



Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy

Konikallion tuulivoimapuiston välkeseelvitys

200_304-011

Tekijä

Mika Laitinen

pvm

23/01/2023

Osasto

Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinnumero

200_304-011

E-mail

mika.laitinen@afry.com

Raporttiversio

001

Raportin tila

VALMIS

Asiakas

Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy

Lauri Vierto

Konikallion tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laajitus	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	23.01.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	23.01.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Ilmatieteen laitoksen avoimien aineistojen käyttöluvien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

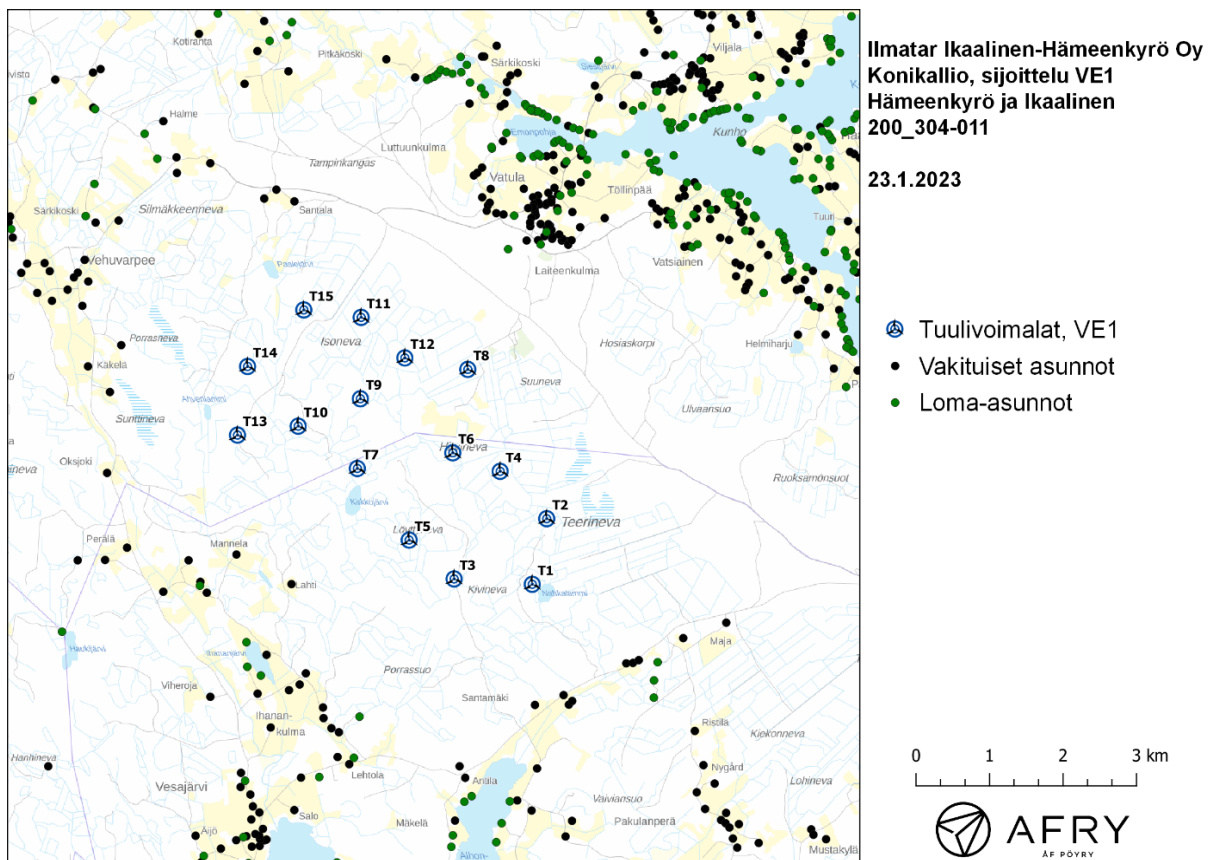
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	7
2.1	Välkevaikutus	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjeavot	8
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	12
3.3	Teoreettinen maksimivälke	0
4	Yhteenveto	0
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	1
6	Viitteet	3

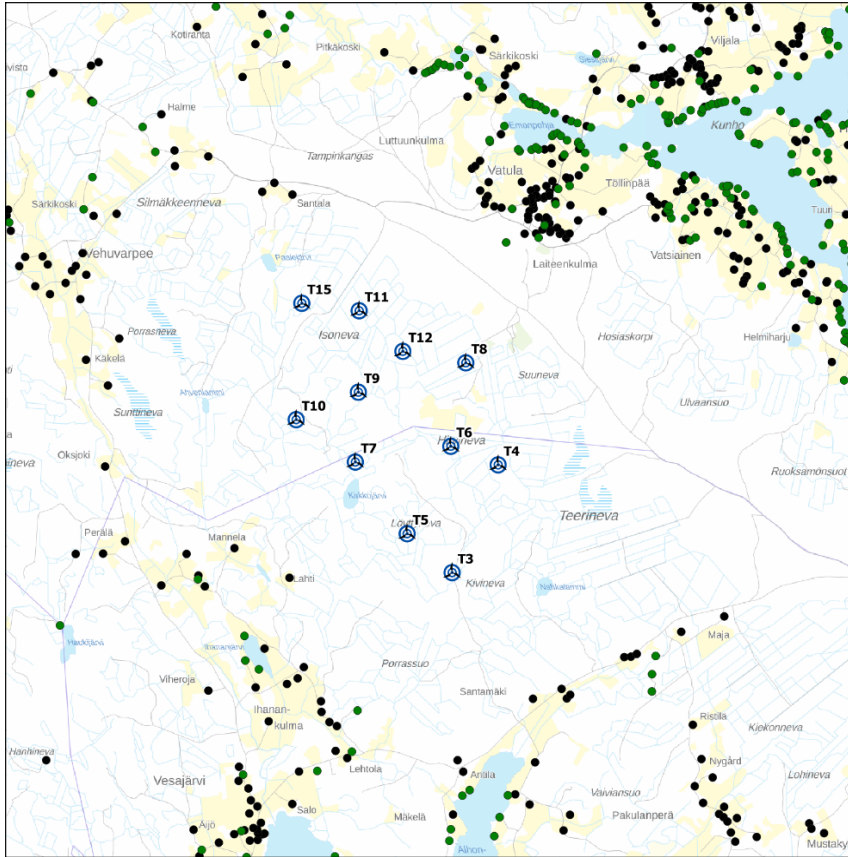
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Ikaalisten kaupungin ja Hämeenkyrön kunnan alueelle suunnitellun Konikallion tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitussuunnitelmille VE1 (15 voimalaa) ja VE2 (11 voimalaa). Sijoitussuunnitelman VE2 on muuten sama kuin VE1, mutta suunnitelmasta VE2 on poistettu suunnitelman voimalat T1, T2, T13 ja T14. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1–Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m.






Kuva 1. Tuulivoimaloiden sijainnit Konikallion tuulivoimapuiston sijoitussuunnitelmalla VE1.



Ilmatar Ikaalinen-Hämeenkyrö Oy
Konikallio, sijoittelu VE2
Hämeenkyrö ja Ikaalinen
200_304-011

23.1.2023

-  Tuulivoimalat, VE2
-  Vakituiset asunnot
-  Loma-asunnot

0 1 2 3 km

Kuva 2. Tuulivoimaloiden sijainnit Konikallion tuulivoimapuiston sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 1. Konikallion tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Voimalat T1, T2, T13 ja T14 on poistettu sijoitus suunnitelmasta VE2. Muilta osin voimaloiden sijainnit ovat samat suunnitelmissa VE1 ja VE2.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	285427,0	6845734,0	133,1
T2	285624,0	6846620,0	132,9
T3	284363,3	6845806,4	130,0
T4	284990,1	6847260,2	138,2
T5	283751,2	6846331,3	129,8
T6	284345,3	6847510,5	128,9
T7	283045,6	6847298,3	125,1
T8	284549,7	6848637,3	129,9
T9	283087,0	6848240,7	125,9
T10	282240,5	6847870,3	114,2
T11	283097,8	6849339,9	125,4
T12	283692,7	6848792,2	137,0
T13	281414,2	6847749,7	118,4
T14	281551,5	6848676,8	123,8
T15	282317,0	6849441,0	125,4

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja kestoon vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja ilta-ajat). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin

vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuoneoletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [1]. Tässä selvityksessä välkeaikoja verrataan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa todennäköisen vuotuisen välkkeen raja-arvo on 8 tuntia. Teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot Saksassa ovat 30 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola mallinnusohjelmistolla. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Välkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m. Voimaloiden lavan muodolle on käytetty profiilia, jonka maksimileveys on 5,0 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 2,0 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on

suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulusuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Jokioisten sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [4]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelu-alueella.

Taulukko 2. Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,165	0,182	0,177	0,141	0,132	0,138

Taulukko 3. Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jokioisten sääasemalla.

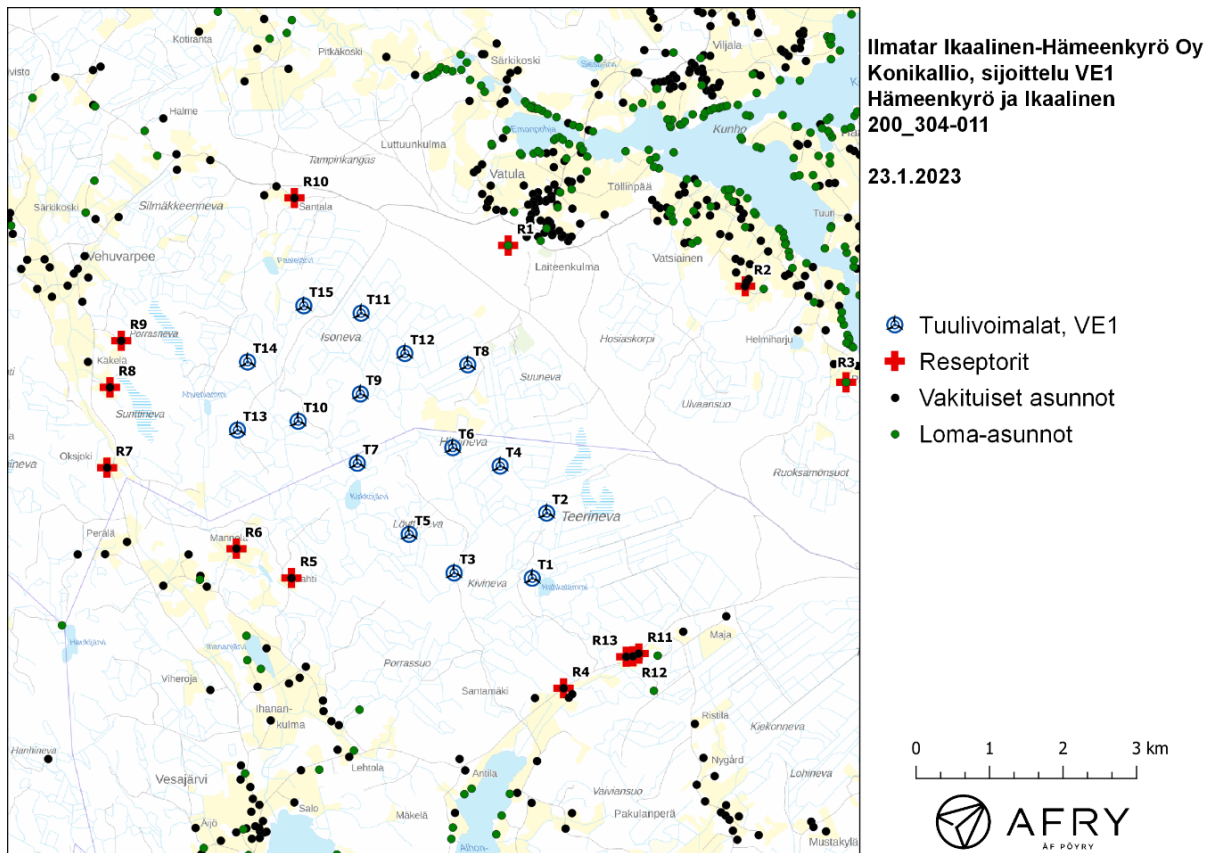
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,177
Helmikuu	0,284
Maaliskuu	0,356
Huhtikuu	0,437
Toukokuu	0,484
Kesäkuu	0,444
Heinäkuu	0,469
Elokuu	0,426
Syyskuu	0,355
Lokakuu	0,250
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,143

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen

sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,5–4,4 km etäisyydellä voimaloista. Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta.

Taulukko 4. Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	285100,4	6850259,4	183,4	loma-asunto
R2	288327,5	6849704,9	106,5	vakituinen asuinrakennus
R3	289701,9	6848397,9	112,3	loma-asunto
R4	285854,6	6844234,9	113,5	vakituinen asuinrakennus
R5	282149,8	6845736,0	109,3	vakituinen asuinrakennus
R6	281400,9	6846133,5	107,4	vakituinen asuinrakennus
R7	279639,6	6847236,4	115,4	vakituinen asuinrakennus
R8	279678,7	6848329,3	112,7	vakituinen asuinrakennus
R9	279832,6	6848962,9	119,5	vakituinen asuinrakennus
R10	282190,8	6850905,6	128,1	vakituinen asuinrakennus
R11	286878,7	6844707,0	120,0	vakituinen asuinrakennus
R12	286799,0	6844669,1	118,2	vakituinen asuinrakennus
R13	286708,5	6844664,0	117,7	vakituinen asuinrakennus

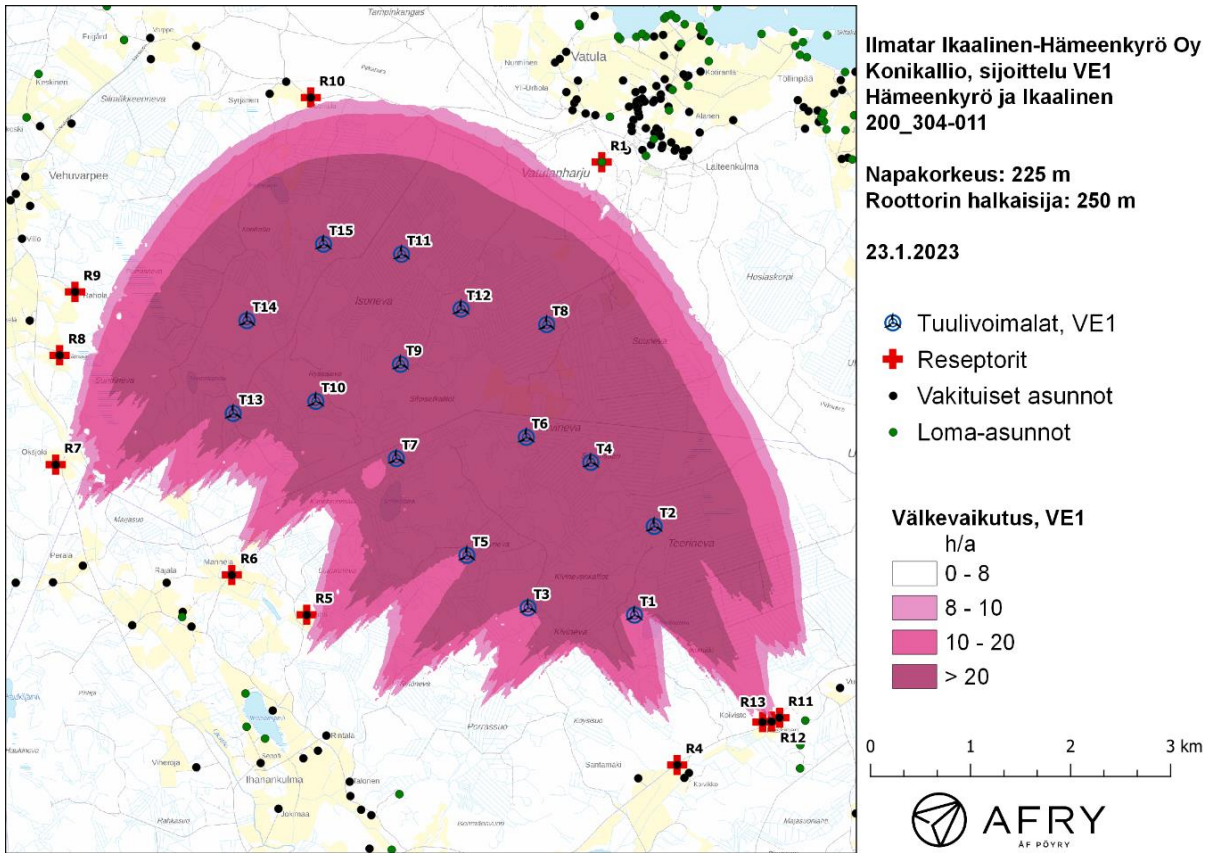


Kuva 3. Reseptoreiden paikat tuulivoimapauston hankealueella.

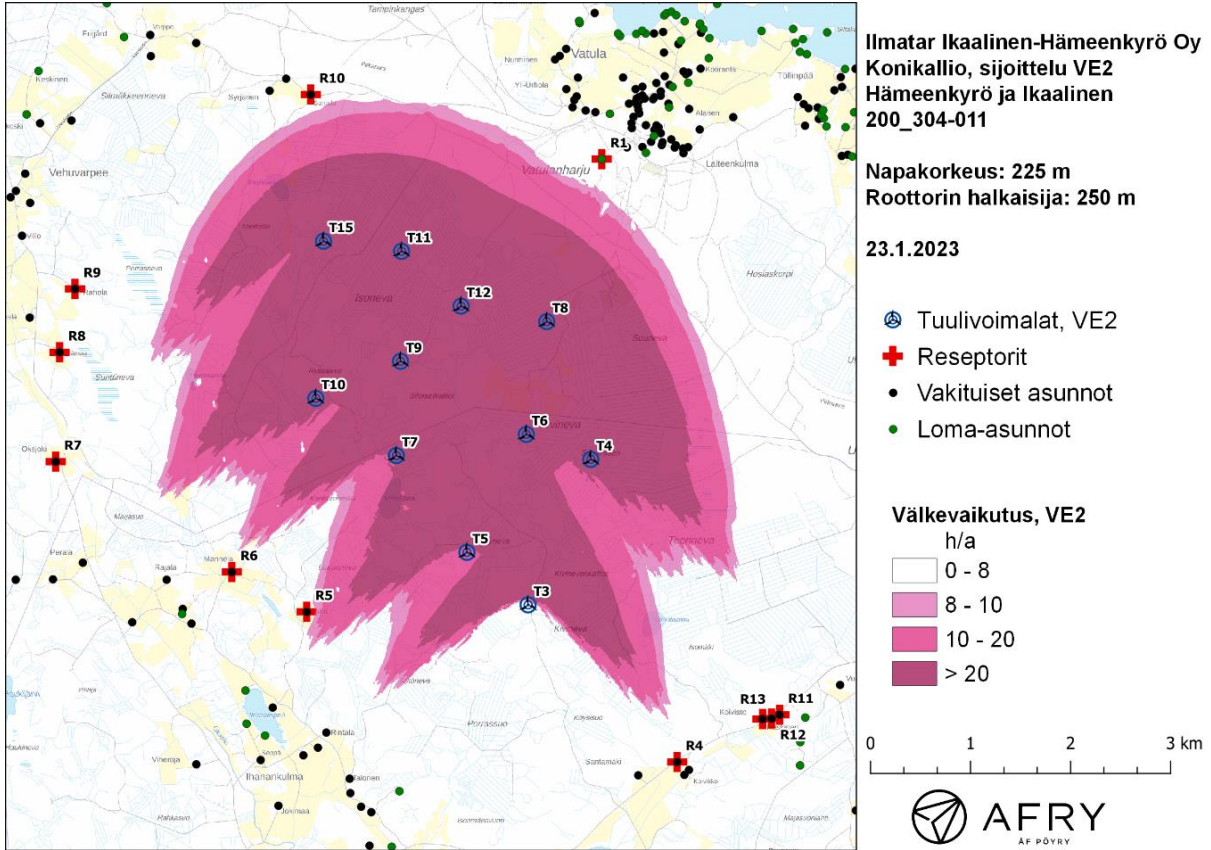
3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisen välkeajan vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 4 ja Kuva 5). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Todennäköiset vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää sijoitussuunnitelmilla VE1 ja VE2 alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla jäävät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R5, R10 ja R11 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 9). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 5. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 5. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ja suurin päiväkohtainen arvo reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	VE1 todennäköinen vuotuinen välke	VE1 todennäköinen päiväkohtainen maksimi	VE2 todennäköinen vuotuinen välke	VE2 todennäköinen päiväkohtainen maksimi
R1	4:26	0:04	4:26	0:04
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	0:00	0:00	0:00	0:00
R5	5:55	0:09	5:55	0:09
R6	4:21	0:08	4:21	0:08
R7	5:29	0:07	0:20	0:02
R8	4:01	0:06	0:16	0:02
R9	3:43	0:06	0:42	0:03
R10	6:41	0:10	5:42	0:10
R11	6:39	0:08	0:00	0:00
R12	6:22	0:10	0:14	0:02
R13	0:45	0:03	0:00	0:00

Taulukko 6. Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R5 kohdalla. Välkevaikutus on sama sijoitussuunnitelmilla VE1 ja VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Toukokuu	0:00	0:00	2:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:37
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	1:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24
Elokuu	0:00	0:00	1:02	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:12
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	5:03	0:52	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:55

Taulukko 7. Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R10 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:46	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:15
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:48	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	1:21	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:58
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	3:31	2:31	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:41

Taulukko 8. Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R10 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:46	1:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:50
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:48	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:50
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	3:31	1:31	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:42

Taulukko 9. Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R11 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1. Sijoitussuunnitelmalla VE2 tähän reseptoriin ei kohdistu välkevaikutusta.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	1:34	0:00	1:45
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05	1:56	0:00	2:01
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:54	0:00	2:54
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	6:23	0:00	6:39

3.3 Teoreettinen maksimivälke

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin ohjearvon reseptorien R1 ja R10 kohdilla molemmilla sijoitussuunnitelmissa. Näiden reseptoreiden kohdilla yli 80 % vuotuisesta teoreettisesta maksimivälkkeestä ajoittuu välille marraskuu–tammikuu, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Konikallion alueella hyvin alhainen. Tämä nähdään välkkeen ajoittumistaulukoista (Taulukko 11 ja Taulukko 12). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo ylittää Saksan 30 minuutin ohjearvon reseptoreiden R1, R6 ja R10 kohdilla molemmilla sijoitussuunnitelmissa. Reseptoreissa R1 ja R10 nämä ohjearvojen ylitykset ajoittuvat marraskuun ja helmikuun väliselle ajalle, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen. Reseptorin R6 kohdalla teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen välkeaika on 30,6 minuuttia eli ylitys on alle minuutin. Tämä ylitys tulee kahtena päivänä kesä- ja heinäkuussa klo 21 jälkeen. Sijoitussuunnitelmalla VE1 teoreettisen maksimivälkkeen päiväkohtainen välkeaika ylittää 30 minuutin ohjearvon myös reseptorin R12 kohdalla. Ylitykset ajoittuvat kesä- ja heinäkuulle klo 21 jälkeen. Teoreettisen maksimivälkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R12 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 13).

Konikallion alueella teoreettisen maksimivälkkeen ylitykset ajoittuvat pääosin hetkiin, jolloin aurinko paistaa hyvin viistosti. Puusto ja rakennukset voivat rajoittaa merkittävästi erityisesti viistoa auringonpaistetta, mutta puustoa tai rakennuksia ei ole huomioitu näissä mallinnuksissa.

Taulukko 10. Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuinen määrä ja suurin päiväkohtainen arvo reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	VE1 teoreettinen vuotuinen maksimivälke	VE1 teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke	VE2 teoreettinen vuotuinen maksimivälke	VE2 teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	39:21	0:34	39:21	0:34
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	0:00	0:00	0:00	0:00
R5	21:17	0:30	21:17	0:30
R6	15:21	0:31	15:21	0:31
R7	19:44	0:26	1:18	0:08
R8	17:27	0:27	1:20	0:09
R9	18:54	0:26	3:06	0:10
R10	63:59	1:02	53:57	1:02
R11	25:11	0:30	0:00	0:00
R12	24:30	0:44	0:54	0:07
R13	4:00	0:13	0:00	0:00

Taulukko 11. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R1 kohdalla. Välkevaikutus on sama sijoitussuunnitelmilla VE1 ja VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:56	0:40	0:00	0:00	0:00	0:00	11:35
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:01	1:09	0:00	0:00	0:00	4:10
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:37
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23	1:46	0:00	0:00	0:00	2:09
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:44	3:17	0:00	0:00	0:00	0:00	10:01
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:48
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	28:28	7:20	3:32	0:00	0:00	0:00	39:21

Taulukko 12. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R10 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05	7:52	13:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	21:08
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	5:06	2:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:49
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:49
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	5:21	15:18	1:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	22:04
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:56	5:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:08
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	6:36	35:16	22:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	63:59

Taulukko 13. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R12 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika). Taulukossa esitetty aikaväli 20–22 on Suomen kesäajassa 21–23.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:12
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	4:05	0:00	4:19
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:58	0:00	9:58
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:33	0:00	9:33
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:27
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54	23:35	0:00	24:30

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Ikaalisten kaupungin ja Hämeenkyrön kunnan alueelle suunnitellun Konikallion tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 15 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1 ja 11 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon alueen kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen kohdilla molemmilla sijoitussuunnitelmilla.

Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kahden asunnon kohdalla molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Saksan 30 minuutin raja-arvo teoreettisen maksimivälkkeen päiväkohtaiselle arvolle ylittyy neljän asunnon kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1 ja kolmen asunnon kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapallolta taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

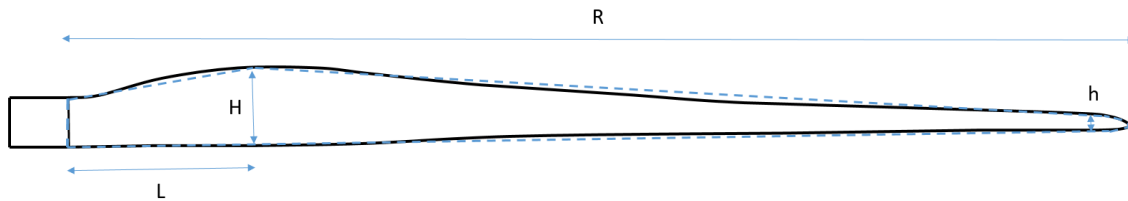
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 6) on esitetty yksinkertaistettu malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 6. Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin välkelaskennassa lavan leveys on mallinnettu kahteen leveysarvoon H ja h perustuvalla lineaarisella approksimaatiolla. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [4] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.