

# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

HALSUA – KANNISTO JA HONKAKANGAS

KALLE AUVINEN

26.01.2022

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Halsua – Kannisto ja Honkakangas  
TV-2022-675-1, 26.01.2022

## Asiakas

OX2 Finland Oy

## Raportin tekijät

Kalle Auvinen, Numerola Oy  
[kalle.auvinen@numerola.fi](mailto:kalle.auvinen@numerola.fi)

## Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Mika Laitinen

## Aineistojen käyttöoikeudet

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

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Halsuan kunnan alueelle suunnitellun 36 tuulivoimalan Halsuan tuulipuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat äänitasot lasketaan käyttäen voimalatyyppin SG170 6,6 MW valmistajan ilmoittamia teknisiä tietoja. Melumallinnuksessa ja raportoinnissa noudatetaan ympäristöministeriön julkaisemaa mallinnusohjeistusta. Tulosten arvioinnissa käytetään valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön sekä ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	26.01.2022		Kalle Auvinen

## Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on laadittu raportissa mainitun vastaanottajan (Asiakas) käyttöön.

Asiakas voi käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit ja maanomistajat) on myös sallittu.

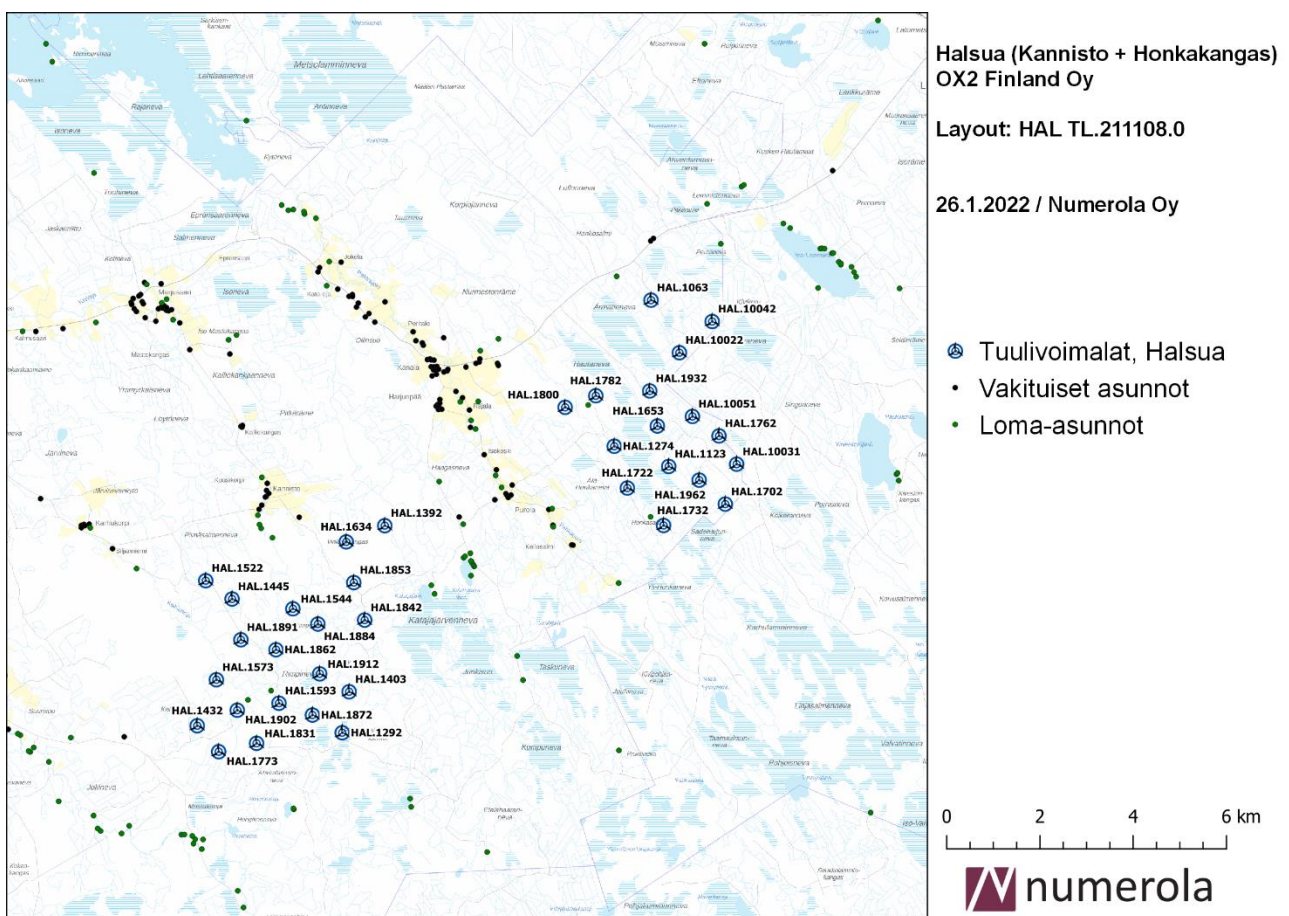
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	6
2.1	Melumallinnusohjeistus .....	6
2.2	Ohjeavot .....	7
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	8
3.1	Keskiäänitasojen $L_{Aeq}$ mallinnus .....	8
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	12
3.3	Melun yhteisvaikutus Lestijärven tuulipuiston kanssa .....	14
4	Yhteenveto .....	18
5	Viitteet .....	19
6	Melumallinnuksen tiedot .....	20

# 1 Johdanto

Tässä selvityksessä arvioidaan Halsuan kunnan alueelle suunnitellun Halsuan tuulivoimahankkeen aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Halsuan tuulivoima Oy: ja OX2 Finland Oy:n yhteistyössä jatkokehittämä hanke koostuu kahdesta hankealueesta, Kannisto ja Honkakangas. Hankkeesta käytetään tässä selvityksessä nimeä Halsuan tuulipuisto.

Halsuan tuulipuistoon suunniteltujen 36 tuulivoimalan paikat (Layout: HAL TL.211108.0) on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinnuksissa tuulivoimaloilla käytetään turbiinityypin SG170 6,6 MW valmistajan ilmoittamia teknisiä tietoja ja napakorkeutta 215 m. Turbiinityypin valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso on 106 dB(A) ja melumallinnuksessa käytetään valmistajan 1/3- ja 1/1-oktaaveittain ilmoittamia taajuusjakaumia. Valmistajan ilmoittamiin melupäästöarvoihin lisätään ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10].



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Halsuan tuulipuiston alueella.**

Taulukko 1: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa (Layout: HAL TL.211108.0) ja maaston korkeus turbiinipaikoilla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
HAL.10022	376145	7040853	170
HAL.10031	377373	7038465	174
HAL.10042	376848	7041522	171
HAL.10051	376425	7039488	168
HAL.1063	375536	7041980	167
HAL.1123	375916	7038416	168
HAL.1274	374748	7038849	162
HAL.1292	368913	7032710	165
HAL.1392	369826	7037147	157
HAL.1403	369062	7033588	162
HAL.1432	365804	7032860	161
HAL.1445	366551	7035576	154
HAL.1522	365986	7035968	147
HAL.1544	367856	7035366	154
HAL.1573	366214	7033846	158
HAL.1593	367557	7033342	160
HAL.1634	369000	7036800	160
HAL.1653	375673	7039283	164
HAL.1702	377129	7037609	175
HAL.1722	375029	7037953	167
HAL.1732	375806	7037151	169
HAL.1762	376995	7039070	172
HAL.1773	366264	7032303	163
HAL.1782	374352	7039931	161
HAL.1800	373695	7039683	160
HAL.1831	367076	7032483	160
HAL.1842	369395	7035124	161
HAL.1853	369162	7035928	160
HAL.1862	367493	7034489	158
HAL.1872	368275	7033089	163
HAL.1884	368392	7035039	157
HAL.1891	366741	7034702	155
HAL.1902	366662	7033192	158
HAL.1912	368431	7033972	159
HAL.1932	375509	7040034	166
HAL.1962	376570	7038123	172

## 2 Tuulivoimaloiden melu

Tuulivoimalaitosten melu aiheutuu pääosin lapojen tuottamasta aerodynaamisesta laajakaistaisesta (60–4000 Hz) melusta [1][5]. Muita melulähteitä ovat sähköntuotantokoneiston yksittäiset osat (esim. vaihteisto ja generaattori), jotka tuottavat pääosin mekaanista melua. Tätä on pystytty tehokkaasti vaimentamaan, kun taas lapojen aerodynaamiseen meluun on vaikeampaa vaikuttaa. Aerodynaaminen melu on hallitseva varsinkin suurilla turbiineilla, ja se on lapojen pyörimisen vuoksi jaksottaista ja sisältää myös matalataajuisia komponentteja. Tuulivoimaloiden aiheuttaman melun voimakkuuteen, taajuuteen ja ajalliseen vaihteluun vaikuttavat erityisesti voimalatyyppi, voimaloiden lukumäärä, niiden etäisyys tarkastelupisteeseen ja tuulen nopeus. Melun leviäminen ympäristöön riippuu paikallisten maasto-olosuhteiden lisäksi hetkellisistä sääoloista kuten tuulen nopeudesta ja ilmakehän tasapainotilasta. Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

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.

### 2.1 Melumallinnusohjeistus

Melumallinnuksen lähtötietona käytetään standardin *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 suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita.

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 ympäristöolosuhteita. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pientaajuisen 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. Pienitaajuisten 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.

## 2.2 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 2).

**Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.**

	Päivä 07-22 L <sub>Aeq</sub> [dB]	Yö 22-07 L <sub>Aeq</sub> [dB]
Pysyvä asutus, loma-asutus, hoitolaitokset, leirintäalueet	45	40
Kansallispuistot	40	40
Oppilaitokset, virkistysalueet	45	-

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa enimmäisarvot pienitaajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat pienitaajuisten 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 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso L <sub>eq,1h</sub> [dB]	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32



### 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

#### 3.1 Keskiäänitasojen $L_{Aeq}$ mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti Numerola Oy:n implementoimalla ohjelmistolla. Keskiäänitasojen ja matalataajuisen melun mallinuksissa on käytetty turbiinityypin SG170 6,6 MW valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella määritettyjä melupäästön tunnusarvoja:

- Keskiäänitasot: Standard Acoustic Emission AM0 – AM-6 ; N1 – N7, SG 6.6-170, Document ID and revision: D2844535-/003, 2021-10-18
- Matalataajuinen melu: Standard Acoustic Emissions, SG 6.6-170, Rev. 0, Document ID: SGRE SE PI&TE TSYS TEN LO&P LO&SI-40-0000- -00, UNALAN, CIGDEM / 2021.09.03

Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

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

Keskiäänitasojen mallinuksessa käytettiin äänitehotasoa 108 dB(A) (106 dB(A) + 2 dB(A)) ja matalataajuisen melu mallinuksessa äänitehotasoa 108,5 dB(A) (106,5 dB(A) + 2 dB(A)), joita voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisina melupäästön tunnusarvoina. Mallinuksessa käytetylle turbiinityypille ei ollut saatavilla päivitettyjä matalataajuisen melun 1/3-oktaavitasoja, joten matalataajuisen melun mallinnusta varten on käytetty vanhempia lähtötietoja. Käytetyt äänitasot ovat 0,5 dB(A) suuremmat, jolla varmistetaan suurempi varmuusmarginaali matalataajuisen melun mallinnustuloksissa. Matalataajuisen melun mallintamiseen tarvittavaa 200 Hz 1/3-oktaavitason meluarvoa ei ollut suoraan saatavissa käytössä olevista dokumentista. Kyseisen meluarvon tilalla käytettiin 250 Hz 1/1-oktaavitason meluarvoa jaettuna 1/3-oktaavitasoihin.

Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinuksissa voimaloiden napakorkeus oli 215 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Keskiäänitasojen ja matalataajuisen melu mallinuksissa käytettyjen melutietojen keskiäänitasojen 1/1-oktaavitasot tuulennopeudella 12 m/s vastaavat muuten toisiaan, paitsi matalataajuisen melun mallinnukseen käytetyssä dokumentissa kaikki meluarvot ovat 0,5 dB(A) korkeampia.

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. Suoritetuissa mallinuksissa 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 absorptio 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.

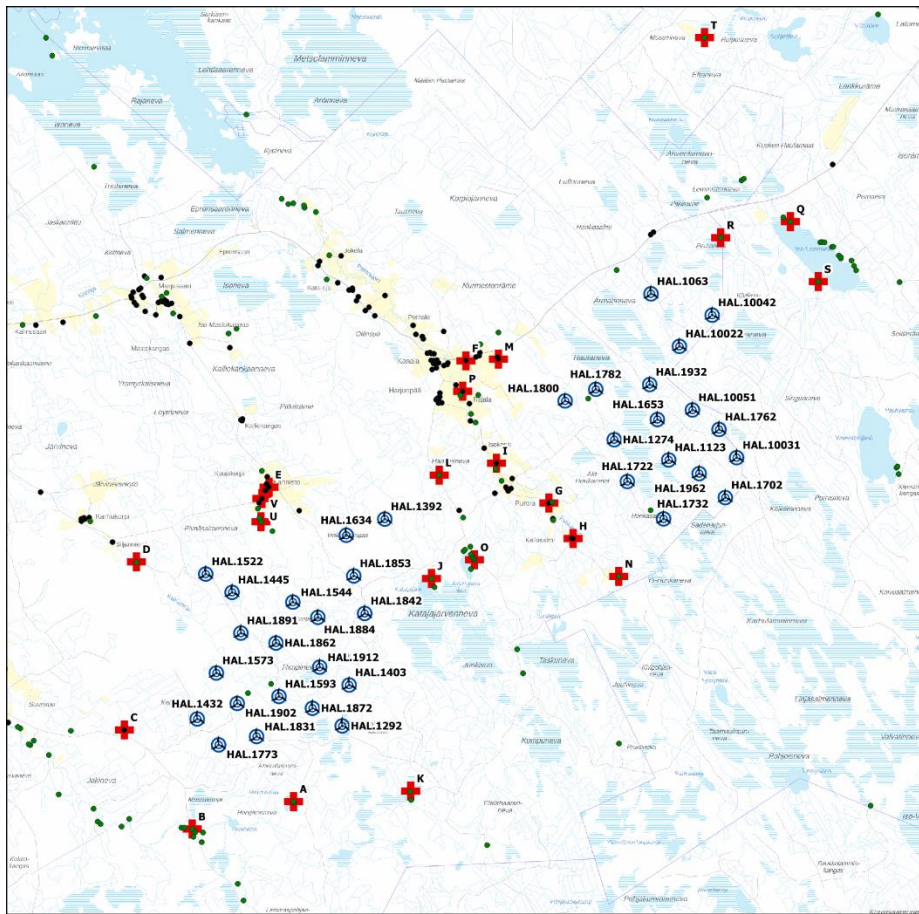
Asiakas on määritellyt tuulivoimaloiden ympäristöstä 22 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason  $L_{Aeq}$  ja matalataajuisten melun tasojä tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden tiedot on esitetty taulukossa (Taulukko 4). Reseptoripisteiden sijainnit suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Pisteet sijaitsevat noin 1,5–5,6 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista.

Kuvissa esitetty rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen loma- ja asuinrakennukset. Taulukossa (Taulukko 4) esitetyt rakennusluokitukset perustuvat asiakkaan toimittamiin tietoihin. Asiakkaan toimittamien tietojen mukaan, tarkasteltavat rakennukset ovat lähimpänä voimaloita sijaitsevia asuin- ja lomarakennuksia. Tuulivoimaloiden läheisyydessä on karttakuvissa nähtävissä tarkasteltavien kiinteistöjen lisäksi yksittäisiä kiinteistöjä. Asiakkaan mukaan näiden kiinteistöjen todelliset luokitukset on tarkistettu tai niissä on muutos käynnissä, eikä niitä ole tästä syystä huomioitu mallinnuksissa.

**Taulukko 4: Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
A	367873	7031085	163	Lomarakennus
B	365699	7030495	157	Lomarakennus
C	364243	7032622	153	Asuinrakennus
D	364501	7036228	144	Lomarakennus
E	367345	7037828	142	Asuinrakennus
F	371569	7040539	144	Asuinrakennus
G	373347	7037488	156	Asuinrakennus
H	373867	7036728	158	Asuinrakennus
I	372224	7038341	151	Asuinrakennus
J	370829	7035870	162	Lomarakennus
K	370383	7031311	170	Lomarakennus
L	370996	7038086	154	Lomarakennus
M	372265	7040574	148	Lomarakennus
N	374845	7035914	163	Lomarakennus
O	371749	7036270	167	Lomarakennus
P	371498	7039888	145	Asuinrakennus
Q	378528	7043527	160	Lomarakennus
R	377034	7043182	166	Lomarakennus
S	379124	7042238	161	Lomarakennus
T	376687	7047472	158	Lomarakennus
U	367174	7037088	144	Lomarakennus

V	367193	7037585	143	Asuinrakennus
---	--------	---------	-----	---------------



Halsua (Kannisto + Honkakangas)  
OX2 Finland Oy

Layout: HAL TL.211108.0

26.1.2022 / Numerola Oy

- Tuulivoimalat, Halsua
- Reseptorit
- Vakituiset asunnot
- Loma-asunnot



Kuva 2: Vertailupisteiden paikat Halsuan tuulipuiston alueella.

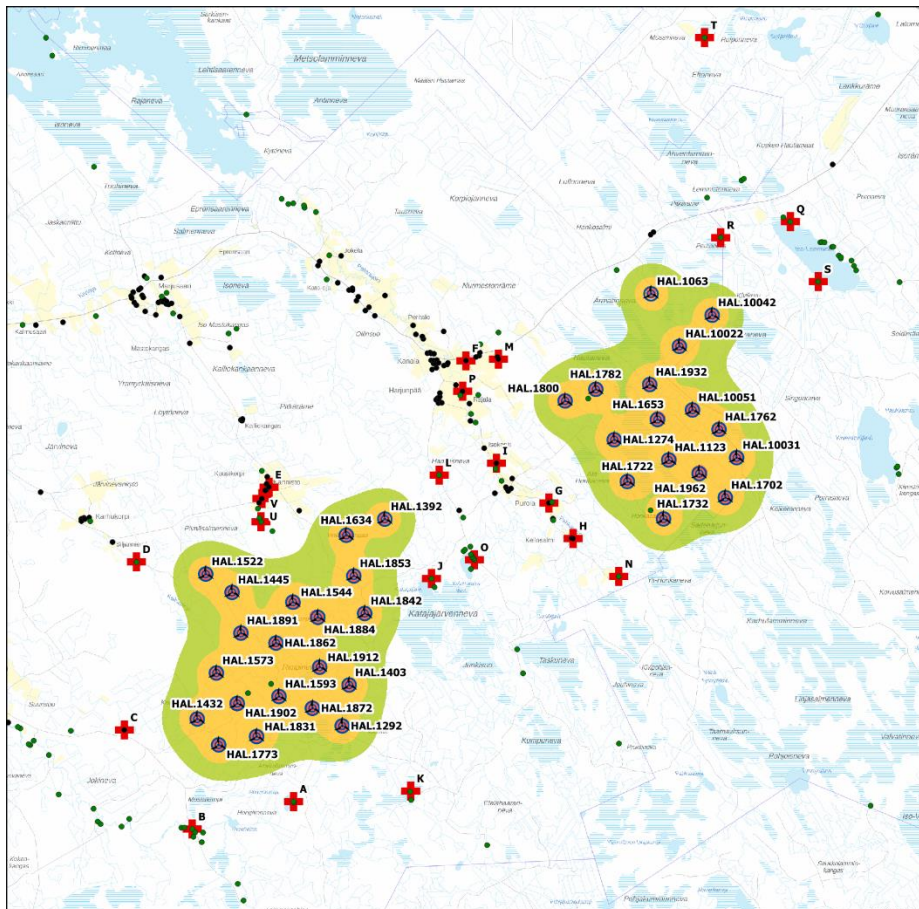
### Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso  $L_{Aeq}$  on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet. Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien tarkasteltavien kiinteistöjen kohdilla. Halsuan tuulivoimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Taulukko 5: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden aiheuttama keskiäänitasot  $L_{Aeq}$  reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
A	35,2
B	31,8
C	33,6
D	33,2
E	33,3

F	29,8
G	34,2
H	33,9
I	32,5
J	35,5
K	31,1
L	33,1
M	32,3
N	33,5
O	32,1
P	30,4
Q	27,3
R	32,4
S	28,2
T	19,7
U	36,1
V	34,0



Halsua (Kannisto + Honkakangas)  
OX2 Finland Oy

Layout: HAL TL.211108.0  
Turbiini: SG170 6,6 MW  
Napakorkeus: 215 m  
Roottorin halkaisija: 170 m  
Äänitehotaso: 106 + 2 dB(A)

26.1.2022 / Numerola Oy

- ⊗ Tuulivoimalat, Halsua
- ⊕ Reseptorit
- Vakituiset asunnot
- Loma-asunnot

Äänitasot  
dB(A)

- 0 - 40
- 40 - 45
- 45 - 50
- > 50

0 2 4 6 km



**Kuva 3: Keskiäänitasot  $L_{Aeq}$  Halsuan tuulipuiston alueella.**

### 3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samaa turbiinityyppiä ja napakorkeutta kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

#### Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat pienitaajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulokinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyt.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [3], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksen ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_{\sigma}$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyyssarvot 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.

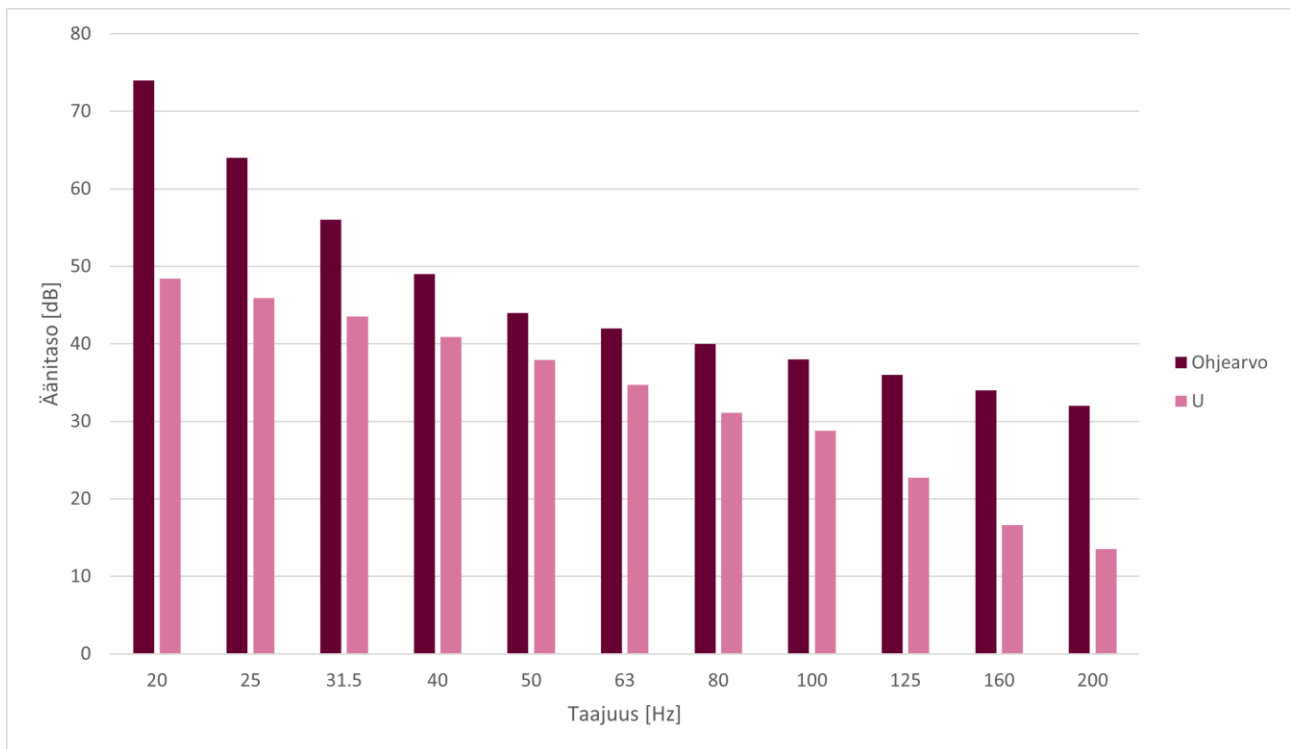
**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)</b>	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
<b>Ääneneristävyys [dB] (viite [4])</b>	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 vertailupisteiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot. Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön U, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 4). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

**Taulukko 7: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
A	55,3	53,5	52,0	50,5	48,7	46,9	45,1	44,8	40,7	36,9	35,5
B	53,2	51,3	49,8	48,3	46,5	44,7	42,9	42,5	38,3	34,4	32,8
C	54,1	52,3	50,8	49,3	47,5	45,7	43,9	43,6	39,4	35,6	34,1
D	53,9	52,1	50,5	49,1	47,2	45,4	43,6	43,3	39,1	35,3	33,7
E	54,5	52,6	51,1	49,6	47,8	46,0	44,2	43,8	39,6	35,8	34,2
F	52,6	50,7	49,2	47,7	45,8	44,0	42,1	41,7	37,3	33,2	31,4
G	55,1	53,3	51,8	50,3	48,5	46,7	44,9	44,5	40,4	36,5	34,9
H	54,9	53,0	51,5	50,0	48,2	46,4	44,6	44,3	40,1	36,2	34,6
I	54,2	52,4	50,9	49,4	47,6	45,7	43,9	43,5	39,3	35,3	33,6
J	55,8	53,9	52,4	51,0	49,1	47,4	45,6	45,3	41,1	37,4	35,9
K	53,1	51,3	49,7	48,3	46,4	44,6	42,8	42,3	38,1	34,1	32,4
L	54,3	52,5	50,9	49,5	47,6	45,8	44,0	43,6	39,4	35,5	33,8
M	53,7	51,8	50,3	48,8	47,0	45,2	43,4	43,0	38,7	34,8	33,2
N	54,4	52,6	51,1	49,6	47,8	46,0	44,2	43,8	39,6	35,7	34,2
O	54,1	52,3	50,7	49,3	47,4	45,6	43,8	43,4	39,1	35,1	33,4
P	53,0	51,1	49,6	48,1	46,3	44,4	42,6	42,1	37,8	33,8	31,9
Q	50,5	48,6	47,0	45,5	43,7	41,8	39,9	39,4	35,0	30,9	28,9
R	53,0	51,2	49,7	48,2	46,4	44,6	42,8	42,4	38,2	34,4	32,8
S	51,3	49,4	47,9	46,4	44,5	42,7	40,8	40,3	36,0	31,9	30,1
T	46,4	44,5	42,9	41,3	39,4	37,3	35,2	34,4	29,5	24,6	21,8
U	56,0	54,2	52,7	51,2	49,4	47,7	45,9	45,6	41,5	37,7	36,3
V	54,9	53,0	51,5	50,0	48,2	46,4	44,6	44,3	40,1	36,3	34,7



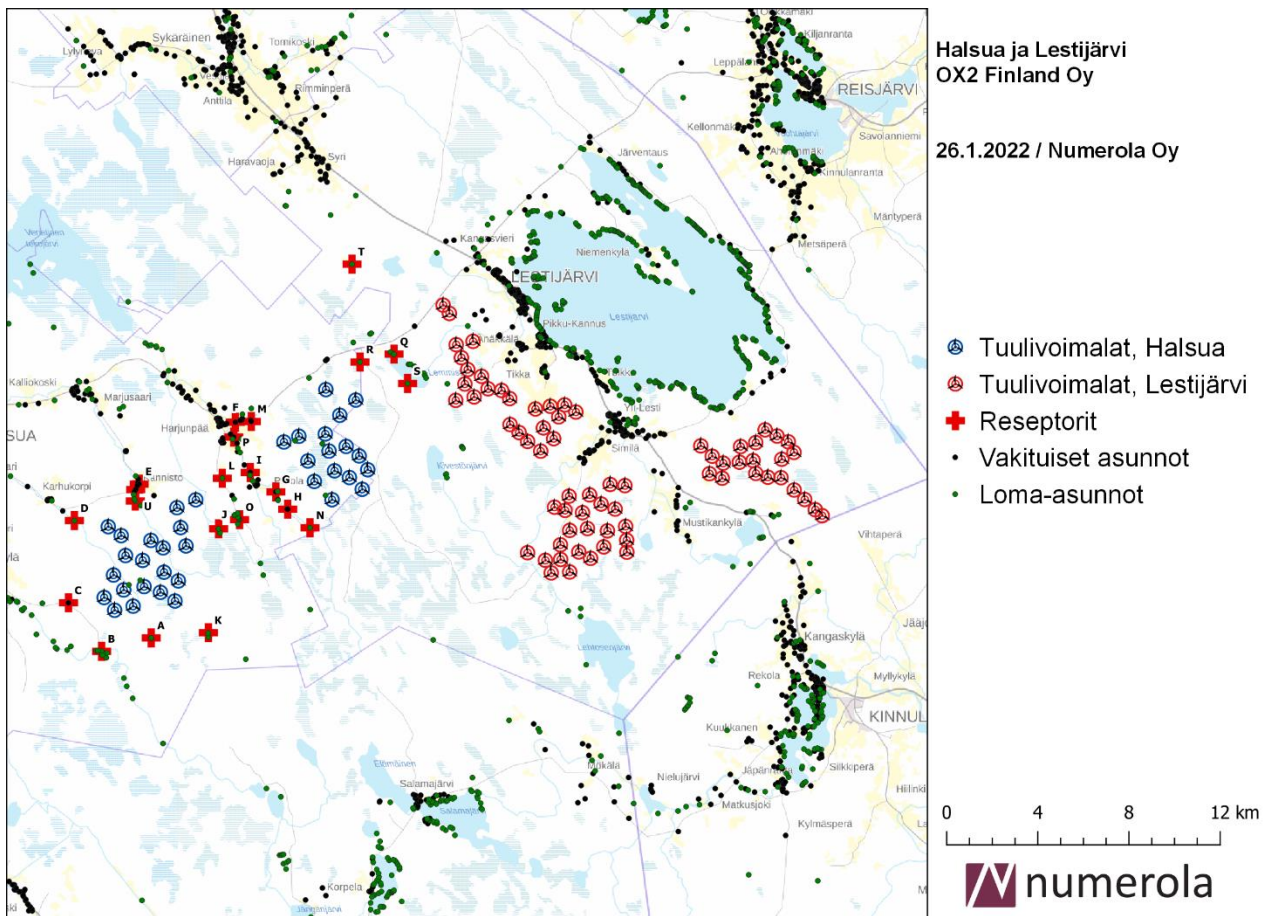
**Kuva 4: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön U kohdalla.**

### 3.3 Melun yhteisvaikutus Lestijärven tuulipuiston kanssa

Halsuan tuulipuiston itäpuolella sijaitseva Lestijärven tuulipuisto huomioitiin meluvaikutusten arvioinnissa tarkastelemalla Halsuan ja Lestijärven tuulivoimaloiden yhdessä aiheuttamaa keskiäänitason ja matalataajuisen melun arvoja vertailukiinteistöjen kohdilla. Lestijärven tuulipuiston 69 tuulivoimalalle käytettiin napakorkeuksia 155 m (64 voimalaa) ja 145 m (5 voimalaa) sekä Halsuan tuulivoimaloillekin käytettyä turbiinityyppiä SG170 6,6 MW ja taajuusjakaumia.

Lestijärven ja Halsuan tuulipuistojen tuulivoimalat on esitetty kartalla kuvassa (Kuva 5). Tuulipuistojen vertailukiinteistöille yhdessä aiheuttamat keskiäänitasot on annettu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnustulosten perusteella Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen aiheuttamat keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien tarkasteltavien kiinteistöjen kohdilla. Lestijärven tuulivoimalat vaikuttavat pääosin Halsuan tuulipuiston itäosassa sijaitseviin vertailukiinteistöihin Q, R, S ja T.





Kuva 5: Tuulivoimaloiden sijainnit Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen alueella.

Taulukko 8: Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen tuulivoimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot  $L_{Aeq}$  reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
A	35,2
B	31,8
C	33,6
D	33,2
E	33,3
F	30,0
G	34,2
H	34,0
I	32,5
J	35,5
K	31,2
L	33,2
M	32,4

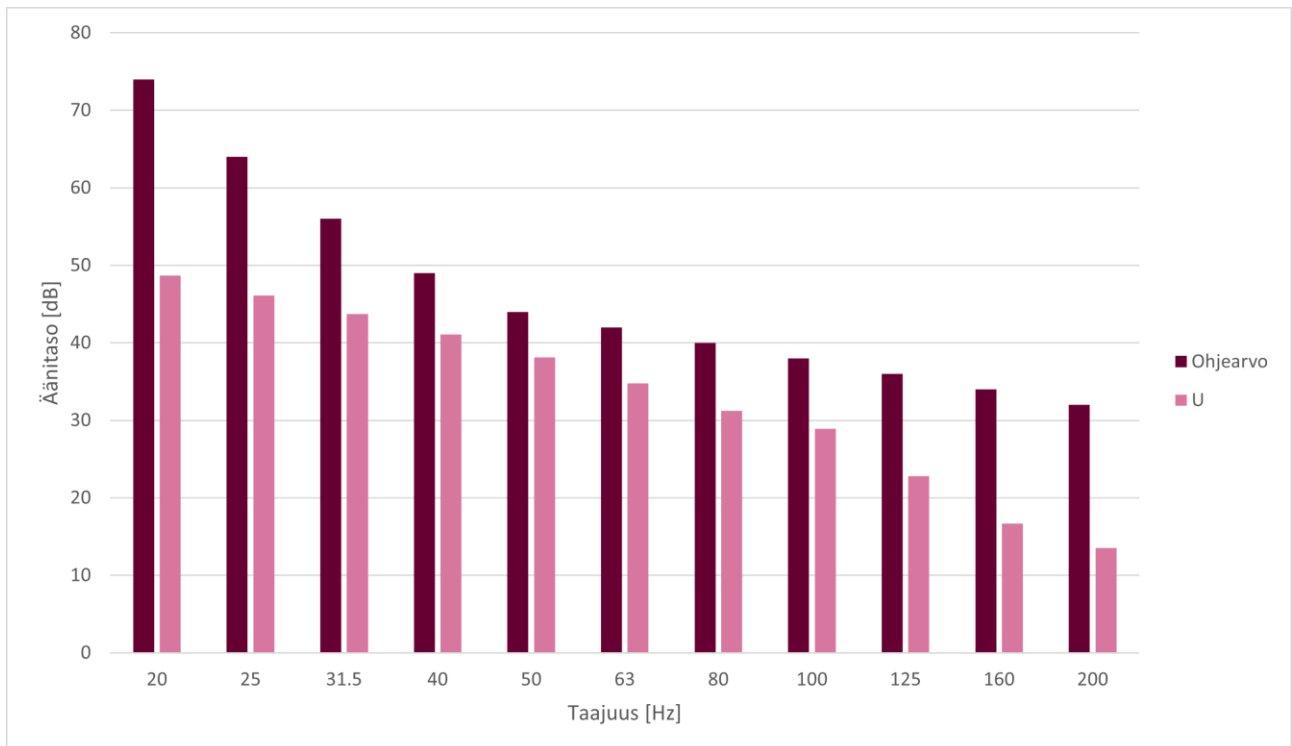
N	33,6
O	32,2
P	30,5
Q	32,0
R	33,2
S	33,7
T	24,3
U	36,1
V	34,0

Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen aiheuttamat matalataajuiset ulkomelutasot vertailukiinteistössä on esitetty taulukossa (Taulukko 9). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön U, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyyden, melutasot jäävät myös nyt asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

**Taulukko 9: Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
A	55,6	53,7	52,2	50,7	48,9	47,1	45,3	44,9	40,8	37,0	35,5
B	53,5	51,6	50,1	48,6	46,7	44,9	43,0	42,6	38,3	34,4	32,8
C	54,4	52,5	51,0	49,5	47,7	45,9	44,0	43,7	39,5	35,6	34,1
D	54,2	52,3	50,8	49,3	47,5	45,6	43,8	43,4	39,2	35,3	33,7
E	54,8	52,9	51,4	49,9	48,1	46,2	44,4	44,0	39,7	35,8	34,2
F	53,5	51,6	50,0	48,5	46,6	44,7	42,8	42,2	37,7	33,5	31,5
G	55,7	53,9	52,3	50,9	49,0	47,2	45,3	44,9	40,6	36,7	35,1
H	55,5	53,7	52,1	50,6	48,8	47,0	45,1	44,7	40,4	36,4	34,8
I	54,9	53,0	51,5	50,0	48,1	46,3	44,4	43,9	39,6	35,5	33,8
J	56,2	54,3	52,8	51,3	49,5	47,6	45,8	45,5	41,3	37,4	35,9
K	53,6	51,8	50,2	48,7	46,8	45,0	43,1	42,6	38,2	34,2	32,4
L	54,9	53	51,4	50,0	48,1	46,2	44,4	43,9	39,6	35,6	33,9
M	54,5	52,6	51,0	49,5	47,7	45,8	43,9	43,4	39,1	35,1	33,3
N	55,3	53,4	51,8	50,3	48,5	46,6	44,8	44,3	40,0	36,0	34,3
O	54,7	52,8	51,3	49,8	47,9	46,1	44,2	43,7	39,4	35,3	33,5
P	53,8	51,9	50,3	48,8	46,9	45,1	43,1	42,6	38,2	34,0	32,1

<b>Q</b>	55,0	53,1	51,5	50,0	48,2	46,3	44,4	43,9	39,5	35,4	33,6
<b>R</b>	55,1	53,2	51,6	50,2	48,3	46,4	44,6	44,1	39,8	35,7	34,0
<b>S</b>	56,0	54,1	52,6	51,1	49,3	47,4	45,6	45,1	40,8	36,8	35,0
<b>T</b>	50,7	48,7	47,1	45,5	43,6	41,6	39,5	38,6	33,7	28,9	26,2
<b>U</b>	56,3	54,4	52,9	51,4	49,6	47,8	46,0	45,7	41,6	37,8	36,3
<b>V</b>	55,2	53,3	51,8	50,3	48,5	46,6	44,8	44,4	40,2	36,3	34,8



Kuva 6: Matalataajuisten sisämelun tasot vertailukiinteistön U kohdalla.

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Halsuan kunnan alueelle suunnitellun 36 tuulivoimalan Halsuan tuulipuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Voimaloiden meluvaikutusten arvio tehtiin turbiinityypin SG170 6,6 MW teknisillä tiedoilla ja napakorkeudella 215 m. Meluvaikutusten arvioinnissa huomioitiin Halsuan tuulipuiston itäpuolelle rakennettava Lestijärven tuulipuisto.

Mallinnusten perusteella melutasot tarkasteltavien asuin- ja lomarakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien 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. P. Durbin, B. Petterson Reif, "Statistical Theory and Modelling for Turbulent Flows", Wiley, 2001.
- [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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|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.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT					
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2022-675-1</b>			Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>26.01.2022</b>		
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>					
Vastuuhenkilöt: <b>Kalle Auvinen</b>					
Laatija: <b>Kalle Auvinen</b>			Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Erkki Heikkola ja Mika Laitinen</b>		
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT					
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>			Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>		
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT					
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Siemens Gamesa</b>			Tyyppi: <b>SG 6.6-170</b>		Sarjanumero/t:
Nimellisteho: <b>6,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>215 m</b>	Roottorin halkaisija: <b>170 m</b>		Tornin tyyppi:
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun					
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä	
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB		dB
Ei		Ei			dB

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT					
<b>SG170 6,6 MW, HH 215 m, 2 dB(A) varmuusarvo</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Keskiaänitasot: Standard Acoustic Emission AM0 – AM-6 ; N1 – N7, SG 6.6-170, Document ID and revision: D2844535-/003, 2021-10-18</li> <li>Matalataajuinen melu: Standard Acoustic Emissions, SG 6.6-170, Rev. 0, Document ID: SGRE SE PI&amp;TE TSYSTEN LO&amp;P LO&amp;SI-40-0000- -00, UNALAN, CIGDEM / 2021.09.03</li> </ul>					
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot):					
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]			
		20		200	2000
63		25		250	2500
125		31,5		315	3150
250		40		400	4000
500		50		500	5000
1000		63		630	6300
2000		80		800	8000
4000		100		1000	10000
8000		125		1250	
		160		1600	
Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:					
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi-modulaatio)	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei
Laskentakorkeus			Laskentaruudun koko [m x m]		
<b>4 m</b>			<b>10 m x 10 m</b>		
Suhteellinen kosteus			Lämpötila		

<b>70 %</b>		<b>15 C°</b>				
Maastomallin lähde ja tarkkuus						
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>			Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet						
<b>ISO 9613-2</b>						
Vesialueet, (0) / (G)						
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)						
Maa-alueet (0) / (G)						
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus						
<b>Neutraali</b>						
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen						
<b>Vapaa avaruus</b>						
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)						
Asukkaat: <b>0 kpl</b>		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>		Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>		
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)						
Asukkaat: <b>0 kpl</b>		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>		Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>		
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille						
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>			Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>			
Pienitaajuisten melun laskentamenetelmä:						
<b>Hz</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>20</b>	55,6	53,5	54,4	54,2	54,8	53,5
<b>25</b>	53,7	51,6	52,5	52,3	52,9	51,6
<b>31,5</b>	52,2	50,1	51,0	50,8	51,4	50,0
<b>40</b>	50,7	48,6	49,5	49,3	49,9	48,5
<b>50</b>	48,9	46,7	47,7	47,5	48,1	46,6
<b>63</b>	47,1	44,9	45,9	45,6	46,2	44,7
<b>80</b>	45,3	43,0	44,0	43,8	44,4	42,8
<b>100</b>	44,9	42,6	43,7	43,4	44,0	42,2
<b>125</b>	40,8	38,3	39,5	39,2	39,7	37,7
<b>160</b>	37,0	34,4	35,6	35,3	35,8	33,5
<b>200</b>	35,5	32,8	34,1	33,7	34,2	31,5
<b>Hz</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>
<b>20</b>	55,7	55,5	54,9	56,2	53,6	54,9
<b>25</b>	53,9	53,7	53,0	54,3	51,8	53,0
<b>31,5</b>	52,3	52,1	51,5	52,8	50,2	51,4
<b>40</b>	50,9	50,6	50,0	51,3	48,7	50,0
<b>50</b>	49,0	48,8	48,1	49,5	46,8	48,1
<b>63</b>	47,2	47,0	46,3	47,6	45,0	46,2
<b>80</b>	45,3	45,1	44,4	45,8	43,1	44,4
<b>100</b>	44,9	44,7	43,9	45,5	42,6	43,9
<b>125</b>	40,6	40,4	39,6	41,3	38,2	39,6
<b>160</b>	36,7	36,4	35,5	37,4	34,2	35,6
<b>200</b>	35,1	34,8	33,8	35,9	32,4	33,9
<b>Hz</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>
<b>20</b>	54,5	55,3	54,7	53,8	55,0	55,1
<b>25</b>	52,6	53,4	52,8	51,9	53,1	53,2
<b>31,5</b>	51,0	51,8	51,3	50,3	51,5	51,6



40	49,5	50,3	49,8	48,8	50,0	50,2
50	47,7	48,5	47,9	46,9	48,2	48,3
63	45,8	46,6	46,1	45,1	46,3	46,4
80	43,9	44,8	44,2	43,1	44,4	44,6
100	43,4	44,3	43,7	42,6	43,9	44,1
125	39,1	40,0	39,4	38,2	39,5	39,8
160	35,1	36,0	35,3	34,0	35,4	35,7
200	33,3	34,3	33,5	32,1	33,6	34,0
<b>Hz</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>V</b>		
20	56,0	50,7	56,3	55,2		
25	54,1	48,7	54,4	53,3		
31,5	52,6	47,1	52,9	51,8		
40	51,1	45,5	51,4	50,3		
50	49,3	43,6	49,6	48,5		
63	47,4	41,6	47,8	46,6		
80	45,6	39,5	46,0	44,8		
100	45,1	38,6	45,7	44,4		
125	40,8	33,7	41,6	40,2		
160	36,8	28,9	37,8	36,3		
200	35,0	26,2	36,3	34,8		