Vastaanottaja
Energiequelle GmbH

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
23.2.2022

Viite
1510047865

LIIMATTALAN TUULIVOI-MAHANKE, ÄÄNEKOSKI
VÄLKEMALLINNUS

RAMBOLL

LIIMATTALAN TUULIVOIMAHANKE, ÄÄNEKOSKI
VÄLKEMALLINNUS

Päivämäärä	23.2.2022
Laatija	Ville Virtanen
Tarkastaja	Jari Hosiokangas

Tuulivoimahankkeen välkemallinnus

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 04/2019 aineistoa.

Viite 1510047865

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

SISÄLTÖ

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

LIITTEET

Liite 1	Real Case -laskennalliset välkevyöhykkeet
Liite 2	Kalenterit välkkeen mahdollisen esiintymisen ajankohdista resepto-ripisteissä

1. YLEISTÄ

Energiequelle GmbH suunnittelee tuulivoimapuiston sijoittamista Äänekosken Liimattalan alueelle.

Tämän työn tarkoituksena on ollut selvittää suunniteltujen tuulivoimalaitosten aiheuttamaa liikkuvan varjostuksen (Shadow flicker) vaikutukset ympäristöselvitystä varten, joka tehdään YVA-menettelyn soveltamispäätöksen laatimista varten. Ympäristöministeriön Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016) oppaan mukaisesti liikkuvasta varjosta puhutaan välkkeenä. Tässä työssä päivitettiin 16.5.2019 raportoitu välkemallinnus ilman voimaloita 3 ja 4.

Työ on tehty Energiequelle GmbH:n toimeksiannosta, josta yhteyshenkilö on ollut Tore Regnell. Välkemallinnuksen ja raportoinnin on tehnyt Rambollissa ins. (AMK) Ville Virtanen.

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. 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 suuntautunut voimala.

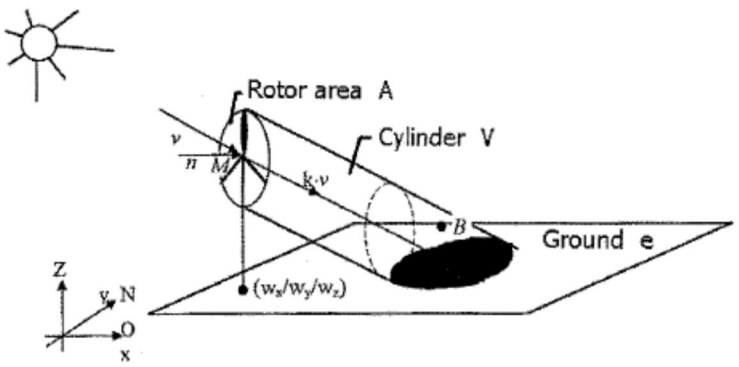
Laajimmalle varjo ulottuu, kun aurinko on matalalla. Toisaalta kun aurinko laskee riittävän matalalle, yhtenäistä varjoa ei enää muodostu. Tällöin valonsäteet joutuvat kulkemaan pitemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin säteily hajaantuu. Vaikutusalueen koko riippuu tuulivoimalamallin dimensioista ja lavan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

4. MALLINNUSMENETELMÄ JA LÄHTÖTIEDOT

4.1 Mallinnusohjelma ja laskentamalli

Tuulivoimaloiden aiheuttaman välkkeen esiintymisalue ja esiintymistiheys laskettiin EMD WindPRO 3.3 -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

Laskentapisteiden 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 (auringonlaskusta auringonnousuun) ja tuulivoimaloiden oletetaan käyvän koko ajan sekä tuulen suunnan seuraavan aurinkoa siten, että välkettä syntyy tarkastelupisteeseen aina maksimaalinen määrä. Worst Case -laskennan vuosiarvot 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 Jyväskylän lentoaseman sääaseman keskiarvoisia arvoja ilmastolliselta vertailukaudelta 1981–2010 [6]. Tuulivoimaloiden vuotuinen toiminta-aika 96 % 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 kuukausina.

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
0,94	2,61	4,06	6,23	8,26	8,23	8,48	6,42	4,00	1,90	0,83	0,45

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
507	414	395	371	500	635	865	1114	1162	975	735	732	8405

Real Case -välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja myös yksittäisiin reseptoripisteisiin hankealueen ympäristössä, joiden sijainnit on esitetty liitteenä olevassa välkevyöhykekartassa.

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 syntymisen takana olevaan tarkastelupisteeseen
- ilman kirkkaus mahdollistaa varjon syntymisen

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 7 tuulivoimalaitosta 13.3.2019 päivätyn layoutin mukaisilla sijainneilla ilman voimaloita 3 ja 4. Mallinnus tehtiin Enercon E-160 tuulivoimalamallilla, jonka napakorkeus on 190 metriä ja roottorin halkaisija 160 metriä eli kokonaiskorkeus oli 270 metriä. Roottorikoon ja napakorkeuden lisäksi myös lavan muoto ja leveys vaikuttavat maksimivälke-etäisyyteen. Laitosmallille käytettiin seuraavia lapatietoja:

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

Dimensioiden mukaan mallinnusohjelma laskee maksimivälke-etäisyydeksi n. 1 900 m.

Taulukko 4. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN).

Tunnus	E / lon	N / lat
1	433790	6956275
2	432629	6956260
5	431787	6957344
6	432521	6957914
7	432384	6957178
8	433260	6956780
9	433332	6957617

5. MALLINNUSTULOKSET

Real Case –laskennan mukainen välkekartta on esitetty liitteessä 1. Vuotuinen välketuntien määrä alittaa 8 h/v kaikkien ympäristön asuintalojen ja lomarakennusten kohdalla.

Välkevyöhykelaskennan lisäksi tehtiin laskentoja reseptoripisteisiin, joiden sijainnit on esitetty liitteenä 1 olevassa välkekartassa. Reseptoripistekohtaiset Real Case välkemäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Reseptoripistelaskennan tulokset

Reseptoripiste	Real Case, tuntia vuodessa
R1	0:00
R2	0:00
R3	6:14
R4	4:07
R5	3:02
R6	1:05
R7	3:09

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

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnuksella tarkasteltiin seitsemän Äänekosken Liimattalan alueelle suunnitellun tuulivoimalan välkevaikutuksia tuulivoimaloiden ympäristössä. Mallinnus tehtiin laitosmallilla, jonka napakorkeus on 190 m ja roottorin halkaisija 160 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. Rakennusten 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 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.

LÄHTEET

1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016

2. Hinweise zur Ermittlung und Beurtelung der optischen Immissionen von Windenergianlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise

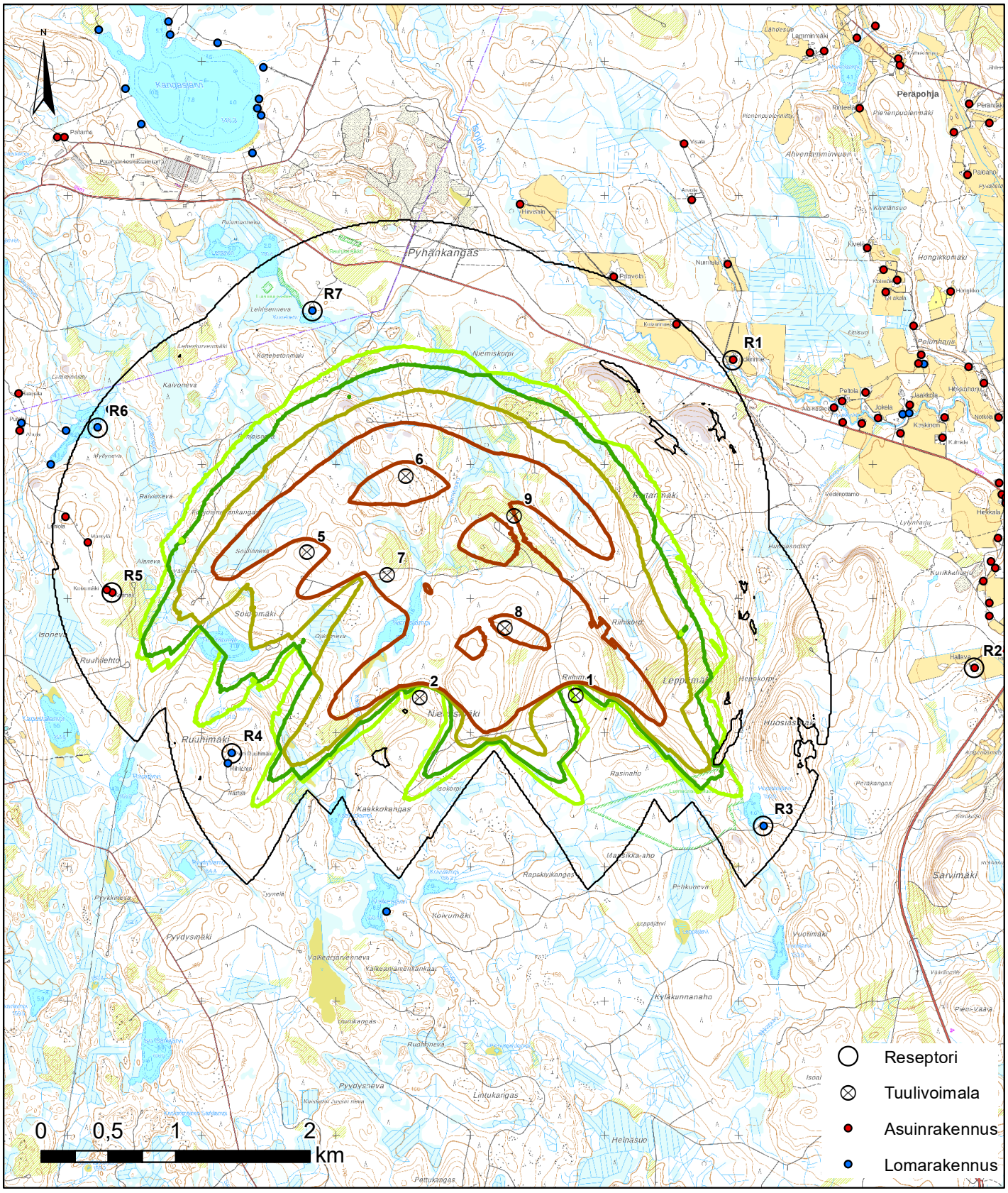
3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, Boverket 2009

4. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2015

5. WindPRO 3.3 User Manual

6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012:1

7. Suomen Tuuliatlas



RAMBOLL

Energiequelle GmbH
Liimattala, Äänekoski

Layout 7.2.2022

Välkemallinnus
(WindPro 3.3)

-napakorkeus (HH) 190 m
-roottorin halkaisija (RD) 160 m
-maksimivälke-etäisyys (max dist.) 1900 m

Välketuntia vuodessa
Real Case -mallinnus

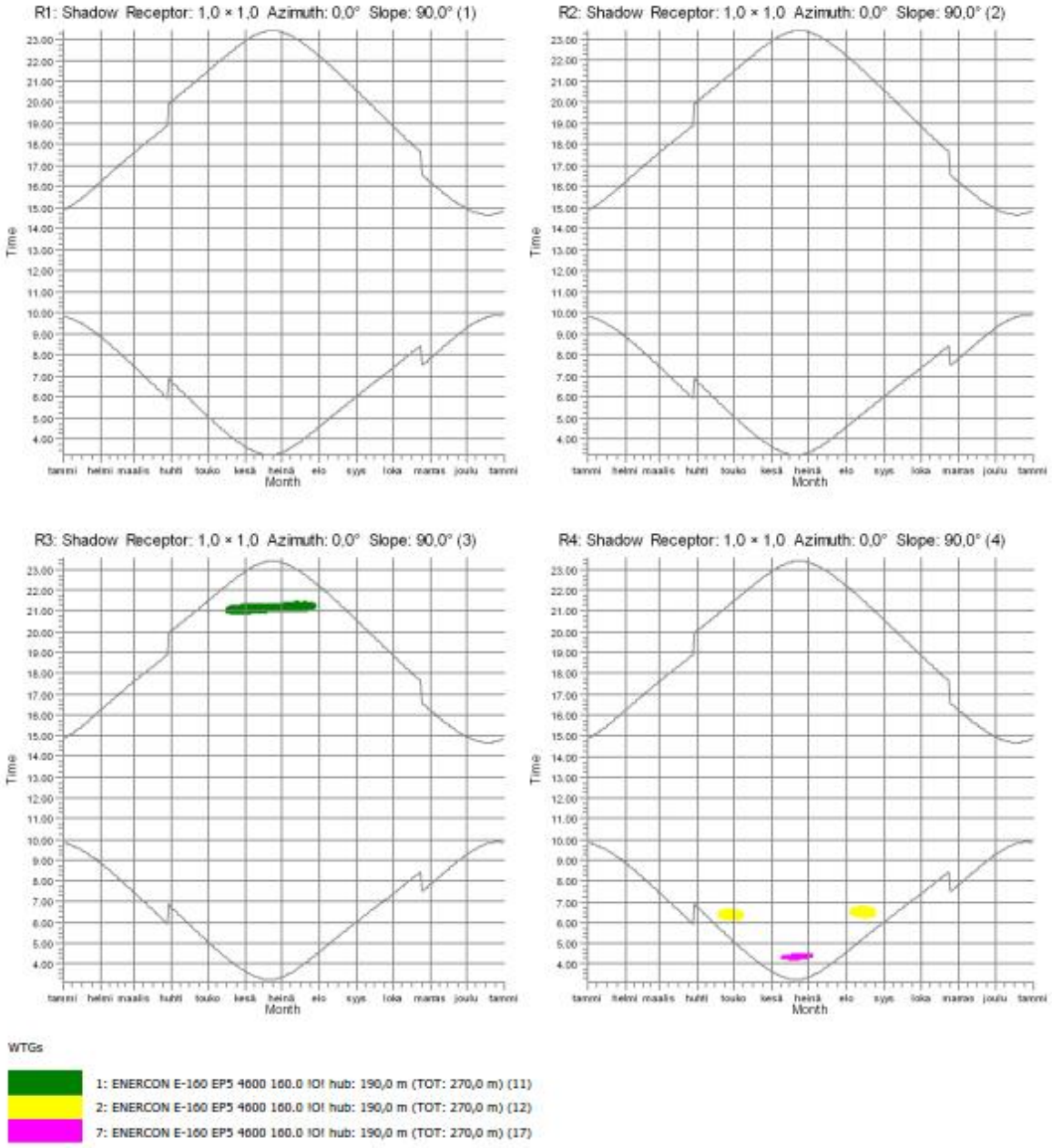
- 0
- 8
- 10
- 15
- 30

7.2.2022

LIITE 2 (1/2), AJANKOHTAKAAVIOT

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res H190 D160 2022-02-07

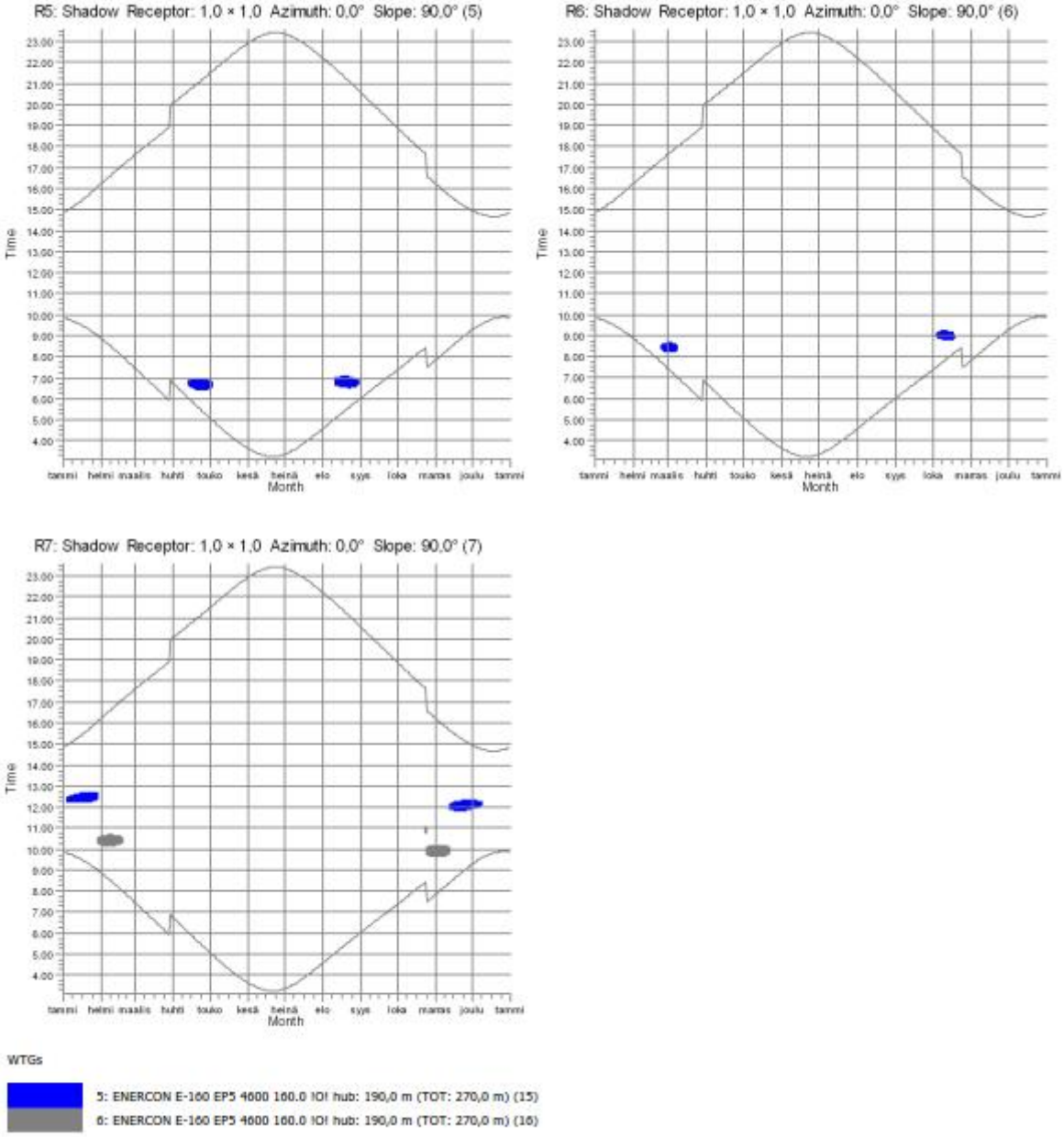


Vuoden – ja kellonajat, jolloin välkettä voi teoriassa esiintyä määritellyissä reseptoripisteissä. Kaavioissa ei ole otettu huomioon tuulettomia tai pilvisiä päiviä. Välkettä aiheuttavat voimalat on esitetty eri värillä.

LIITE 2 (2/2), AJANKOHTAKAAVIOT

SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res H190 D160 2022-02-07



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