

Vastaanottaja
Element Power / Kangastuuli Oy

Asiakirjatyyppe
Raportti

Päivämäärä
6.10.2017

Viite
1510014630-004

KANGASTUULEN TUULI- VOIMAHANKE, OSA 1, SIIKAJOKI VÄLKEMALLINNUS

KANGASTUULEN TUULIVOIMAHANKE, OSA 1,
SIIKAJOKI
VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä 6.10.2017
Laatija Arttu Ruhanen, Dennis Söderholm
Tarkastaja Erika Kylmänen

Tuulivoimahankkeiden välkemallinnus

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 06/2015
aineistoa.

http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501

Viite 1510014630-004

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Suunnitteluohjeavot	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	Kangastuulen tuulivoimalatiedot	4
4.6	Yhteisvaikutusten voimalatiedot	4
5.	Mallinnustulokset ja tulosten tulkinta	5
5.1	Kangastuulen tulokset	5
5.2	Yhteismallinnuksen tulokset	5
6.	Välkevaikutuksien vähentämiskeinot ja -tarve	6
LIITTEET		6
LÄHTEET		6

1. YLEISTÄ

Kangastuulen tuulivoimapuiston kaavaehdotus (33 tuulivoimalaa) on ollut nähtävillä 12.6.-4.8.2017. Hyväksymisvaiheessa kaavaehdotus on päätetty jakaa kahteen osaan (osa 1 ja osa 2). Tämä selvitys on laadittu Kangastuulen tuulivoimapuiston osayleiskaavan osaa 1 varten, joka käsittää 28 tuulivoimalaa. Työn tarkoituksena on ollut selvittää tuulivoimalaitosten aiheuttamat liikku-
kuvan varjostuksen vaikutukset. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Hankkeesta on laadittu 3.11.2015 ympäristövaikutusten arviointiin ja kaavaluonnokseen liittynyt välkemallinnus. Kaavaehdotukseen liittynyt välkemallinnus laadittiin 25.8.2016.

Työ on tehty Element Power/Kangastuuli Oy:n toimeksiannosta, josta yhteyshenkilönä on toiminut Eeva-Maria Hatva. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt Ramboll Finland Oy:stä ins.(AMK) Arttu Ruhanen.

2. SUUNNITTELUOHJEARVOT

Tuulivoimaloista aiheutuvalle liikkuvalla varjostukselle ei ole määritetty Suomessa raja- tai ohje-arvoja. Ympäristöministeriön julkistamassa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaassa suositellaan käyttämään apuna muiden maiden suosituksia välkkeen rajoittamisesta.^[1]

Eri maissa on annettu suunnittelu-arvoja 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 2.1. Esimerkkejä muiden maiden suosituksista ja raja-arvoista välkkeen esiintymisen osalta

Maa	Real Case	Worst Case
Saksa	8 tuntia/vuosi	30 tuntia/vuosi
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 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 eli roottorin asennolla on vaikutusta varjon muodostukselle. Poikittain aurinkoon oleva roottori aiheuttaa erilaisen varjon kuin kohtisuoraan aurinkoon suuntautunut voimala.

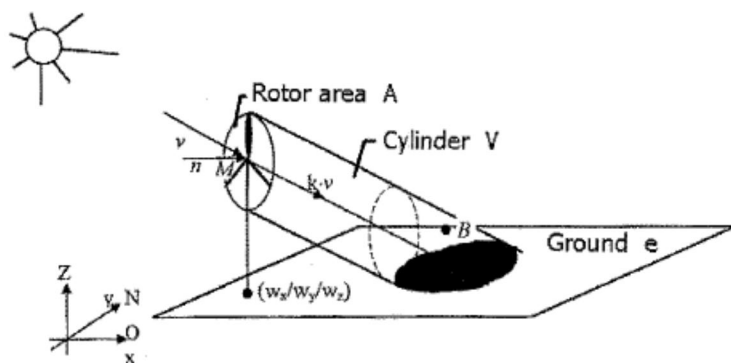
Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan muodosta sekä alueellisista sääolosuhteista sekä maasto-olosuhteista (met-sä, 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. Välkekartan lisäksi voidaan laskea yksittäisiin reseptoripisteisiin kohdistuvaa välkevaikutusta.



Kuva 4.1.1. 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]. Mallinuksissa ei huomioida puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaikutusta, jotka rajoittavat merkittävästi välkkeen esiintyvyyttä maanpinnan tasolla.

Worst Case -laskenta antaa teoreettisen maksimivälkემäärän. Laskenta olettaa auringon paistavan koko ajan, kun aurinko on horisontin yläpuolella ja tuulivoimaloiden oletetaan käyvän koko ajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että väkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä.

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

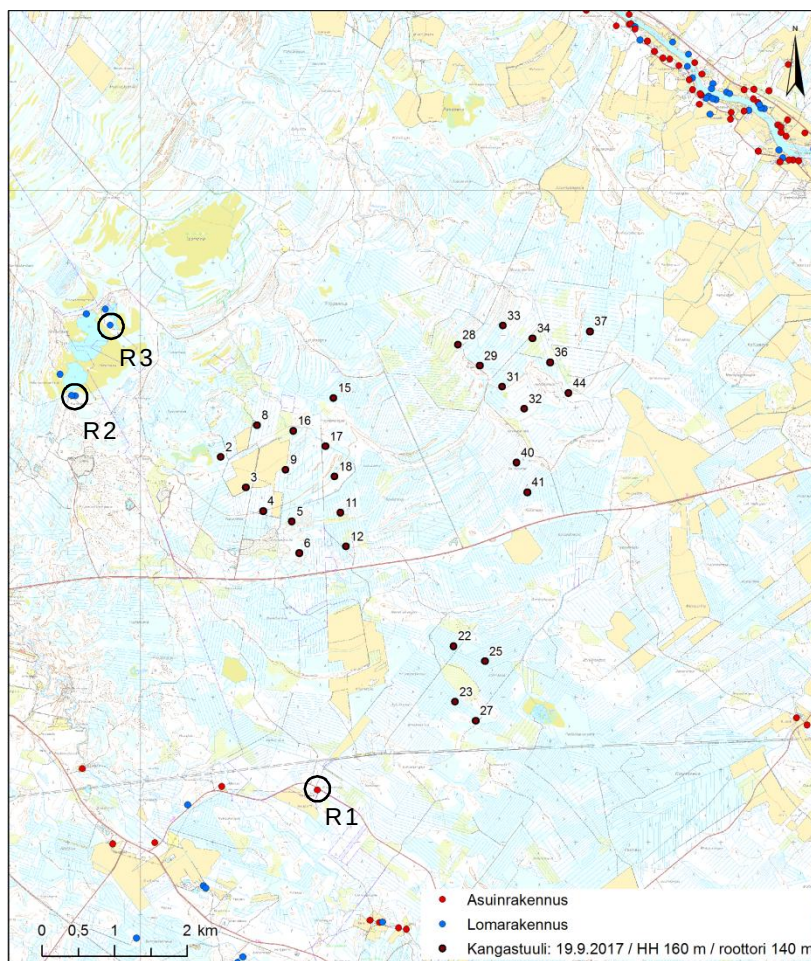
Taulukko 4.2.1. Real Case -laskennassa käytetyt keskimääräiset auringonpaisteisuustunnit päivässä eri kuukausina

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

N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Sum
566	435	339	385	629	692	801	1110	1671	635	469	516	8247

Real Case -välkevyöhykelaskennan lisäksi laskentoja tehtiin myös yksittäisiin reseptoripisteisiin hankealueen ympäristössä, joiden sijainnit on esitetty kuvassa 4.2.3.



Kuva 4.2.3. 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. Real Case -tuloksiin vaikuttavat mallinnuksessa käytetyt auringonpaisteisuustiedot ja tuulen suuntien toiminnalliset ajat. Mikäli voimalan roottori liikkuu tunteina vähemmän ja aurinko paistaa vähemmän, vähentää se välkeilmiön esiintymistä nyt lasketusta, ja mikäli enemmän, se vastaavasti lisää välkeilmiön 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

- aurinko paistaa tuulivoimalaitosten roottorin takaa tarkastelupisteeseen
- tuulivoimala pyörii ja tuulivoimalan roottorin asento mahdollistaa liikkuvan varjon syntymisen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntymisen

Real Case -mallinnuksessa tuotetaan paras mahdollinen ennuste tulevasta välkeatilanteesta alueella. Mallinnusperiaatteiden mukaan laskenta antaa suhteellisen konservatiivisia arvoja, koska mallinnuksessa ei huomioida esim. puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaikutusta. 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 Kangastuulen tuulivoimalatiedot

Kangastuulen tuulivoimaloiden sijoittelu perustuu 19.9.2017 päivättyyn osayleiskaavan hyväksymisvaiheen mukaiseen sijoitussuunnitelmaan, joka käsittää 28 tuulivoimalaa. Mallinnus tehtiin tuulivoimamallilla, jonka napakorkeus on 160 metriä ja roottorin halkaisija 140 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 230 metriä. Maksimivälke-etäisyys on mallinnusohjelman oletusarvon mukainen 2500 metriä.

4.6 Yhteisvaikutusten voimalatiedot

Yhteisvaikutusmallinnuksessa on huomioitu Kangastuulen hankealueen läheisyydessä sijaitsevat muut tuulivoimahankkeet. Lähialueiden hankkeiden tiedot perustuvat 20.5.2016 mennessä saatuihin hanketietoihin sijoittelusta ja voimaloiden mittasuhteista. Kangastuulen hankkeen mallinnus perustuu 2.6.2016 päivättyyn suunnitelmaan.

- Karhukangas: HH 160 m / roottori 140 m (16 voimalaa)
- Isoneva I: HH 114 m / roottori 131 m (23 voimalaa)
- Isoneva II: HH 144 m / roottori 131 m (6 voimalaa)
- Hummastinvaara: HH 123 m / roottori 136 m (15 voimalaa)
- Navettakangas: HH 137 m / roottori 126 m (8 voimalaa)

5. MALLINNUSTULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Mallinnuksen mukaisille välkevaikutusalueille jäävien altistuvien kohteiden kohdalla tulee arvioida kohdekohtaisesti onko ympäristö sellainen, että välkevaikutuksia voi esiintyä kyseisissä paikoissa. Tähän vaikuttavat mm. puusto ja rakennukset, joita mallinnuksessa ei ole huomioitu.

5.1 Kangastuulen tulokset

Kangastuulen hankkeen Real Case -laskennan mukainen välkekartta on esitetty liitteessä 1.

Mallinnuksen mukaan asuin- tai lomarakennusten kohdalla välkemäärä on selvästi alle 8 tuntia vuodessa.

Välkeyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja kolmeen reseptoripisteeseen, jotka on sijoitettu tuulivoimaloiden eripuolilla altistuvien lähimpien kohteiden luo. Reseptoripisteiden vuotuinen välkkeen kokonaismäärä on esitetty taulukossa 5.1.1., joka siis sisältää kaikkien Kangastuulen tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen. Worst Case ei kuvaa todellista välkevaikutusta, koska tulos on teoreettinen maksimi.

Taulukko 5.1.1. Reseptoripistelaskentojen tulokset, kun huomioidaan pelkkä Kangastuulen hanke

Reseptori-piste	Real Case	Worst Case	
	Tuntia vuodessa	Tuntia vuodessa	Tuntia päivässä (maksimissaan)
R1	2:20	8:25	0:15
R2	0:34	3:29	0:15
R3	0:48	6:01	0:14

Välkkymisen mahdolliset ajankohdat reseptoripistekohtaisina kalentereina on esitetty liitteessä 3. Ajankohdat on esitetty kalentereissa teoreettisina maksimivälkeaikoina.

Kaavaehdotusvaiheen mukaisessa tilanteessa välkkeen esiintymisajankohta lounaispuolen lähimmän asuintalon kohdalla (R1) on aikaisin aamulla huhti–toukokuussa ja heinä–elokuussa noin klo 5–6. Hummastinjärvien eteläosassa (R2) välkettä voi aiheutua maaliskuun alussa klo 8 aikoihin ja lokakuun alussa klo 8:30 aikoihin. Hummastinjärvien pohjoisosassa (R3) Kangastuulen hankkeen välkkeen esiintyminen on mahdollista aamulla helmikuussa ja loka–marraskuussa 9–9:30 välisenä aikana. Kerralla kuitenkin enintään 15 minuuttia päivässä.

5.2 Yhteismallinnuksen tulokset

Yhteismallinnuksen Real Case -laskennan mukainen välkekartta on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5.2.1. Reseptoripistelaskentojen tulokset yhteismallinnuksen mukaisessa tilanteessa

Reseptori-piste	Real Case	Worst Case	
	Tuntia vuodessa	Tuntia vuodessa	Tuntia päivässä (maksimissaan)
R1	8:41	30:13	0:29
R2	4:09	19:09	0:25
R3	3:01	19:17	0:37

Yhteisvaikutukset kasvattavat välkkeelle alttiiden kohteiden määrää ja välkemäärää ylipäättään. Kuten liitteiden 1 ja 2 kartoista nähdään, ulottuu Kangastuulen osan 1 välkevaikutusalue kuitenkin vain yhden eteläpuolen asuintalon kohdalle ja neljän Hummastinjärvien rannalla olevan loma-asunnon kohdalle. Kangastuulen osan 1 vaikutusalueen ulkopuolella välke aiheutuu yksinomaan muista tuulivoimahankkeista. Etenkin reseptoripisteessä R1 välkevaikutukset kasvavat Navettakankaan tuulivoimaloiden vaikutuksesta. Myös Hummastinjärvien reseptoripisteissä R2 ja R3 välkevaikutusta kasvattavat itäpuolella oleva Isoneva I ja länsipuolella oleva Hummastinvaaran hankealue.

6. VÄLKEVAIKUTUKSIEN VÄHENTÄMISKEINOT JA -TARVE

Jos vuotuisen todellisen välkemäärän rajana käytetään 8 tuntia tai 10 tuntia vuodessa, ei Kangastuulen hankkeella olisi mallinnuksen mukaan välkkeen rajoittamistarvetta.

Tuulivoimaloiden välkevaikutusta on tarvittaessa mahdollista vähentää teknisin keinoin siten, ettei välkettä esiinny tietyllä kohteella enemmän kuin ennalta määritetty aika. Tämä tapahtuu ohjaamalla tuulivoimalaitokset pysähtymään tiettyinä ajankohtina ja tiettyjen olosuhteiden vallitessa. Välkkeen muodostumista tuulivoimalan ympäristöön voidaan tarvittaessa tarkkailla voimalan nasellin päälle tai runkoon asennettavilla valosensoreilla, jotka laskevat muodostumisen mahdollisuutta tietyssä suunnassa valoisuuden ja roottorin asennon mukaan.

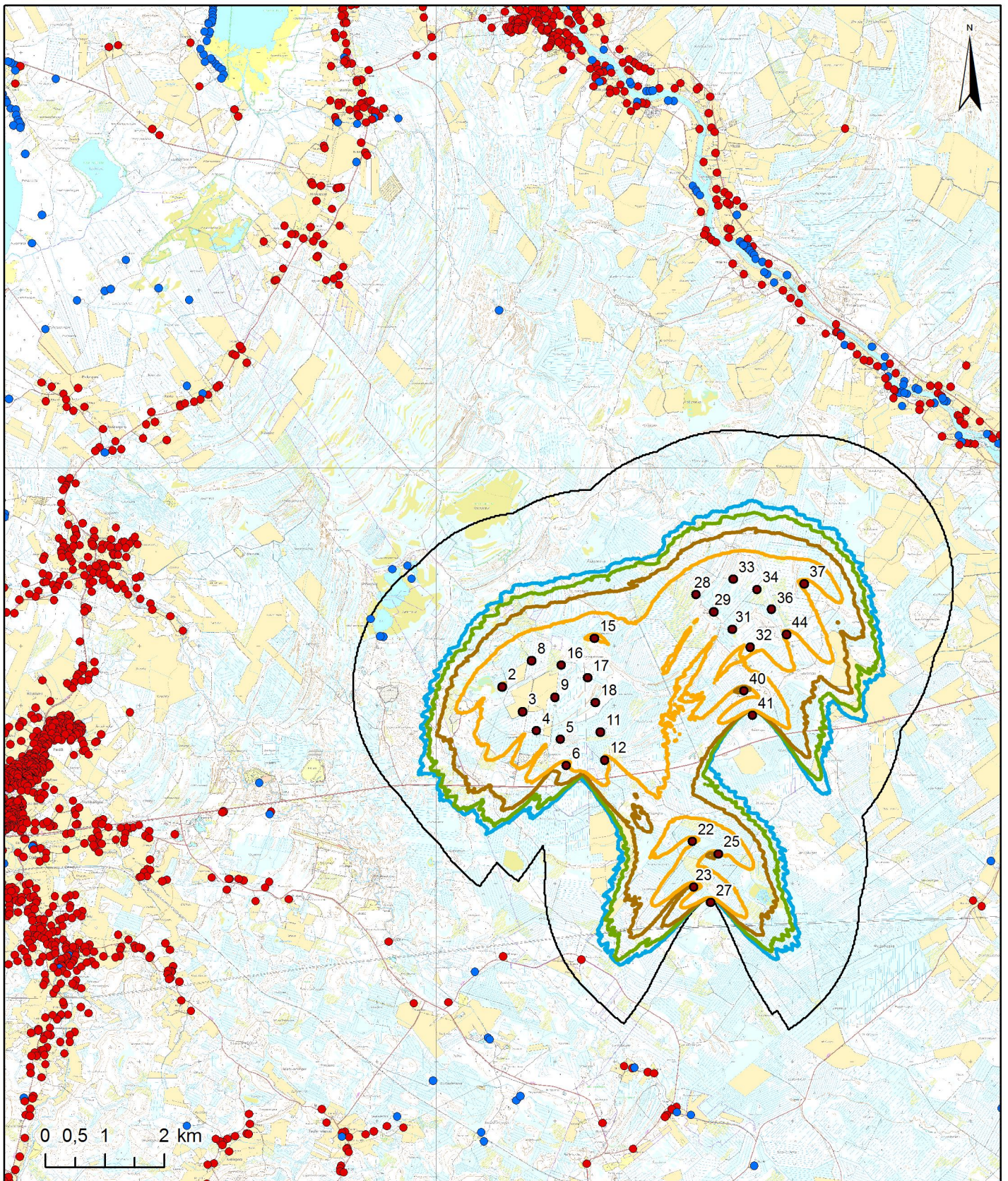
Puustovyöhykkeet rajoittavat välkevaikutuksia, mutta puuston on kuitenkin oltava riittävän tiheää ja korkeata sekä suojata altistuvaa kohdetta kattavasti. Myös vuodenajan vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näkyvyyttä. Jos tuulivoimalat eivät näy katsepisteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu.

LIITTEET

Liite 1	Real Case -laskennalliset välkevyöhykkeet, Kangastuuli
Liite 2	Real Case -laskennalliset välkevyöhykkeet, yhteisvaikutukset
Liite 3	Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä, Kangastuuli
Liite 4	Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä, yhteisvaikutukset

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



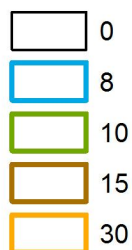
LIITE 1

Element Power
Kangastuuli, Siikajoki

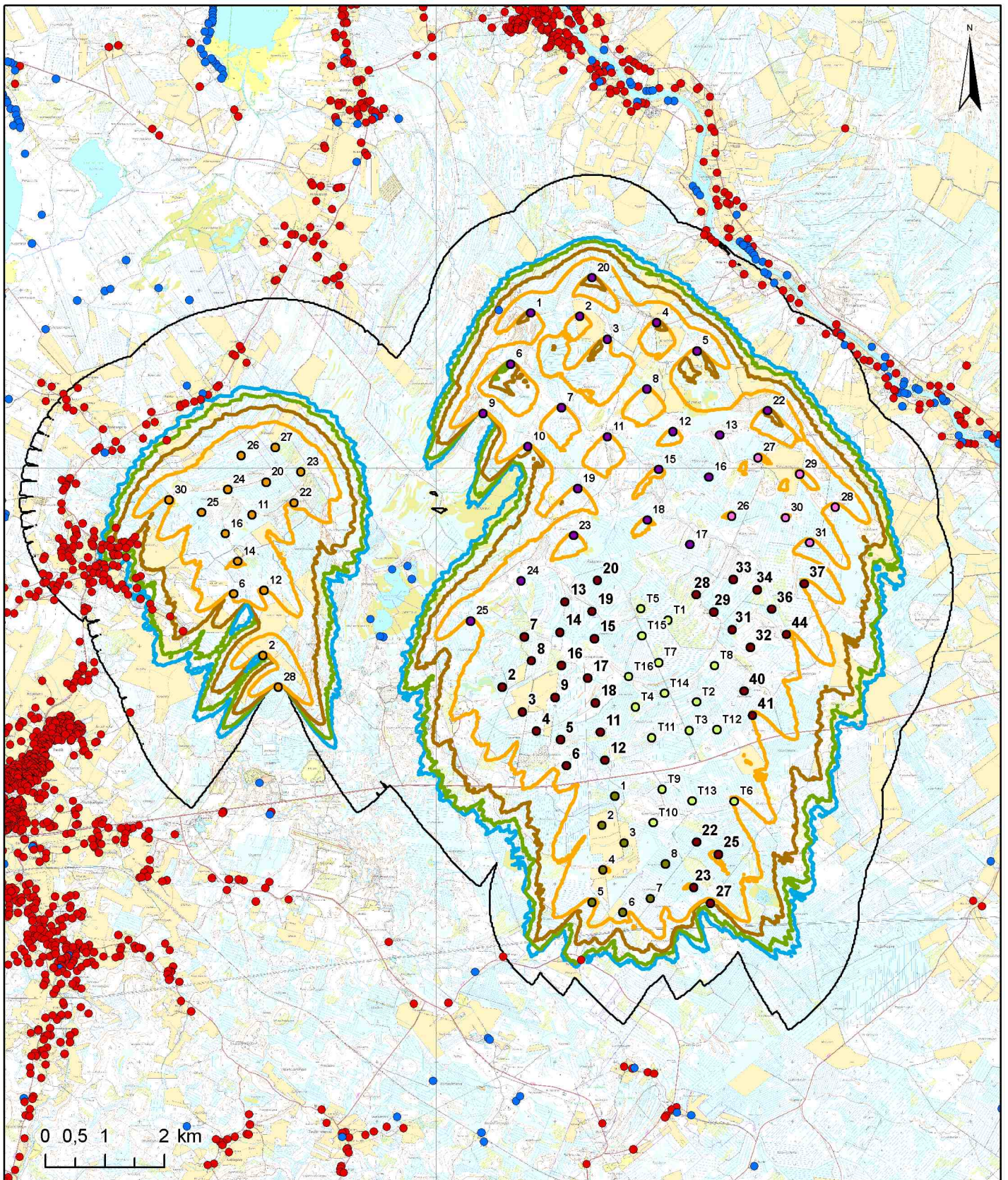
Välkemallinnus (WindPro 3.0)

A.Ruhanen 22.9.2017

Real Case -mallinnus
Välketuntia vuodessa



- Kangastuuli: 19.9.2017 / HH 160 m / roottori 140 m
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



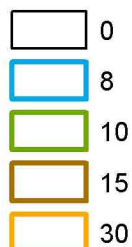
RAMBOLL

Element Power
Kangasjärvi, Siikajoki
Yhteisvaikutukset

Välkemallinnus (WindPro 2.9)

D.Söderholm 16.8.2016

**Real Case -mallinnus
Wälketuntia vuodessa**

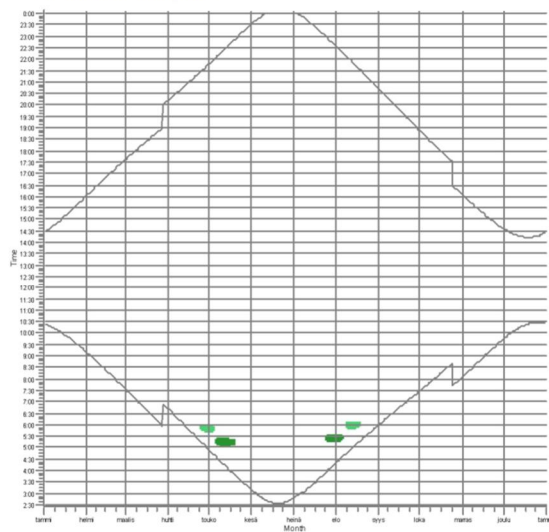


- Asuinrakennus
- Lomarakennus
- Kangasjärvi: HH 160 m / roottori 140 m
- Karhukangas: HH 160 m / roottori 140 m
- Isonäva I: HH 114 m / roottori 131 m
- Isonäva II: HH 144 m / roottori 131 m
- Hummastinvaara: HH 123 m / roottori 136 m
- Navettakangas: HH 137 m / roottori 126 m

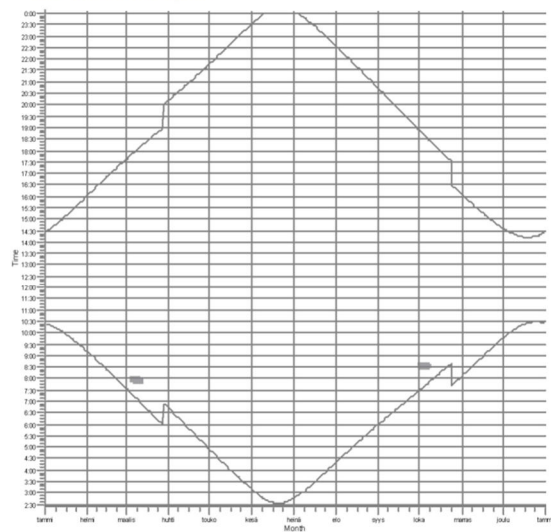
LIITE 2

LIITE 3, AJANKOHTAKAAVIOT: KANGASTUULI

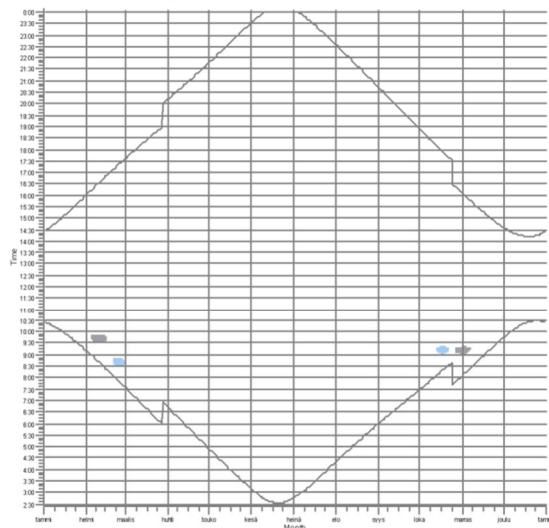
R1: Shadow Receptor:



R2: Shadow Receptor:



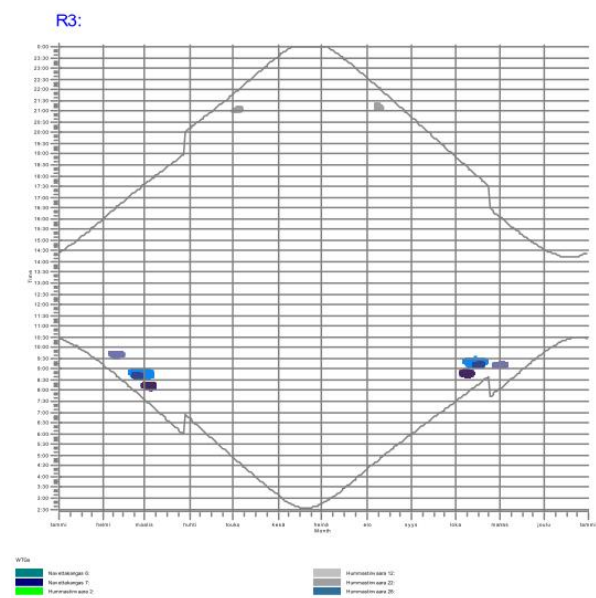
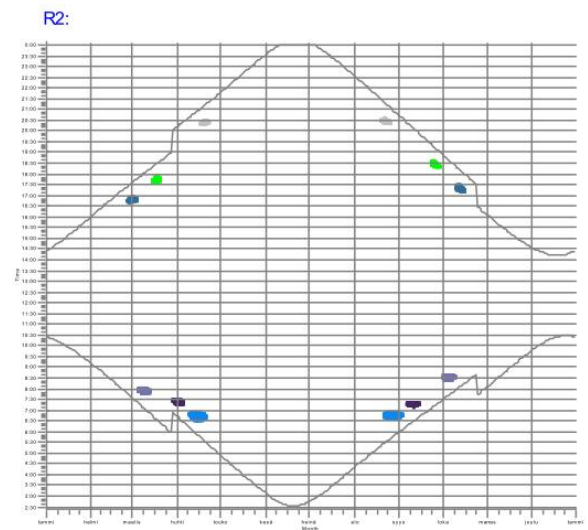
R3: Shadow Receptor:



WTGs

- | | |
|--|---|
| 8: GAMESA G136 - G140 4500 140.0 IOI hub: 160,0 m (TOT: 230,0 m) (251) | 23: GAMESA G136 - G140 4500 140.0 IOI hub: 160,0 m (TOT: 230,0 m) (263) |
| 2: GAMESA G136 - G140 4500 140.0 IOI hub: 160,0 m (TOT: 230,0 m) (252) | 27: GAMESA G136 - G140 4500 140.0 IOI hub: 160,0 m (TOT: 230,0 m) (264) |

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 väreillä.



Vuoden- ja kellonajat, jolloin väkettä voi teoriassa esiintyä määritellyissä reseptoripisteissä. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia tai pilvisiä päiviä. Väkettä aiheuttavat voimat on esitetty eri väreillä.