



Ilmatar Ooperi Oy

Ooperin tuulivoimapuiston välkeselvitys

101021368-018, 13.03.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Ooperi Oy
Pietari Keskinen

Päivämäärä
13/03/2024

Projektinumero
101021368-018

Raportin tila
VALMIS

Ooperin tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	13.03.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	13.03.2024/ 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>.

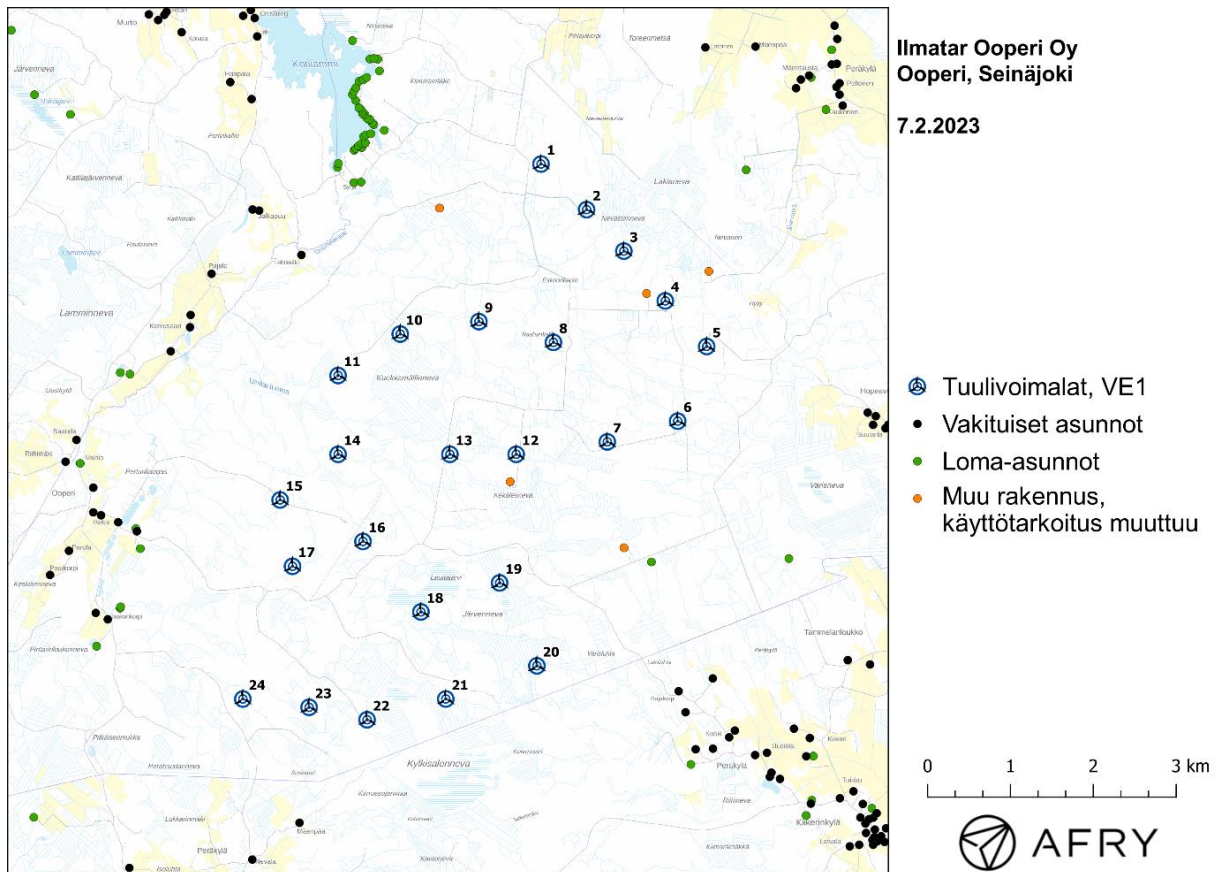
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	8
2.1	Välkevaikutus	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjeavot	9
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	10
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Välkevaikutus	13
3.3	Välkkeen yhteisvaikutukset	22
4	Yhteenvedo	24
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	25
6	Viitteet	27

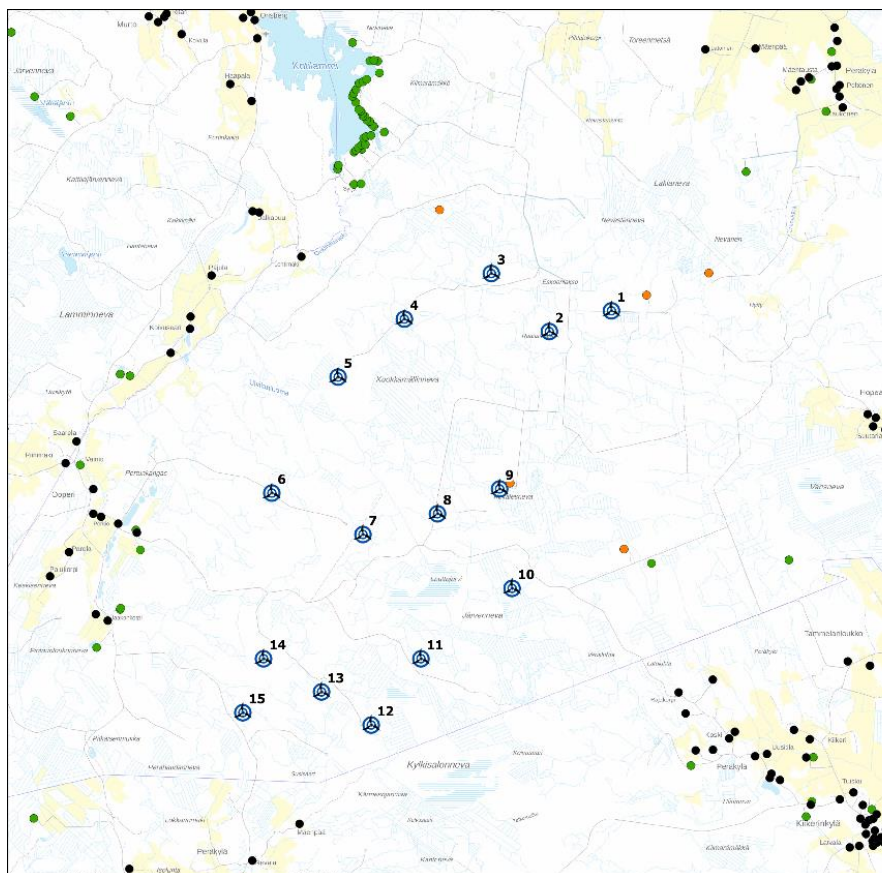
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun Ooperin tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitteluvaihtoehdoille VE1 (24 voimalaa) ja VE2 (15 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1 ja Taulukko 2). Selvityksessä arvioidaan myös Ooperin ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapaistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkemallinnukset on tehty kolmelle skenaariolle voimaloiden koon suhteen: napakorkeus 165 m ja roottorin halkaisija 170 m (kokonaiskorkeus 250 m), napakorkeus 190 m ja roottorin halkaisija 220 m (kokonaiskorkeus 300 m) sekä napakorkeus 225 m ja roottorin halkaisija 250 m (kokonaiskorkeus 350 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit sijoitteluvaihtoehdolla VE1.



Ilmatar Ooperi Oy
Ooperi, Seinäjoki

7.2.2023

-  Tuulivoimalat, VE2
-  Vakituiset asunnot
-  Loma-asunnot
-  Muu rakennus, käyttötarkoitus muuttuu

0 1 2 3 km



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit sijoitteluvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1: Vaihtoehtoon VE1 voimaloiden (24 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	268827	6979533	47
2	269377	6978983	48
3	269827	6978483	48
4	270327	6977883	58
5	270827	6977333	61
6	270477	6976433	69
7	269627	6976183	74
8	268977	6977383	68
9	268077	6977633	61
10	267127	6977483	62
11	266377	6976983	66
12	268527	6976033	73
13	267727	6976033	69
14	266377	6976033	71
15	265677	6975483	80
16	266677	6974983	81
17	265827	6974683	83
18	267377	6974133	82
19	268327	6974483	78
20	268777	6973483	79
21	267677	6973083	83
22	266727	6972833	86
23	266027	6972983	82
24	265227	6973083	79

Taulukko 2: Vaihtoehtoon VE2 voimaloiden (15 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	269677	6977783	63
2	268927	6977533	65
3	268227	6978233	54
4	267177	6977683	61
5	266377	6976983	66
6	265577	6975583	79
7	266677	6975083	80
8	267577	6975333	78
9	268327	6975633	78
10	268477	6974433	78
11	267377	6973583	80
12	266777	6972783	83
13	266177	6973183	84
14	265477	6973583	85
15	265227	6972933	79

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 iltatimet). 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 kellon-aikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 10 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä voimaloille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska 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 välkeajoja 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, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan arvio 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, voimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2,0 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle voimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu voimalan 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 voimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä voimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä voimalan 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 voimalan muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennat on tehty kolmelle eri skenaariolle napakorkeuden ja roottorin halkaisijan suhteen. Näissä skenaarioissa käytetyt napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja lavan leveyden dimensiot on listattu taulukossa (Taulukko 3). Roottorin halkaisijalla 170 m lavan muoto on tehty voimalatyyppistä Vestas V162 skaalaamalla lapaa pidemmäksi ja leveämmäksi. Roottorin halkaisijoilla 220 m ja 250 m lavan muodolle on käytetty profiilia, joka on maksimileveydessä 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti kapeammaksi leveyteen määritettynä 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Välkevaikutuksen laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Taulukko 3: Välkemallinuksissa käytetyt napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja lapaprofiilit.

Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Lavan muoto	Lavan maksimileveys [m]	Lavan leveys 90 % tyvestä [m]
165	170	Skaalattu voimalan V162 lavasta	4,4	1,7
190	220	Lineaarinen	4,7	1,9
225	250	Lineaarinen	5,0	2,0

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden 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 voimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri voimaloiden 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 voimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa voimalat 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 voimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 4).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä (Taulukko 5). 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	0,178	0,202	0,170	0,126	0,113	0,144

Taulukko 5: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

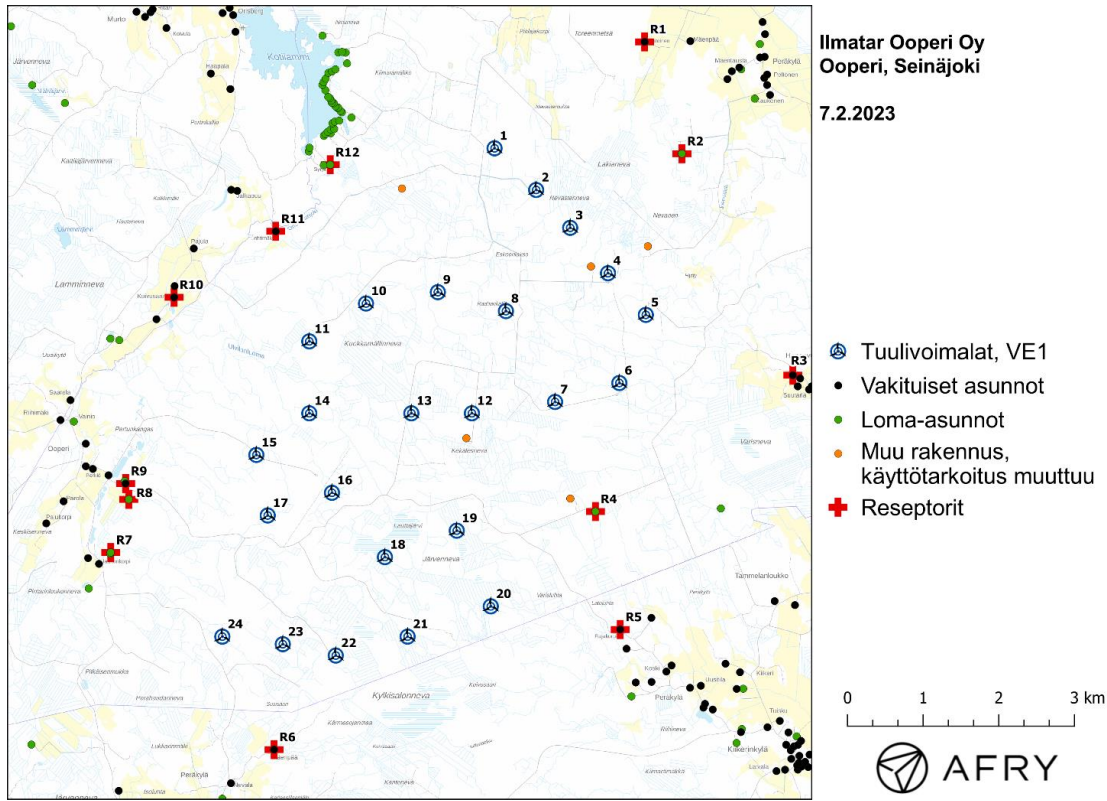
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 rakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat 1,4–2,4 km etäisyydellä lähimmästä voimalasta.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Hankealueella on rakennuksia, jotka on merkitty maastotietokantaan asunnoiksi, mutta jotka eivät hankekehittäjältä saadun tiedon mukaan ole luokiteltu asunnoiksi. Alueella on myös asuntoja, joista hankekehittäjä on tehnyt sopimuksen ja joiden käyttötarkoitus voidaan muuttaa asunnosta muuksi rakennukseksi. Näitä rakennuksia ei huomioida välkevaikutusten tarkasteluissa ja ne on merkitty karttoihin tunnisteella ”Muu rakennus/käyttötarkoitus muuttuu”.

Taulukko 6: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	493872	7114266	156	vakituinen asuinrakennus
R2	492224	7123601	145	loma-asunto
R3	492244	7123495	145	vakituinen asuinrakennus
R4	492823	7123275	143	loma-asunto
R5	493451	7123384	141	vakituinen asuinrakennus
R6	493712	7123125	141	vakituinen asuinrakennus
R7	494228	7123230	139	loma-asunto
R8	496166	7119469	131	loma-asunto
R9	496752	7119374	131	vakituinen asuinrakennus
R10	497049	7119163	129	vakituinen asuinrakennus
R11	497204	7118789	129	vakituinen asuinrakennus
R12	497217	7118722	128	loma-asunto



Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Välkevaikutus

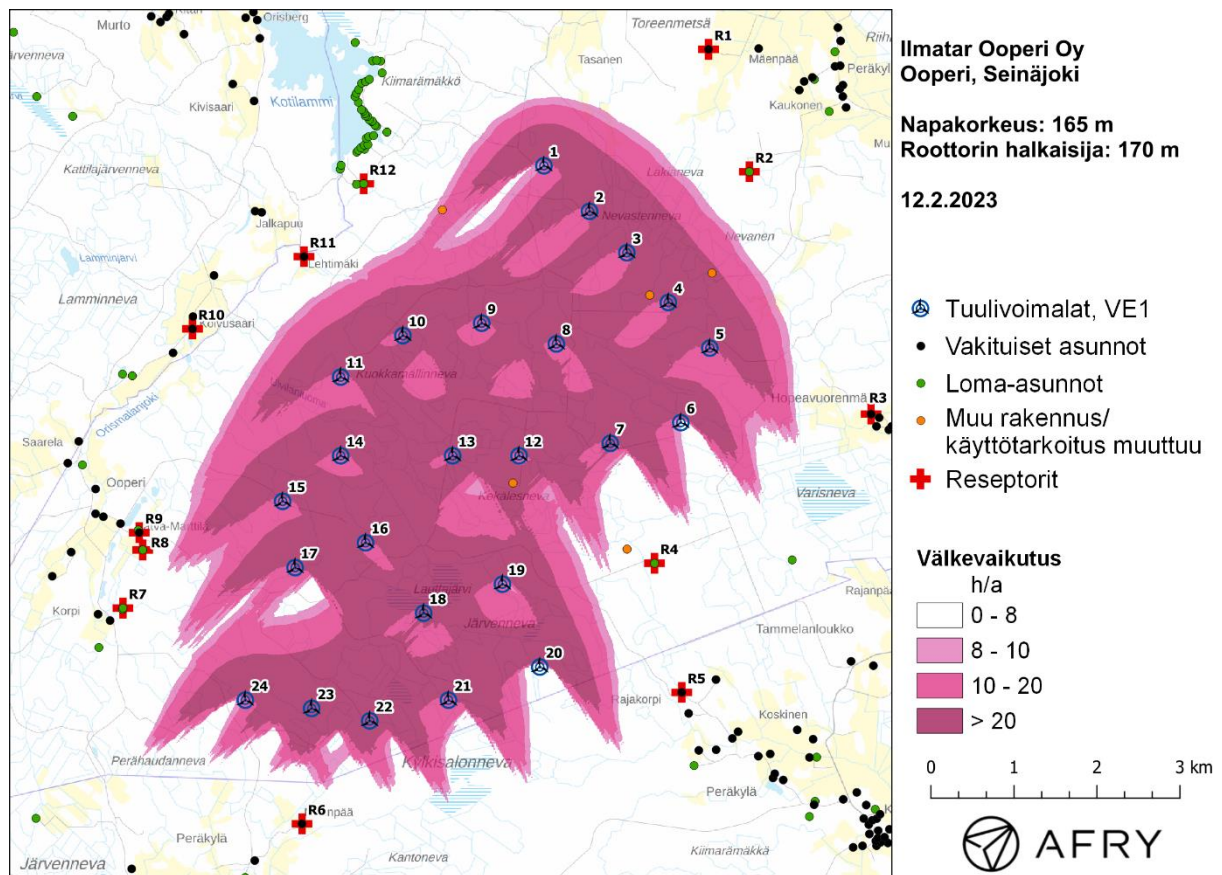
Seuraavissa luvuissa on esitetty välkevaikutusten arviot sijoittelusuunnitelmille VE1 ja VE2 sekä kolmelle eri napakorkeuden/roottorin halkaisijan skenaariorille. Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnukset on tehty todennäköisen välkkeen ja teoreettisen maksimivälkkeen menetelmin. Todennäköisen välkkeen osalta välkeaijoja verrataan Ruotsin ja Tanskan suositusarvoihin. Teoreettisen maksimivälkkeen vertailukohta on Saksan raja-arvot. Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Suomessa myös kesän auringonnousut ja -laskut voivat aiheuttaa laskennallisesti kauas ulottuvan teoreettisen maksimivälkkeen. Auringonnousun ja laskun aikaan hyvin viistosti paistava aurinko jää helpommin puuston ja rakennusten taakse.

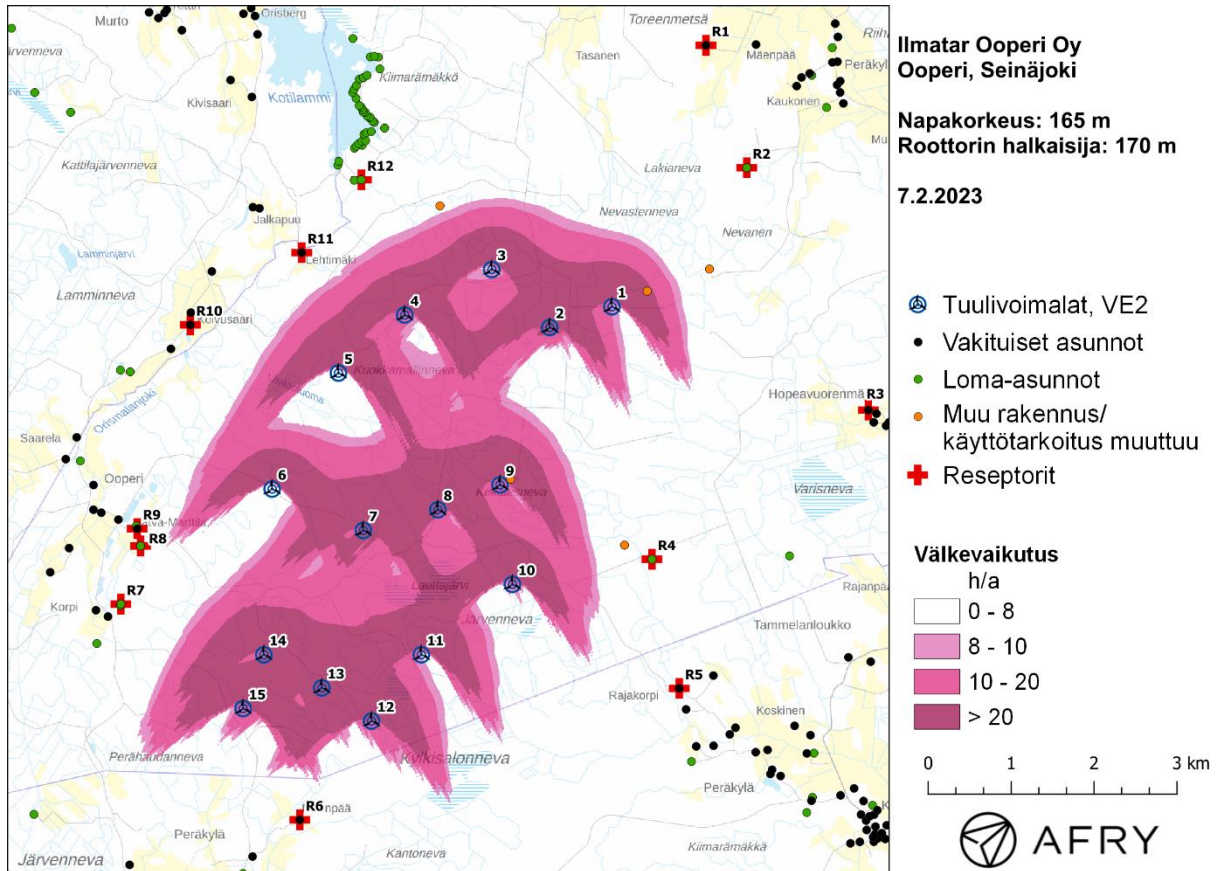
3.2.1 Napakorkeus 165 m ja roottorin halkaisija 170 m

Mallinnettu todennäköinen vuotuinen välkevaikutus napakorkeudella 165 m ja roottorin halkaisijalla 170 m on esitetty karttakuvissa (Kuva 4 ja Kuva 5) kummallekin sijoitteluvaihtoehdolle. Taulukossa (Taulukko 7) on lueteltu todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena arvona.

Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Vuotuinen teoreettinen maksimivälke alittaa Saksan 30 tunnin raja-arvon alueen kaikkien asuntojen kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdalla.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 165 m ja roottorin halkaisijalla 170 m.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE2, napakorkeudella 165 m ja roottorin halkaisijalla 170 m.

Taulukko 7: Mallinnusten mukaiset välkemäärät ([h:min]) reseptoripisteittäin sijoittelusuunnitelmissa VE1 ja VE2, napakorkeudella 165 m ja roottorin halkaisijalla 170 m. Taulukossa on esitetty vuotuinen välketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

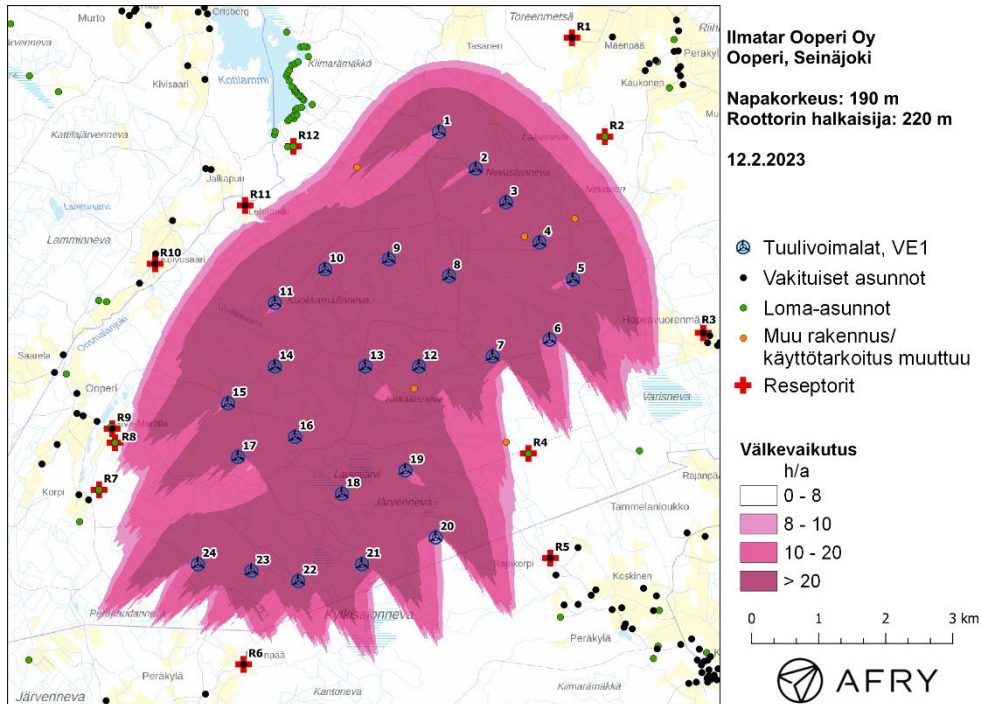
	sijoitteluvaihtoehto VE1				sijoitteluvaihtoehto VE2			
Reseptori	todennäköinen väлке		Teoreettinen maksimi		Todennäköinen väлке		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:23	0:01	3:06	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	2:38	0:03	21:16	0:18	0:13	0:02	1:50	0:09
R3	0:44	0:03	3:24	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	2:03	0:03	10:46	0:16	1:27	0:04	6:57	0:18
R5	0:54	0:04	4:15	0:17	0:18	0:02	1:22	0:08
R6	0:14	0:01	0:53	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	2:21	0:03	10:05	0:15	2:23	0:03	10:41	0:15
R8	2:36	0:05	11:30	0:17	2:52	0:05	12:37	0:19
R9	2:02	0:05	9:23	0:18	2:01	0:05	8:32	0:19
R10	1:01	0:03	5:59	0:14	0:54	0:03	5:21	0:14
R11	2:51	0:05	21:01	0:24	2:50	0:05	19:22	0:25
R12	1:40	0:02	14:30	0:16	1:42	0:03	15:22	0:18

3.2.2 Napakorkeus 190 m ja roottorin halkaisija 220 m

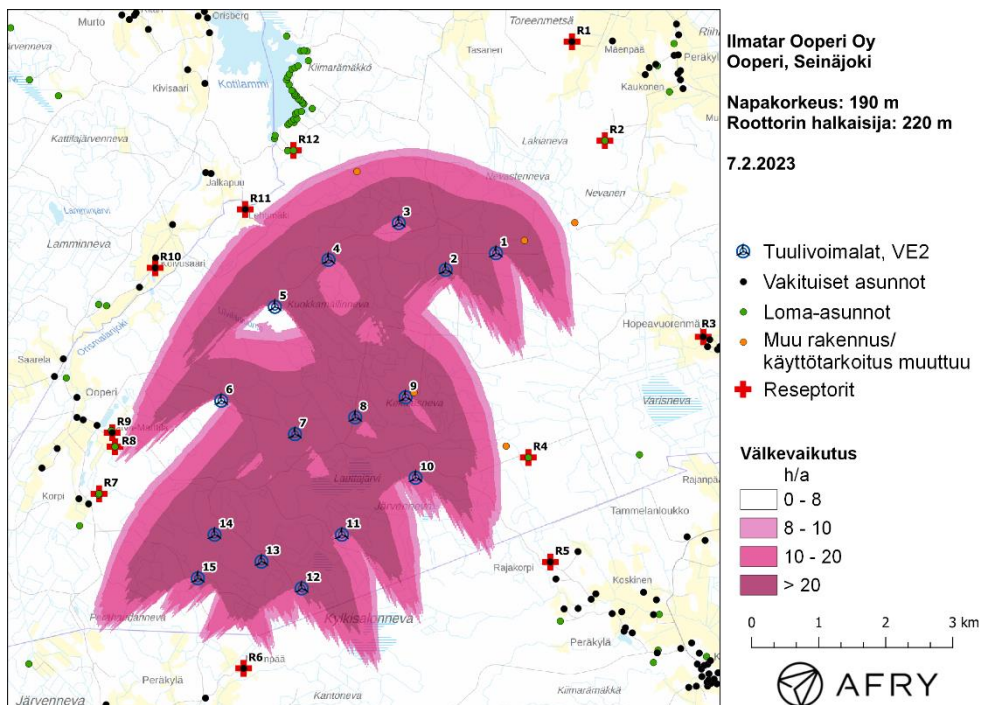
Mallinnettu todennäköinen vuotuinen väлкеvaikutus napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m on esitetty karttakuvissa (Kuva 6 ja Kuva 7). Taulukossa (Taulukko 8) on lueteltu todennäköinen väлкеvaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena arvona.

Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen väлкеvaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös todennäköinen päiväkohtainen väлкеaika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.

Suunnitelmalla VE1 vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää hieman Saksan 30 tunnin raja-arvon kahden asunnon kohdalla (reseptorit R2 ja R11). Näistä toisen asunnon kohdalla ylittyy myös Saksan 30 minuutin raja-arvo teoreettisen maksimivälkkeen suurimmalle päiväkohtaiselle arvolle. Suunnitelmalla VE2 teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan vuotuisen ja päiväkohtaisen raja-arvon yhden asunnon (reseptori R11) kohdalla. Teoreettisen maksimivälkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R2 ja R11 kohdalla suunnitelmalla VE1 on esitetty taulukoissa (Taulukko 9 ja Taulukko 10). Taulukoista nähdään, että näiden asuntojen kohdilla teoreettisen maksimivälke ajoittuu pääosin syys- ja talvikuukausiin, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen. Tämän vuoksi Saksan raja-arvojen ylityksiä ei voida pitää merkittävänä.



Kuva 6: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m.



Kuva 7: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE2, napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m.

Taulukko 8: Mallinnusten mukaiset välkemäärät ([h:min]) reseptoripisteittäin napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m. Taulukossa on esitetty vuotuinen välketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

	sijoitteluvaihtoehto VE1				sijoitteluvaihtoehto VE2			
Reseptori	todennäköinen väлке		Teoreettinen maksimi		Todennäköinen väлке		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:42	0:02	5:27	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	4:42	0:04	35:36	0:25	0:25	0:02	3:14	0:13
R3	1:23	0:04	6:18	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:54	0:05	19:33	0:21	2:45	0:06	12:46	0:25
R5	2:05	0:06	9:31	0:23	0:35	0:03	2:34	0:12
R6	0:02	0:00	0:11	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	4:48	0:05	20:13	0:21	3:27	0:05	16:00	0:20
R8	5:06	0:07	21:39	0:26	6:05	0:08	25:26	0:27
R9	4:23	0:08	19:09	0:27	4:17	0:07	18:29	0:24
R10	2:11	0:05	12:13	0:20	1:57	0:05	10:54	0:20
R11	5:16	0:07	36:17	0:34	5:22	0:07	34:10	0:36
R12	2:59	0:04	23:57	0:21	3:03	0:05	25:28	0:26

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R2 kohdalla vaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

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	4:10	4:36	0:00	0:00	0:00	0:00	8:46
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:55	2:02	0:00	0:00	0:00	4:56
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:20	0:44	0:00	0:00	3:04
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	0:56	0:00	0:00	0:00	0:56
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:12	2:08	0:00	0:00	0:00	6:20
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:02	0:21	0:00	0:00	0:00	0:00	7:23
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:11
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	15:23	12:04	7:26	0:44	0:00	0:00	35:36

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R11 kohdalla vaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 190 m ja roottorin halkaisijalla 220 m. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

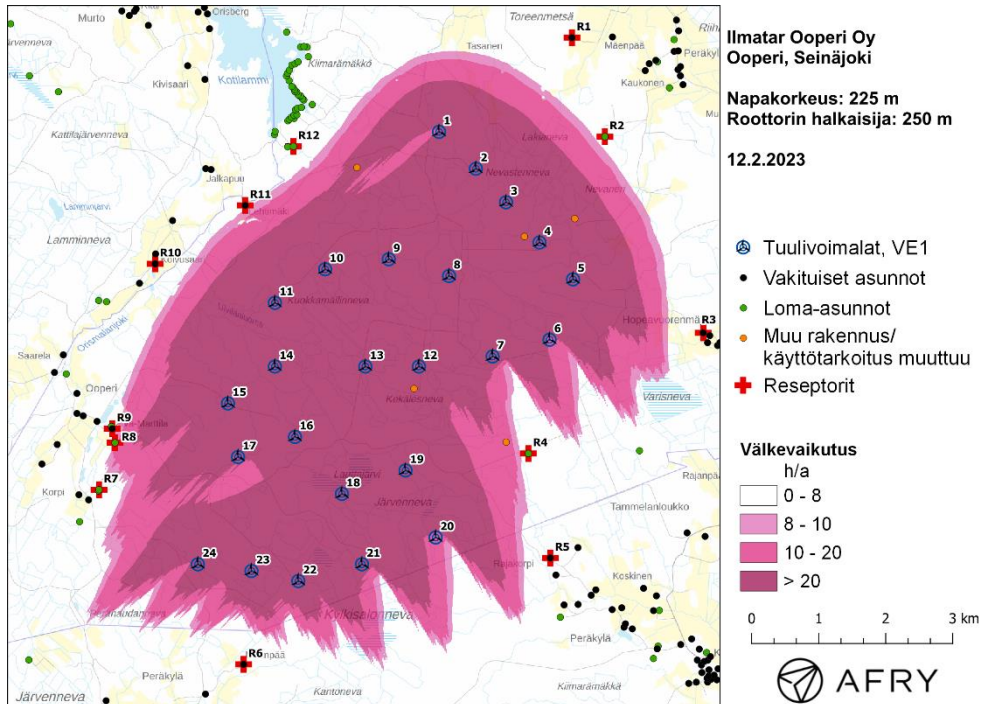
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:18
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	5:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:17
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:10	5:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:34
Huhtikuu	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	1:10	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:38
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	5:38	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:07
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:24
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	2:21	12:11	21:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	36:17

3.2.3 Napakorkeus 225 m ja roottorin halkaisija 250 m

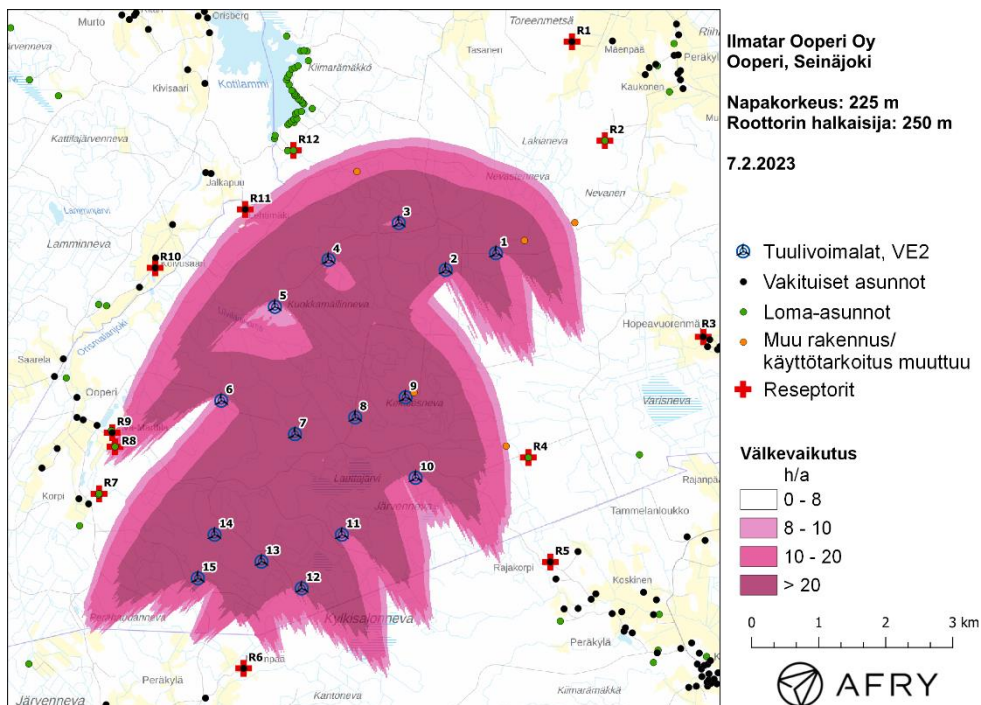
Mallinnettu todennäköinen vuotuinen välkevaikutus napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m on esitetty karttakuvissa (Kuva 8 ja Kuva 9). Taulukossa (Taulukko 11) on lueteltu todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena arvona.

Suunnitelmalla VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon yhden asunnon (reseptori R8) kohdalla, mutta välkevaikutus jää alle Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Suunnitelmalla VE2 todennäköinen vuotuinen välkeika tämän asunnon kohdalla on 10 tuntia 10 minuuttia, eli sekä Ruotsin että Tanskan ohjearvo ylittyy. Molemmilla suunnitelmilla todennäköinen päiväkohtainen välkeika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon asutuksen kohdalla. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R8 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 12 ja Taulukko 13).

Suunnitelmalla VE1 teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan raja-arvot neljän asunnon kohdalla (reseptorit R2, R8, R11 ja R12). Suunnitelmalla VE2 teoreettisen maksimivälkkeen Saksan raja-arvojen ylityksiä tulee kolmen asunnon kohdalla (reseptorit R8, R11 ja R12). Asuntojen R2, R11 ja R12 kohdilla teoreettinen maksimivälke ajoittuu suurelta osin syys- ja talvikuuauksiin, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen. Asunnon R8 kohdalla suurin osa teoreettisesta maksimivälkkeestä ajoittuu touko-heinäkuun auringonnousuihin, jolloin aurinko paistaa hyvin viistosti. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R8 kohdalla suunnitelmalla VE2 on esitetty taulukossa (Taulukko 14).



Kuva 8: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m.



Kuva 9: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE2, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m.

Taulukko 11: Mallinnusten mukaiset väkemmäärät ([h:min]) reseptoripisteittäin napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m. Taulukossa on esitetty vuotuinen väketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

	sijoitteluvaihtoehto VE1				sijoitteluvaihtoehto VE2			
Reseptori	todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi		Todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	1:28	0:02	12:09	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	6:18	0:05	44:13	0:32	0:38	0:03	4:32	0:15
R3	2:02	0:04	9:15	0:18	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	5:42	0:06	27:29	0:26	4:17	0:07	19:32	0:30
R5	3:01	0:07	13:35	0:29	0:56	0:04	4:00	0:15
R6	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	6:01	0:06	25:36	0:30	4:01	0:06	19:53	0:26
R8	9:05	0:12	37:10	0:40	10:10	0:11	40:55	0:37
R9	6:53	0:11	29:28	0:37	6:52	0:09	29:04	0:33
R10	3:13	0:06	17:30	0:24	2:51	0:06	15:23	0:24
R11	7:17	0:08	46:46	0:42	7:23	0:09	43:59	0:42
R12	4:06	0:05	30:12	0:25	4:10	0:06	31:24	0:32

Taulukko 12: Todennäköisen vuotuisen väkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R8 kohdalla vaihtoehdolla VE1, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m.

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	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
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	0:02	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:13
Toukokuu	0:00	0:00	3:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:01
Kesäkuu	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Heinäkuu	0:00	0:00	2:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:25
Elokuu	0:00	0:00	0:30	0:33	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:02
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:21
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01
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	6:02	2:15	0:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:05

Taulukko 13: Todennäköisen vuotuisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R8 kohdalla vaihtoehdolla VE2, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m.

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	0:31	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29
Huhtikuu	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12
Toukokuu	0:00	0:00	2:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:09
Kesäkuu	0:00	0:00	2:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:26
Heinäkuu	0:00	0:00	3:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:24
Elokuu	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12
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	0:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:41
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
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	8:23	0:00	1:45	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:10

Taulukko 14: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R8 kohdalla vaihtoehdolla VE2, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

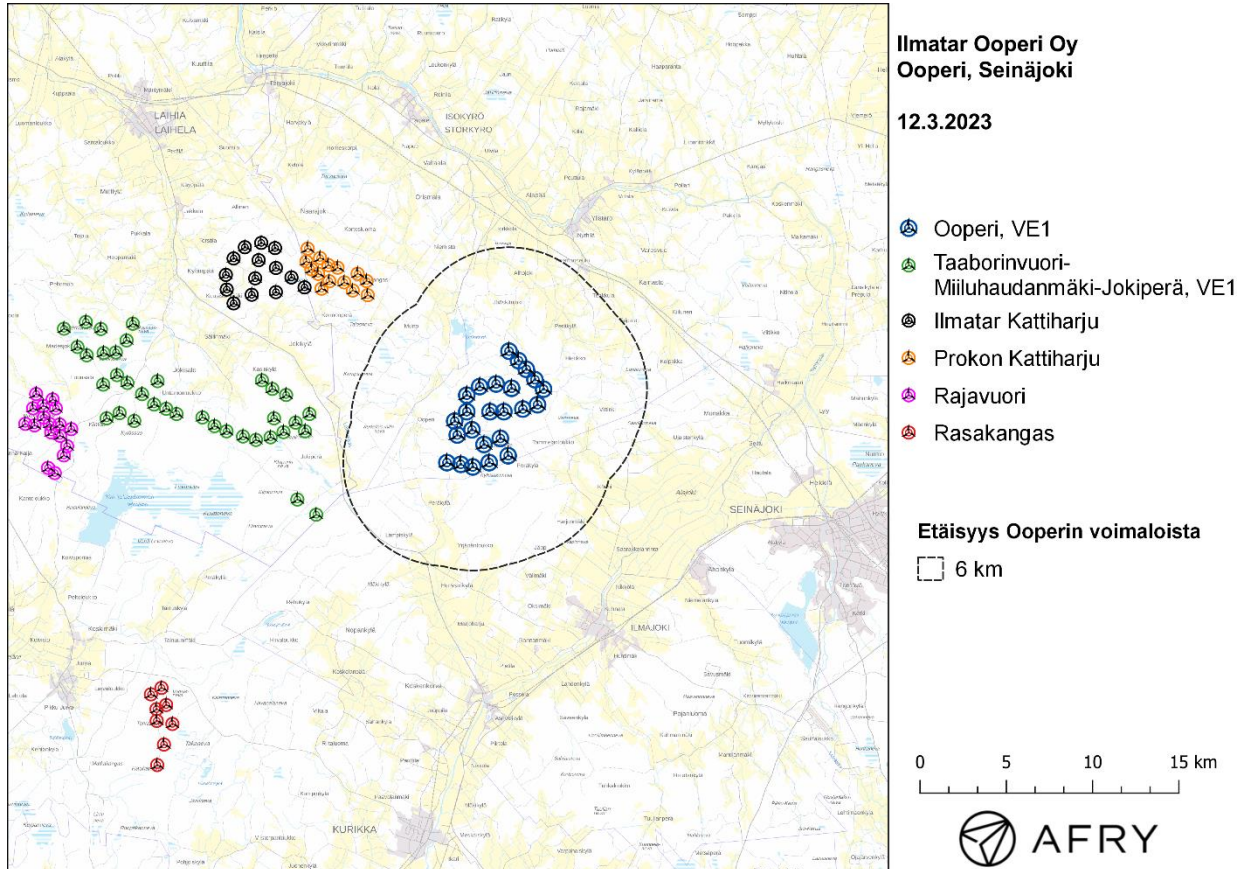
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	3:04	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:19
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	2:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:11
Huhtikuu	0:00	0:00	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
Toukokuu	0:00	0:00	7:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:26
Kesäkuu	0:00	0:00	8:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:32
Heinäkuu	0:00	0:00	12:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:15
Elokuu	0:00	0:00	0:51	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52
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	4:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:43
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47
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	29:54	0:01	10:46	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	40:55

3.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Ooperin voimaloiden ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulipuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutuksia voi siis esiintyä, kun eri puistojen voimaloiden etäisyys on alle 6 km.

Ooperin tuulivoimapuiston läheisyyteen on rakennettu tai suunniteltu useita tuulivoimapuistoja. Karttakuvassa (Kuva 10) näistä naapuripuistosta on esitetty Taaborinvuori-Miiluhaudanmäki-Jokiperä (VE1), Ilmatar Kattiharju, Prokon Kattiharju, Rajavuori ja Rasakangas. Kartan ulkopuolelle jää Isovuoren tuulivoimapuisto. Lisäksi alueelle on rakennettu tai suunniteltu Kalistannevan ja Lamminnevan puistot yli 15 km etäisyydelle Ooperin voimaloista. Kartan perusteella kaikki

naapuripuistot ovat selvästi yli 6 km etäisyydellä Ooperin voimaloista, joten Ooperin tuulivoimapuistolla ei ole välikkeen yhteisvaikutuksia naapuripuistojen kanssa.



Kuva 10: Ooperin tuulivoimapuiston naapuripuistot Taaborinvuori-Miiluhaudanmäki-Jokiperä (VE1), Ilmatar Kattiharju, Prokon Kattiharju, Rajavuori ja Rasakangas. Karttaan on merkitty 6 km etäisyysvyöhyke Ooperin (VE1) voimaloista.

4 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun Ooperin tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 24 voimalan vaihtoehdolle VE1 ja 15 voimalan vaihtoehdolle VE2. Kummallekin vaihtoehdolle on tarkasteltu kolmea eri skenaariota voimaloiden koon suhteen: napakorkeus 165 m ja roottorin halkaisija 170 m, napakorkeus 190 m ja roottorin halkaisija 220 m sekä napakorkeus 225 m ja roottorin halkaisija 250 m. Selvityksessä on arvioitu myös Ooperin ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Roottorin halkaisijalla 170 m kumpikaan sijoitteluvaihtoehto ei aiheuta todennäköisen tai teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvojen ylityksiä. Roottorin halkaisijalla 220 m todennäköisen välkevaikutuksen ohjearvot eivät ylity, mutta teoreettisen maksimivälkkeen mallinnuksissa tulee pieniä Saksan raja-arvojen ylityksiä kahden asunnon kohdalla vaihtoehdolla VE1 ja yhden asunnon kohdalla vaihtoehdolla VE2. Roottorin halkaisijalla 250 m todennäköinen vuotuinen välke ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon yhden asunnon kohdalla molemmilla sijoittelusuunnitelmissa. Tällä roottorin halkaisijalla vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän (VE1) ja kolmen (VE2) asunnon kohdalla.

Ooperin tuulivoimapuistolla ei ole välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.

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 voimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota voimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Voimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla voimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen voimaloiden 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.

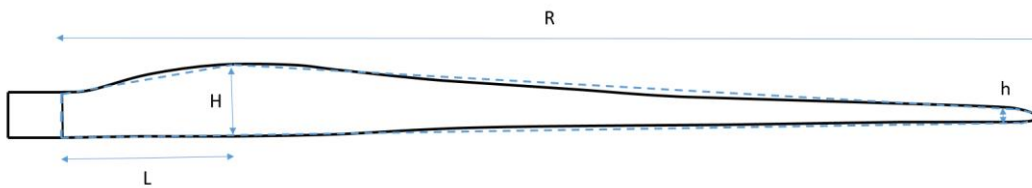
Voimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle voimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu voimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen voimalan 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 voimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä voimalan 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 11) 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 voimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 11: Voimalan lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa roottorin halkaisijalle 170 m lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa perustuen voimalan V162 lavan muotoon. Roottorin halkaisijoille 220 m ja 250 on käytetty kahteen leveysarvoon H ja h perustuvaa paloittain lineaarista approksimaatiota. Näillä lavan leveysprofileilla 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. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.