

A-Insinöörit Suunnittelu Oy

► **Rahkakurun tuulivoimapuisto, Merijärvi, Suomi**

Melu- ja väkelaskelmat

Assignment no.: 640.001.01 Document no.: KVT/2024/R160/JaM Version: J02 Date: 2025-04-01



Asiakas: A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Asiakkaan yhteyshenkilö: Katri Peltoniemi
Konsultti: Kjeller Vindteknikk Oy, Tekniikantie 14 02150 Espoo
Toimeksiannon yhteyshenkilö: Ville Lehtomäki

J02	2025-04-01	Kirjoitusvirheitä korjattu sekä lähtötietoja ja kuvatekstiä täydennetty.	Janne Mäkinen	Simo Rissanen	Ville Lehtomäki
J01	2024-12-18	Lopullinen	Janne Mäkinen, Mona Kurppa	Pyy Pentikäinen	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

Rahkakurun suunniteltu tuulipuisto sijaitsee Merijärven kunnassa Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa. Melu- ja väkelaskelmat on tehty kahdelle Rahkakurun tuulipuiston turbiinis suunnitelmalle, joita kutsutaan tässä raportissa nimillä VE1 ja VE2. VE1-suunnitelmassa on 19 turbiinia ja VE2-suunnitelmassa 13 turbiinia. Laskelmissa on huomioitu läheiset Karahkan, Maaselänkankaan ja Silovuoren tuulipuistot.

Melulaskelmissa on käytetty ISO 9613-2 laskentamenetelmää. Ulkomelutasojen raja-arvot (valtioneuvoston asetus 1107/2015) ylittävät VE1-suunnitelmassa 3 rakennuksella (rakennukset M, N ja Y) ja VE2-suunnitelmassa 1 rakennuksella (rakennus Y). Rakennuksilla M ja N raja-arvojen ylitys johtuu Rahkakurun ja Maaselänkankaan puistojen yhteisvaikutuksesta. Molemmilla rakennuksilla Rahkakurun aiheuttama melu on suurempi, mutta suurimman melun aiheuttama yksittäinen turbiini kuuluu Maaselänkankaan puistoon. Raja-arvojen sisällä pysyminen voidaan toteuttaa rajoittamalla jommankumman puiston tai molempien puistojen turbiineja. Rakennukselle Y suurin osa melusta aiheutuu Maaselänkankaan puistosta, joka yksinään aiheuttaa melurajojen ylittymisen. Rahkakurun tuulivoimaloiden meluvaikutus kyseisille rakennuksille on pienempi, ja raja-arvojen alittaminen vaatii vain Maaselänkankaan tuulivoimaloiden melutason rajoittamista. Matalataajuinen sisämelu täyttää sosiaali- ja terveystieteiden asettamat vaatimukset.

Väkelaskelmissa ei ole huomioitu metsää. Väkelaskelmien perusteella VE1-suunnitelmassa 8 tunnin vuosittainen suositusarvo ylittyy rakennuksella Y ja 30 minuutin päivittäinen suositusarvo rakennuksilla I, Y ja AK. VE2-suunnitelmassa 8 tunnin vuosittainen suositusarvo ylittyy rakennuksella Y ja 30 minuutin päivittäinen suositusarvo ylittyy rakennuksilla Y ja AK. Sekä VE1- että VE2-suunnitelmassa rakennuksien Y ja AK kohdalla väkettä aiheutuu ainoastaan viereisestä Maaselänkankaan tuulipuistosta. Rakennuksen I kohdalla ylitys johtuu Rahkakurun VE1-suunnitelman turbiineista. Suositusarvojen sisällä pysyminen voidaan toteuttaa rajoittamalla väkettä aiheuttavia turbiineja.

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Melulaskelmat	7
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>	12
3	Väkelaskelmat	15
3.1	Menetelmä ja lähtötiedot	15
3.2	Välkevaikutukset	16
4	Lähdeluettelo	18
Liite A.	Rakennusten ja voimaloiden koordinaatit	I
Liite B.	ISO 9613-2 melumallinnuskartat	V
Liite C.	Välkemallinnuskartat	VII
Liite D.	Asiakkaalta saatu data	IX

1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään suunnitellun Rahkakurun tuulipuiston melu- ja väkelaskelmat. Suunniteltu Rahkakurun tuulipuisto sijaitsee Merijärven kunnassa Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa.

Rahkakurun tuulivoimapuistoon on suunniteltu rakennettavan joko 19 tai 13 turbiinia. Mallinnuksissa käytetyt turbiinin melutiedot perustuvat Vestas V172 7.2 MW turbiiniin. Melulaskelmissa käytetään 166 m napakorkeutta ja 172 m roottorinhalkaisijaa. Väkelaskelmissa turbiineille on oletettu 200 m napakorkeus ja 200 m roottorinhalkaisija. Väkelaskelmissa lapojen mitat on skaalattu Vestaksen V172-turbiinista vastaamaan 200 metrin roottorinhalkaisijalla olevaa turbiinia.

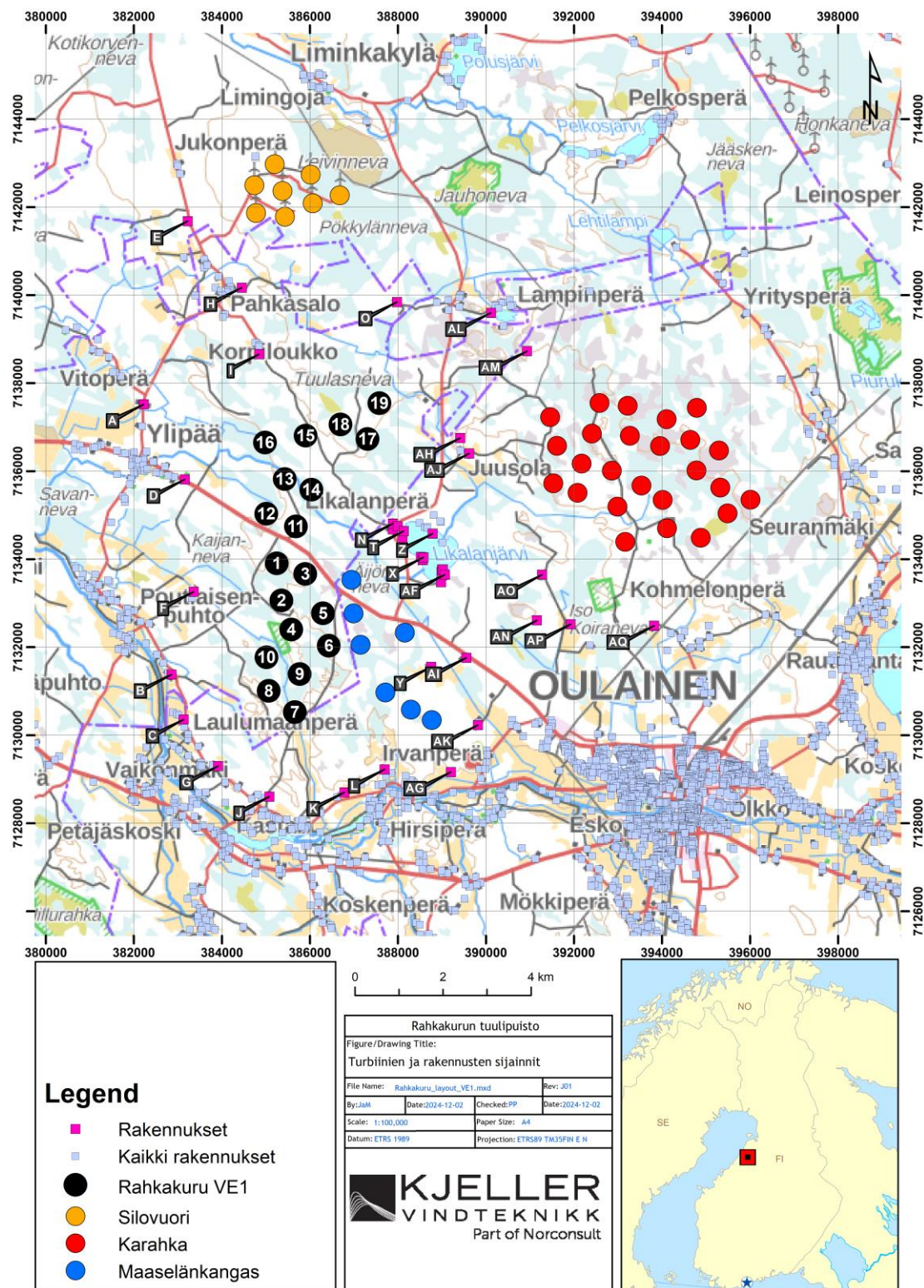
Rahkakurun tuulipuiston perustiedot on esitetty taulukossa 1 ja turbiinien sijainnit on esitetty kuvissa 1 ja 2.

Asiakas on toimittanut tietoja läheisistä Karahkan, Maaselänkankaan ja Silovuoren tuulipuistoista. Läheisten tuulipuistojen perustiedot on esitetty liitteessä A.

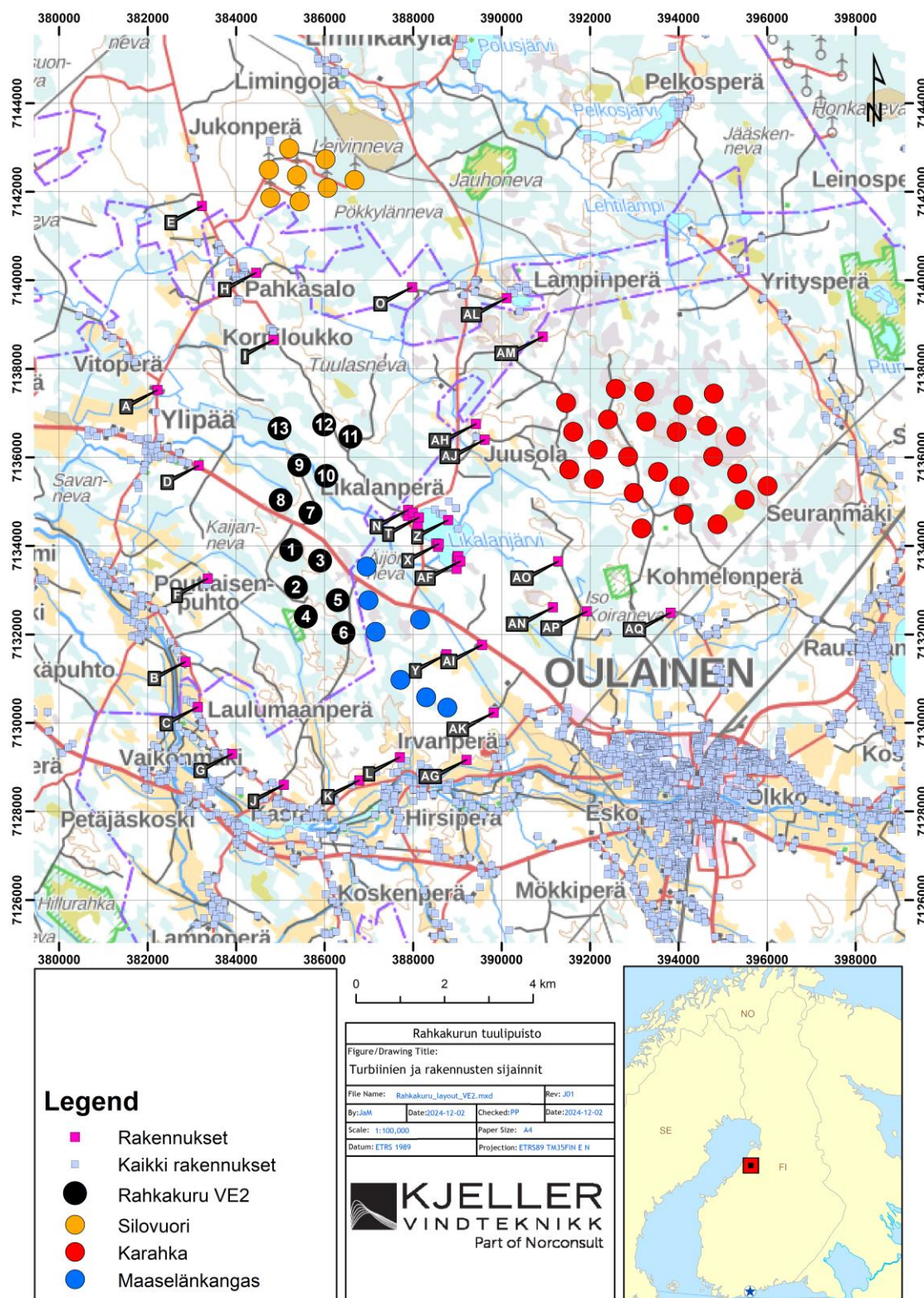
Melutasot ja välke on laskettu 43 rakennukselle. Rakennukset on esitetty kuvissa 1. ja 2. Rakennusten koordinaatit ja perustusten korkeudet on esitetty liitteessä A.

Taulukko 1. Rahkakurun sekä ympäröivien tuulipuiston perustiedot välke- ja melulaskelmissa.

Tuulipuisto	Turbiinimalli	Turbiinien lukumäärä	Nimellisteho [MW]	Roottorin halkaisija [m]	Napa- korkeus [m]	Kokonais- korkeus [m]
Rahkakuru	Vestas V172 7200	VE1: 19	7,2	välke: 200 melu: 172	välke: 200 melu: 166	välke: 300 melu: 252
		VE2: 13				
Karahka	Nordex	25	5,9	163	168	249,5
Maaselänkangas	N163/5,9	7	5,9	163	148	229,5
Silovuori	V126-3,3	8	3,3	126	147	210



Kuva 1. Rahkakuru VE1 turbiinien sekä läheisten rakennusten ja läheisten puistojen turbiinien sijainnit.



Kuva 2. Rahkakuru VE2 turbiinien sekä läheisten rakennusten ja läheisten puistojen turbiinien sijainnit.

2 Melulaskelmat

Melumallinnus on tehty Ympäristöministeriön ohjeen 2/2014 "Tuulivoimaloiden melun mallintaminen" [1] mukaisesti määritetyillä laskentaparametreilla, poislukien maastomallin resoluution osalta, jonka vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä lopputuloksiin. 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 4.1.254.

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 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
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 sekä Rahkakurun 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. Rahkakurun ja Silovuoren turbiinien osalta eri tuulennopeuksien melupäästö on annettu napakorkeudella, minkä takia lähtödata on muutettu 8 m/s tuulelle 10 m korkeudella käyttämällä WindPRO ohjelmistoa. Sen sijaan Karahkan ja Maaselänlankaan turbiinien osalta eri tuulennopeuksien melupäästö olivat valmiiksi annettu 8 m/s tuulelle 10 m korkeudella.

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). Rahkakurussa 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]	Rahkakuru V172, P07200 with serrated trailing edges [dB(A)]	Karahka N163, Mode 0.a (5,9 MW) with serrated trailing edges [dB(A)]	Maaselän- kangas N163, Mode 0.a (5,9 MW) with serrated trailing edges [dB(A)]	Silovuori V126, Mode 0 without serrated trailing edges [dB(A)]
62,5	90,5	88,9	88,9	85,1
125	98,2	95,1	95,1	92,8
250	101,3	98,8	98,8	97,4
500	101,5	101,4	101,4	102,3
1000	99,8	102,1	102,1	104,4
2000	95,2	99,6	99,6	101,5
4000	87,5	92,0	92,0	95,7
8000	76,8	84,0	84,0	81,4
Kokonais- melupäästö	106,9	107,2	107,2	108,5

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

Taajuus [Hz]	Rahkakuru V172, P07200 with serrated trailing edges [dB(A)]	Karahka N163, Mode 0.a (5,9 MW) with serrated trailing edges [dB(A)]	Maaselän- kangas N163, Mode 0.a (5,9 MW) with serrated trailing edges [dB(A)]	Silovuori V126, Mode 0 without serrated trailing edges [dB(A)]
10	45,5	50,1	50,1	41,7
12,5	51,4	54,9	54,9	49,3
16	56,9	59,5	59,5	56,5
20	62,0	63,9	63,9	63,3
25	67,2	67,8	67,8	68,4
31,5	72,0	73,3	73,3	68,9
40	76,8	76,9	76,9	72,1
50	81,2	82,0	82,0	76,8
63	85,0	83,3	83,3	79,8
80	88,3	86,1	86,1	82,6
100	91,1	90,8	90,8	86,0
125	93,3	89,3	89,3	89,3
160	95,0	90,6	90,6	88,2
200	96,1	91,9	91,9	90,0
250	96,7	92,8	92,8	92,9
315	96,8	96,1	96,1	94,0
400	97,0	95,7	95,7	94,7
500	96,7	95,9	95,9	97,8
630	96,5	97,9	97,9	99,1
800	96,0	97,0	97,0	99,4
1000	95,1	97,8	97,8	99,7
1250	93,8	97,1	97,1	99,7
1600	92,2	96,1	96,1	97,9
2000	90,2	94,9	94,9	96,8
2500	87,8	92,9	92,9	95,0
3150	85,1	90,2	90,2	92,2
4000	82,1	86,2	86,2	91,8
5000	78,7	81,4	81,4	87,2
6300	75,0	81,2	81,2	80,3
8000	70,9	79,3	79,3	71,8
10 000	66,4	75,1	75,1	71,8
Kokonais- melupäästö	106,9	107,2	107,2	108,5

2.3 ISO 9613-2 melulaskelmat

Mallinnuksessa käytetyt parametrit on esitetty taulukossa 7. Melumallinnukseen valittiin 37 puistoa lähimpänä olevaa rakennusta. Lisäksi tuulipuiston alueella on yksi luonnonsuojelualue.

Taulukko 7. ISO 9613-2 laskennassa käytetyt parametrit.

Parametri	Arvo
Immissiopisteiden korkeus	4 m
Suhteellinen kosteus	70 %
Ilman lämpötila 2m korkeudella	15 °C
Maastomallin lähde	Korkeusmalli 10 m, Maanmittauslaitos
Maastomallin vaakaresoluutio	10 m x 10 m
Maastomallin pystyresoluutio	1.4 m
Maan- tai vedenpinnan absorption ja Heijastuksen vaikutus	Vaikutuskerron 0,4
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen	vapaa avaruus
Melumallinnuksessa käytettyjen rakennusten lukumäärä	37

2.3.1 Keskiäänitasojen mallinnuksen tulokset

Rakennusten A-AQ mallinnetut melutasot on esitetty taulukossa 8. 35, 40, 45 ja 50 dB melurajat kartalla on esitetty liitteessä B (kuvat B1-B2). VE1-suunnitelmassa ohjearvot ylittyvät rakennuksilla M, N, ja Y. VE2-suunnitelmassa ohjearvo ylittyy rakennuksella Y. Rakennuksilla M ja N raja-arvojen ylitys johtuu Rahkakurun ja Maaselänkankaan puistojen yhteisvaikutuksesta. Molemmilla rakennuksilla Rahkakurun aiheuttama melu on suurempi, mutta suurimman melun aiheuttama yksittäinen turbiini kuuluu Maaselänkankaan puistoon. Raja-arvojen sisällä pysyminen voidaan toteuttaa rajoittamalla jommankumman puiston tai molempien puistojen turbiineja. Rakennukselle Y suurin osa melusta aiheutuu Maaselänkankaan puistosta, joka yksinään aiheuttaa melurajojen ylittymisen. Rahkakurun tuulivoimaloiden meluvaikutus kyseisille rakennuksille on pienempi, ja raja-arvojen alittaminen vaatii vain Maaselänkankaan tuulivoimaloiden melutason rajoittamista.

Taulukko 8. Melumallituksen tulokset VE1- ja VE2-suunnitelmalle. Ohjearvot ylittävät arvot merkitty punaisella.

Rakennus	Ulkomelutaso L _{Aeq} [dB]	
	VE1	VE2
A	32,8	32,2
B	36,1	33,2
C	35,8	32,0
D	37,2	36,8
E	36,9	36,8
F	38,4	37,3
G	35,6	31,3
H	36,9	36,6
I	36,8	36,0
J	35,2	31,4
K	35,9	33,7
L	38,3	37,4
M	40,2	39,8
N	40,1	39,5
O	35,2	33,7
P	39,9	39,3
Q	40,0	39,5
R	39,9	39,5
S	39,6	39,0
T	39,6	39,0
U	39,3	38,9
V	39,3	38,9
W	39,3	38,9
X	39,1	38,7
Y	42,8	42,6
Z	38,2	37,6
AA	39,0	38,6
AB	39,0	38,6
AC	38,5	38,1
AD	38,4	38,0
AE	38,4	38,0
AF	38,4	38,0
AG	37,4	37,0
AH	38,2	36,9
AI	38,7	38,4
AJ	38,4	37,5
AK	38,8	38,6
AL	34,2	33,4
AM	37,5	37,3
AN	35,5	35,1
AO	37,7	37,5
AP	35,5	35,2
AQ	36,1	36,0

2.3.2 Pienitaajuinen melu

Rakennusten A-P pienitaajuisten melun mallinnustulokset on esitetty taulukoissa 9 (VE1) ja 10 (VE2). Tulokset ovat kaikkien äänitaajuuksien osalta ohjearvojen sisällä (taulukko 3).

Taulukko 9. Pienitaajuisten melun mallinnustulokset VE1-suunnitelmalle. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

L _{eq} [dB]	Taajuus [Hz]										
Raken- nus	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
A	41,7	39,7	37,6	35,7	34,3	31,4	28,2	24,8	19,7	13,4	9,2
B	43,1	41,1	39,6	37,8	36,4	33,6	30,5	27,2	22,2	16,4	12,5
C	42,9	40,9	39,3	37,6	36,2	33,3	30,2	26,9	21,9	16,0	12,1
D	43,9	42,0	40,3	38,6	37,1	34,5	31,4	28,0	23,2	17,4	13,6
E	44,2	42,4	38,0	35,4	34,1	31,0	27,6	24,4	20,2	12,5	8,9
F	44,7	42,8	41,2	39,5	38,1	35,4	32,4	29,0	24,2	18,5	14,7
G	42,7	40,7	39,2	37,4	36,0	33,1	30,0	26,7	21,6	15,8	11,9
H	44,5	42,7	38,9	36,7	35,3	32,2	29,0	25,7	21,2	14,1	10,3
I	44,2	42,3	40,0	38,2	36,8	33,9	30,8	27,5	22,7	16,7	12,8
J	42,7	40,6	39,1	37,3	35,9	32,9	29,7	26,5	21,2	15,3	11,4
K	43,7	41,4	40,1	38,0	36,8	33,4	30,2	27,3	21,5	15,5	11,6
L	45,4	43,0	41,8	39,6	38,5	34,7	31,4	28,9	22,5	16,6	12,8
M	47,0	44,8	43,4	41,4	40,2	36,9	33,8	30,9	25,4	19,6	15,9
N	46,9	44,7	43,3	41,4	40,1	36,9	33,8	30,8	25,3	19,6	15,8
O	44,1	42,0	39,6	37,4	36,1	32,8	29,6	26,5	21,1	14,7	10,7
P	46,8	44,6	43,2	41,2	40,0	36,7	33,6	30,7	25,1	19,3	15,6
Q	47,0	44,7	43,4	41,3	40,1	36,7	33,6	30,8	25,0	19,2	15,4
R	47,0	44,7	43,3	41,3	40,1	36,7	33,6	30,8	25,0	19,2	15,4
S	46,8	44,5	43,1	41,1	39,9	36,5	33,4	30,6	24,9	19,0	15,3
T	46,8	44,5	43,1	41,1	39,9	36,5	33,4	30,6	24,9	19,0	15,3
U	46,8	44,4	43,1	41,0	39,9	36,3	33,1	30,4	24,3	18,4	14,6
V	46,8	44,4	43,1	41,0	39,9	36,2	33,0	30,4	24,3	18,4	14,6
W	46,8	44,4	43,1	41,0	39,9	36,2	33,0	30,4	24,3	18,4	14,6
X	46,7	44,3	43,1	40,9	39,8	36,2	33,0	30,3	24,2	18,3	14,5
Y	48,7	46,1	45,1	42,7	41,7	37,6	34,4	32,3	25,3	19,5	16,0
Z	46,3	43,9	42,6	40,5	39,3	35,7	32,5	29,8	23,7	17,8	13,9
AA	46,7	44,2	43,0	40,8	39,7	35,9	32,7	30,2	23,8	17,8	14,0
AB	46,7	44,2	43,0	40,8	39,7	35,9	32,7	30,2	23,8	17,8	14,0
AC	46,5	44,1	42,8	40,6	39,5	35,8	32,5	30,0	23,6	17,6	13,8

AD	46,5	44,0	42,8	40,6	39,5	35,7	32,5	29,9	23,6	17,6	13,7
AE	46,5	44,0	42,8	40,6	39,4	35,7	32,5	29,9	23,5	17,6	13,7
AF	46,5	44,0	42,8	40,6	39,5	35,7	32,4	29,9	23,5	17,5	13,7
AG	44,9	42,3	41,1	38,8	37,8	33,7	30,4	28,1	21,1	15,1	11,2
AH	46,3	43,9	42,6	40,4	39,2	35,5	32,3	29,7	23,4	17,5	13,6
AI	46,4	43,8	42,7	40,4	39,4	35,3	32,0	29,7	22,9	16,9	13,1
AJ	46,6	44,1	42,8	40,6	39,5	35,6	32,3	29,9	23,4	17,4	13,5
AK	45,9	43,3	42,2	39,8	38,8	34,7	31,3	29,1	22,0	16,0	12,3
AL	44,2	41,7	40,1	37,8	36,7	32,7	29,3	26,8	20,1	13,6	9,5
AM	46,2	43,5	42,3	39,9	38,9	34,6	31,2	29,1	21,8	15,6	11,8
AN	45,2	42,5	41,4	39,0	38,0	33,8	30,4	28,1	20,9	14,7	10,6
AO	46,6	43,9	42,8	40,4	39,4	35,1	31,7	29,6	22,2	16,1	12,2
AP	45,2	42,5	41,4	39,0	38,0	33,7	30,2	28,1	20,6	14,4	10,3
AQ	45,4	42,7	41,6	39,1	38,2	33,7	30,2	28,3	20,5	14,2	10,3

Taulukko 10. Pienitaajuisten melun mallinnustulokset VE2-suunnitelmalle. Ohjearvot ylittävät arvot on merkitty punaisella.

L_{eq} [dB]	Taajuus [Hz]										
Raken- nus	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
A	41,2	39,2	37,1	35,1	33,8	30,7	27,5	24,2	19,0	12,8	8,6
B	41,6	39,4	37,9	36,0	34,6	31,5	28,3	25,1	19,7	13,7	9,6
C	41,1	38,8	37,3	35,3	34,0	30,7	27,5	24,3	18,7	12,6	8,4
D	43,5	41,6	39,8	38,1	36,7	33,9	30,9	27,5	22,7	16,9	13,1
E	44,0	42,2	37,7	35,1	33,8	30,6	27,2	24,1	19,9	12,1	8,6
F	43,8	41,9	40,3	38,5	37,2	34,3	31,3	28,0	23,1	17,3	13,6
G	40,8	38,5	37,1	35,0	33,7	30,3	27,0	23,9	18,0	11,8	7,5
H	44,3	42,4	38,5	36,1	34,8	31,6	28,3	25,2	20,7	13,4	9,7
I	43,7	41,7	39,3	37,4	36,0	33,1	29,9	26,7	21,8	15,7	11,9
J	41,1	38,6	37,3	35,1	33,9	30,3	26,9	24,0	17,8	11,5	7,3
K	42,7	40,1	38,9	36,6	35,5	31,6	28,3	25,7	19,0	12,9	8,9
L	44,9	42,2	41,1	38,8	37,8	33,6	30,3	28,1	21,0	15,0	11,3
M	46,6	44,3	43,0	41,0	39,8	36,4	33,2	30,4	24,7	18,9	15,2
N	46,5	44,2	42,8	40,8	39,6	36,3	33,1	30,3	24,6	18,9	15,1
O	43,5	41,3	38,7	36,4	35,2	31,6	28,2	25,3	19,6	12,8	8,7
P	46,4	44,1	42,8	40,7	39,5	36,1	32,9	30,2	24,4	18,6	14,9
Q	46,6	44,3	43,0	40,9	39,7	36,2	33,0	30,3	24,4	18,5	14,8
R	46,6	44,2	42,9	40,8	39,7	36,1	33,0	30,3	24,3	18,5	14,8
S	46,4	44,0	42,7	40,6	39,4	35,9	32,8	30,0	24,1	18,3	14,6
T	46,4	44,0	42,7	40,6	39,4	35,9	32,8	30,0	24,1	18,3	14,6

U	46,5	44,0	42,8	40,6	39,5	35,7	32,5	30,0	23,7	17,8	14,0
V	46,5	44,0	42,8	40,6	39,5	35,7	32,5	30,0	23,6	17,7	14,0
W	46,5	44,0	42,8	40,6	39,5	35,7	32,5	30,0	23,6	17,7	14,0
X	46,4	43,9	42,7	40,5	39,4	35,6	32,4	29,9	23,6	17,7	13,9
Y	48,5	45,9	44,8	42,4	41,5	37,2	33,9	32,0	24,8	19,0	15,5
Z	45,9	43,4	42,1	40,0	38,8	35,1	31,8	29,3	22,9	17,0	13,1
AA	46,4	43,9	42,7	40,4	39,4	35,4	32,1	29,8	23,1	17,2	13,4
AB	46,4	43,9	42,7	40,4	39,4	35,4	32,1	29,8	23,1	17,2	13,4
AC	46,2	43,7	42,5	40,2	39,2	35,2	32,0	29,6	23,0	17,0	13,2
AD	46,2	43,6	42,4	40,2	39,1	35,2	31,9	29,5	22,9	16,9	13,1
AE	46,1	43,6	42,4	40,2	39,1	35,2	31,9	29,5	22,9	16,9	13,1
AF	46,2	43,6	42,4	40,2	39,1	35,2	31,9	29,5	22,9	16,9	13,1
AG	44,6	41,9	40,8	38,4	37,4	33,1	29,7	27,6	20,3	14,2	10,5
AH	45,8	43,2	41,9	39,6	38,5	34,5	31,2	28,8	22,0	15,9	12,0
AI	46,2	43,5	42,4	40,0	39,0	34,8	31,5	29,4	22,2	16,2	12,5
AJ	46,2	43,6	42,4	40,0	39,0	34,8	31,5	29,3	22,3	16,2	12,3
AK	45,7	43,0	41,9	39,5	38,5	34,2	30,8	28,8	21,4	15,4	11,8
AL	43,9	41,3	39,7	37,3	36,2	32,0	28,6	26,2	19,2	12,6	8,4
AM	46,0	43,3	42,1	39,6	38,6	34,2	30,8	28,8	21,3	15,1	11,3
AN	45,0	42,3	41,2	38,7	37,7	33,4	30,0	27,8	20,4	14,2	10,1
AO	46,4	43,7	42,6	40,1	39,2	34,8	31,4	29,4	21,8	15,7	11,9
AP	45,0	42,3	41,2	38,7	37,8	33,3	29,9	27,8	20,2	14,0	9,9
AQ	45,3	42,5	41,5	39,0	38,1	33,5	30,0	28,1	20,3	14,0	10,2

3 Väkelaskelmat

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 välkeaika ei saa ylittää 8 tuntia vuodessa tai 30 minuuttia päivässä [8].

Välkemallinnus on tehty WindPRO:n SHADOW-moduulilla ja laskennassa on käytetty WindPRO versiota 4.1.254. Auringonpaistetilastojen ja tuulisuusdatan 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. Rahkakurun tuulipuiston vuosittaiset käyttötunnit sektoreittain.

Sektori	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
VE1, Käyttötunnit (h/vuosi)	611	451	423	465	582	903	1054	1128	1022	695	558	574
VE2, Käyttötunnit (h/vuosi)	610	451	422	464	581	902	1053	1126	1020	694	557	573

Taulukko 12. Laskelmissa käytetty auringonpaistetuntien keskimääräinen lukumäärä kuukausittain.

Kuukausi	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Keskimääräiset auringonpaistetunnit vuorokaudessa	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. Puut ja muu kasvillisuus voivat vähentää välkevaikutuksia tietyissä paikoissa. Laskelmat on tehty ottamatta metsän vaikutusta huomioon.

Myös lavan leveys vaikuttaa välkkeen muodostumiseen. Rahkakurun turbiineissa lavan mitat on skaalattu vastaamaan 200 m halkaisijan turbiinin lapoja. Muiden turbiinien lapojen mitat on 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
Rahkakuru	5,06	1,47	EMD (Vestas V172-7.2 7200)
Karahka	4,15	1,11	EMD (Nordex N163/5.X 5700)
Maaselänkangas	4,15	1,11	EMD (Nordex N163/5.X 5700)
Silovuori	4,00	1,06	EMD (V126- V126-3.3)

3.2 Välkevaikutukset

Rakennuksiin kohdistuvan väkemanninnuksen tulokset on esitetty taulukossa 14 VE1- ja VE2-suunnitelmalle. Liitteen C kartoissa on esitetty alueet, joissa keskimääräisenä vuotena 8 tunnin suositusarvo ylittyy. Kartat on esitetty molemmille suunnitelmille (VE1 ja VE2) ilman metsän vaikutusta (kuvat C1 ja C2). Laskelmien perusteella VE1-suunnitelmassa 30 minuutin päivittäinen suositusarvo ylittyy rakennuksilla I, Y ja AK. 8 tunnin vuosittainen suositusarvo ylittyy rakennuksella Y. Laskelmien perusteella VE2-suunnitelmassa 30 minuutin päivittäinen suositusarvo ylittyy rakennuksilla Y ja AK. 8 tunnin vuosittainen suositusarvo ylittyy rakennuksella Y. Sekä VE1- että VE2-suunnitelmassa rakennuksien Y ja AK kohdalla väkettä aiheutuu ainoastaan viereisestä Maaselänkankaan tuulipuistosta. Rakennuksen I kohdalla ylitys johtuu Rahkakurun VE1-suunnitelman turbiineista. Suositusarvojen sisällä pysyminen voidaan toteuttaa rajoittamalla väkettä aiheuttavia turbiineja.

Taulukko 14. Väkemanninnuksen tulokset VE1- ja VE2-suunnitelmalle. Arvot, jotka ylittävät suositellun rajan (30 minuuttia päivässä ja 8 tuntia vuodessa) on merkitty punaisella.

Rakennus	Välke päivässä [h:min]		Välke vuodessa [h:min]	
	VE1	VE2	VE1	VE2
A	00:00	00:00	00:00	00:00
B	00:22	00:00	01:56	00:00
C	00:24	00:00	02:40	00:00
D	00:24	00:21	05:11	03:21
E	00:20	00:20	01:31	01:31
F	00:24	00:21	04:51	03:20
G	00:24	00:00	04:59	00:00
H	00:00	00:00	00:00	00:00
I	00:34	00:22	03:20	01:20
J	00:00	00:00	00:00	00:00
K	00:00	00:00	00:00	00:00
L	00:26	00:26	04:35	04:34
M	00:27	00:27	06:22	06:55
N	00:25	00:25	05:49	07:45
O	00:00	00:00	00:00	00:00
P	00:25	00:25	03:58	03:03
Q	00:27	00:27	02:01	02:01
R	00:27	00:27	02:00	01:59
S	00:25	00:25	01:36	01:36
T	00:25	00:25	01:36	01:36
U	00:24	00:24	03:05	03:04
V	00:25	00:25	03:06	03:06

W	00:25	00:25	03:06	03:06
X	00:24	00:24	02:55	02:55
Y	01:07	01:07	14:29	14:28
Z	00:00	00:00	00:00	00:00
AA	00:28	00:28	02:16	02:15
AB	00:28	00:28	02:16	02:15
AC	00:25	00:25	01:35	01:34
AD	00:25	00:25	01:27	01:27
AE	00:24	00:24	01:26	01:26
AF	00:25	00:25	01:37	01:37
AG	00:03	00:03	00:06	00:06
AH	00:24	00:00	04:39	00:00
AI	00:26	00:26	06:15	06:15
AJ	00:00	00:00	00:00	00:00
AK	00:59	00:59	07:56	07:55
AL	00:00	00:00	00:00	00:00
AM	00:26	00:26	01:45	01:45
AN	00:00	00:00	00:00	00:00
AO	00:00	00:00	00:00	00:00
AP	00:00	00:00	00:00	00:00
AQ	00:00	00:00	00:00	00:00

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 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] 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-auriongonpaiste-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 A1. Rakennusten koordinaatit.

Rakennus	Koordinaatit (ETRS TM35FIN)	
	Itä	Pohjoinen
A	382223	7137522
B	382854	7131381
C	383130	7130359
D	383153	7135815
E	383223	7141682
F	383356	7133262
G	383910	7129300
H	384450	7140172
I	384842	7138658
J	385076	7128605
K	386782	7128705
L	387695	7129224
M	387879	7134678
N	387883	7134812
O	387977	7139845
P	387993	7134748
Q	388095	7134418
R	388101	7134436
S	388130	7134642
T	388130	7134642
U	388520	7134052
V	388562	7133980
W	388562	7133980
X	388579	7134044
Y	388750	7131552
Z	388787	7134583
AA	388978	7133482
AB	388978	7133482
AC	388989	7133714
AD	389000	7133768
AE	389018	7133770
AF	389065	7133651
AG	389203	7129165
AH	389414	7136756
AI	389554	7131763
AJ	389614	7136401
AK	389817	7130233

AL	390110	7139602
AM	390931	7138729
AN	391159	7132612
AO	391278	7133649
AP	391925	7132522
AQ	393819	7132491

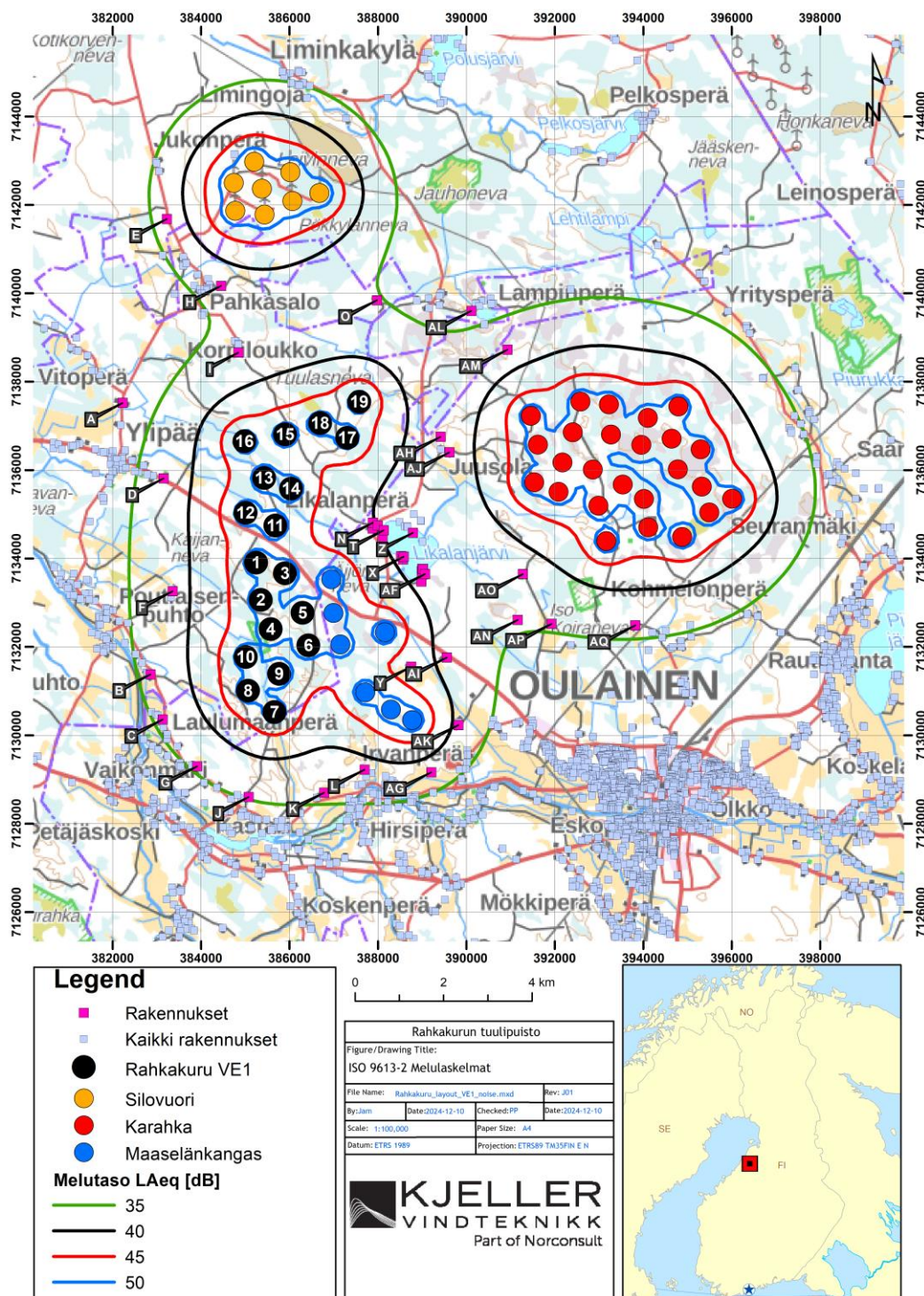
Taulukko A2. Voimaloiden koordinaatit.

Turbiinien sijoittelu	Turbiinin nimi	Koordinaatit (ETRS TM35FIN)	
		Itä	Pohjoinen
VE1	RAH01	385246	7133910
VE1	RAH02	385350	7133066
VE1	RAH03	385895	7133668
VE1	RAH04	385575	7132407
VE1	RAH05	386295	7132775
VE1	RAH06	386426	7132037
VE1	RAH07	385658	7130531
VE1	RAH08	385064	7131010
VE1	RAH09	385767	7131392
VE1	RAH10	385011	7131774
VE1	RAH11	385680	7134747
VE1	RAH12	385008	7135034
VE1	RAH13	385426	7135824
VE1	RAH14	386035	7135582
VE1	RAH15	385902	7136810
VE1	RAH16	384981	7136654
VE1	RAH17	387306	7136734
VE1	RAH18	386694	7137064
VE1	RAH19	387577	7137548
VE2	RAH01	385246	7133910
VE2	RAH02	385350	7133066
VE2	RAH03	385895	7133668
VE2	RAH04	385575	7132407
VE2	RAH05	386295	7132775
VE2	RAH06	386426	7132037
VE2	RAH07	385680	7134747
VE2	RAH08	385008	7135034
VE2	RAH09	385426	7135824
VE2	RAH10	386035	7135582
VE2	RAH11	386583	7136467
VE2	RAH12	385991	7136741
VE2	RAH13	384981	7136654

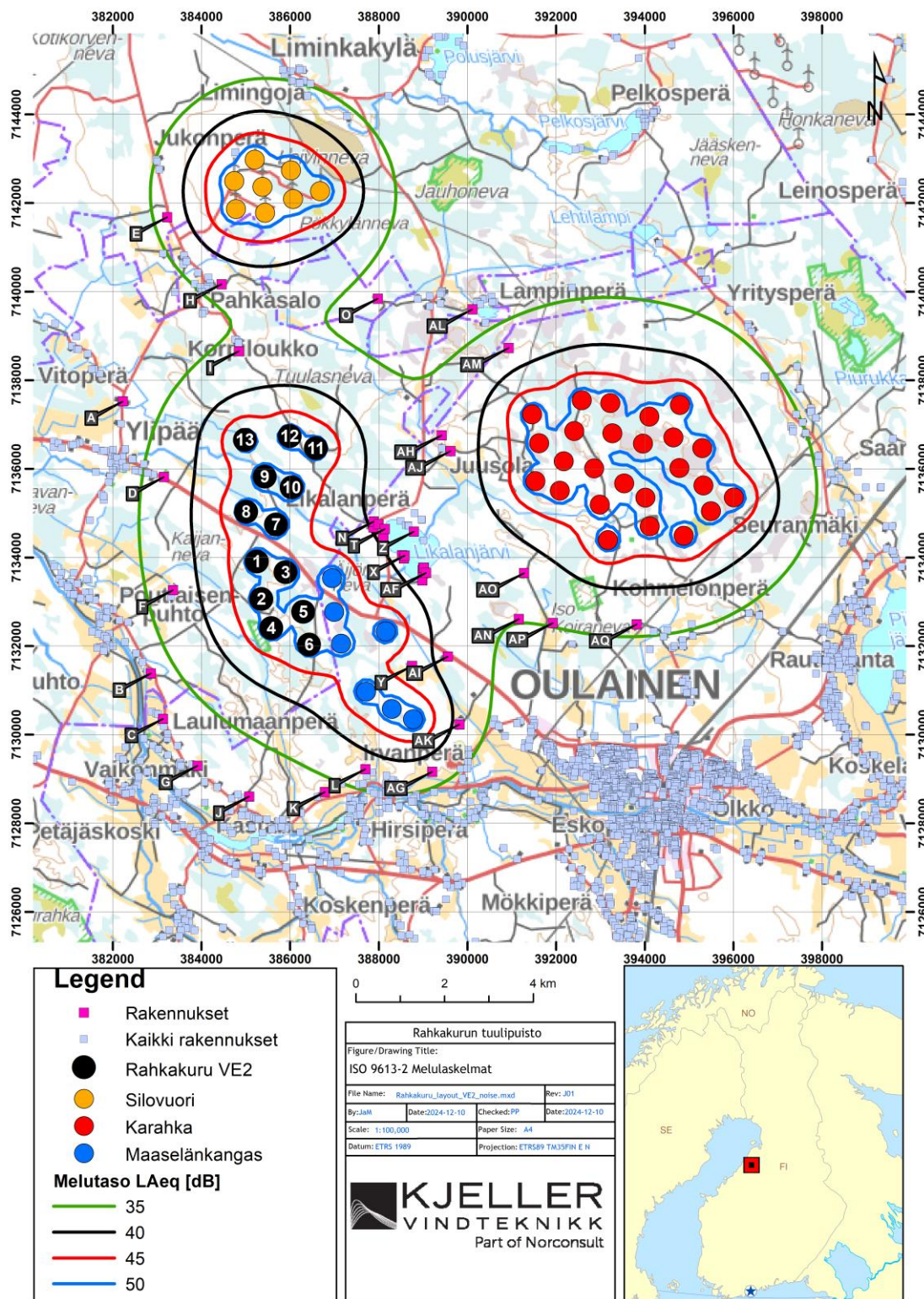
Taulukko A3. Ympäröivien tuulipuistojen voimaloiden koordinaatit ja perustiedot.

Turbiini	Koordinaatit (ETRS TM35FIN)		Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Malli
	Itä	Pohjoinen			
KAR01	391621	7136578	168	163	N163/5,9
KAR02	392086	7135509	168	163	N163/5,9
KAR03	392176	7136174	168	163	N163/5,9
KAR04	392411	7136855	168	163	N163/5,9
KAR05	392584	7137549	168	163	N163/5,9
KAR06	392862	7136012	168	163	N163/5,9
KAR07	392991	7135196	168	163	N163/5,9
KAR08	393169	7134395	168	163	N163/5,9
KAR09	393225	7137485	168	163	N163/5,9
KAR10	393274	7136804	168	163	N163/5,9
KAR11	393539	7135673	168	163	N163/5,9
KAR12	393961	7136571	168	163	N163/5,9
KAR13	394020	7135350	168	163	N163/5,9
KAR14	394108	7137181	168	163	N163/5,9
KAR15	394116	7134704	168	163	N163/5,9
KAR16	394647	7136711	168	163	N163/5,9
KAR17	394785	7136018	168	163	N163/5,9
KAR18	394797	7137442	168	163	N163/5,9
KAR19	394884	7134490	168	163	N163/5,9
KAR20	395301	7136470	168	163	N163/5,9
KAR21	395328	7135628	168	163	N163/5,9
KAR22	395495	7135044	168	163	N163/5,9
KAR23	396014	7135354	168	163	N163/5,9
KAR24	391461	7137229	168	163	N163/5,9
KAR25	391535	7135725	168	163	N163/5,9
MAA01	386945	7133532	148	163	N163/5,9
MAA03	386991	7132770	148	163	N163/5,9
MAA04	388157	7132333	148	163	N163/5,9
MAA05	387150	7132058	148	163	N163/5,9
MAA06	387713	7130974	148	163	N163/5,9
MAA07	388293	7130582	148	163	N163/5,9
MAA08	388770	7130349	148	163	N163/5,9
SIL01	385200	7142980	147	126	V126-3,3
SIL02	386018	7142740	147	126	V126-3,3
SIL03	386676	7142270	147	126	V126-3,3
SIL04	386065	7142091	147	126	V126-3,3
SIL05	384739	7142500	147	126	V126-3,3
SIL06	385376	7142368	147	126	V126-3,3
SIL07	385433	7141784	147	126	V126-3,3
SIL08	384776	7141868	147	126	V126-3,3

Liite B. ISO 9613-2 melumallinnuskartat

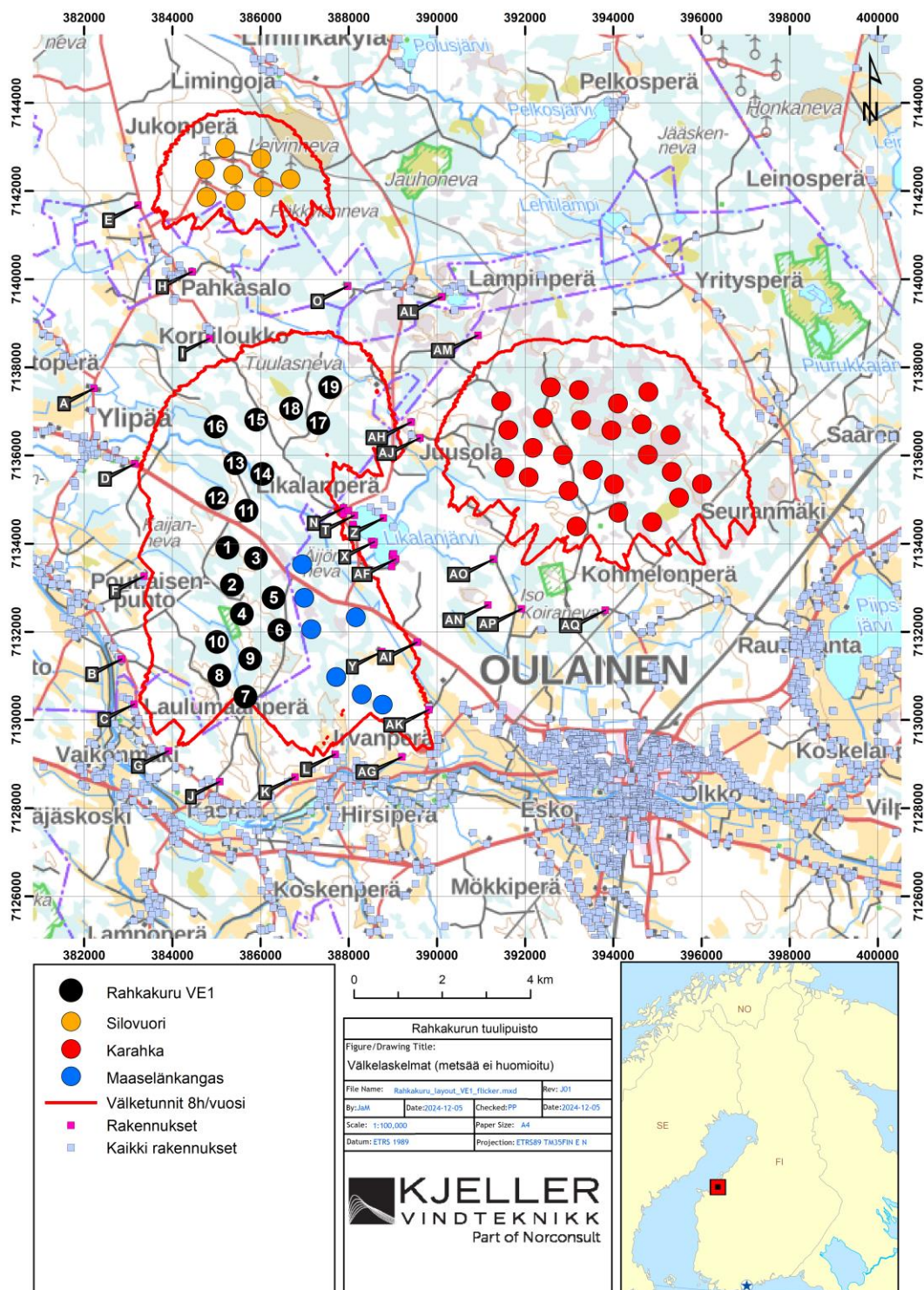


Kuva B1: ISO 9613-2 melumallinnus Rahkakurun tuulipuiston VE1-suunnitelmalle. Rakennus M sijaitsee rakennuksen N vieressä.

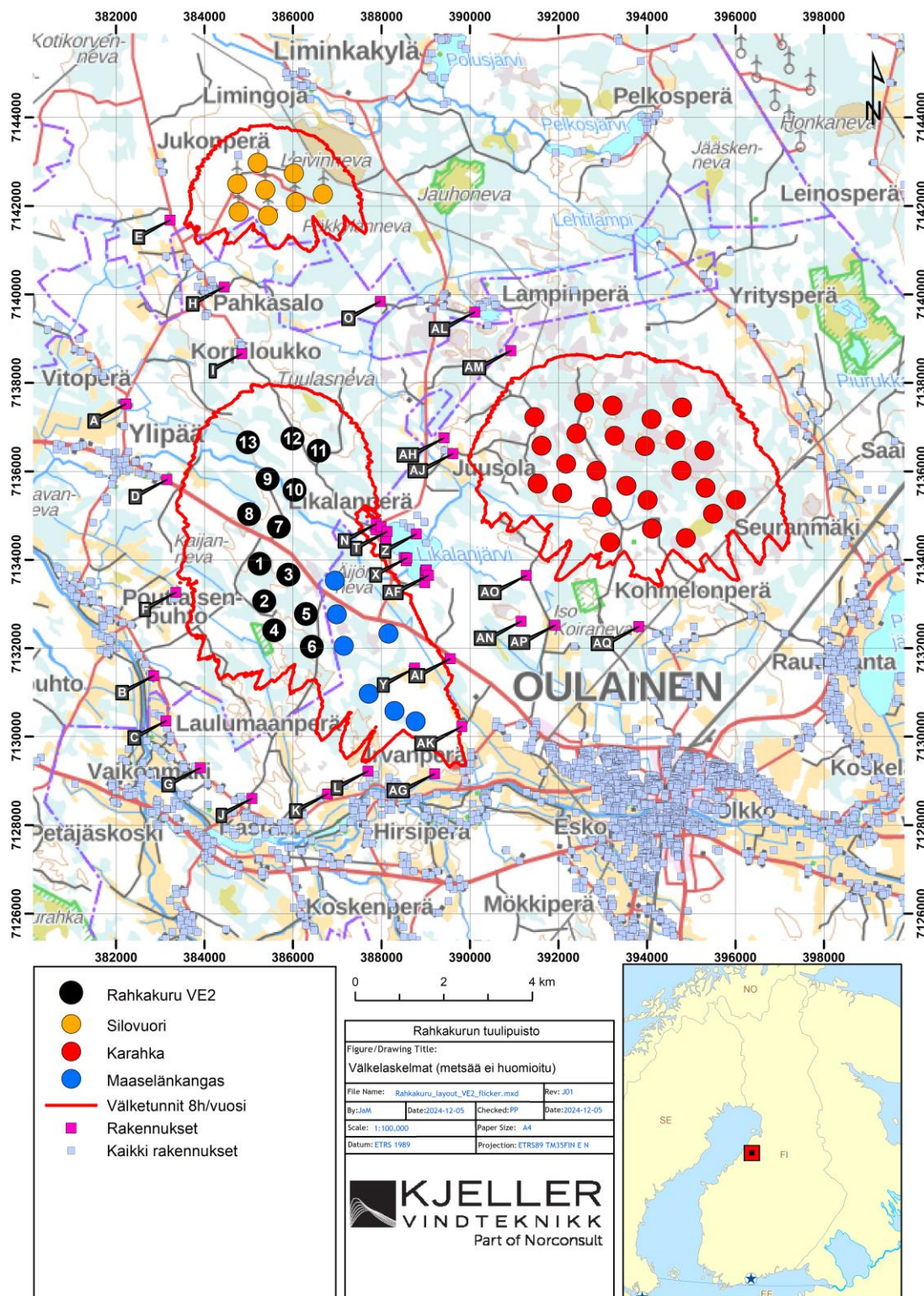


Kuva B2: ISO 9613-2 melumallinnus Rahkakurun tuulipuiston VE2-suunnitelmalle.

Liite C. Välkemallinnuskartat



Kuva C1: Välkemallinnus Rahkakurun tuulipuiston VE1-suunnitelmalle, metsää ei huomioitu.



Kuva C2: Väkelaskelmat Rahkakurun tuulipuiston VE2-suunnitelmalle, metsää ei huomioitu.

Liite D. Asiakkaalta saatu data

Turbiinien ja läheisten tuulipuistojen koordinaatit

- *EIA VE1 & VE2 Coordinates.xlsx*
- *WTGlayout_09_2022.shp*
- *Karahka_TV-area.shp*
- *Silovuori_WTG_Paikkatietoikkuna.shp*

Rakennusten sijainnit

- *Asuinrakennukset pisteinä.shp*
- *Lomarakennukset pisteinä.shp*

Turbiinidata

- *0127-1584_V02 - Performance Specification V172-7.2 MW.pdf*
- *0128-4336_V00 - Enventus V172-7.2MW Third Octaves.pdf*
- *13.03b_2014460EN_11_pdf_F008_276a_A17_EN_R11_Third-octave-sound-power-levels_VPC.pdf*
- *0048-2151_V03 - V126-3_3&3_45MW-Third Octaves according to General Specification - 20150827.pdf*