

Vastaanottaja
Raahen kaupunki

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
20.12.2017

Viite
1510030498-004

RAAHEN ETELÄISEN RANTA-ALUEEN OSAYLEISKAAVA
TUULIVOIMALOIDEN VÄLKEMALLINNUS

TUULIVOIMALOIDEN VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä 20.12.2017
Laatija Arttu Ruhanen
Tarkastaja Janne Ristolainen

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 09/2017 aineistoa.

http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501

Viite 1510030489-004

Ramboll
Niemenkatu 73
15140 LAHTI
T +358 20 755 611
F +358 20 755 7801
www.ramboll.fi

Sisällys

1. Yleistä	3
2. Suunnitteluohjeavot	3
3. Vaikutusmekanismit	4
4. Mallinnusmenetelmä ja lähtötiedot	4
4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli	4
4.2 Väkelaskenta.....	5
4.3 Laskentojen epävarmuus.....	7
4.4 Maastomalli	8
4.5 Tuulivoimalatiedot.....	8
5. Mallinnustulokset.....	9
6. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	10
LÄHTEET	11
LIITTEET	12

1. Yleistä

Tämä selvitys liittyy Raahen eteläisen ranta-alueen osayleiskaavoitukseen. Tämän mallinnustyön tarkoituksena on ollut selvittää Raahen Kuljunniemessä sijaitsevien Suomen Hyötytuuli Oy:n ja Raahen Tuulienergia Oy:n tuulivoimalaitosten aiheuttaman liikkuvan varjostuksen vaikutukset eli välkevaikutukset osayleiskaava-alueella. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä.

Työ on tehty Raahen kaupungin toimeksiannosta. Rambollissa kaavoitustyöstä on vastannut vuonna 2017 FM Miia Nurminen-Piirainen ja kaavoitustyötä on jatkanut FM Minna Lehtonen. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt ins. (AMK) Arttu Ruhanen.

2. Suunnitteluohjearvot

Tuulivoimaloista aiheutuvalle välkkeelle ei ole määritelty Suomessa raja-arvoja tai suosituksia. 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 annettu ohjeistuksena, 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	Worst Case
Saksa	8 tuntia/vuosi	30 tuntia/vuosi 30 min/päivä
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 on vaikutusta varjon muodostukselle. Poikittain aurinkoon oleva voimala aiheuttaa erilaisen varjon kuin kohtisuoraan aurinkoon päin oleva voimala.

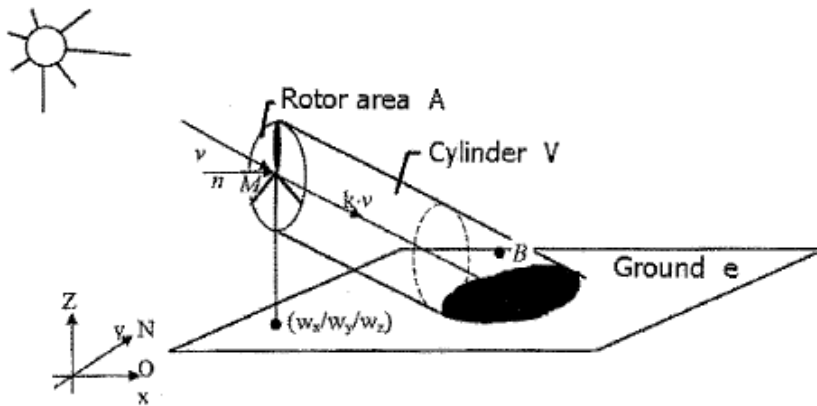
Varjo ulottuu laajimmalle, kun aurinko on matalalla. Toisaalta, kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja 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.

4.2 Välkelaskenta

Laskentapisteen väliseksi etäisyydeksi määritettiin 10 metriä. Laskennan tarkastelukorkeutena käytettiin 1,5 metriä, eli noin ihmisen silmänkorkeutta. 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]. Mallinnuksissa ei huomioida puuston ja rakennusten aiheuttamaa peittovaiikutusta, 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 koko ajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä. Worst case –laskennan vuosi-arvot eivät siten vastaa todellista vuosittaista välkevaikutusta tuulivoimaloiden ympäristössä.

Real case -laskennoissa huomioidaan alueen tuulisuus- ja auringonpaistetiedot tekemällä Worst case -tuloksista vähennykset auringonpaistetietoihin ja käyttötuntitietoihin (tuulen suunta sektoreittain) perustuen. Auringonpaisteisuustietona käytettiin Ilmatieteen laitoksen Oulun lentoaseman sääaseman keskiarvoisia auringonpaisteisuustietoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 ^[6]. Tuulivoimaloiden vuotuinen toiminta-aika 92 % perustuu Suomen Tuuliatlaksen tietoihin hankealueelta ^[7]. Toiminta-aikaa laskettaessa on oletettu, että tuulivoimalat toimivat tuulen nopeuden ollessa napakorkeudella vähintään 3 m/s.

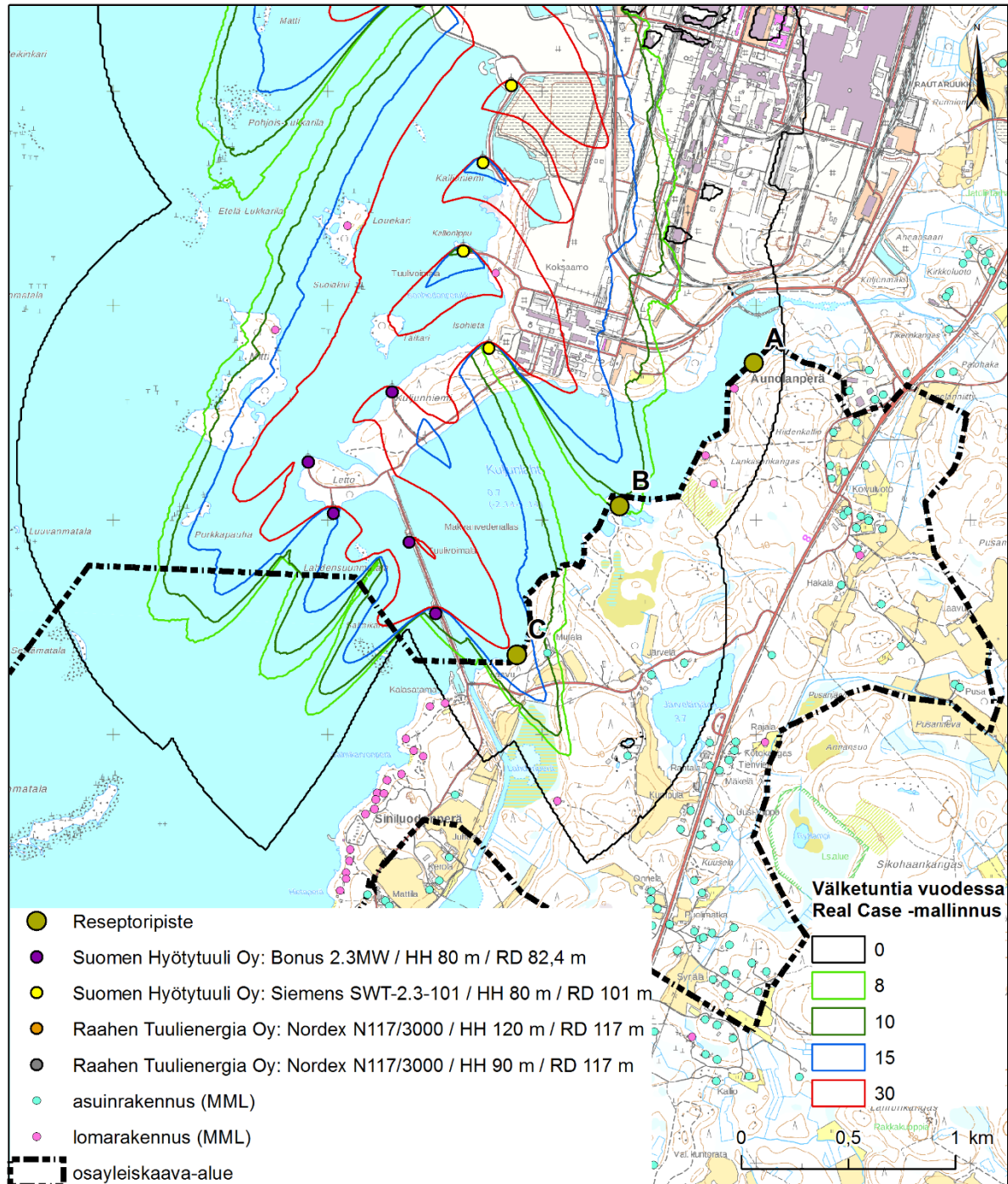
Taulukko 2. Real Case -laskennassa käytetyt keskimääräiset auringonpaisteisuustunnit eri kuu-kausina (tuntia päivässä).

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
619	560	338	398	550	784	1035	1701	968	367	321	405	8046

Välkeyvyöhykelaskentojen lisäksi laskentoja tehtiin yksittäisiin kuvassa 2 esitettyihin reseptoripisteisiin. Reseptoripisteet valittiin osayleiskaava-alueelta siten, että saadaan riittävän kattava kuva milloin välkettä on mahdollista esiintyä eri kohdissa kaava-aluetta.



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 syntymisen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntymisen

Real case -mallinnuksessa tuotetaan paras mahdollinen ennuste tulevasta väketalanteesta 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 korkeusaineistosta, jossa korkeuskäyrät ovat 2,5 metrin välein. Maastomallissa ei huomioitu puustoa tai rakennuksia.

4.5 Tuulivoimalatiedot

Mallinnuksessa huomioitiin Suomen Hyötytuuli Oy:n yhdeksän tuulivoimalaitosta ja kaksi Raahen Tuulienergia Oy:n tuulivoimalaitosta. Tuulivoimaloiden sijainnit perustuvat Maanmittauslaitoksen peruskartan merkintöihin.

Suomen Hyötytuuli Oy:n viisi eteläisintä laitosta ovat Bonus merkkisiä, joiden teho on 2,3 MW. Laitosten napakorkeus on 80 metriä ja roottorin halkaisija 82 metriä. Tuulivoimalamallin maksimivälke-etäisyys 1354 m määräytyy mallinnusohjelman tiedoista.

Suomen Hyötytuuli Oy:n neljä pohjoisinta tuulivoimalaa ovat Siemens WST-2.3-101 mallisia, eli laitosten teho on 2,3 MW. Roottorin halkaisija on 101 metriä ja napakorkeus on 80 metriä. Tuulivoimalamallin maksimivälke-etäisyys on 1371 m.

Raahen Tuulienergia Oy:n kaksi tuulivoimalaa ovat malliltaan Nordex N117/3000. Laitosten teho on 3,0 MW ja roottorin halkaisija on 117 m. Eteläisemmän tuulivoimalan napakorkeus on 120 metriä ja pohjoisemmän 90 metriä. Tuulivoimalamallin maksimivälke-etäisyys on 120 metrin napakorkeuden omaavalle laitokselle 1487 m ja 90 metrin napakorkeuden laitokselle 1489 m.

5. Mallinnustulokset

Real Case -laskennan välkekartta on esitetty liitteessä 1. Välkkymisen ajankohdat reseptoripisteissä graafisena kalenterina on esitetty liitteessä 2.

Mallinnuksen mukaan tuulivoimaloista aiheutuva vuotuisen välkemäärän 8 tunnin vyöhyke ulottuu kaava-alueelle Penkkatien eteläosan lähistöllä Laavun ja Mutalan alueella. Myös hie-
man ylempänä rannikolla 8 tunnin vuotuinen välkevyöhyke ulottuu pieneltä osin maa-alueelle. 10 tunnin välkevyöhyke ulottuu maa-alueelle Laavun ja Mutalan alueella.

Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja kolmeen reseptoripisteeseen, jotka ovat sijoitettu rannikolle eri kohtiin välkevaikutusalueetta. Reseptoripisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 2 ja välkemäärät on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Reseptoripistelaskentojen tulokset

Reseptoripiste	Real Case	Worst Case		
	Tuntia vuodessa	Tuntia vuodessa	Minuuttia päivässä maksimissaan	Potentiaalisten välkepäivien lukumäärä
A	0:47	4:16	19	21
B	8:39	37:28	27	134
C	27:01	110:08	78	108

Osayleiskaavan pohjoisosaan sijoitettuun reseptoriin A välkettä voi esiintyä ennen auringonlaskua maaliskuun vaihteessa ja syyskuussa. Reseptorissa B välkettä voi esiintyä ennen auringonlaskua ajoittain helmikuun puolivälistä lokakuun puoliväliin ajoittuvalla jaksolla. Reseptoripisteessä C mahdolliset välkeajankohdat ovat huhtikuun lopun ja elokuun puolivälin välisenä aikana klo 20-22:30.

Mallinnuksen mukaisella välkevaikutusalueella tulee arvioida kohdekohtaisesti, onko ympäristö sellainen, että välkevaikutuksia voi esiintyä, varsinkin sisämaassa metsän keskellä. Esiintyvyyteen vaikuttavat mm. metsä ja rakennukset, joita mallinnuksessa ei ole huomioitu.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Välkemallinnuksessa huomioitiin 11 Raahen Kuljunniemessä olevaa tuulivoimalaitosta, joista yhdeksän on Suomen Hyötytuuli Oy:n ja kaksi Raahen Tuulienergia Oy:n.

Tuulivoimaloiden vuotuinen välkemäärä (Real case) ylittää osayleiskaava-alueella kahdeksan tuntia Penkkatien eteläosan lähistöllä Laavun ja Mutalan alueella ja pieneltä osin myös hie-
man ylempänä rannikolla. 10 tunnin välkevyöhyke ulottuu maa-alueelle Laavun ja Mutalan
alueella.

Kaava-alueelle ei suositella uutta asuntorakentamista alueille, jossa vuosittainen välkemäärä
ylittää mallinnuksen mukaan 8 tuntia.

Vuosittaiseen todelliseen välkevaikutukseen vaikuttaa, kuinka tarkkaan vuosittainen tuulivoi-
maloiden toiminta ja sääolosuhteet vastaavat mallinnuksessa käytettyjä arvoja, sekä lisäksi
tuulivoimaloiden lapojen näkyminen esimerkiksi puuston tai rakennusten takaa. Rakennus-
ten ohella myös puustovyöhykkeet rajoittavat välkevaikutuksia ympäristössä, mutta puuston
on kuitenkin oltava riittävän tiheää ja korkeata sekä suojata altistuvaa kohdetta kattavasti.
Myös vuodenajan vaihtelut on huomioitava puuston kyvyssä rajoittaa tuulivoimaloiden näky-
vyyttä. Jos tuulivoimalat eivät näy häiriintyvään kohteeseen, ei myöskään välkettä aiheudu.

LÄHTEET

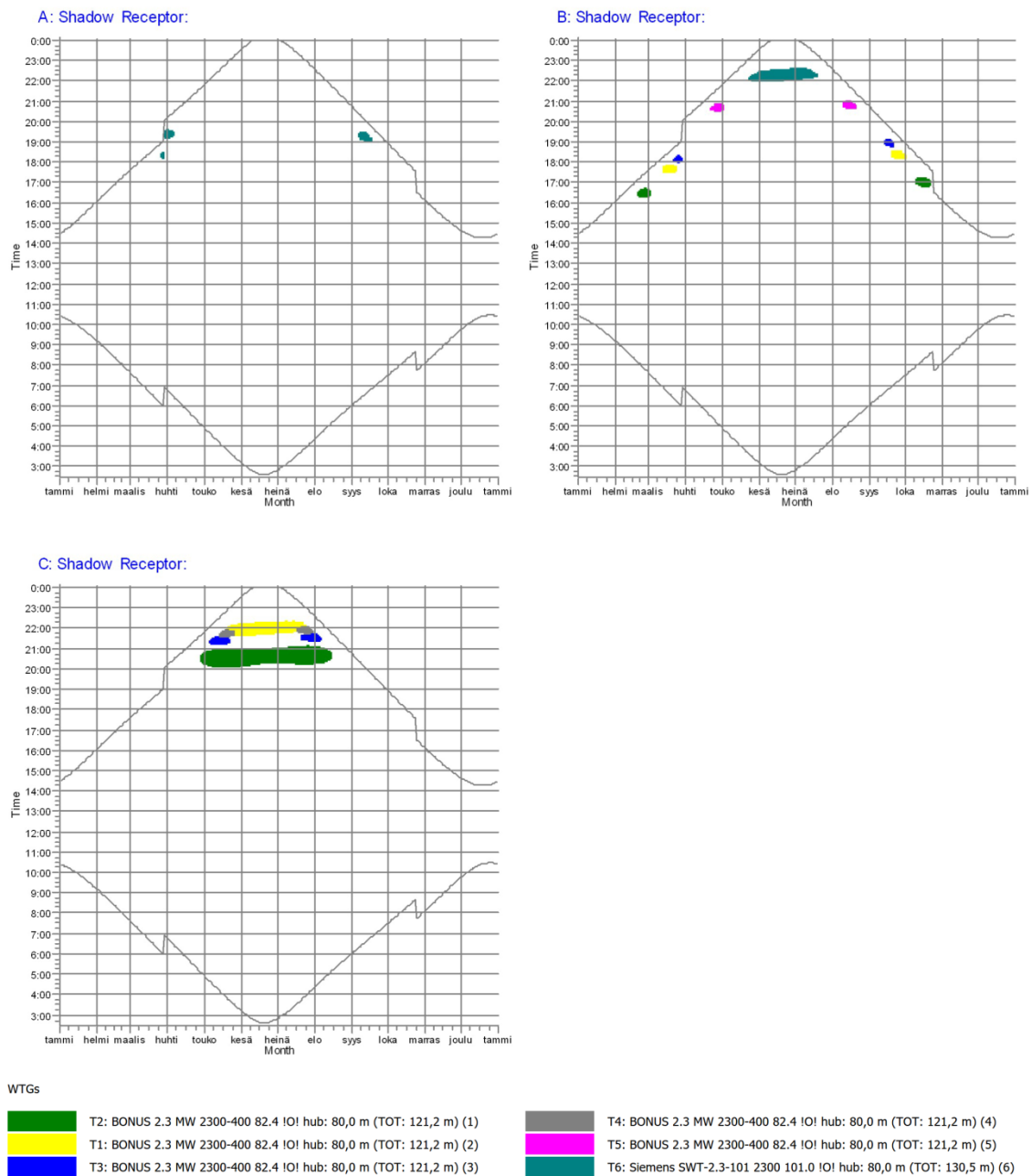
1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
2. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise
3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden
4. Danish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

Liite 2. Kalenterit tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen mahdollisista esiintymisen ajankohdista reseptoripisteissä

Liite 3. Ajankohtakaaviot



Yllä on esitetty erikseen jokaiselle raportin kuvassa 2 esitetylle 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.