

MÄNTYPERÄN TUULIVOIMAHANKE, KIHNIÖ

VÄLKEMALLINNUSRAPORTTI

Aurinkosiipi Oy

Päiväys 23.10.2021

Laatija: Matias Partanen

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. YLEISTÄ | 3 |
| 2. VÄLKKEEN OHJEARVOT..... | 3 |
| 3. VÄLKKEEN SYNTYMEKANISMI..... | 3 |
| 4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT | 4 |
| 5. MALLINNUSTULOKSET | 6 |
| 6. VÄLKEVAIKUTUKSIEN VÄHENTÄMINEN JA RAJOITUSTARVE..... | 6 |
| LÄHTEET..... | 7 |
| LIITTEET..... | 8 |
| Liite 1..... | 8 |
| Liite 2 | 10 |

1. YLEISTÄ

Mäntyperän tuulipuisto Oy suunnittelee kolmen tuulivoimalan rakentamista Kihniön kuntaan Mäntyperän alueelle.

Tässä raportissa selvitetään suunnitelluista tuulivoimalaitoksista aiheutuvat liikkuvan varjostuksen vaikutukset tuulivoimaloiden ympäristössä. Tuulivoimaloiden lapojen varjojen liikettä nimitetään ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti välkkeeksi.

Työ on tehty Mäntyperän tuulipuisto Oy:n toimeksiannosta. Aurinkosiipi Oy:ssä työstä on vastannut DI Matias Partanen.

2. VÄLKKEEN OHJEARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalla varjojen välkkeelle ei ole määritelty Suomessa raja- tai ohjearvoja. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaassa suositellaan käyttämään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen esiintymistä rajoitettaessa. [1] Oppaassa ohjeistetaan käyttämään Saksan, Ruotsin ja Tanskan ohjeistuksia. Näissä maissa on annettu suunnitteluarvoja tai raja-arvoja välkkeen määrälle asutukselle tai muille altistuville kohteille. Saksassa ohjeistus on annettu mallintamiseen ja raja-arvot maksimivälketilanteessa sekä todellisessa tilanteessa (WEA-Schattenwurf-Hinweise) [2]. Ruotsin suunnitteluohjeistuksessa viitataan saksalaiseen ohjeistukseen, johon ruotsalaiset ohjeet pitkälti pohjautuvat [3]. Tanskassa ohjeistetaan, 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/vuosi | Real Case / päivä | Worst Case / vuosi | Worst Case / päivä |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Saksa | 8 h | - | 30 h | 30 min |
| Ruotsi | 8 h | 30 min | - | - |
| Tanska | 10 h | - | - | - |

3. VÄLKKEEN SYNTYMEKANISMI

Tuulivoimalat voivat aiheuttaa välkevaikutusta lähiympäristöönsä, kun auringon säteet suuntautuvat tuulivoimalan roottorin lapojen takaa tiettyyn katselupisteeseen. Toiminnassa olevan tuulivoimalan lapojen varjot aiheuttavat tällöin ns. vilkkuvaa välkeilmiötä. Välketaajuus riippuu roottorin pyörimisnopeudesta joka määräytyy tuulennopeuden ja voimalan turbiinin toimintaperiaatteiden perusteella (vaihteistolla toimiva vai ns. suoravetoinen turbiini).

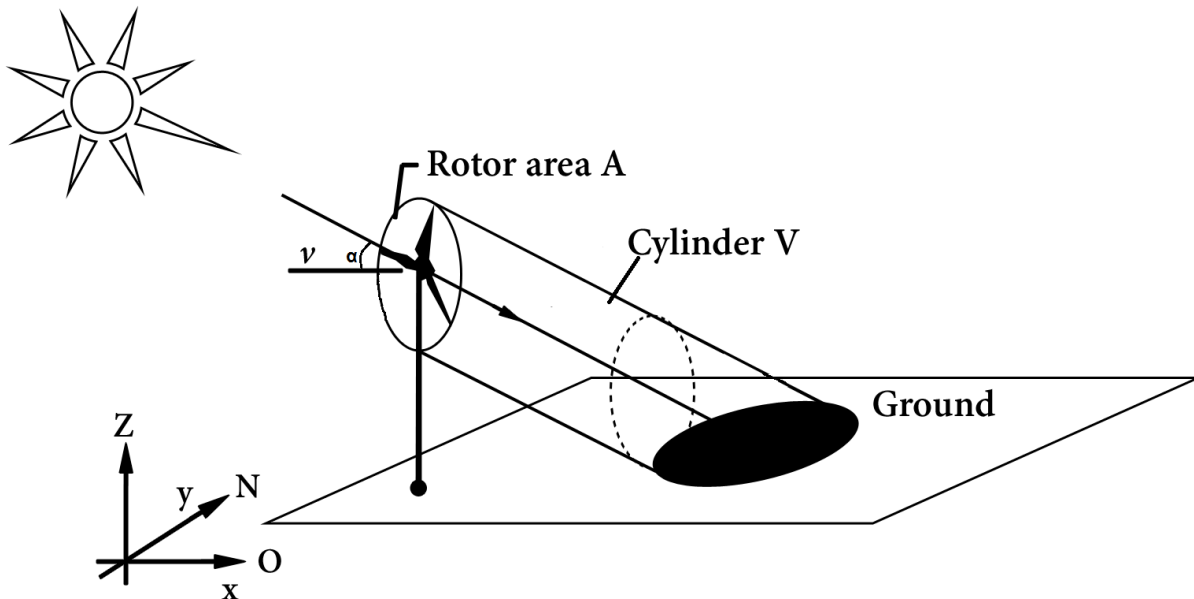
Välkeilmiö on säästä riippuvainen. Välkettä ei esiinny, kun aurinko ei paista tai kun tuulivoimala ei ole käynnissä. Pisimmälle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla (aamulla ja illalla). Auringon laskiessa riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu, koska valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu.

4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Suunnitellun tuulivoimalan ympäristöönsä aiheuttaman vilkkuvan varjostuksen esiintymisalueet ja esiintymistiheys laskettiin Openwind -ohjelman Shadow Flicker -toiminnolla. Ohjelma laskee, kuinka usein ja minä ajanjaksoina tietty kohde on tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen alaisena. Ohjelma on yleisesti käytössä tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen mallinnuksessa. Lisätietoja ohjelmasta ja laskentamallin kuvauksen saa internet-osoitteesta <http://software.awstruepower.com/openwind/>, josta löytyvät ohjelman käyttöohje ja validointiasiakirja [5].

Ohjelmalla voi tehdä kahdenlaisia laskentoja, ns. "pahin tilanne" (*Worst Case*)- ja "todellinen tilanne" (*Real Case*) -laskelmia. Ohjelmalla voidaan tehdä vilkkuvan varjostuksen esiintymisalueesta kartta ja laskea yksittäisiin katselupisteisiin (receptor) kohdistuva välkevaikutus.



Kuva 1. Tuulivoimalan aiheuttaman vilkkuvan varjostuksen alue voimalan takana [5]

4.2 Maastomalli

Laskennassa käytettävä maastomalli tehtiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannan korkeuskäyräaineistosta. Maastomallissa ei ole otettu huomioon puustoa tai rakennuksia. Välkekartoissa olevat asuin- ja lomarakennuspisteet saatiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta.

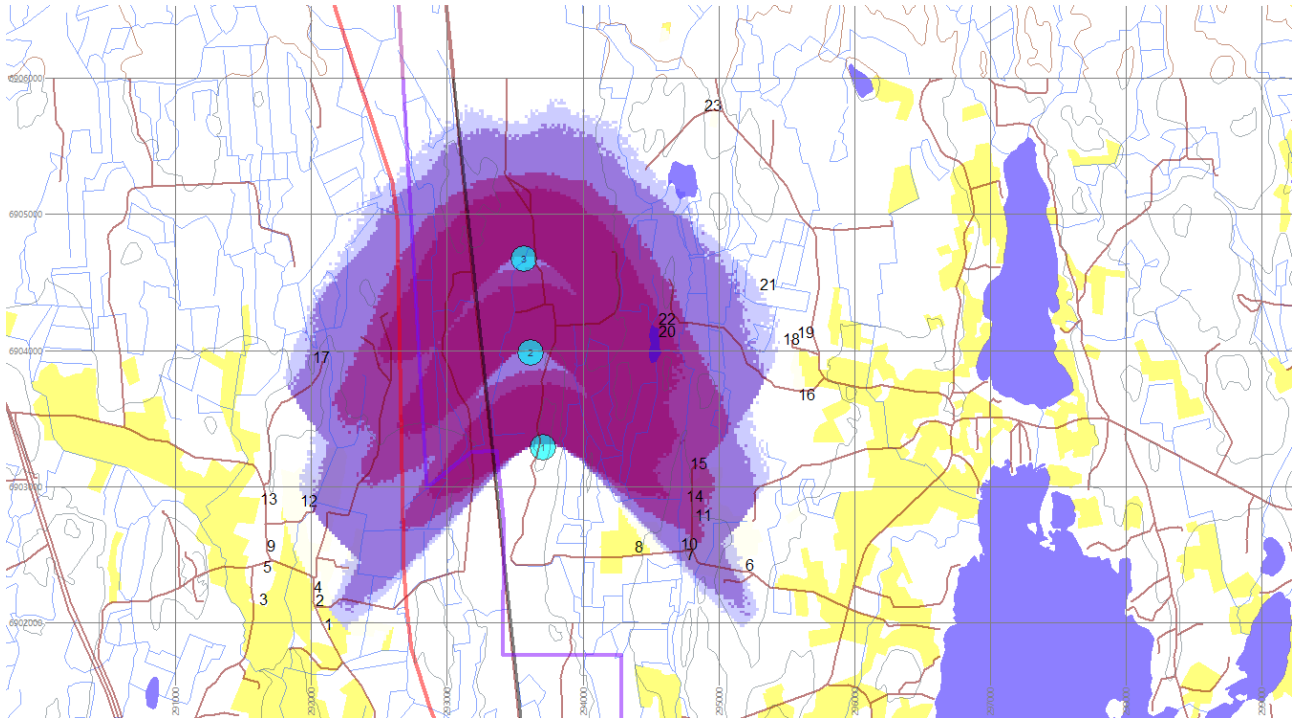
4.3 Välkelaskenta

Laskentapisteen väliseksi etäisyydeksi määritettiin 10 metriä. Laskennan tarkastelukorkeutena käytettiin 1,5 metriä, eli noin ihmisen silmäkorkeutta. Välkkeen teoreettiseksi maksimietäisyydeksi otettiin 1980 m, joka vastaa hieman yli 10x roottorin halkaisijaa, kun siiven pituus on 95 m. Välkkeen esiintyminen yli 10 x roottorinhalkaisijan päässä on hyvin harvinaista. Laskenta tehtiin 1 minuutin tarkkuudella. Laskennassa käytetyn saksalaisen ohjeistuksen (joka on yleisesti käytössä oleva laskentatapa) mukaan välkevaikutusta laskettaessa auringonpaistekulman raja horisontista on kolme astetta, jonka alle menevää auringon säteilyä ei oteta huomioon. [2] Poiketen saksalaisesta laskentatavasta, jossa huomioon otetaan tilanteet, joissa aurinko peittää yli 20% roottorin lavoista, suoritettiin laskenta ottamalla huomioon kaikki tilanteet, joissa roottorin lavat pienimmältä osaltaankin osuvat auringon ja välkekohteen väliin.

Worst Case -laskenta antaa teoreettisen maksimivälkemäärän. Laskennassa oletetaan, että 1) aurinko paistaa koko ajan, kun se on horisontin yläpuolella, 2) tuulivoimalat pyörivät koko ajan, 3) tuulen suunta seuraa aurinkoa niin, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä. Tulos on teoreettinen, koska sään ollessa pilvinen tai tuulivoimalan ollessa pysähdyksissä tuulivoimala ei aiheuta liikkuvaa varjoa. Roottorin asento voi rajoittaa paljonkin voimalan takana olevan välkealueen kokoa. Tuulen suunta voi kääntää roottorin lavan tason samansuuntaiseksi auringon ja katselupisteen välisen janan kanssa, jolloin tuulivoimala ei aiheuta välkevaikutusta.

Real Case -laskennoissa huomioidaan alueen tuulisuus- ja auringonpaistetiedot. Real Case tulos saadaan, kun Worst case -tuloksista tehdään vähennykset auringonpaiste- ja käyttötuntitilastoihin perustuen. Säähavaintotietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen Jyväskylän lentoaseman sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuus- ja tuulisuustietoja ilmastolliselta kaudelta 1981-2010.

Real Case -välkeyvyöhykelaskennan lisäksi laskettiin välkemääriä hankealueen ympäristössä sijaitseviin rakennuksiin eli reseptoripisteisiin, joista tarkempaan selvittelyyn valittiin numerot 7, 12, 15 ja 20.



Kuva 2. Reseptoripisteiden sijainnit

4.4 Laskentojen epävarmuus

Koska Worst Case -laskenta perustuu auringon asemaan suhteessa tuulivoimalaitokseen ja tarkastelupisteeseen, voidaan laskennan tarkkuutta pitää hyvinkin luotettavana.

Real Case -laskennan tuloksiin vaikuttavat mallinnuksessa käytetyt tiedot auringonpaisteesta ja tuulensuuntien ja tuulennopeuden toiminnalliset ajat. Jos voimalan roottori liikkuu tunteina vähemmän, roottori on suuntautuneena sivuttain välkekohteeseen ja aurinko paistaa vähemmän, vähentävät nämä välkeilmion esiintymistä nyt lasketusta. Vastaavasti päinvastaiset seikat lisäävät välkeilmion esiintymismahdollisuuksia Real Case -tuloksissa.

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

1. aurinko paistaa tuulivoimalaitosten roottorin takaa tarkastelupisteeseen
2. tuulivoimala pyörii ja tuulen suunta mahdollistaa vilkkuvan varjon syntymisen
3. ilman kirkkaus mahdollistaa vilkkuvan varjon syntymisen

Laskenta ei ota huomioon metsän ja muun kasvillisuuden aiheuttamaa peitevaikutusta. Jos tuulivoimaloiden ja katselupisteen välillä on esimerkiksi tiheää metsää tai korkeita rakennelmia, eivät todelliset välkevaikutukset ole välttämättä niin suuret kuin mallinnustulokset, koska välkettä ei esiinny alueilla, joihin tuulivoimala ei näy.

4.5 Tuulivoimalatiedot

Mallinnus tehtiin 3 kappaleella voimalaitoksia (napakorkeus 170m ja roottorin halkaisija 190m, maksimivälke-etäisyys 1980m).

Taulukko 2. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN)

| Nro | E / lon | N / lat |
|-----|---------|---------|
| 1 | 293711 | 6903288 |
| 2 | 293617 | 6903983 |
| 3 | 293569 | 6904673 |

5. MALLINNUSTULOKSET

Välkekartta on esitetty liitteessä 1.

Napakorkeus 170m ja roottorin halkaisija 190m kokoisilla tuulivoimaloilla laskettuna Real Case -välkelaskennan mukaan välkealueelle, jolla ylitetään vuotuisen välkemäärän osalta 10 tuntia, jää asuinrakennuksia 8 kpl.

Välkealueelle, jossa vuotuinen välkemäärä on 8-10 tuntia, sijaitsee 1 asuinrakennus.

Taulukko 3. Reseptoripistelaskentojen tulokset

| Reseptoripiste | Real Case h/a | Worst Case h/a | Worst Case min/d |
|----------------|---------------|----------------|------------------|
| 7 | 13h 28 min | 31 h 17 min | 32 min |
| 12 | 9 h 32 min | 22 h 14 min | 23 min |
| 15 | 22 h 42 min | 54 h 38 min | 35 min |
| 20 | 31 h 25 min | 86 h 54 min | 38 min |

Välkkeen mahdolliset ajankohdat reseptoripisteissä graafisena kalenterina on esitetty liitteessä 2. Ajankohdat on esitetty kalentereissa teoreettisina maksimivälkeaikoina (worst case).

6. VÄLKEVAIKUTUKSIEN VÄHENTÄMINEN JA RAJOITUSTARVE

Tuulivoimaloiden välkevaikutusta on mahdollista vähentää teknisin keinoin siten, ettei välkettä esiinny tietyllä kohteella enemmän kuin määrätty aika. Tämä tapahtuu ohjaamalla tuulivoimalat pysähtymään tiettyinä ajankohtina. Välkkeen muodostumista tietyssä kohteessa monitoroidaan voimalan konehuoneen päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla, jotka laskevat muodostumisen mahdollisuutta tietyssä suunnassa valoisuuden ja roottorin asennon mukaan. Järjestelmä pysäyttää voimalan tarvittaessa tietyssä altistuvassa kohteessa määritetyn välkemäärän ylittyessä.

Mallinnus osoittaa, että välkkeen määrä 9 asuinrakennuksella ylittää eurooppalaisten maiden raja-arvot. Täten välkevaikutuksia on rajoitettava, jotta välkealueen rakennuksille ei aiheudu kohtuutonta rasitusta välkkeen muodossa. Eurooppalaisten maiden suunnitteluohjeita seurattaessa tuulivoimalaa ei tarvitse pysäyttää aina kun välkettä esiintyy. Jos välkemäärän rajana käytetään 8 tai 10 tuntia vuodessa, tulisi välkevaikutuksien vähentämiseksi tiettyjen voimaloiden toimintaa ohjata. Välkkeen rajoitustoimet tulee kohdistaa voimaloihin, joilla on suurin vaikutus ympäristön asuin- ja lomarakennusten välkemääriin. Välkkeen rajoitustoimissa on myös otettava huomioon vuorokauden ajat, jolloin kohdealueen käyttö on aktiivisinta tai vähäisintä.

Metsät ja puusto rajoittavat välkevaikutuksia, mutta puiden on kuitenkin oltava riittävän tiheässä ja riittävän korkeata. Puiden tulee suojata asuintalojen tai loma-asuntojen piha-alueita kattavasti, jotta ne estävät välkkeen esiintymisen talojen ikkunoissa ja piha-alueilla, joilla oleskellaan. Jos tuulivoimalat eivät näy laskennan perusteella häiriintyvään kohteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu. Myös vuodenaikojen vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näkyvyyttä, koska talvella lehtipuiden peittovaikutus vähenee merkittävästi. [7]

LÄHTEET

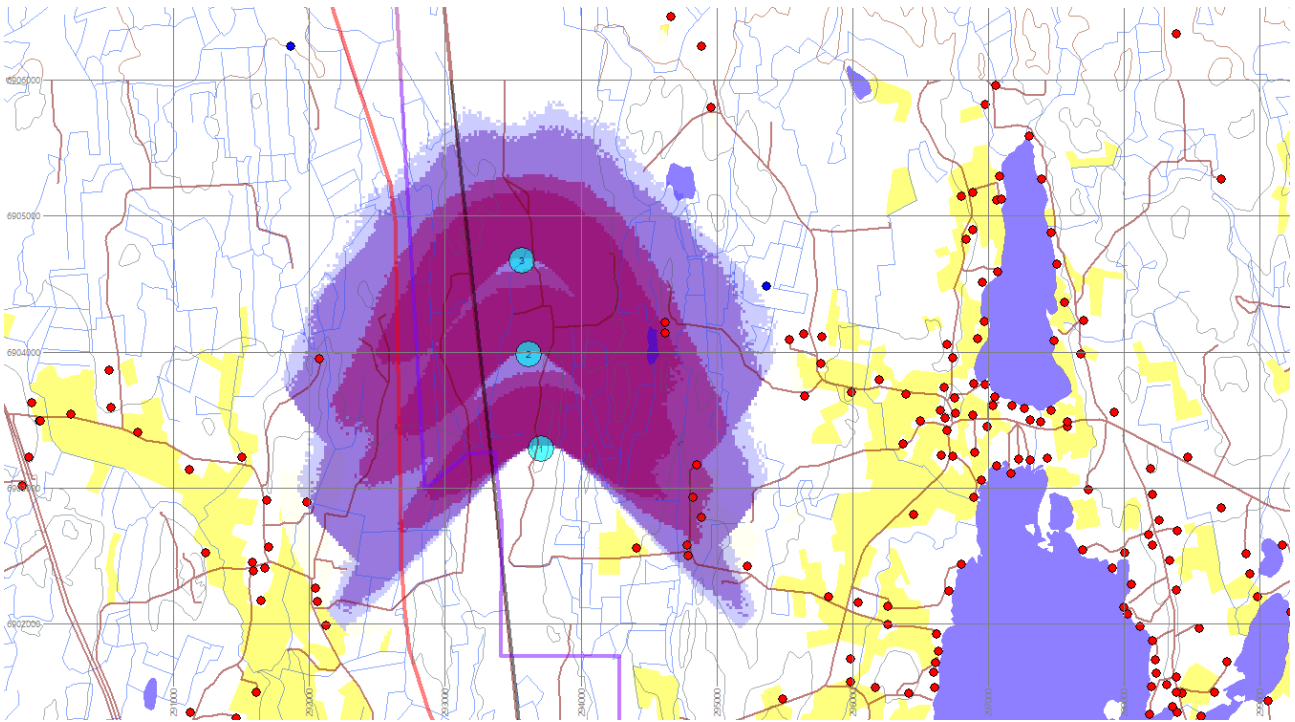
1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
2. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise
3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden
4. Danish Wind Industry Association
5. <http://software.awstruepower.com/openwind/>
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012:1
7. Update of UK Shadow Flicker, Evidence Base, Final Report


Kartat: sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 9/2021 aineistoa


Lisenssi: http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501


LIITTEET


Liite 1. Real Case -laskennan välkevyöhykkeet, 3 kpl: roottori 190 m ja napakorkeus 170 m




 ≥ 30 h

 $30 \text{ h} < 20 \text{ h}$


 $20 \text{ h} < 10 \text{ h}$

 $10 \text{ h} < 8 \text{ h}$

$< 8 \text{ h}$

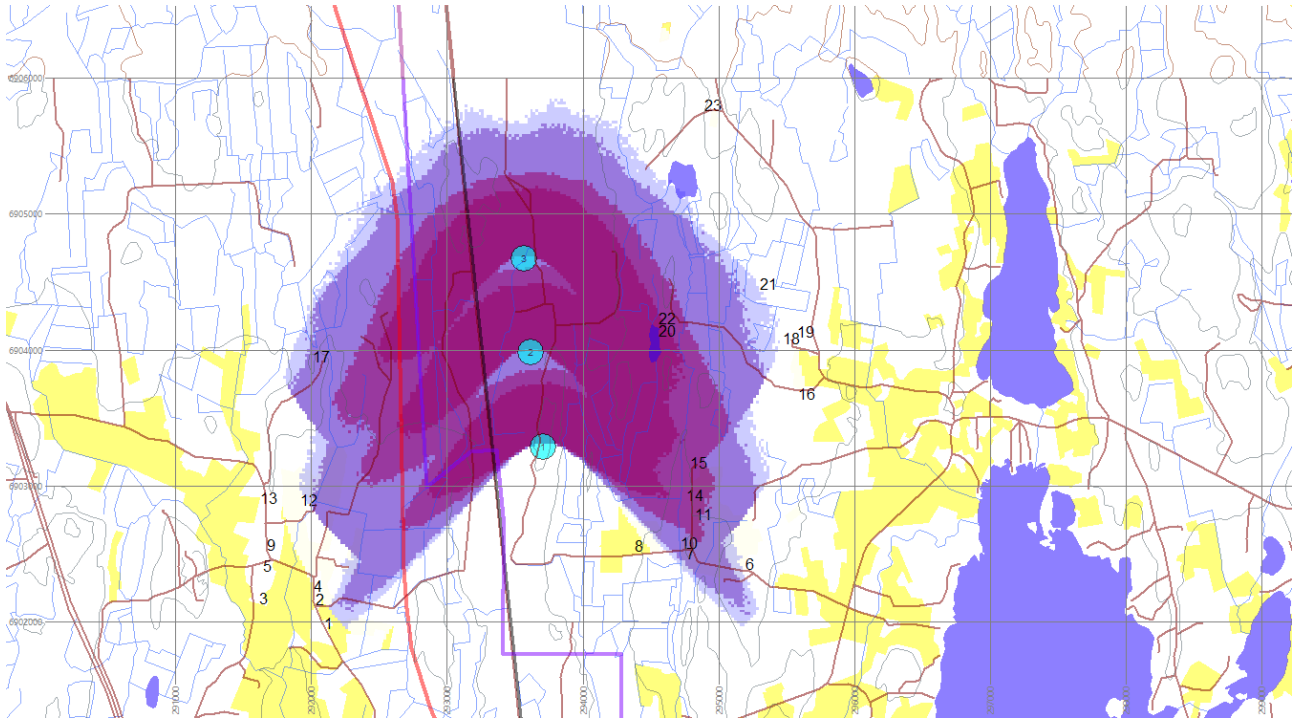
 Asuinrakennus

 Lomarakennus

 Tuulivoimala

Ruudukon mittakaava = 1 km

Alla olevaan karttaan on merkitty asuin- ja lomarakennukset eli reseptoripisteet numeroin ja alla olevasta taulukosta ilmenee niiden vuotuinen todellinen välkemäärä.

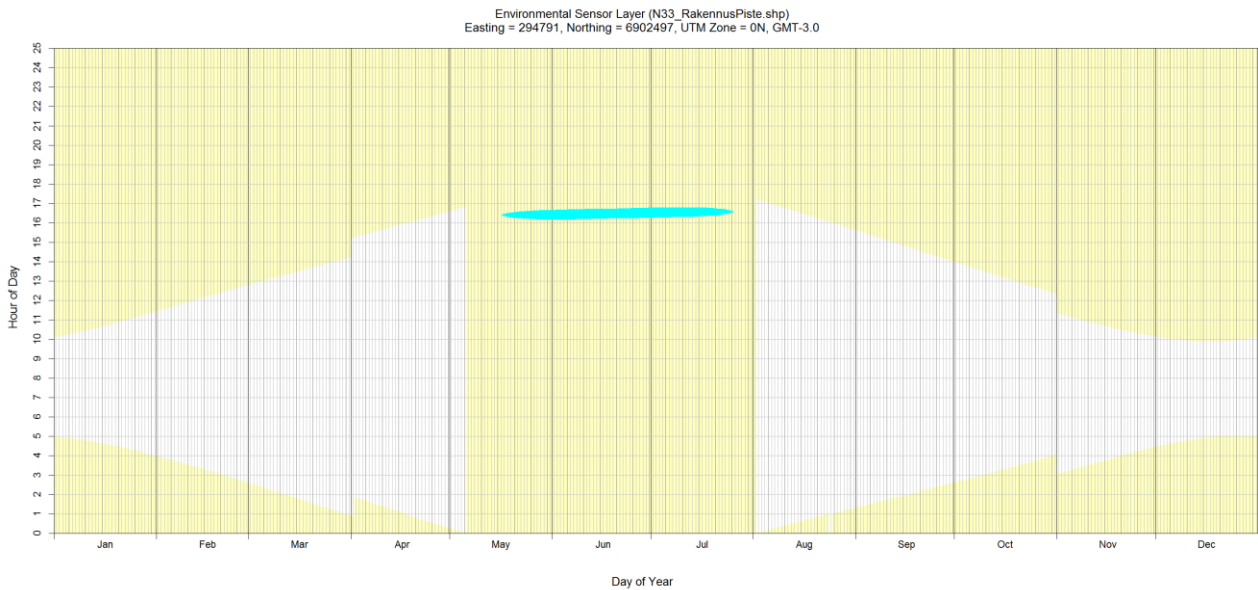


| Kohde | Välke aika vuodessa |
|-------|---------------------|
| 1 | - |
| 2 | - |
| 3 | - |
| 4 | 5h 39min |
| 5 | - |
| 6 | 7h 18min |
| 7 | 13h 28min |
| 8 | - |
| 9 | - |
| 10 | 16h 38min |
| 11 | 19h 19min |
| 12 | 9h 32min |
| 13 | - |
| 14 | 21h 55min |
| 15 | 22h 42min |
| 16 | 2h 5min |
| 17 | 12h 40min |
| 18 | 2h 5min |
| 19 | - |
| 20 | 31h 25min |
| 21 | 5h 19min |
| 22 | 27h 50min |
| 23 | 2h 25min |

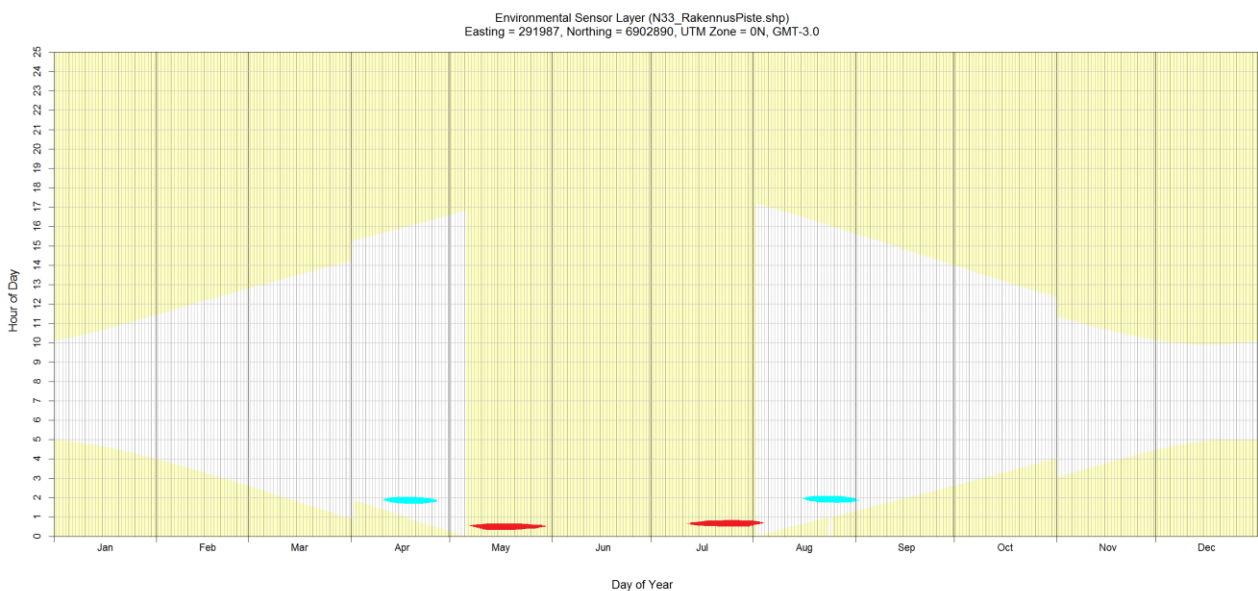
Liite 2. Kalenterit välkkeen mahdollisen (teoreettisen) esiintymisen ajankohdista laskennan kohteena olevilla rakennuksilla eli reseptoripisteissä 7, 12, 15 ja 20. Voimalat 3 kpl: roottori 190 m ja napakorkeus 170 m. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia ja pilvisiä päiviä. Välkettä aiheuttavat voimalat on kuvattu kaavioissa eri värein.

| | |
|--|-----------|
| | Voimala 1 |
| | Voimala 2 |
| | Voimala 3 |

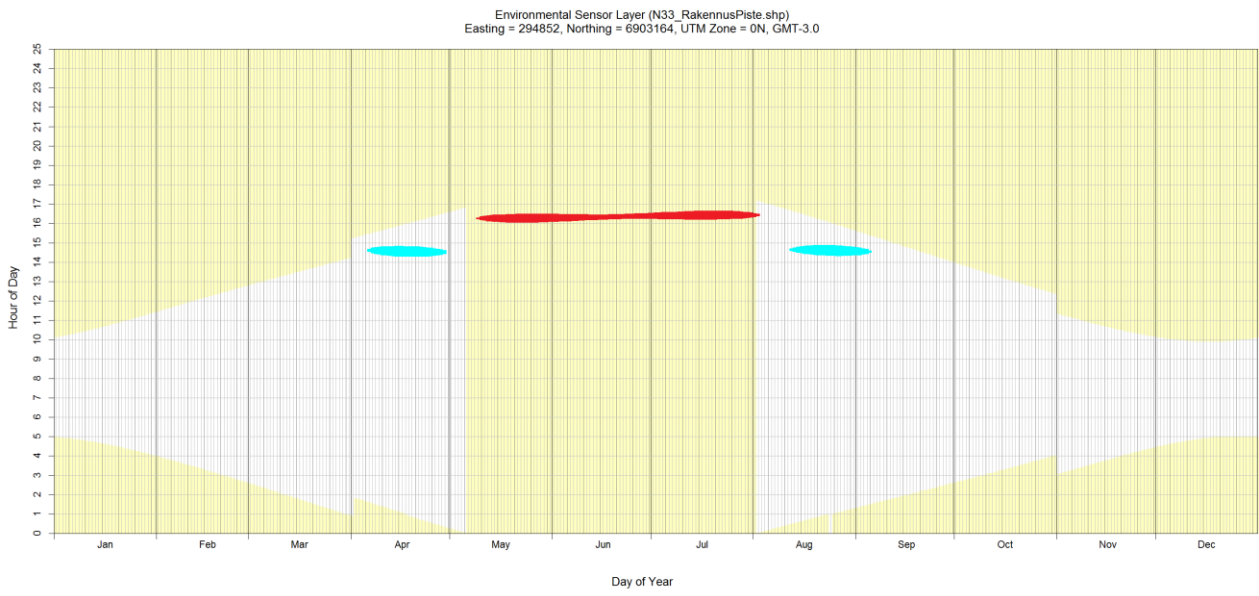
Laskennan kohde 7



Laskennan kohde 12



Laskennan kohde 15



Laskennan kohde 20

