



Neoen Renewables Finland Oy

Marjakeitaan tuulivoimapuiston väikeselvitys

101017590-004, 08.05.2023

Tekijä
Mika Laitinen
Juulianna Lähteinen

pvm
08/05/2023

Osasto
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinumero
101017590-004

E-mail
mika.laitinen@afry.com
juulianna.lahteinen@afry.com

Raporttiversio
002

Raportin tila
VALMIS

Asiakas

Neoen Renewables Finland Oy
Maija-Leena Oinonen

Marjakeitaan tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.10.2022/ Mika Laitinen, Senior Consultant	12.10.2022/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	08.05.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	08.05.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Asuinrakennuksen käyttötarkoituksen muutos.

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen 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>.

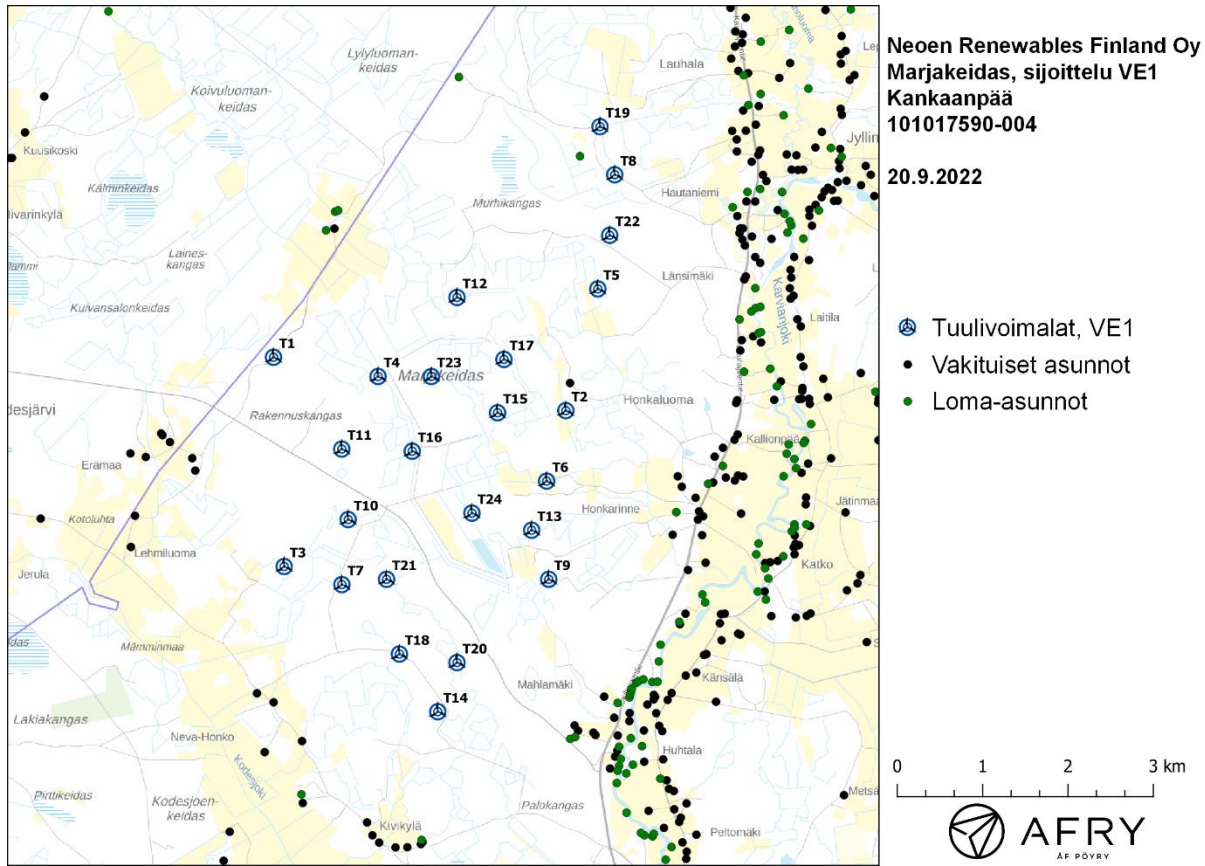
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	10
2.1	Välkevaikutus	10
2.2	Välkkeen rajoittaminen	10
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	10
2.4	Ohjeavot	11
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	12
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	12
3.2	Välkevaikutus	16
4	Yhteenveto	21
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	22
6	Viitteet	24

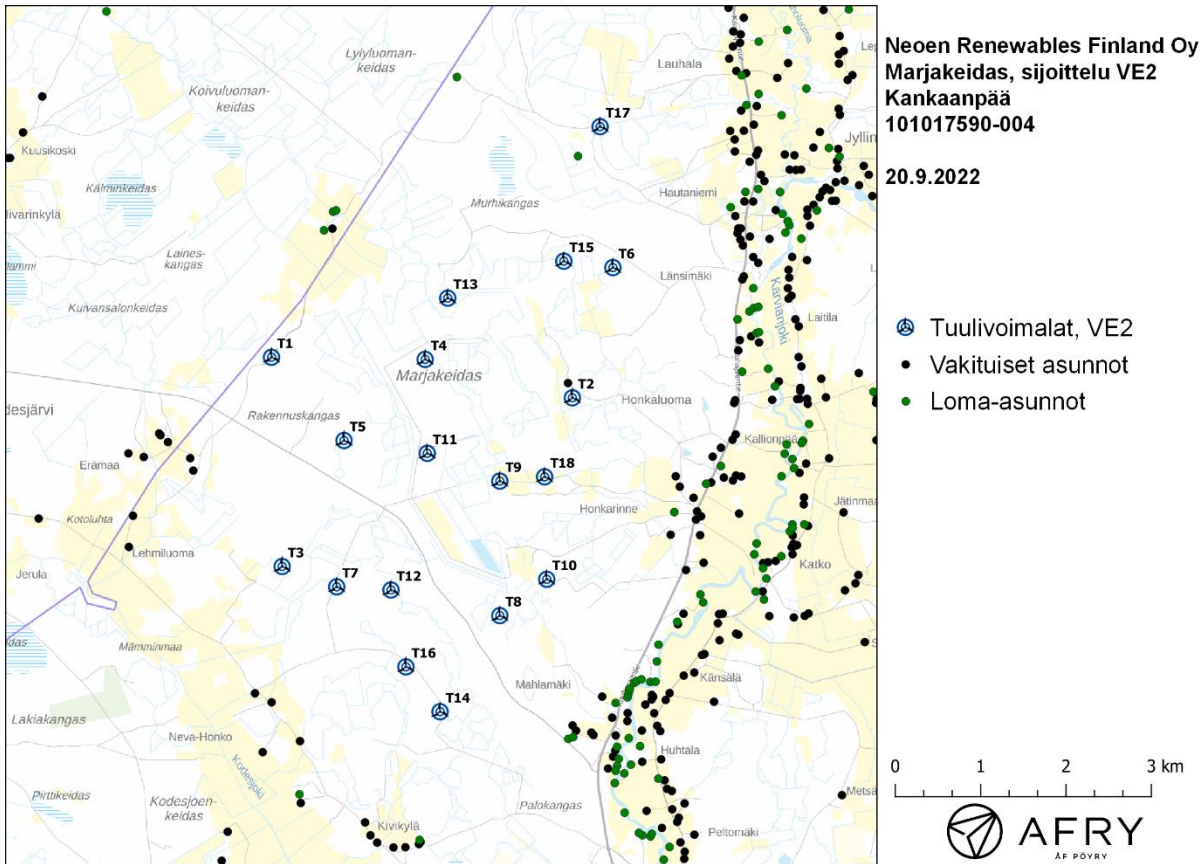
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitus suunnitelmille VE1 (24 voimalaa), VE2 (18 voimalaa) ja VE3 (9 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1–Kuva 3) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1–Taulukko 3).

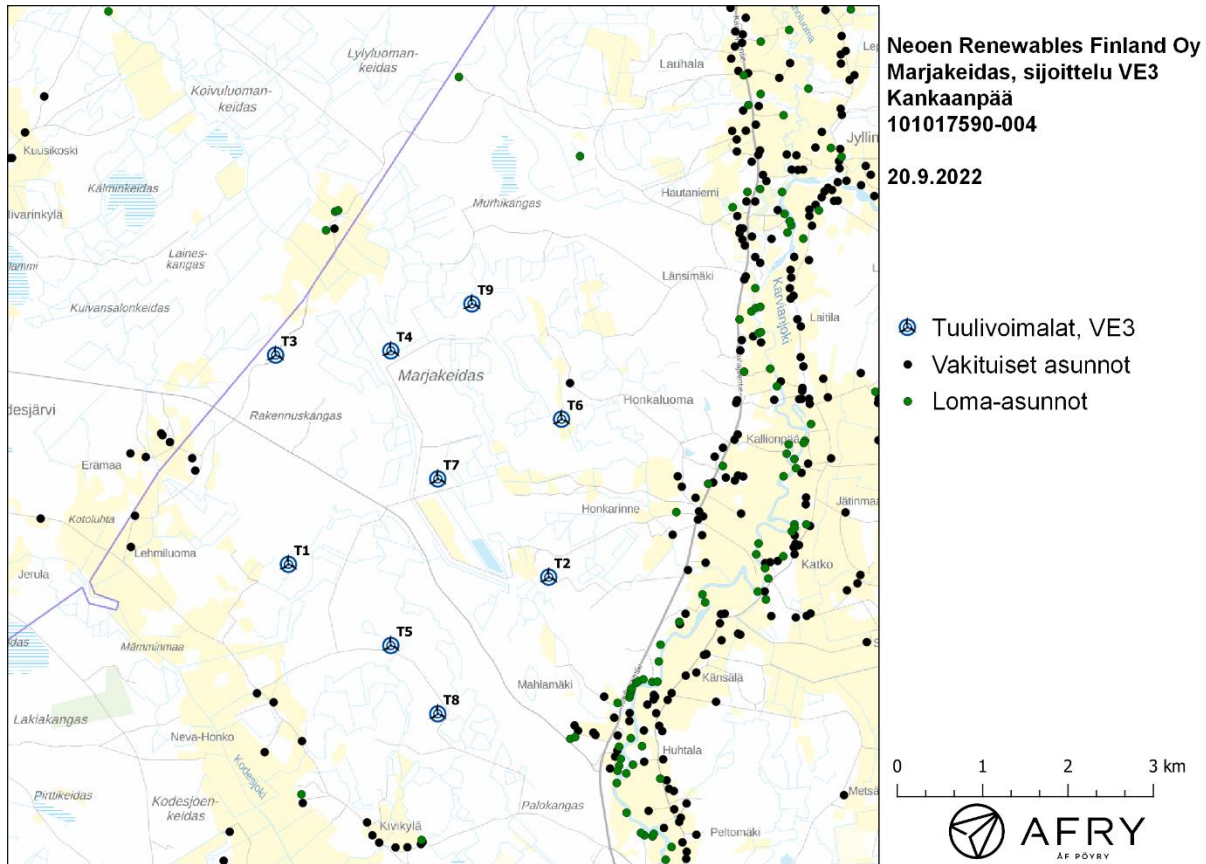
Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 215 m ja turbiinityypin SG170 6.2 MW lapaprofiilia. Tämän turbiinityypin roottorin halkaisija on 170 m.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitus suunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 3: Tuulivoimaloiden sijainnit Marjakeitaan tuulivoimapaiston sijoitussuunnitelmalla VE3.

Taulukko 1: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE1: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246386	6890001	123
T2	249811	6889376	115
T3	246511	6887551	113
T4	247611	6889776	122
T5	250186	6890801	122
T6	249586	6888551	113
T7	247187	6887339	118
T8	250384	6892138	128
T9	249611	6887401	115
T10	247261	6888101	119
T11	247186	6888926	124
T12	248536	6890701	120
T13	249411	6887976	115
T14	248311	6885851	115
T15	249011	6889351	119
T16	248011	6888901	118
T17	249086	6889976	120
T18	247861	6886526	118
T19	250211	6892701	131
T20	248536	6886426	116
T21	247711	6887401	120
T22	250325	6891429	127
T23	248236	6889776	120
T24	248711	6888176	118

Taulukko 2: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE2: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246386	6890001	123
T2	249911	6889526	115
T3	246511	6887551	113
T4	248186	6889976	121
T5	247236	6889026	125
T6	250386	6891051	125
T7	247150	6887313	117
T8	249061	6886976	115
T9	249061	6888551	114
T10	249611	6887401	115
T11	248211	6888876	119
T12	247786	6887276	119
T13	248451	6890693	122
T14	248361	6885851	115
T15	249811	6891126	124
T16	247961	6886376	118
T17	250236	6892701	130
T18	249586	6888601	113

Taulukko 3: Marjakeitaan sijoitussuunnitelma VE3: tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246561	6887576	113
T2	249611	6887426	115
T3	246411	6890026	123
T4	247761	6890076	120
T5	247761	6886626	118
T6	249761	6889276	114
T7	248311	6888576	118
T8	249061	6886976	115
T9	249061	6888551	114

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 keston 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 välkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

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 kellon-aikoina. 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. kasvihuone-oletusta, 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]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja.

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, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto 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 ihmissilmän 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 väkelaskennan 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 väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 215 m ja turbiinityypin SG170 6,2 MW lapaprofiilia. Tämän turbiinityypin roottorin halkaisija on 170 m. Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätä (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 väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää 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 tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 4).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [4]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 5). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 4: 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	0,169	0,199	0,178	0,118	0,139	0,131

Taulukko 5: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

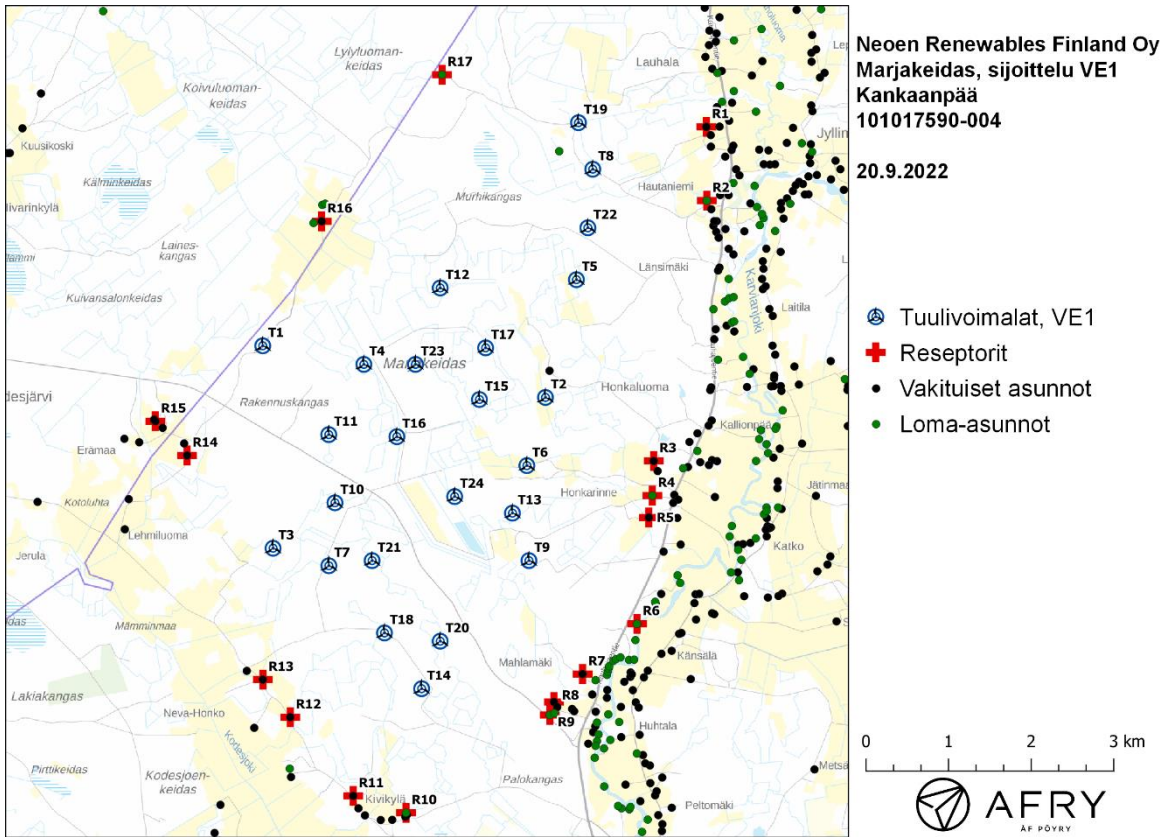
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

Taulukossa (Taulukko 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 17 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Kiinteistöt sijaitsevat noin 1,4–3,7 km etäisyydellä voimaloista.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Maastotietokannan mukaan sijoitussuunnitelman VE1 mukaisen voimalan T19 lounaispuolella on loma-asunto, mutta todellisuudessa kyseessä on metsästysmaja, johon ei sovelleta välkevaikutuksen ohjearvoja. Sijoitussuunnitelman VE1 voimalan T2 pohjoispuolella on asuinrakennus, jonka käyttötarkoitus on asiakkaalta tulleen tiedon mukaan muutettu muuksi rakennukseksi, jota välkevaikutusten ohjearvot eivät koske. Tämän vuoksi kyseistä rakennusta ei ole huomioitu välkevaikutusten arvioinnissa.

Taulukko 6: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	251761	6892649	120	vakituinen asuinrakennus
R2	251767	6891756	113	loma-asuinrakennus
R3	251124	6888605	112	vakituinen asuinrakennus
R4	251107	6888186	109	loma-asuinrakennus
R5	251064	6887921	106	vakituinen asuinrakennus
R6	250922	6886634	101	loma-asuinrakennus
R7	250262	6886026	105	vakituinen asuinrakennus
R8	249915	6885688	108	vakituinen asuinrakennus
R9	249865	6885531	112	loma-asuinrakennus
R10	248123	6884347	106	loma-asuinrakennus
R11	247483	6884552	105	vakituinen asuinrakennus
R12	246721	6885504	98	vakituinen asuinrakennus
R13	246389	6885959	97	vakituinen asuinrakennus
R14	245470	6888672	111	vakituinen asuinrakennus
R15	245086	6889086	109	vakituinen asuinrakennus
R16	247101	6891505	115	vakituinen asuinrakennus
R17	248559	6893279	139	loma-asuinrakennus



Kuva 4: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 5–Kuva 7). 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.

Vuotuiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus jää kaikilla sijoitussuunnitelmissa alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Kaikilla sijoitussuunnitelmissa päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.

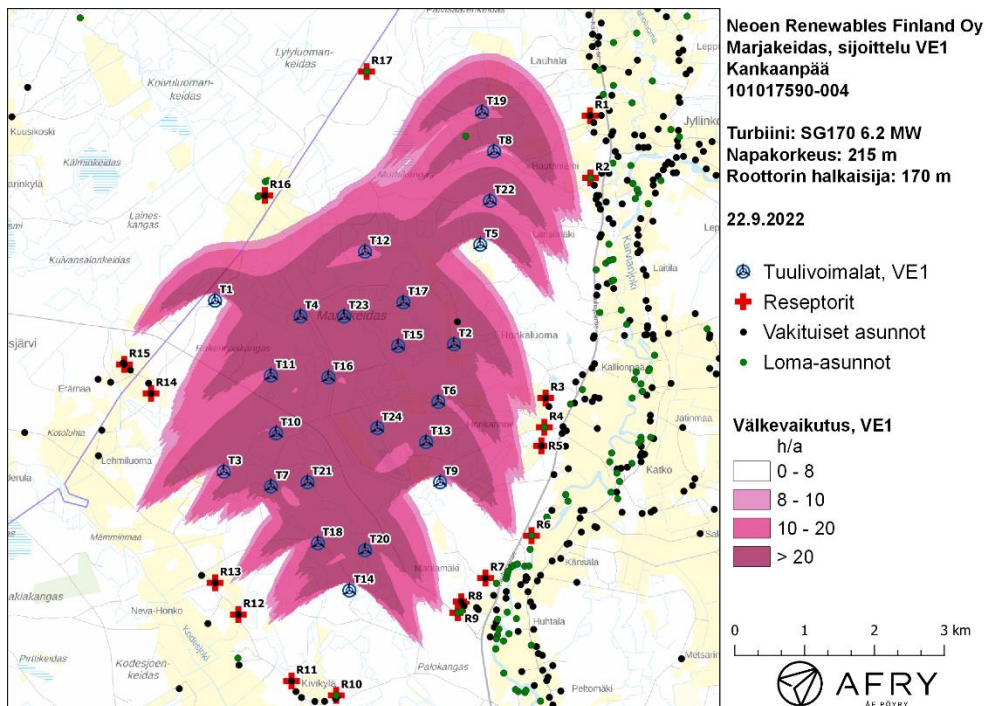
Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden kohdilla, joissa vuotuinen välkeaika ylittää neljä tuntia on esitetty taulukoissa (Taulukko 9–Taulukko 14). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 7: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

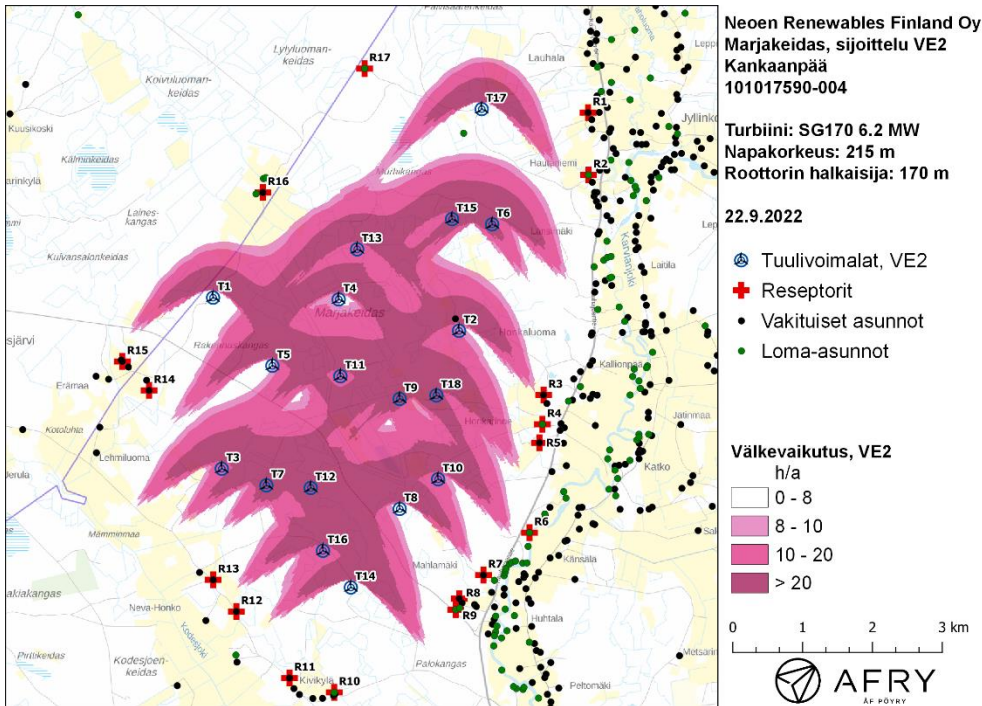
Reseptori	VE1 [h:min]	VE2 [h:min]	VE3 [h:min]
R1	2:42	1:27	0:00
R2	4:27	2:22	0:00
R3	4:24	5:33	2:17
R4	5:24	2:42	2:52
R5	3:11	2:56	2:26
R6	3:32	2:45	2:12
R7	1:12	4:50	0:25
R8	3:03	1:33	0:58
R9	3:36	1:46	1:09
R10	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00
R12	2:42	1:19	1:28
R13	3:40	2:09	4:52
R14	2:36	2:05	0:51
R15	0:40	0:39	0:17
R16	2:15	1:59	2:08
R17	0:51	0:35	0:00

Taulukko 8: Suurin päivakohtainen välkeika minuutteina reseptoreiden kohdilla.

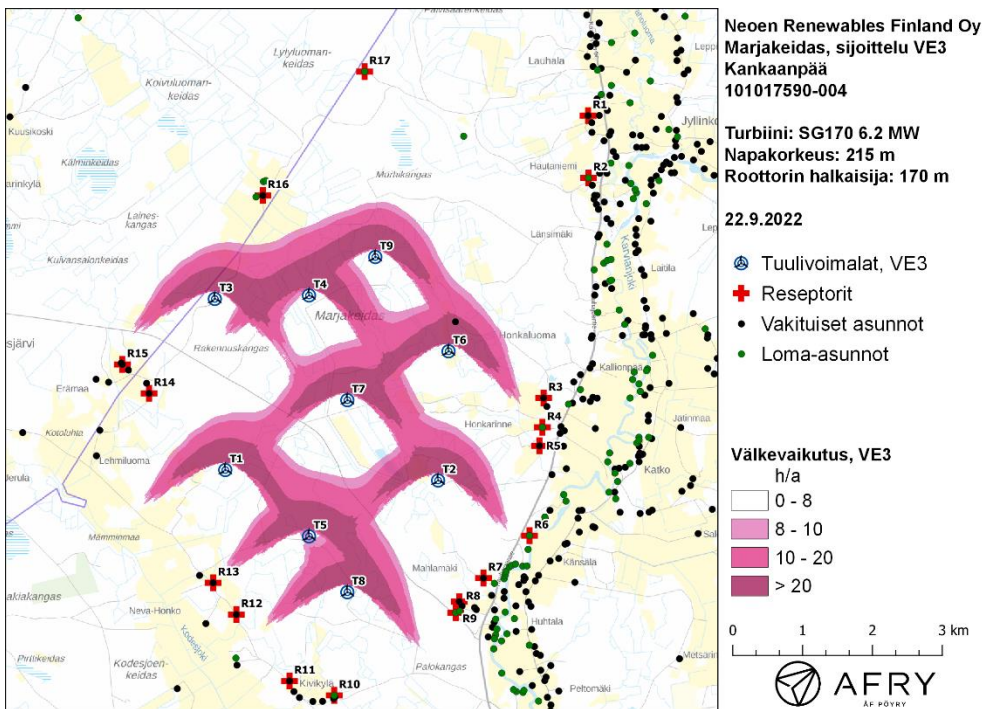
Reseptori	VE1 [min]	VE2 [min]	VE3 [min]
R1	5	5	0
R2	6	5	0
R3	6	6	6
R4	5	5	5
R5	5	5	4
R6	5	5	6
R7	4	6	3
R8	5	5	4
R9	5	5	5
R10	0	0	0
R11	0	0	0
R12	5	5	5
R13	6	5	7
R14	4	5	3
R15	3	3	2
R16	4	3	5
R17	3	3	0



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkeivaikutus sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 6: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 7: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitussuunnitelmalla VE3.

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R2 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0:16
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0:35
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0:53
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0:33
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0:12
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	1:09
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0:35
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0:13
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	1:26	2:48	0:00	0:00	4:27

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R3 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0:16
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	0	0	0:19
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0	1:05
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0:34
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0:35
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0:30
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	13	12	0	0	0	0:25
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	1:31	2:25	0:00	0:00	4:24

Taulukko 11: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R4 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0:11
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0:32
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0:38
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0:19
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	0	1:23
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	1:05
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0:37
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0:21
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	6	11	0	0	0	0:17
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	1:16	1:15	2:47	0:00	5:24

Taulukko 12: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R3 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0:16
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	15	9	0	0	0:24
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	15	4	0	0	0:19
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	59	0	1:08
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	46	0	0:48
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	1:46
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0:40
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0:13
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	1:10	0:23	3:31	0:00	5:33

Taulukko 13: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R7 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0:14
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0:08
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0:52
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	0	1:32
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	0	1:44
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	14	6	0	0	0:20
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	0:14	4:08	0:00	4:50

Taulukko 14: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R13 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE3.

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0:17
Toukokuu	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:41
Kesäkuu	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1:56
Heinäkuu	0	0	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1:44
Elokuu	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0:01
Syyskuu	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0:13
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	4:22	0:31	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:52

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kankaanpään kaupungin alueelle suunnitellun Marjakeitaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 24 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1, 18 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2 ja 9 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE3.

Välkemaalinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla kaikilla kolmella sijoitussuunnitelmalla. Myös suurin päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten kohdilla.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa 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 roottorikehien 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 suuntaakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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.

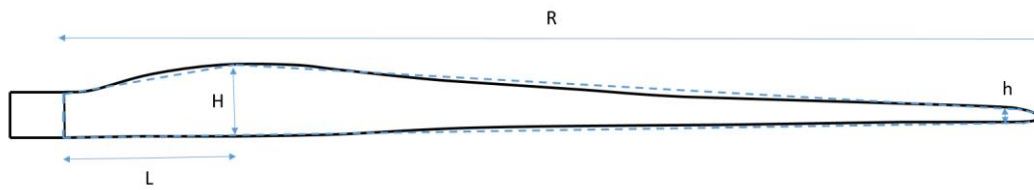
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 8) 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 8: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin välkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan tarkemmin 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.