

MYRSKY OY

# LUUMÄEN SUURIKANKAAN TUULIVOIMALAITOS VÄLKEMALLINNUS

3.5.2024

JULKINEN

318380

REV: 1.0



---

## Sisällysluettelo

<b>1. Hankkeen tiedot ja tehtävän kuvaus .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Tiivistelmä selvityksen johtopäätöksistä.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Välkevaikutus ja vertailuarvot.....</b>	<b>3</b>
3.1. Välke ilmiönä .....	3
3.2. Vertailuarvot .....	4
<b>4. Lähtötiedot ja mallinnusmenetelmä .....</b>	<b>5</b>
4.1. Hankkeen lähtötiedot.....	5
4.2. Laskennassa käytetty tietoaineisto .....	6
4.3. Mallinnusmenetelmä.....	7
<b>5. Mallinnuksen tulokset .....</b>	<b>7</b>
5.1. Välkkeen vaikutusalue .....	7
5.2. Laskentapistekohtaiset välkemäärät .....	11
<b>6. Mallinnuksen epävarmuudet.....</b>	<b>15</b>
<b>Viitteet .....</b>	<b>15</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>16</b>

## 1. Hankkeen tiedot ja tehtävän kuvaus

Myrsky Energia Oy suunnittelee tuulivoimalaitosta Luumäen Suurikankaan alueelle. Osana YVA-lain (252/2017) mukaista hankkeen ympäristövaikutusten arviointia WSP Finland Oy on laatinut selvityksen suunnitellun tuulivoimalaitoksen välkevaikutuksista. Työn tilaaja on Myrsky Energia Oy.

Selvityksessä on arvioitu tuulivoimaloiden aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisen mallinnuksen ja vertailuarvojen avulla. Selvitys on laadittu perustuen Ympäristöministeriön oppaaseen *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu* [1]. Välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritetty ohjearvoja. Ympäristöministeriön suosituksen mukaisesti selvityksessä käytetään vertailuarvoina muiden maiden ohjearvoja.

Tarkastelu on tehty hankkeen hankevaihtoehdoille VE1 ja VE2. Mallinnuksen avulla tuotetaan laskennallinen välkevyöhykekartta, josta käy ilmi maksimaalisen välketilanteen vaikutusalue sekä vertailuarvojen mukaisesti rajatut teoreettisen maksimivälkkeen vyöhykkeet. Lisäksi myös todennäköisen tilanteen välkemäärät on esitetty välkevyöhykekarttana. Todennäköinen välkemäärä on aina maksimimäärää pienempi. Mikäli maksimivälketilanteen perusteella määritellyllä välkkeen vaikutusalueella tai hyvin lähellä sitä on asuin- tai lomarakennuksia, lasketaan niille laskentapistekohtainen todennäköinen vuotuinen välkemäärä, jossa on huomioitu tilastotietoon perustuvat paikalliset keskimääräiset aurinkoisuus- ja tuulusuolosuhteet.

Laskennan sekä raportin on laatinut projektipäällikkö DI Julia Turku ja tarkastanut tiimipäällikkö FM Sirpa Lappalainen sekä projektinjohtaja DI Janna Riikonen WSP Finland Oy:stä.

## 2. Tiivistelmä selvityksen johtopäätöksistä

Mallinnuksen perusteella suunnitellun tuulivoimalaitoksen molemmilla hankevaihtoehdolla välkevaikutuksen alueella on runsaasti asuin- tai lomarakennuksia ja useita kohteita sijaitsee vyöhykkeellä, jolla todellisen tilanteen vertailuarvo 8 h / vuosi todennäköisesti ylittyy. Hankevaihtoehdolla VE1 todellisen tilanteen vertailuarvo 8 h / vuosi todennäköisesti ylittyy yli 30 asuin- tai lomarakennukselle, kun hankevaihtoehdolla VE2 vertailuarvo ylittyy 17 kohteelle.

Tuulivoimaloiden välkevaikutusta voidaan lieventää rajoittamalla yksittäisten voimaloiden toiminta-aikaa herkkien kohteiden kannalta kriittisinä aikoina. Pysäytettynä voimala ei aiheuta välkettä.

## 3. Välkevaikutus ja vertailuarvot

### 3.1. Välke ilmiönä

Välkevaikutuksella tarkoitetaan valon ja varjon vilkkumista auringon paistaessa tuulivoimalan takaa. Roottorin lapojen pyöriminen aiheuttaa liikkuvan varjon, joka voi tuulivoimalan koosta, sijainnista ja auringon kulmasta riippuen ulottua n. 1-3 kilometrin päähän tuulivoimalasta. Vuoden- ja vuorokaudenaika vaikuttavat välkevaikutuksen suuntaan, etäisyyteen ja keston. Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu.

Suomessa yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika, jolloin aurinko paistaa etelän suunnalta ja varjo lankeaa pohjoiseen) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja ilta-ajat). Ainoastaan pohjoisen napapiirin pohjoispuolella vaikutus voi ulottua voimalan eteläpuolelle.

**Teoreettisen maksimivälkkeen** laskennassa oletetaan, että sää on pysyvästi aurinkoinen, tuulivoimalan roottoriin pyörii jatkuvasti ja roottori on aina kohtisuorassa aurinkoa kohden. Maksimivälkkeen mallinnuksella ennustetaan siis pahinta mahdollista tilannetta. Maksimivälke esitetään yleensä välkevyöhykekarttana, jonka kuvaamalle alueelle välkettä voi teoriassa aiheutua. Välkettä ei koskaan esiinny koko alueella samanaikaisesti.

Todellisesti välkettä on havaittavissa vain sään ollessa riittävän aurinkoinen. Tuulivoimalan pyörimisnopeus ja turbiinin suuntaus taas riippuu kulloinkin vallitsevasta tuulesta. Jos roottori ei pyöri, varjokaan ei vilku. Jos taas roottori on sellaisessa asennossa, että auringonpaiste tulee katsojasta nähden roottoriin sivusta eikä kohtisuoraan roottoriin läpi, välkealue on pienempi. Poikittain aurinkoon suuntautunut voimala aiheuttaa varjostusta pienemmälle alueelle kuin kohtisuoraan aurinkoon suuntautunut voimala.

Tämän vuoksi **todennäköisen välkemäärän** arvioinnissa huomioidaan paikallinen tilastoaineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta, tuulisuudesta voimalan toiminta-ajan osuuden arvioimiseksi, sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta roottoriin suuntauksen arvioimiseksi.

Todennäköisen tilanteen välkemäärä mallinnetaan herkille kohteille täsmällisesti kohteen sijainnissa. Kaikki välkkeen vaikutusalueella sijaitsevat sekä lähimmät vaikutusalueen ulkopuolella sijaitsevat asuin- tai lomarakennukset ja muut herkäät kohteet valitaan mallinnukseen laskentapisteiksi. Todennäköisen tilanteen mallinnuksella saadaan tarkin mahdollinen ennuste herkkään kohteeseen aiheutuvasta välkemäärästä, ja lisäksi sen ajoittumisesta. Mallissa ei kuitenkaan huomioida rakennusten ja puuston peitevaikutusta. Paikkoihin, joihin tuulivoimalat eivät ole nähtävissä, eivät ne myöskään aiheuta välkevaikutuksia. Tosiasiallisesti aiheutuva välkevaikutus on siis tyypillisesti laskennallista todennäköistä välkemäärää pienempi, koska osa laskennallisesta välkevaikutuksesta jää näkymättömiin esteiden taakse.

## 3.2. Vertailuarvot

Suomessa ei ole määritelty välkevaikutukselle raja-arvoja tai suosituksia. Valtioneuvoston julkaiseman *Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016 Tuulivoimarakentamisen suunnittelu* [1] mukaan on suositeltavaa käyttää apuna muiden maiden suosituksia välkkeen rajoittamisesta. Ohjeessa on annettu taulukon 1. mukaiset esimerkit raja-arvoista ja suosituksista asuinrakennuksiin tai muihin herkkiin kohteisiin kohdistuvalle välkkeelle. Arviointimenetelmien, mallinnusparametrien ja -oletusten perusteena on käytetty vastaavasti näiden maiden viranomaisten ohjejulkaisuja [2,3,4].



Taulukko 1. Raja-arvoja ja suosituksia suurimmasta hyväksyttävän väikevaikutuksen määrästä muissa maissa (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016).

Maa	Todellinen tilanne (real case)	Laskennallinen maksimitilanne (worst case)
Saksa (raja-arvo)	8 h / vuosi	30 h / vuosi 30 min / vrk
Tanska (raja-arvo)	10 h / vuosi	-
Ruotsi (suositus)	8 h / vuosi 30 min / vrk	-

## 4. Lähtötiedot ja mallinnusmenetelmä

### 4.1. Hankkeen lähtötiedot

Hankevaihtoehto VE1 sisältää 15 tuulivoimalaa. Tarkastelussa kaikkien voimaloiden mallina on käytetty Siemens Gamesa SG 6.6-170-6 600 -voimalamallia, napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimalamallin kokonaiskorkeus on 300 m.

Hankevaihtoehto VE2 poikkeaa vaihtoehdosta VE1 voimaloiden napakorkeuksien sekä sijaintien osalta. Vaihtoehto sisältää 15 tuulivoimalaa, ja tarkastelussa käytetty voimalamalli on sama kuin hankevaihtoehdossa VE1. Hankevaihtoehto sisältää 4 voimalaa joiden napakorkeus on 160 m, ja 11 voimalaa joiden napakorkeus on 165 m (ks. taulukko 3). Voimaloiden kokonaiskorkeudet ovat vastaavasti 245 m ja 250 m. Voimaloiden sijaintitiedot hankevaihtoehdoissa 1 ja 2 on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. Hankevaihtoehdon VE1 mukaiset voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa sekä maaston korkeudet vastaavasti.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	526662	6753234	94,6
WTG02	525856	6753180	93,2
WTG03	527175	6752650	96,5
WTG04	525394	6752287	102,4
WTG05	527780	6752090	101,4
WTG06	523452	6751980	80,7
WTG07	522670	6751831	80,5
WTG08	524525	6751800	86,6
WTG09	523324	6751172	82,8
WTG10	525466	6751173	95,7
WTG11	526277	6751091	103,8

WTG12	522659	6750565	82,7
WTG13	526881	6750610	89,0
WTG14	527028	6749669	85,9
WTG15	526881	6748744	72,3

Taulukko 3. Hankevaihtoehdon VE2 mukaiset voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa sekä maaston korkeudet vastaavasti. Lisäksi taulukossa on jokaisen tuulivoimalan napakorkeus (HH, hub height).

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]	HH [m]
WTG01	526515	6753190	84,0	165
WTG02	525706	6753249	97,2	165
WTG03	527115	6752661	101,7	160
WTG04	525491	6752379	92,2	160
WTG05	527015	6751608	93,6	165
WTG06	526266	6751604	94,4	165
WTG07	522925	6751800	83,6	160
WTG08	524345	6751718	81,7	165
WTG09	523433	6751262	80,9	165
WTG10	525315	6751511	97,6	165
WTG11	525832	6750987	86,7	165
WTG12	522681	6750508	82,3	165
WTG13	526701	6750586	94,4	165
WTG14	527116	6749561	86,1	165
WTG15	527165	6748712	72,2	160

## 4.2. Laskennassa käytetty tietoaineisto

Alueen korkeustiedot saatiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta 10 m resoluutiolla ja vähintään 2,0 m korkeustarkkuudella. Maastomallissa ei huomioitu puuston tai rakennusten vaikutusta välkevaikutuksen leviämiseen.

Alueen asuin- ja lomarakennusten sijainnit on saatu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta.

Todennäköisen tilanteen laskennalliseen arviointiin on käytetty Ilmatieteenlaitoksen Kouvolan Utin sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1991-2020 [5]. Keskimääräinen päivittäinen aurinkoisten tuntien määrä kuukausittain on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Keskimääräinen päivittäinen aurinkoisten tuntien määrä kuukausittain Ilmatieteen laitoksen Kouvolan Utin säähavaintoaseman aurinkoisuustietojen mukaan.

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0,90	2,21	4,35	6,23	8,87	8,50	8,81	6,90	4,50	1,94	0,77	0,45

Tuulisuustietona on käytetty Ilmatieteenlaitoksen Tuuliatlas -tietokannassa olevaa paikallisen mittaustilaston perusteella mallinnettua tuulisuustietoa hankkeen voimalamallin napakorkeutta lähimmässä mallinnuskorkeudessa (200 m) [6]. Tuulisuustiedoista on laskettu arvio tuulivoimaloiden vuotuiseksi toiminta-ajaksi ilmansuunnittain. Toiminta-aikaa laskettaessa on oletettu, että tuulivoimalat ovat toiminnassa tuulen nopeuden ollessa vähintään 3 m/s napakorkeudella. Arvio vuotuisesta kokonaistoiminta-ajasta on 98 %. Toiminta-aika on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Tuuliatlaksen paikallisista tuulisuustiedoista laskettu tuulivoimalaitoksen vuotuinen toiminta-aika tunteina ilmansuunnittain.

N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Sum
643	613	500	409	421	557	885	1265	1099	853	692	637	8575

### 4.3. Mallinnusmenetelmä

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkevaikutuksen esiintymisalue ja välkemäärät laskettiin EMD WindPRO 4.0 -ohjelman Shadow-moduulilla [7]. Ohjelma on yleisesti käytössä tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen mallinnuksessa. Mallinnusparametrien ja -oletusten valinnan perusteena käytettiin Saksan, Ruotsin ja Tanskan viranomaisten ohjejulkaisuja [2,3,4] sekä Suomessa aiemmin raportoituja tuulivoimalaitosten välkemallinnuksia soveltuvin osin.

Laskentapisteiden väliseksi etäisyydeksi asetettiin 10 metriä ja tarkastelukorkeudeksi 1,5 metriä maan pinnasta. Yleisesti käytössä olevan laskentatavan mukaan välkevaikutusta laskettaessa auringonpaistekulma horisontista on vähintään kolme astetta, jonka alle menevää auringon säteilyä ei huomioida.

Laskenta tehtiin 1 minuutin tarkkuudella. Välkkeen ilmenemisajaksi lasketaan se osa ajasta, jonka roottorin lapa peittää vähintään 20 % auringosta. Mallinuksissa ei huomioida puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaikutusta.

Laskentapistekohtaisessa todennäköisen välkemäärän laskennassa tehdään maksimaalisen välkemäärän tuloksiin vähennykset alueellisiin tilastollisiin aurinkoisuus- ja tuulisuustietoihin perustuen.

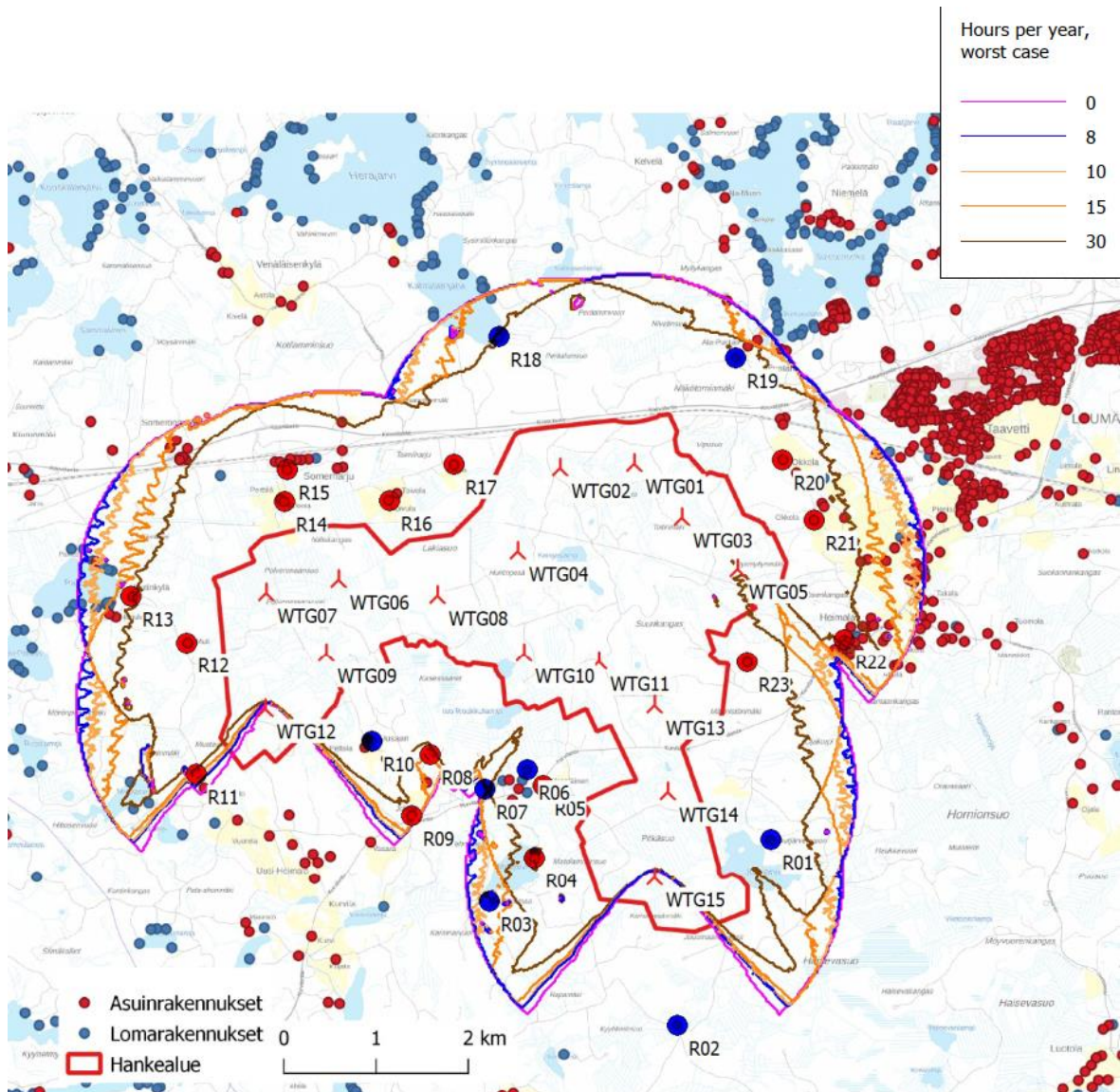
## 5. Mallinnuksen tulokset

### 5.1. Välkkeen vaikutusalue

Hankevaihtoehdoissa esitettyjen voimalaryhmien mallinnukseen perustuva arvio maksimivälkevaikutuksesta on esitetty välkevyöhykekarttana, jossa vyöhykkeet kuvaavat

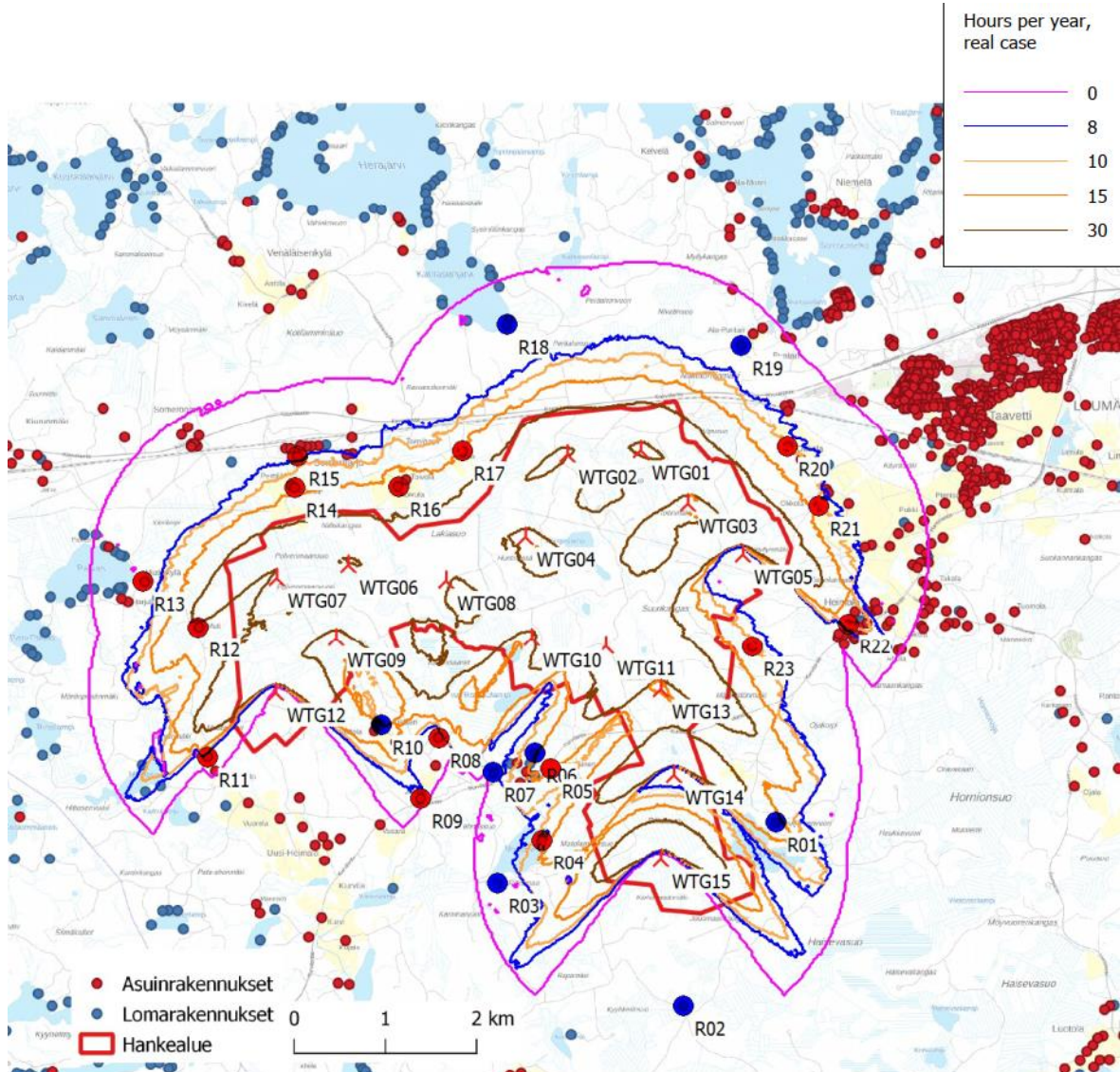
suurinta mahdollista välkemäärää tunteina vuodessa. Kunkin vyöhykerajan sisäpuolella välkemäärä on rajan merkitsemää tuntimäärää suurempi, vyöhykerajan ulkopuolella taas pienempi.

Arvio välkkeen vaikutusalueesta on laskettu myös todennäköisessä tilanteessa, eli huomioiden tilastotiedon paikallisista paisteisuus- ja tuulisuusolosuhteista. Välkevyyhykekartta maksimitilanteelle ja todennäköiselle tilanteelle on esitetty hankevaihtoehdolle VE1 kuvissa 1 ja 2, ja hankevaihtoehdolle VE2 kuvissa 3 ja 4. Mallinnusohjelmistosta tulostetut vastaavat välkevyyhykekartat mallinnusparametreineen ovat liitteinä 1 - 4.

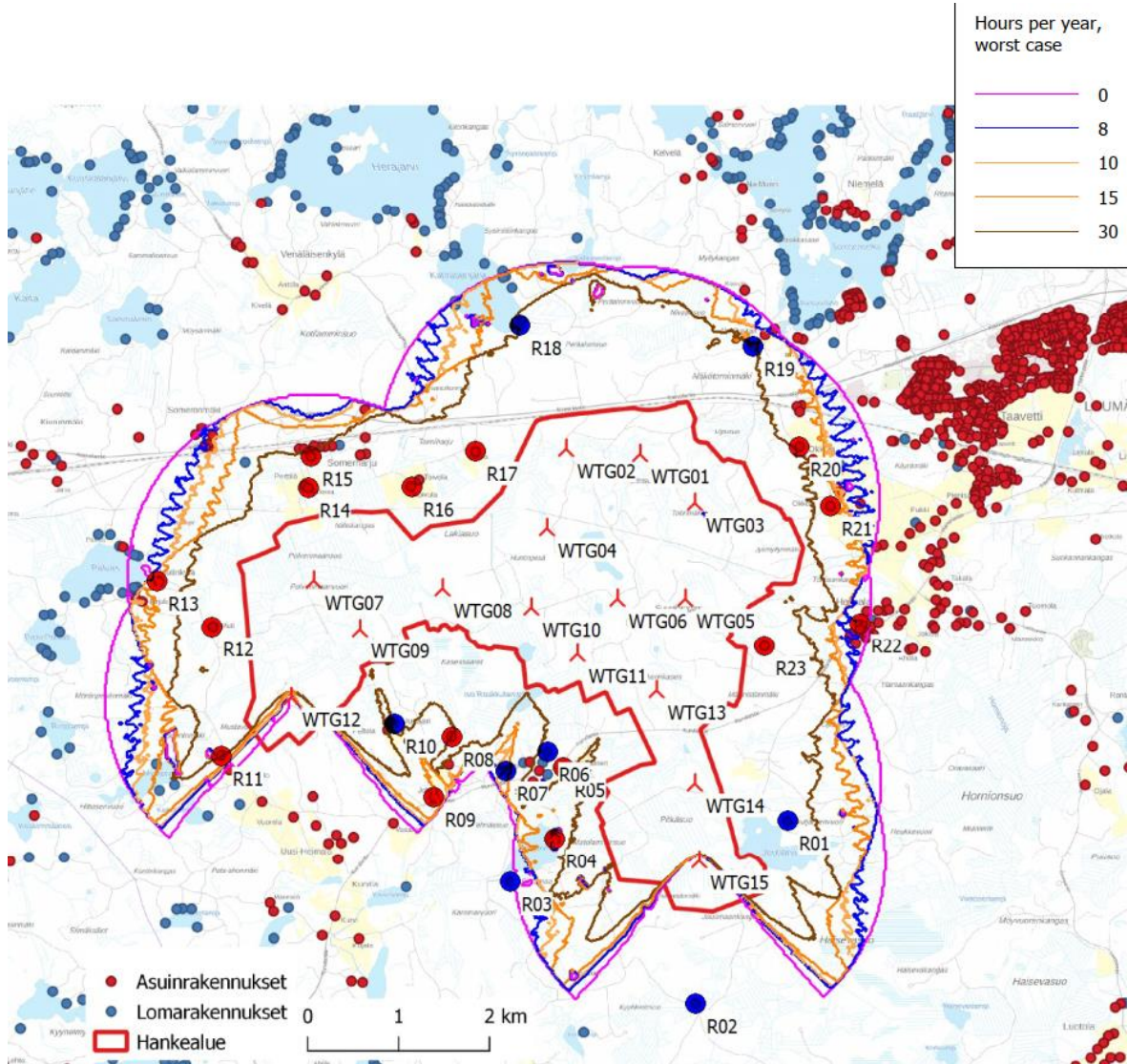


Kuva 1. Hankevaihtoehdon VE1 maksimivälkevaikutus vyöhykekarttana. Kunkin vyöhykerajan sisäpuolella välkemäärä on rajan merkitsemää tuntimäärää suurempi, vyöhykerajan ulkopuolella taas pienempi.



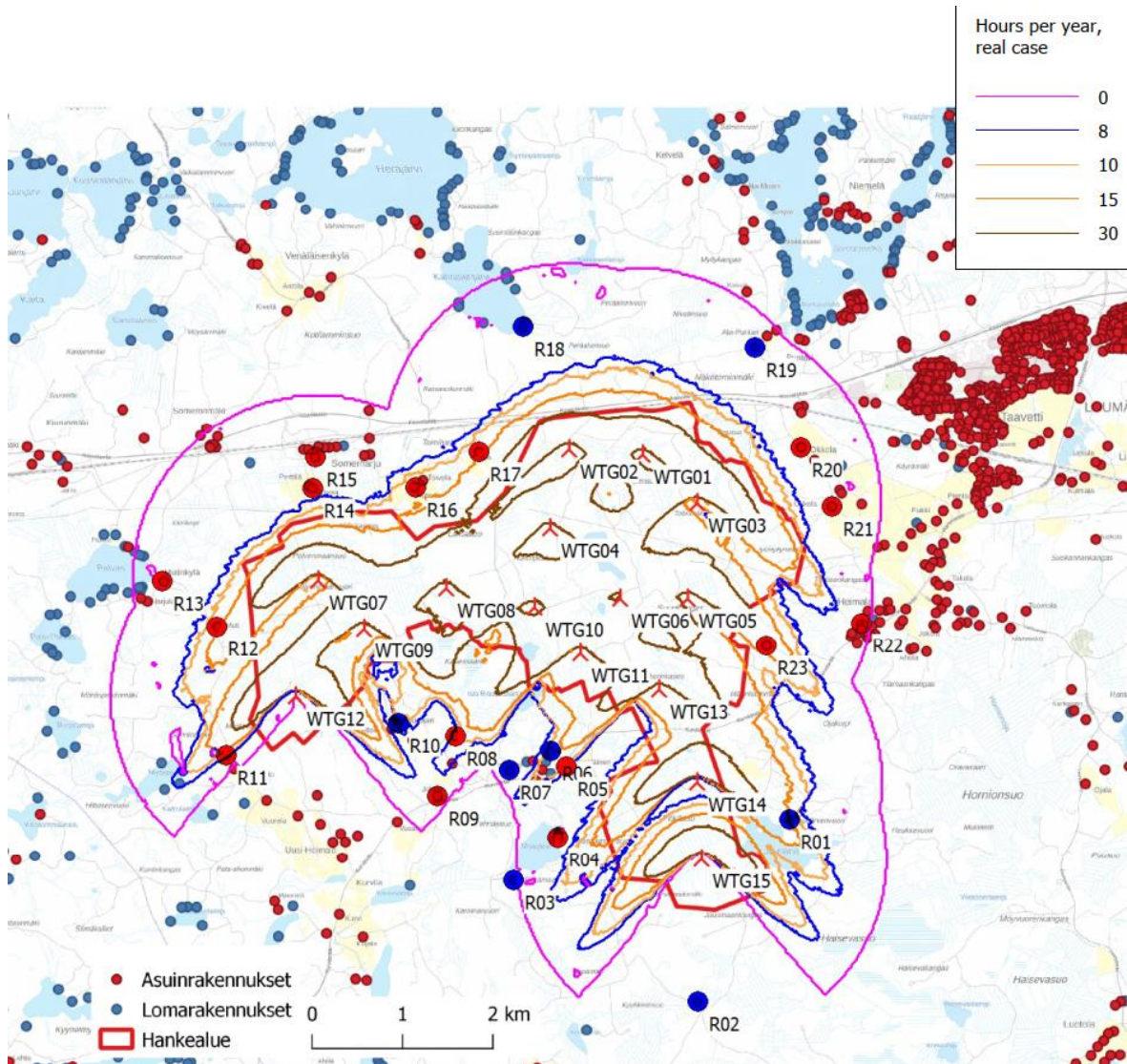


Kuva 2. Hankevaihtoehdolle VE1 arvioitu todennäköisen tilanteen välkevaikutus vyöhykekarttana. Kunkin vyöhykerajan sisäpuolella välkemäärä on rajan merkitsemää tuntimäärää suurempi, vyöhykerajan ulkopuolella taas pienempi.



Kuva 3. Hankevaihtoehdon VE2 maksimivälkevaikutus vyöhykekarttana.





Kuva 4. Hankevaihtoehdolle VE2 arvioitu todennäköisen tilanteen välkevaikutus vyöhykekarttana.

## 5.2. Laskentapistekohtaiset välkemäärät

Välkevyöhykekarttojen perusteella välkkeen vaikutusalueella sijaitsee runsaasti asuin- ja lomarakennuksia, jotka ovat välkevaikutuksen kannalta herkkiä kohteita. Otos kohteista on valittu laskentapisteksi, joille tehdään laskentapistekohtainen todennäköisen välkemäärän mallinnus. Valitut 23 laskentapistettä on esitetty taulukossa 6 sekä välkevyöhykekarttoja esittävässä kuvissa.

Laskentapistekohtaisen mallinnustuloksen perusteella voidaan todeta, että hankevaihtoehdon VE1 toteutuessa välkemäärät todennäköisesti ylittävät todellisen tilanteen vuorokautisen vertailuarvon 8 h / vuosi laskentapisteeissä R01, R04, R05, R06, R10, R12, R14, R16, R17, R20, R21, R22 ja R23. Laskentapisteen R05 ja R06, R10 sekä R22 läheisyydessä sijaitsee useita muitakin asuin- tai lomarakennuksia, joita ei ole valittu laskentapisteksi. Todellisen tilanteen vertailuarvo ylittyy todennäköisesti yhteensä yli 30

asuin- tai lomarakennukselle. Lisäksi useissa laskentapisteissä välkemäärä on lähellä vertailuarvoa.

Taulukko 6. Laskentapisteiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa sekä maaston korkeudet vastaavasti.

Laskenta- piste	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R01	528139	6749149	76,1	Lomarakennus
R02	527132	6747127	73,5	Lomarakennus
R03	525090	6748470	77,3	Lomarakennus
R04	525577	6748945	69,7	Asuinrakennus
R05	525676	6749734	83,5	Asuinrakennus
R06	525499	6749906	82,1	Lomarakennus
R07	525047	6749695	93,5	Lomarakennus
R08	524448	6750074	91,0	Asuinrakennus
R09	524250	6749410	85,0	Asuinrakennus
R10	523815	6750211	88,8	Lomarakennus
R11	521911	6749861	110,0	Asuinrakennus
R12	521812	6751283	93,6	Asuinrakennus
R13	521209	6751792	95,8	Asuinrakennus
R14	522867	6752819	91,0	Asuinrakennus
R15	522901	6753164	98,5	Asuinrakennus
R16	524008	6752828	85,7	Asuinrakennus
R17	524710	6753221	98,3	Asuinrakennus
R18	525192	6754609	78,8	Lomarakennus
R19	527763	6754387	101,2	Lomarakennus
R20	528272	6753275	88,1	Asuinrakennus
R21	528612	6752620	89,0	Asuinrakennus
R22	528935	6751331	98,6	Asuinrakennus
R23	527885	6751076	83,1	Asuinrakennus

Hankevaihtoehdon VE2 toteutuessa välkemäärät todennäköisesti ylittävät todellisen tilanteen vuorokautisen vertailuarvon 8 h / vuosi laskentapisteissä R01, R05, R06, R08, R10, R11, R12, R16, R17 ja R23. Vertailuarvo ylittyy todennäköisesti yhteensä 17 asuin- tai lomarakennukselle.

Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty hankevaihtoehdossa laskentapisteisiin kohdistuvat välkemäärät. Taulukoissa on esitetty myös väkettä aiheuttavat tuulivoimalat.



Taulukko 7. Hankevaihtoehdossa VE1 laskentapisteisiin kohdistuva vätkemäärä maksimitilanteessa sekä todennäköisessä tilanteessa. Laskentapisteet, joissa laskennallinen todennäköisen tilanteen vätkemäärä ylittää todellisen tilanteen vertailuarvon 8 h / vuosi, on merkitty tummennetulla värillä.

Laskenta- piste	Todennäköinen tilanne		Maksimitilanne (maksimivälkevyöhykkeen määrittämistä varten)		Vätkettä aiheuttavat voimat
	Tuntia / vuosi	Min / vrk	Tuntia / vuosi	Min / vrk	
R01	19 h 02 min	-	74 h 12 min	40	WTG14, WTG15
R02	0 h	-	0 h	0	-
R03	2 h 54 min	-	11 h 45 min	26	WTG15
R04	11 h 57 min	-	45 h 35 min	35	WTG14, WTG15
R05	16 h 02 min	-	68 h 26 min	34	WTG13 - WTG15
R06	13 h 19 min	-	56 h 18 min	32	WTG13 - WTG15
R07	1 h 56 min	-	8 h 51 min	23	WTG14
R08	4 h 45 min	-	19 h 16 min	25	WTG09, WTG12
R09	7 h 19 min	-	26 h 30 min	26	WTG12
R10	15 h 09 min	-	54 h 23 min	59	WTG10, WTG12
R11	5 h 54 min	-	20 h 02 min	33	WTG09
R12	27 h 15 min	-	113 h 02 min	49	WTG06, WTG07, WTG09, WTG12
R13	5 h 21 min	-	28 h 37 min	32	WTG07, WTG12
R14	13 h 46 min	-	143 h 54 min	86	WTG06 – WTG09
R15	6 h 15 min	-	81 h 01 min	71	WTG06, WTG07
R16	19 h 07 min	-	147 h 14 min	97	WTG02, WTG04, WTG06 – WTG09
R17	16 h 10 min	-	117 h 59 min	68	WTG01, WTG02, WTG04, WTG06, WTG08
R18	3 h 16 min	-	35 h 14 min	36	WTG01, WTG02
R19	4 h 12 min	-	45 h 22 min	30	WTG01, WTG03
R20	10 h 28 min	-	68 h 19 min	38	WTG01, WTG03, WTG05
R21	11 h 07 min	-	53 h 00 min	46	WTG03, WTG05
R22	10 h 33 min	-	38 h 24 min	36	WTG05
R23	11 h 06 min	-	62 h 16 min	41	WTG11, WTG13, WTG14

Taulukko 8. Hankevaihtoehdossa VE2 laskentapisteisiin kohdistuva välkemäärä maksimitilanteessa sekä todennäköisessä tilanteessa.

Laskenta- piste	Todennäköinen tilanne		Maksimitilanne (maksimivälkevyöhykkeen määrittämistä varten)		Välkettä aiheuttavat voimalat
	Tuntia / vuosi	Min / vrk	Tuntia / vuosi	Min / vrk	
R01	16 h 19 min	-	65 h 58 min	37	WTG13 – WTG15
R02	0 h	-	0 h	0	-
R03	0 h	-	0 h	0	-
R04	5 h 37 min	-	22 h 35 min	25	WTG13, WTG14
R05	9 h 51 min	-	41 h 31 min	30	WTG13 – WTG15
R06	11 h 58 min	-	42 h 40 min	30	WTG13, WTG14
R07	3 h 20 min	-	10 h 53 min	22	WTG13
R08	8 h 34 min	-	29 h 24 min	25	WTG11, WTG12
R09	4 h 39 min	-	16 h 23 min	22	WTG12
R10	11 h 11 min	-	41 h 38 min	35	WTG10, WTG12
R11	10 h 01 min	-	33 h 22 min	40	WTG12
R12	12 h 56 min	-	58 h 52 min	34	WTG07, WTG09, WTG12
R13	2 h 30 min	-	14 h 51 min	23	WTG07, WTG12
R14	6 h 37 min	-	86 h 31 min	66	WTG07 – WTG09
R15	2 h 49 min	-	43 h 34 min	53	WTG07, WTG09
R16	12 h 17 min	-	112 h 15 min	60	WTG02, WTG04, WTG07 – WTG10
R17	13 h 39 min	-	102 h 54 min	51	WTG01, WTG02, WTG04, WTG08, WTG10
R18	2 h 50 min	-	36 h 25 min	36	WTG01, WTG02
R19	2 h 40 min	-	31 h 07 min	24	WTG01, WTG03
R20	4 h 16 min	-	22 h 58 min	30	WTG01, WTG03
R21	3 h 48 min	-	19 h 19 min	26	WTG03, WTG05
R22	1 h 30 min	-	6 h 28 min	21	WTG05
R23	19 h 48 min	-	88 h 57 min	42	WTG05, WTG06, WTG13, WTG14

Mallinnusohjelmistosta tulostetut laskentapistekohtaiset välkkeen esiintyvyydiagrammit hankevaihtoehdoille VE1 ja VE2 ovat liitteenä 5 ja 6.

## 6. Mallinnuksen epävarmuudet

Maksimaalisen välkemäärän laskenta perustuu hyvin tunnettuun ja pysyvään geometriaan, joten laskennallisen ennusteen ylittyminen ei ole todennäköistä. Epävarmuustekijät vaikuttavat toteutuvaa välkemäärää vähentävästi.

Vaikutusalueen määrittäminen suoritetaan rajallisella määrällä laskentapisteitä sekä ajallisesti että sijainneittain, mikä vähentää tuloksen tarkkuutta. Mikäli maksimivälkealueella tai sen läheisyydessä on herkkiä kohteita, mallinnetaan lisäksi välkkeen esiintyvyys tarkemmin näissä kohteissa.

Puusto ja rakennukset voivat rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, ja niiden sekä rakennusten peittovaikutus voi muuttua tuulivoimalan käyttöänsä aikana.

Herkän kohteen laskentapistekohtaista todennäköisen välkemäärän esiintyvyyttä mallinnettaessa huomioidaan tilastolliset aurinkoisuus- ja tuulusuolosuhteet kohdealueella. Yksittäisen vuoden aurinkoisuus- ja tuulusuolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi laskennassa käytetyistä tilastollisesti keskimääräisistä sääolosuhteista, jolloin vuosittain toteutunut välkemäärä vaihtelee ja voi poiketa merkittävästi todennäköiselle tilanteelle mallinnetusta arvosta.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, eli rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta. Sisätiloissa havaittavissa oleva välkemäärä on siis selvästi mallinnettua vähäisempi.

Helsingissä 3.5.2024

WSP Finland Oy

Laatinut:

Julia Turku

Projektipäällikkö

Kestävyys ja ympäristövaikutukset

Tarkastanut:

Sirpa Lappalainen

Tiimipäällikkö

Akustiikka ja melu

## Viitteet

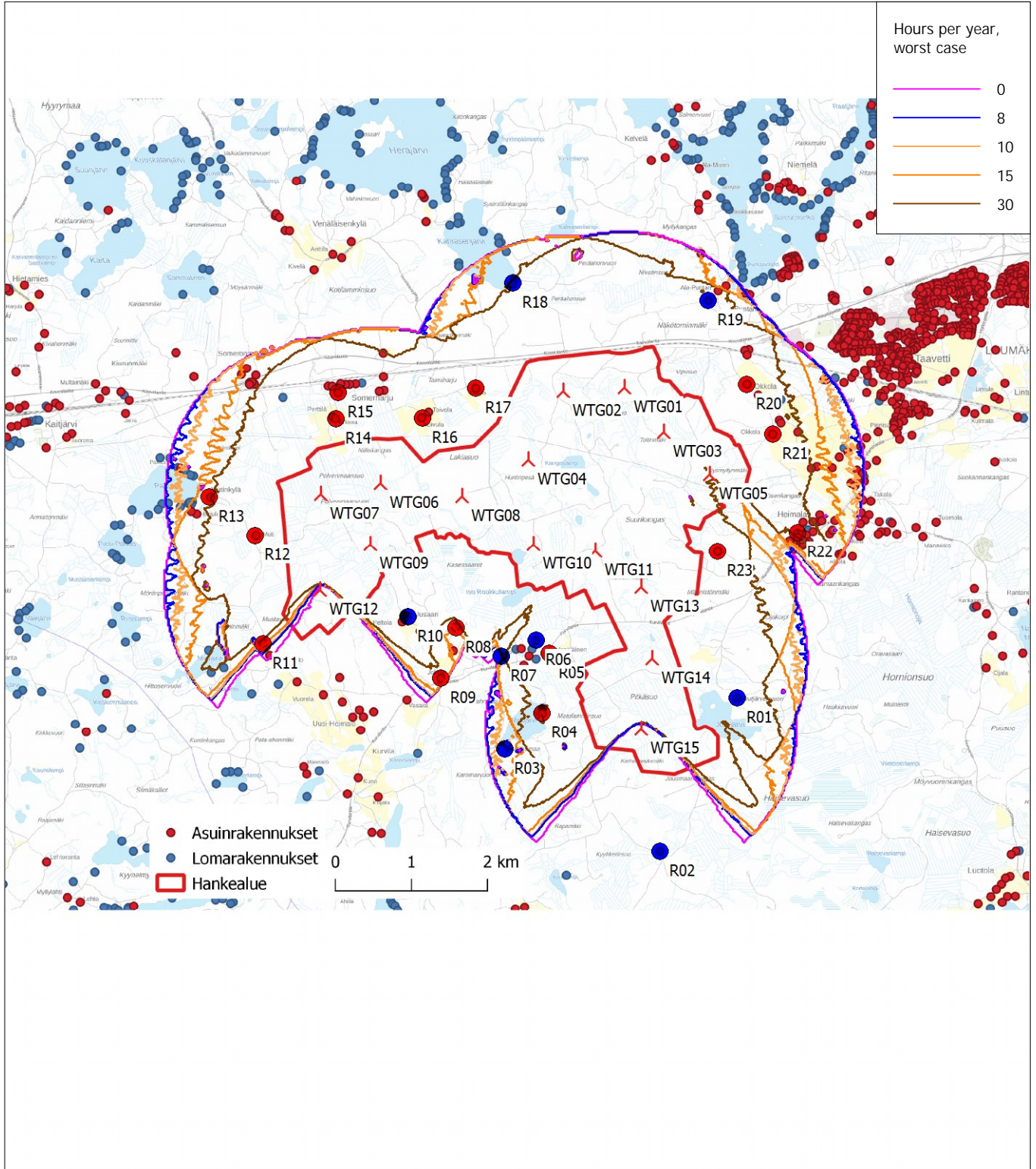
- 1) Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
- 2) Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise
- 3) Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, Boverket 2009

- 4) Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2015
- 5) Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020, Raportteja 2021:8
- 6) Suomen Tuuliatlas, [Suomen Tuuliatlas \(fmi.fi\)](https://fmi.fi) (19.10.2023)
- 7) WindPRO 4.0 Knowledge base, [WindPRO Online Help \(emd.dk\)](https://emd.dk) (19.10.2023)

## Liitteet

- 1) Välkevyöhykekartta VE1
- 2) Välkevyöhykekartta VE2
- 3) Välkevyöhykekartta VE1 – Todennäköinen tilanne
- 4) Välkevyöhykekartta VE2 – Todennäköinen tilanne
- 5) Välkkeen esiintyvyys laskentapisteissä VE1
- 6) Välkkeen esiintyvyys laskentapisteissä VE2

SHADOW - Map  
Calculation: VE1 HH200

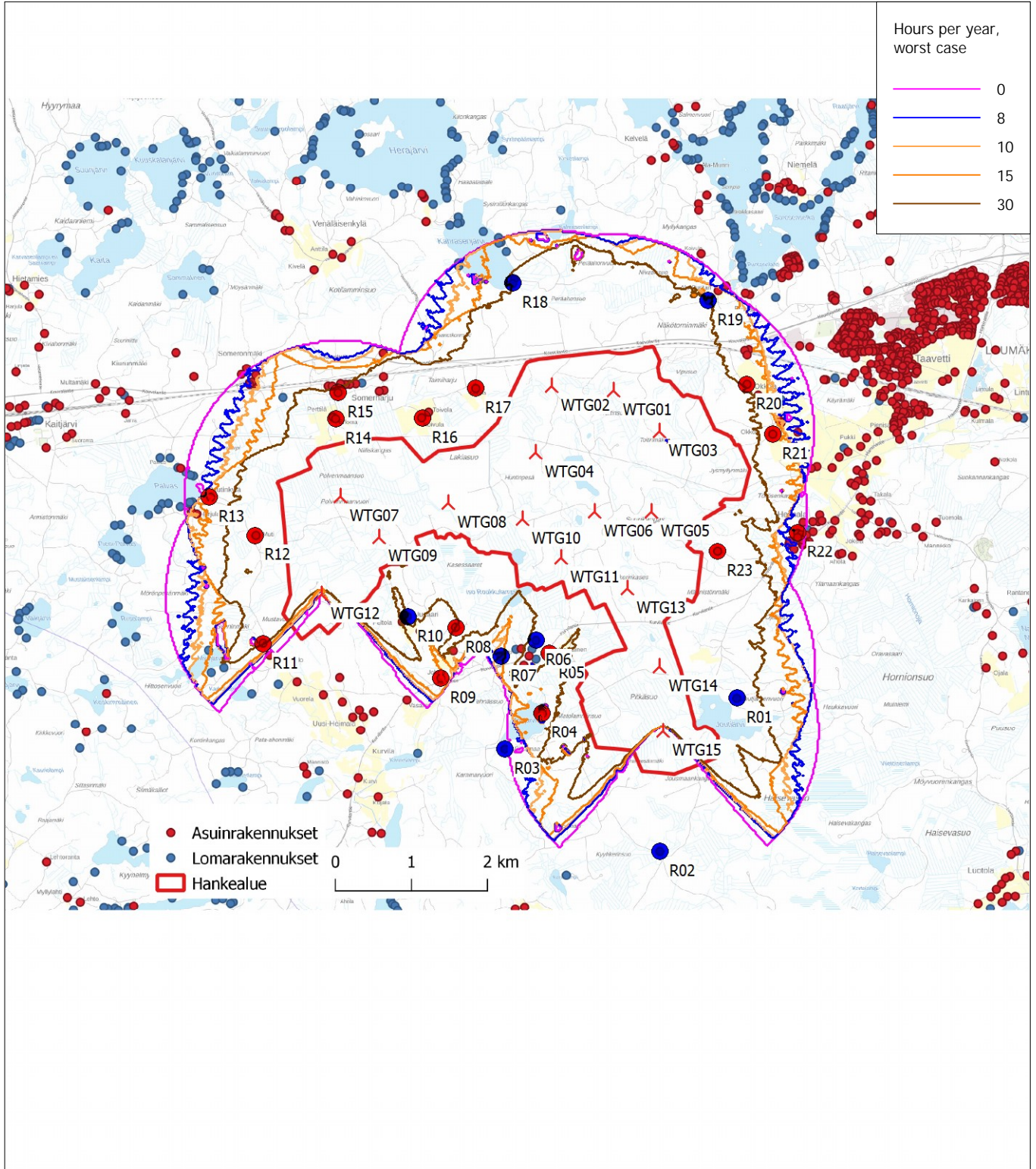


Map: Luumäki hankealue ja rakennukset , Print scale 1:75 000, Map center Finish TM ETRS-TM35FIN-ETRS89 East: 525 220 North: 6 750 640  
▲ New WTG ● Shadow receptor  
 Flicker map level: Project Wizard Elevation Data Grid (Finnish Elevation Model - 10m grid)  
 Time step: 3 minutes, Day step: 7 days, Map resolution: 20 m, Visibility resolution: 10 m, Eye height: 1,5 m



## SHADOW - Map

Calculation: VE2 HH160-165

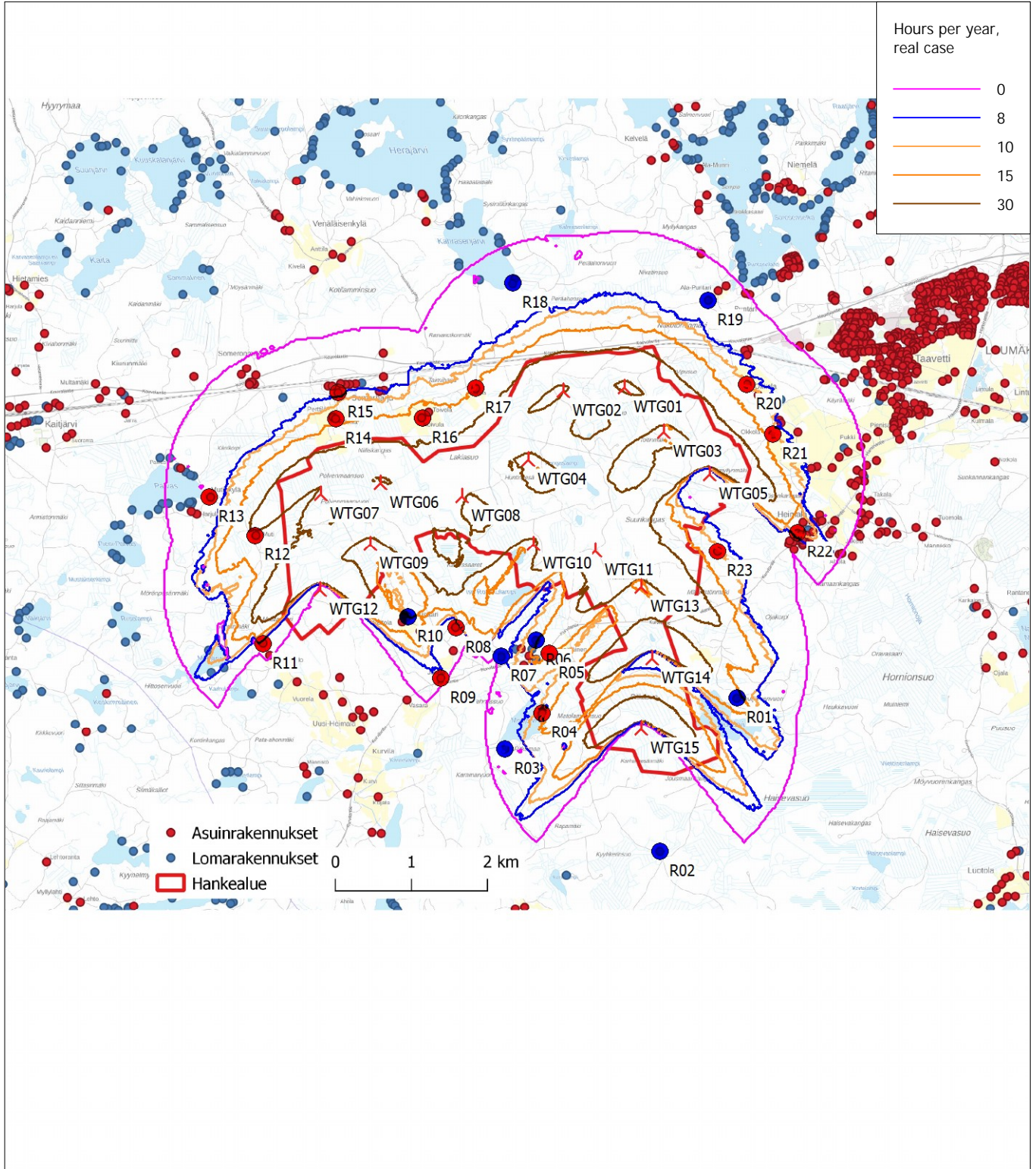


Map: Luumäki hankealue ja rakennukset , Print scale 1:75 000, Map center Finish TM ETRS-TM35FIN-ETRS89 East: 525 220 North: 6 750 640  
▲ New WTG ● Shadow receptor  
 Flicker map level: Project Wizard Elevation Data Grid (Finnish Elevation Model - 10m grid)  
 Time step: 3 minutes, Day step: 7 days, Map resolution: 20 m, Visibility resolution: 10 m, Eye height: 1,5 m



## SHADOW - Map

Calculation: VE1 HH200 Todennäköinen tilanne

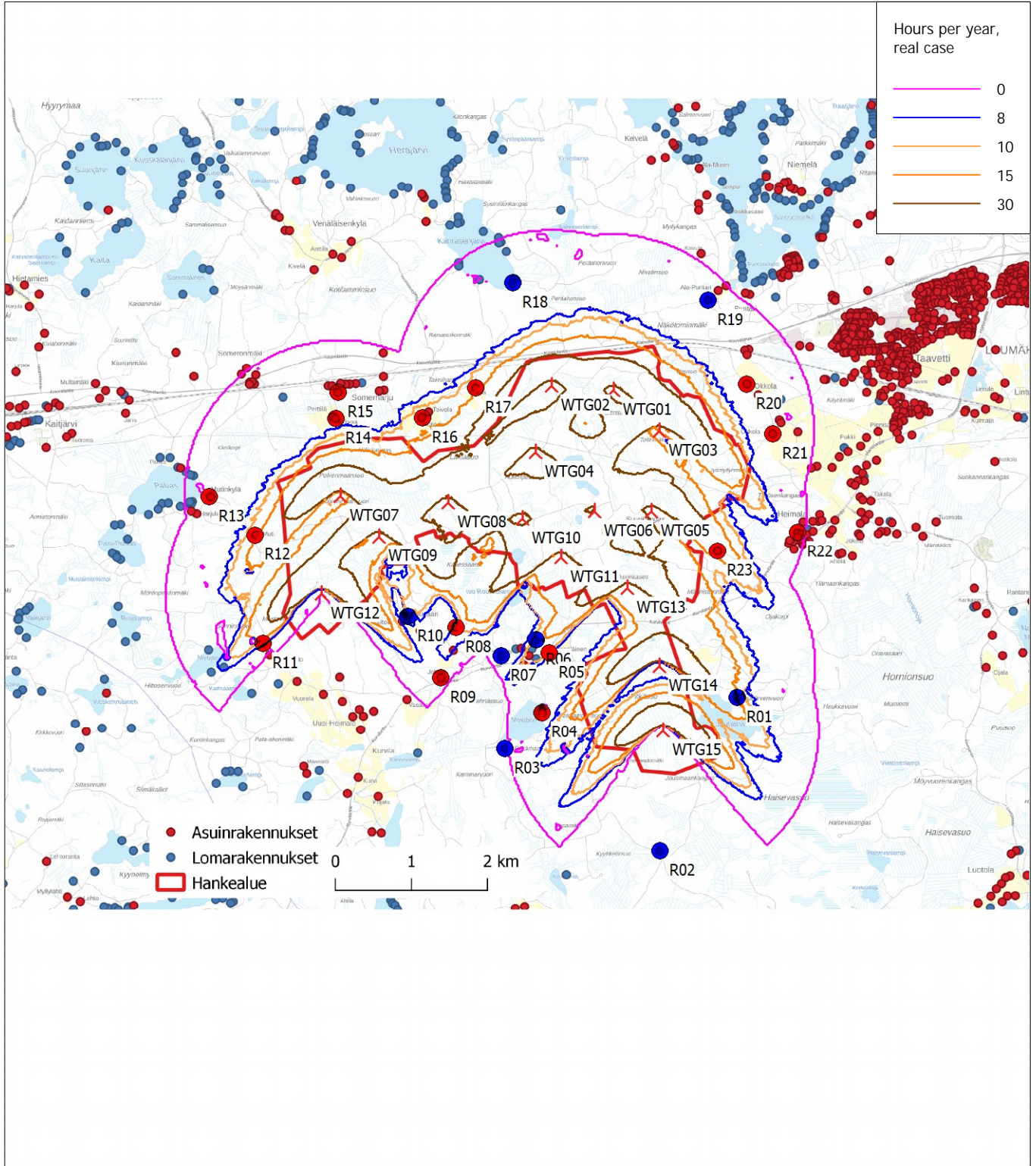


Map: Luumäki hankealue ja rakennukset , Print scale 1:75 000, Map center Finish TM ETRS-TM35FIN-ETRS89 East: 525 220 North: 6 750 640  
 New WTG      Shadow receptor  
 Flicker map level: Project Wizard Elevation Data Grid (Finnish Elevation Model - 10m grid)  
 Time step: 3 minutes, Day step: 7 days, Map resolution: 20 m, Visibility resolution: 10 m, Eye height: 1,5 m



## SHADOW - Map

Calculation: VE2 HH160-165 Todennäköinen tilanne



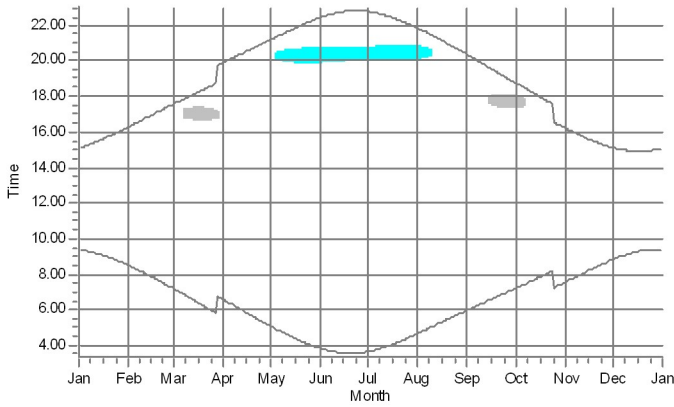
Map: Luumäki hankealue ja rakennukset , Print scale 1:75 000, Map center Finish TM ETRS-TM35FIN-ETRS89 East: 525 220 North: 6 750 640  
 New WTG Shadow receptor   
 Flicker map level: Project Wizard Elevation Data Grid (Finnish Elevation Model - 10m grid)  
 Time step: 3 minutes, Day step: 7 days, Map resolution: 20 m, Visibility resolution: 10 m, Eye height: 1,5 m



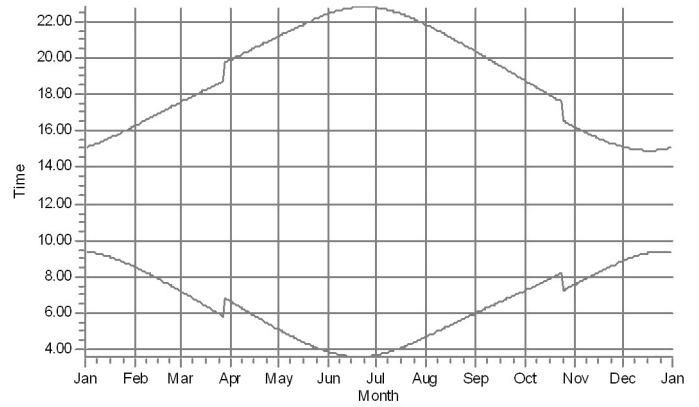
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE1 HH200 Todennäköinen tilanne

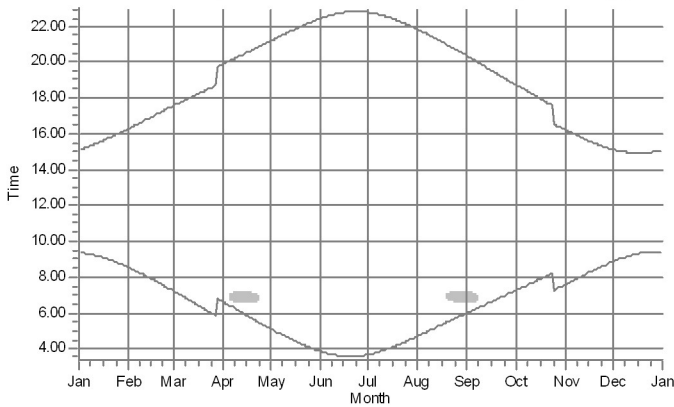
R01: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (1)



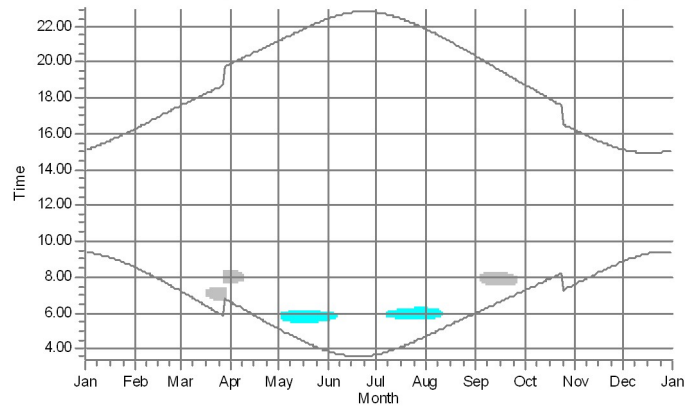
R02: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (2)



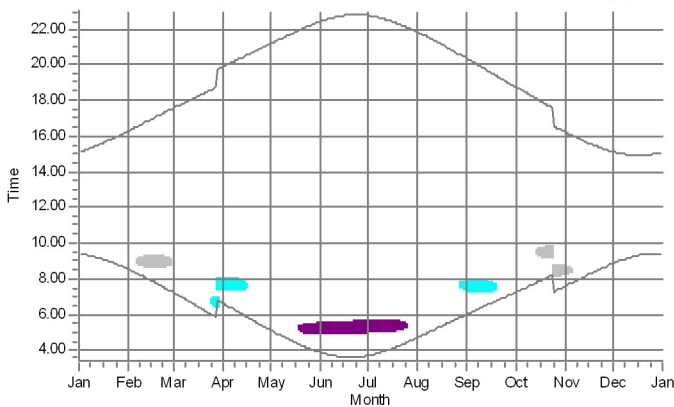
R03: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (3)



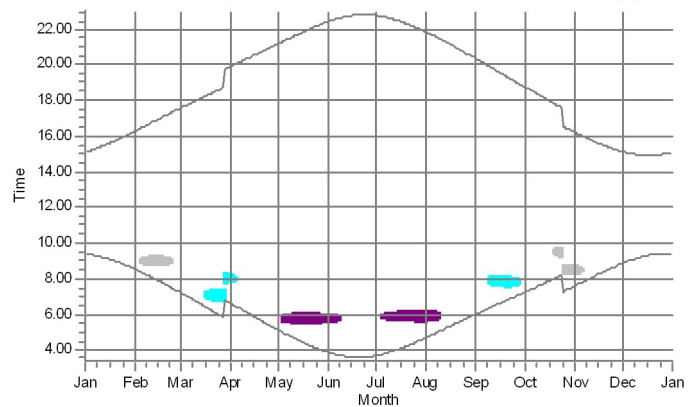
R04: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (4)



R05: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (5)



R06: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (6)



WTGs

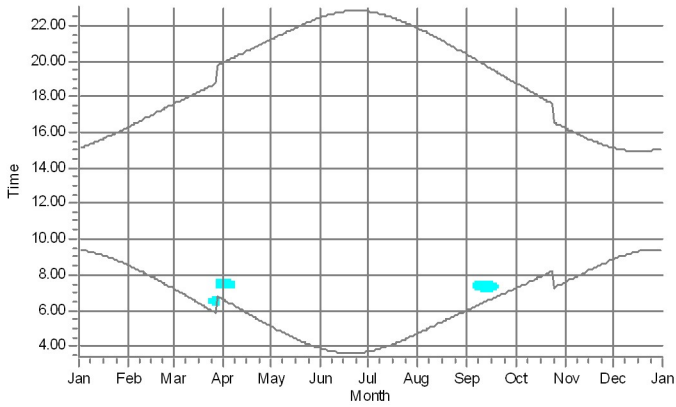
- WTG13: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (11)
- WTG15: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (12)

- WTG14: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (13)

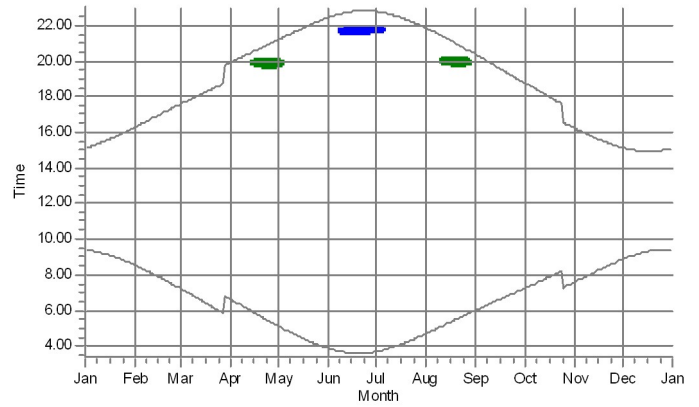
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE1 HH200 Todennäköinen tilanne

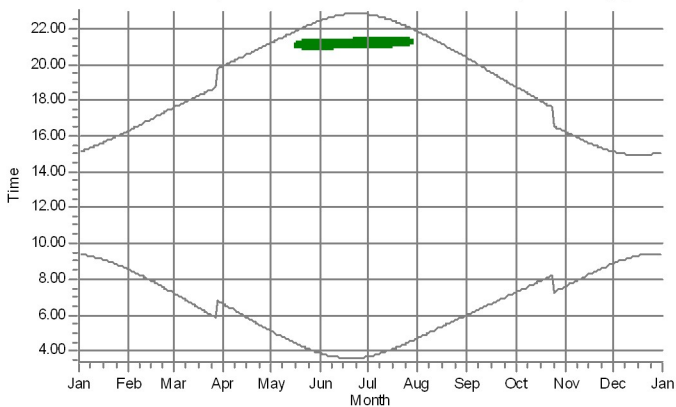
R07: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (7)



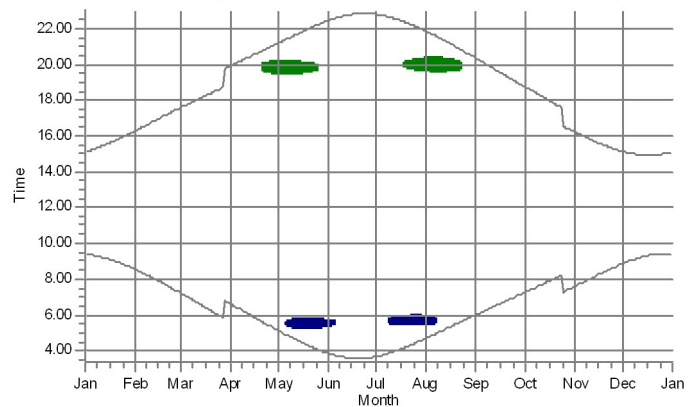
R08: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (8)



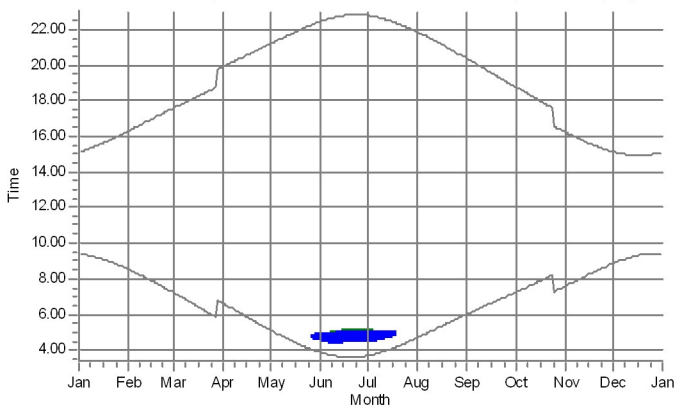
R09: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (9)



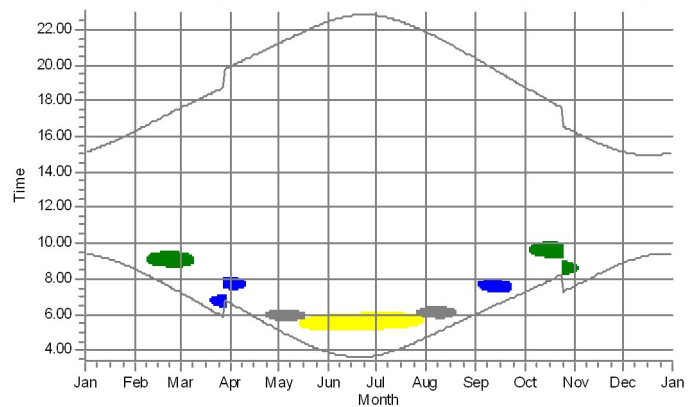
R10: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (10)



R11: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (11)



R12: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (12)



WTGs

- WTG12: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (1)
- WTG07: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (2)
- WTG09: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (3)

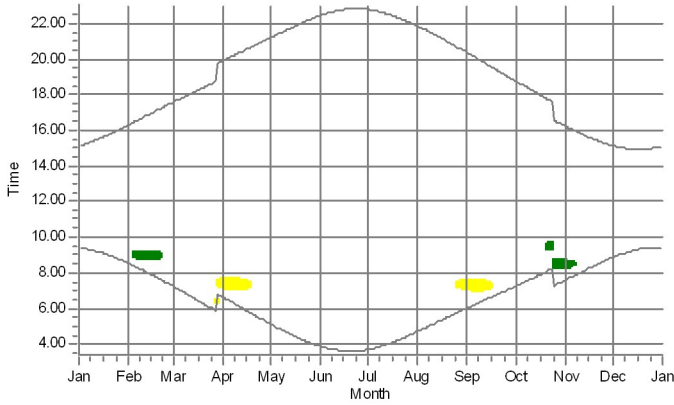
- WTG06: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (4)
- WTG10: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (7)
- WTG14: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (13)



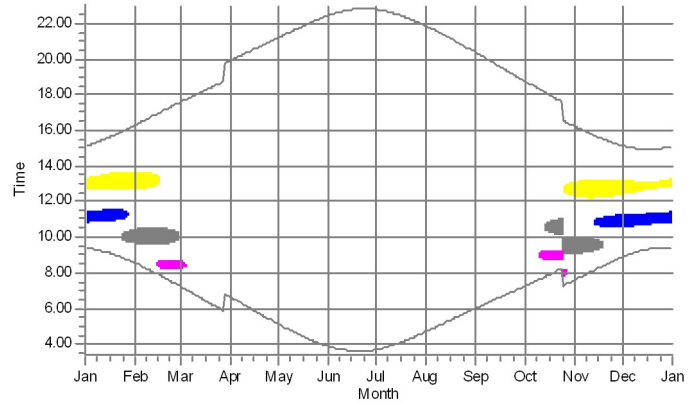
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE1 HH200 Todennäköinen tilanne

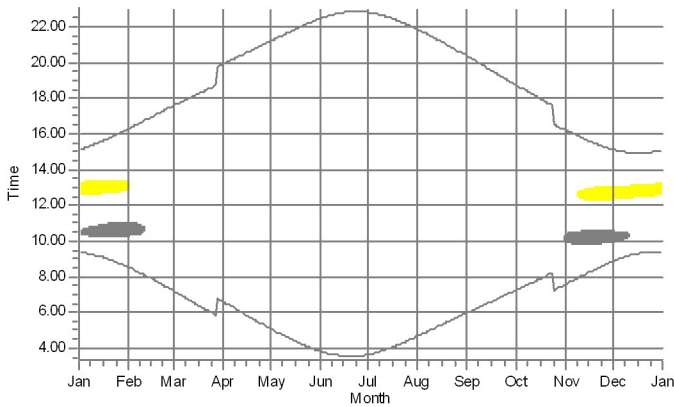
R13: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (13)



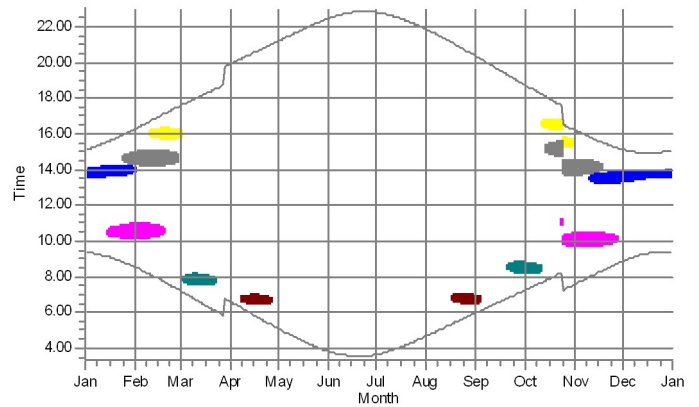
R14: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (14)



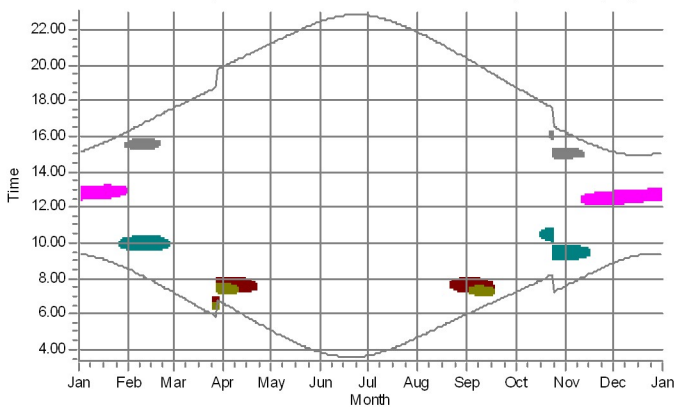
R15: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (15)



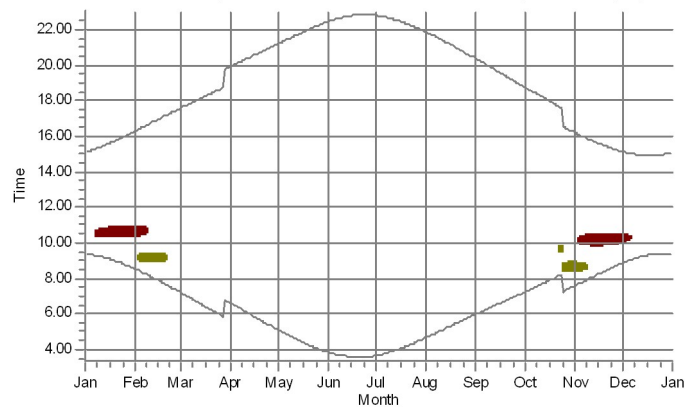
R16: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (16)



R17: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (17)



R18: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (18)



WTGs

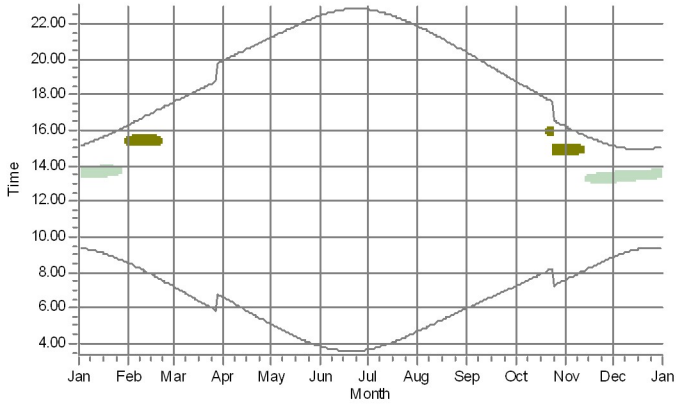
- WTG12: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (1)
- WTG07: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (2)
- WTG09: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (3)
- WTG06: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (4)

- WTG08: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (5)
- WTG04: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (6)
- WTG02: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (8)
- WTG01: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (10)

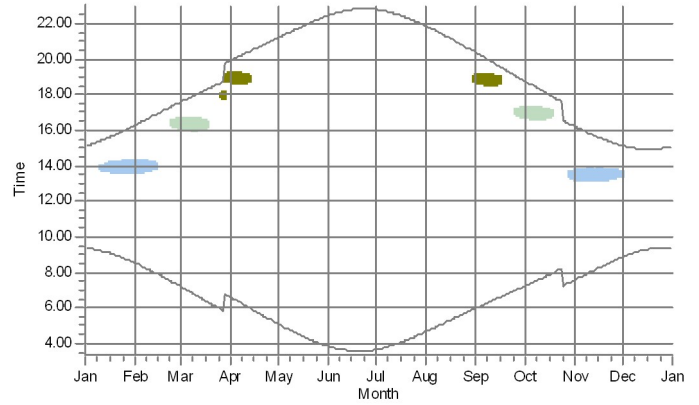
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE1 HH200 Todennäköinen tilanne

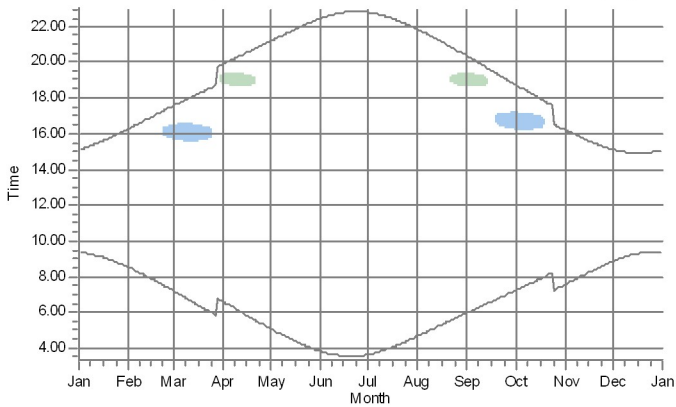
R19: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (19)



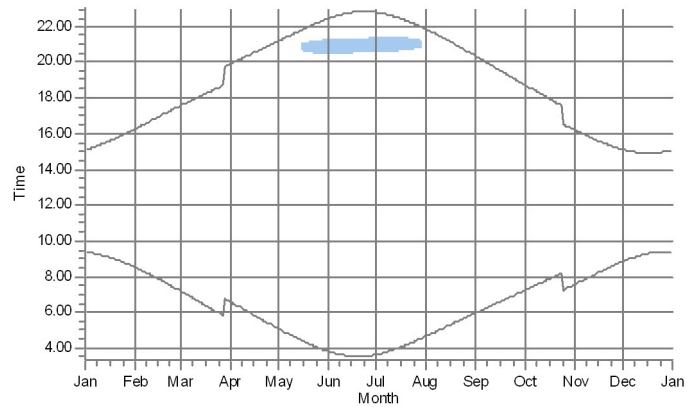
R20: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (20)



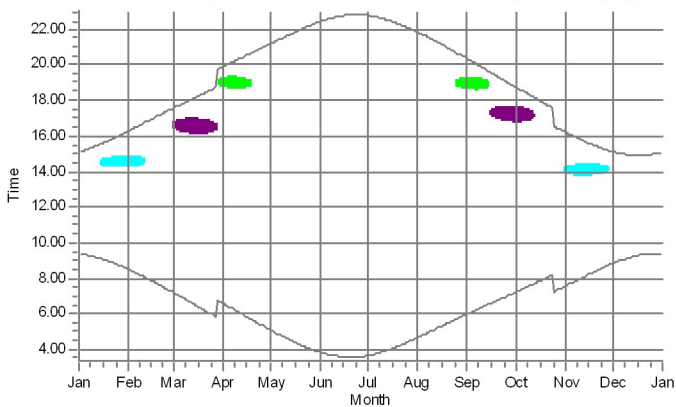
R21: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (21)









R22: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (22)



R23: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (23)



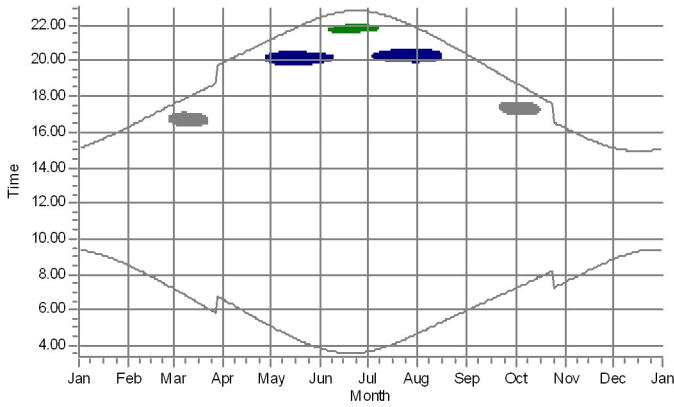
WTGs

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | WTG11: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (9)  |  | WTG14: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (13) |
|  | WTG01: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (10) |  | WTG03: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (14) |
|  | WTG13: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (11) |  | WTG05: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 200.0 IO! hub: 200,0 m (TOT: 300,0 m) (15) |

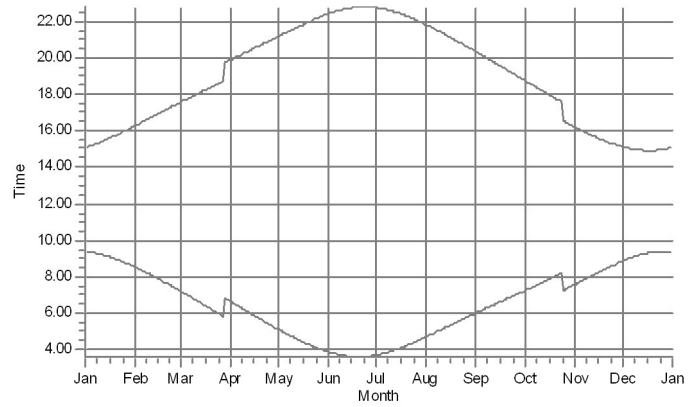
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE2 HH160-165 Todennäköinen tilanne

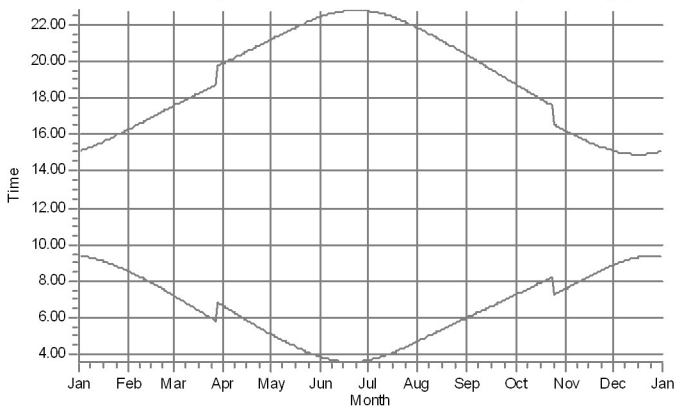
R01: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (1)



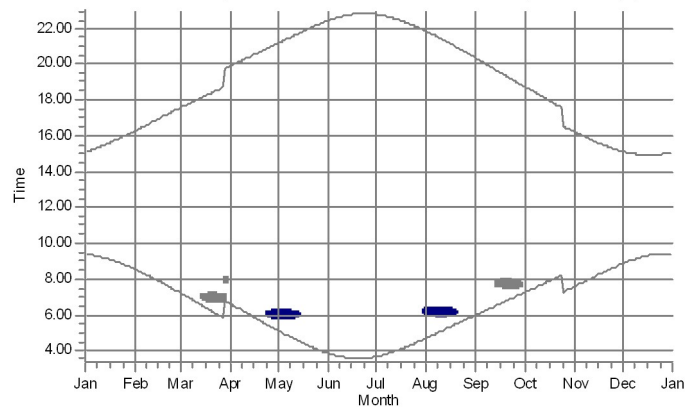
R02: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (2)



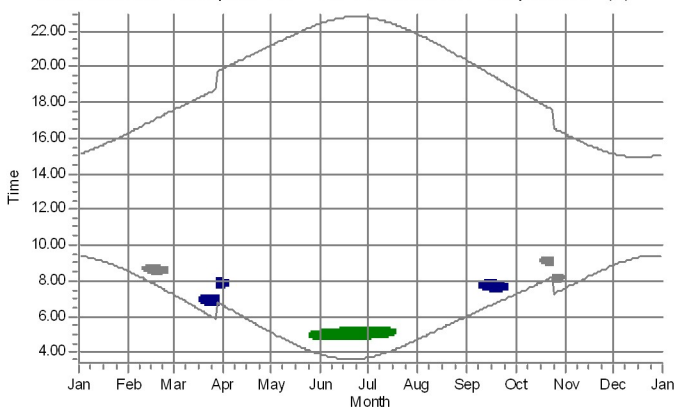
R03: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (3)



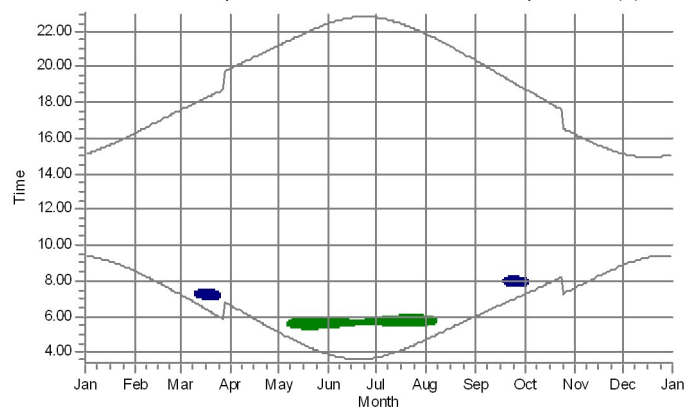
R04: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (4)



R05: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (5)



R06: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (6)



WTGs

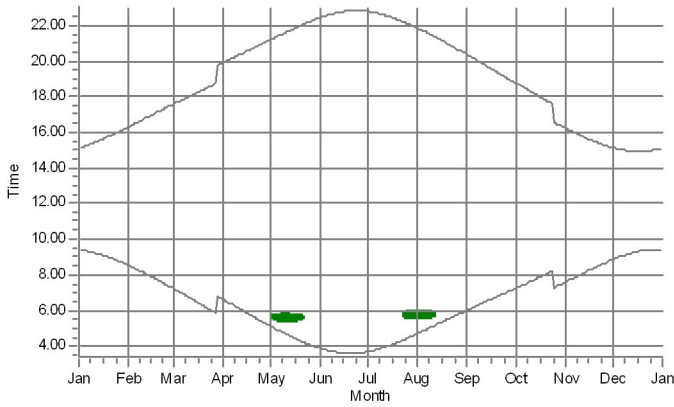
- WTG13: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (31)
- WTG15: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 160,0 m (TOT: 245,0 m) (34)

- WTG14: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (37)

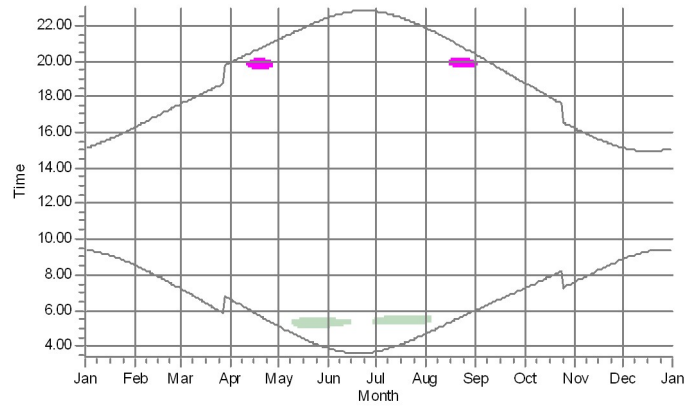
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE2 HH160-165 Todennäköinen tilanne

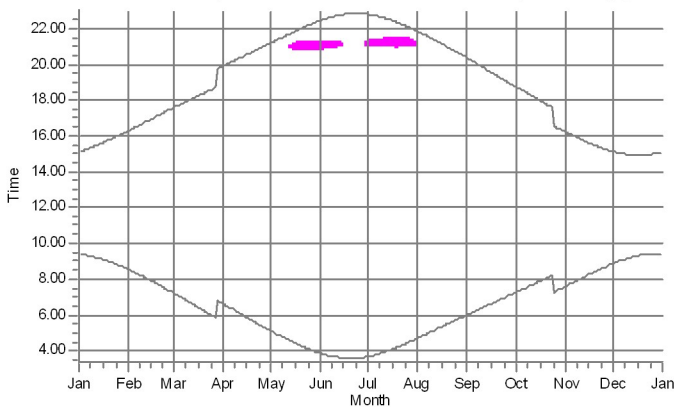
R07: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (7)



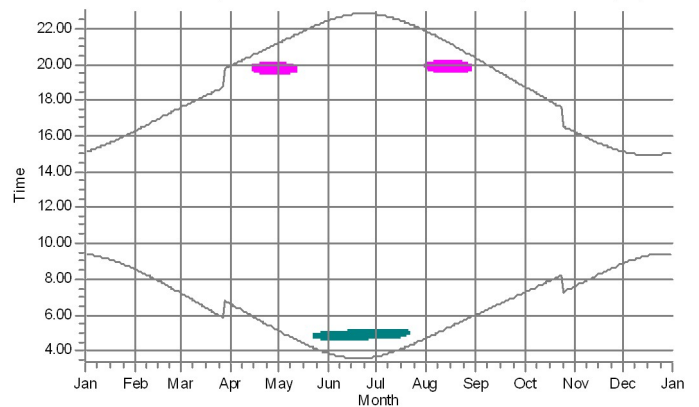
R08: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (8)



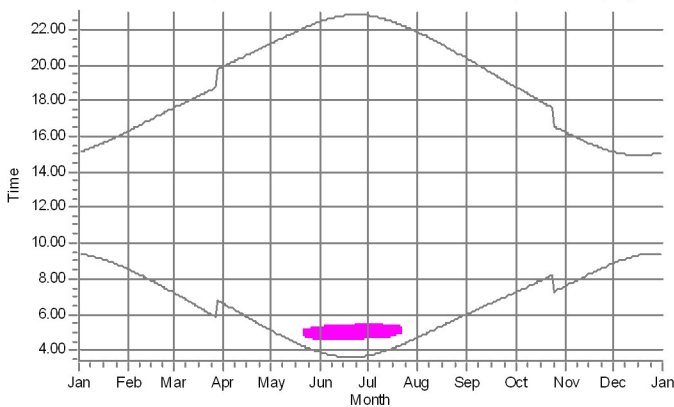
R09: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (9)



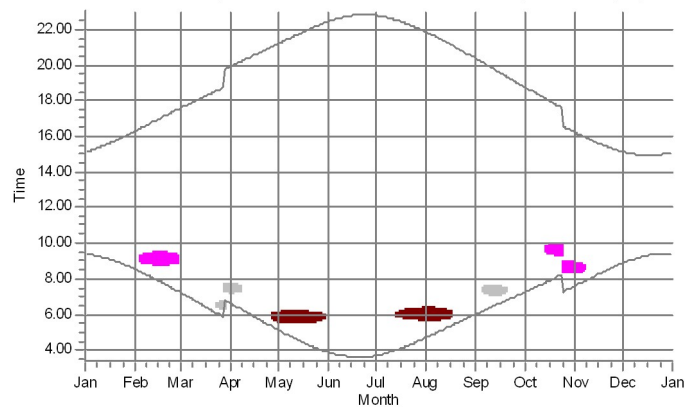
R10: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (10)



R11: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (11)



R12: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (12)



WTGs

- WTG13: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (31)
- WTG12: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (35)
- WTG10: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (36)

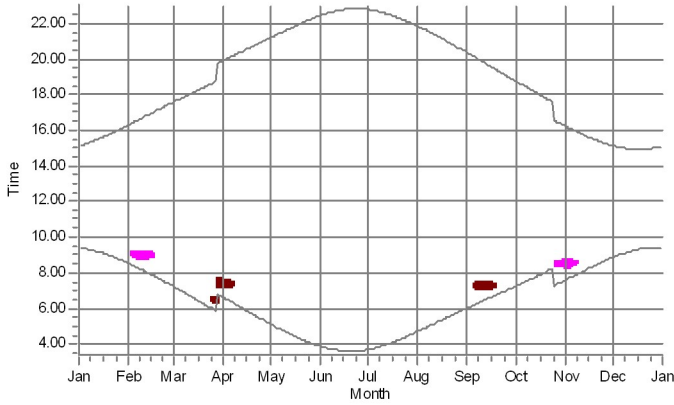
- WTG07: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 160,0 m (TOT: 245,0 m) (38)
- WTG09: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (42)
- WTG11: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (44)



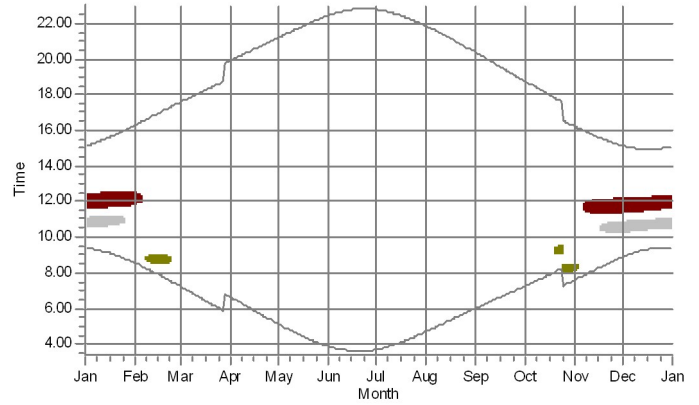
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE2 HH160-165 Todennäköinen tilanne

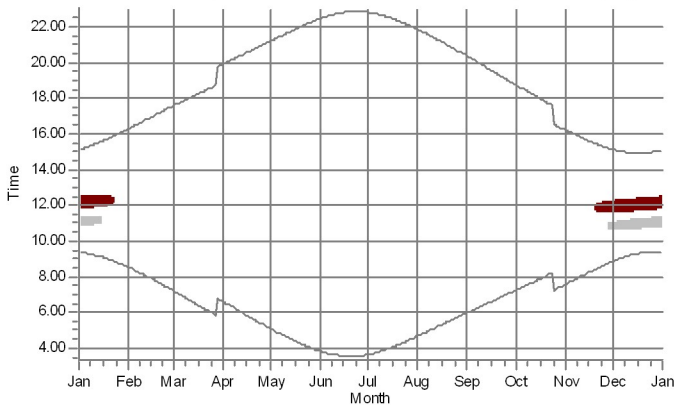
R13: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (13)



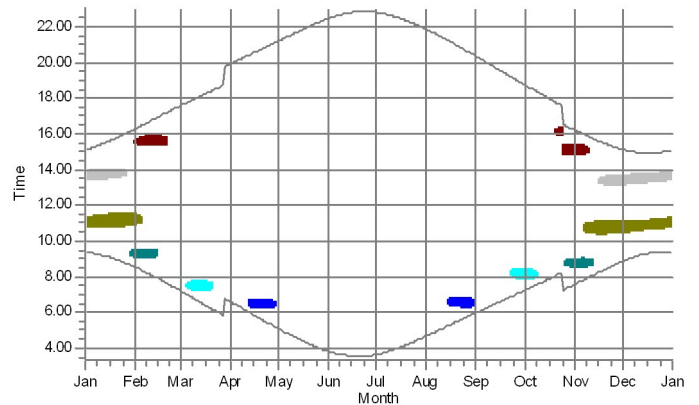
R14: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (14)



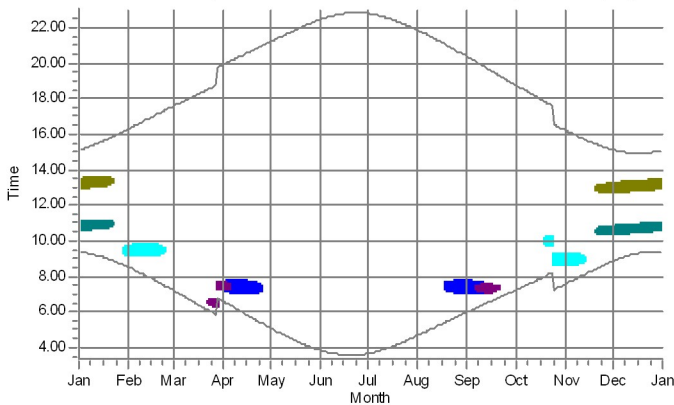
R15: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (15)



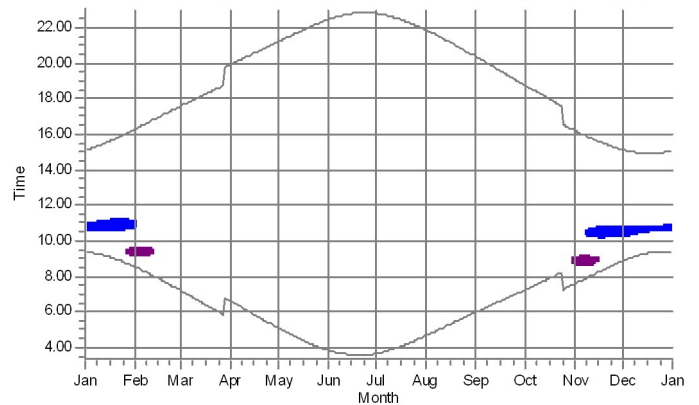
R16: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (16)



R17: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (17)



R18: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (18)



WTGs

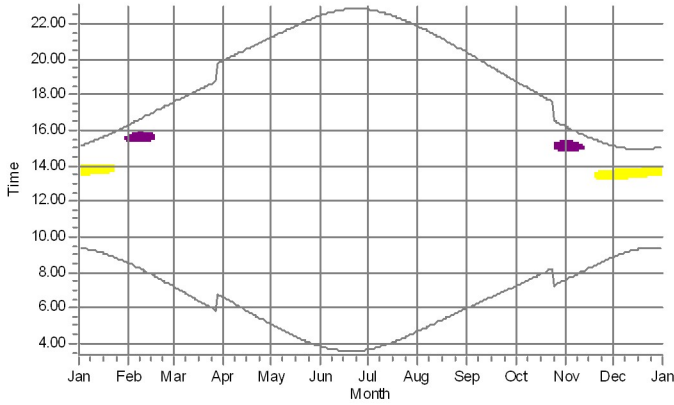
- WTG02: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (33)
- WTG12: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (35)
- WTG10: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (36)
- WTG07: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 160,0 m (TOT: 245,0 m) (38)

- WTG08: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (40)
- WTG01: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (41)
- WTG09: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (42)
- WTG04: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 160,0 m (TOT: 245,0 m) (43)

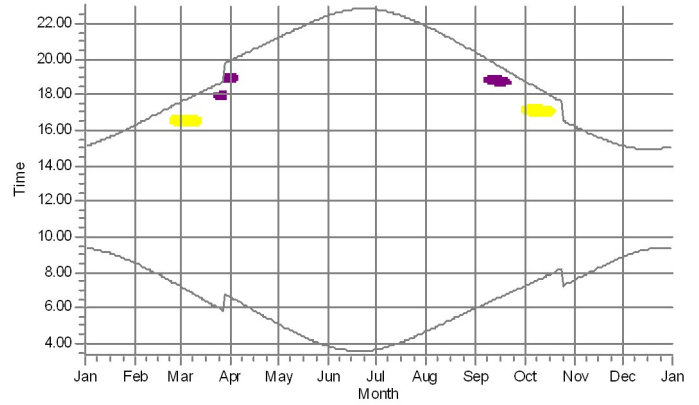
## SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: VE2 HH160-165 Todennäköinen tilanne

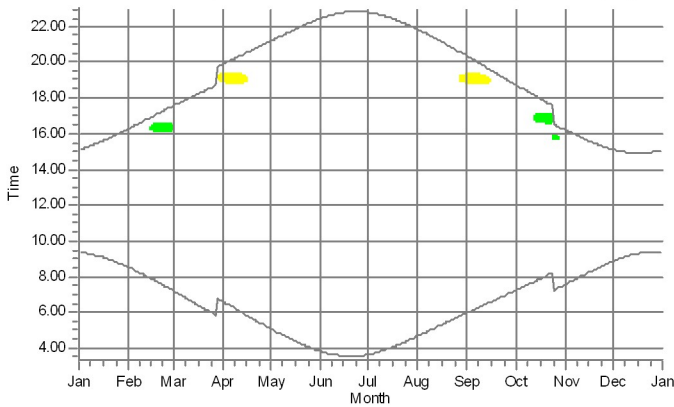
R19: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (19)



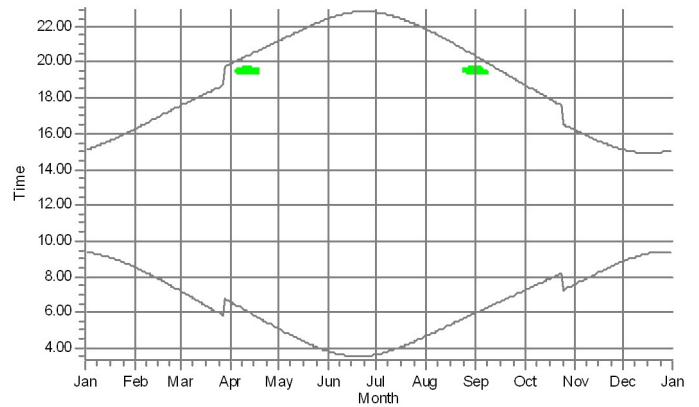
R20: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (20)



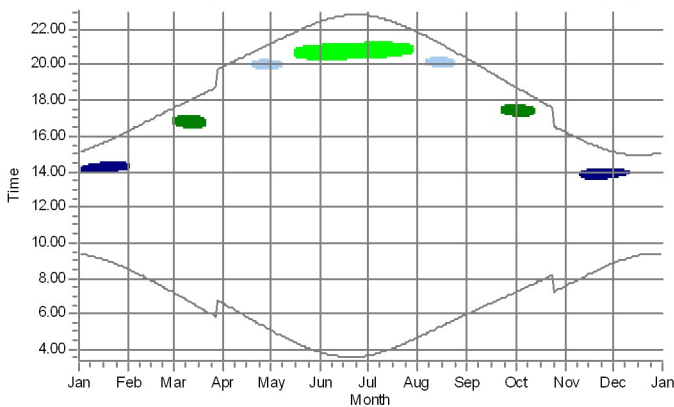
R21: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (21)



R22: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (22)



R23: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (23)



WTGs

- WTG13: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (31)
- WTG03: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 160,0 m (TOT: 245,0 m) (32)
- WTG14: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (37)

- WTG05: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (39)
- WTG01: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (41)
- WTG06: Siemens Gamesa SG 6.6-170 6600 170.0 IO! hub: 165,0 m (TOT: 250,0 m) (45)