



Semecon Oy

Malakakankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten meluselvitys

101022365-001, 31.10.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Semecon Oy
Olli Malkamäki

Päivämäärä
31/10/2023

Projektinumero
101022365-001

Raportin tila
LUONNOS

Malakakankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten meluselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laattija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	31.10.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	31.10.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

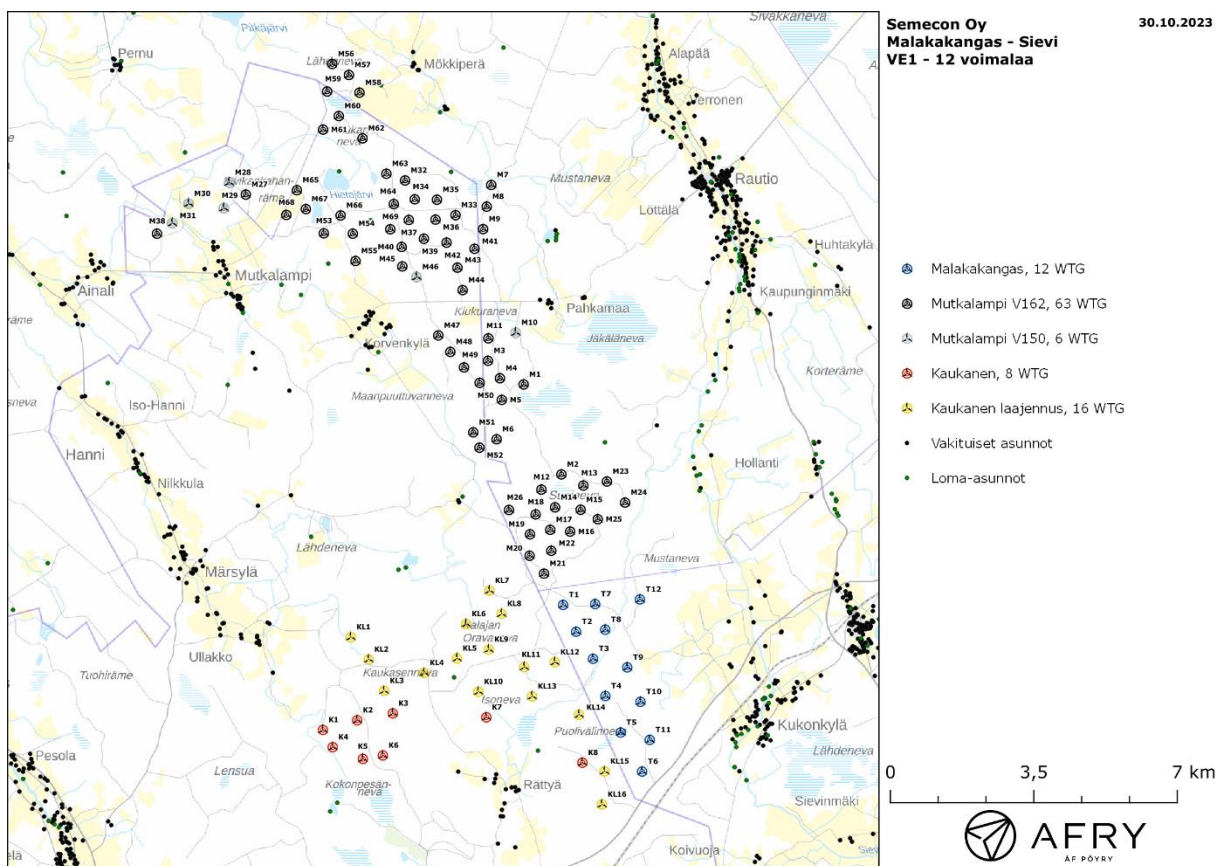
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot	9
3	Yhteisvaikutusten melumallinnus	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	15
4	Yhteenvedo	18
5	Viitteet	19
6	Melumallinnuksen tiedot.....	20

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Malakakangaan tuulivoimapuiston sekä läheisten toiminnassa ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutukset ovat suurimmat Malakakangaan sijoitussuunnitelmalla VE1, joten riittää tarkastella melun yhteisvaikutuksia pelkästään Malakakangaan 12 voimalan sijoitussuunnitelmalla VE1. Malakakangaan välittömässä läheisyydessä on kaksi toiminnassa olevaa tuulivoimapuistoa sekä suunnitteilla yksi tuulivoimapuisto, jotka huomioidaan selvityksen mallinnuksissa:

- Mutkalampi, 69 voimalaa (toiminnassa)
- Kaukanen, 8 voimalaa (toiminnassa)
- Kaukanen laajennus, 16 voimalaa (suunnitteilla)

Mutkalammin lähimmät voimalat sijaitsevat n. 900 metrin etäisyydellä, Kaukasen lähimmät voimalat n. 1,2 km etäisyydellä ja Kaukasen laajennukseen suunnitellut voimalat lähimmillään n. 800 metrin etäisyydellä Malakakangaan voimaloista. Kaukasen laajennuksen voimalat ovat vielä suunnitteilla, joten voimaloiden sijainnit voivat vielä muuttua kyseisen hankkeen edetessä. Tässä selvityksessä Kaukasen laajennukselle on käytetty 25.09.2023 saatua layout suunnitelmaa. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1-Taulukko 4).



Kuva 1: Malakakangaan sekä läheisten tuulivoimapuistojen voimaloiden sijainnit.

Taulukko 1: Malakankaan tuulivoimaloiden (VE1- 12 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Malakankaan VE2 suunnitelmasta on poistettu voimat T5, T6 ja T10-T12.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	360035	7097920	85
T2	360353	7097266	85
T3	360766	7096606	85
T4	361067	7095697	88
T5	361440	7094807	89
T6	361964	7093856	90
T7	360817	7097941	76
T8	361063	7097318	77
T9	361601	7096396	85
T10	361923	7095557	82
T11	362150	7094628	84
T12	361911	7098053	76

Taulukko 2: Kaukasen tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
K1	358161	7095179	82
K2	355877	7095274	103
K3	355009	7095107	105
K4	354172	7094870	96
K5	354412	7094451	107
K6	355147	7094164	107
K7	355636	7094247	89
K8	360505	7094071	97

Taulukko 3: Kaukasen laajennuksen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Sijoitussuunnitelma on 25.09.2023 saadun tiedon mukainen.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
KL1	354853	7097134	79
KL2	355289	7096590	91
KL3	355664	7095824	96
KL4	356641	7096260	103
KL5	357445	7096615	92
KL6	357666	7097455	84
KL7	358235	7098268	91
KL8	358534	7097703	87
KL9	358219	7096833	85
KL10	357968	7095802	90
KL11	359085	7096404	86
KL12	359831	7096523	84

KL13	359277	7095690	86
KL14	360424	7095240	83
KL15	361047	7093860	88
KL16	360983	7093052	92

Taulukko 4: Mutkalammin tuulivoimaloiden (69 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]	Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	359072	7103298	78	M36	356921	7107319	62
M2	359993	7101103	76	M37	356270	7107310	57
M3	358202	7103875	80	M38	350122	7106975	40
M4	358493	7103449	80	M39	356637	7106853	62
M5	358539	7102922	76	M40	356094	7106652	58
M6	358413	7101960	69	M41	357874	7106607	63
M7	358281	7108163	61	M42	357191	7106757	61
M8	358170	7107635	60	M43	357455	7106147	64
M9	358082	7107087	67	M44	357583	7105600	71
M10	358877	7104562	68	M45	356111	7106177	58
M11	358211	7104423	76	M46	356460	7105920	65
M12	359506	7100732	74	M47	356988	7104494	68
M13	360529	7100831	84	M48	357283	7104093	71
M14	359839	7100299	75	M49	357616	7103714	67
M15	360463	7100241	76	M50	357998	7103337	67
M16	360207	7099710	72	M51	357843	7102130	76
M17	359720	7099752	78	M52	357993	7101756	69
M18	359364	7100127	76	M53	354195	7106985	54
M19	359228	7099643	76	M54	354902	7106976	55
M20	359217	7099119	79	M55	354968	7106309	55
M21	359569	7098683	86	M56	354400	7111115	48
M22	359746	7099241	83	M57	354806	7110847	49
M23	361104	7100930	82	M58	355065	7110416	51
M24	361547	7100416	72	M59	354275	7110444	53
M25	360880	7100011	75	M60	354560	7109846	56
M26	358713	7100236	70	M61	354176	7109514	51
M27	352290	7107930	48	M62	355140	7109301	51
M28	351884	7108222	47	M63	355721	7108438	58
M29	351753	7107598	45	M64	355902	7107698	59
M30	350894	7107708	43	M65	353538	7108035	51
M31	350494	7107232	40	M66	354605	7107420	53
M32	356178	7108274	57	M67	353757	7107576	50
M33	357410	7107428	65	M68	353280	7107433	50
M34	356413	7107814	58	M69	355816	7107084	56
M35	356956	7107805	63				

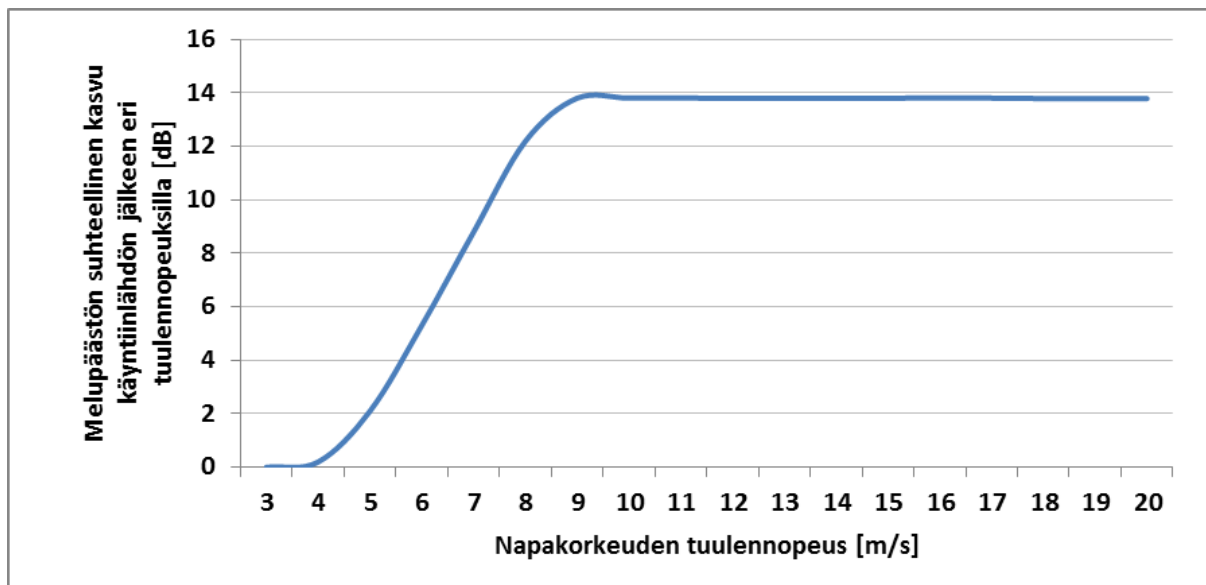
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [18].

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



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

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

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

puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

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

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen 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 matalataajuisten äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka

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

2.3 Ohjearvot

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

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

Taulukko 5: 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 [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 6). 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 6: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

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 Yhteisvaikutusten melumallinnus

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinuksissa on käytetty kolmen eri turbiinityypin melun taajuusjakaumia. Eri turbiinityyppien taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiini- valmistajan dokumenteista:

- V150-4.3MW Third octave noise emission. Document ID: DMS 0080-4413_02. 2020-04-03.
- Third octave noise emission EnVentus™ V162-6.0MW. Document no. 0095-3732_01. 2020-11-03.
- Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.

Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo Malakakankaan, Kaukasen sekä Kaukasen laajennuksen kohdalla [10].

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

Mallinuksissa Malakakankaan ja Kaukasen laajennuksen voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja turbiinityppiä V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edge), jonka äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa Malakakankaan ja Kaukasen laajennuksen voimaloille on siis käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssikorkeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Kaukasen tuulivoimapuistossa on toiminnassa 8 voimalaa, joiden napakorkeus on 149 m ja turbiinityppi V162 6.0 MW. Tälle turbiinityypille on käytetty melumoodia PO6000 (blades with serrated trailing edge), jonka äänitehotaso on 104,3 dB(A). Mallinuksissa Kaukasen voimaloille on siis käytetty äänitehotasoa 106,3 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 14 m/s napakorkeudella 149 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssikorkeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Mutkalammen osalta Kalajoen kaupungilta saadun meluvaikutuksen karttakuvan (23.12.2020/Ramboll) perusteella rakennuslupavaiheen melumallinuksessa ei ole käytetty melun lähtötasoon varmuuslisää 2 dB(A). Tämän vuoksi Malakakankaan analyysin mallinuksissa oletetaan, ettei Mutkalammin voimaloiden lähtömelutasoihin ole tarvetta lisätä Ympäristöministeriön lisäohjeistuksen mukaista varmuusarvoa 2 dB(A). Mutkalammin tuulivoimapuistossa on toiminnassa 69 voimalaa, joista kuuden napakorkeus on 145 m ja turbiinityppi V150 4.3 MW. Mallinuksessa tälle turbiinityypille on käytetty melumoodia PO2 (blades with serrated trailing edge) äänitehotasolla 104,9 dB(A). Muiden Mutkalammin voimaloiden napakorkeus on 139 m ja turbiinityppi V162 6.0 MW. Mallinuksessa tälle turbiinityypille on käytetty melumoodia PO6000 (blades with serrated trailing edge) äänitehotasolla 104,3 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 14 m/s napakorkeudella 139 m ja 145 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssikorkeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa. Taulukkoon (Taulukko 7) on koottuna jokaiselle tuulivoimapuistolle käytetyt voimalamitat, turbiinityypit sekä lähtömelutasot.

Taulukko 7: Mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytetyt voimalamitat, turbiinityypit ja lähtömelutasot.

Tuulivoimapuisto	Voimaloiden lukumäärä	Napakorkeus	Turbiinityyppi	Lähtömelutaso
Malakakangas	12	214 m	V172 7.2 MW	106,9+2 dB(A)
Kaukanen laajennus	16	214 m	V172 7.2 MW	106,9+2 dB(A)
Mutkalampi	6	145 m	V150 4.3 MW	104,9+0 dB(A)
Mutkalampi	63	139 m	V162 6.0 MW	104,3+0 dB(A)
Kaukanen	8	149 m	V162 6.0 MW	104,3+2 dB(A)

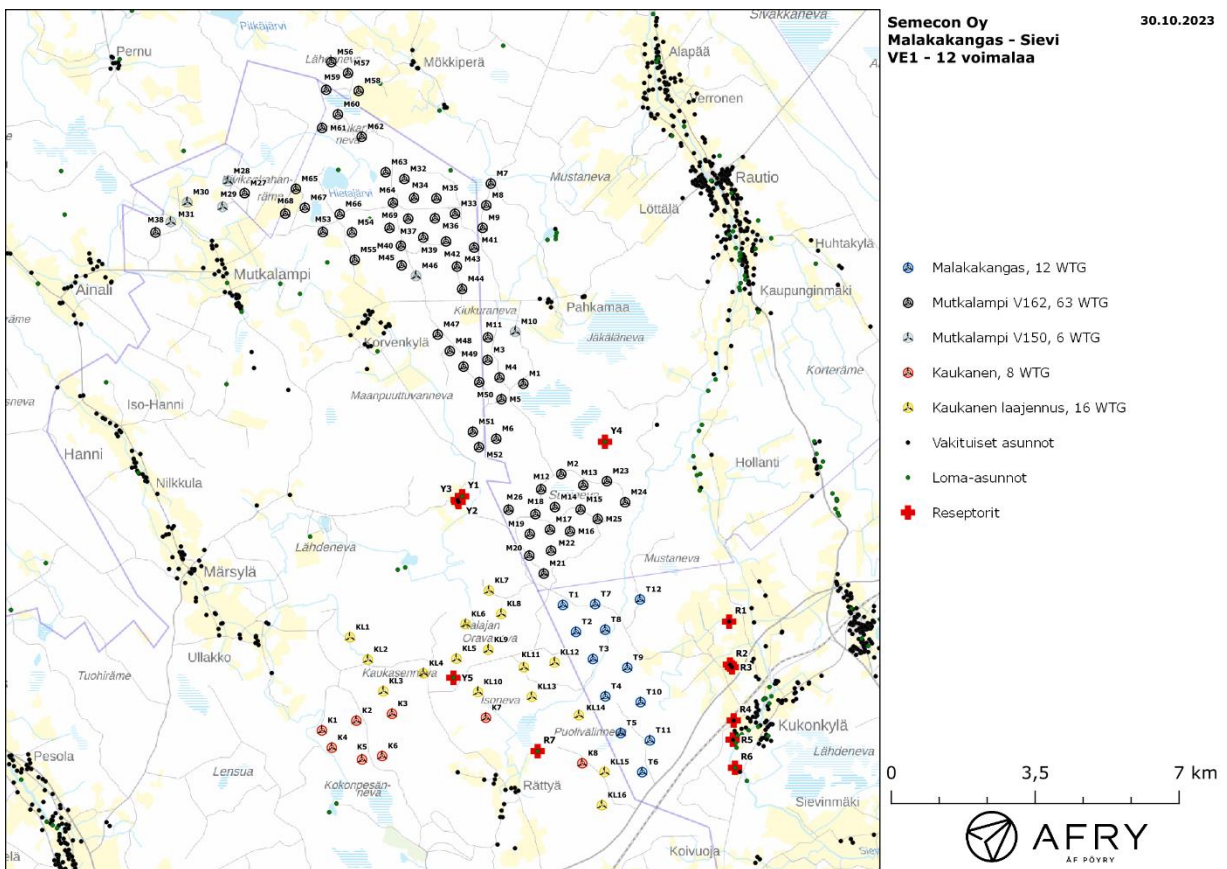
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 6 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 6.

Taulukossa (Taulukko 8) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttaperusteella (Kuva 3). Lähimmät rakennukset sijaitsevat noin 2-2,4 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 8: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	364080	7097513	69	vakituinen asuinrakennus
R2	364100	7096469	74	vakituinen asuinrakennus
R3	364147	7096405	72	vakituinen asuinrakennus
R4	364191	7095111	74	vakituinen asuinrakennus
R5	364169	7094643	75	vakituinen asuinrakennus
R6	364223	7093961	74	lomarakennus
R7	359422	7094363	88	lomarakennus
Y1	357583	7100560	71	lomarakennus
Y2	357498	7100421	75	vakituinen asuinrakennus
Y3	357477	7100469	72	vakituinen asuinrakennus
Y4	361058	7101884	78	lomarakennus
Y5	357374	7096150	104	lomarakennus

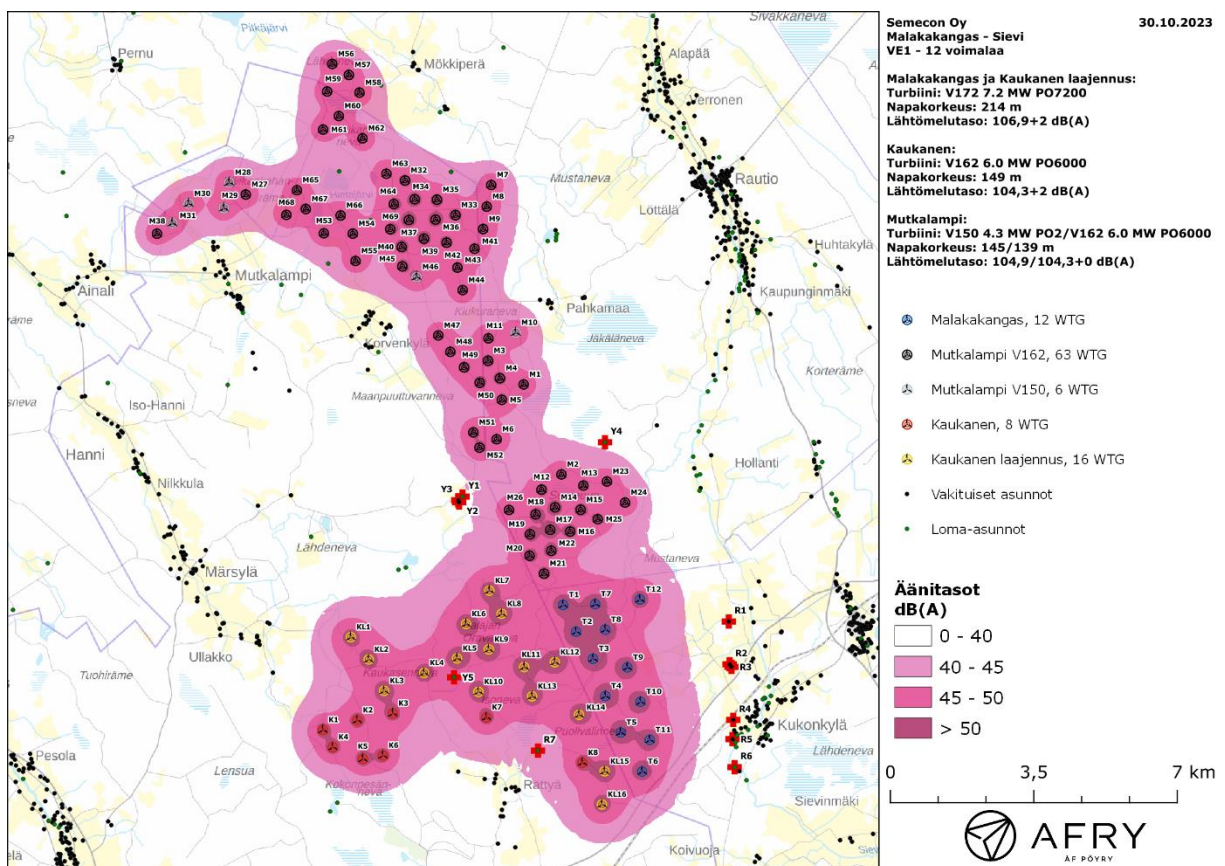


Kuva 3: Reseptorien paikat suhteessa tuulivoimapaistoihin.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 9). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon kahden reseptorin kohdalla. Reseptori Y5 sijaitsee suunnitellun tuulivoimapuisto Kaukanen laajennuksen keskellä, joten merkittävimmät vaikutukset aiheutuvat Kaukanen laajennusosan voimaloista. Reseptoria R7 ympäröi useamman tuulivoimapuiston voimalat, minkä vuoksi melun yhteisvaikutukset kasvavat suuriksi.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Malakakangaan vaihtoehto VE1, Mutkalampi, Kaukanen sekä Kaukanen laajennus.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Malakankaan vaihtoehto VE1, Mutkalampi, Kaukanen ja Kaukanen laajennus.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,3
R2	36,3
R3	36,2
R4	36,4
R5	36,3
R6	35,4
R7	42,4
Y1	39,0
Y2	38,9
Y3	38,6
Y4	38,8
Y5	48,0

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinuksessa, 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 6). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen ulkomelun tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulokinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyden.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyyssarvot ylittivät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi

alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyyсарvoja. Taulukossa (Taulukko 10) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 10: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

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

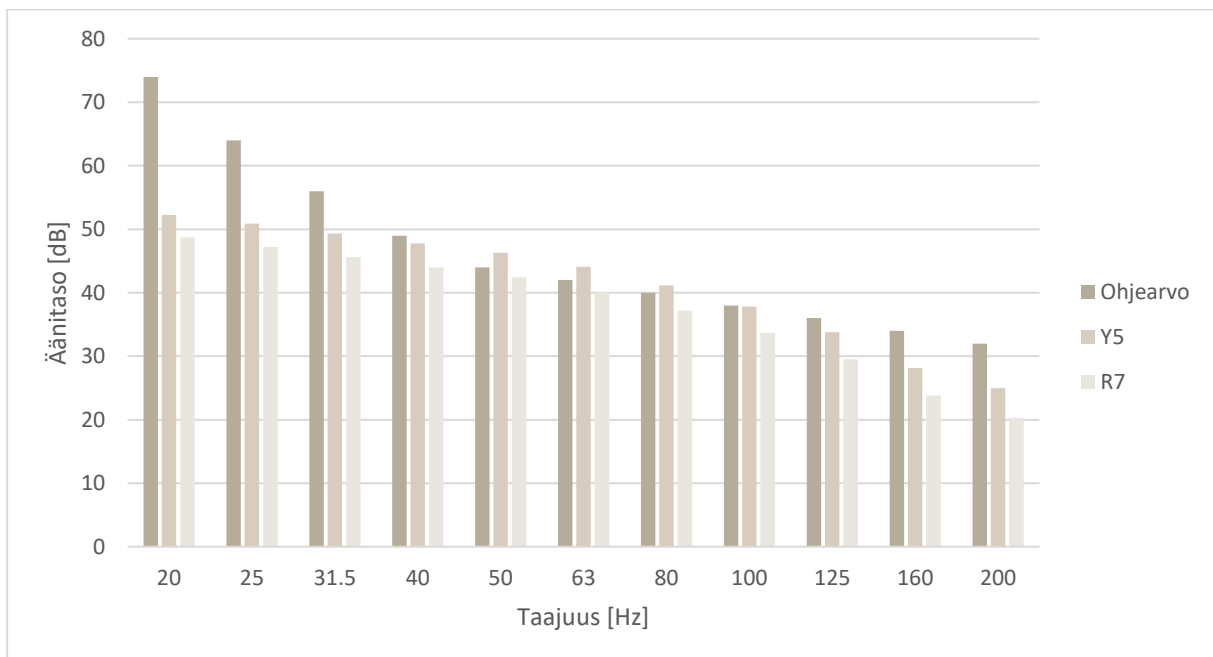
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 10) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 11). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennuksiin R7 ja Y5, joiden kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksen ääneneristävyys, vertailurakennuksen R7 kohdalla melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä. Vertailurakennuksen Y5 kohdalla matalataajuiset melutasot ylittävät taajuuksilla 50-80 Hz.

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 6) 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 matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Raportin mallinnusten perusteella voimaloiden aiheuttamat yhteisvaikutusten ulkomelutasot ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon kahden lomarakennuksen kohdalla. On mahdollista, että kyseisten rakennusten kohdalla myös asumisterveysasetuksen 30 dB(A):n ohjearvon yöajan sisämelutasolle ylittyy.

Taulukko 11: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,9	51,1	50,4	49,8	49,4	48,5	47,3	45,6	43,3	39,4	37,3
R2	52,1	51,4	50,6	50,1	49,8	48,9	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R3	52,1	51,3	50,5	50,0	49,7	48,8	47,6	46,0	43,6	39,8	37,7
R4	52,0	51,2	50,5	50,0	49,7	48,8	47,6	46,0	43,6	39,8	37,8
R5	51,9	51,1	50,4	49,9	49,6	48,8	47,5	45,9	43,6	39,8	37,7
R6	51,4	50,6	49,9	49,4	49,0	48,2	47,0	45,3	43,0	39,1	37,0
R7	56,3	55,5	54,8	54,3	53,9	53,1	52,0	50,5	48,3	44,8	43,1
Y1	54,4	53,3	52,4	51,6	50,9	49,9	48,6	47,0	44,6	41,2	39,4
Y2	54,3	53,2	52,3	51,5	50,9	49,9	48,6	46,9	44,6	41,1	39,3
Y3	54,2	53,2	52,2	51,5	50,8	49,8	48,5	46,9	44,5	41,0	39,2
Y4	53,9	52,8	51,7	50,8	50,0	49,0	47,6	46,0	43,6	40,3	38,7
Y5	59,8	59,2	58,5	58,0	57,8	57,1	56,0	54,6	52,6	49,2	47,8



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorien R7 ja Y5 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sievin kunnan alueelle suunnitellun Malakakankaan tuulivoimapuiston ja läheisten toiminnassa ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutusten laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Malakakankaan lisäksi kaksi toiminnassa olevaa naapuripuistoa Mutkalampi ja Kaukanen sekä suunnitteilla oleva Kaukanen laajennus.

Yhteisvaikutusten mallinnuksen perusteella melun 40 dB(A):n ohjearvo ylittyy kahdessa lomarakennuksessa. Toinen lomarakennuksista on ympäröity Malakakankaan, Kaukasen sekä Kaukasen laajennuksen voimaloille, minkä vuoksi melun yhteisvaikutukset kasvavat suuriksi. Toinen lomarakennuksista sijaitsee Malakakankaan viereen suunnitellun Kaukasen laajennuksen keskellä, jolloin merkittävimmät meluvaikutukset aiheutuvat laajennusosan voimaloista.

Matalataajuisen melun tasot ylittyvät reseptorin Y5 kohdalla taajuuksilla 50-80 Hz. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien muiden rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

5 Viitteet

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

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101022365-001.001_Semecon_Malakakangas_Yhteisvaikutukset_Meluselvitys.docx				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 31.10.2023			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Mika Laitinen							
Laatija: Juulianna Lähteinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 V162 6.0 MW PO600 V150 4.3 MW PO2		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW 6.0 MW 5.0 MW		Napakorkeus: 214 m 139/149 m 145 m		Roottorin halkaisija: 172 m 162 m 150 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							
Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot V172 7.2 MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot):							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		

Third octave noise emission EnVentus™ V162-6.0MW. Document no. 0095-3732_01. 2020-11-03.							
Melupäästötiedot V162 6.0 MW PO6000 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot):							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	61,2	200	93,0	2000	92,3
63	86,5	25	65,7	250	94,3	2500	90,5
125	94,2	31,5	70,0	315	95,4	3150	88,3
250	99,1	40	74,2	400	96,2	4000	85,7
500	101,3	50	77,7	500	96,6	5000	83,0
1000	100,6	63	81,1	630	96,7	6300	79,8
2000	97,2	80	84,2	800	96,4	8000	76,2
4000	91,0	100	86,8	1000	95,9	10000	72,5
8000	81,9	125	89,1	1250	95,0		
		160	91,3	1600	93,8		
V150-4.3MW Third octave noise emission. Document ID: DMS 0080-4413_02. 2020-04-03.							
Melupäästötiedot V150 4.3 MW PO2 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot):							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	59,6	200	92,7	2000	93,8
63	85,6	25	64,2	250	94,2	2500	92,2
125	93,7	31,5	68,7	315	95,4	3150	90,2
250	99,0	40	73,0	400	96,4	4000	87,8
500	101,7	50	76,6	500	97,0	5000	85,3
1000	101,5	63	80,1	630	97,2	6300	82,3
2000	98,6	80	83,4	800	97,2	8000	79,0
4000	93,0	100	86,1	1000	96,8	10000	75,5
8000	84,5	125	88,5	1250	96,1		
		160	90,9	1600	95,1		
Melun erityispiirteiden mittaus 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: 2 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 2 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	51,9	51,1	50,4	49,8	49,4	48,5	47,3	45,6	43,3	39,4	37,3
R2	52,1	51,4	50,6	50,1	49,8	48,9	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R3	52,1	51,3	50,5	50,0	49,7	48,8	47,6	46,0	43,6	39,8	37,7
R4	52,0	51,2	50,5	50,0	49,7	48,8	47,6	46,0	43,6	39,8	37,8
R5	51,9	51,1	50,4	49,9	49,6	48,8	47,5	45,9	43,6	39,8	37,7
R6	51,4	50,6	49,9	49,4	49,0	48,2	47,0	45,3	43,0	39,1	37,0
R7	56,3	55,5	54,8	54,3	53,9	53,1	52,0	50,5	48,3	44,8	43,1
Y1	54,4	53,3	52,4	51,6	50,9	49,9	48,6	47,0	44,6	41,2	39,4
Y2	54,3	53,2	52,3	51,5	50,9	49,9	48,6	46,9	44,6	41,1	39,3
Y3	54,2	53,2	52,2	51,5	50,8	49,8	48,5	46,9	44,5	41,0	39,2
Y4	53,9	52,8	51,7	50,8	50,0	49,0	47,6	46,0	43,6	40,3	38,7
Y5	59,8	59,2	58,5	58,0	57,8	57,1	56,0	54,6	52,6	49,2	47,8