

Vastaanottaja  
Puskakorven Tuulivoima Oy

Asiakirjatyyppi  
Raportti

Päivämäärä  
28.11.2018

Viite  
1510029105

# PUSKAKORVENKALLION TUULIVOIMAHAHANKE VÄLKEMALLINNUS

# PUSKAKORVENKALLION TUULIVOIMAHANKE VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä 28.11.2018  
Laatija Arttu Ruhanen  
Tarkastaja Ville Virtanen

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 12/2017  
aineistoa.

Viite 1510029105

## SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Suunnitteluohjeet	1
3.	Vaikutusmekanismit	2
4.	Mallinnusmenetelmä ja lähtötiedot	2
4.1	Mallinnusohjelma ja laskentamalli	2
4.2	Väkelaskenta	2
4.3	Laskentojen epävarmuus	4
4.4	Maastomalli	4
4.5	Tuulivoimatiedot	4
5.	Mallinnustulokset	5
6.	Välkevaikutusten huomioiminen jatkosuunnittelussa	5
	LÄHTEET	5
	LIITTEET	5

## 1. YLEISTÄ

Puskakorven Tuulivoima Oy suunnittelee tuulivoimahanketta Pyhäjoen kuntaan. Puskakorvenkalion tuulivoimahankkeesta on käynnissä osayleiskaavoitus, johon tämä välkemallinnus liittyy. Aiemmin välkettä on tarkasteltu ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) yhteydessä ja viimeisin välkeraportti on päivätty 16.3.2018 (Ramboll).

Tämän työn tarkoituksena on ollut selvittää suunniteltujen tuulivoimalaitosten aiheuttaman liikku-  
kuvan varjostuksen vaikutukset niiden ympäristössä. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentami-  
sen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta pu-  
hutaan välkkeenä.

Työ on tehty Puskakorven Tuulivoima Oy:n toimeksiannosta. Kaavan projektipäällikkönä Ram-  
bollissa toimii Petri Hertteli. Välkemallinnuksen on Rambollissa tehnyt ins. (AMK) Arttu Ruhanen.

## 2. SUUNNITTELUOHJEARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalle välkkeelle ei ole määritelty Suomessa raja-arvoja tai suosituksia. Ympäristöministeriön julkistamassa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon oh-  
jeita 5/2016) oppaassa suositellaan käyttämään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen ra-  
joittamisesta. <sup>[1]</sup>

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 <sup>[2]</sup>. Ruotsalaisessa suunnit-  
teluohjeistuksessa viitataan saksalaiseen ohjeistukseen ja suositukset perustuvat pitkälti saksalai-  
seen ohjeistukseen <sup>[3]</sup>. Tanskassa on ohjeistuksena annettu, että vuotuinen todellinen välkemäärä  
tulee rajoittaa kymmeneen tuntiin vuodessa <sup>[4]</sup>.

Taulukko 1. Esimerkkejä muiden maiden suosituksista ja raja-arvoista välkkeen esiintymiselle

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. VAIKUTUSMEKANI SMI T

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 päin olevavoimala.

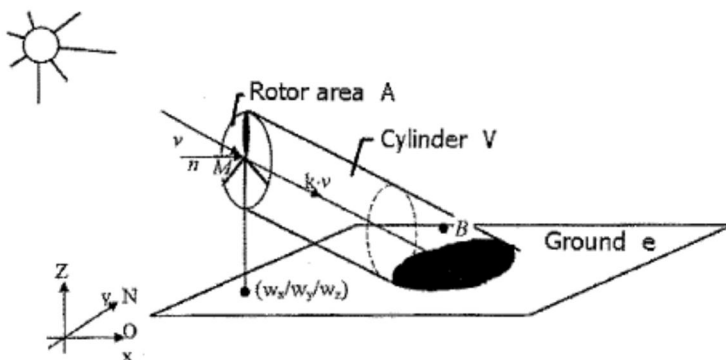
Varjo ulottuu laajimmalle, kun aurinko on matalalla. Toisaalta, kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja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

### 4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

#### 4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen esiintymisalue ja esiintymistiheys laskettiin EMD WindPRO 3.0 -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. Välkkeen esiintymisalueesta laskettavan kartan lisäksi 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 rajoittavat merkittävästi välkkeen esiintyvyyttä maanpinnan tasolla.

Worst case -laskenta antaa teoreettisen maksimivälkemäärän. Laskenta olettaa auringon paistavan koko ajan (auringonlaskusta auringonnousuun) ja tuulivoimaloiden lapojen oletetaan pyörivän kokoajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen

aina maksimaalinen määrä. Worst case -laskennan vuosiarvot eivät siten vastaa todellista vuosittaista välkevaikutusta tuulivoimaloiden ympäristössä.

Real case -laskennoissa huomioidaan alueen tuulisuus- ja auringonpaistetiedot tekemällä Worst case -tuloksista vähennykset auringonpaistetietoihin ja käyttötuntitietoihin (tuulensuunta sektoreittain) perustuen. Auringonpaisteisuustietona käytettiin Ilmatieteen laitoksen Oulun lentoaseman sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuinen toiminta-aika 94 % perustuu Suomen Tuuliatlaksen tietoihin hankealueelta [7]. Toiminta-aikaa laskettaessa on oletettu, että tuulivoimalat toimivat tuulen nopeuden ollessa napakorkeudella vähintään 3 m/s.

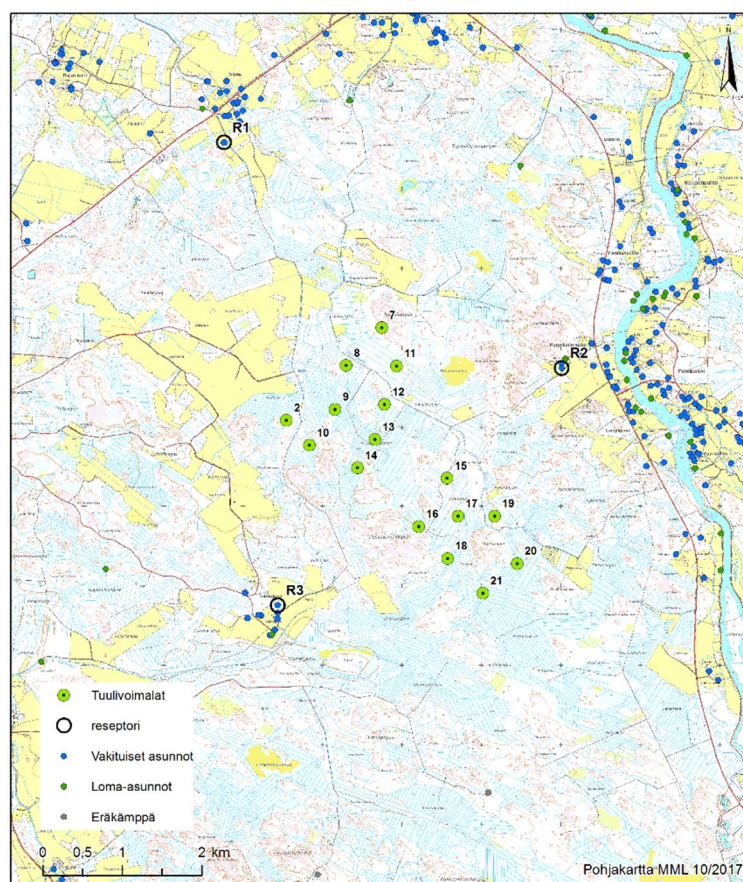
Taulukko 2. Real Case -laskennassa käytetyt keskimääräiset auringonpaisteisuustunnit päivässä eri kausina

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
0,77	2,46	4,42	6,93	8,81	9,87	9,13	6,84	4,43	2,23	0,93	0,26

Taulukko 3. Real Case -laskennassa käytetty vuotuinen toiminnallinen aika (tuntia vuodessa) tuulensuuntasektoreittain

N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Sum
706	542	300	349	578	831	908	1140	1509	532	415	457	8266

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



Kuva 2. Reseptoripisteiden sijainnit

#### 4.3 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 kohdassa 4.2 esitettyjen seikkojen takia.

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 synty-  
misen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntyminen

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

#### 4.4 Maastomalli

Maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan korkeusaineistolla, jossa korkeuskäyrät ovat 2,5 metrin välein. Maastomallissa ei huomioitu puustoa tai rakennuksia.

#### 4.5 Tuulivoimalatiedot

Mallinnus tehtiin GE 4,8-158 voimalamallilla, jonka roottorin halkaisija on 158 metriä ja napakorkeus 171 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 250 metriä. Koska laitosmallista ei ollut tiedossa la-  
van leveystietoja, määritetty maksimivälke-etäisyydeksi mallinnusohjelman maksimioletus 2500 m.

Voimalaitosten koordinaatit perustuvat 15.11.2018 tarkistettuun sijoitussuunnitelmaan ja on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS –TM35FIN)

Tunnus	E / lon	N / lat
2	365548	7145091
7	366746	7146255
8	366299	7145781
9	366160	7145228
10	365840	7144779
11	366936	7145774
12	366784	7145290
13	366665	7144850
14	366444	7144483
15	367571	7144352
16	367215	7143744
17	367709	7143876
18	367577	7143341
19	368171	7143875
20	368453	7143279
21	368021	7142904

## 5. MALLINNUSTULOKSET

Real Case – välkekartta on esitetty liitteessä 1. Real Case -välkelaskennan mukaan 8 tuntia vuodessa ylittävälle välkealueelle ei jää asuinrakennuksia tai lomarakennuksia. Taulukossa 5 on esitetty reseptoripistelaskentojen tulokset kuvassa 2 esitettyihin reseptoreihin.

Taulukko 5. Reseptoripistelaskentojen Real Case tulokset

Reseptori	Käyttöstatus	ETRS-TM35FIN		Real Case, h/v
		E / Ion	N / lat	
R1	Asuintalo	364759	7148582	0:00
R2	Asuintalo	369012	7145748	4:58
R3	Asuintalo	365437	7142754	3:16

Välkkymisen mahdolliset ajankohdat reseptoripisteissä graafisena kalenterina on esitetty liitteessä 2. Ajankohdat on esitetty kalentereissa teoreettisina maksimivälkeaikoina.

Mallinnuksen mukaan välkevaikutukset eivät ulotu hankealueen pohjoispuolen lähimmälle asutukselle (R1).

Hankealueen itäpuolen lähimmällä asutuksella (R2) välkettä voi esiintyä ennen auringonlaskua tammi-huhtikuussa sekä elo-marraskuussa.

Länsipuolen lähimmän asuintalon (R3) kohdalla välkettä voi esiintyä aamulla huhti-toukokuussa ja heinä-syyskuussa.

## 6. VÄLKEVAIKUTUSTEN HUOMIOIMINEN JATKOSUUNNITTELUSSA

Mallinnuksen tulokset pätevät selvityksessä käytetyllä laitosmallilla sekä sijoittelusuunnitelmalla. Mikäli hankkeeseen tehdään merkittäviä muutoksia, esim. tuulivoimaloiden sijoittelun osalta tai harkitaan dimensioiltaan suurempaa laitosmallia, tulee välkevaikutusta arvioida uudelleen.

Tämän suunnitelman mukaisen hankkeen aiheuttama vuotuinen Real case välkemäärä ympäristön loma- ja asuinrakennuksilla jää mallinnuksen mukaan alle 8 tunnin (raja Ruotsissa ja Saksassa) sekä siten myös alle 10 tunnin (raja Tanskassa).

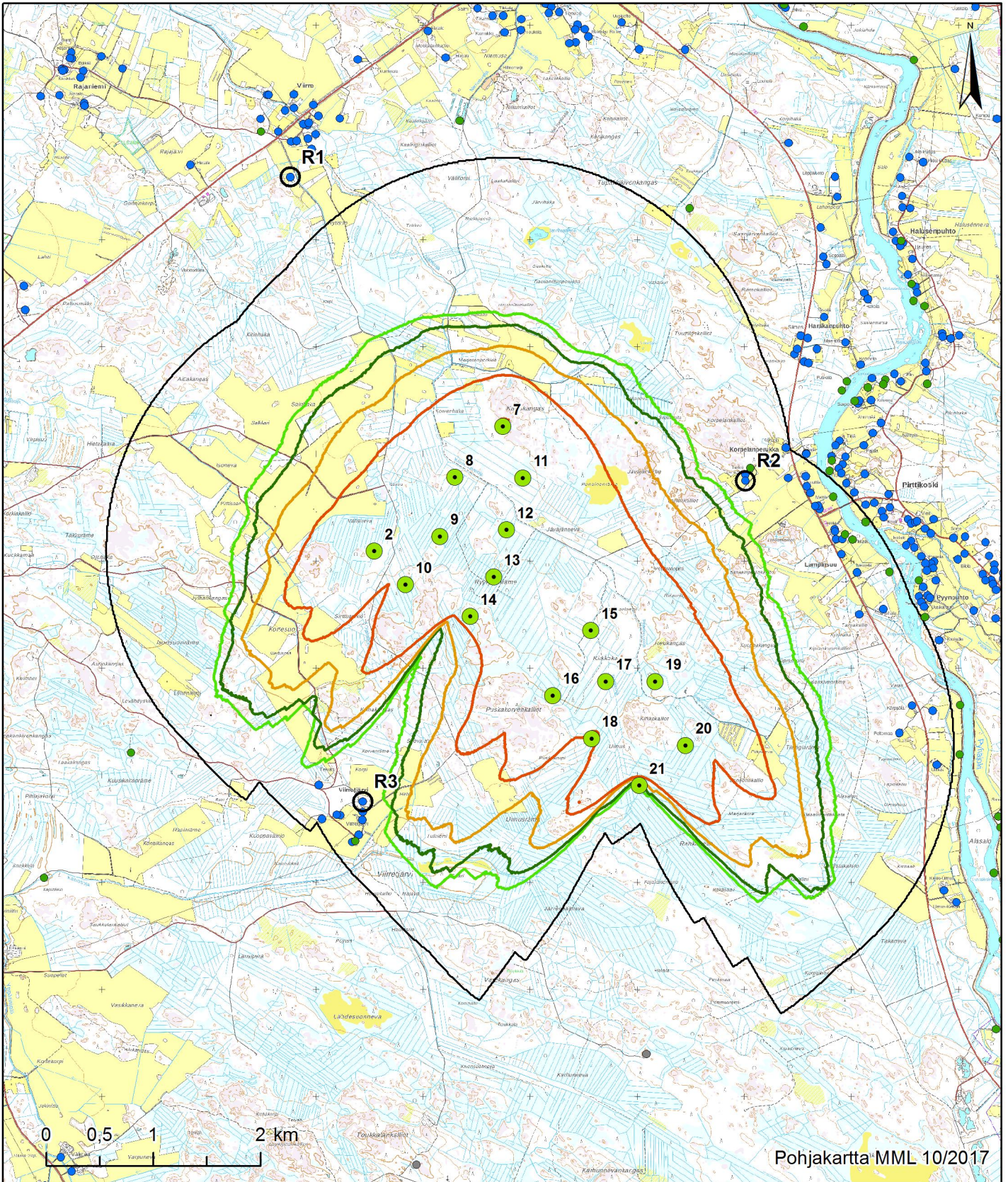
## LÄHTEET

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. WindPRO 3.0 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012: 1
7. Suomen Tuuliatlas

## LIITTEET

- Liite 1 Real Case -laskennan välkevyöhykkeet  
 Liite 2 Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä



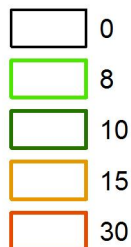


Puskakorven Tuulivoima Oy  
**Puskankorvenkallio, Pyhäjoki**  
 YVA

Välkemallinnus (WindPro 3.0)

A.Ruhanen 28.11.2018

Real Case -mallinnus  
 Välketuntia vuodessa



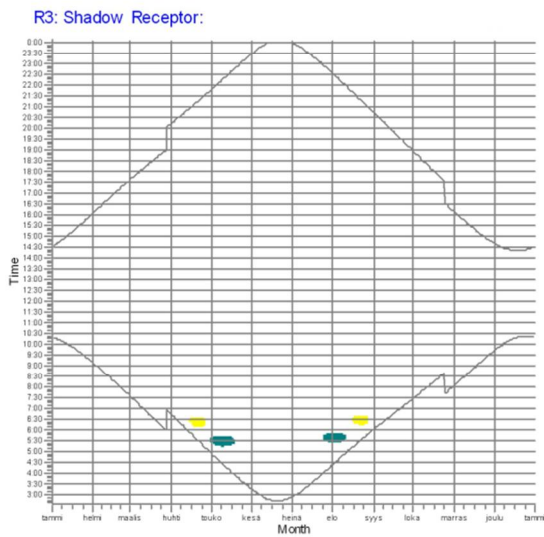
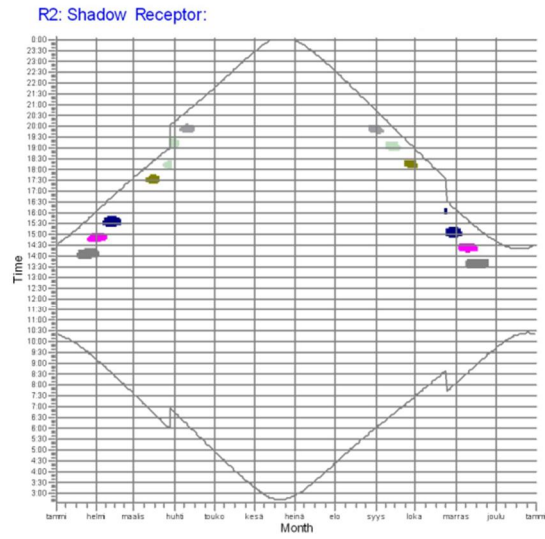
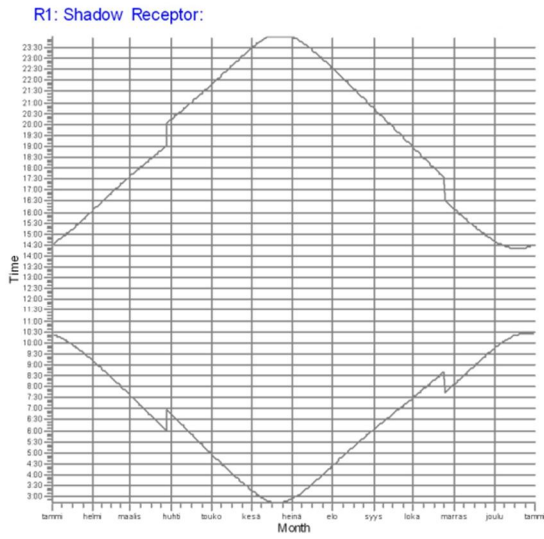
Layout:  
 15.11.2018

Tuulivoimalatiedot:  
 Napakorkeus 171 m  
 Roottorin halkaisija 158 m  
 Kokonaiskorkeus 250 m

- Tuulivoimalat
- reseptorit
- Vakituiset asunnot
- Loma-asunnot
- Eräkämpä

**Liite 1**

LIITE 2 (1/1), AJANKOHTAKAAVIOT:



WTGs

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 18: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (27)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: grey; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 19: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (29)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 17: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (30)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 16: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (31)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 15: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (32)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 12: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (35)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 11: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (39)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: grey; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 7: GE WIND ENERGY GE 4.8-158 4800 158.0 l-h hub: 171,0 m (TOT: 250,0 m) (41)</li> </ul> |
|--|---|

Yllä on esitetty erikseen jokaiselle raportin kuvassa 2 esitetyille reseptoripisteelle vuoden – ja kellonajat, jolloin välkettä voi teoriassa esiintyä. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia tai pilvisiä päiviä. Välkettä aiheuttavat voimalat on esitetty eri väreillä.