



Uusiutuva Energia Leuvanneva Oy

Leuvanneva

Tuulivoimapuiston väikeselvitys

5.9.2024

Liite 13

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101017144-006.

Kannen kuva: © AFRY Finland Oy

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Uusiutuva Energia Leuvanneva Oy

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Mika Laitinen

mika.laitinen@afry.com

Wind and Solar Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

101017144-006

Raporttiversio: 002

Raportin tila: LUONNOS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	20.11.2023/ Mika Laitinen Senior Consultant	20.11.2023/ Erkki Heikkola Senior Consultant	Alkuperäinen
002	05.09.2024/ Mika Laitinen Senior Consultant	05.09.2024/ Erkki Heikkola Senior Consultant	Voimaloiden koordinaatit ja dimensiot muuttuneet, lisätty vaihtoehto VE3

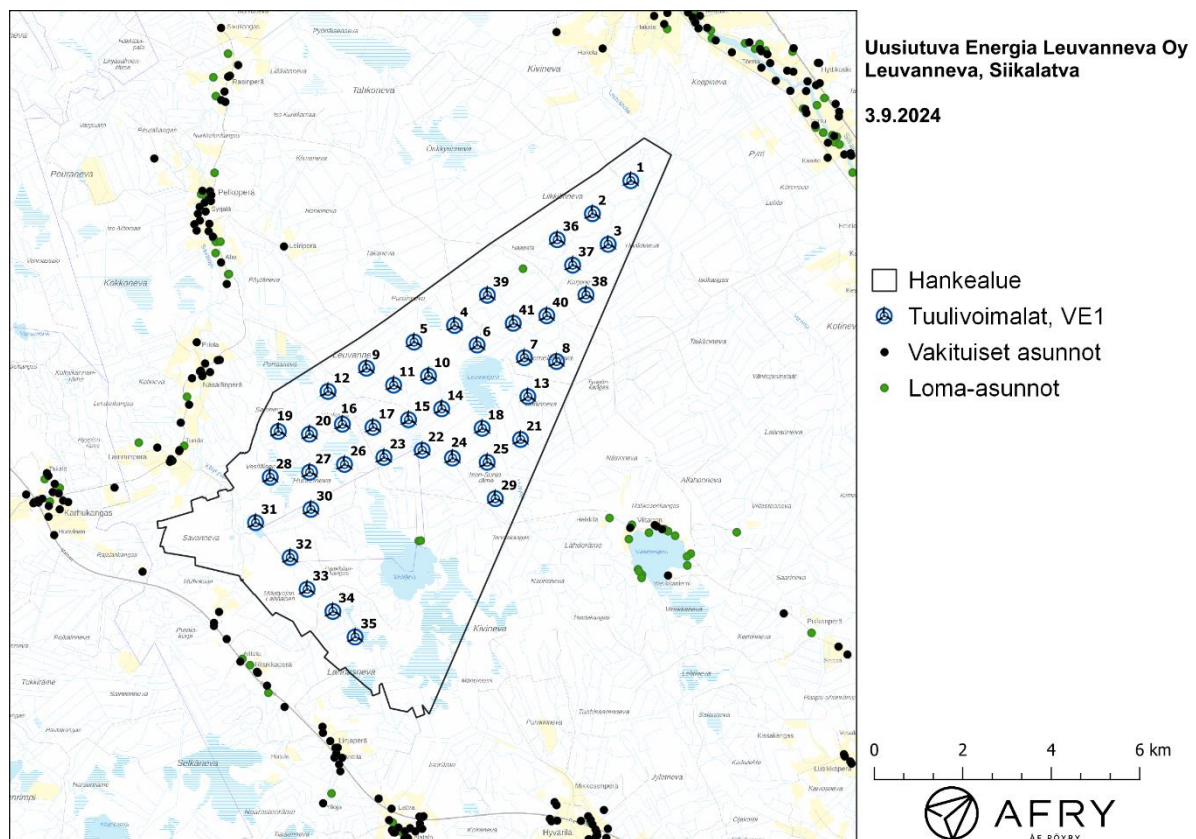
SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	8
2.1	Välkevaikutus.....	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjearvot	9
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	10
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	16
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	17
4	YHTEENVETO.....	19
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	20
6	VIITTEET	22

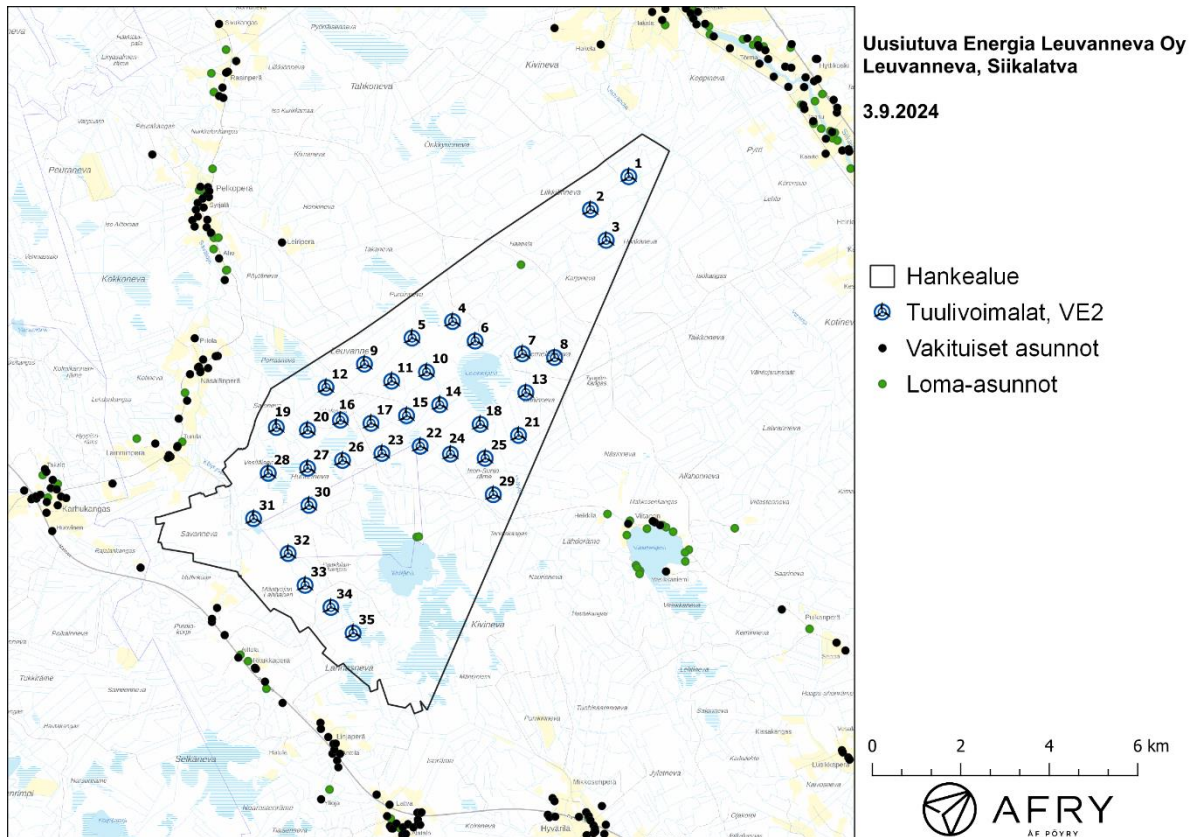
1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Siikalatvan kunnan alueelle suunnitellun Leuvannevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty sijoittelusuunnitelmille VE1 (41 voimalaa), VE2 (35 voimalaa) ja VE3 (32 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1-1, Kuva 1-2, Kuva 1-3) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1). Selvityksessä arvioidaan myös Leuvannevan lähelle suunniteltujen tai rakennettujen tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

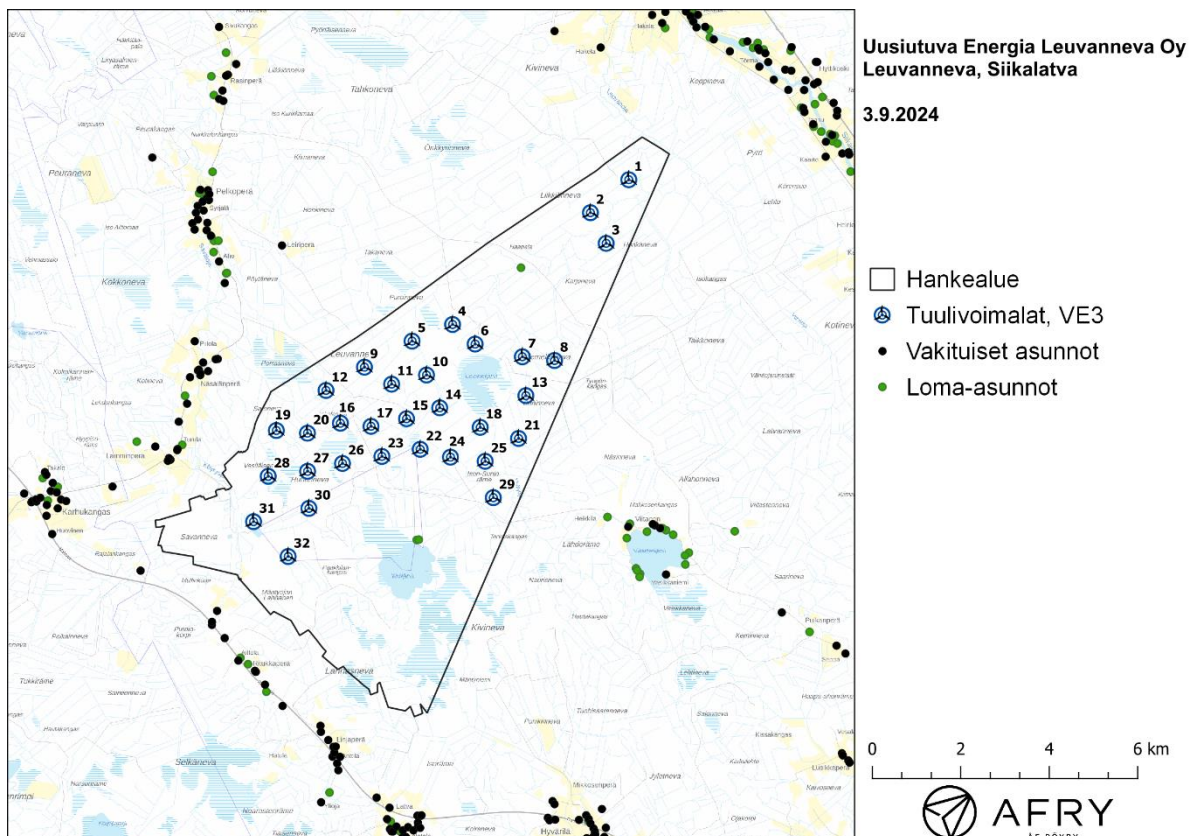
Mallinnuksissa Leuvannevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 220 m (kokonaiskorkeus 310 m). Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 110 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,7 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Leuvannevan suunnitelmalle VE1.



Kuva 1-2: Tuulivoimaloiden sijainnit Leuvanvean suunnitelmalle VE2.



Kuva 1-3: Tuulivoimaloiden sijainnit Leuvanvean suunnitelmalle VE3.

Taulukko 1-1: Leuvannevan suunnitelman VE1 tuulivoimaloiden (41 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla. Suunnitelmasta VE2 on poistettu voimalat 36–41 ja suunnitelmasta VE3 voimalat 33–41.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
1	437600	7142900	63
2	436732	7142156	66
3	437088	7141464	67
4	433617	7139632	83
5	432702	7139256	84
6	434127	7139189	83
7	435194	7138902	83
8	435921	7138818	84
9	431625	7138667	86
10	433028	7138490	84
11	432240	7138284	85
12	430756	7138142	89
13	435273	7138024	84
14	433326	7137749	85
15	432576	7137503	87
16	431082	7137402	91
17	431774	7137332	89
18	434241	7137309	83
19	429634	7137237	91
20	430337	7137177	97
21	435108	7137058	84
22	432885	7136813	86
23	432020	7136652	91
24	433569	7136635	88
25	434353	7136542	85
26	431129	7136493	96
27	430340	7136315	90
28	429450	7136203	90
29	434537	7135721	86
30	430370	7135478	92
31	429119	7135178	88
32	429901	7134391	91
33	430284	7133673	96
34	430867	7133174	95
35	431369	7132596	95
36	435938	7141569	69
37	436286	7140994	71
38	436586	7140322	73
39	434358	7140314	80
40	435701	7139851	79
41	434943	7139680	81

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 tuuli-voimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisyys.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltajat). 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 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 Oulun lentoaseman sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 70 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille 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 [4]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

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 teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuisen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden 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, tuulivoimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Välkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 220 m. Voimaloiden lavan muoto on skaalattu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamasta lapaprofiilista vastaamaan roottorin halkaisijaa 220 m. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,7 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

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 tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan 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 [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat 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 tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjotusaikoja Oulun lentoaseman sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukoon (Taulukko 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut väketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta väketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3-1: 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	0,174	0,165	0,153	0,152	0,118	0,163

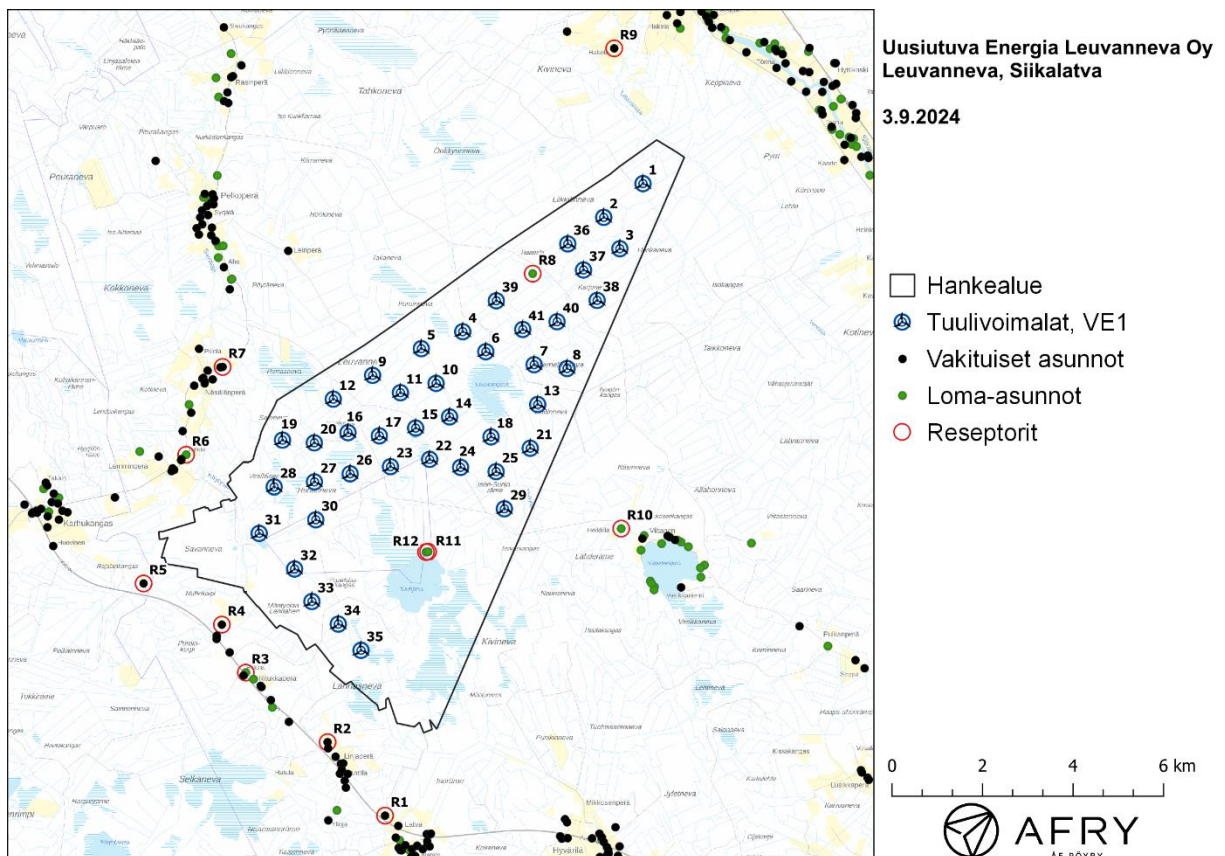
Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat 1,0–3,7 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista.

Taulukko 3-3: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	431902	7128942	103	vakituinen asuinrakennus
R2	430633	7130564	103	vakituinen asuinrakennus
R3	428826	7132100	112	loma-asunto
R4	428296	7133159	94	vakituinen asuinrakennus
R5	426567	7134068	98	vakituinen asuinrakennus
R6	427507	7136910	93	loma-asunto
R7	428313	7138849	90	vakituinen asuinrakennus
R8	435165	7140909	77	loma-asunto
R9	436966	7145883	60	vakituinen asuinrakennus
R10	437121	7135280	96	loma-asunto
R11	432854	7134769	96	loma-asunto
R12	432807	7134762	95	loma-asunto

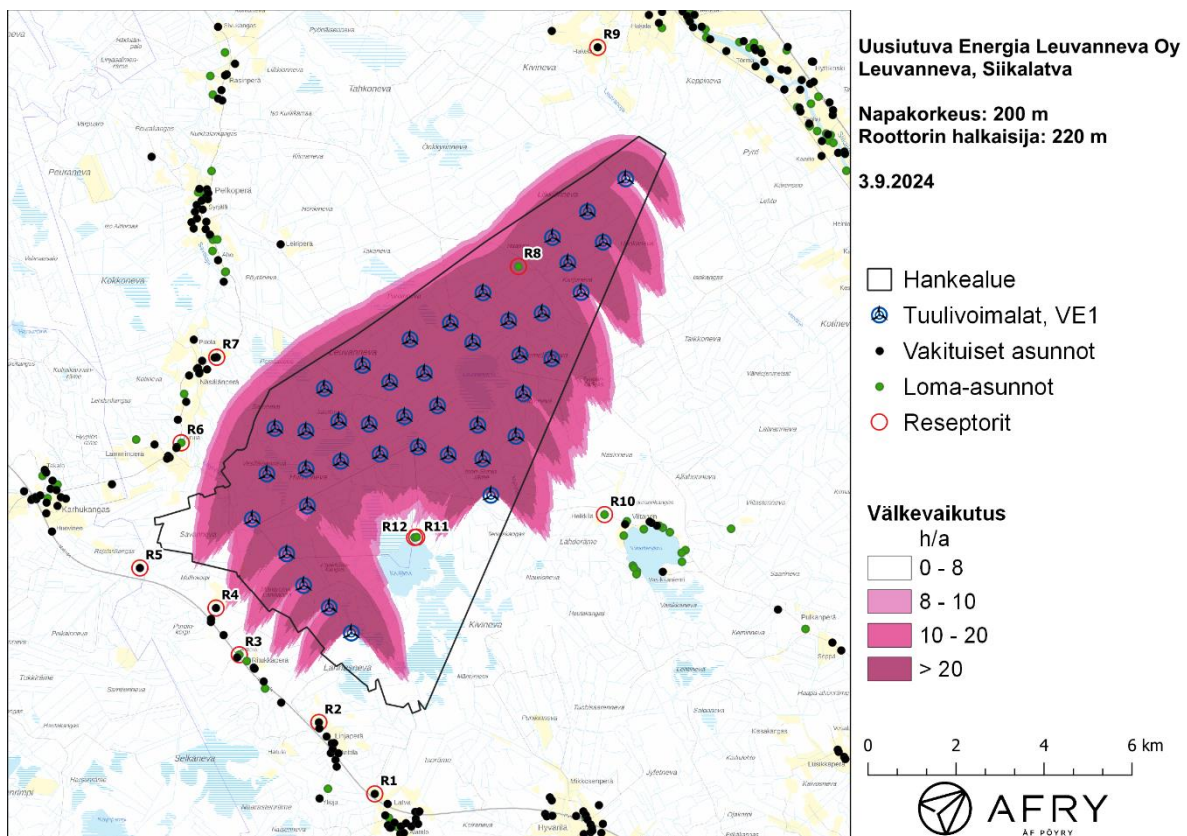

Kuva 3-1: Reseptorien paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

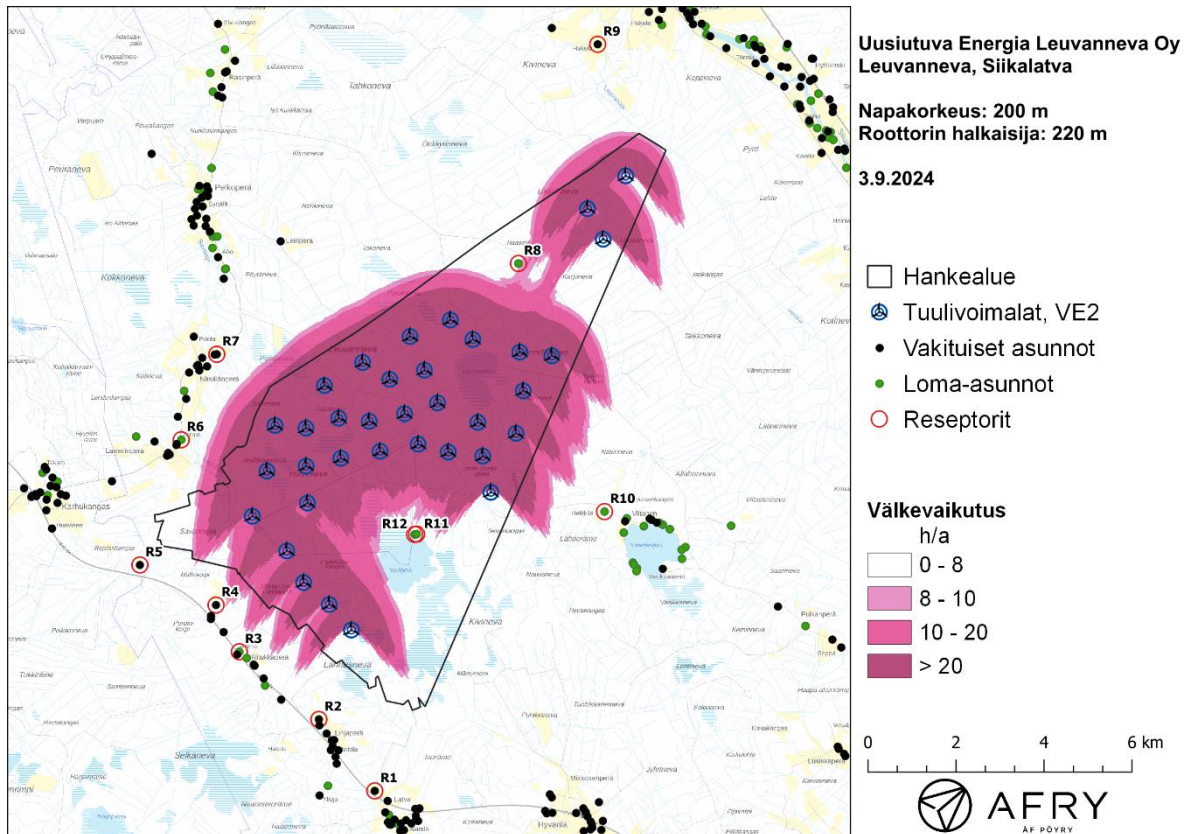
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä kolmella eri suunnitelmalla on esitetty karttakuvina (Kuva 3-2, Kuva 3-3, Kuva 3-4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Todennäköinen välkevaikutus reseptorien kohdilla puuston kolmella suunnitelmalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4). Suunnitelmalla VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon yhden loma-asunnon kohdalla (reseptori R8). Suunnitelmilla VE2 ja VE3 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Kaikilla kolmella suunnitelmalla todennäköinen päiväkohtainen välke-aika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.

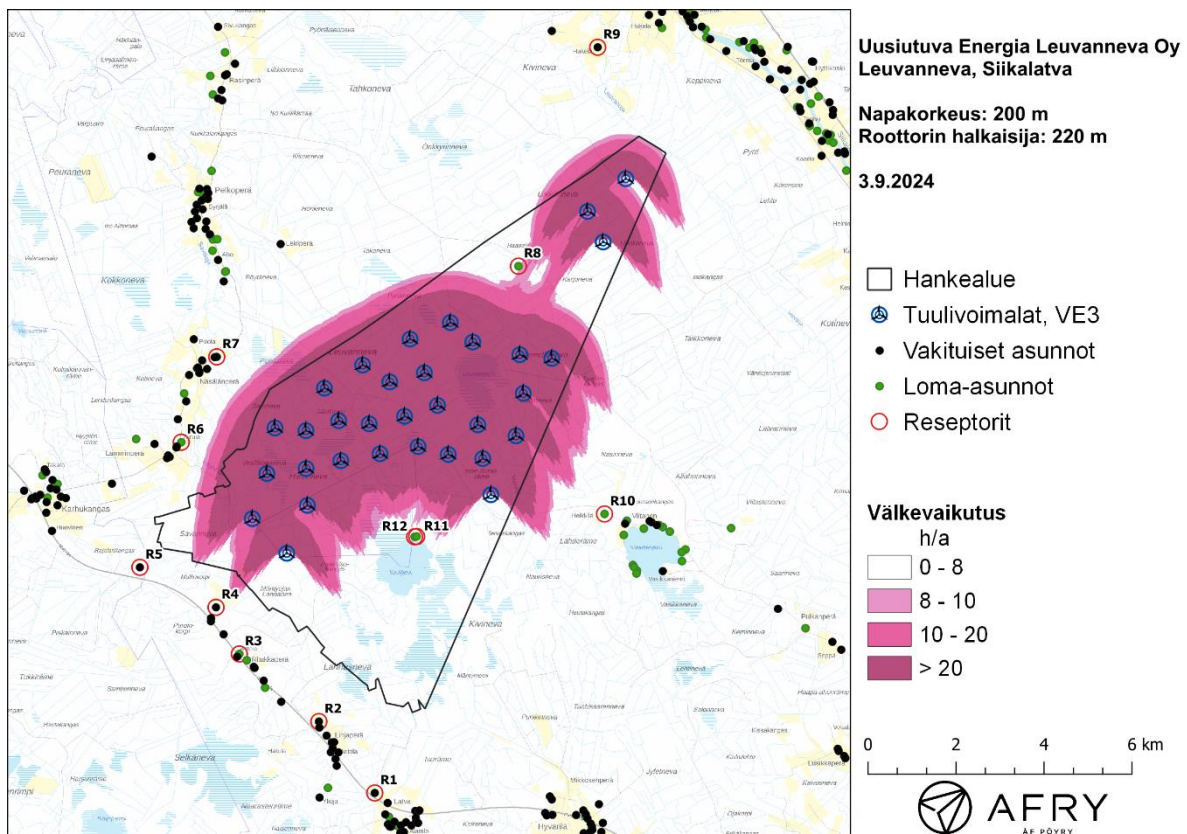
Suurimmat välkevaikutukset kohdistuvat reseptoreihin R8 ja R12. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen näiden reseptorien kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 3-5, Taulukko 3-6, Taulukko 3-7, Taulukko 3-8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aika-
 vyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus suunnitelmalla VE1.



Kuva 3-3: Todennäköinen vuotuinen välkëveikutus suunnitelmalla VE2.



Kuva 3-4: Todennäköinen vuotuinen välkëveikutus suunnitelmalla VE3.

Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

	Todennäköinen vuotuinen välkeaika			Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi		
Reseptori	VE1	VE2	VE3	VE1	VE2	VE3
R1	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	3:47	3:47	0:00	0:06	0:06	0:00
R4	3:56	3:56	2:44	0:05	0:05	0:05
R5	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R6	2:04	2:04	2:04	0:04	0:04	0:04
R7	1:02	1:02	1:02	0:03	0:03	0:03
R8	40:38	7:12	7:12	0:17	0:06	0:06
R9	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	5:53	5:53	5:37	0:06	0:06	0:06
R12	6:34	6:34	6:15	0:07	0:07	0:07

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R8 kohdalla suunnitelmalla 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	0:00	0:14	0:48	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:30	1:47	1:00	0:15	0:00	0:00	0:00	5:32
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:36	0:36	0:00	0:00	2:23	1:22	0:00	0:00	0:00	4:57
Huhtikuu	0:00	0:00	0:54	3:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:33
Toukokuu	0:00	1:24	0:50	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:25
Kesäkuu	0:00	2:19	2:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:45
Heinäkuu	0:00	0:58	3:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:35
Elokuu	0:00	0:00	0:40	2:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:39
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	1:16	0:00	0:00	0:00	1:34	0:00	0:00	0:00	0:00	2:50
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:14	0:08	1:14	0:39	1:53	0:00	0:00	0:00	0:00	4:08
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:47	1:08	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	2:11
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	4:41	8:28	8:55	0:45	4:45	4:21	7:07	1:37	0:00	0:00	0:00	40:38

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R8 kohdalla suunnitelmilla VE2 ja VE3. Molempien suunnitelmien välkevaikutus on sama tämän reseptorin kohdalla.

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	0:13	0:21	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:53	0:04	0:00	0:00	0:00	1:00
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	0:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
Toukokuu	0:00	0:46	0:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:16
Kesäkuu	0:00	0:06	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Heinäkuu	0:00	0:00	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:29
Elokuu	0:00	0:00	0:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
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	0:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:25
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	0:11	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:49
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	0:52	3:30	0:00	0:00	0:39	0:32	1:35	0:04	0:00	0:00	0:00	7:12

Taulukko 3-7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R12 kohdalla suunnitelmilla VE1 ja VE2. Molempien suunnitelmien välkevaikutus on sama tämän reseptorin kohdalla.

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	0:06	0:04	0:00	0:00	0:00	0:10
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	0:14
Toukokuu	0:00	0:00	1:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	1:12
Kesäkuu	0:00	1:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:06	0:00	2:21
Heinäkuu	0:00	0:33	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:49	0:00	1:35
Elokuu	0:00	0:00	0:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:54
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	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
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	1:48	1:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14	0:04	0:26	2:08	0:00	6:34

Taulukko 3-8: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R12 kohdalla suunnitelmalla 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	0:00	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	0:14	0:00	0:00	0:14
Toukokuu	0:00	0:00	1:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	1:12
Kesäkuu	0:00	1:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:06	0:00	2:21
Heinäkuu	0:00	0:33	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:49	0:00	1:35
Elokuu	0:00	0:00	0:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:54
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	1:48	1:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	2:08	0:00	6:15

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-9).

Suunnitelmalla VE1 vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon yhden loma-asunnon (reseptori R8) kohdalla. Tämän asunnon kohdalla myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon. Ylitykset ovat suuria. Muiden asuntojen kohdilla suunnitelma VE1 ei aiheuta teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvojen ylityksiä.

Suunnitelmilla VE2 ja VE3 vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon yhden loma-asunnon (reseptori R8) kohdalla, mutta ylitykset ovat pieniä, eivätkä päiväkohtaisen teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvot ylity. Muiden asuntojen kohdilla suunnitelmat VE2 ja VE3 eivät aiheuta teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvojen ylityksiä.

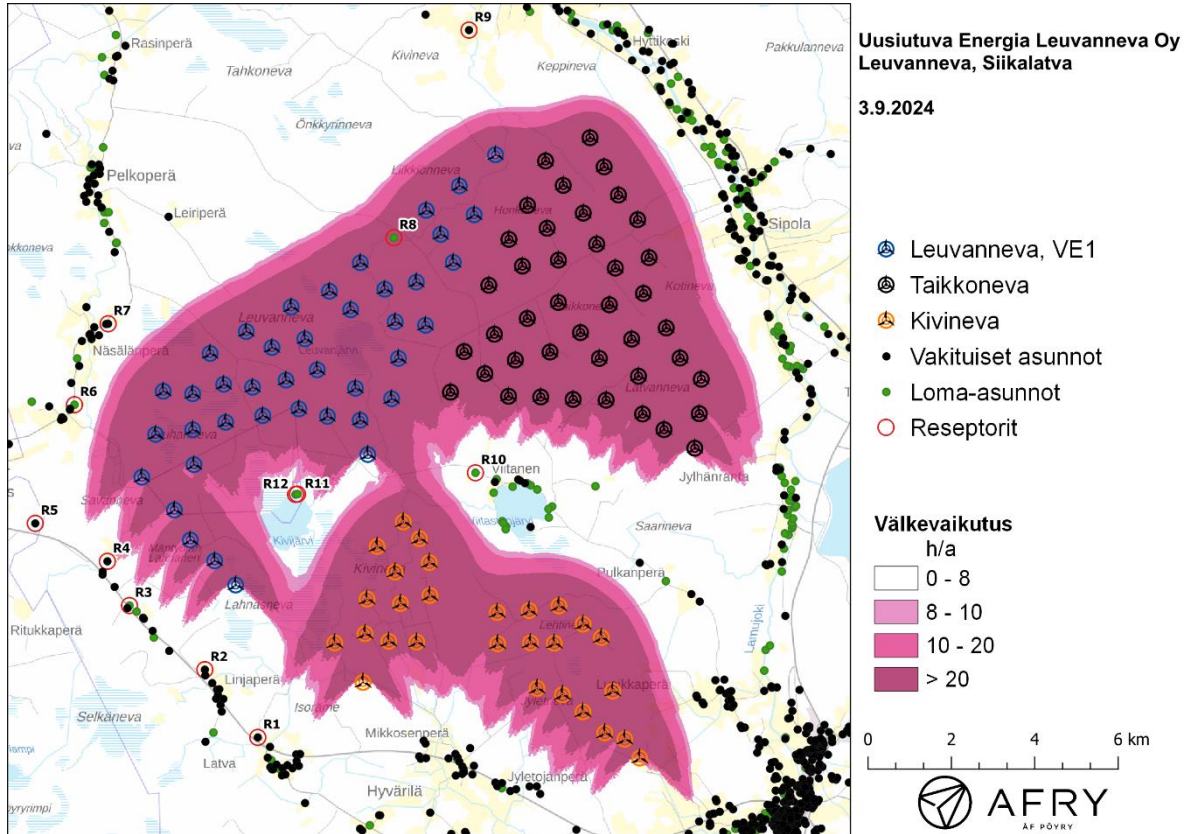
Taulukko 3-9: Teoreettinen maksimivälke tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke			Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke		
	VE1	VE2	VE3	VE1	VE2	VE3
R1	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	13:57	13:57	0:00	0:19	0:19	0:00
R4	14:45	14:45	9:59	0:19	0:19	0:19
R5	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R6	10:31	10:31	10:31	0:16	0:16	0:16
R7	6:33	6:33	6:33	0:17	0:17	0:17
R8	202:49	33:17	33:17	1:37	0:22	0:22
R9	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	22:58	22:58	21:12	0:23	0:23	0:23
R12	25:31	25:31	23:35	0:27	0:27	0:27

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Leuvannevan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan Leuvannevan itäpuolelle suunnitellut Kivinevan (28 voimalaa) ja Taikkonevan (41 voimalaa) tuulivoimapuistot. Välkemallinnuksissa näiden puistojen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m, roottorin halkaisijaa 200 m ja voimalatyypistä Vestas V162 skaalattua lapaprofiilia. Yhteisvaikutusten mallinnukset tehdään Leuvannevan suunnitelmalle VE1, joka aiheuttaa suurimmat välkevaikutukset.

Todennäköisen vuotuisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty kuvana (Kuva 3-5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettisen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-10). Mallinnusten perusteella Leuvannevan ja Kivinevan voimaloista aiheutuu vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta asutukselle, mikä näkyy välkeajojen pienenä lisääntymisenä reseptorien R11 ja R12 kohdalla. Muiden asuntojen kohdilla välkkeen yhteisvaikutuksia ei ole. Välkkeen yhteisvaikutuksista ei aiheudu uusia välkkeen ohjeiden ylityksiä.



Kuva 3-5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnoissa huomioidaan tuulivoimapuistot Leuvanneva VE1, Taikkoneva ja Kivineva.

Taulukko 3-10: Todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun mallinnoissa huomioidaan tuulivoimapuistot Leuvanneva VE1, Taikkoneva ja Kivineva.

Reseptori	todennäköinen vuotuinen välke	todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	3:47	0:06	13:57	0:19
R4	3:56	0:05	14:45	0:19
R5	0:00	0:00	0:00	0:00
R6	2:04	0:04	10:31	0:16
R7	1:02	0:03	6:33	0:17
R8	40:38	0:17	202:49	1:37
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	2:48	0:04	15:00	0:15
R11	6:13	0:06	25:12	0:23
R12	6:52	0:07	27:35	0:27

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Siikalatvan kunnan alueelle suunnitellun Leuvannevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 41 voimalan suunnitelmalle VE1, 35 voimalan suunnitelmalle VE2 ja 32 voimalan suunnitelmalle VE3. Selvityksessä on arvioitu myös Leuvannevan ja lähelle suunniteltujen tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten perusteella suunnitelman VE1 välkevaikutus on suuri yhden loma-asunnon kohdalla. Tämän asunnon kohdalla todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Tämän loma-asunnon kohdalla ylittävät myös Saksan teoreettisen maksimivälkkeen vuotuinen 30 tunnin raja-arvo ja päiväkohtainen 30 minuutin raja-arvo. Muiden asuntojen kohdalla suunnitelma ei ylitä Ruotsin, Tanskan tai Saksan suosituksia tai raja-arvoja välkevaikutukselle.

Suunnitelmilla VE2 ja VE3 todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen kaikkien asuntojen kohdilla. Suunnitelmilla VE2 ja VE3 vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää hieman Saksan 30 tunnin raja-arvon yhden loma-asunnon kohdalla, mutta ylitys on pieni. Päiväkohtainen teoreettinen maksimivälke ei ylitä Saksan raja-arvoja asutuksen kohdalla.

Leuvannevan ja lähelle suunniteltujen tuulivoimapuistojen voimaloista aiheutuu hyvin vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta. Kokonaisuutena suunnitelman VE1 välkevaikutus on kohtalainen, mutta yhteen loma-asuntoon kohdistuu suuri välkevaikutus. Suunnitelmien VE2 ja VE3 välkevaikutus on kohtalainen. Suunnitelma VE2 aiheuttaa hieman enemmän välkevaikutusta kuin suunnitelma VE3, mutta asutuksen kohdalla erot välkevaikutuksessa ovat vähäisiä.

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 tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota tuulivoimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden 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.

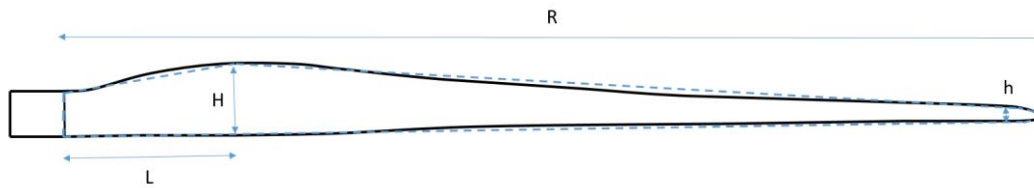
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan 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 tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan 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 5-1) on esitetty 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 tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 VIITTEET

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