

Vastaanottaja
Korpivaara Wind Oy

Asiakirjatyyppe
Raportti

Päivämäärä
21.5.2024

Viite
1510064889-003

KORPIVAARAN TUULIVOIMAHANKE

VÄLKEMALLINNUS

KORPIVAARAN TUULIVOIMAHANKE VÄLKEMALLINUS

Päivämäärä **21.5.2024**
Laatija **Maria Niemi**
Tarkastaja **Ville Virtanen**

Viite 1510064889-003

SISÄLTÖ

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

1. YLEISTÄ

Korpivaara Wind Oy suunnittelee tuulivoima-alueen rakentamista Korpivaaran alueelle Liperiin. Tässä selvityksessä tutkittiin Korpivaaran kaavaehdotusvaiheen mukaisten tuulivoimalaitosten aiheuttamia välkevaikutuksia sekä välkkeen yhteisvaikutuksia Jouhtenisen tuulivoimahankkeen kanssa. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Työ on tehty Korpivaara Wind Oy:n toimeksiannosta. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt Ramboll Finland Oy:stä suunnittelija ins.(AMK) Maria Niemi.

2. VERTAILUARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalle välkkeelle 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 sekä todellisessa tilanteessa ^[2]. Ruotsalaisessa suunnitteluohjeistuksessa viitataan saksalaiseen ohjeistukseen ja suositukset perustuvat pitkälti saksalaiseen ohjeistukseen ^[3]. Tanskassa on ohjeistuksena annettu, että vuotuinen 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 täytyessä 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.

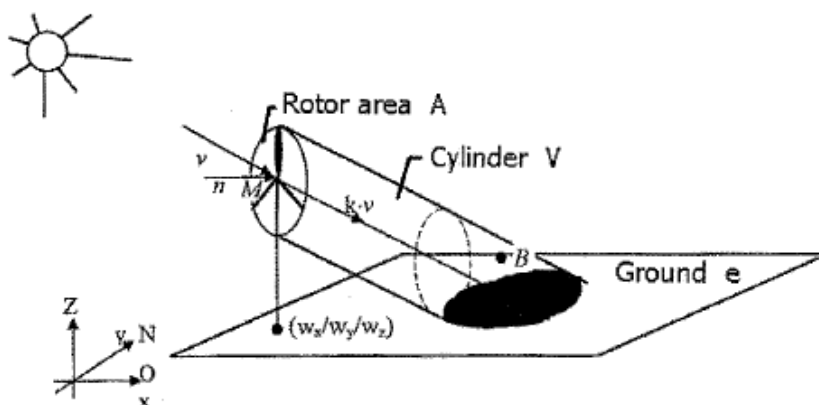
Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan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

4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen esiintymisalue ja esiintymistiheys laskettiin EMD WindPRO 4.0 -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 vuosi-arvot eivät siten vastaa tulevaa todellista vuosittaista 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 Siilijärven sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuisiksi toiminta-ajaksi määritettiin Suomen Tuuliatlaksen tiedoista 97 %. 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
0,90	2,32	3,90	6,47	8,19	8,60	8,74	6,55	3,87	1,84	0,73	0,39

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
471	545	420	372	473	718	793	1206	1082	919	854	601	8454

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

4.3 Maastomalli

Maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen korkeusmalliaineistosta. Maastomallissa ei huomioidu puustoa tai rakennuksia.

4.4 Tuulivoimalatiedot

Laskennoissa huomioitiin kaavaehdotusvaiheen mukaiset tuulivoimalat taulukon 4 mukaisilla sijainneilla. Lisäksi yhteismallinnuksessa huomioitiin Jouhtenisen tuulivoimalat.

Mallinnus tehtiin käyttäen napakorkeutta 164 m ja roottorin halkaisijaa 172 metriä. Roottorikoon ja napakorkeuden lisäksi myös lavan muoto ja leveys vaikuttavat maksimivälke-etäisyyteen, joka mallinnusohjelman mukaan on tälle laitosmallille noin 1904 metriä. Lavan leveystietoina käytettiin:

- Max blade width = 4,35 m
- Blade width for 90 % radius = 1,26 m

Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN).

Tunnus	X	Y	Napakorkeus	Kok.-korkeus
KRP.1021	606134	6939862	164	250
KRP.1081	606182	6941512	164	250
KRP.1012	606309	6939423	164	250
KRP.1071	606366	6940829	164	250

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 syntyneen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntyneen

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

Korpivaaran tuulivoimahankkeen kaavaehdotusvaiheen välkkeen esiintymiskartta on esitetty liitteessä 1. Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja 11 reseptoripisteeseen, joiden sijainnit on esitetty liitteenä olevassa välkekartassa ja tulokset taulukossa 5.

Mallinnuksen mukaan Korpivaaran tuulivoimaloista aiheutuvat vuotuiset välkemäärät eivät ylitä 8 tuntia vuodessa yhdenkään reseptoripisteen osalta.

Taulukko 5. Reseptoripistelaskentojen tulokset.

Reseptori	Real Case, h/a*
1	4:50
2	1:26
3	0:00
4	2:25
5	2:53
6	0:00
7	0:00
8	1:45
9	1:57
10	1:08
11	0:56

*tuntia vuodessa

Yhteismallinnuksen mukainen välkkeen esiintymiskartta on esitetty liitteessä 2 sekä reseptoripistelaskentojen tulokset taulukossa 6. Yhteismallinnuksen mukaan Jouhtenisen tuulivoimahankkeen kanssa ei muodostu yhteisvaikutuksia.

Taulukko 6. Yhteismallinnuksen reseptoripistelaskentojen tulokset.

Reseptori	Yhteismallinnus Real Case, h/a*
1	4:50
2	1:26
3	0:00
4	2:25
5	2:53
6	0:00
7	0:00
8	1:45
9	1:57
10	1:08
11	0:56

*tuntia vuodessa

Potentiaaliset välkkeen esiintymisajankohdat reseptoreissa on esitetty liitteissä 3 ja 4.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnuksella tarkasteltiin Liperin Korpivaaran alueelle suunniteltujen tuulivoimaloiden välkevaikutuksia tuulivoimaloiden ympäristössä. Mallinnus tehtiin osayleiskaavaa varten kaavaehdotusvaiheen mukaisella voimalasijoittelulla.

Suomen säädöksissä ei ole määritetty sitovia ohje- tai raja-arvoja tuulivoimaloiden aiheuttamalle välkkeelle. Mallinnuksen mukaan Korpivaaran tuulivoimaloiden vuotuinen välkemäärä jää alle 8 tunnin (rajana Saksassa ja Ruotsissa) kaikkien ympäristön asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Yhteismallinnuksen mukaan Jouhtenisen tuulivoimahankkeen kanssa ei muodostu yhteisvaikutuksia.

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. Puuston on kuitenkin oltava riittävän tiheää ja korkeata sekä suojattava altistuvaa kohdetta kattavasti. Myös vuodenajan vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näkyvyyttä. Jos tuulivoimalat eivät näy häiriintyvään kohteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu.

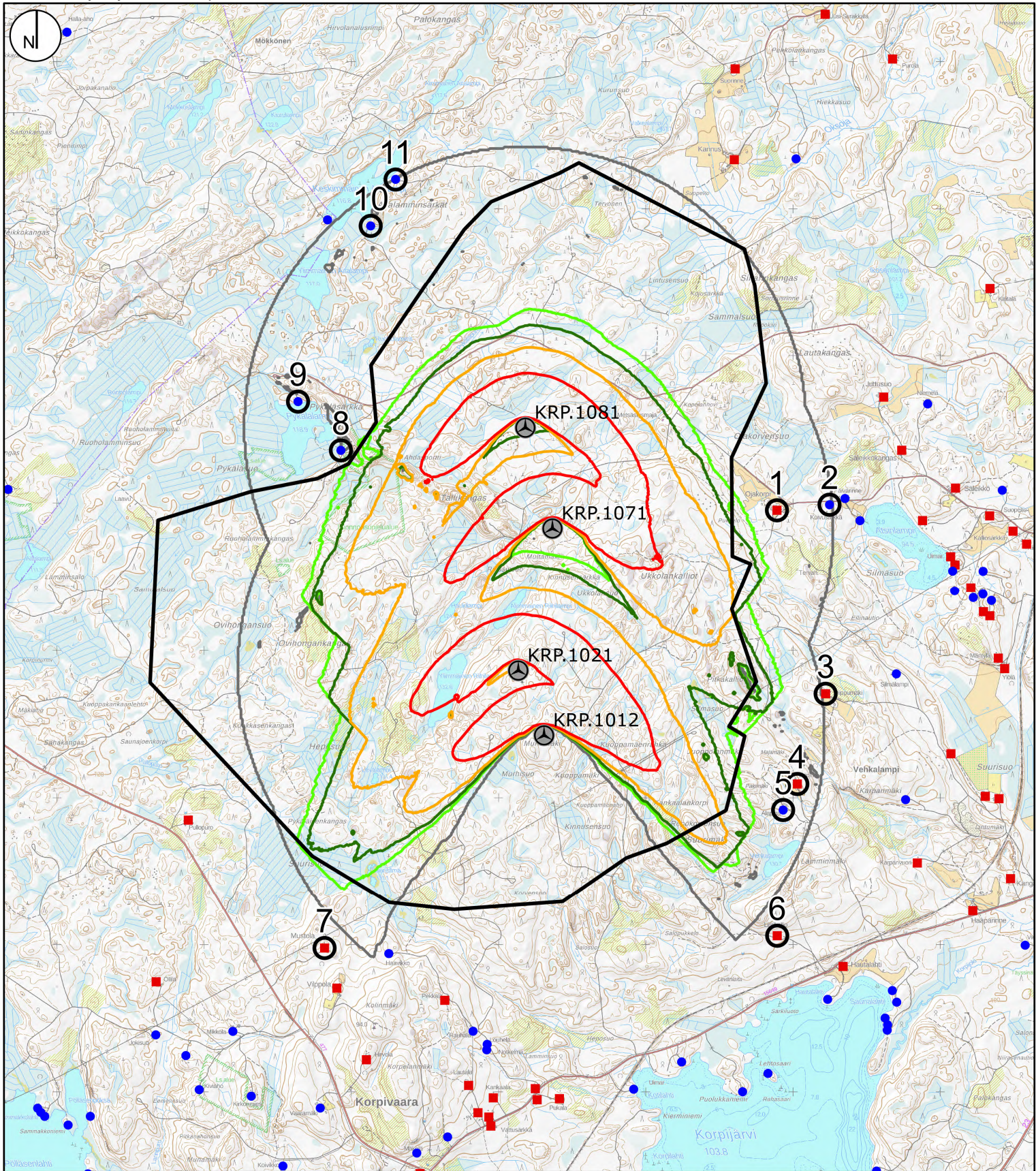
Välkkeen syntyyn voidaan vaikuttaa tuulivoimalaan liitettävällä teknisellä ohjauksella, jolla tuulivoimala pysäytetään tarvittaessa. Järjestelmän avulla välkkeen muodostumista tietyssä kohteessa monitoroidaan voimalan nasellin päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla, jotka laskevat muodostumisen 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 3.4 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012:1
7. Suomen Tuuliatlas

LIITTEET

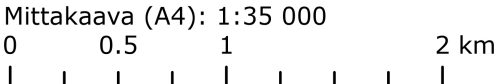
- | | |
|---------|---|
| Liite 1 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet, Korpivaara |
| Liite 2 | Real Case -laskennan välkevyöhykkeet, yhteismallinnus |
| Liite 3 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä, Korpivaara |
| Liite 4 | Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä, yhteismallinnus |



Korpivaara 4WTG V172
 - Napakorkeus (HH) 164 m
 - Roottorin halkaisija (RD) 172 m
 - Kokonaiskorkeus (TH) 250 m

Välkemallinnus
 (WindPro 4.0)

Korpivaaran tuulivoimapuisto

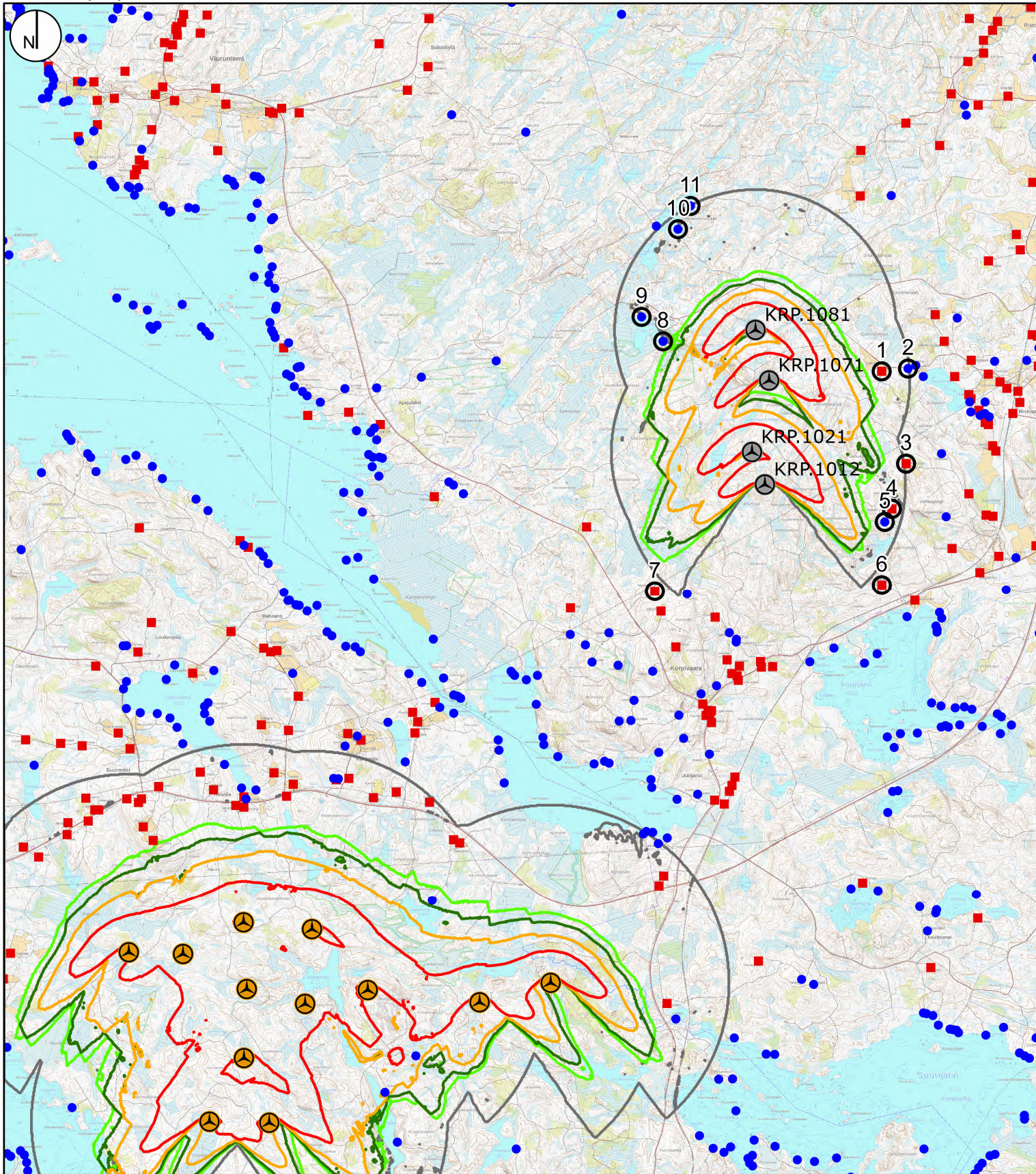


21.5.2024 MN

Välketuntia vuodessa
 Real Case -mallinnus



- Tuulivoimalat, Korpivaara
- Suunnittelualue, Korpivaara
- Reseptorit
- Asuinrakennus
- Lomarakennus

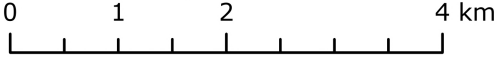


Välkemallinnus
(WindPro 4.0)

Korpivaaran tuulivoimapuisto

Yhteismallinnuksessa huomioitu
Jouhtenisen tuulivoimapuisto

Mittakaava (A4): 1:70 000



Korpivaara 4WTG V172
 - Napakorkeus (HH) 164 m
 - Roottorin halkaisija (RD) 172 m
 - Kokonaiskorkeus (TH) 250 m

Jouhteninen 12WTG SG170
 - Napakorkeus (HH) 200 m
 - Kokonaiskorkeus (TH) 300 m

21.5.2024 MN

Välketuntia vuodessa
Real Case -mallinnus



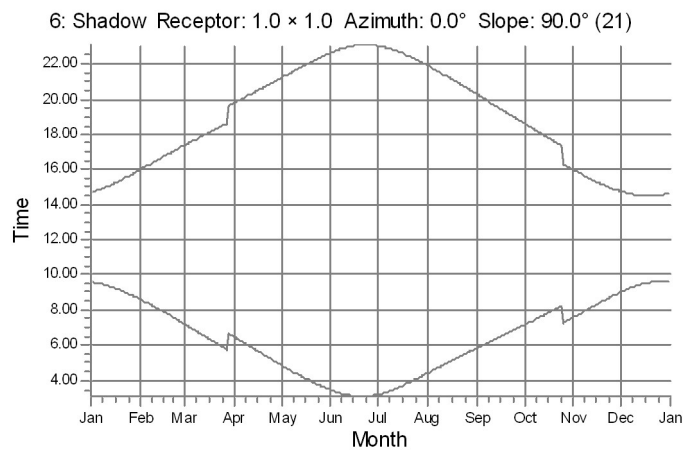
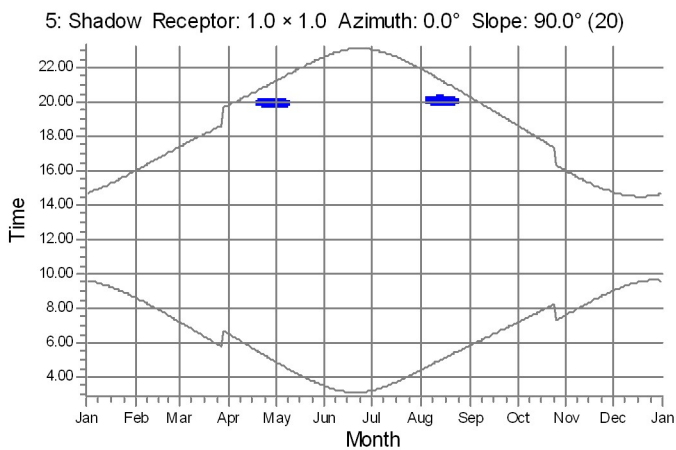
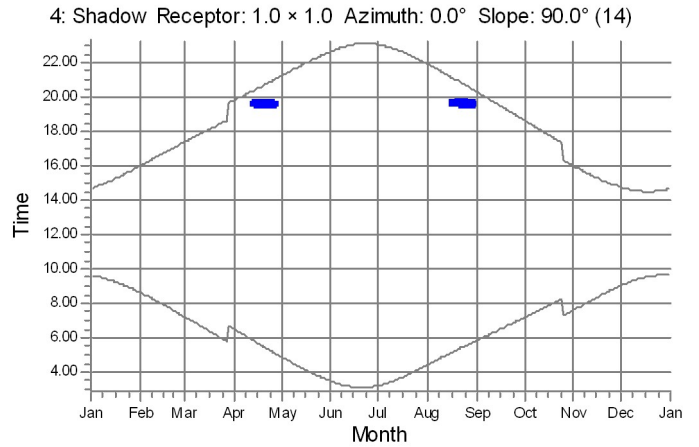
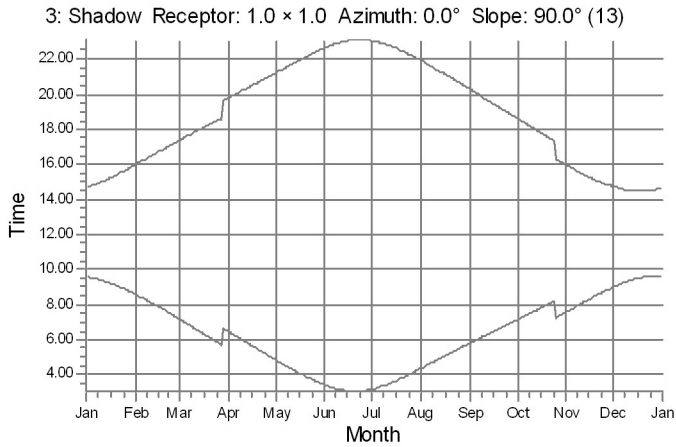
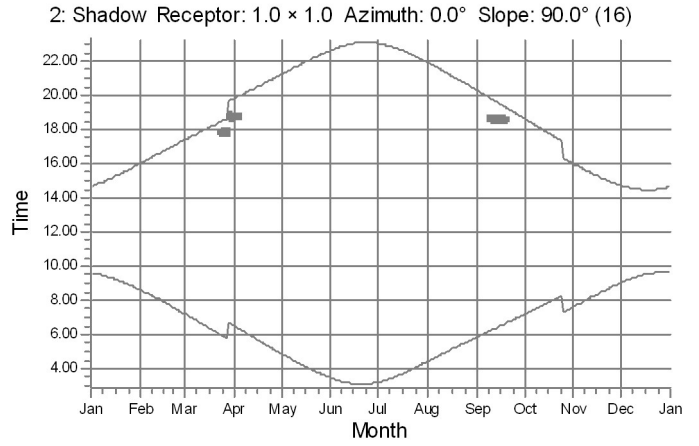
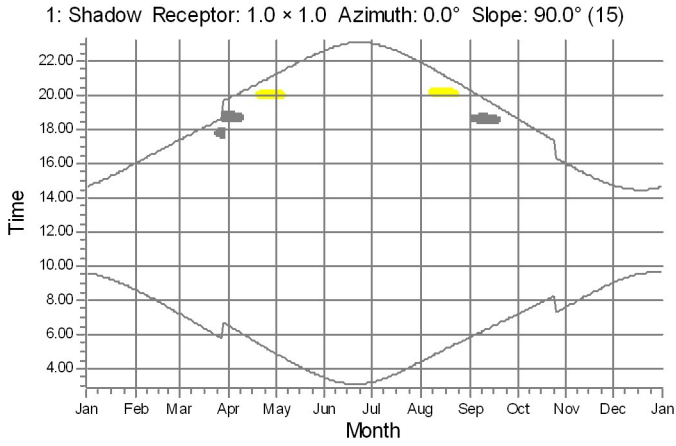
- Tuulivoimalat, Korpivaara
- Tuulivoimalat, Jouhteninen
- Reseptorit
- Asuinrakennus
- Lomarakenus

Project:
Korpivaara_Valke

Licensed user:
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel
-
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi
Calculated:
21.5.2024 9:34/4.0.540

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Korpivaara_kaavaehdotusvaihe_RD172_HH164_TH250_Mallinnus21052024



WTGs

- KRP.1081: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (39)
- KRP.1012: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (40)
- KRP.1071: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (41)

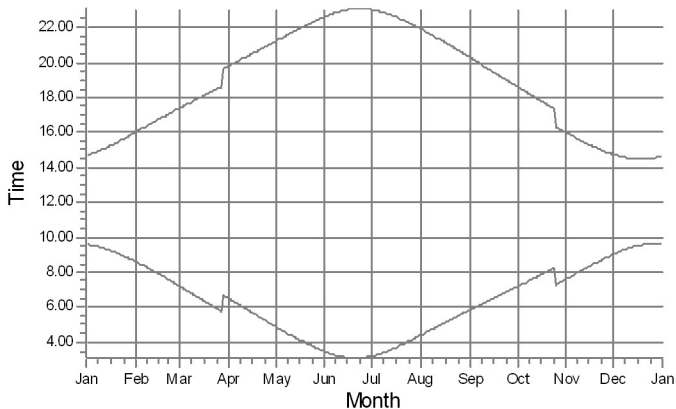
Project:
Korpivaara_Valke

Licensed user:
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel
-
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi
Calculated:
21.5.2024 9:34/4.0.540

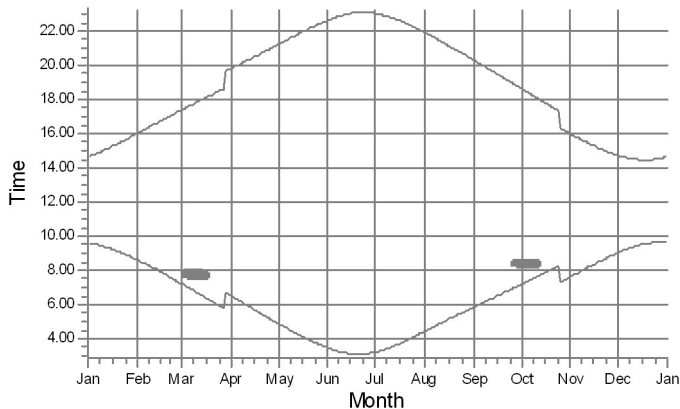
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Korpivaara_kaavaehdotusvaihe_RD172_HH164_TH250_Mallinnus21052024

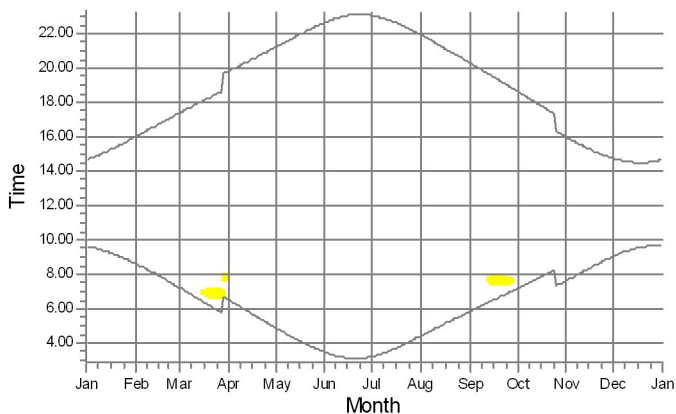
7: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (22)



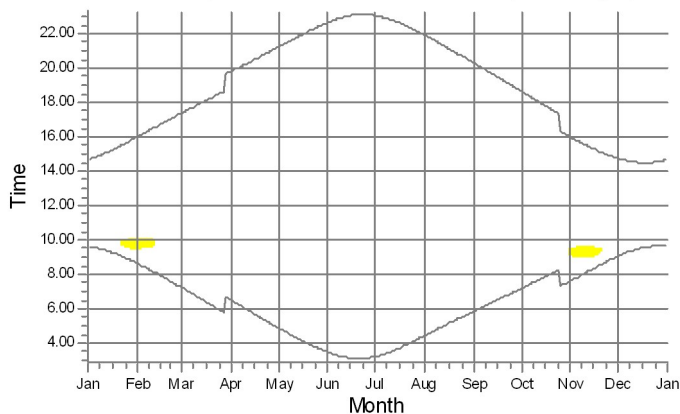
8: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (23)



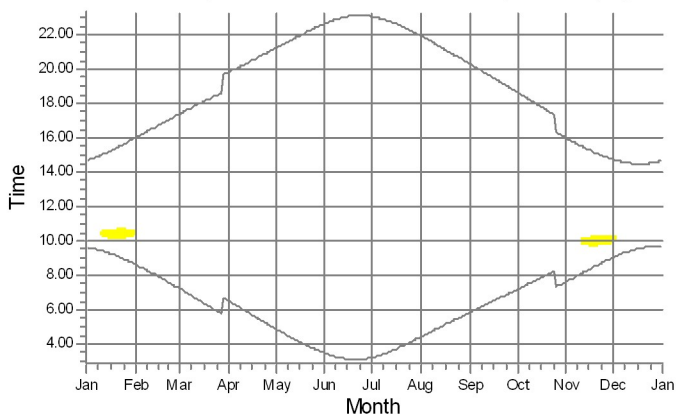
9: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (19)



10: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (18)



11: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (17)



WTGs

- KRP.1081: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (39)
- KRP.1071: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (41)

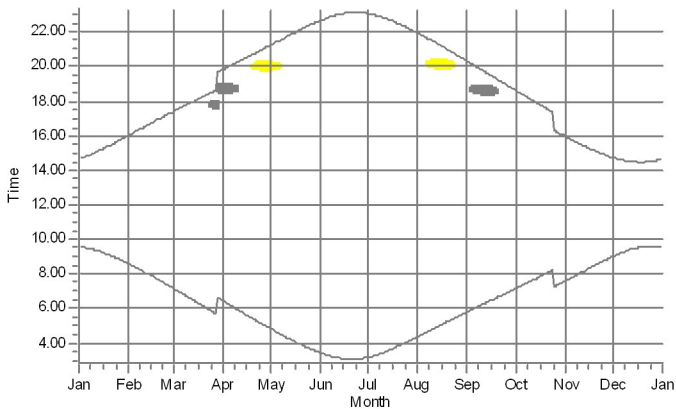
Project:
Korpivaara_Valke

Licensed user:
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel
-
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi
Calculated:
21.5.2024 14.39/4.0.540

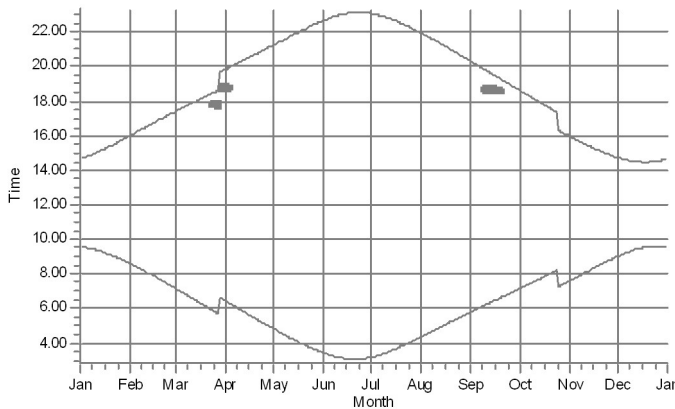
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Korpivaara_kaavaehdotusvaihe_Yhteismallinnus21052024

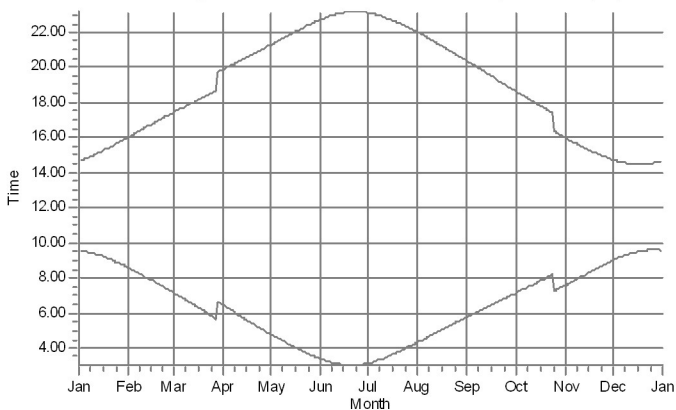
1: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (15)



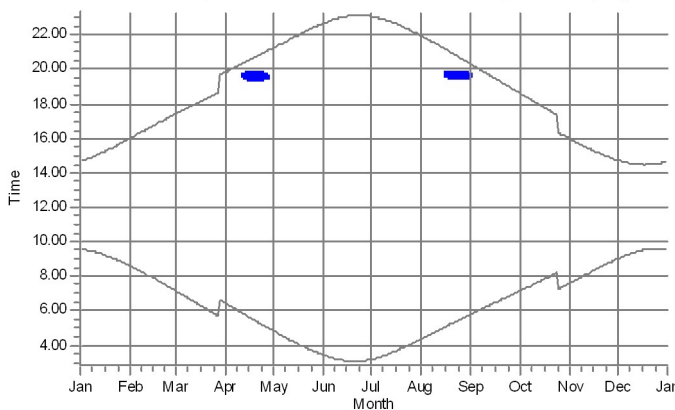
2: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (16)



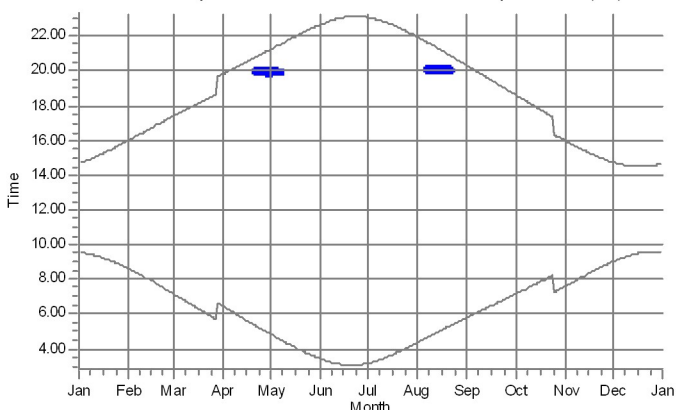
3: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (13)



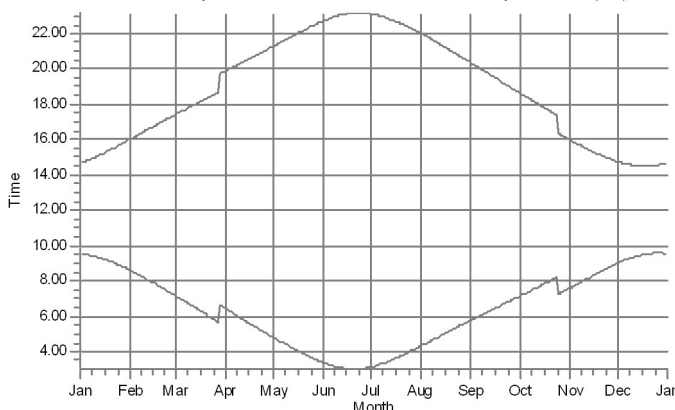
4: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (14)



5: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (20)



6: Shadow Receptor: 1.0 x 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (21)



WTGs

- KRP.1081: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IOI hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (39)
- KRP.1012: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IOI hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (40)

- KRP.1071: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IOI hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (41)

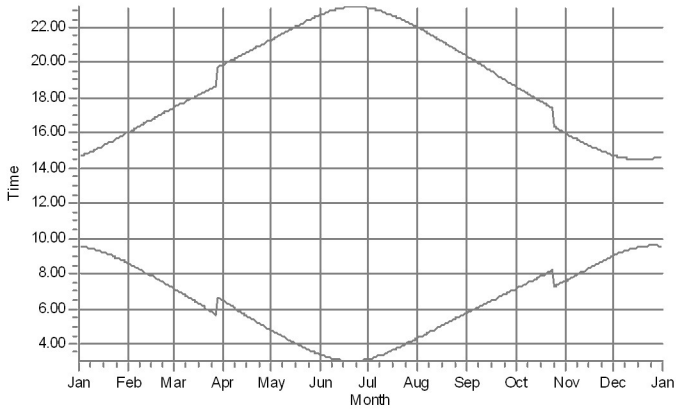
Project:
Korpivaara_Valke

Licensed user:
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel
-
Maria Niemi / maria.niemi@ramboll.fi
Calculated:
21.5.2024 14.39/4.0.540

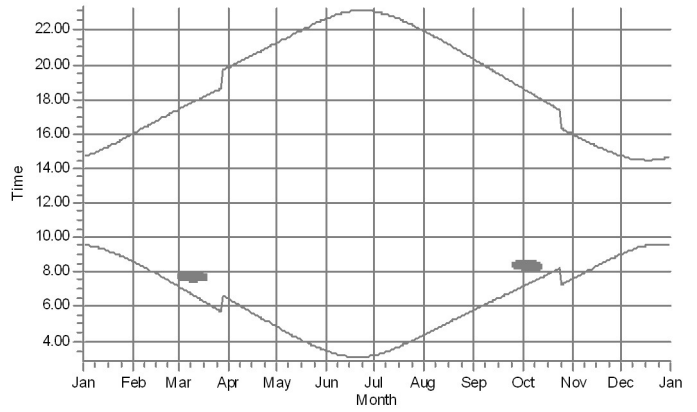
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Korpivaara_kaavaehdotusvaihe_Yhteismallinnus21052024

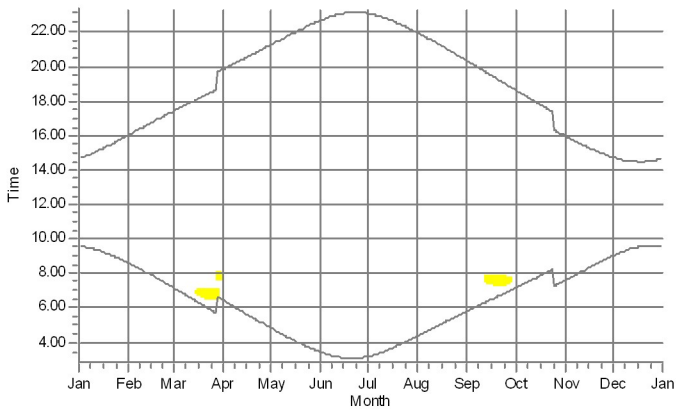
7: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (22)



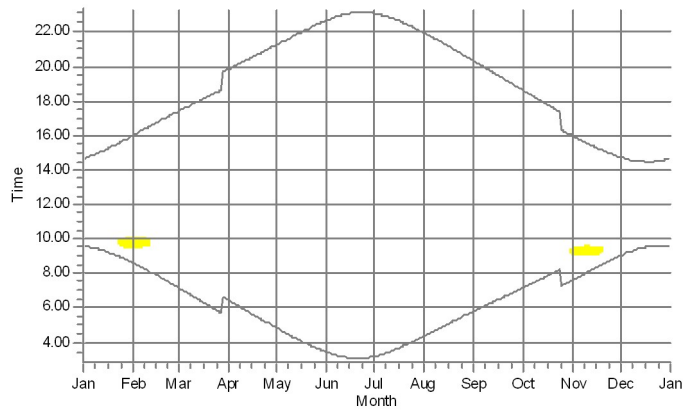
8: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (23)



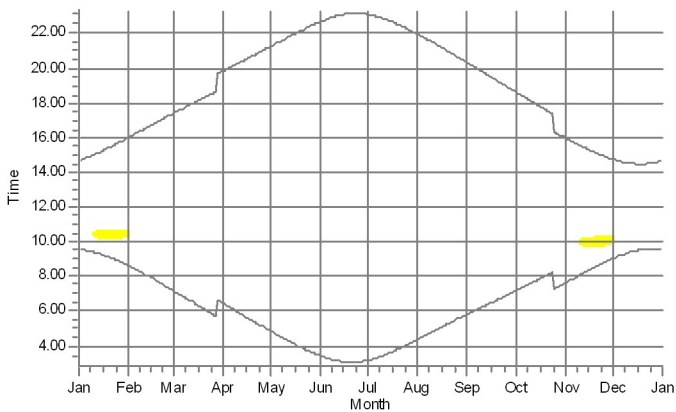
9: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (19)



10: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (18)



11: Shadow Receptor: 1.0 × 1.0 Azimuth: 0.0° Slope: 90.0° (17)



WTGs

KRP.1081: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IOI hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (39)

KRP.1071: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IOI hub: 164.0 m (TOT: 250.0 m) (41)