

PROKON Wind Energy Finland Oy

► **Kattiharjun tuulivoimapuiston laajennus, Laihia, Suomi**

Melulaskelmat

Assignment no.: 374.003.07 Document no.: KVT/2024/R027/PP Version: J01 Date: 2024-02-26



Asiakas: PROKON Wind Energy Finland Oy
Asiakkaan yhteyshenkilö: Marja Meriluoto
Konsultti: Kjeller Vindteknikk Oy, Tekniikantie 14 02150 Espoo
Toimeksiannon yhteyshenkilö: Ville Lehtomäki

| J01 | 2024-02-26 | Lopullinen | Pyry Pentikäinen | Simo Rissanen | Ville Lehtomäki |
|---------|------------|-------------|------------------|---------------|-----------------|
| Version | Date | Description | Prepared by | Checked by | Approved by |

Tämä dokumentti on tehty vain asiakkaan käyttöön. Mikään kolmas osapuoli ei saa vedota raporttiin tai sen tuloksiin eikä Kjeller Vindteknikk Oy ole vastuussa raportista tai sen tuloksista kolmansille osapuolille

► Yhteenveto

Melulaskelmat on tehty suunniteltuun Kattiharjun tuulipuiston laajennukselle, joka sijaitsee Laihian kunnassa, Pohjanmaan maakunnassa. Laskemat on tehty erikseen Kattiharjun tuulipuiston laajennusosalle, Kattiharjun tuulipuistolle, sekä näille yhdessä. Laskelmissa on käytetty Vestas V172–7.2 MW turbiinimallia Kattiharjun tuulipuiston laajennukselle ja Nordex N163 6.X turbiinimallia Kattiharjun tuulipuistolle.

Melulaskelmissa on käytetty ISO 9613-2 laskentamenetelmää. Ulkomelutasot ovat raja-arvojen (valtioneuvoston asetus 1107/2015) sisällä kaikille rakennuksille Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen osalta. Kattiharjun tuulipuiston mallinnuksessa 40 dB raja ylittyy kuudella rakennuksella. Kattiharjun tuulipuiston ja tuulipuiston laajennuksen yhteismallinnuksessa 40 dB raja ylittyy seitsemällä rakennuksella. Matalataajuinen sisämelu täyttää sosiaali- ja terveysministeriön vaatimukset Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen osalta. Kattiharjun tuulipuiston mallinnuksessa, sekä Kattiharjun tuulipuiston ja laajennuksen yhteismallinnuksessa ohjearvot ylittyvät viidellä rakennuksella.

Sisällys

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 1 | Johdanto | 4 |
| 2 | Melulaskelmat | 6 |
| 2.1 | Melun ohjearvot | 6 |
| 2.2 | Melun lähtöarvot | 6 |
| 2.3 | ISO 9613-2 melulaskelmat | 9 |
| 2.3.1 | <i>Keskiäänitasojen mallinnuksen tulokset</i> | 9 |
| 2.3.2 | <i>Pienitaajuinen melu</i> | 11 |
| 3 | Lähdeluettelo | 15 |
| Liite A. | Rakennusten koordinaatit | I |
| Liite B. | ISO 9613-2 melumallinnuskartat | III |

1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen melulaskelmat. Suunniteltu Kattiharjun tuulipuiston laajennus sijaitsee Laihialla, Pohjanmaan maakunnassa, Kattiharjun tuulipuiston länsipuolella.

Kattiharjun tuulipuiston laajennukseen on suunniteltu 2 turbiinia ja Kattiharjun tuulipuistoon 14 turbiinia. Mallinuksissa tuulipuiston laajennuksessa on käytetty Vestas V172–7.2 MW turbiineja ja Kattiharjun tuulipuistossa Nordex N163 6.X turbiinia. Voimalamallit ja niiden perustiedot on esitetty taulukossa 1 ja turbiinien sijainnit on esitetty kuvassa 1.

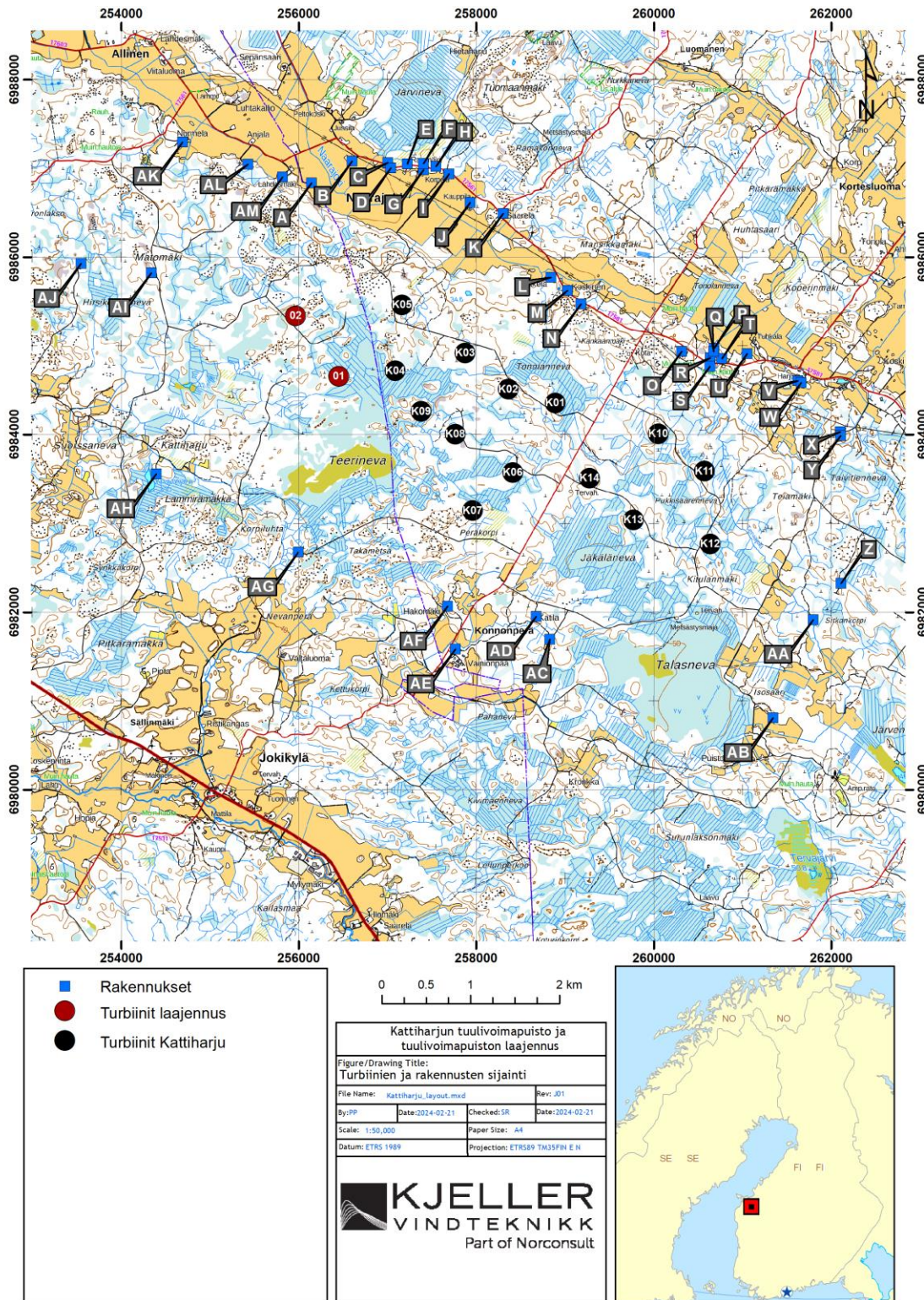
Asiakas ei ole toimittanut tietoja mahdollisista muista lähellä olevista olemassa olevista tai suunnitelluista tuulipuistoista.

Melutasot on laskettu 39 rakennukselle. Rakennukset on esitetty kuvassa 1 ja rakennusten ja turbiinien koordinaatit ja on esitetty liitteessä A.

Taulukko 1. Kattiharjun tuulipuiston ja tuulipuiston laajennuksen perustiedot.

| Tuulipuisto | Turbiinimalli | Turbiinien lukumäärä | Nimellisteho [MW] | Roottorin halkaisija [m] | Napa- korkeus [m] |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| Kattiharju | Nordex N163 6.X serrated | 14 | 6,8 | 163 | 148,5* |
| Kattiharjun laajennus | Vestas V172–7.2 MW serrated | 2 | 7,2 | 172 | 164,0 |

*Osassa voimaloista on 1-2 metriä korotettu perustus (katso liite A). Tämä on otettu huomioon mallinnuksessa muuttamalla tornin korkeutta.



Kuva 1. Kattiharjun tuulivoimapuiston ja tuulivoimapuiston laajennuksen voimaloiden ja lähellä olevien rakennusten sijainnit.

2 Melulaskelmat

Melumallinnus on tehty Ympäristöministeriön ohjeen 2/2014 "Tuulivoimaloiden melun mallintaminen" [1] mukaisesti määritetyillä laskentaparametreilla. Ohjeiden mukaan on mallinnettava sekä normaali- että pienitaajuinen melu. Pienitaajuinen melu lasketaan taajuusalueella 20-200 Hz. Melulaskelmissa käytetään ISO 9613-2 menetelmää, joka on saatavilla WindPRO ohjelmistossa [2]. Mallinnus on tehty WindPRO versiolla 4.0.531.

2.1 Melun ohjearvot

Valtioneuvoston asetuksen 1107/2015 mukaiset tuuliturbiinien ulkomelun ohjearvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tuuliturbiinien ulkomelun ohjearvot [3].

| Rakennuksen tyyppi | Sallittu ulkomelutaso päivällä (klo 7-22) , L_{Aeq} [dB] | Sallittu ulkomelutaso yöllä (klo 22-7), L_{Aeq} [dB] |
|-------------------------------------|---|---|
| Pysyvä asutus ja loma-asutus | 45 | 40 |

Matalataajuiselle sisämelun Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 [4] mukaiset toimenpiderajat on esitetty taulukossa 3. Nämä rajat koskevat nukkumiseen tarkoitettua tiloja ja arvot ovat tunnin äänitason keskiarvoja. Päivällä sallitaan melutasot, jotka ovat 5 dB taulukossa esitetyjä arvoja korkeampia. Sisämelun laskemiseksi on oletettu taulukon 4 mukainen äänieristys.

Taulukko 3. Pienitaajuisen melun toimenpiderajat yöllä taajuuskaistoittain [4].

| f [HZ] | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|------------------|----|----|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $L_{eq,1h}$ [dB] | 74 | 64 | 56 | 49 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 |

Taulukko 4. Asuinrakennusten äänieristys, DL (äänitasoero) [5].

| f [HZ] | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| DL [dB] | 7,6 | 8,3 | 9,2 | 10,3 | 11,5 | 13,0 | 14,8 | 16,8 | 18,8 | 21,1 | 22,8 |

Ympäristöministeriön ohjeiden mukaan tuuliturbiinien melun laskelmat tulee tehdä 8 m/s tuulen nopeudella 10 m korkeudella.

2.2 Melun lähtöarvot

Ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti lähtöarvoina tulisi käyttää tuuliturbiinien melupäästöjen takuuarvoja. Asiakkaalta on saatu kullekin turbiinimallille melupäästöt 1/3 oktaaveittain. Koska saatavilla olevat äänitehotasot eivät ole IEC 61400-14 [6] mukaisesti määritettyjä takuuarvoja, on lähtödataan lisätty varmuusarvona 2 dB Ympäristöministeriön muistion YM9/5511/2016 [7] mukaisesti. N163 turbiinille melupäästö on annettu eri tuulennopeuksilla 10 m korkeudella ja V172 turbiinille melupäästö on annettu eri tuulennopeuksilla napakorkeudella. V172 turbiineille lähtödata on muutettu 8 m/s tuulelle 10 m korkeudella käyttämällä WindPRO ohjelmistoa.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukaan äänitasoon on lisättävä 2 dB (A), jos turbiinien perustuksen ja melun kohteena olevan rakennuksen korkeusero ylittää 60 m. Lisäksi 5 dB (A) on lisättävä, jos ääntä pidetään impulssimaisena, kapeakaistaisena tai sykkivänä (äänenvoimakkuuden ajallinen vaihtelu, amplitudimodulaatio). Kattiharjussa korkeuserot ovat pieniä eikä impulssimaista tai kapeakaistaista ääntä ole oletettu. Näitä lisäyksiä ei ole tehty voimaloiden melupäästön lähtöarvoihin. Melupäästön lähtöarvot on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5. Äänitasot oktaaveittain ja kokonaisäänitaso 8 m/s tuulennopeudella 10 m korkeudessa. Taulukon luvut eivät sisällä 2 dB varmuusarvoa. Luvut on muutettu 1/3 oktaavidatasta WindPRO ohjelmalla.

| Taajuus [Hz] | V172 PO7200, with serrated blades [dB(A)] | N163 Mode 1, with serrated blades [dB(A)] |
|---------------------------------|---|---|
| 62,5 | 90,5 | 92,4 |
| 125 | 98,2 | 97,1 |
| 250 | 101,3 | 99,4 |
| 500 | 101,5 | 99,9 |
| 1000 | 99,8 | 100,3 |
| 2000 | 95,2 | 98,2 |
| 4000 | 87,5 | 88,7 |
| 8000 | 76,8 | 69,8 |
| Kokonais- melupäästö | 106,9 | 106,4 |

Taulukko 6. Äänitasot 1/3 oktaaveittain ja kokonaisäänitaso 8 m/s tuulennopeudella 10 m korkeudessa. Taulukon luvut eivät sisällä 2 dB varmuusarvoa.

| Taajuus [Hz] | V172 PO7200, with serrated blades [8] [dB(A)] | N163 Mode 1, with serrated blades [9] [dB(A)] |
|---------------------------------|---|---|
| 10 | 45,5 | 60,6 |
| 12,5 | 51,4 | 65,4 |
| 16 | 56,9 | 70,0 |
| 20 | 62,0 | 74,3 |
| 25 | 67,2 | 77,7 |
| 31,5 | 72,0 | 79,6 |
| 40 | 76,8 | 80,8 |
| 50 | 81,2 | 83,0 |
| 63 | 85,0 | 87,3 |
| 80 | 88,3 | 89,8 |
| 100 | 91,1 | 90,4 |
| 125 | 93,3 | 93,0 |
| 160 | 95,0 | 93,0 |
| 200 | 96,1 | 94,3 |
| 250 | 96,7 | 95,3 |
| 315 | 96,8 | 96,4 |
| 400 | 97,0 | 96,5 |
| 500 | 96,7 | 96,6 |
| 630 | 96,5 | 97,7 |
| 800 | 96,0 | 98,2 |
| 1000 | 95,1 | 98,5 |
| 1250 | 93,8 | 98,9 |
| 1600 | 92,2 | 98,7 |
| 2000 | 90,2 | 96,6 |
| 2500 | 87,8 | 93,1 |
| 3150 | 85,1 | 88,7 |
| 4000 | 82,1 | 83,1 |
| 5000 | 78,7 | 77,2 |
| 6300 | 75,0 | 69,1 |
| 8000 | 70,9 | 60,4 |
| 10 000 | 66,4 | 55,0 |
| Kokonais- melupäästö | 106,9 | 106,4 |

2.3 ISO 9613-2 melulaskelmat

Mallinnuksessa käytetyt parametrit on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. ISO 9613-2 laskennassa käytetyt parametrit.

| Parametri | Arvo |
|--|--------------------|
| Immissiopisteiden korkeus | 4 m |
| Suhteellinen kosteus | 70 % |
| Ilman lämpötila 2m korkeudella | 15 °C |
| Stabiilisuus parametrit | yö, kirkas taivas |
| Maan- tai vedenpinnan absorption ja heijastuksen vaikutuskerroin | Vaikutuskerron 0,4 |

2.3.1 Keskiäänitasojen mallinnuksen tulokset

Rakennusten A-AM mallinnetut melutasot on esitetty taulukossa 8. 35, 40 ja 45 dB melurajat kartalla on esitetty liitteessä B (kuvat B1-B3). Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen mallinnuksessa tulokset ovat ohjearvojen sisällä. Kattiharjun tuulipuiston mallinnuksessa 40 dB raja ylittyy rakennuksilla L, N, M, O, R ja T. Kattiharjun tuulipuiston ja tuulipuiston laajennuksen yhteismallinnuksessa 40 dB raja ylittyy rakennuksilla L, N, M, O, R, S ja T.

Taulukko 8. Melumallinnuksen tulokset Kattiharjun tuulivoimapuiston laajennukselle ja Kattiharjun tuulivoimapuistolle, sekä näiden yhteisvaikutukselle. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| Rakennus | Kattiharjun tuulipuiston laajennus L _{Aeq} [dB] | Kattiharjun tuulipuisto L _{Aeq} [dB] | Kattiharjun tuulipuisto ja tuulipuiston laajennus L _{Aeq} [dB] |
|----------|---|--|--|
| A | 34,0 | 34,9 | 37,5 |
| B | 32,0 | 34,9 | 36,7 |
| C | 31,3 | 35,6 | 36,9 |
| D | 31,5 | 35,9 | 37,3 |
| E | 30,8 | 35,8 | 37,0 |
| F | 30,3 | 35,9 | 36,9 |
| G | 30,6 | 36,2 | 37,3 |
| H | 30,1 | 36,0 | 37,0 |
| I | 30,0 | 36,4 | 37,3 |
| J | 30,3 | 38,0 | 38,6 |
| K | 29,3 | 38,0 | 38,6 |
| L | 28,6 | 40,6 | 40,8 |
| M | 28,0 | 40,8 | 41,0 |
| N | 27,5 | 41,2 | 41,4 |
| O | 23,7 | 41,0 | 41,1 |
| P | 22,6 | 39,7 | 39,8 |
| Q | 22,6 | 39,8 | 39,9 |
| R | 22,7 | 40,4 | 40,5 |
| S | 22,3 | 40,0 | 40,0 |
| T | 22,7 | 41,0 | 41,1 |
| U | 21,6 | 38,5 | 38,6 |
| V | 20,2 | 37,2 | 37,3 |
| W | 20,1 | 37,1 | 37,2 |
| X | 19,1 | 36,2 | 36,3 |
| Y | 19,1 | 36,2 | 36,3 |
| Z | 18,2 | 35,7 | 35,7 |
| AA | 18,4 | 36,0 | 36,1 |
| AB | 17,9 | 33,1 | 33,3 |
| AC | 23,5 | 38,3 | 38,4 |
| AD | 24,5 | 39,5 | 39,6 |
| AE | 25,1 | 36,9 | 37,2 |
| AF | 26,8 | 39,4 | 39,6 |
| AG | 30,9 | 36,0 | 37,2 |
| AH | 30,5 | 31,8 | 34,2 |
| AI | 32,7 | 31,3 | 35,1 |
| AJ | 28,6 | 29,1 | 31,8 |
| AK | 29,1 | 30,0 | 32,6 |
| AL | 32,0 | 32,3 | 35,1 |
| AM | 33,4 | 33,7 | 36,6 |

2.3.2 Pienitaajuinen melu

Rakennusten A-AM pienitaajuisen melun mallinnustulokset on esitetty taulukoissa 9–11. Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen mallinnuksessa tulokset ovat kaikkien rakennusten osalta kaikilla äänitaajuuksilla ohjearvojen sisällä (taulukko 3). Kattiharjun tuulipuiston mallinnuksessa, sekä Kattiharjun tuulipuiston ja laajennuksen yhteismallinnuksessa ohjearvot ylittyvät 63 Hz äänitaajuuksilla rakennuksilla L, M, N, O ja T.

Taulukko 9. Pienitaajuisen melun mallinnustulokset Kattiharjun tuulipuiston laajennuksella. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| L _{eq} [dB] | Taajuus [Hz] | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Rakennus | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| A | 39,7 | 38,1 | 36,6 | 35,2 | 33,6 | 31,5 | 28,6 | 25,1 | 20,9 | 15,3 | 11,8 |
| B | 38,3 | 36,7 | 35,1 | 33,7 | 32,1 | 29,9 | 27,0 | 23,5 | 19,3 | 13,7 | 10,1 |
| C | 37,8 | 36,2 | 34,6 | 33,2 | 31,6 | 29,4 | 26,5 | 23,0 | 18,7 | 13,1 | 9,5 |
| D | 37,9 | 36,3 | 34,8 | 33,3 | 31,8 | 29,6 | 26,7 | 23,2 | 18,9 | 13,3 | 9,7 |
| E | 37,4 | 35,8 | 34,3 | 32,8 | 31,3 | 29,1 | 26,2 | 22,6 | 18,3 | 12,7 | 9,1 |
| F | 37,1 | 35,4 | 33,9 | 32,4 | 30,9 | 28,7 | 25,8 | 22,2 | 17,9 | 12,3 | 8,6 |
| G | 37,3 | 35,7 | 34,1 | 32,7 | 31,1 | 28,9 | 26,0 | 22,5 | 18,2 | 12,5 | 8,9 |
| H | 36,9 | 35,3 | 33,7 | 32,3 | 30,7 | 28,5 | 25,6 | 22,1 | 17,7 | 12,1 | 8,4 |
| I | 36,8 | 35,2 | 33,6 | 32,2 | 30,6 | 28,4 | 25,5 | 22,0 | 17,6 | 12,0 | 8,3 |
| J | 37,1 | 35,4 | 33,9 | 32,4 | 30,9 | 28,7 | 25,8 | 22,2 | 17,9 | 12,3 | 8,6 |
| K | 36,3 | 34,7 | 33,1 | 31,7 | 30,1 | 27,9 | 25,0 | 21,4 | 17,1 | 11,4 | 7,7 |
| L | 35,8 | 34,2 | 32,7 | 31,2 | 29,6 | 27,4 | 24,5 | 20,9 | 16,6 | 10,8 | 7,1 |
| M | 35,4 | 33,8 | 32,2 | 30,8 | 29,2 | 27,0 | 24,0 | 20,5 | 16,1 | 10,3 | 6,5 |
| N | 35,1 | 33,4 | 31,9 | 30,4 | 28,9 | 26,6 | 23,7 | 20,1 | 15,7 | 9,9 | 6,1 |
| O | 32,4 | 30,7 | 29,2 | 27,7 | 26,1 | 23,8 | 20,8 | 17,1 | 12,6 | 6,6 | 2,5 |
| P | 31,7 | 30,0 | 28,4 | 26,9 | 25,4 | 23,1 | 20,1 | 16,3 | 11,8 | 5,7 | 1,5 |
| Q | 31,7 | 30,0 | 28,4 | 27,0 | 25,4 | 23,1 | 20,1 | 16,3 | 11,8 | 5,7 | 1,5 |
| R | 31,7 | 30,1 | 28,5 | 27,0 | 25,4 | 23,2 | 20,1 | 16,4 | 11,8 | 5,8 | 1,6 |
| S | 31,5 | 29,8 | 28,3 | 26,8 | 25,2 | 22,9 | 19,9 | 16,1 | 11,5 | 5,5 | 1,3 |
| T | 31,7 | 30,1 | 28,5 | 27,0 | 25,4 | 23,2 | 20,1 | 16,4 | 11,8 | 5,8 | 1,6 |
| U | 31,0 | 29,3 | 27,7 | 26,2 | 24,6 | 22,3 | 19,3 | 15,5 | 10,9 | 4,8 | 0,5 |
| V | 30,0 | 28,3 | 26,7 | 25,2 | 23,6 | 21,3 | 18,2 | 14,4 | 9,7 | 3,5 | -1,0 |
| W | 29,9 | 28,2 | 26,6 | 25,1 | 23,5 | 21,2 | 18,1 | 14,3 | 9,6 | 3,4 | -1,0 |
| X | 29,2 | 27,5 | 25,9 | 24,4 | 22,7 | 20,4 | 17,3 | 13,4 | 8,7 | 2,3 | -2,2 |
| Y | 29,1 | 27,4 | 25,9 | 24,3 | 22,7 | 20,4 | 17,3 | 13,4 | 8,7 | 2,3 | -2,2 |
| Z | 28,5 | 26,7 | 25,2 | 23,6 | 22,0 | 19,6 | 16,5 | 12,6 | 7,8 | 1,4 | -3,3 |
| AA | 28,6 | 26,9 | 25,3 | 23,8 | 22,1 | 19,8 | 16,7 | 12,8 | 8,0 | 1,6 | -3,1 |
| AB | 28,3 | 26,6 | 25,0 | 23,4 | 21,8 | 19,4 | 16,3 | 12,4 | 7,5 | 1,1 | -3,6 |
| AC | 32,3 | 30,6 | 29,1 | 27,6 | 26,0 | 23,7 | 20,7 | 17,0 | 12,5 | 6,5 | 2,4 |
| AD | 32,9 | 31,3 | 29,7 | 28,2 | 26,7 | 24,4 | 21,4 | 17,8 | 13,3 | 7,3 | 3,3 |
| AE | 33,3 | 31,7 | 30,1 | 28,6 | 27,1 | 24,8 | 21,8 | 18,2 | 13,7 | 7,8 | 3,8 |
| AF | 34,5 | 32,9 | 31,4 | 29,9 | 28,3 | 26,1 | 23,1 | 19,5 | 15,1 | 9,3 | 5,5 |
| AG | 37,4 | 35,8 | 34,3 | 32,8 | 31,3 | 29,1 | 26,2 | 22,6 | 18,4 | 12,7 | 9,1 |
| AH | 37,2 | 35,6 | 34,0 | 32,6 | 31,0 | 28,8 | 25,9 | 22,4 | 18,1 | 12,4 | 8,7 |
| AI | 38,8 | 37,2 | 35,6 | 34,2 | 32,6 | 30,5 | 27,6 | 24,1 | 19,8 | 14,2 | 10,7 |
| AJ | 35,8 | 34,2 | 32,6 | 31,1 | 29,6 | 27,4 | 24,4 | 20,9 | 16,5 | 10,8 | 7,0 |
| AK | 36,1 | 34,5 | 33,0 | 31,5 | 29,9 | 27,7 | 24,8 | 21,3 | 16,9 | 11,2 | 7,5 |
| AL | 38,2 | 36,6 | 35,1 | 33,6 | 32,1 | 29,9 | 27,0 | 23,5 | 19,2 | 13,6 | 10,1 |
| AM | 39,3 | 37,7 | 36,1 | 34,7 | 33,2 | 31,0 | 28,1 | 24,6 | 20,4 | 14,8 | 11,3 |

Taulukko 10. Pienitaajuisen melun mallinnustulokset Kattiharjun tuulipuistolle. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| L _{eq} [dB] | Taajuus [Hz] | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Rakennus | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| A | 55,2 | 51,8 | 47,3 | 42,3 | 37,4 | 37,7 | 33,1 | 27,4 | 23,4 | 16,0 | 12,1 |
| B | 55,2 | 51,9 | 47,3 | 42,4 | 37,4 | 37,7 | 33,2 | 27,4 | 23,4 | 16,1 | 12,2 |
| C | 55,7 | 52,3 | 47,8 | 42,9 | 37,9 | 38,2 | 33,7 | 27,9 | 24,0 | 16,6 | 12,8 |
| D | 56,0 | 52,6 | 48,1 | 43,1 | 38,2 | 38,5 | 33,9 | 28,2 | 24,2 | 16,9 | 13,1 |
| E | 55,9 | 52,6 | 48,0 | 43,1 | 38,1 | 38,4 | 33,9 | 28,1 | 24,2 | 16,9 | 13,0 |
| F | 56,0 | 52,6 | 48,1 | 43,1 | 38,2 | 38,5 | 33,9 | 28,2 | 24,2 | 16,9 | 13,1 |
| G | 56,2 | 52,9 | 48,3 | 43,4 | 38,4 | 38,7 | 34,2 | 28,5 | 24,5 | 17,2 | 13,4 |
| H | 56,1 | 52,7 | 48,2 | 43,3 | 38,3 | 38,6 | 34,1 | 28,3 | 24,4 | 17,1 | 13,2 |
| I | 56,4 | 53,0 | 48,5 | 43,6 | 38,6 | 38,9 | 34,4 | 28,7 | 24,7 | 17,4 | 13,6 |
| J | 57,5 | 54,2 | 49,6 | 44,7 | 39,7 | 40,1 | 35,5 | 29,8 | 25,9 | 18,7 | 15,0 |
| K | 57,6 | 54,3 | 49,8 | 44,8 | 39,9 | 40,2 | 35,7 | 30,0 | 26,1 | 18,8 | 15,1 |
| L | 59,6 | 56,2 | 51,7 | 46,8 | 41,8 | 42,1 | 37,7 | 32,0 | 28,2 | 21,0 | 17,4 |
| M | 59,8 | 56,4 | 51,9 | 47,0 | 42,0 | 42,4 | 37,9 | 32,2 | 28,4 | 21,2 | 17,6 |
| N | 60,0 | 56,7 | 52,2 | 47,3 | 42,3 | 42,7 | 38,2 | 32,5 | 28,7 | 21,6 | 17,9 |
| O | 59,8 | 56,4 | 51,9 | 47,0 | 42,0 | 42,4 | 37,9 | 32,2 | 28,4 | 21,3 | 17,7 |
| P | 58,8 | 55,4 | 50,9 | 46,0 | 41,0 | 41,3 | 36,8 | 31,2 | 27,3 | 20,1 | 16,5 |
| Q | 58,9 | 55,5 | 51,0 | 46,1 | 41,1 | 41,5 | 37,0 | 31,3 | 27,4 | 20,3 | 16,6 |
| R | 59,3 | 55,9 | 51,4 | 46,5 | 41,5 | 41,9 | 37,4 | 31,7 | 27,9 | 20,7 | 17,1 |
| S | 58,9 | 55,6 | 51,1 | 46,1 | 41,2 | 41,5 | 37,0 | 31,3 | 27,5 | 20,3 | 16,7 |
| T | 59,7 | 56,3 | 51,8 | 46,9 | 42,0 | 42,3 | 37,8 | 32,1 | 28,3 | 21,2 | 17,6 |
| U | 57,9 | 54,6 | 50,0 | 45,1 | 40,2 | 40,5 | 36,0 | 30,3 | 26,4 | 19,2 | 15,5 |
| V | 56,9 | 53,5 | 49,0 | 44,1 | 39,1 | 39,4 | 34,9 | 29,2 | 25,3 | 18,0 | 14,3 |
| W | 56,8 | 53,5 | 48,9 | 44,0 | 39,1 | 39,4 | 34,8 | 29,1 | 25,2 | 18,0 | 14,2 |
| X | 56,1 | 52,8 | 48,2 | 43,3 | 38,3 | 38,6 | 34,1 | 28,4 | 24,4 | 17,2 | 13,3 |
| Y | 56,1 | 52,8 | 48,3 | 43,3 | 38,4 | 38,7 | 34,1 | 28,4 | 24,5 | 17,2 | 13,4 |
| Z | 55,6 | 52,3 | 47,7 | 42,8 | 37,8 | 38,1 | 33,6 | 27,8 | 23,9 | 16,6 | 12,8 |
| AA | 55,8 | 52,5 | 48,0 | 43,0 | 38,0 | 38,3 | 33,8 | 28,1 | 24,1 | 16,9 | 13,0 |
| AB | 54,0 | 50,6 | 46,1 | 41,1 | 36,2 | 36,4 | 31,8 | 26,0 | 22,0 | 14,6 | 10,5 |
| AC | 57,9 | 54,5 | 50,0 | 45,1 | 40,1 | 40,4 | 35,9 | 30,2 | 26,3 | 19,1 | 15,4 |
| AD | 58,8 | 55,4 | 50,9 | 46,0 | 41,0 | 41,4 | 36,9 | 31,2 | 27,3 | 20,1 | 16,4 |
| AE | 56,9 | 53,5 | 49,0 | 44,0 | 39,1 | 39,4 | 34,9 | 29,1 | 25,2 | 17,9 | 14,1 |
| AF | 58,5 | 55,2 | 50,7 | 45,7 | 40,8 | 41,1 | 36,6 | 30,9 | 27,1 | 19,9 | 16,2 |
| AG | 56,2 | 52,9 | 48,3 | 43,4 | 38,4 | 38,7 | 34,2 | 28,4 | 24,5 | 17,2 | 13,3 |
| AH | 53,2 | 49,8 | 45,3 | 40,3 | 35,4 | 35,6 | 31,0 | 25,2 | 21,1 | 13,5 | 9,4 |
| AI | 52,8 | 49,4 | 44,9 | 39,9 | 34,9 | 35,1 | 30,5 | 24,7 | 20,6 | 13,0 | 8,9 |
| AJ | 51,2 | 47,8 | 43,2 | 38,2 | 33,2 | 33,5 | 28,8 | 22,9 | 18,6 | 10,9 | 6,6 |
| AK | 51,8 | 48,4 | 43,9 | 38,9 | 33,9 | 34,1 | 29,5 | 23,6 | 19,4 | 11,8 | 7,5 |
| AL | 53,4 | 50,0 | 45,5 | 40,5 | 35,5 | 35,8 | 31,2 | 25,4 | 21,3 | 13,8 | 9,7 |
| AM | 54,4 | 51,0 | 46,5 | 41,5 | 36,6 | 36,8 | 32,3 | 26,5 | 22,5 | 15,1 | 11,1 |

Taulukko 11. Pienitaajuisen melun mallinnustulokset Kattiharjun tuulipuistolle ja Kattiharjun tuulipuiston laajennukselle. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| L _{eq} [dB] | Taajuus [Hz] | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Rakennus | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| A | 55,3 | 52,0 | 47,7 | 43,1 | 38,9 | 38,6 | 34,4 | 29,4 | 25,3 | 18,7 | 15,0 |
| B | 55,3 | 52,0 | 47,6 | 42,9 | 38,5 | 38,4 | 34,1 | 28,9 | 24,8 | 18,1 | 14,3 |
| C | 55,8 | 52,5 | 48,0 | 43,3 | 38,8 | 38,7 | 34,4 | 29,1 | 25,1 | 18,2 | 14,4 |
| D | 56,0 | 52,7 | 48,3 | 43,6 | 39,1 | 39,0 | 34,7 | 29,4 | 25,4 | 18,5 | 14,7 |
| E | 56,0 | 52,6 | 48,2 | 43,5 | 38,9 | 38,9 | 34,5 | 29,2 | 25,2 | 18,3 | 14,5 |
| F | 56,0 | 52,7 | 48,2 | 43,5 | 38,9 | 38,9 | 34,5 | 29,2 | 25,1 | 18,2 | 14,4 |
| G | 56,3 | 52,9 | 48,5 | 43,7 | 39,2 | 39,2 | 34,8 | 29,4 | 25,4 | 18,5 | 14,7 |
| H | 56,1 | 52,8 | 48,4 | 43,6 | 39,0 | 39,0 | 34,6 | 29,2 | 25,2 | 18,3 | 14,5 |
| I | 56,4 | 53,1 | 48,7 | 43,9 | 39,3 | 39,3 | 34,9 | 29,5 | 25,5 | 18,5 | 14,7 |
| J | 57,5 | 54,2 | 49,8 | 44,9 | 40,3 | 40,4 | 36,0 | 30,5 | 26,6 | 19,6 | 15,9 |
| K | 57,7 | 54,3 | 49,9 | 45,0 | 40,3 | 40,4 | 36,0 | 30,5 | 26,6 | 19,6 | 15,8 |
| L | 59,6 | 56,2 | 51,7 | 46,9 | 42,1 | 42,3 | 37,9 | 32,3 | 28,4 | 21,4 | 17,7 |
| M | 59,8 | 56,4 | 52,0 | 47,1 | 42,3 | 42,5 | 38,0 | 32,5 | 28,6 | 21,6 | 17,9 |
| N | 60,1 | 56,7 | 52,2 | 47,3 | 42,5 | 42,8 | 38,3 | 32,8 | 28,9 | 21,8 | 18,2 |
| O | 59,8 | 56,4 | 51,9 | 47,0 | 42,1 | 42,4 | 38,0 | 32,4 | 28,5 | 21,4 | 17,8 |
| P | 58,8 | 55,4 | 50,9 | 46,0 | 41,1 | 41,4 | 36,9 | 31,3 | 27,4 | 20,3 | 16,6 |
| Q | 58,9 | 55,5 | 51,0 | 46,1 | 41,2 | 41,5 | 37,0 | 31,4 | 27,6 | 20,4 | 16,7 |
| R | 59,3 | 55,9 | 51,4 | 46,5 | 41,6 | 41,9 | 37,5 | 31,8 | 28,0 | 20,9 | 17,2 |
| S | 58,9 | 55,6 | 51,1 | 46,2 | 41,3 | 41,6 | 37,1 | 31,5 | 27,6 | 20,5 | 16,8 |
| T | 59,7 | 56,4 | 51,8 | 46,9 | 42,1 | 42,3 | 37,9 | 32,3 | 28,4 | 21,3 | 17,7 |
| U | 57,9 | 54,6 | 50,1 | 45,2 | 40,3 | 40,5 | 36,1 | 30,4 | 26,5 | 19,3 | 15,6 |
| V | 56,9 | 53,6 | 49,0 | 44,1 | 39,2 | 39,5 | 35,0 | 29,3 | 25,4 | 18,2 | 14,4 |
| W | 56,8 | 53,5 | 49,0 | 44,1 | 39,2 | 39,4 | 34,9 | 29,3 | 25,3 | 18,1 | 14,3 |
| X | 56,1 | 52,8 | 48,3 | 43,4 | 38,5 | 38,7 | 34,2 | 28,5 | 24,6 | 17,3 | 13,5 |
| Y | 56,2 | 52,8 | 48,3 | 43,4 | 38,5 | 38,7 | 34,2 | 28,5 | 24,6 | 17,3 | 13,5 |
| Z | 55,6 | 52,3 | 47,8 | 42,8 | 37,9 | 38,2 | 33,7 | 28,0 | 24,0 | 16,7 | 12,9 |
| AA | 55,8 | 52,5 | 48,0 | 43,1 | 38,2 | 38,4 | 33,9 | 28,2 | 24,2 | 17,0 | 13,1 |
| AB | 54,0 | 50,6 | 46,1 | 41,2 | 36,3 | 36,5 | 32,0 | 26,2 | 22,2 | 14,8 | 10,7 |
| AC | 57,9 | 54,6 | 50,1 | 45,2 | 40,3 | 40,5 | 36,1 | 30,4 | 26,5 | 19,3 | 15,6 |
| AD | 58,8 | 55,5 | 50,9 | 46,0 | 41,2 | 41,4 | 37,0 | 31,4 | 27,5 | 20,4 | 16,6 |
| AE | 56,9 | 53,5 | 49,0 | 44,2 | 39,3 | 39,5 | 35,1 | 29,5 | 25,5 | 18,3 | 14,5 |
| AF | 58,6 | 55,2 | 50,7 | 45,9 | 41,0 | 41,3 | 36,8 | 31,2 | 27,3 | 20,3 | 16,6 |
| AG | 56,3 | 52,9 | 48,5 | 43,7 | 39,2 | 39,2 | 34,8 | 29,4 | 25,4 | 18,5 | 14,7 |
| AH | 53,3 | 50,0 | 45,6 | 41,0 | 36,7 | 36,4 | 32,2 | 27,0 | 22,8 | 16,0 | 12,1 |
| AI | 53,0 | 49,7 | 45,4 | 40,9 | 36,9 | 36,4 | 32,3 | 27,4 | 23,2 | 16,7 | 12,9 |
| AJ | 51,3 | 48,0 | 43,6 | 39,0 | 34,8 | 34,4 | 30,2 | 25,0 | 20,7 | 13,9 | 9,8 |
| AK | 51,9 | 48,6 | 44,2 | 39,6 | 35,4 | 35,0 | 30,8 | 25,6 | 21,3 | 14,5 | 10,5 |
| AL | 53,5 | 50,2 | 45,9 | 41,3 | 37,2 | 36,8 | 32,6 | 27,5 | 23,4 | 16,7 | 12,9 |
| AM | 54,5 | 51,2 | 46,9 | 42,3 | 38,2 | 37,8 | 33,7 | 28,7 | 24,6 | 18,0 | 14,2 |

3 Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriö, "Tuulivoimaloiden melun mallintaminen," Helsinki, 2014.
- [2] EMD, "windPRO User Manual; <http://help.emd.dk/knowledgebase/>," EMD International AS, 2024.
- [3] Ympäristöministeriö, "Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista," <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>, 2015.
- [4] Sosiaali- ja terveysministeriö, "Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista," <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>, 2015.
- [5] V. Hongisto, J. Radun, V. Rajala, H. Maula, J. Keränen ja P. Saarinen, "Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti," Turun ammattikorkeakoulun raportteja 265, Turku, 2020.
- [6] The International Electrotechnical Commission (IEC), "Wind turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values," 2005.
- [7] Ympäristöministeriö, "Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästöjen takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä (muistio YM9/551/2016)," Ympäristöministeriö, 2016.
- [8] Vestas Power Solutions, "Third octave noise emission – EnVentus™ – V172-7.2MW 50/60 Hz, Document no 0128-4336_00," 2022.
- [9] Nordex, "Third octave sound power levels. Nordex N163/6.X. F008_277_A17_EN. Revision 01, 2021-07-08," Nordex Energy GmbH, Hamburg, 2021.

Mallinnuksissa käytetyt asiakkaalta saadut tiedostot:

0127-1584_V02 - Performance Specification V172-7.2 MW.pdf

0128-4336_V00 - Enventus V172-7.2MW Third Octaves.pdf

Kattiharju Noise sensitive areas 20220103.wpobjects

Sähköposti asiakkaalta - 2024-02-20

Liite A. Rakennusten koordinaatit

| Rakennus | Koordinaatit (ETRS TM35FIN) | |
|----------|--------------------------------|-----------|
| | Itä | Pohjoinen |
| A | 256144 | 6986832 |
| B | 256601 | 6987078 |
| C | 257002 | 6987064 |
| D | 257039 | 6987002 |
| E | 257223 | 6987049 |
| F | 257407 | 6987052 |
| G | 257405 | 6986981 |
| H | 257547 | 6987020 |
| I | 257695 | 6986937 |
| J | 257931 | 6986612 |
| K | 258304 | 6986491 |
| L | 258840 | 6985771 |
| M | 259027 | 6985623 |
| N | 259178 | 6985472 |
| O | 260316 | 6984939 |
| P | 260677 | 6984970 |
| Q | 260673 | 6984939 |
| R | 260636 | 6984866 |
| T | 260766 | 6984856 |
| S | 260630 | 6984769 |
| U | 261049 | 6984913 |
| V | 261624 | 6984609 |
| W | 261660 | 6984585 |
| X | 262099 | 6984032 |
| Y | 262104 | 6983991 |
| Z | 262110 | 6982324 |
| AA | 261796 | 6981916 |
| AB | 261344 | 6980808 |
| AC | 258828 | 6981696 |
| AD | 258674 | 6981951 |
| AE | 257766 | 6981583 |
| AF | 257676 | 6982065 |
| AG | 255996 | 6982675 |
| AH | 254397 | 6983557 |
| AI | 254341 | 6985820 |
| AJ | 253549 | 6985926 |
| AK | 254694 | 6987296 |
| AL | 255429 | 6987046 |
| AM | 255820 | 6986903 |

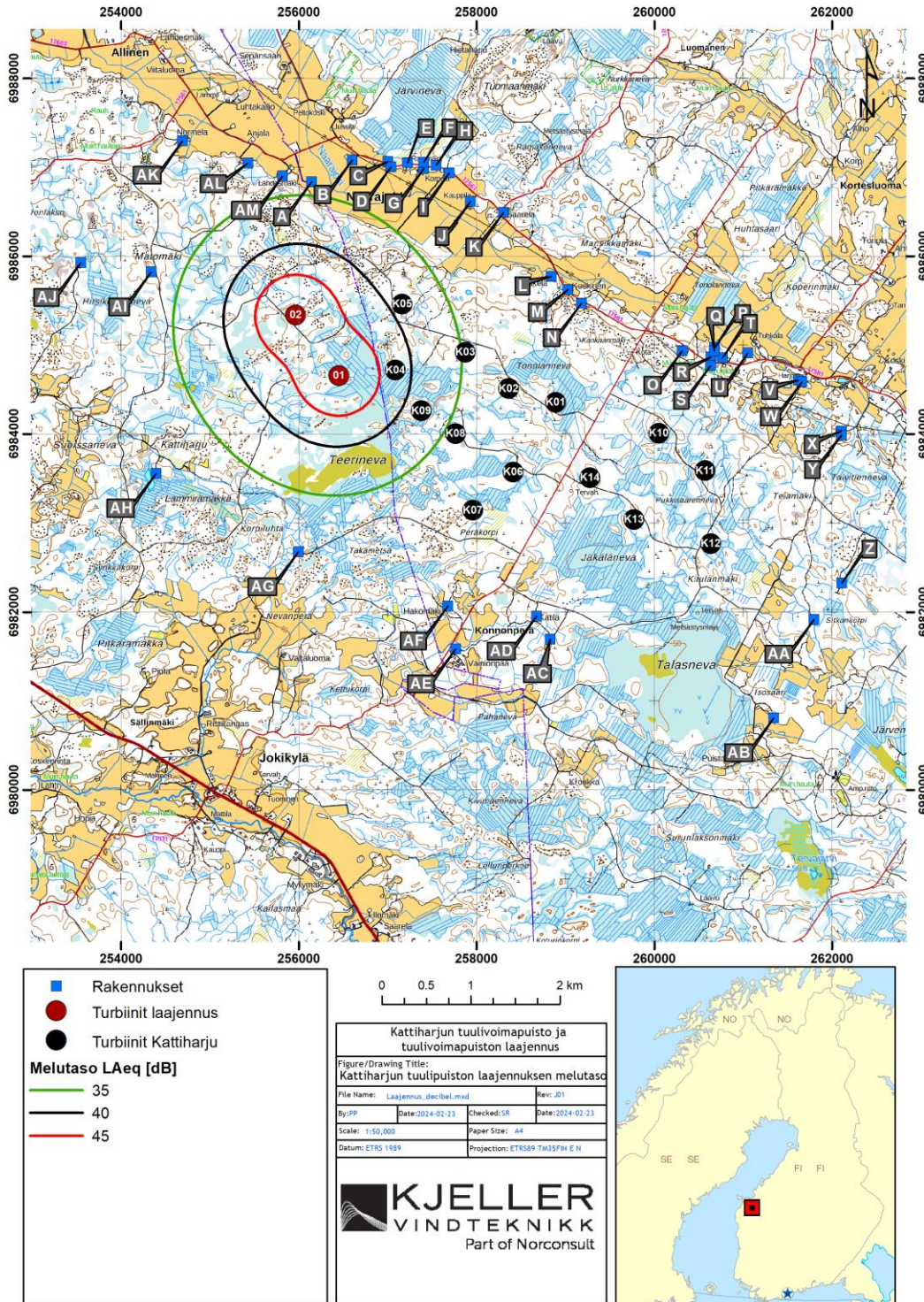
Taulukko A12. Kattiharjun tuulipuiston laajennuksen voimaloiden koordinaatit.

| Voimala | Koordinaatit (ETRS TM35FIN) | |
|---------|--------------------------------|---------|
| | x | y |
| WTG 01 | 256455 | 6984658 |
| WTG 02 | 255965 | 6985341 |

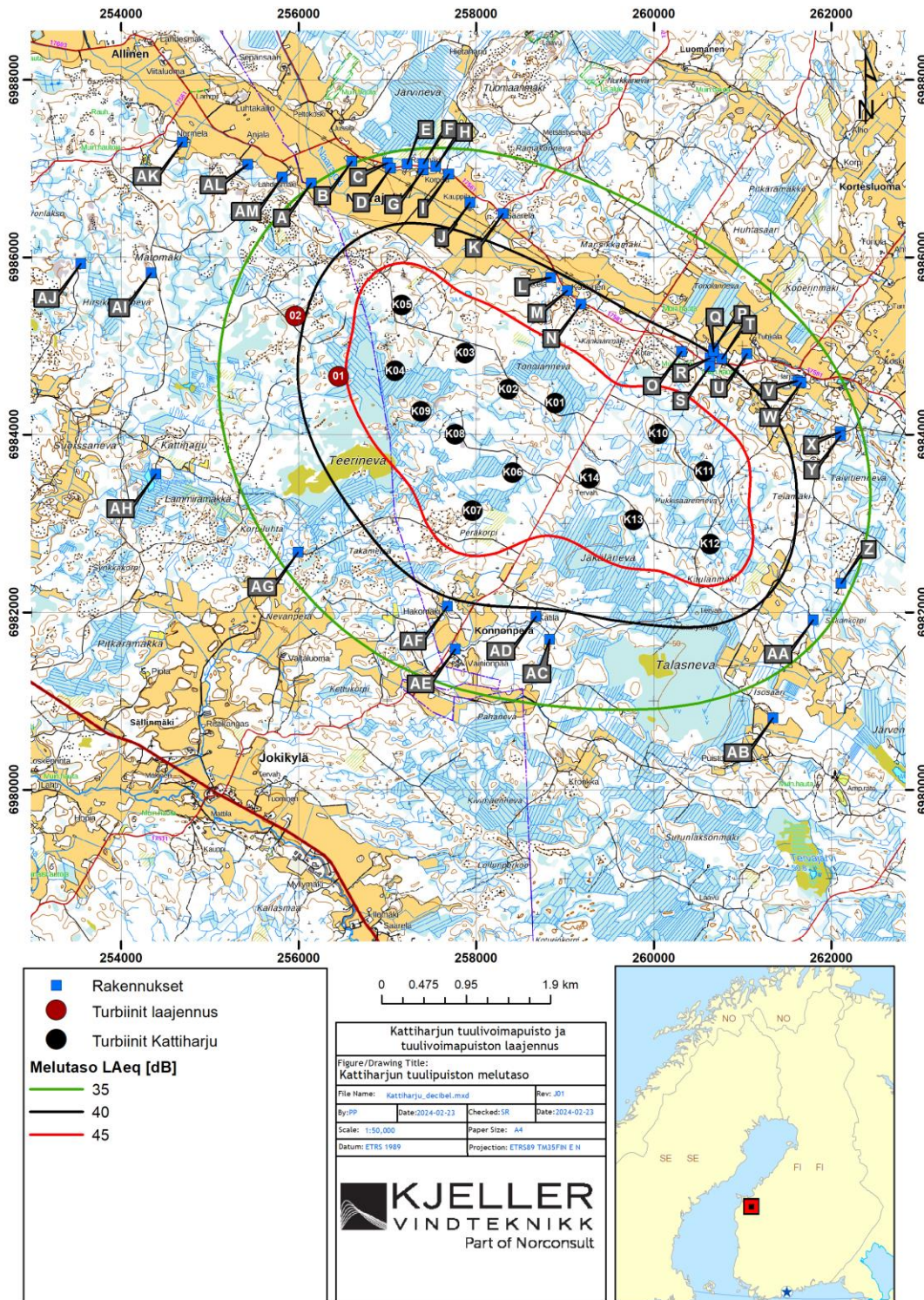
Taulukko A13. Kattiharjun tuulipuiston voimaloiden koordinaatit ja perustuksen korkeus

| Voimala | Koordinaatit (ETRS TM35FIN) | | Korotettu perustus [m] |
|---------|--------------------------------|---------|------------------------------|
| | x | y | |
| 1 | 258892 | 6984359 | 2 |
| 2 | 258361 | 6984512 | 1 |
| 3 | 257878 | 6984922 | 2 |
| 4 | 257087 | 6984720 | 2 |
| 5 | 257163 | 6985462 | 2 |
| 6 | 258414 | 6983575 | 0 |
| 7 | 257962 | 6983145 | 1 |
| 8 | 257781 | 6983997 | 1 |
| 9 | 257382 | 6984262 | 2 |
| 10 | 260052 | 6984010 | 2 |
| 11 | 260574 | 6983589 | 2 |
| 12 | 260637 | 6982769 | 2 |
| 13 | 259773 | 6983040 | 2 |
| 14 | 259278 | 6983511 | 2 |

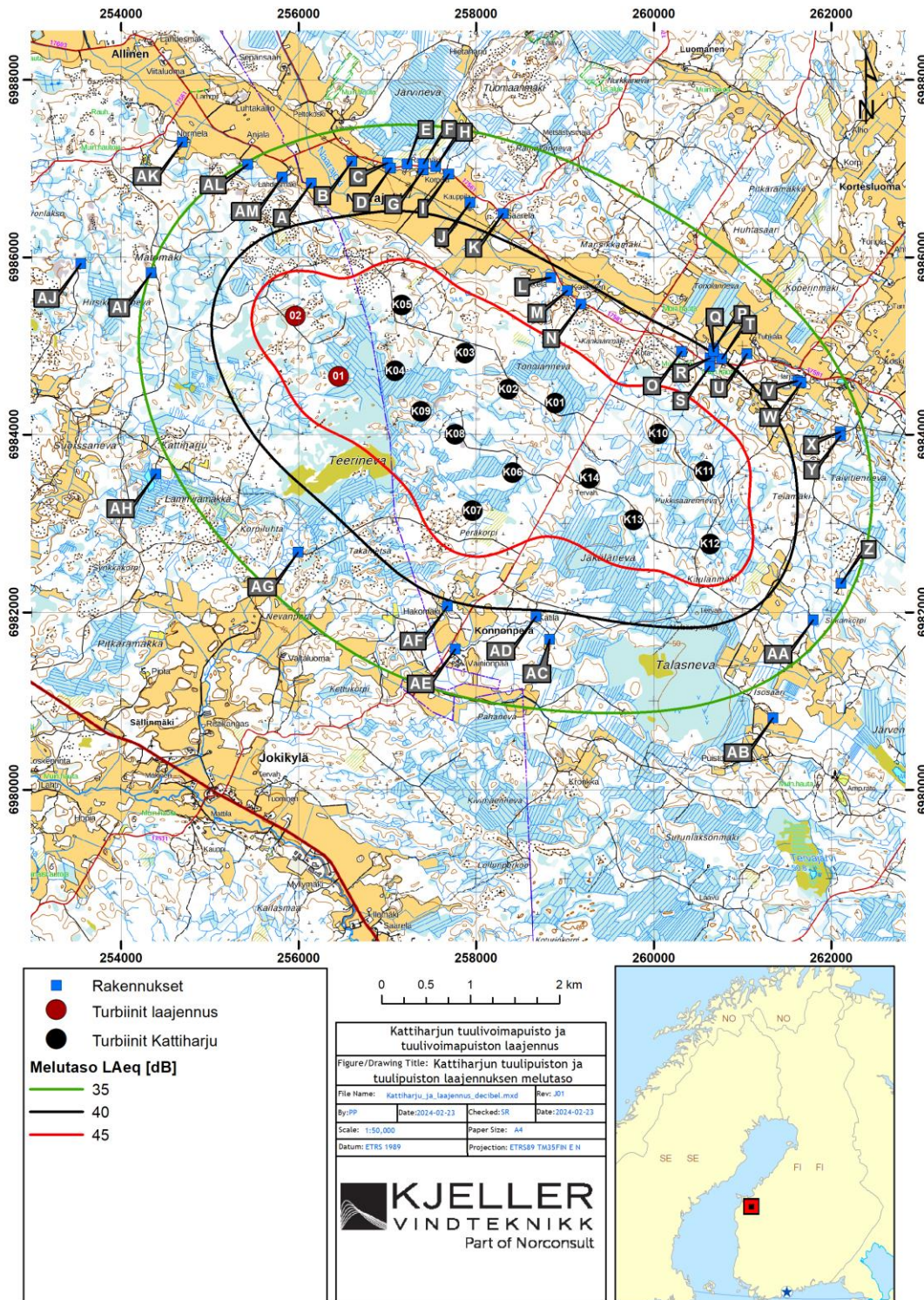
Liite B. ISO 9613-2 melumallinnuskartat



Kuva B1: ISO 9613-2 melumallinnus Kattiharjun tuulivoimapuiston laajennukselle.



Kuva B2: ISO 9613-2 melumallinnus Kattiharjun tuulivoimapuiston laajennukselle.



Kuva B3: ISO 9613-2 melumallinnus Kattiharjun tuulivoimatuuleille ja tuulivoimatuuleiden laajennukselle.