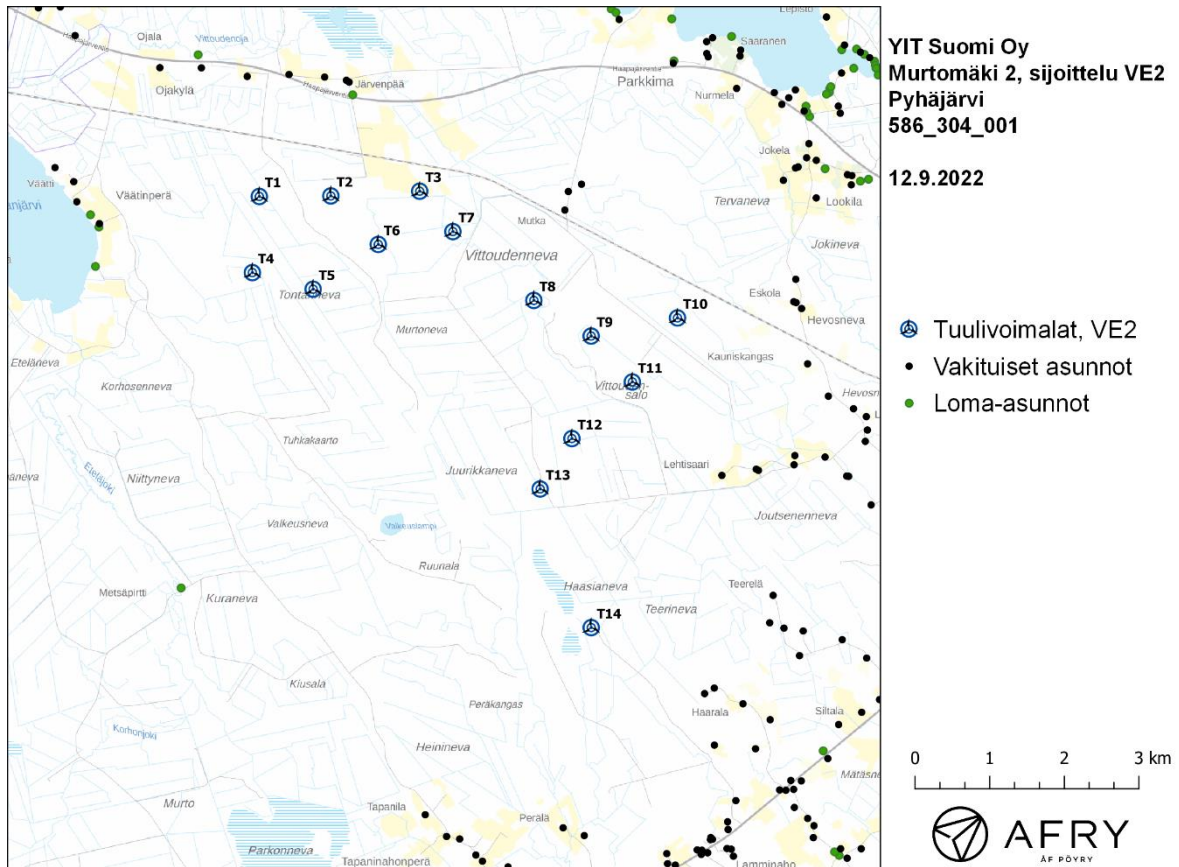
Selvityksessä arvioidaan Pyhäjärven kaupungin alueelle suunnitellun Murtomäki 2:n tuulivoimapuiston aiheuttamaa melu- ja välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitusuunnitelmille VE1 (17 voimalaa) ja VE2 (14 voimalaa). Arvioinnissa huomioidaan myös näiden voimaloiden lähellä sijaitsevat ja suunnitellut tuulivoimapuistot Murtomäki (15 voimalaa), Itämäki (35 voimalaa), Nurmesneva (17 voimalaa) ja Kokkopetäikkö (14 voimalaa). Kaikkien selvityksessä huomioitujen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1–Kuva 3) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 3–Taulukko 8).

Melumallinnuksissa käytetyt turbiinityypit, napakorkeudet ja turbiinien äänitehotasot on lueteltu taulukossa (Taulukko 1). Turbiinityyppien melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten turbiinivalmistajan ilmoittamiin melupäästön lukuarvoihin on lisätty 2 dB ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

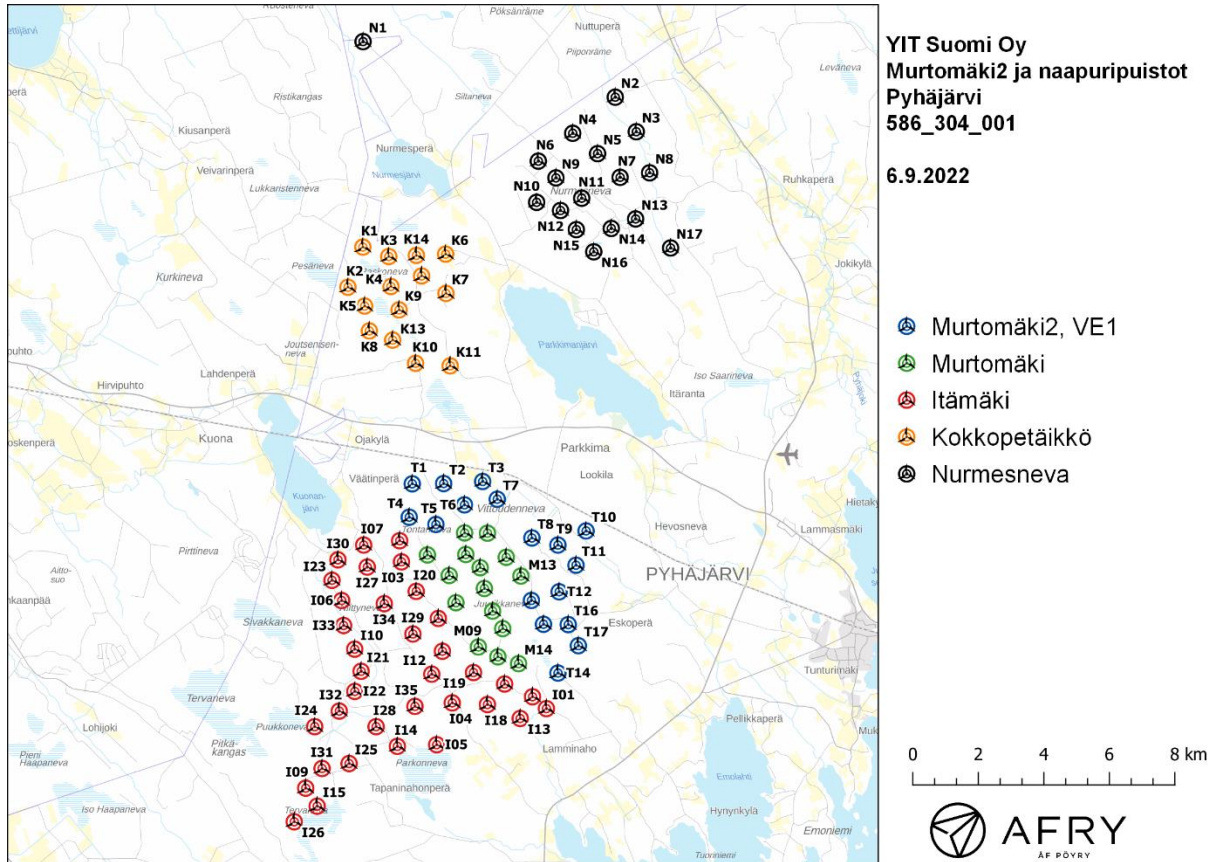
Välkevaikutuksen mallintamiseen käytetyt napakorkeudet ja roottorien halkaisijat on esitetty taulukossa (Taulukko 2).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Murtomäki 2:n sijoitusuunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Murtoäki 2:n sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 3: Murtomäki 2:n sijoitussuunnitelma VE1 sekä Murtomäen, Itämäen, Nurmesnevan ja Kokkopetäikön voimalat.

Taulukko 1: Melumallinnuksissa käytetyt turbiinityypit, napakorkeudet ja lähtömelutasot.

Tuulivoimapuisto	Turbiinityyppi	Napakorkeus [m]	Lähtömelutaso [dB(A)]
Murtomäki 2	SG170 6,2 MW	181	106+2
Murtomäki	V162 6,2 MW	166	104,8+2,2
Itämäki	SG170 6,2 MW	200	106+2
Kokkopetäikkö	V162 7,2 MW	200	107,1+2
Nurmesneva	SG170 6,2 MW	200	106+2

Taulukko 2: Välkemallinuksissa käytetyt napakorkeudet ja roottorin halkaisijat.

Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]
Murtoämäki 2	181	200
Murtoämäki	166	162
Itämäki	200	200
Kokkopetäikkö	200	200
Nurmesneva	200	200

Taulukko 3: Murtoämäki 2:n sijoitussuunnitelma VE1: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	435721	7066553	162
T2	436679	7066560	168
T3	437870	7066623	157
T4	435628	7065534	164
T5	436442	7065312	165
T6	437315	7065911	168
T7	438315	7066083	158
T8	439374	7064901	159
T9	440168	7064685	160
T10	441028	7065116	160
T11	440720	7064070	161
T12	440205	7063260	161
T13	439359	7062997	161
T14	440169	7060783	158
T15	439728	7062270	160
T16	440483	7062260	160
T17	440793	7061617	160

Taulukko 4: Murtomäki 2:n sijoitussuunnitelma VE2: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	435721	7066553	162
T2	436679	7066560	168
T3	437870	7066623	157
T4	435628	7065534	164
T5	436442	7065312	165
T6	437315	7065911	168
T7	438315	7066083	158
T8	439400	7065162	160
T9	440168	7064685	160
T10	441326	7064927	163
T11	440720	7064070	161
T12	439910	7063313	162
T13	439485	7062638	160
T14	440169	7060783	158

Taulukko 5: Murtomäen tuulivoimapuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
M01	437320	7065056	168
M12	438590	7064311	165
M03	437355	7064398	171
M04	437794	7063995	173
M05	437923	7063362	168
M07	438174	7062672	163
M09	437739	7061577	178
M10	438017	7065048	165
M14	438967	7061070	160
M16	437054	7062928	165
M18	438483	7062139	162
M19	436849	7063756	168
M20	436184	7064384	167
M13	439038	7063740	163

M25	438336	7061277	166
-----	--------	---------	-----

Taulukko 6: Itämäen tuulivoimapuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
I01	439816	7059698	158
I02	435335	7064817	161
I03	435391	7064173	165
I04	436941	7059873	158
I05	436466	7058598	155
I06	433564	7062994	145
I07	434237	7064686	144
I08	436516	7062448	161
I09	432466	7057273	166
I10	433963	7061511	148
I11	436641	7061448	161
I12	436316	7060748	159
I13	439016	7059398	153
I14	435266	7058548	156
I15	432816	7056723	167
I16	438541	7060448	161
I17	439393	7060060	155
I18	438016	7059823	153
I19	437591	7060798	163
I20	435841	7063273	160
I21	434158	7060836	150
I22	433966	7060223	158
I23	433270	7063611	138
I24	432741	7059148	167
I25	433791	7058023	165
I26	432116	7056248	169
I27	434346	7064014	142
I28	434616	7059148	154
I29	435741	7061973	155
I30	433451	7064235	138

I31	432966	7057873	165
I32	433491	7059623	157
I33	433624	7062232	145
I34	434866	7062898	149
I35	435802	7059767	154

Taulukko 7: Nurmesnevan tuulivoimapuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
N16	441263	7073627	156
N17	443609	7073744	148
N15	440730	7074304	153
N14	441798	7074339	149
N13	442541	7074629	145
N12	440247	7074886	151
N10	439518	7075136	151
N11	440895	7075261	148
N9	440108	7075881	145
N8	442968	7076036	141
N6	439569	7076392	147
N5	441379	7076620	151
N4	440620	7077241	152
N3	442561	7077288	136
N2	441919	7078341	135
N1	434218	7080036	151
N7	442067	7075898	149

Taulukko 8: Kokkopetäikön tuulivoimapuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
K1	434212	7073771	158
K2	433756	7072547	161
K3	435004	7073483	156
K4	435068	7072570	156
K5	434266	7071973	157
K6	436739	7073556	155
K7	436750	7072357	155
K8	434410	7071214	160
K10	435822	7070227	155
K11	436878	7070150	155
K12	436006	7072892	156
K9	435319	7071856	153
K13	435123	7070935	156
K14	435846	7073518	154

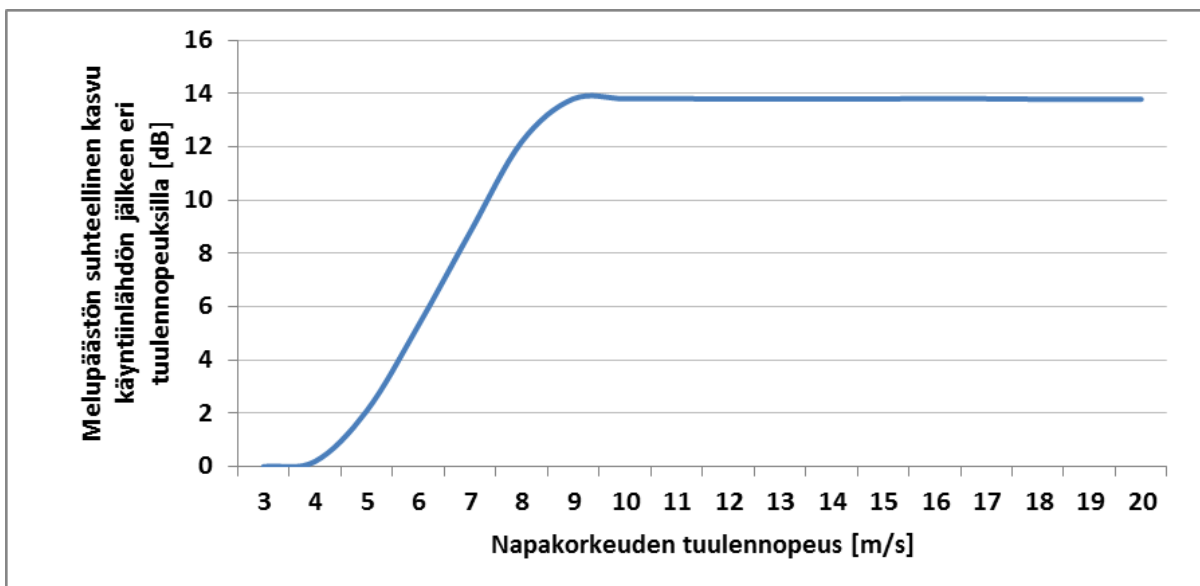
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [17]. 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 [20].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 4).



Kuva 4: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

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

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta,

puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [20].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [18]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [19].

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [16].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [5] ja [8].

2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [10]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

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

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

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

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

parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [6]. 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 [12]. 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 [11].

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [10] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja.

Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 9).

Taulukko 9: 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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [9]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). 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 10: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.

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

3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola melumallinnusohjelmistolla. Melumallinnuksissa on käytetty taulukossa (Taulukko 1) ilmoitettuja napakorkeuksia, turbiinityyppejä ja äänitehotasoja. Turbiinityyppejä vastaavat taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajien dokumenteista:

- Standard Acoustic Emission, SG 6.0-170, Rev. 0, Hub Height 135 m. Document ID: SGRE ON NE&ME TE SAS N-40-0000-046AC30-00 2020-05-26.
- Third octave noise emission EnVentus™ V162-6.2MW. Document no 0105-5200_00, 2021-04-21.
- Third octave noise emission EnVentus™ V162-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0116-1715_00, 2022-01-07.

Turbiinityypeille ilmoitetut melutasot ovat laskennallisia ja perustuvat kokonaismelutason odotusarvoon. Dokumenteissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [13]:

“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.”

Koska melumallinnuksissa käytetyt äänitehotasot (Taulukko 1) sisältävät 2 dB:n varmuusarvon, äänitehotasoja voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisina melupäästön tunnusarvoina. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [14] 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.

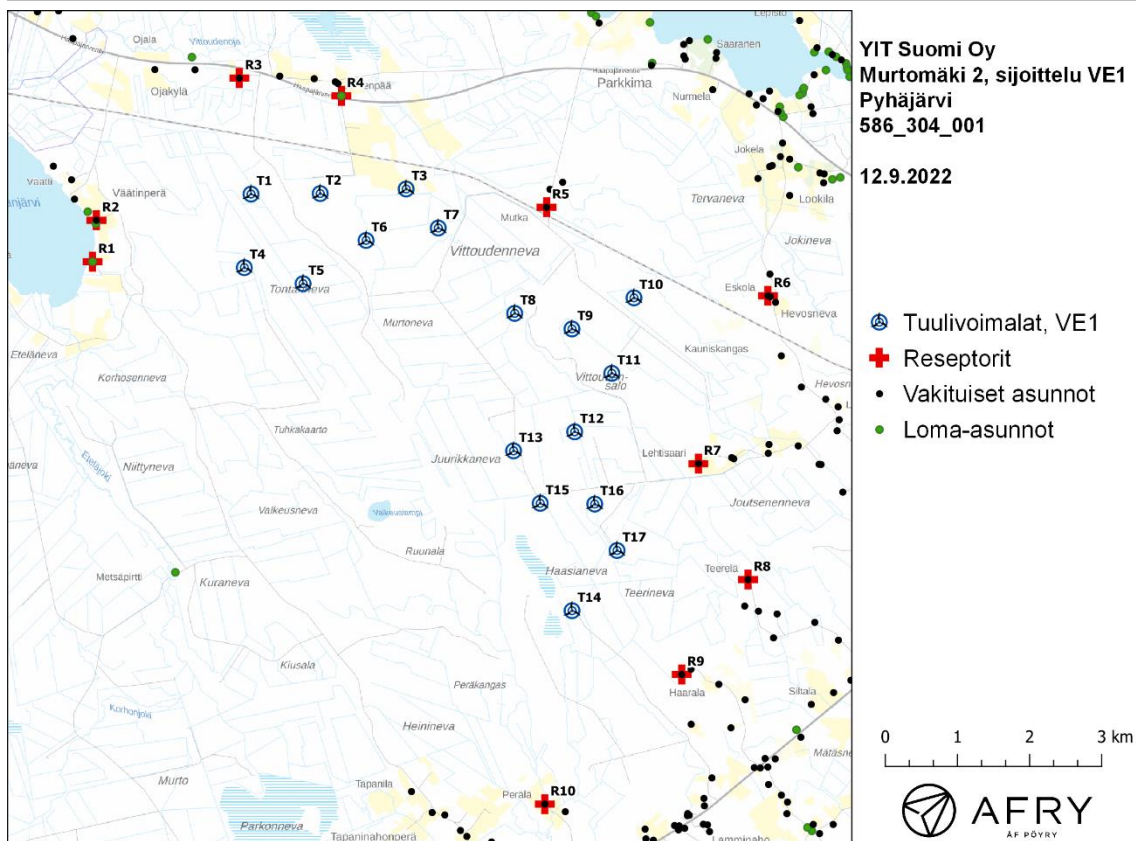
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorptioon 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 11) on määritelty Murtomäki 2:n tuulivoimaloiden ympäristöstä 10 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasojen tarkastellaan

tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 5). Pisteet sijaitsevat lähimmillään 1,4–2,7 km etäisyydellä Murtomäki 2:n voimaloista.

Taulukko 11: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	433526	7065614	138	loma-asuinrakennus
R2	433579	7066188	138	vakituinen asuinrakennus
R3	435560	7068158	151	vakituinen asuinrakennus
R4	436974	7067911	153	loma-asuinrakennus
R5	439817	7066369	158	vakituinen asuinrakennus
R6	442885	7065142	157	vakituinen asuinrakennus
R7	441921	7062817	155	vakituinen asuinrakennus
R8	442609	7061212	153	vakituinen asuinrakennus
R9	441690	7059897	161	vakituinen asuinrakennus
R10	439793	7058101	149	vakituinen asuinrakennus

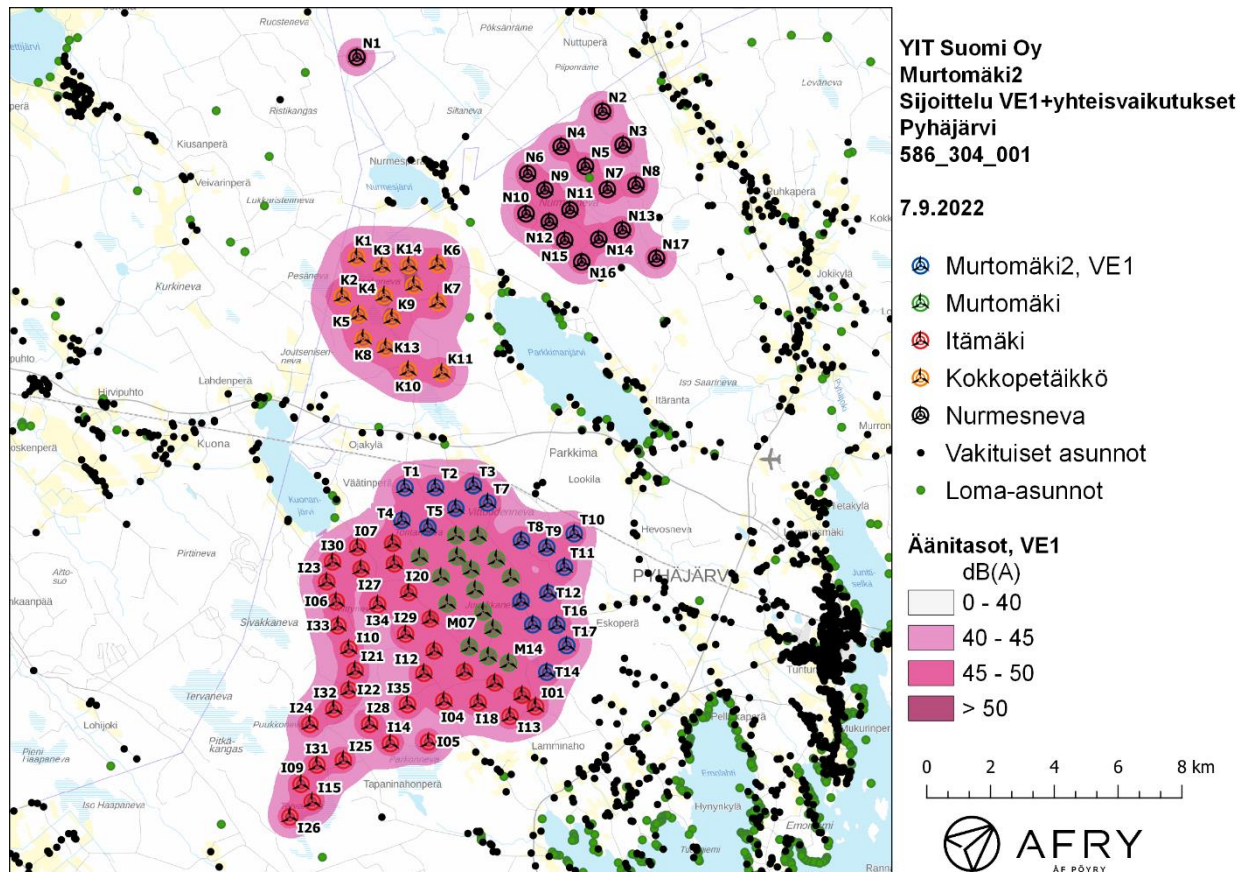


Kuva 5: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

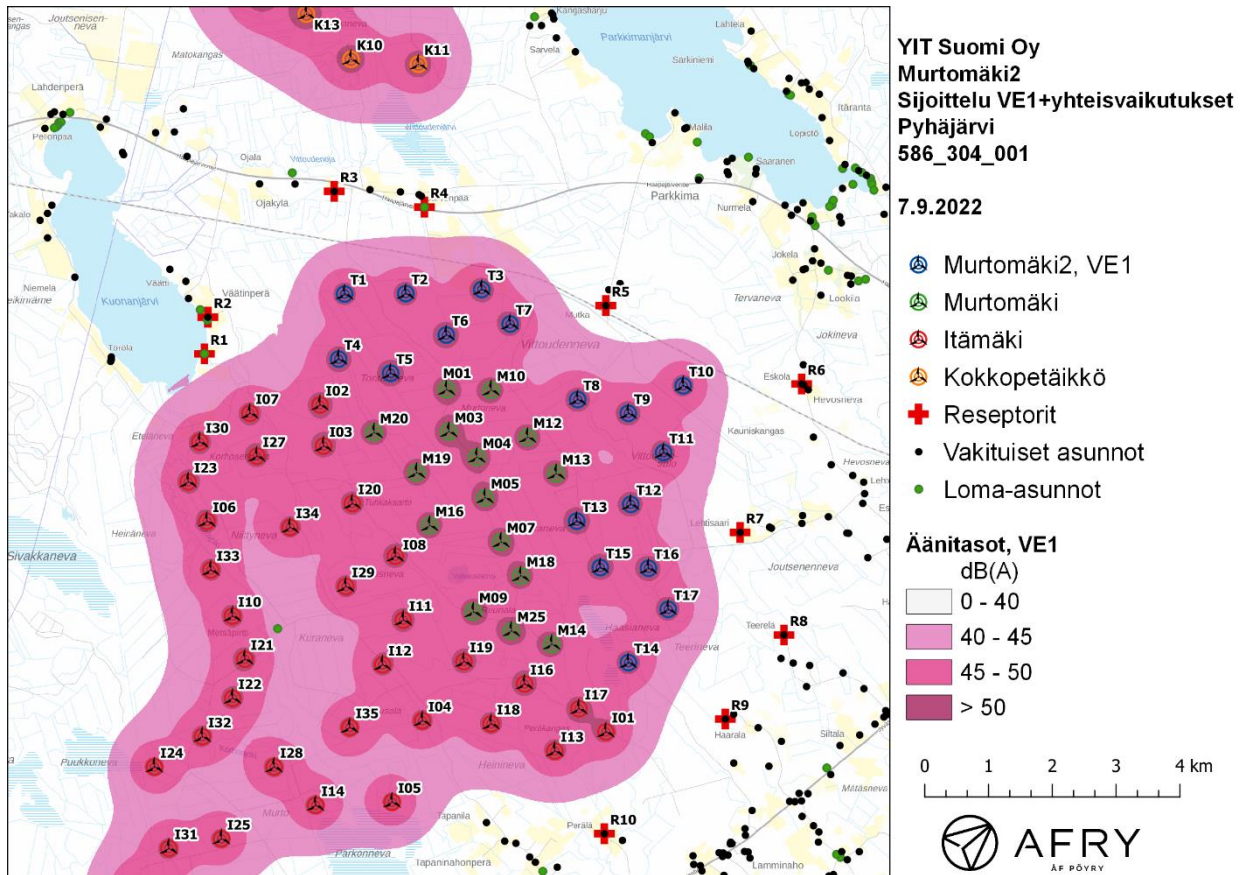
Meluvaikutus

MurtoMäki 2:n, MurtoMäen, Itämäen, Kokkopetäikön ja Nurmesnevan tuulivoimaloiden mallinnettu keskiäänitaso L_{Aeq} on esitetty karttakuvina (Kuva 6, Kuva 7 ja Kuva 8). Ensimmäisessä karttakuvassa (Kuva 6) on esitetty kaikkien puistojen meluvaikutus kokonaisuudessaan MurtoMäki 2:n sijoitussuunnitelmalla VE1. ja Seuraavissa karttakuvissa (Kuva 7 sijoitussuunnitelmalla VE1 ja Kuva 8 sijoitussuunnitelmalla VE2) mallinnustulokset on rajattu MurtoMäki 2:n voimaloiden vaikutusalueelle.

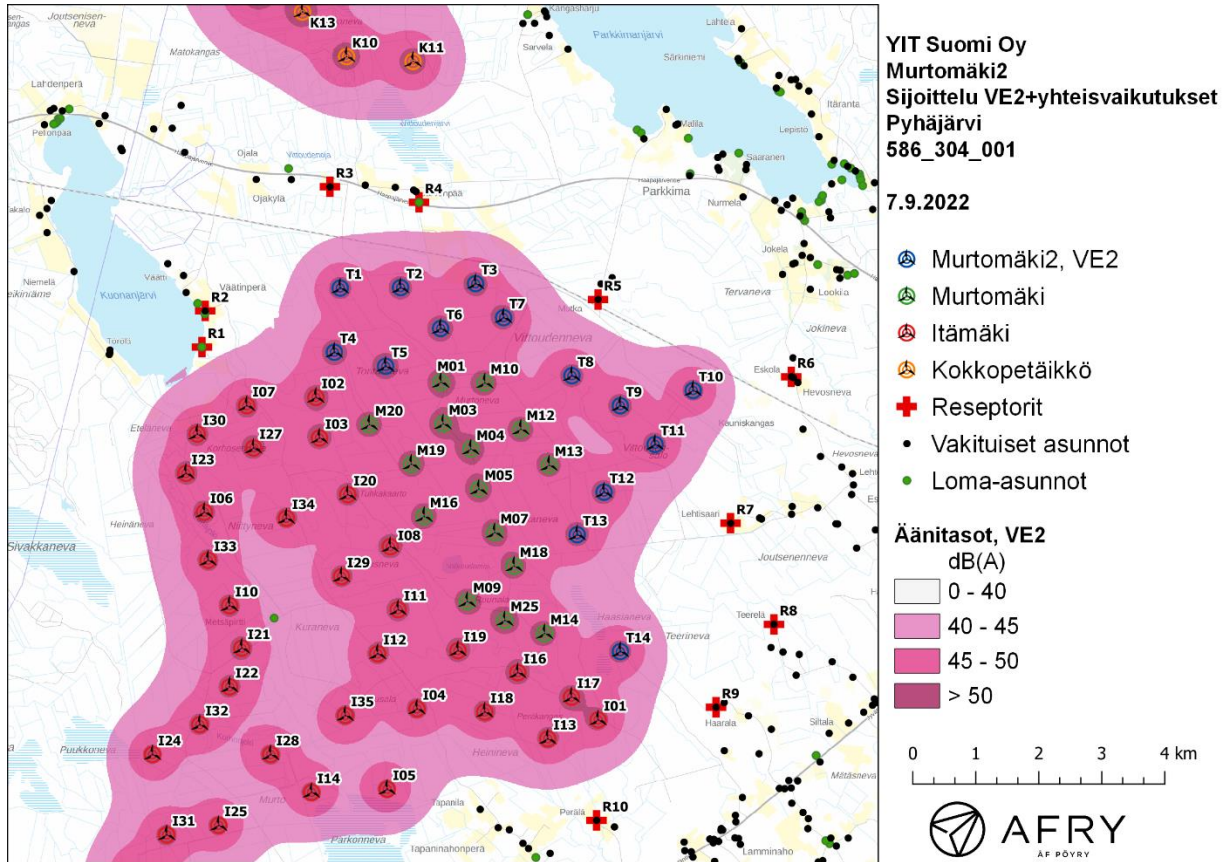
Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 12). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät molemmilla sijoitussuunnitelmissa valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen rakennusten kohdilla joihin MurtoMäki 2:n voimaloista aiheutuu meluvaikutuksia.



Kuva 6: Keskiäänitasot L_{Aeq} viiden mallinnetun tuulivoimapaiston alueella: MurtoMäki 2 (VE1), MurtoMäki, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva.



Kuva 7: Keskiäänitasot Laeq tulivoimapaustoille Murtomäki 2 (VE1), Murtomäki, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva. Karttanäkymä on rajattu Murtomäki 2:n vaikutusalueelle. Nurmesnevan voimalat ovat mukana mallinnuksessa, mutta voimalat jäävät kartan ulkopuolelle.



Kuva 8: Keskiäänitasot Laeq tuulivoimapuistoille Murtomäki 2 (VE2), Murtomäki, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva. Karttanäkymä on rajattu Murtomäki 2:n vaikutusalueelle. Nurmesnevan voimalat ovat mukana mallinnuksessa, mutta voimalat jäävät kartan ulkopuolelle.

Taulukko 12: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Suunnitelma VE1 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE2 Äänitaso dB(A)
R1	38,5	38,5
R2	36,2	36,2
R3	36,8	36,8
R4	37,9	37,9
R5	38,0	38,1
R6	32,6	33,0
R7	37,1	35,1
R8	33,5	31,5
R9	35,2	34,2
R10	35,9	35,7

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [10]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 10). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [6], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksen ääneneristävyyssparametri (ΔL_o) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [7]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [7] eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyyssarvoja. Taulukossa (Taulukko 13) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [7] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 13: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

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

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 13) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 14 ja Taulukko 15). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Molemmilla sijoitussuunnitelmilla korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön R1, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 9 ja Kuva 10). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

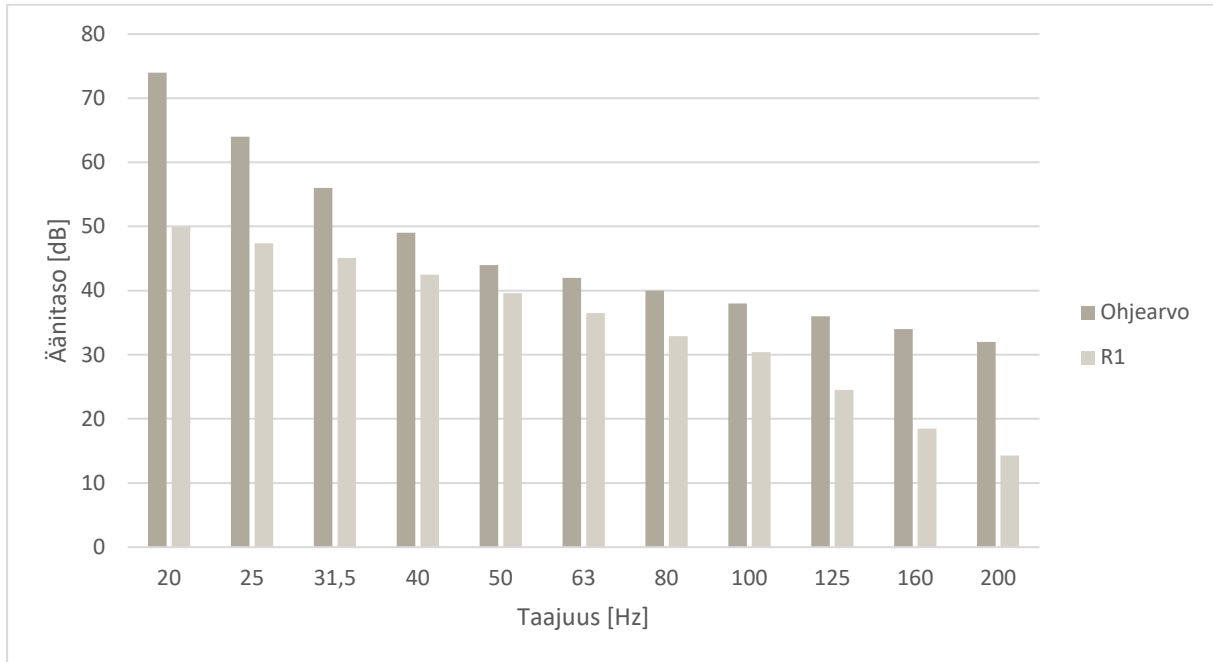
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 10) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unhäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona $L_{eq,1h}$ mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisten melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Näin tapahtuu tämän raportin mallinnusten perusteella (lukujen 3.1 ja 3.2 tulokset), eikä sisätilojen kokonaismelutasojen tarkistus edellytä erillisiä mallinnuksia. Tätä johtopäätöstä tukevat tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 14: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE1.

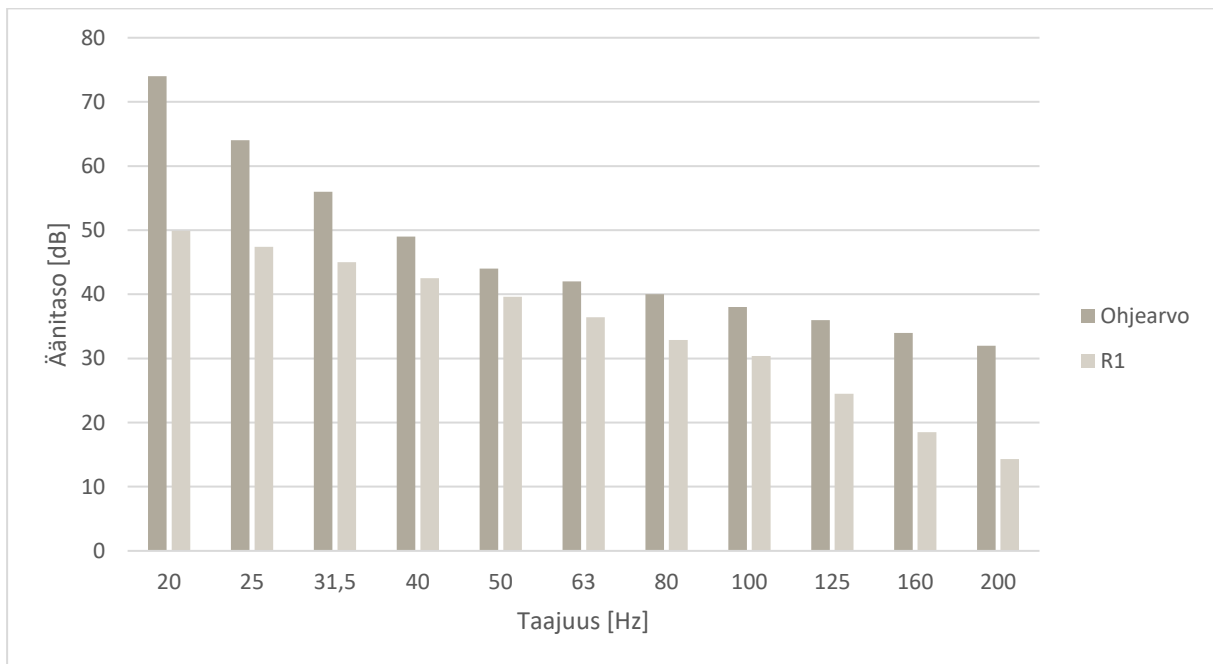
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	57,5	55,7	54,3	52,8	51,1	49,5	47,7	47,2	43,3	39,6	37,1
R2	56,4	54,6	53,1	51,7	50,0	48,4	46,6	46,0	42,2	38,4	35,8
R3	55,6	53,9	52,5	51,2	49,6	48,1	46,5	45,7	42,3	38,8	36,7
R4	56,6	54,9	53,5	52,1	50,5	49,0	47,3	46,6	43,1	39,5	37,3
R5	57,2	55,4	54,0	52,6	50,9	49,3	47,6	46,9	43,2	39,6	37,2
R6	54,1	52,3	50,8	49,4	47,7	45,9	44,1	43,3	39,4	35,4	32,5
R7	56,7	54,9	53,4	52,0	50,3	48,6	46,9	46,2	42,4	38,7	36,1
R8	54,7	52,9	51,4	50,0	48,3	46,5	44,7	44,0	40,0	36,1	33,3
R9	55,6	53,8	52,3	50,9	49,1	47,4	45,6	45,0	41,1	37,2	34,5
R10	55,9	54,1	52,6	51,1	49,4	47,7	45,9	45,3	41,3	37,5	34,8

Taulukko 15: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE2.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	57,5	55,7	54,2	52,8	51,1	49,4	47,7	47,2	43,3	39,6	37,1
R2	56,3	54,5	53,1	51,7	50,0	48,3	46,6	45,9	42,1	38,4	35,8
R3	55,5	53,8	52,4	51,1	49,6	48,1	46,5	45,6	42,3	38,8	36,6
R4	56,6	54,8	53,4	52,1	50,5	48,9	47,3	46,5	43,0	39,5	37,2
R5	57,1	55,3	53,9	52,5	50,9	49,2	47,5	46,8	43,2	39,6	37,2
R6	53,9	52,1	50,7	49,2	47,5	45,8	44,0	43,2	39,3	35,3	32,5
R7	55,4	53,6	52,2	50,8	49,1	47,4	45,6	44,9	41,1	37,3	34,7
R8	53,6	51,8	50,3	48,9	47,2	45,5	43,6	42,8	38,8	34,8	32,0
R9	54,8	53,0	51,5	50,1	48,4	46,7	44,9	44,2	40,3	36,4	33,7
R10	55,6	53,8	52,3	50,9	49,2	47,4	45,7	45,1	41,1	37,3	34,6



Kuva 9: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 10: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

4 Tuulivoimaloiden välke

4.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja keston vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

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

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

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

Tämän selvityksen väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

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 välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa 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 [11]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [3]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja.

5 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

5.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola mallinnusohjelmistolla. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien 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, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Välkemallinuksissa voimaloille on käytetty taulukossa (Taulukko 2) esitettyjä napakorkeuksia ja roottorin halkaisijoita. Roottorin halkaisijalle 162 m on käytetty turbiinityypin V162 tarkkaa lapaprofiilia turbiinivalmistajan dokumenttien pohjalta. Roottorin halkaisijalle 200 m on käytetty turbiinityypin SG170 6,2 MW lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Pituuden lisäksi lapa on skaalattu myös leveämmäksi ja skaalatun lavan maksimileveys on 4,7 m. Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätä (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [2] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny.

Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 16).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [4]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 17). Suuntaakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 16: 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	0,169	0,154	0,149	0,139	0,152

Taulukko 17: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

5.2 Välkevaikutus

Murtomäki 2:n, Murtomäen, Itämäen, Kokkopetäikön ja Nurmesnevan tuulivoimaloiden mallinnettu todennäköinen vuotuinen välkevaikutus on esitetty karttakuvina (Kuva 11, Kuva 12 ja Kuva 13). Ensimmäisessä karttakuvassa (Kuva 11) on esitetty kaikkien puistojen välkevaikutus kokonaisuudessaan Murtomäki 2:n sijoitussuunnitelmalla VE1. ja Seuraavissa karttakuvissa (Kuva 12 sijoitussuunnitelmalla VE1 ja Kuva 13 sijoitussuunnitelmalla VE2) mallinnustulokset on rajattu Murtomäki 2:n voimaloiden vaikutusalueelle.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Vuotuiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 18). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon yhden loma-asunnon kohdalla. Ylitys tulee reseptorin R1 kohdalla, jossa vuotuinen välkeaika on 8 tuntia ja 34 minuuttia molemmilla Murtomäki 2:n sijoitussuunnitelmilla. Tämän reseptorin kohdalla välkevaikutus aiheutuu Itämäen ja Murtomäki 2:n voimaloiden yhteisvaikutuksista, josta Itämäen voimaloiden osuus on 7:31 ja Murtomäki 2:n voimaloiden osuus 1:03. Kaikkien muiden Murtomäki 2:n voimaloiden vaikutusalueella olevien loma- ja asuinrakennusten kohdilla vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon.

Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 19). Murtomäki 2:n voimaloiden vaikutusalueella päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuntojen kohdalla.

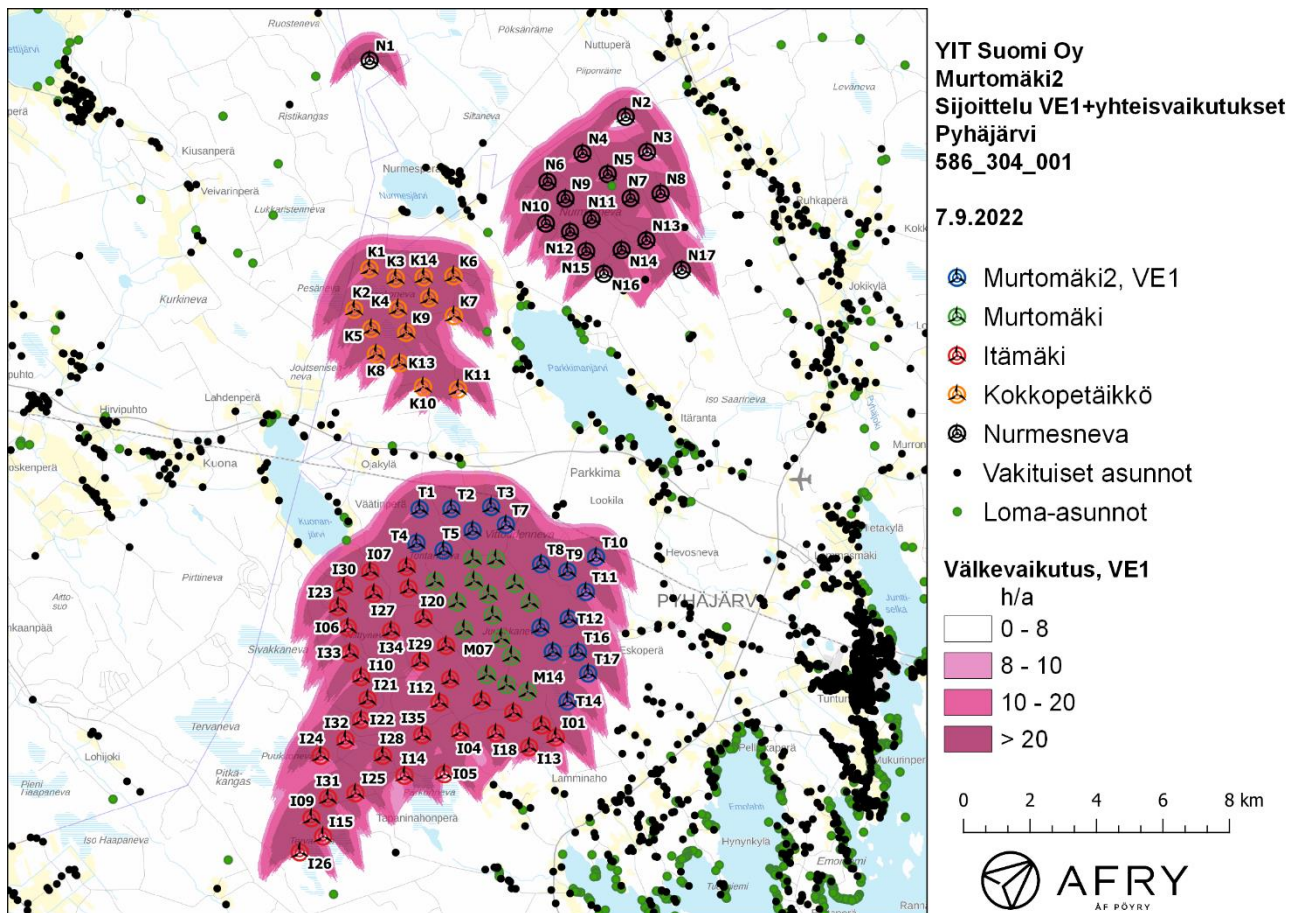
Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R1, R5 ja R7 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 20–Taulukko 22). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 18: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

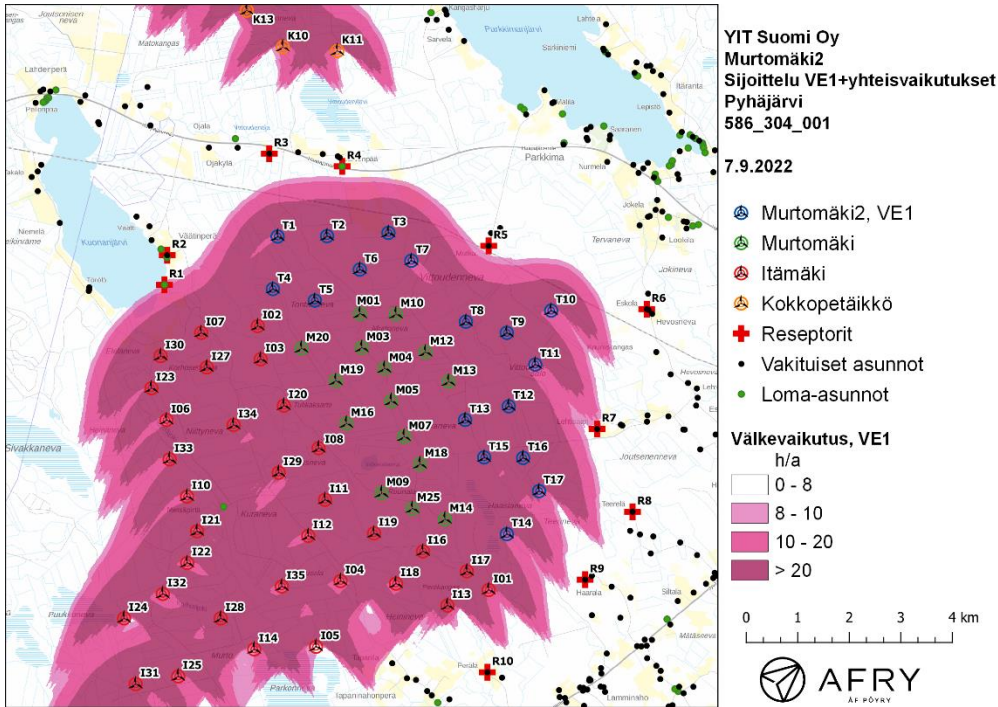
Reseptori	VE1 [h:min]	VE2 [h:min]
R1	8:34	8:34
R2	3:33	3:33
R3	1:53	1:53
R4	5:17	5:17
R5	6:07	6:59
R6	1:04	1:39
R7	6:55	3:35
R8	1:31	0:00
R9	2:59	2:59
R10	0:00	0:00

Taulukko 19: Suurin päiväkohtainen välkeaika minuutteina reseptoreiden kohdilla.

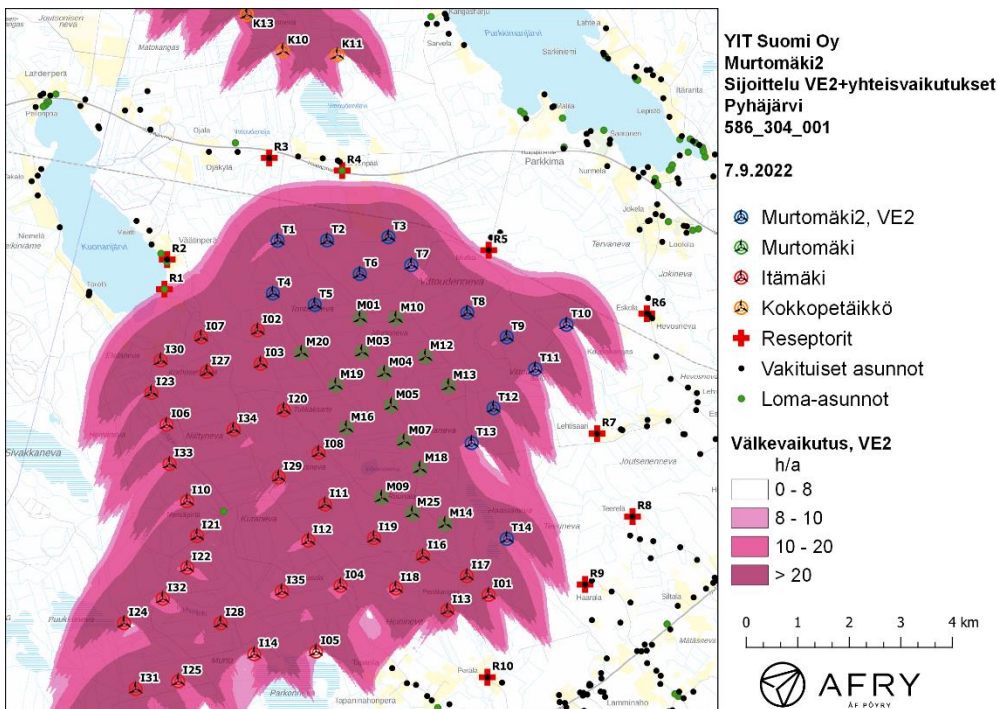
Reseptori	VE1 [min]	VE2 [min]
R1	9	9
R2	4	4
R3	3	3
R4	11	11
R5	5	7
R6	4	5
R7	7	5
R8	4	0
R9	5	5
R10	9	0



Kuva 11: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus viiden mallinnetun tuulivoimapuiston alueella: Murtojärvi 2 (VE1), Murtojärvi, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva.



Kuva 12: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tuulivoimapaustoille Murtojärvi 2 (VE1), Murtojärvi, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva. Karttanäkymä on rajattu Murtojärvi 2:n vaikutusalueelle. Nurmesnevan voimalat ovat mukana mallinnuksessa, mutta voimalat jäävät kartan ulkopuolelle.



Kuva 13: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tuulivoimapaustoille Murtojärvi 2 (VE2), Murtojärvi, Itämäki, Kokkopetäikkö ja Nurmesneva. Karttanäkymä on rajattu Murtojärvi 2:n vaikutusalueelle. Nurmesnevan voimalat ovat mukana mallinnuksessa, mutta voimalat jäävät kartan ulkopuolelle.

Taulukko 20: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R1 kohdalla. Välkevaikutus on sama molemmilla sijoitussuunnitelmissa.

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	0	0	0	0	4	51	0	0	0	0	0	0:54
Helmikuu	0	0	0	0	82	49	29	0	0	0	0	0	2:41
Maaliskuu	0	0	0	15	22	3	0	0	0	0	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	4	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0:20
Toukokuu	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:12
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:14
Syyskuu	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0:23
Lokakuu	0	0	0	7	98	1	0	0	0	0	0	0	1:45
Marraskuu	0	0	0	0	6	16	62	0	0	0	0	0	1:24
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0:01
Yhteensä	0:00	0:00	0:31	1:00	3:28	1:13	2:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:34

Taulukko 21: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R7 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0:41
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0:57
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0:39
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0:03
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101	0	1:41
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0:53
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0:37
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0:34
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	30	17	0	0	0	0:47
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0:02
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:14	1:48	1:16	2:37	0:00	6:55

Taulukko 22: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R5 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

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	0	0	0	0	29	32	4	0	0	0	0	1:05
Helmikuu	0	0	0	0	32	1	16	0	8	0	0	0	0:57
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0:46
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0:24
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0:03
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	46	17	0	0	1:03
Lokakuu	0	0	0	0	25	0	0	6	0	0	0	0	0:32
Marraskuu	0	0	0	0	0	30	41	5	0	0	0	0	1:16
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:57	1:00	1:29	0:16	1:41	0:45	0:00	0:00	6:07

Taulukko 23: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R5 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	29	29	4	0	0	0	0	1:03
Helmikuu	0	0	0	0	16	1	68	0	8	0	0	0	1:34
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0:46
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0:24
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0:03
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	46	17	0	0	1:03
Lokakuu	0	0	0	0	13	0	13	6	0	0	0	0	0:33
Marraskuu	0	0	0	0	0	30	57	5	0	0	0	0	1:32
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30	1:00	2:48	0:16	1:41	0:45	0:00	0:00	6:59

6 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Pyhäjärven kaupungin alueelle suunnitellun Murtomäki 2:n tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman melu- ja välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Vaikutusten arviot on tehty 17 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1 ja 14 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2. Vaikutusten arvioinnissa on huomioitu myös Murtomäki 2:n läheisyyteen suunnitellut ja rakennetut tuulivoimapuistot.

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

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen välkeaika ylittää 8 tunnin ohjearvon yhden loma-asunnon kohdalla molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Ylitys aiheutuu Itämäen ja Murtomäki 2:n voimaloiden yhteisvaikutuksista, josta Murtomäki 2:n voimaloiden osuus on vain 12 % (63 minuuttia). Muiden loma- ja asuinrakennusten kohdilla välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuntojen kohdilla.

7 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota turbiinin roottorikehien läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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

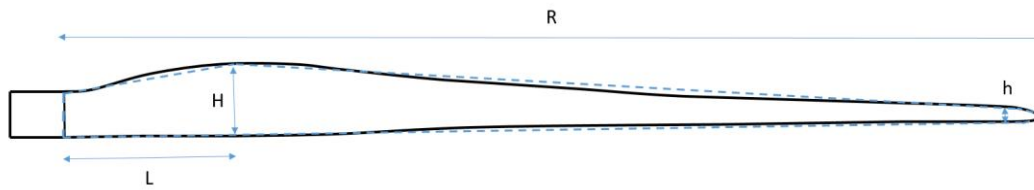
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

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

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

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

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 14) on esitetty yksinkertaistettu malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 14: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan tarkemmin turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.



8 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [3] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [4] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [5] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [6] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [7] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [8] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [9] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [10] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [11] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [12] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [13] Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [14] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [15] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [20] 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.
- [21] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

9 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 15.09.2022			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Mika Laitinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Mika Laitinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Pasi Tarvainen			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola melumallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Siemens Gamesa Vestas Vestas				Tyyppi: SG170 6,2 MW AMO V162 6,2 MW PO6200 V162 7,2 MW PO7200-0S		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 6,2 MW 6,2 MW 7,2 MW		Napakorkeus: 181/200 m 166 m 200 m		Roottorin halkaisija: 170 m 162 m 162 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: SG170 6,2 MW AMO (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	65,7	200	65,7	2000	96,4
63	88,5	25	69,7	250	69,7	2500	94,0
125	95,4	31,5	73,7	315	73,7	3150	92,7
250	98,1	40	77,5	400	77,5	4000	90,3
500	99,9	50	80,3	500	80,3	5000	86,8
1000	103,8	63	83,1	630	83,1	6300	82,9
2000	101,9	80	85,9	800	85,9	8000	79,2
4000	95,3	100	89,8	1000	89,8	10000	75,5
8000	85,0	125	90,2	1250	90,2		
		160	91,7	1600	91,7		

Melupäästötiedot: V162 6,2 MW PO6200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,1	200	94,1	2000	92,4
63	88,1	25	67,5	250	95,4	2500	90,5
125	95,6	31,5	71,8	315	96,4	3150	88,2
250	100,2	40	75,9	400	97,0	4000	85,5
500	102,0	50	79,4	500	97,4	5000	82,6
1000	101,1	63	82,7	630	97,4	6300	79,3
2000	97,3	80	85,7	800	97,0	8000	75,6
4000	90,8	100	88,2	1000	96,4	10000	71,7
8000	81,3	125	90,5	1250	95,4		
		160	92,6	1600	94,0		
Melupäästötiedot: V162 7,2 MW PO7200-0S (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	58,9	200	95,9	2000	94,1
63	87,9	25	64,2	250	97,4	2500	91,9
125	96,7	31,5	69,3	315	98,6	3150	89,2
250	102,2	40	74,1	400	99,4	4000	86,0
500	104,4	50	78,3	500	99,8	5000	82,6
1000	103,4	63	82,2	630	99,8	6300	78,7
2000	99,1	80	85,8	800	99,4	8000	74,3
4000	91,5	100	88,8	1000	98,7	10000	69,8
8000	80,4	125	91,5	1250	97,6		
		160	94,0	1600	96,0		
Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)		Muu, mikä:	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei
Laskentakorkeus				Laskentaruudun koko [m x m]			
4 m				10 m x 10 m			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
70 %				15 C°			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos				Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet							
ISO 9613-2							
Vesialueet, (0) / (G)							
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)							
Maa-alueet (0) / (G)							
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus							

Neutraali										
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen										
Vapaa avaruus										
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Asukkaat: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)										
Asukkaat: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille										
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl				
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, VE1:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	57,5	56,4	55,6	56,6	57,2	54,1	56,7	54,7	55,6	55,9
25	55,7	54,6	53,9	54,9	55,4	52,3	54,9	52,9	53,8	54,1
31,5	54,3	53,1	52,5	53,5	54,0	50,8	53,4	51,4	52,3	52,6
40	52,8	51,7	51,2	52,1	52,6	49,4	52,0	50,0	50,9	51,1
50	51,1	50,0	49,6	50,5	50,9	47,7	50,3	48,3	49,1	49,4
63	49,5	48,4	48,1	49,0	49,3	45,9	48,6	46,5	47,4	47,7
80	47,7	46,6	46,5	47,3	47,6	44,1	46,9	44,7	45,6	45,9
100	47,2	46,0	45,7	46,6	46,9	43,3	46,2	44,0	45,0	45,3
125	43,3	42,2	42,3	43,1	43,2	39,4	42,4	40,0	41,1	41,3
160	39,6	38,4	38,8	39,5	39,6	35,4	38,7	36,1	37,2	37,5
200	37,1	35,8	36,7	37,3	37,2	32,5	36,1	33,3	34,5	34,8
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, VE2:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	57,5	56,3	55,5	56,6	57,1	53,9	55,4	53,6	54,8	55,6
25	55,7	54,5	53,8	54,8	55,3	52,1	53,6	51,8	53,0	53,8
31,5	54,2	53,1	52,4	53,4	53,9	50,7	52,2	50,3	51,5	52,3
40	52,8	51,7	51,1	52,1	52,5	49,2	50,8	48,9	50,1	50,9
50	51,1	50,0	49,6	50,5	50,9	47,5	49,1	47,2	48,4	49,2
63	49,4	48,3	48,1	48,9	49,2	45,8	47,4	45,5	46,7	47,4
80	47,7	46,6	46,5	47,3	47,5	44,0	45,6	43,6	44,9	45,7
100	47,2	45,9	45,6	46,5	46,8	43,2	44,9	42,8	44,2	45,1
125	43,3	42,1	42,3	43,0	43,2	39,3	41,1	38,8	40,3	41,1
160	39,6	38,4	38,8	39,5	39,6	35,3	37,3	34,8	36,4	37,3
200	37,1	35,8	36,6	37,2	37,2	32,5	34,7	32,0	33,7	34,6