

Vastaanottaja
Ilmatar Loviisa Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
15.4.2019

Viite
1510014407

TETOMIN TUULIVOIMA- PUISTO, LOVIISA VÄLKEMALLINNUS

TETOMIN TUULIVOIMAPUISTO, LOVIISA VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä 15.4.2019
Laatija Arttu Ruhanen
Tarkastaja Ville Virtanen

Tuulivoimahankkeen välkemallinnus

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 03/2019
aineistoa.

Viite 1510014407

SISÄLTÖ

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

1. YLEISTÄ

Ilmatar Loviisa Oy suunnittelee tuulivoimapuiston sijoittamista Loviisan Tetomin alueelle.

Tämän työn tarkoituksena on ollut selvittää suunniteltujen tuulivoimalaitosten aiheuttamaa liikkuvan varjostuksen (Shadow flicker) vaikutukset niiden ympäristössä kaavoitustyötä varten. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Työ on tehty Ilmatar Loviisa Oy:n toimeksiannosta, josta yhteyshenkilö on ollut Pentti Itkonen. Rambollissa osayleiskaavan laatimisesta vastaa projektipäällikkö Pirjo Pellikka. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt ins.(AMK) Arttu Ruhanen.

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 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 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.

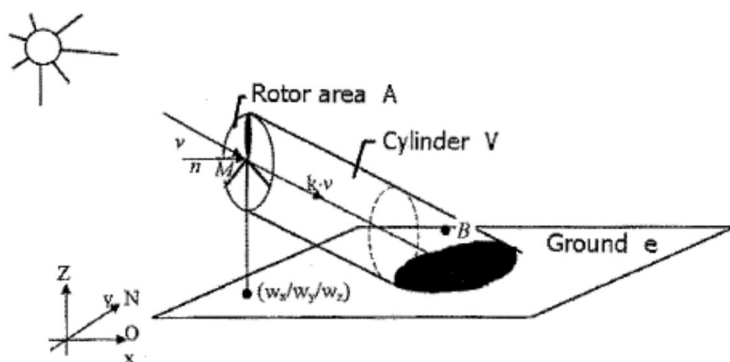
Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan 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 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. 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. 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 ja laskennassa roottorin lavan tulee peittää vähintään 20 % auringosta [2]. Laskenta tehtiin 1 minuutin tarkkuudella.

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 tekemällä Worst case -tuloksista vähennykset auringonpaistetietoihin ja käyttötuntitietoihin (tuulensuunta sektoreittain) perustuen. Auringonpaisteisuustietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen Kotka Rankki sääaseman keskiarvoisia arvoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuinen toiminta-aika 95 % perustuu Suomen Tuuliatlaksen tietoihin hankealueelta. Toiminta-aikaa laskettaessa on oletettu, että tuulivoimalat toimivat tuulen nopeuden ollessa napakorkeudella vähintään 3 m/s [7].

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

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
1,16	2,64	4,32	6,67	9,45	9,50	10,23	7,84	5,20	2,81	1,10	0,71

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
554	464	399	351	510	534	732	1223	1325	818	768	685	8363

Real Case -välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskenta myös yksittäisiin reseptoripisteisiin hankealueen ympäristössä, jotka on esitetty liitteenä olevassa välkevyöhykekartassa (liite 1).

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.

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 välketilanteesta 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

Laskennoissa huomioitiin 8 tuulivoimalaitosta 15.3.2019 päivätyn layoutin mukaisilla sijainneilla. Mallinnus tehtiin tuulivoimalamallilla, jonka napakorkeus on 180 metriä ja roottorin halkaisija 200 metriä eli kokonaiskorkeus oli 280 metriä. Roottorikoon ja napakorkeuden lisäksi myös lavan muoto ja leveys vaikuttavat maksimivälke-etäisyyteen. Lavan leveydetiedot perustuvat hankevas-
taavan toimittamiin tietoihin:

- Max blade width = 4,2 m
- Blade width for 90 % radius = 1,4 m

Laitosmallin dimensioiden mukaan mallinnusohjelma laskee maksimivälke-etäisyydeksi 1 899 m.

Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN)

Tunnus	E / lon	N / lat
T1	446080	6710444
T2	444740	6709757
T3	444899	6709171
T4	445398	6708765
T5	445778	6709404
T6	446409	6709226
T7	446031	6708611
T8	446985	6708476

5. MALLINNUSTULOKSET

Real Case –laskennan mukainen välkekartta on esitetty liitteessä 1. Kaikilla suunnilla välkemäärät jäävät asuin- ja lomarakennusten kohdalla alle 8 h/v.

Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja reseptoripisteisiin, joiden sijainnit on esitetty välkevyöhykekartassa. Reseptoripistekohtaiset Real Case välkemäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Reseptoripistelaskennan tulokset (pisteiden sijainnit välkekartassa)

Reseptoripiste	Real Case	Worst Case	
	Tuntia vuodessa	Tuntia vuodessa	Tuntia päivässä (maksimissaan)
R01	0:00	0:00	0:00
R02	0:00	0:00	0:00
R03	0:00	0:00	0:00
R04	0:00	0:00	0:00
R05	0:00	0:00	0:00
R06	0:00	0:00	0:00
R07	0:00	0:00	0:00
R08	0:00	0:00	0:00
R09	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00
R11	2:22	27:03	0:30
R12	2:48	17:41	0:31

Välkkymisen mahdollinen ajankohta reseptoripistekohtaisena kalenterina on esitetty liitteessä 2. Ajankohdat on esitetty kalentereissa teoreettisina maksimivälkeaikoina.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnuksella tarkasteltiin kahdeksan Loviisan Tetomin alueelle suunnitellun tuulivoimalan välkevaikutuksia tuulivoimaloiden ympäristössä. Mallinnus tehtiin laitosmallilla, jonka napakorkeus on 180 m ja roottorin halkaisija 200 m.

Suomen säädöksissä ei ole määritetty sitovia ohje- tai raja-arvoja tuulivoimaloiden aiheuttamalle välkkeelle. Mallinnuksen mukaan hankealueen ympäristön asuin- ja lomarakennusten kohdalla vuotuinen välkemäärä on alle 8 h (rajana Saksassa ja Ruotsissa).

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

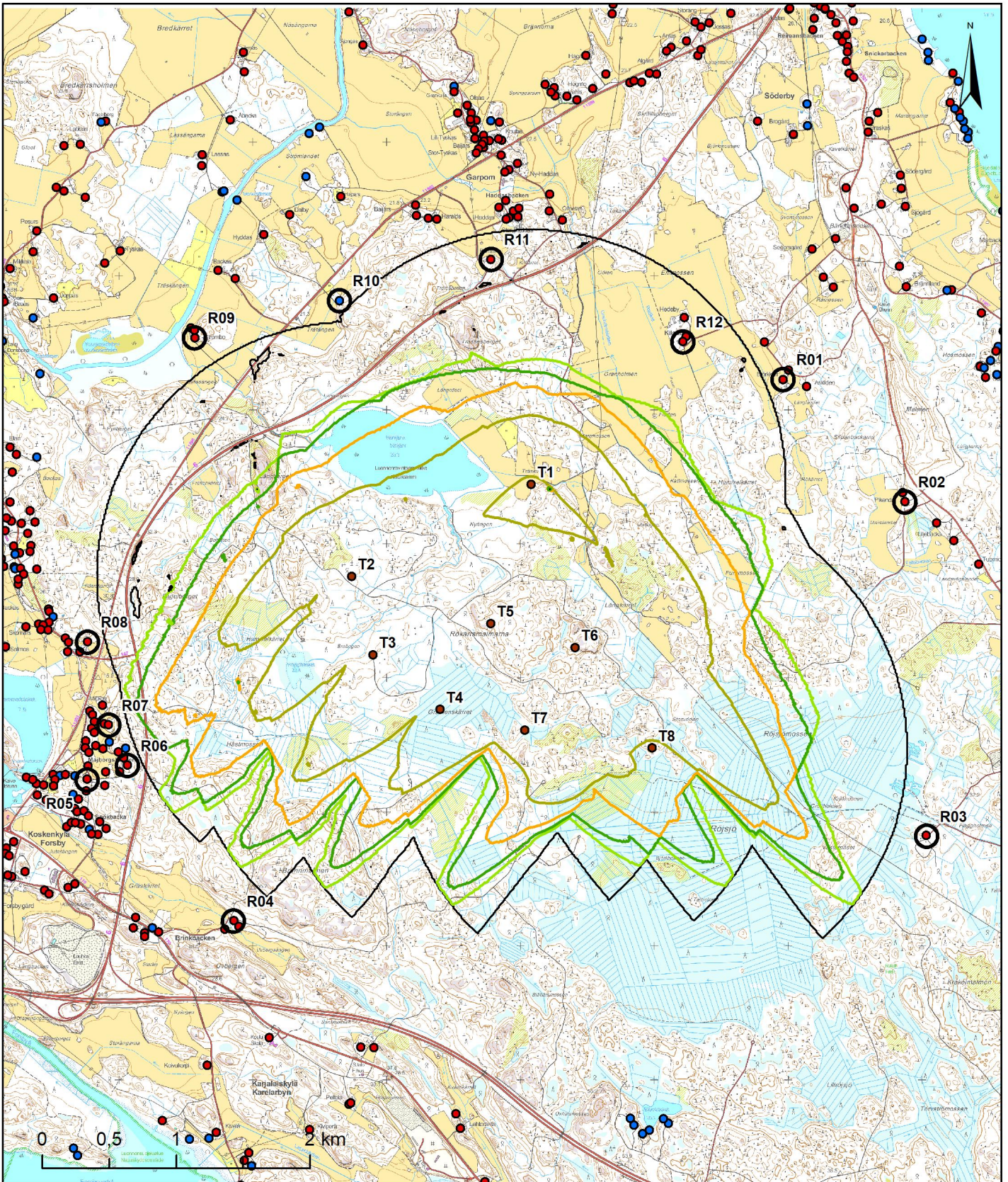
Välkkeen syntyyn voidaan vaikuttaa tuulivoimalaan liitettävällä teknisellä ohjauksella, jolla tuulivoimala pysäytetään tarvittaessa. Järjestelmän avulla välkkeen muodostumista tietyssä kohteessa monitoroidaan voimalan nasellin päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla, jotka laskevat muodostumisen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

LIITTEET

- Liite 1 Real Case -laskennalliset välkevyöhykkeet ja reseptoripisteiden sijainnit
- Liite 2 Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä

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



Real Case -mallinnus/modellering

Liite/Bilaga 1

Tetom, Loviisa/Lovisa

Välkemallinnus/Skuggeffektberäkning
(WindPro 3.0)

A.Ruhanen 15.4.2019

**Välketuntia vuodessa
Timmar med rörliga skuggor per år**



-layout 15.3.2019

-napakorkeus/navhöjd 180 m

-roottorin halkaisija/rotordiameter 200 m

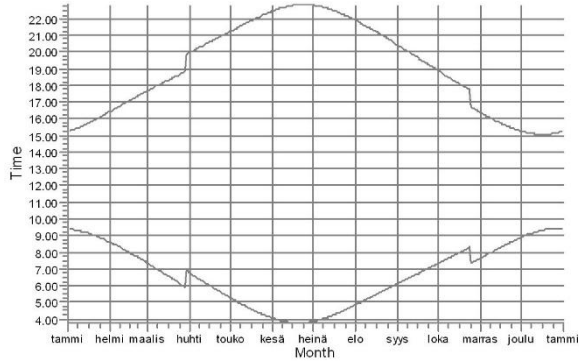
- Reseptori/Receptor
- Tuulivoimala/Vindkraftverk
- Asuinrakennus/Bostadshus
- Lomarakennus/Fritidshus

LIITE 2 (1/2), AJANKOHTAKAAVIOT

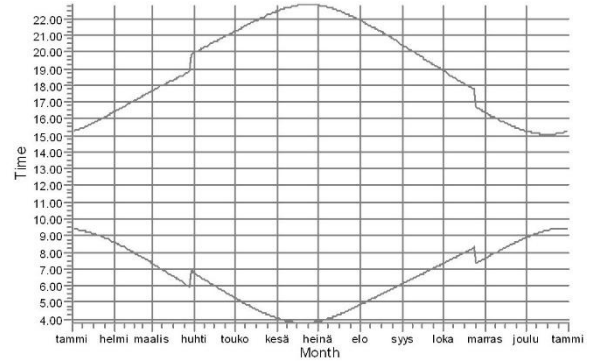
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res 2019-03-15 H180 D200 - blade 4,2 m

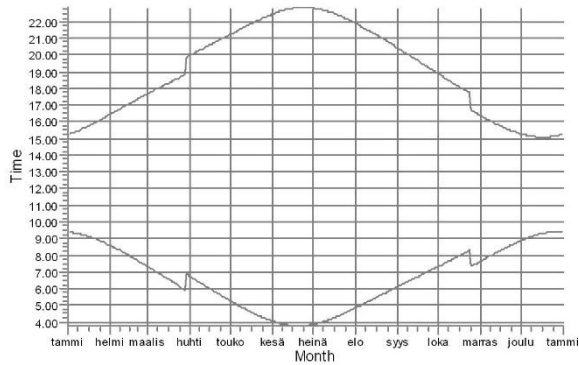
R01: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (2)



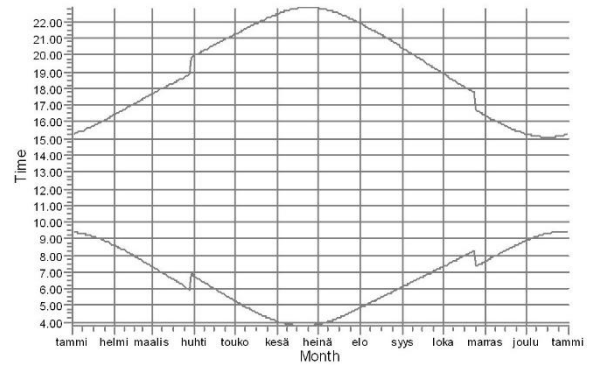
R02: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (3)



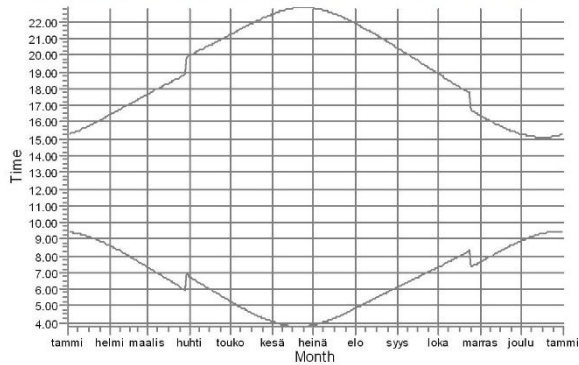
R03: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (4)



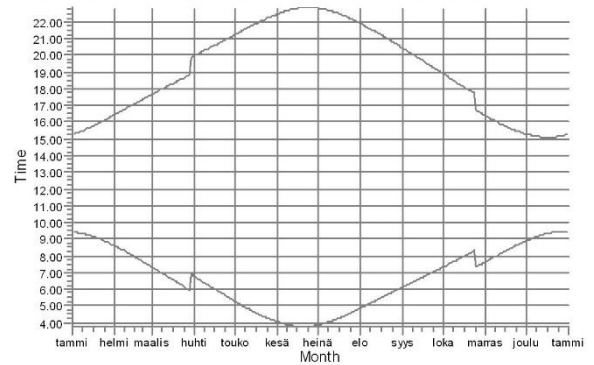
R04: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (5)



R05: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (6)



R06: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (7)



WTGs

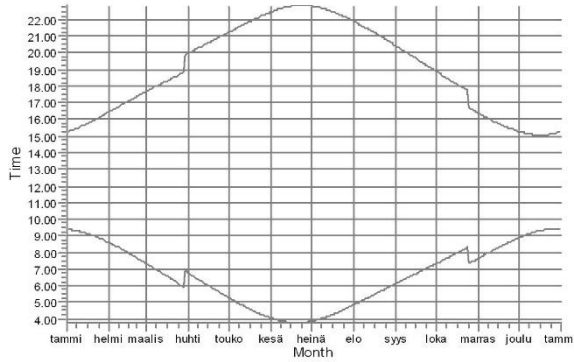
Vuoden – ja kellonajat, jolloin välkettä voi teoriassa esiintyä määritellyissä reseptoripisteissä. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia tai pilvisiä päiviä. Välkettä aiheuttavat voimat on esitetty eri väriillä.

LIITE 2 (2/2), AJANKOHTAKAAVIOT

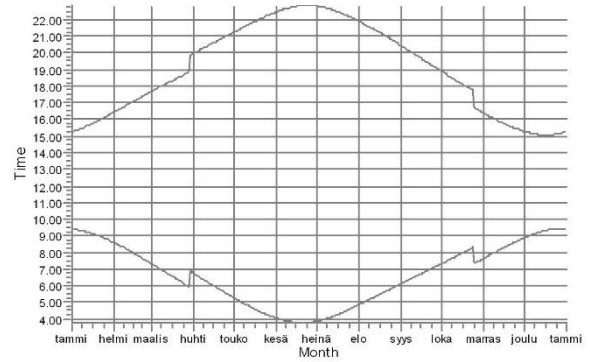
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res 2019-03-15 H180 D200 - blade 4,2 m

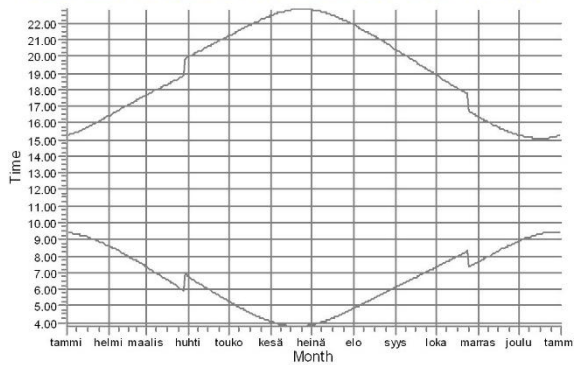
R07: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (9)



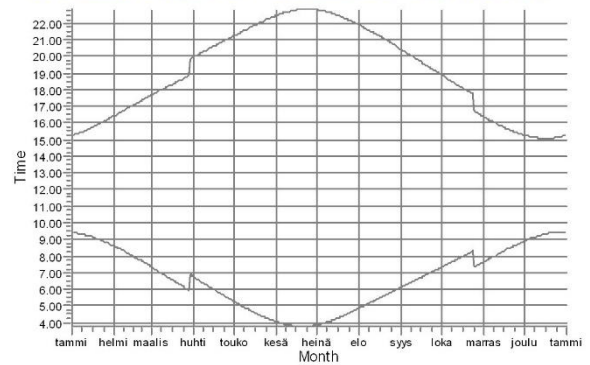
R08: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (10)



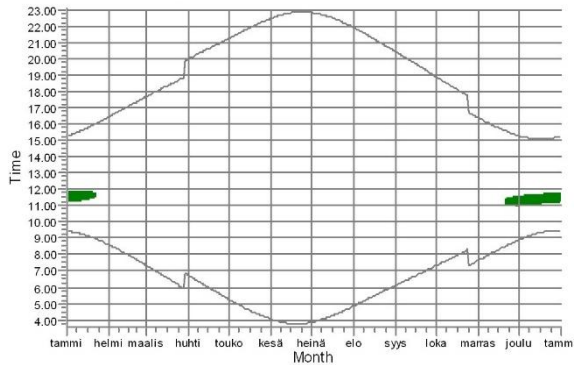
R09: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (11)



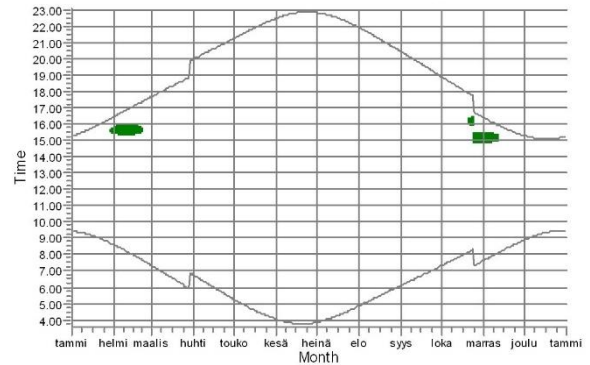
R10: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (12)



R11: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (13)



R12: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (14)



WTGs

T1: D200 - blade 5000 200,0 !O! hub: 180,0 m (TOT: 280,0 m) (35)

Vuoden – ja kellonajat, jolloin välkettä voi teoriassa esiintyä määritellyissä reseptoripisteissä. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia tai pilvisiä päiviä. Välkettä aiheuttavat voimat on esitetty eri väriillä.