

PROKON Wind Energy Finland Oy

► **Dalalandet tuulivoimapuisto, Uusikaarlepyy,  
Suomi**

Melu- ja väkelaskelmat

Assignment no.: 374.006.01 Document no.: KVT/2023/R144/PP Version: J01 Date: 2023-11-07



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

| J01     | 2023-11-07 | 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

Melu- ja väkelaskelmat on tehty Dalalandetin suunnitellulle tuulipuistolle, joka sijaitsee Uudenkaarlepyyn kunnassa Pohjanmaan maakunnassa. Laskelmat on tehty kahdelle eri turbiinisijoittelulle. Laskelmissa on huomioitu läheiset Storbötet Vörån, Storbötet Nykarlebyn, Jeppon ja Björkbackenin tuulipuistot.

Melulaskelmissa on käytetty ISO 9613-2 laskentamenetelmää. Ulkomelutasot ovat raja-arvojen (valtioneuvoston asetus 1107/2015) sisällä kaikille rakennuksille molemmilla turbiinisijoitteluilla. Matalataajuinen sisämelu täyttää sosiaali- ja terveysministeriön asettamat vaatimukset molemmilla turbiinisijoitteluilla.

Väkelaskelmat on tehty sekä metsän varjostus huomioiden että ilman metsän huomioimista. Väkelaskelmien perusteella 8 tunnin vuosittainen raja tai 30 minuutin päivittäinen raja ei ylity millään rakennuksella riippumatta siitä huomioidaanko metsä vai ei.

## Sisällys

|                 |  |            |
|-----------------|--|------------|
| <b>1</b>        | <b>Johdanto</b>                                | <b>4</b>   |
| <b>2</b>        | <b>Melulaskelmat</b>                           | <b>7</b>   |
| 2.1             | Melun ohjearvot                                | 7          |
| 2.2             | Melun lähtöarvot                               | 7          |
| 2.3             | ISO 9613-2 melulaskelmat                       | 10         |
| 2.3.1           | <i>Keskiäänitasojen mallinnuksen tulokset</i>  | 10         |
| 2.3.2           | <i>Pienitaajuinen melu</i>                     | 11         |
| <b>3</b>        | <b>Väkelaskelmat</b>                           | <b>13</b>  |
| 3.1             | Menetelmä ja lähtötiedot                       | 13         |
| 3.2             | Välkevaikutukset                               | 14         |
| <b>4</b>        | <b>Lähdeluettelo</b>                           | <b>16</b>  |
| <b>Liite A.</b> | <b>Rakennusten ja voimaloiden koordinaatit</b> | <b>I</b>   |
| <b>Liite B.</b> | <b>ISO 9613-2 melumallinnuskartat</b>          | <b>V</b>   |
| <b>Liite C.</b> | <b>Välkemallinnuskartat</b>                    | <b>VII</b> |
| <b>Liite D.</b> | <b>Asiakkaalta saatu data</b>                  | <b>XI</b>  |

# 1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään Dalalandetin tuulipuiston melu- ja väkelaskelmat. Suunniteltu Dalalandetin tuulipuisto sijaitsee Uudenkaarlepyyn kunnassa lähellä Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakuntien rajaa.

Mallinnuksissa on käytetty kahta eri turbiinisijoittelua, joista toinen koostuu 15:sta ja toinen 11 turbiinista. Turbiinin melutiedot perustuvat Vestas V172 7.2 MW turbiiniin. Turbiineille on oletettu 200 m napakorkeus ja 200 m roottorinhalkaisija. Asiakas on toimittanut 200 m roottorinhalkaisijaa vastaavan lapaprofiilin jota on hyödynnetty väke- ja näkyvyys laskelmissa.

Dalalandetin tuulipuiston perustiedot on esitetty taulukossa 1 ja turbiinien sijainnit on esitetty kuvissa 1 ja 2.

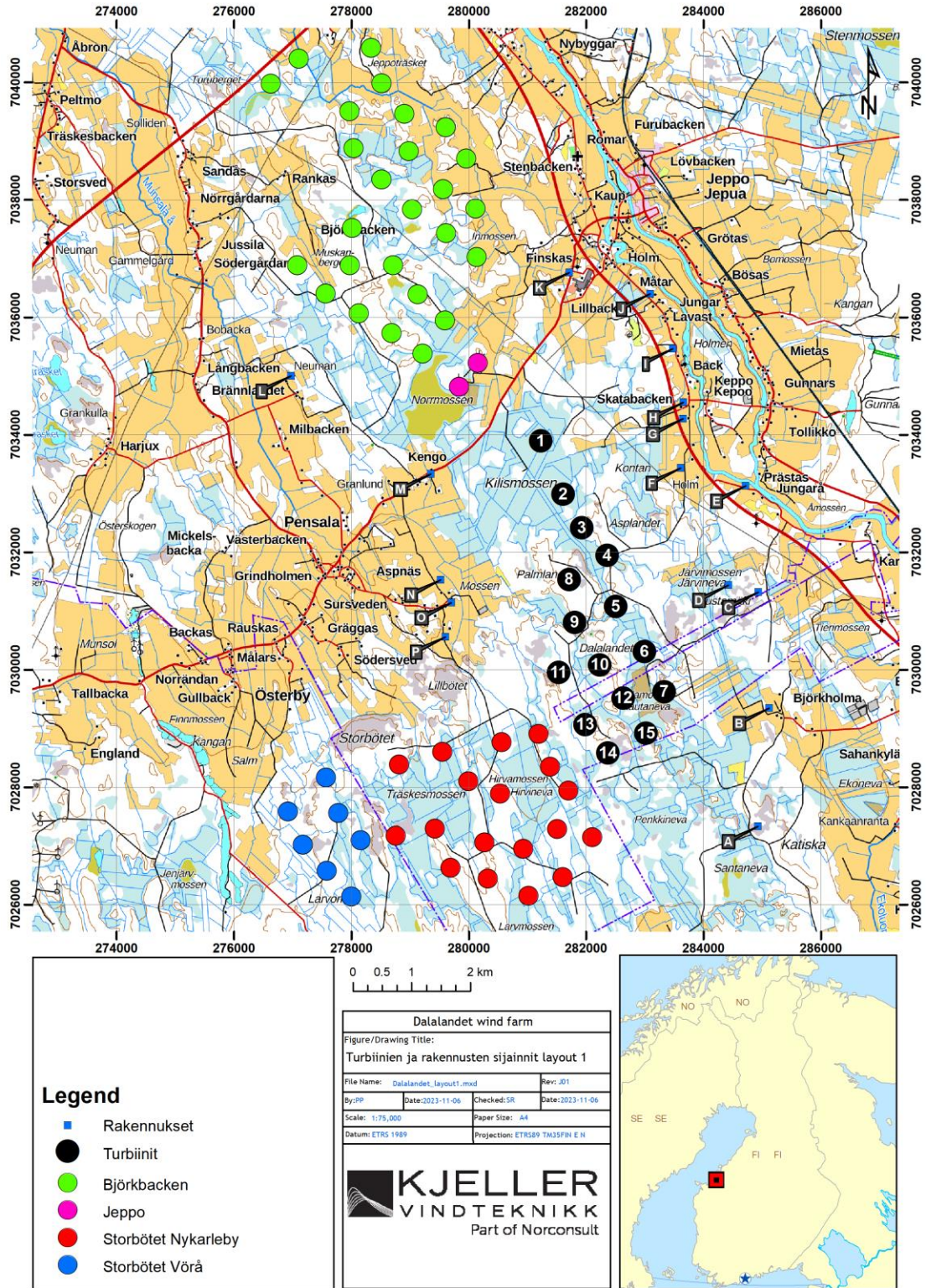
Asiakas on toimittanut toimittanut tietoja läheisistä Storbötet Vörån, Storbötet Nykarlebyn, Jeppon ja Björkbackenin tuulipuistoista. Läheisten tuulipuistojen perustiedot on esitetty liitteessä A.

Melutasot ja väke on laskettu 15 rakennukselle. Rakennukset on esitetty kuvissa 1 ja 2. Rakennusten koordinaatit ja perustusten korkeudet on esitetty liitteessä A.

Taulukko 1. Dalalandetin tuulipuiston perustiedot.

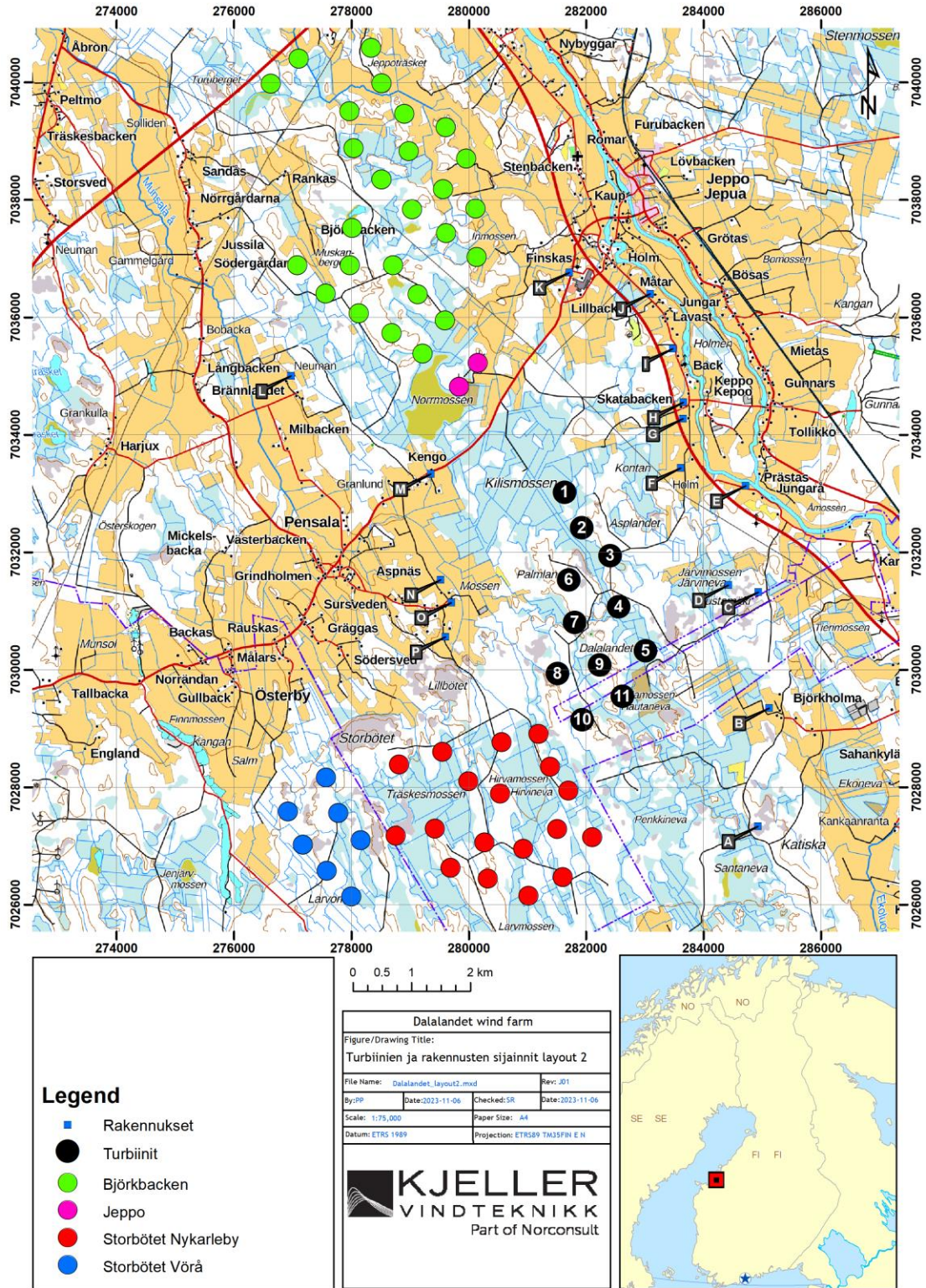
| Turbiinimalli | Turbiinisijoittelu | Turbiinien lukumäärä | Nimellisteho [MW] | Roottorin halkaisija [m] | Napa-korkeus [m] | Kokonais-korkeus [m] |
|---------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|------------------|----------------------|
| Hypoteettinen | Layout 1           | 15                   | 7,2               | 200                      | 200              | 300                  |
| Hypoteettinen | Layout 2           | 11                   | 7,2               | 200                      | 200              | 300                  |





Kuva 1. Dalalandetin tuulivoimapuiston voimaloiden sekä lähellä olevien rakennusten ja muiden tuulivoimaloiden turbiinien sijainnit. Layout 1.





Kuva 2. Dalalandetin tuulivoimapuiston voimaloiden sekä lähellä olevien rakennusten ja muiden tuulivoimaloiden turbiinien sijainnit. Layout 2.

## 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 menetelmää, joka on saatavilla WindPRO ohjelmistossa [2]. Mallinnus on tehty WindPRO versiolla 4.0.423.

### 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<br>(klo 7-22), $L_{Aeq}$ [dB] | Sallittu ulkomelutaso yöllä<br>(klo 22-7), $L_{Aeq}$ [dB] |
|-------------------------------------|--|---|
| <b>Pysyvä asutus ja loma-asutus</b> | 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 esitettyjä 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  |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>DL [dB]</b> | 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 sekä Dalalandetin että läheisten tuulivoimapuistojen turbiineille 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. Poikkeuksena ovat Storbötet Nykarlebyn turbiinit 1-12 ja 14-18, joiden melupäästöille turbiinivalmistaja on myöntänyt takuun. Melupäästö on annettu kaikille turbiineille eri tuulennopeuksilla napakorkeudella. 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). Dalalandetissa 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                    | Dalalandet V172, P07200 with serrated blades | Storbötet Vörå V172, P07200 with serrated blades | Storbötet Nykarleby V162 Mode P06200 with serrated blades | Jeppo V126, Mode 0 with serrated blades | Björkbacken V162, Mode 0 with serrate blades |
|----------------------------|--|--|---|---|--|
| [Hz]                       | [dB(A)]                                      | [dB(A)]  | [dB(A)]   | [dB(A)]                                 | [dB(A)]                                      |
| 62,5                       | 90,6   | 90,5   | 85,8  | 85,4                                    | 85,3   |
| 125                        | 98,2   | 98,2   | 93,3  | 91,7                                    | 92,7   |
| 250                        | 101,3  | 101,3  | 97,9  | 97,8                                    | 97,3   |
| 500                        | 101,5  | 101,5  | 99,8  | 101,0                                   | 99,1   |
| 1000                       | 99,8   | 99,8   | 98,9  | 101,4                                   | 98,0   |
| 2000                       | 95,2   | 95,2   | 95,2  | 96,6                                    | 94,0   |
| 4000                       | 87,6   | 87,6   | 88,7  | 89,0                                    | 87,3   |
| 8000                       | 76,9   | 76,9   | 79,3  | 68,8                                    | 77,7   |
| <b>Kokonais-melupäästö</b> | <b>106,9</b>                                 | <b>106,9</b>                                     | <b>104,8</b>  | <b>106,0</b>                            | <b>104,0</b>                                 |

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

| Taajuus                         | Dalalandet V172, P07200 with serrated blades | Storbötet Vörå V172, P07200 with serrated blades | Storbötet Nykarleby V162 Mode P06200 with serrated blades | Jeppo V126, Mode 0 with serrated blades | Björkbacken V162, Mode 0 with serrate blades |
|---------------------------------|--|--|---|---|--|
| [Hz]                            | [dB(A)]                                      | [dB(A)]  | [dB(A)]   | [dB(A)]                                 | [dB(A)]                                      |
| 10                              | 45,6   | 45,5   | 45,0  | 41,2                                    | 44,5   |
| 12,5                            | 51,5   | 51,4   | 50,4  | 48,5                                    | 49,9   |
| 16                              | 57,0   | 56,9   | 56,1  | 55,0                                    | 55,5   |
| 20                              | 62,1   | 62,1   | 60,8  | 63,5                                    | 60,3   |
| 25                              | 67,3   | 67,3   | 65,2  | 68,6                                    | 64,7   |
| 31,5                            | 72,1   | 72,1   | 69,5  | 69,0                                    | 69,0   |
| 40                              | 76,9   | 76,8   | 73,6  | 73,4                                    | 73,1   |
| 50                              | 81,3   | 81,2   | 77,1  | 77,4                                    | 76,6   |
| 63                              | 85,1   | 85,0   | 80,4  | 80,4                                    | 79,8   |
| 80                              | 88,4   | 88,3   | 83,4  | 82,6                                    | 82,9   |
| 100                             | 91,1   | 91,1   | 85,9  | 84,8                                    | 85,4   |
| 125                             | 93,3   | 93,3   | 88,2  | 87,4                                    | 87,6   |
| 160                             | 94,9   | 95,0   | 90,3  | 88,0                                    | 89,7   |
| 200                             | 96,1   | 96,1   | 91,9  | 90,3                                    | 91,2   |
| 250                             | 96,7   | 96,7   | 93,2  | 92,3                                    | 92,5   |
| 315                             | 96,8   | 96,8   | 94,2  | 95,1                                    | 93,5   |
| 400                             | 96,9   | 97,0   | 94,8  | 95,4                                    | 94,1   |
| 500                             | 96,7   | 96,7   | 95,2  | 96,1                                    | 94,4   |
| 630                             | 96,5   | 96,5   | 95,2  | 97,0                                    | 94,4   |
| 800                             | 96,0   | 96,0   | 94,8  | 96,4                                    | 94,0   |
| 1000                            | 95,1   | 95,1   | 94,2  | 97,0                                    | 93,3   |
| 1250                            | 93,8   | 93,8   | 93,2  | 96,3                                    | 92,3   |
| 1600                            | 92,2   | 92,2   | 91,8  | 93,2                                    | 90,8   |
| 2000                            | 90,3   | 90,2   | 90,3  | 91,9                                    | 89,1   |
| 2500                            | 87,9   | 87,9   | 88,4  | 89,7                                    | 87,2   |
| 3150                            | 85,2   | 85,2   | 86,1  | 86,3                                    | 84,8   |
| 4000                            | 82,2   | 82,2   | 83,4  | 85,2                                    | 82,0   |
| 5000                            | 78,8   | 78,8   | 80,5  | 75,7                                    | 79,1   |
| 6300                            | 75,1   | 75,0   | 77,2  | 67,2                                    | 75,7   |
| 8000                            | 71,0   | 70,9   | 73,6  | 60,5                                    | 71,9   |
| 10 000                          | 66,5   | 66,4   | 69,7  | 60,5                                    | 67,9   |
| <b>Kokonais-<br/>melupäästö</b> | <b>106,9</b>                                 | <b>106,9</b>                                     | <b>104,8</b>  | <b>106,0</b>                            | <b>104,0</b>                                 |

## 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              |
| Maan- tai vedenpinnan absorption ja Heijastuksen vaikutus | Vaikutuskerron 0,4 |
| Stabiilisuusparametrit                                    | yö, kirkas taivas  |

### 2.3.1 Keskiäänitasojen mallinnuksen tulokset

Rakennusten A-P mallinnetut melutasot on esitetty taulukossa 8. 35, 40, 45 ja 50 dB melurajat kartalla on esitetty liitteessä B (kuvat B1-B2). Kaikki tulokset ovat ohjearvojen sisällä.

Taulukko 8. Melumallinnuksen tulokset. Ohjearvot ylittävät arvot merkitty punaisella.

| Rakennus | Layout 1<br>L <sub>Aeq</sub> [dB] | Layout 2<br>L <sub>Aeq</sub> [dB] |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A        | 35,0                              | 33,0                              |
| B        | 37,3                              | 35,0                              |
| C        | 36,9                              | 35,9                              |
| D        | 38,6                              | 37,8                              |
| E        | 34,9                              | 34,3                              |
| F        | 37,7                              | 37,1                              |
| G        | 35,7                              | 34,9                              |
| H        | 35,1                              | 34,2                              |
| I        | 33,8                              | 32,9                              |
| J        | 33,4                              | 32,7                              |
| K        | 37,0                              | 36,6                              |
| L        | 37,1                              | 37,0                              |
| M        | 38,3                              | 37,5                              |
| N        | 38,0                              | 37,5                              |
| O        | 38,8                              | 38,4                              |
| P        | 39,0                              | 38,7                              |



### 2.3.2 Pienitaajuinen melu

Rakennusten A-P pienitaajuisen melun mallinnustulokset on esitetty taulukossa 9. Tulokset ovat kaikkien äänitaajuuksien osalta ohjearvojen sisällä (taulukko 3).

Taulukko 9. Pienitaajuisen melun mallinnustulokset Layout 1. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| L <sub>eq</sub> [dB] | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | Rakennus     | 20   | 25   | 31.5 | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  |
| <b>A</b>             | 44,2         | 42,3 | 40,5 | 38,9 | 37,1 | 34,7 | 31,6 | 27,9 | 23,4 | 17,5 | 13,6 |
| <b>B</b>             | 45,4         | 43,7 | 41,9 | 40,3 | 38,6 | 36,3 | 33,3 | 29,7 | 25,2 | 19,5 | 15,7 |
| <b>C</b>             | 45,3         | 43,5 | 41,7 | 40,2 | 38,5 | 36,2 | 33,2 | 29,5 | 25,0 | 19,3 | 15,4 |
| <b>D</b>             | 46,3         | 44,6 | 42,8 | 41,3 | 39,7 | 37,4 | 34,4 | 30,8 | 26,4 | 20,7 | 17,0 |
| <b>E</b>             | 44,3         | 42,5 | 40,5 | 39,0 | 37,2 | 34,8 | 31,8 | 28,0 | 23,5 | 17,6 | 13,6 |
| <b>F</b>             | 45,9         | 44,2 | 42,2 | 40,7 | 39,0 | 36,6 | 33,6 | 30,0 | 25,5 | 19,8 | 16,1 |
| <b>G</b>             | 44,9         | 43,1 | 41,0 | 39,4 | 37,6 | 35,3 | 32,2 | 28,4 | 23,9 | 18,1 | 14,2 |
| <b>H</b>             | 44,6         | 42,8 | 40,7 | 39,1 | 37,3 | 34,8 | 31,7 | 28,0 | 23,4 | 17,6 | 13,6 |
| <b>I</b>             | 44,2         | 42,2 | 40,0 | 38,3 | 36,4 | 33,9 | 30,8 | 26,9 | 22,3 | 16,4 | 12,3 |
| <b>J</b>             | 44,2         | 42,1 | 39,8 | 38,0 | 36,0 | 33,4 | 30,2 | 26,3 | 21,7 | 15,8 | 11,7 |
| <b>K</b>             | 46,4         | 44,3 | 41,9 | 40,0 | 37,8 | 35,2 | 32,0 | 28,1 | 23,7 | 18,0 | 14,4 |
| <b>L</b>             | 46,4         | 44,2 | 41,9 | 40,0 | 37,7 | 35,1 | 31,9 | 28,0 | 23,5 | 18,0 | 14,4 |
| <b>M</b>             | 47,2         | 45,4 | 42,8 | 41,1 | 39,2 | 36,7 | 33,6 | 29,8 | 25,4 | 19,7 | 16,0 |
| <b>N</b>             | 46,7         | 44,9 | 42,9 | 41,3 | 39,6 | 37,2 | 34,2 | 30,5 | 26,0 | 20,3 | 16,5 |
| <b>O</b>             | 47,1         | 45,3 | 43,4 | 41,8 | 40,1 | 37,7 | 34,7 | 31,0 | 26,6 | 20,9 | 17,2 |
| <b>P</b>             | 47,3         | 45,5 | 43,6 | 42,0 | 40,2 | 37,8 | 34,8 | 31,1 | 26,7 | 21,1 | 17,4 |

Taulukko 10. Pienitaajuisen melun mallinnustulokset Layout 2. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

| L <sub>eq</sub> [dB] | Taajuus [Hz] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | Rakennus     | 20   | 25   | 31.5 | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160  |
| <b>A</b>             | 43,0         | 41,0 | 39,1 | 37,4 | 35,5 | 33,1 | 30,0 | 26,1 | 21,5 | 15,6 | 11,6 |
| <b>B</b>             | 44,0         | 42,2 | 40,3 | 38,7 | 36,9 | 34,6 | 31,5 | 27,8 | 23,3 | 17,5 | 13,6 |
| <b>C</b>             | 44,5         | 42,7 | 40,8 | 39,3 | 37,6 | 35,2 | 32,2 | 28,5 | 24,0 | 18,3 | 14,4 |
| <b>D</b>             | 45,6         | 43,9 | 42,1 | 40,5 | 38,9 | 36,6 | 33,6 | 29,9 | 25,5 | 19,9 | 16,2 |
| <b>E</b>             | 43,7         | 41,9 | 39,9 | 38,3 | 36,5 | 34,1 | 31,1 | 27,3 | 22,8 | 16,9 | 12,9 |
| <b>F</b>             | 45,4         | 43,6 | 41,6 | 40,1 | 38,3 | 36,0 | 33,0 | 29,3 | 24,9 | 19,2 | 15,4 |
| <b>G</b>             | 44,3         | 42,5 | 40,4 | 38,7 | 36,9 | 34,5 | 31,4 | 27,6 | 23,1 | 17,3 | 13,4 |
| <b>H</b>             | 44,1         | 42,2 | 40,0 | 38,3 | 36,5 | 34,0 | 30,9 | 27,1 | 22,6 | 16,7 | 12,7 |
| <b>I</b>             | 43,7         | 41,7 | 39,4 | 37,6 | 35,7 | 33,1 | 29,9 | 26,1 | 21,4 | 15,5 | 11,4 |
| <b>J</b>             | 43,8         | 41,7 | 39,3 | 37,5 | 35,4 | 32,8 | 29,5 | 25,6 | 21,0 | 15,0 | 11,0 |
| <b>K</b>             | 46,2         | 44,1 | 41,5 | 39,6 | 37,4 | 34,7 | 31,5 | 27,6 | 23,2 | 17,6 | 14,0 |
| <b>L</b>             | 46,3         | 44,1 | 41,7 | 39,8 | 37,5 | 34,8 | 31,6 | 27,7 | 23,3 | 17,8 | 14,3 |
| <b>M</b>             | 46,8         | 44,9 | 42,2 | 40,4 | 38,5 | 36,0 | 32,8 | 29,0 | 24,6 | 18,8 | 15,1 |
| <b>N</b>             | 46,3         | 44,5 | 42,5 | 40,8 | 39,0 | 36,7 | 33,6 | 29,9 | 25,5 | 19,8 | 16,0 |
| <b>O</b>             | 46,7         | 44,9 | 43,0 | 41,4 | 39,6 | 37,2 | 34,2 | 30,5 | 26,1 | 20,5 | 16,7 |
| <b>P</b>             | 47,0         | 45,1 | 43,2 | 41,6 | 39,7 | 37,4 | 34,4 | 30,7 | 26,3 | 20,7 | 17,0 |

## 3 Välkelaskelmat

### 3.1 Menetelmä ja lähtötiedot

Selkeällä ja aurinkoisella säällä tuuliturbiinien roottorin lavat voivat synnyttää nopeasti pyörivän varjon, mikä saattaa aiheuttaa häiritsevää välkettä rakennusten ikkunoissa ja pihoilla. Välkkeeseen ja sen häiritsevyyteen vaikuttaa voimalan napakorkeus, roottorin halkaisija, auringon sijainti, etäisyys, sää, näkyvyysolosuhteet, tuulen suunta, metsän korkeus ja maaston topografia. Tuulivoimaloiden sallitulle varjostukselle ei ole Suomessa säädettyjä ohjearvoja. Suomessa noudatetaan yleisesti samoja ohjeita kuin Ruotsissa. Ruotsin ohjeistuksen mukaisesti välkeä ei saa ylittää 8 tuntia vuodessa tai 30 minuuttia päivässä [8].

Välkemallinnus on tehty WindPRO:n SHADOW-moduulilla ja laskennassa on käytetty WindPRO versiota 4.0.423. Auringonpaistetilastojen ja tuulisuudatan perusteella voidaan laskea keskimääräinen vuosittainen välke tunteina kullekin rakennukselle. Tilanteita, joissa aurinko on alle 3° horisontin yläpuolella ja roottorin lavat peittävät alle 20 % auringon pinta-alasta, ei ole huomioitu laskelmissa.

Mallinnuksessa käytetyt puiston käyttötunnit on arvioitu ERA 5 [9] reanalyysidatan perusteella. ERA 5 data on ladattu WindPRO:lla 100 m korkeudelle ja ekstrapoloitu turbiinien napakorkeuksille käyttäen WindPRO:n suosittelemaa geneeristä tuuliväännettä  $\alpha = 0.27$ .

Käyttötunnit sektoreittain on esitetty taulukossa 11. Auringonpaistetunnit perustuvat Ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin Seinäjoelta [10]. Mallinnuksessa käytetyt auringonpaistetunnit on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 11. Dalalandetin tuulipuiston vuosittaiset käyttötunnit sektoreittain.

| Sektori                       | N   | NNE | ENE | E   | ESE | SES | S    | SSW  | WSW | W   | WNW | NNW |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Käyttötunnit (h/vuosi)</b> | 727 | 527 | 439 | 404 | 533 | 852 | 1091 | 1161 | 877 | 718 | 550 | 609 |

Taulukko 12. Laskelmissa käytetty auringonpaistetuntien keskimääräinen lukumäärä kuukausittain.

| Kuukausi   | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | Maj  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Okt  | Nov  | Dec  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Keskimääräiset auringonpaistetunnit vuorokaudessa</b> | 0,97 | 2,54 | 4,68 | 6,30 | 8,61 | 9,20 | 8,65 | 6,68 | 4,67 | 2,58 | 1,03 | 0,55 |

Varjoreseptorit (rakennukset) on määritelty Ruotsin ohjeistuksen mukaisesti vaakatasossa olevaksi 5 m x 5 m kokoiseksi levyksi, joka on sijoitettu 2 m maanpinnan yläpuolelle. Laskelmissa käytetty topografia perustuu Maanmittauslaitoksen korkeusdataan, joka on muutettu korkeuskäyriksi WindPRO ohjelmistolla. Puut ja muu kasvillisuus voivat vähentää välkevaikutuksia tietyissä paikoissa ja laskelmat on tehty sekä ilman metsän vaikutusta että ottamalla metsän vaikutus huomioon. Metsän korkeus perustuu Luonnonvarakeskuksen vuoden 2019 dataan [11].

Myös lavan leveys vaikuttaa välkkeen muodostumiseen. Lapojen mitat on Dalalandetin ja Storbötet Vörån turbineihin perustuu asiakkaan toimittamaan dataan. Muille turbiineille lapojen mitat otettu WindPRO ohjelmasta. Käytetyt mitat on esitetty taulukossa 13.



Taulukko 13. Mallinnuksessa käytetyt turbiinien lavan leveydet.

| Tuulipuisto         | Lavan maksimi leveys[m] | Lavan leveys 90 % säteestä [m] | Lähde                      |
|---------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Dalalandet          | 5,07                    | 1,73                           | Client                     |
| Storbötet Vörå      | 4,69                    | 1,60                           | Client                     |
| Storbötet Nykarlyby | 4,32                    | 1,69                           | EMD (Vestas V162-6.2 6200) |
| Jeppo               | 4,00                    | 1,06                           | EMD (V126-3.45 LTq 3450)   |
| Björkbacken         | 4,32                    | 1,68                           | EMD (Vestas V162-6.2 5600) |

### 3.2 Välkevaikutukset

Mallinnetut keskimääräiset vuosittaiset välketunnit on esitetty taulukoissa 14 (tuntia vuodessa) ja taulukossa 15 (tuntia päivässä). Liitteen C kartoissa on esitetty alueet, joissa keskimääräisenä vuotena 8 tunnin raja ylittyy. Kartat esitetty molemmille turbiinisijoitteluille ilman metsää ja metsän kanssa (kuvat C1– C4). Laskelmien perusteella 8 tunnin vuosittainen raja tai 30 minuutin päivittäinen raja ei ylitä millään rakennuksella.

Taulukko 14. Keskimääräiset välketunnit vuodessa. Arvot, jotka ylittävät suositellun rajan (8 tuntia vuodessa), on merkitty punaisella.

| Rakennus | Layout 1 ilman metsää [h/vuosi] | Layout 1 metsä huomioituna [h/vuosi] | Layout 2 ilman metsää [h/vuosi] | Layout 2 metsä huomioituna [h/vuosi] |
|----------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| A        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| B        | 04:15                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| C        | 01:19                           | 00:00                                | 01:21                           | 00:00                                |
| D        | 07:23                           | 00:00                                | 06:11                           | 00:00                                |
| E        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| F        | 05:12                           | 05:12                                | 05:20                           | 05:20                                |
| G        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| H        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| I        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| J        | 00:00                           | 00:00                                | 00:00                           | 00:00                                |
| K        | 05:20                           | 00:00                                | 05:20                           | 00:00                                |
| L        | 03:58                           | 03:58                                | 03:58                           | 03:58                                |
| M        | 04:24                           | 04:24                                | 01:23                           | 01:23                                |
| N        | 01:43                           | 00:00                                | 01:43                           | 00:00                                |
| O        | 05:29                           | 05:29                                | 05:31                           | 05:31                                |
| P        | 06:37                           | 06:37                                | 06:40                           | 06:40                                |

Taulukko 15. Maksimi väkjetunnit päivässä. Arvot, jotka ylittävät suositellun rajan (30 minuuttia päivässä), on merkitty punaisella.

| Rakennus | Layout 1 ilman metsää [h/päivä] | Layout 1 metsä huomioituna [h/päivä] | Layout 2 ilman metsää [h/päivä] | Layout 2 metsä huomioituna [h/päivä] |
|----------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| A        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| B        | 0:26                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| C        | 0:22                            | 0:00                                 | 0:22                            | 0:00                                 |
| D        | 0:27                            | 0:00                                 | 0:27                            | 0:00                                 |
| E        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| F        | 0:25                            | 0:25                                 | 0:26                            | 0:26                                 |
| G        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| H        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| I        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| J        | 0:00                            | 0:00                                 | 0:00                            | 0:00                                 |
| K        | 0:24                            | 0:00                                 | 0:24                            | 0:00                                 |
| L        | 0:22                            | 0:22                                 | 0:22                            | 0:22                                 |
| M        | 0:25                            | 0:25                                 | 0:20                            | 0:20                                 |
| N        | 0:22                            | 0:00                                 | 0:21                            | 0:00                                 |
| O        | 0:24                            | 0:24                                 | 0:24                            | 0:24                                 |
| P        | 0:23                            | 0:23                                 | 0:24                            | 0:24                                 |

## 4 Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriö, "Tuulivoimaloiden melun mallintaminen," Helsinki, 2014.
- [2] EMD, "windPRO User Manual; <http://help.emd.dk/knowledgebase/>," EMD International AS, 2021.
- [3] Ympäristöministeriö, "Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista," <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>, 2015.
- [4] Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, "Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön 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] Boverket, Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraft på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [9] Copernicus Climate Change Service, "ECMWF Reanalysis v5 (ERA5)," [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>.
- [10] Ilmatieteen laitos, "Auringonpaiste- ja säteilytilastot," 2022. [Online]. Available: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/1991-2020-auringonpaiste-ja-sateilytilastot>. [Haettu 12 1 2022].
- [11] Luonnonvarakeskus, "Luke - aineistolatauspalvelu," [Online]. Available: <https://kartta.luke.fi/opendata/valinta.html>. [Haettu 2023].



## Liite A. Rakennusten ja voimaloiden koordinaatit

Taulukko A16. Rakennusten koordinaatit.

| Rakennus | Koordinaatit<br>(ETRS TM35FIN) |           |
|----------|--------------------------------|-----------|
|          | Itä                            | Pohjoinen |
| A        | 284925                         | 7027330   |
| B        | 285112                         | 7029343   |
| C        | 284928                         | 7031318   |
| D        | 284424                         | 7031440   |
| E        | 284716                         | 7033128   |
| F        | 283607                         | 7033434   |
| G        | 283645                         | 7034270   |
| H        | 283652                         | 7034552   |
| I        | 283473                         | 7035465   |
| J        | 283086                         | 7036400   |
| K        | 281710                         | 7036765   |
| L        | 276970                         | 7035001   |
| M        | 279351                         | 7033333   |
| N        | 279520                         | 7031531   |
| O        | 279704                         | 7031144   |
| P        | 279600                         | 7030560   |

Taulukko A17. Voimaloiden koordinaatit Layout 1.

| Turbiini | Koordinaatit<br>(ETRS TM35FIN) |           |
|----------|--------------------------------|-----------|
|          | Itä                            | Pohjoinen |
| 1        | 281225                         | 7033897   |
| 2        | 281606                         | 7032987   |
| 3        | 281924                         | 7032418   |
| 4        | 282356                         | 7031946   |
| 5        | 282501                         | 7031076   |
| 6        | 282991                         | 7030310   |
| 7        | 283327                         | 7029626   |
| 8        | 281710                         | 7031537   |
| 9        | 281808                         | 7030807   |
| 10       | 282230                         | 7030083   |
| 11       | 281533                         | 7029953   |
| 12       | 282631                         | 7029517   |
| 13       | 281982                         | 7029068   |
| 14       | 282373                         | 7028582   |
| 15       | 283020                         | 7028916   |

Taulukko A18. Voimaloiden koordinaatit Layout 2

| Turbiini | Koordinaatit<br>(ETRS TM35FIN) |           |
|----------|--------------------------------|-----------|
|          | Itä                            | Pohjoinen |
| 1        | 281633                         | 7033023   |
| 2        | 281924                         | 7032418   |
| 3        | 282411                         | 7031945   |
| 4        | 282556                         | 7031074   |
| 5        | 283011                         | 7030322   |
| 6        | 281706                         | 7031530   |
| 7        | 281808                         | 7030807   |
| 8        | 281511                         | 7029932   |
| 9        | 282230                         | 7030083   |
| 10       | 281934                         | 7029149   |
| 11       | 282616                         | 7029546   |

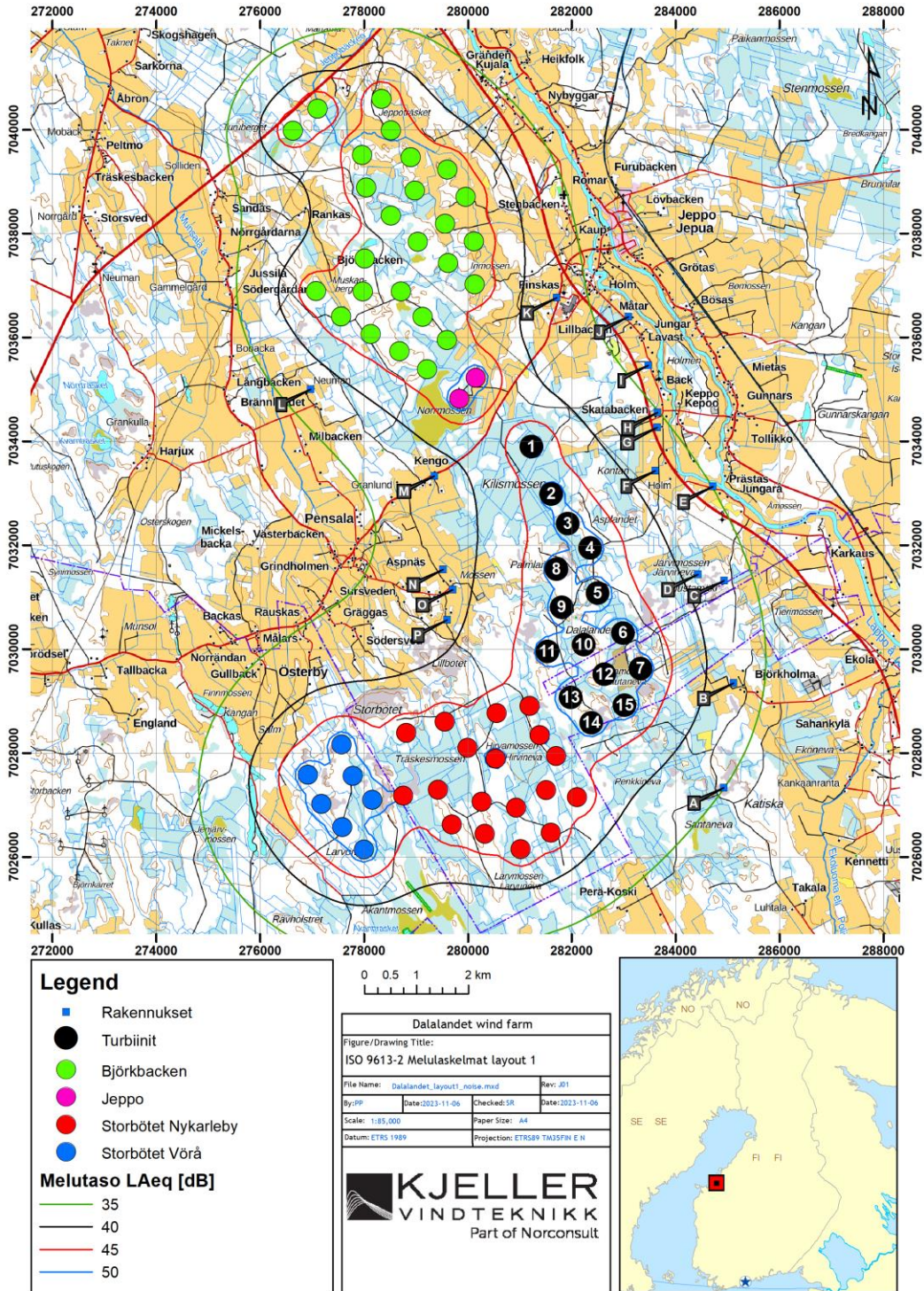
Taulukko A19. Ympäröivien tuulipuistojen voimaloiden koordinaatit ja perustiedot.

| Turbiini               | Koordinaatit<br>(ETRS TM35FIN) |           | Napakorkeus | Roottorin<br>halkaisija | Malli        |
|------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-------------------------|--------------|
|                        | Itä                            | Pohjoinen | [m]         | [m]                     |              |
| Storbötet Vörrå 1      | 277568                         | 7028165   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 2      | 276921                         | 7027582   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 3      | 277781                         | 7027559   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 4      | 277176                         | 7027017   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 5      | 278161                         | 7027097   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 6      | 277584                         | 7026576   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Vörrå 7      | 277998                         | 7026140   | 180         | 185                     | V172-7.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 1  | 280328                         | 7026445   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 2  | 279689                         | 7026623   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 3  | 279422                         | 7027294   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 4  | 280269                         | 7027060   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 5  | 280929                         | 7026948   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 6  | 281019                         | 7026151   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 7  | 281600                         | 7026467   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 8  | 282102                         | 7027147   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 9  | 281507                         | 7027288   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 10 | 281699                         | 7027941   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 11 | 281386                         | 7028345   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 12 | 281189                         | 7028908   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 13 | 280535                         | 7027893   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 14 | 279997                         | 7028100   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 15 | 278758                         | 7027174   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 16 | 278813                         | 7028386   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 17 | 279551                         | 7028602   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Storbötet Nykarleby 18 | 280558                         | 7028765   | 166         | 162                     | V162-6.2 MW  |
| Jeppo 1                | 280154                         | 7035226   | 137         | 126                     | V126-3.45 MW |
| Jeppo 2                | 279837                         | 7034819   | 137         | 126                     | V126-3.45 MW |
| Björkbacken 1          | 278516                         | 7038349   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 2          | 278981                         | 7038830   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 3          | 279616                         | 7037433   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 4          | 280132                         | 7037027   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 5          | 279597                         | 7035952   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 6          | 279216                         | 7035387   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 7          | 278684                         | 7035733   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 8          | 278901                         | 7039469   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 9          | 278337                         | 7040595   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 10         | 278130                         | 7036069   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 11         | 279131                         | 7036395   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 12         | 277976                         | 7036890   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 13         | 279955                         | 7038705   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 14         | 277967                         | 7039513   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |
| Björkbacken 15         | 277105                         | 7040410   | 199         | 162                     | V162-5.6 MW  |

|                |        |         |     |     |             |
|----------------|--------|---------|-----|-----|-------------|
| Björkbacken 16 | 279608 | 7039237 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 17 | 277079 | 7036892 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 18 | 277564 | 7036405 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 19 | 279565 | 7038187 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 20 | 276632 | 7039983 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 21 | 278518 | 7039987 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 22 | 278015 | 7037523 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 23 | 279033 | 7037845 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 24 | 280118 | 7037853 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 25 | 278713 | 7036889 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |
| Björkbacken 26 | 278041 | 7038886 | 199 | 162 | V162-5.6 MW |

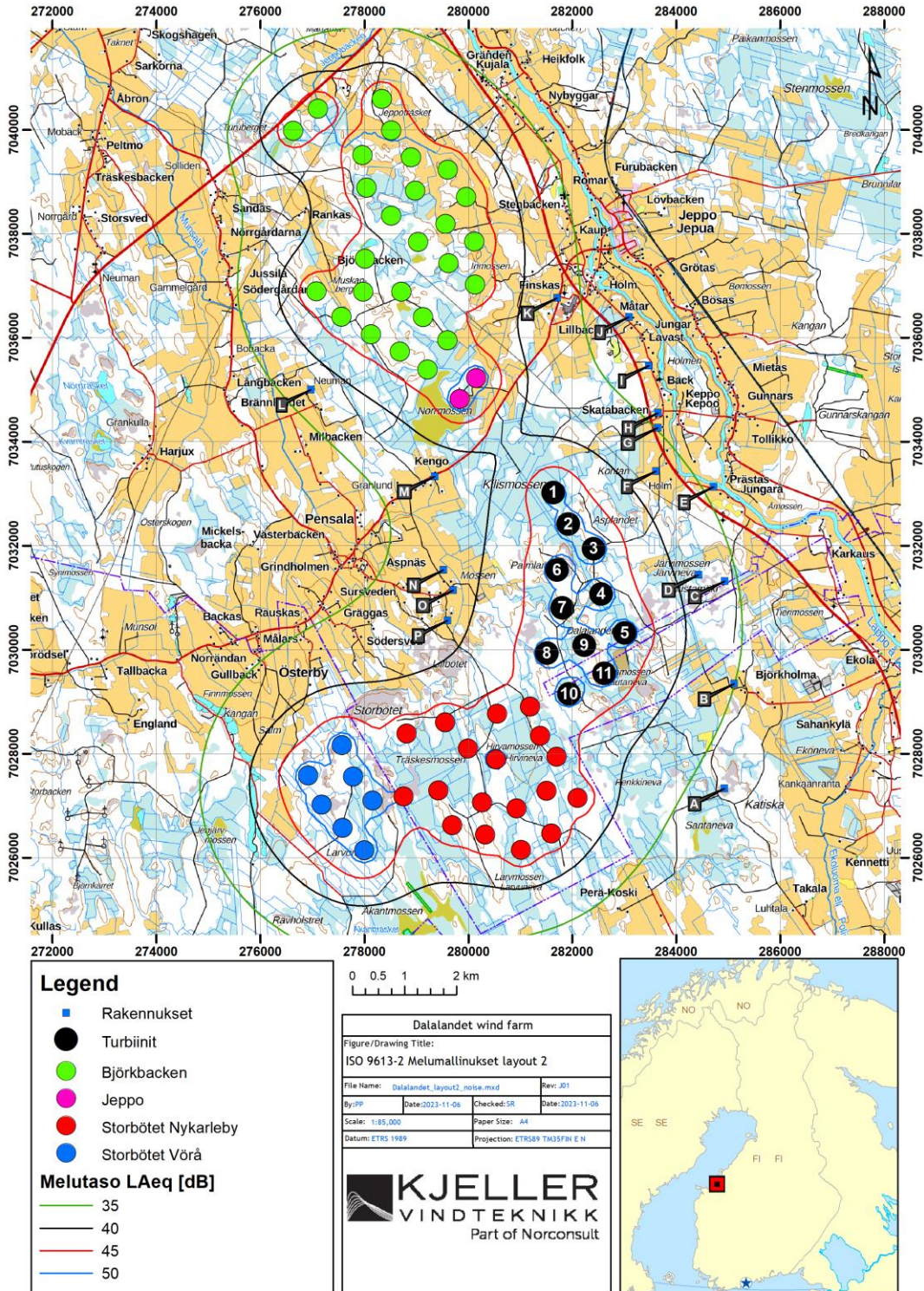


## Liite B. ISO 9613-2 melumallinnuskartat



Kuva B1: ISO 9613-2 melumallinnus Dalalandetin tuulipuistolle layout 1.

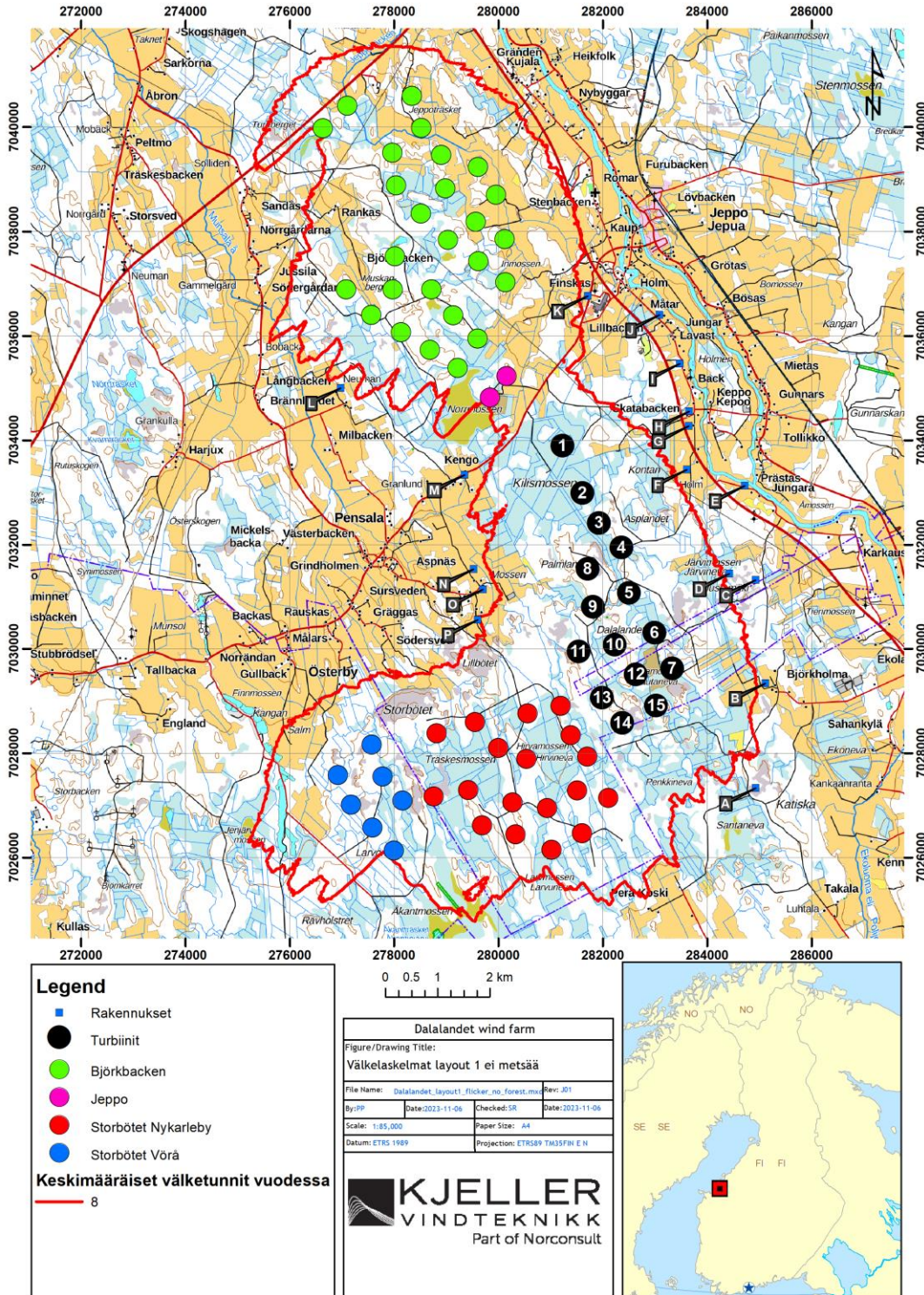




Kuva B2: ISO 9613-2 melumallinnus Dalalandetin tuulipuistolle layout 1.

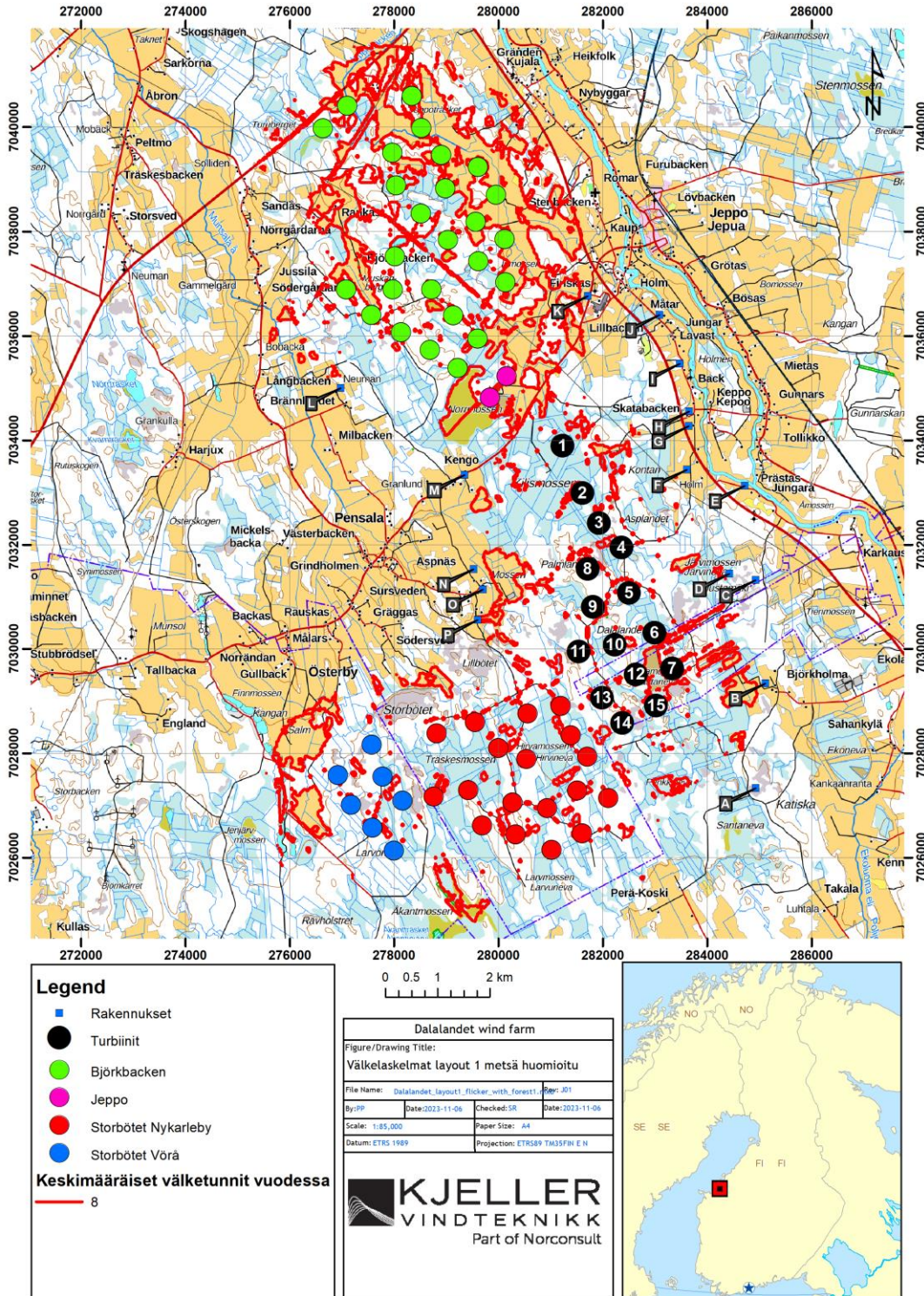


## Liite C. Väkelmallinnuskartat



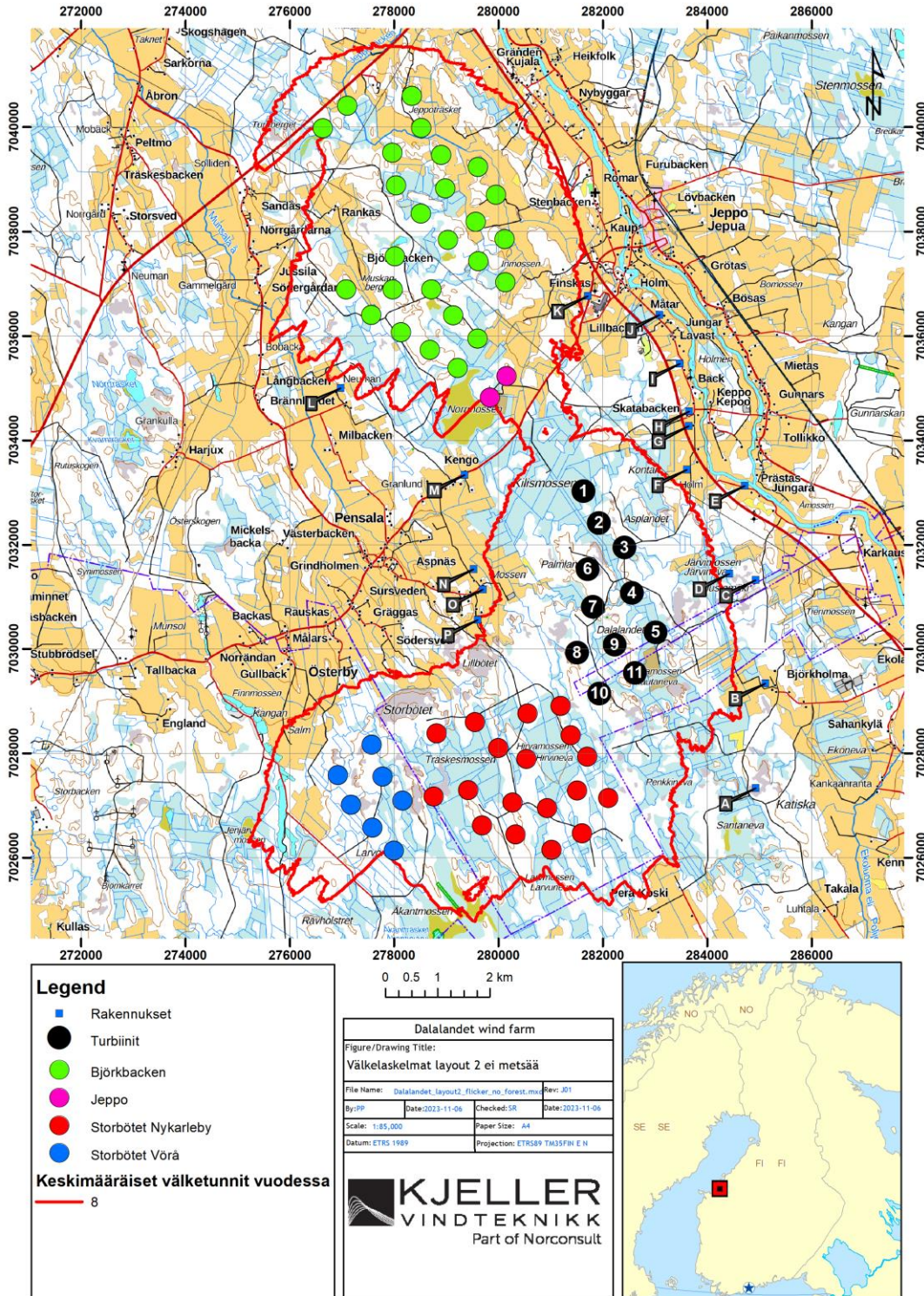
Kuva C1: Väkelmallinnus Dalalandetin tuulipuistolle layout 1, metsää ei huomioitu.





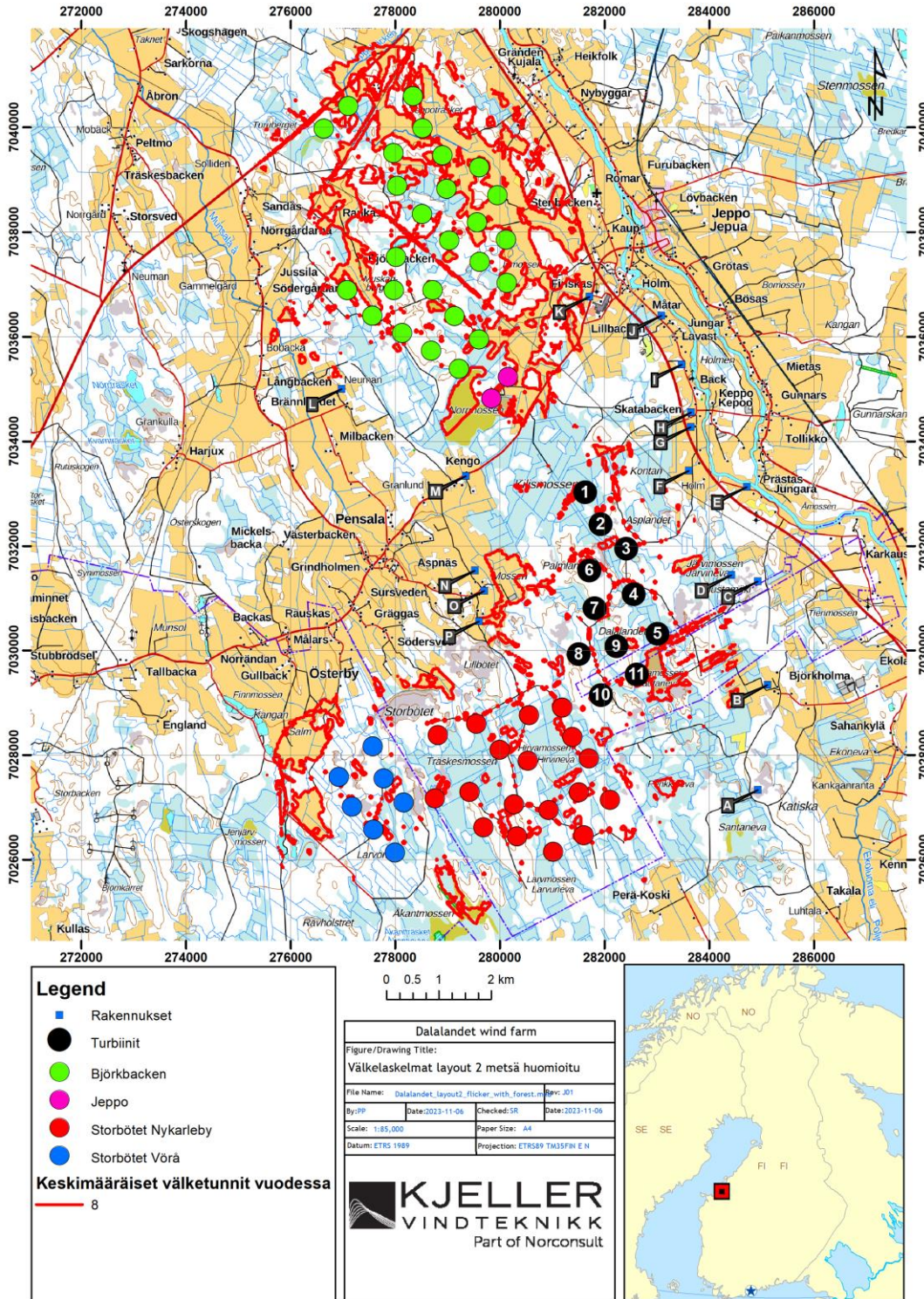
Kuva C2: Väkelaskelmat Dalalandetin tuulipuistolle layout 1, metsä huomioitu.





Kuva C3: Väkelaskelmat Dalalandetin tuulivoimatuulipuistolle layout 2, metsää ei huomioitu.





Kuva C4: Väkelaskelmat Dalalandetin tuulipuistolle layout 2, metsä huomioitu.



## Liite D. Asiakkaalta saatu data

Turbiinien ja läheisten tuulipuistojen koordinaatit

- *Windfarm data Dalalandet and nearby windfarms.xlsx*

Lapaprofiilitiedot

- *Generic 200 blade data.xlsx*
- *Generic 185 blade data.xlsx*
- *Blade data\_Generic\_RD200.pdf*

Rakennusten sijainnit

- *Dalalandet building types and coordinates.xlsx*

Turbiinidata

- *0079-5298\_V01 - V162-5\_6MW Third Octaves.pdf*
- *0081-5017\_V08 - General Description EnVentus.pdf*
- *0081-5098\_V05 - Performance Specification V162-5.6 MW.pdf*
- *0048-2151\_V03 - V126-3\_3&3\_45MW-Third Octaves according to General Specification - 20150827.pdf*
- *0058-5121.V01-General-Specification-V126-3.3--3.45MW-IEC-3A-50-Hz-BWC-(0058-5121).pdf*
- *0105-5200\_V00 - V162-6\_2MW Third Octaves.pdf*
- *Vestas V162 General Description\_Performance Specification.pdf*
- *0127-1584\_V02 - Performance Specification V172-7.2 MW.pdf*
- *0128-4336\_V00 - Enventus V172-7.2MW Third Octaves.pdf*