

Vastaanottaja  
**OX2 AB**

Asiakirjatyyppi  
**Raportti**

Päivämäärä  
**20.2.2023**

Viite  
**1510071806**

# **SALO-YLIKOSKEN TUULIVOIMA- HANKE, KAUHAVA VÄLKEMALLINNUS**

# **SALO-YLIKOSKEN TUULIVOIMAHANKE, KAUHAVA VÄLKEMALLINUS**

Päivämäärä 20.2.2023  
Laatija Maria Niemi  
Tarkastaja Ville Virtanen

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 4/2022  
aineistoa.

Viite 1510071806

## SISÄLTÖ

<b>1.</b>	<b>Yleistä</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Vertailuarvot</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>Vaikutusmekanismit</b>	<b>1</b>
<b>4.</b>	<b>Mallinnusmenetelmä ja lähtötiedot</b>	<b>1</b>
4.1	Mallinnusohjelma ja laskentamalli	1
4.2	Välkelaskenta	2
4.3	Maastomalli	3
4.4	Tuulivoimalatiedot	3
4.5	Laskentojen epävarmuus	4
<b>5.</b>	<b>Mallinnustulokset</b>	<b>4</b>
<b>6.</b>	<b>Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>5</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>5</b>
	<b>LIITTEET</b>	<b>5</b>

## 1. YLEISTÄ

OX2 AB suunnittelee tuulivoima-alueen rakentamista Salon ja Ylikosken alueelle Kauhavaan. Tässä työssä tarkasteltiin Salo-Ylikosken tuulivoimapuiston välkevaikutuksia. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Työ on tehty OX2 AB:n toimeksiannosta, tilaajan yhteyshenkilönä oli Valtteri Paunonen. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt Ramboll Finland Oy:stä suunnittelija ins.(AMK) Maria Niemi.

## 2. VERTAILUARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalla välkkeellä ei ole määritelty Suomessa raja- tai ohjearvoja. Ympäristöministeriön julkistamassa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaassa suositellaan käyttämään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen rajoittamisesta. [1]

Eri maissa on annettu suunnitteluarvoja tai raja-arvoja välkkeen määrälle asutukselle tai muille altistuville kohteille. Saksassa on annettu ohjeistus (WEA-Schattenwurf-Hinweise) mallintamiseen sekä raja-arvot maksimivälketilanteessa (Worst Case) sekä todellisessa tilanteessa (Real Case) [2]. Ruotsalaisessa suunnitteluohjeistuksessa viitataan saksalaiseen ohjeistukseen ja suositukset perustuvat pitkälti saksalaiseen ohjeistukseen [3]. Tanskassa on ohjeistuksena annettu, että vuotuisen todellinen välkemäärä tulee rajoittaa kymmeneen tuntiin vuodessa [4].

**Taulukko 1. Esimerkkejä muiden maiden suosituksista ja raja-arvoista välkkeen esiintymisen osalta**

Maa	Real Case	Worst Case
Saksa	8 tuntia/vuosi	30 tuntia/vuosi 30 min/päivä
Ruotsi	8 tuntia/vuosi 30 min/päivä	-
Tanska	10 tuntia/vuosi	-

## 3. VAIKUTUSMEKANISMIT

Toiminnassa olevat tuulivoimalat voivat aiheuttaa liikkuvaa varjoa eli välkettä ympäristöönsä, kun auringon säteet suuntautuvat tuulivoimalan lapojen takaa tiettyyn katselupisteeseen. Tällöin roottorin lapojen pyöriminen aiheuttaa liikkuvan varjon ja varjojen liikkumisnopeus riippuu roottorin pyörimisnopeudesta.

Välkevaikutus syntyy sääolojen, vuodenajan ja vuorokauden ajan mukaan, joten välkettä on havaittavissa tietyssä katselupisteessä vain tiettyjen valaistusolosuhteiden täyttyessä ja tiettyinä aikoina vuorokaudesta ja vuodesta. Välkettä ei esiinny, kun aurinko on pilvessä tai kun tuulivoimala ei ole käynnissä, tai auringon asema on välkkeen muodostumiselle epäedullinen. Myös tuulen suunnalla on vaikutusta varjon muodostukselle. Poikittain aurinkoon oleva voimala aiheuttaa erilaisen varjon kuin kohtisuoraan aurinkoon suuntautunut voimala.

Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan muodosta sekä alueellisista sääolosuhteista sekä maasto-olosuhteista (metsä, mäki jne.).

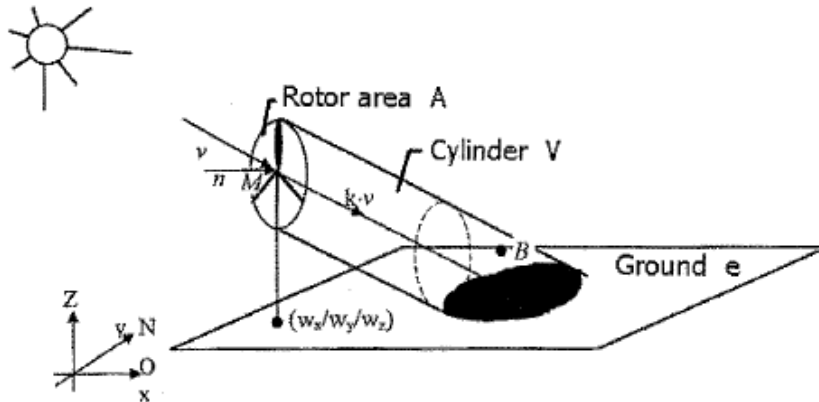
## 4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

### 4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen esiintymisalue ja esiintymistiheys laskettiin EMD WindPRO 3.5 -ohjelman Shadow -moduulilla, joka laskee kuinka usein ja minkälaisina jaksoina tietty kohde

on tuulivoimaloiden luoman liikkuvan varjon alaisena. Ohjelma on yleisesti käytössä tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen mallinnuksessa. Lisätietoja ohjelmasta ja laskentamallin kuvauksen saa internet-osoitteesta <http://www.emd.dk/> löytyvästä ohjelman käyttöohjeesta [5].

Ohjelmalla voidaan tehdä kahdentyyppisiä laskentoja, ns. Pahin tilanne (*Worst Case*)- ja Todellinen tilanne (*Real Case*) -laskelmia. Välkevyöhykekartan lisäksi ohjelmalla voidaan laskea yksittäisiin reseptoripisteisiin kohdistuvaa välkevaikutusta.



**Kuva 1. Tuulivoimalan aiheuttaman liikkuvan varjon alue [5]**

#### 4.2 Välkelaskenta

Laskentapisteen väliseksi etäisyydeksi määritettiin 10 metriä. Laskennan tarkastelukorkeutena käytettiin 1,5 metriä, eli noin ihmisen silmäkorkeutta. Laskennassa käytetyn saksalaisen ohjeituksen (joka on yleisesti käytössä oleva laskentatapa) mukaan välkevaikutusta laskettaessa auringonpaistekulman raja horisontista on kolme astetta, jonka alle menevää auringon säteilyä ei oteta huomioon ja laskennassa roottorin lavan tulee peittää vähintään 20 % auringosta [2].

Mallinnuksissa ei huomioida puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaikutusta, jotka voivat rajoittaa merkittävästi välkkeen esiintyvyyttä maanpinnan tasolla.

Worst Case -laskenta antaa teoreettisen maksimivälkemäärän. Laskenta olettaa auringon paistavan koko ajan (auringonnoususta auringonlaskuun) ja tuulivoimaloiden oletetaan käyvän koko ajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä. Worst Case -laskennan vuosiarvot eivät siten vastaa tulevaa todellista vuositaitaista välkevaikutusta tuulivoimaloiden ympäristössä.

Real Case -laskennoissa huomioidaan alueen tuulisuus- ja auringonpaistetiedot. Worst case -tuloksista tehdään vähennykset auringonpaistetietoihin ja käyttötuntitietoihin (tuulensuunta sektoreittain) perustuen, josta saadaan Real case -tulos. Auringonpaisteisuustietona käytettiin Ilmatieteen laitoksen Seinäjoen Pelmaan sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuisiksi toiminta-ajaksi määritettiin Suomen Tuuliatlaksen tiedoista 95 %. Toiminta-ajat laskettiin 12 suuntasektorille olettaen, että tuulivoimalat toimivat tuulennopeuden ollessa napakorkeudella yli 3 m/s.

**Taulukko 2 Real Case -laskennassa käytetyt keskimääräiset auringonpaisteisuustunnit eri kuukausina (tuntia päivässä)**

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
1,00	2,82	4,23	6,60	8,77	9,10	8,87	6,81	4,67	2,52	1,17	0,58

**Taulukko 3. Real Case -laskennassa käytetty vuotuinen toiminnallinen aika (tuntia vuodessa) tuulen-suuntasektoreittain**

N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Sum
774	451	357	319	463	678	992	1349	1104	838	484	539	8348

Real Case -välkevyöhykelaskennan lisäksi laskentoja tehtiin myös yksittäisiin reseptoripisteisiin hankealueen ympäristössä.

### 4.3 Maastomalli

Maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistosta. Maastomallissa ei huomioitu puustoa tai rakennuksia.

### 4.4 Tuulivoimalatiedot

Laskennoissa huomioitiin Salo-Ylikosken hankevaihtoehdot VE0, VE0+ ja VE1 sekä lisäksi Isonnevanmäen tuulivoimala taulukon 4 mukaisilla sijainneilla.

Voimaloiden napakorkeudet ja roottorihalkaisijat on osoitettu taulukossa 4. Roottorikoon ja napakorkeuden lisäksi myös lavan muoto ja leveys vaikuttavat maksimivälke-etäisyyteen. Mallinnusohjelman mukaiset maksimivälke-etäisyydet eri laitosmalleille on esitetty myös taulukossa 4. Lavan leveystietoina käytettiin:

- *VE0:*
  - Max blade width = 4,1 m
  - Blade width for 90 % radius = 1,33 m
- *VE0+:*
  - Max blade width = 4,2 m
  - Blade width for 90 % radius = 1,4 m
- *VE1:*
  - Max blade width = 4,3 m
  - Blade width for 90 % radius = 1,45 m
- *Isonnevan voimala:*
  - Max blade width = 3,6 m
  - Blade width for 90 % radius = 0,9 m

**Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN)**

VE0	X	Y	Napa- korkeus	Roottorin halkaisija	Kok.- korkeus	Maksimivälke- etäisyys
1	298761	7032870	149	136	217	1 844
2	299250	7032831	149	136	217	1 844
3	298882	7031856	149	136	217	1 844
4	298962	7031468	149	136	217	1 844
5	298978	7030756	149	136	217	1 844
6	299371	7030437	149	136	217	1 844
7	299360	7029966	149	136	217	1 844

VE0+	X	Y	Napa- korkeus	Roottorin halkaisija	Kok.- korkeus	Maksimivälke- etäisyys
1	298762	7032913	130	180	220	1 903
2	299290	7032796	130	180	220	1 903
3	298900	7031842	130	180	220	1 903
4	298977	7031430	130	180	220	1 903
5	299000	7030729	130	180	220	1 903
6	299346	7030441	130	180	220	1 903
7	299389	7029959	130	180	220	1 903

VE1	X	Y	Napa- korkeus	Roottorin halkaisija	Kok.- korkeus	Maksimivälke- etäisyys
1	298767	7032908	145	190	240	1 954
2	299289	7032804	145	190	240	1 954
3	298901	7031816	145	190	240	1 954
4	298976	7031435	145	190	240	1 954
5	299002	7030728	145	190	240	1 954
6	299342	7030438	145	190	240	1 954
7	299385	7029965	145	190	240	1 954

Isonnevanmäen voimala	X	Y	Napa- korkeus	Roottorin halkaisija	Kok.- korkeus	Maksimivälke- etäisyys
1	299940	7027707	135	100	185	1 527

#### 4.5 Laskentojen epävarmuus

Koska Worst Case -laskenta perustuu auringon asemaan suhteessa tuulivoimalaitokseen ja tarkastelupisteeseen, voidaan laskennan tarkkuutta pitää hyvinkin luotettavana, kun määritetään välkkeen mahdollisia esiintymisajankohtia. Kun tarkoituksena on ennustaa todellista välkkeen esiintyvyyttä alueella vuoden aikana, ei Worst Case -mallinnus vastaa todellisuutta.

Real Case -mallinnuksessa käytetään keskimääräisiä auringonpaisteisuustietoja ja Tuuliatlaksen mukaan määritettyjä tuulen suuntien toiminnallisia aikoja. Mallinnuksen mukainen Real case -tulos kuvaa tavanomaisen vuoden tilannetta. Välkevaikutusten todellinen tilanne siis vaihtelee eri vuosina, koska välkkeen esiintyminen tietyssä katselupisteessä tietyllä hetkellä edellyttää, että

- aurinko paistaa tuulivoimalaitosten roottorin takaa tarkastelupisteeseen
- tuulivoimala pyörii ja tuulivoimalan roottorin asento mahdollistaa liikkuvan varjon syntymisen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntymisen

Real Case -mallinnuksessa tuotetaan paras mahdollinen ennuste tulevasta välketilanteesta alueella. Mallissa ei kuitenkaan huomioida rakennusten ja puuston peitevaikutusta. Jos tuulivoimalat eivät ole nähtävissä, eivät ne myöskään aiheuta välkevaikutuksia.

## 5. MALLINNUSTULOKSET

Tuulivoimahankkeen Real Case -laskennan mukaiset välkkeen esiintymiskartat on esitetty liitteissä 1, 2 ja 3. Kaikki ympäristön asuin- ja lomarakennukset jäävät 8 h/a välkealueen ulkopuolelle.

Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskenta 1 reseptoripisteeseen (sijainti välkekartassa), jonka tulos on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Reseptoripistelaskentojen tulokset**

Reseptori	VE0 Real Case, h/a*	VE0+ Real Case, h/a*	VE1 Real Case, h/a*
1	0:58	0:58	0:58

\*tuntia vuodessa

Potentiaaliset välkkeen esiintymisajankohdat reseptorissa on esitetty liitteissä 4, 5 ja 6.

## 6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnuksella tarkasteltiin Kauhavan Salo-Ylikosken alueelle suunniteltujen tuulivoimaloiden välkevaikutuksia tuulivoimaloiden ympäristössä. Mallinnus tehtiin kolmelle eri hankevaihtoehdolle VE0, VE0+ ja VE1. Jokaisessa mallinnuksessa huomioitiin viereinen Isonnevanmäen voimala.

Suomen säädöksissä ei ole määritetty sitovia ohje- tai raja-arvoja tuulivoimaloiden aiheuttamalle välkkeelle. Mallinnuksen mukaan Salo-Ylikosken tuulivoimahankkeen aiheuttama välkemäärä ei ylitä 8 h (rajana Saksassa ja Ruotsissa) raja-arvoa asuin- ja lomarakennusten kohdalla.

Mallinnus antaa laskennallisen tuloksen ympäristöön kohdistuvasta välkevaikutuksesta. Vuosittaiseen todelliseen välkevaikutukseen vaikuttaa, kuinka tarkkaan vuosittainen tuulivoimaloiden toiminta ja sääolosuhteet vastaavat mallinnuksessa käytettyjä arvoja, sekä lisäksi muun muassa voimaloiden näkyminen tai näkymisen estyminen esimerkiksi puuston tai rakennusten vuoksi. Puustoa tai ympäristön asuin- ja lomarakennuksia ei ole huomioitu mallissa. Puuston on kuitenkin oltava riittävän tiheää ja korkeata sekä suojata altistuvaa kohdetta kattavasti. Myös vuodenajan vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näkyvyyttä. Jos tuulivoimalat eivät nähiiriintyvään kohteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu.

Välkkeen syntyyn voidaan vaikuttaa tuulivoimalaan liitettävällä teknisellä ohjauksella, jolla tuulivoimala pysäytetään tarvittaessa. Järjestelmän avulla välkkeen muodostumista tietyssä kohteessa monitoroidaan voimalan nasellin päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla, jotka laskevat muodostumisen mahdollisuutta tietyssä suunnassa valoisuuden ja roottorin asennon mukaan.

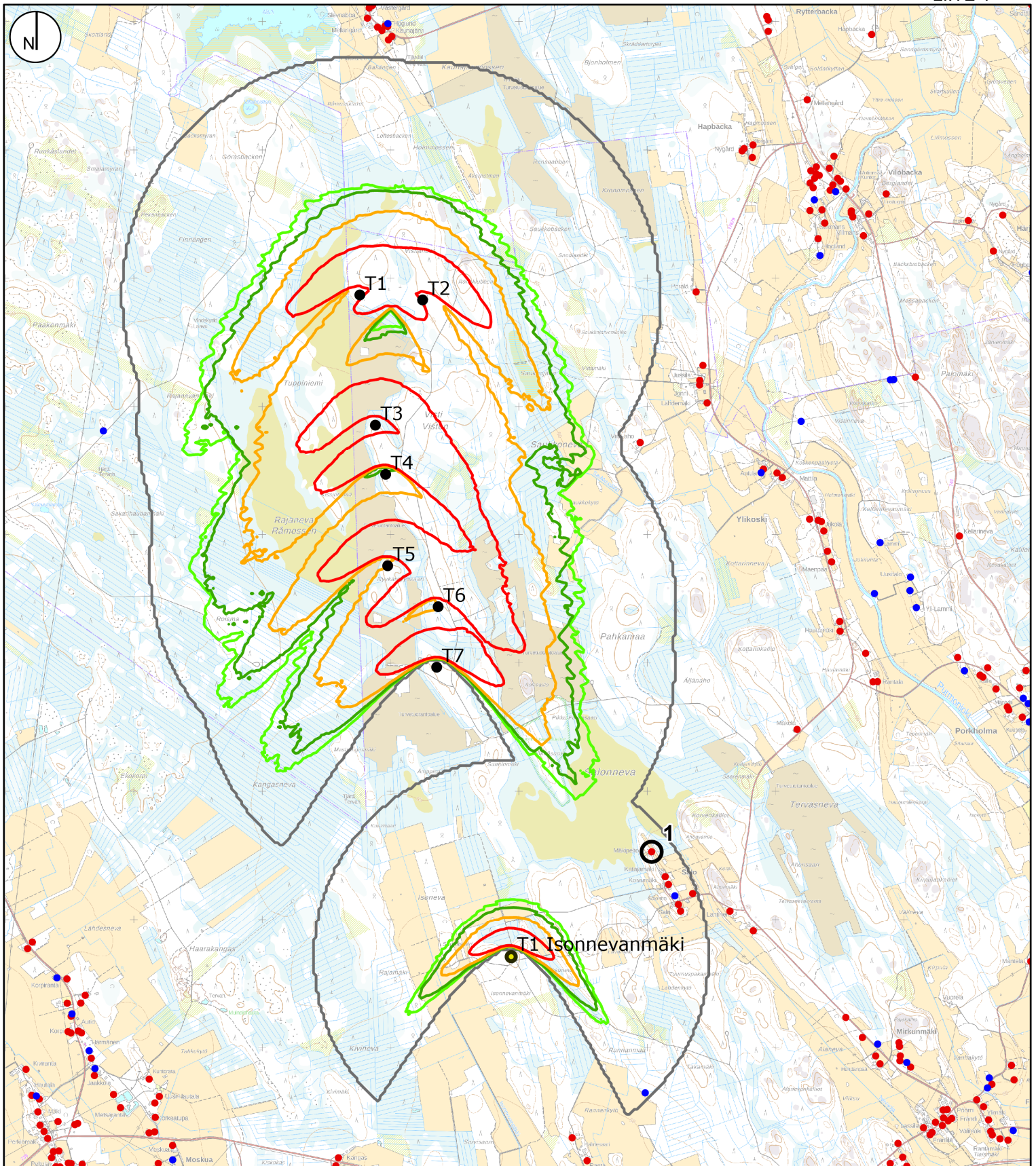
## LÄHTEET

1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
2. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise
3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, Boverket 2009
4. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2015
5. WindPRO 3.3 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012:1
7. Suomen Tuuliatlas

## LIITTEET

- |         |   |
|---------|---|
| Liite 1 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet VE0  |
| Liite 2 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet VE0+   |
| Liite 3 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet VE1  |
| Liite 4 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä VE0  |
| Liite 5 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä VE0+ |
| Liite 6 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä VE1  |





**RAMBOLL**

OX2 Oy  
Salo-Ylikosken tuulivoimapaisto

Mallinnuksessa on huomioitu  
Tuuliveikkojen Isonnevanmäen  
voimala

Mittakaava (A4): 1:40 000

0 0.5 1 2 km

Välkemallinnus  
(WindPro 3.6)

**VE 0**

VESTAS V136

Kokonaiskorkeus (TH): 217 m

Napakorkeus (HH): 149 m

Roottorin halkaisija (RD): 136 m

**Isonnevanmäen voimala**

Lagerway L100 2,5 MW

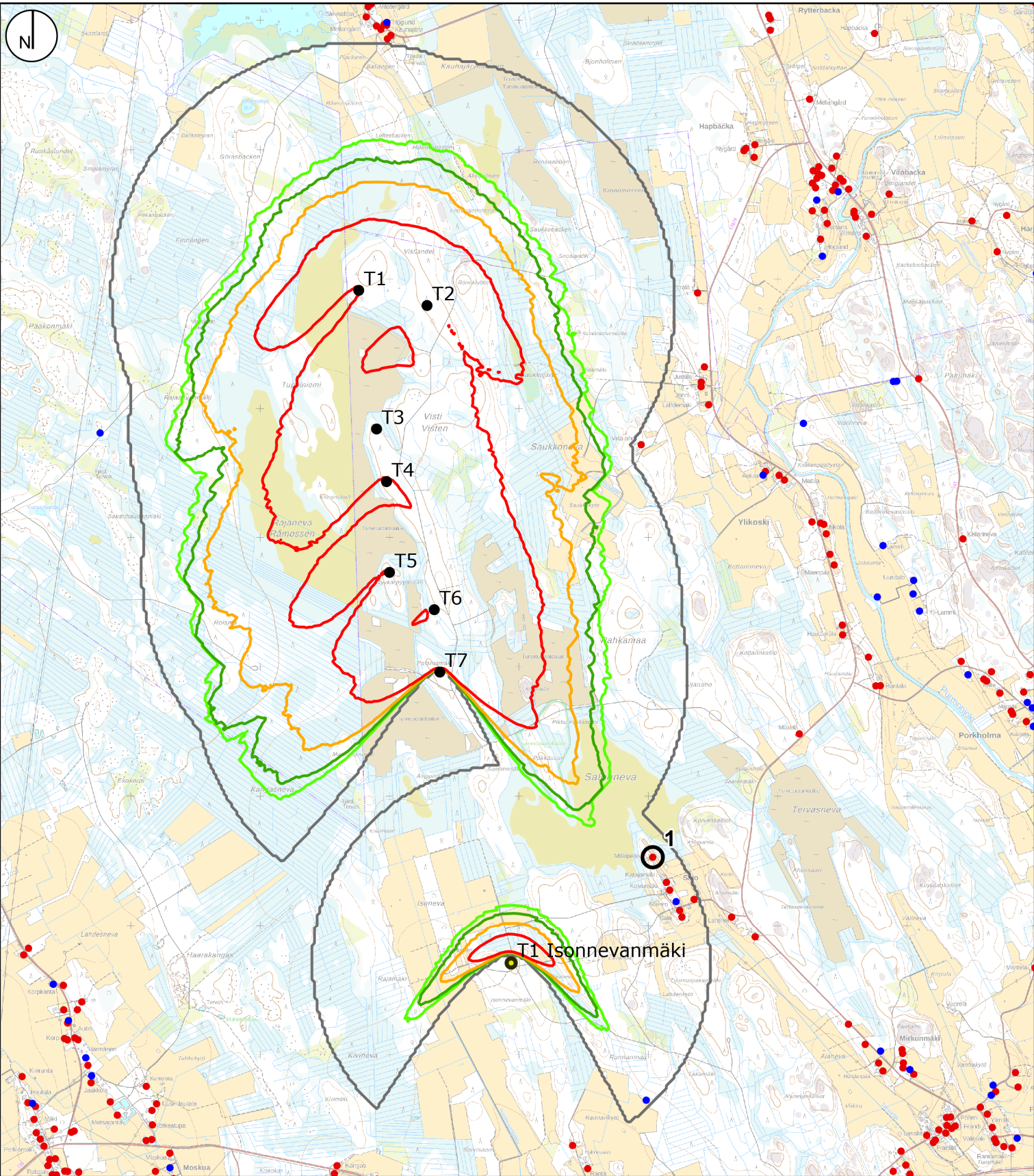
Napakorkeus (HH): 135 m

20.2.2023 MN

Välketuntia vuodessa  
Real Case -mallinnus



- Hankevaihtoehto VE 0
- Isonnevanmäen voimala
- Lomarakennus
- Asuinrakennus
- Reseptoripiste



OX2 Oy  
 Salo-Ylikosken tuulivoimapaisto  
 Mallinnuksessa on huomioitu  
 Tuulivekkojen Isonnevanmäen  
 voimala

Mittakaava (A4): 1:40 000  
 0 0.5 1 2 km

Välkemallinnus  
 (WindPro 3.6)

**VE 0+**  
 GE WIND ENERGY  
 Kokonaiskorkeus (TH): 220 m  
 Napakorkeus (HH): 130 m  
 Roottorin halkaisija (RD): 180 m

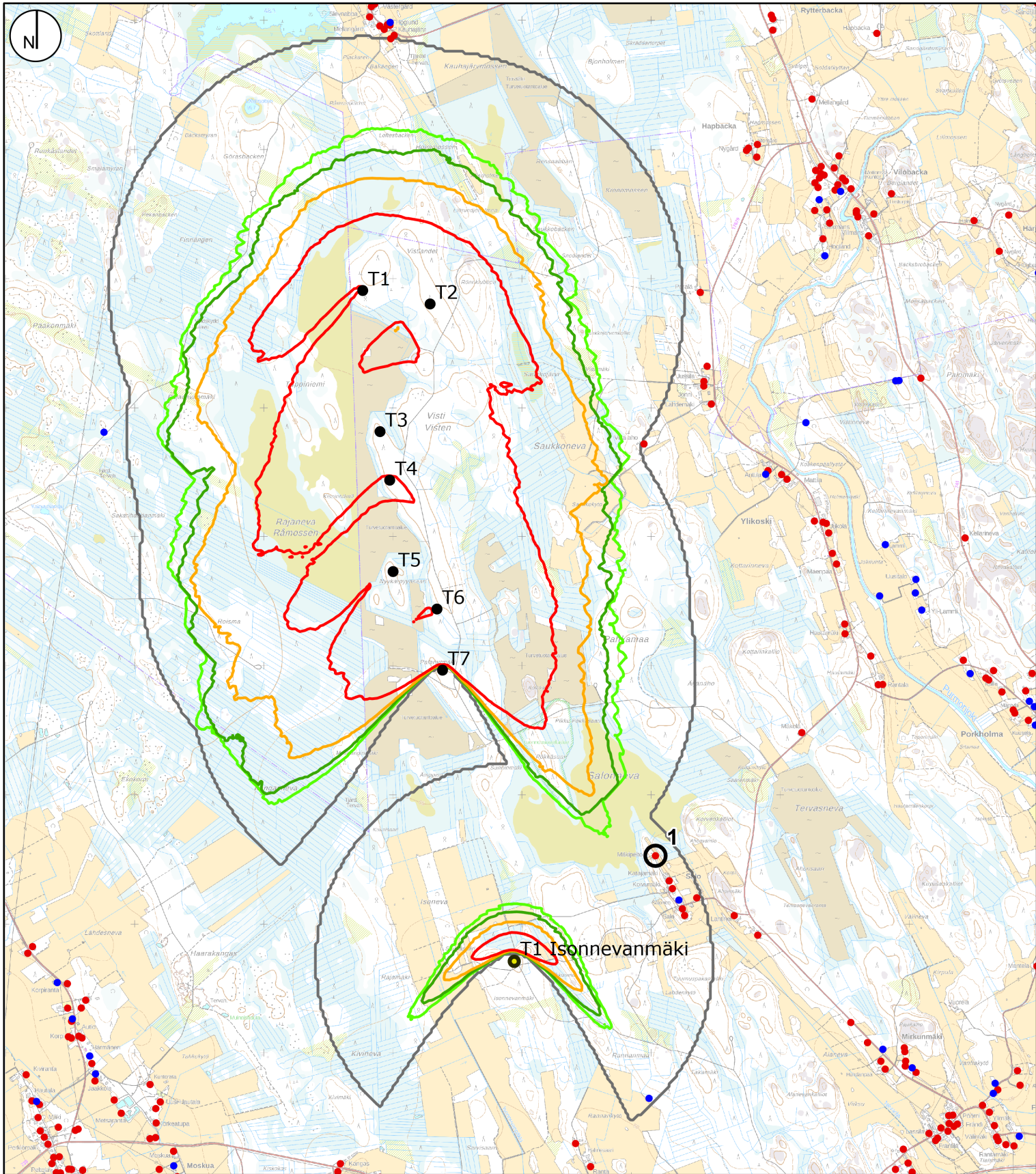
**Isonnevanmäen voimala**  
 Lagerway L100 2,5 MW  
 Napakorkeus (HH): 135 m

20.2.2023 MN

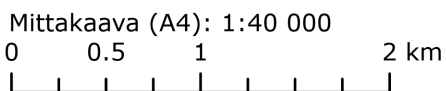
Välketuntia vuodessa  
 Real Case -mallinnus

- 0
- 8
- 10
- 15
- 30

- Hankevaihtoehto VE 0+
- Isonnevanmäen voimala
- Lomarakennus
- Asuinrakennus
- Reseptoripiste



OX2 Oy  
 Salo-Ylikosken tuulivoimapuisto  
 Mallinnuksessa on huomioitu  
 Tuuliveikkojen Isonnevanmäen  
 voimala



Välkemallinnus  
 (WindPro 3.6)

**VE 1**  
 GE WIND ENERGY  
 Kokonaiskorkeus (TH): 240 m  
 Napakorkeus (HH): 145 m  
 Roottorin halkaisija (RD): 190 m

**Isonnevanmäen voimala**  
 Lagerway L100 2,5 MW  
 Napakorkeus (HH): 135 m

20.2.2023 MN

Välketuntia vuodessa  
 Real Case -mallinnus

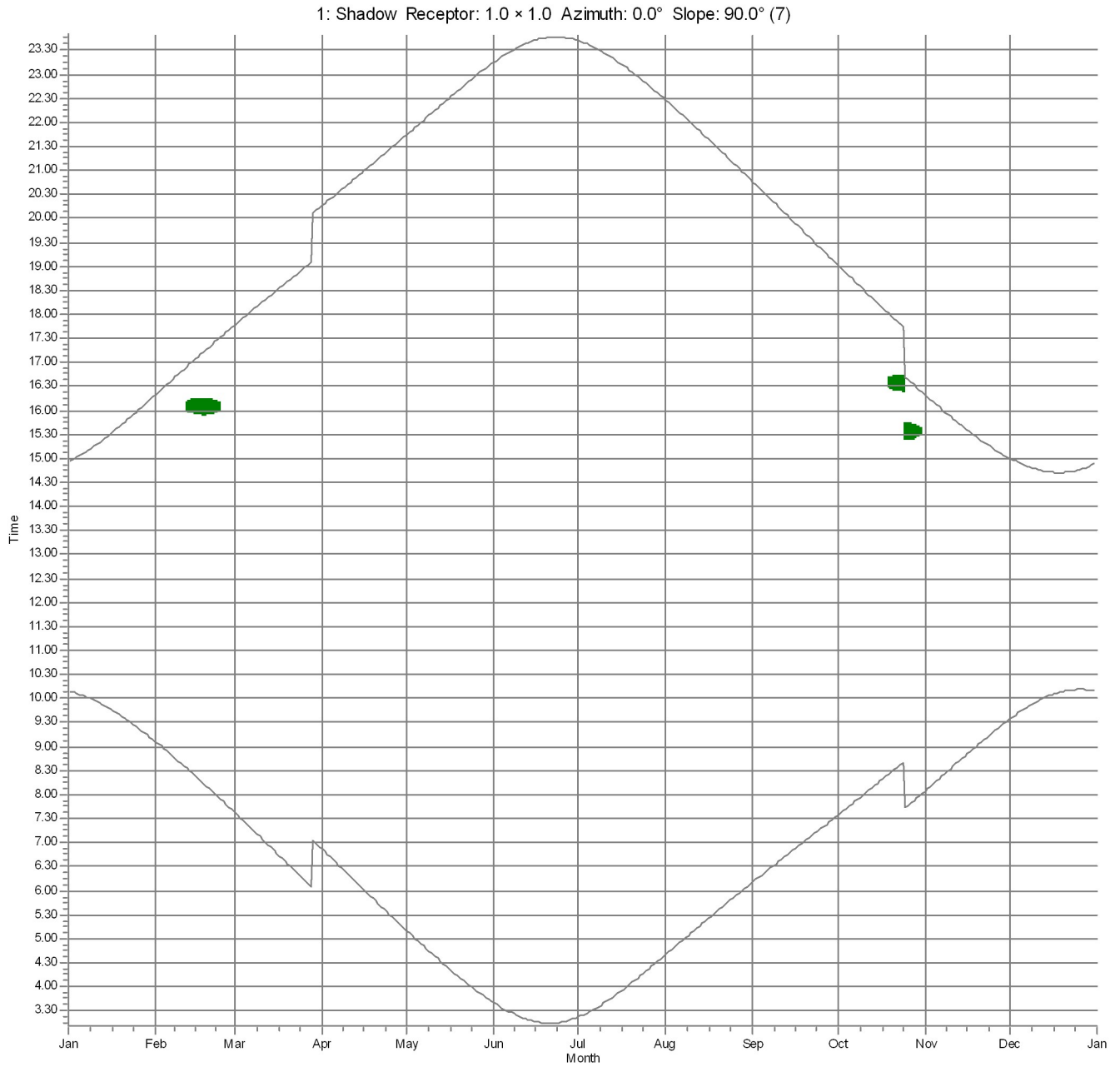
- 0
- 8
- 10
- 15
- 30
- Hankevaihtoehto VE 1
- Isonnevanmäen voimala
- Lomarakennus
- Asuinrakennus
- Reseptoripiste

Project:  
Valke\_SaloYlikoski

Licensed user:  
Ramboll Deutschland GmbH  
Elisabeth-Consbruch-Straße 3  
DE-34131 Kassel  
-  
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi  
Calculated:  
22.2.2023 15.35/3.6.355

### SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE0\_RD136\_HH149\_TH217\_Isonnevanmaki\_LagerwayL100 Shadow receptor: 1 - Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (7)



WTGs

T1 Isonnevanmäki: LAGERWEY L100-2.5MW 2520 100.0 IOI hub: 135.0 m (TOT: 185.0 m) (23)

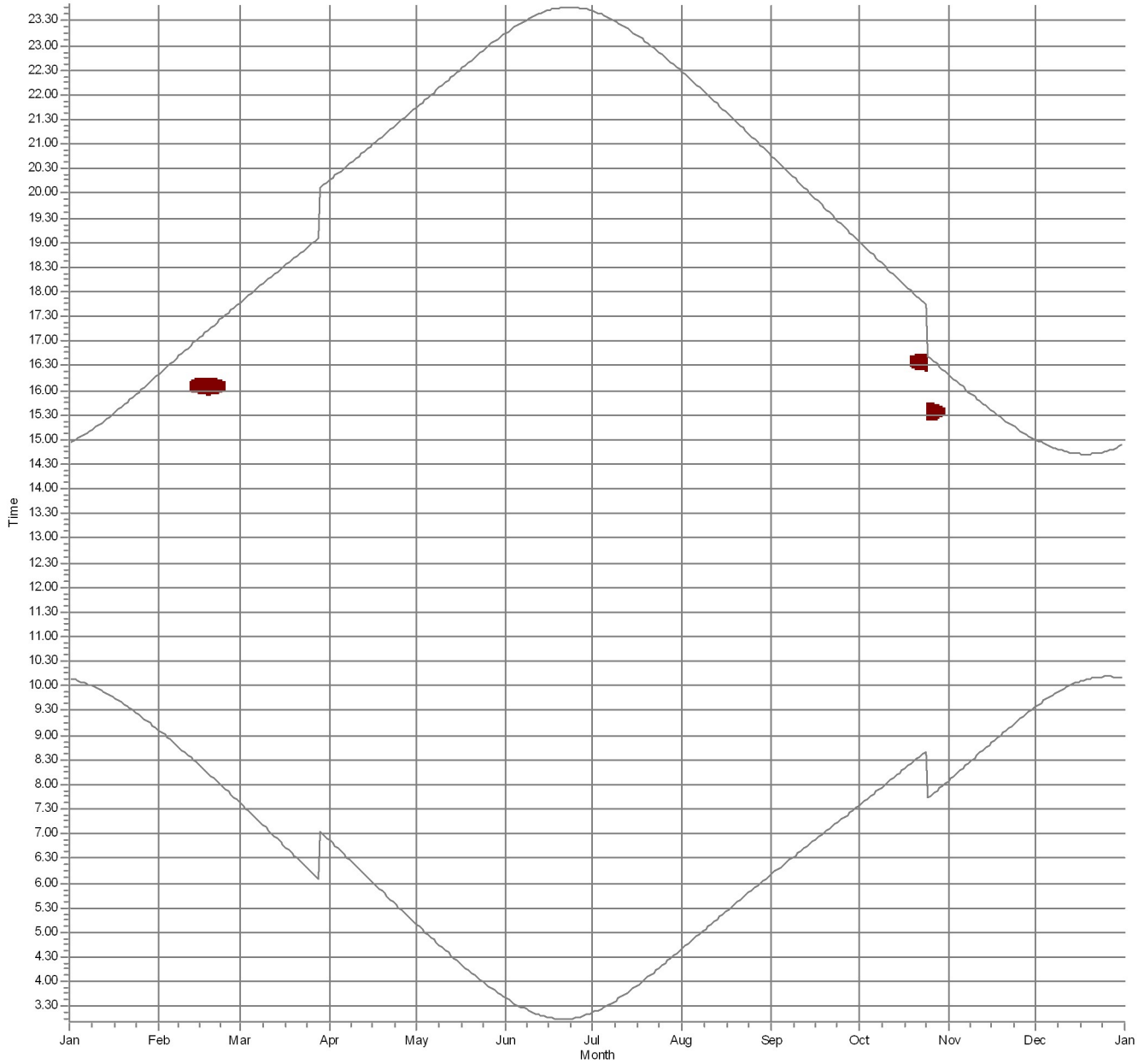
Project:  
Valke\_SaloYlikoski

Licensed user:  
Ramboll Deutschland GmbH  
Elisabeth-Consbruch-Straße 3  
DE-34131 Kassel  
-  
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi  
Calculated:  
22.2.2023 15.38/3.6.355

### SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE0plus\_GE\_RD180\_HH130\_TH220\_Isonnevanmaki\_LagerwayL100 Shadow receptor: 1 - Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (7)

1: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (7)



WTGs

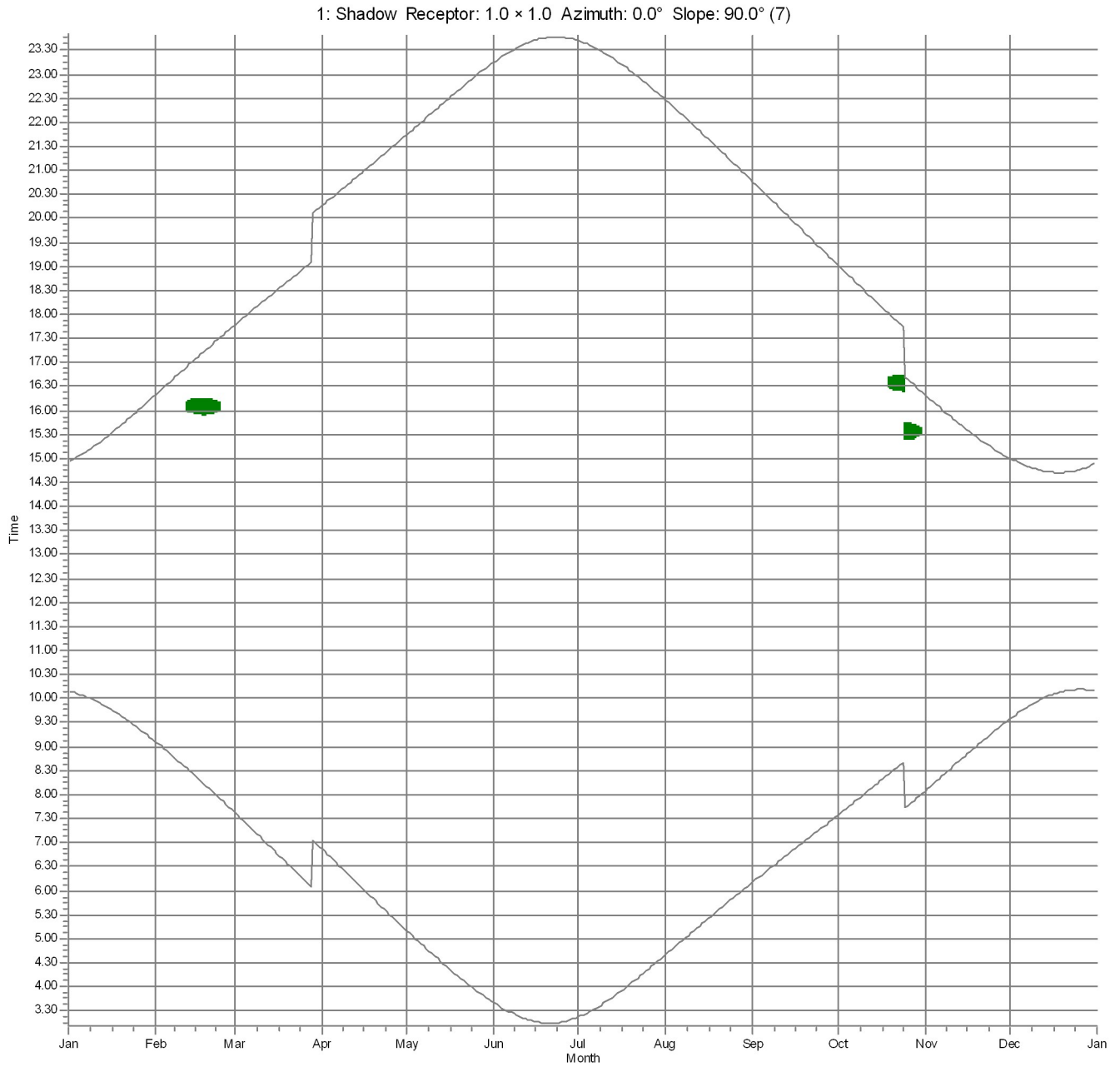
T1 Isonnevanmäki: LAGERWEY L100-2.5MW 2520 100.0 IOI hub: 135.0 m (TOT: 185.0 m) (23)

Project:  
Valke\_SaloYlikoski

Licensed user:  
Ramboll Deutschland GmbH  
Elisabeth-Consbruch-Straße 3  
DE-34131 Kassel  
-  
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi  
Calculated:  
22.2.2023 15.44/3.6.355

### SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE1\_GE\_RD190\_HH145\_TH240\_Isonnevanmaki\_LagerwayL100 Shadow receptor: 1 - Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (7)



WTGs

■ T1 Isonnevanmäki: LAGERWEY L100-2.5MW 2520 100.0 IOI hub: 135.0 m (TOT: 185.0 m) (23)