

Liite 15

Välkemallinnus
AFRY Finland Oy



Koivulanneva Wind Farm Oy

Koivulanneva

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

10.09.2025

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 101031989-001.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Koivulanneva Wind Farm Oy

Henna Hyttinen

henna.hyttinen@valorem-energie.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Veera Hatulainen

veera.hatulainen@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101031989-001

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	10.09.2025/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	10.09.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

SISÄLLYS

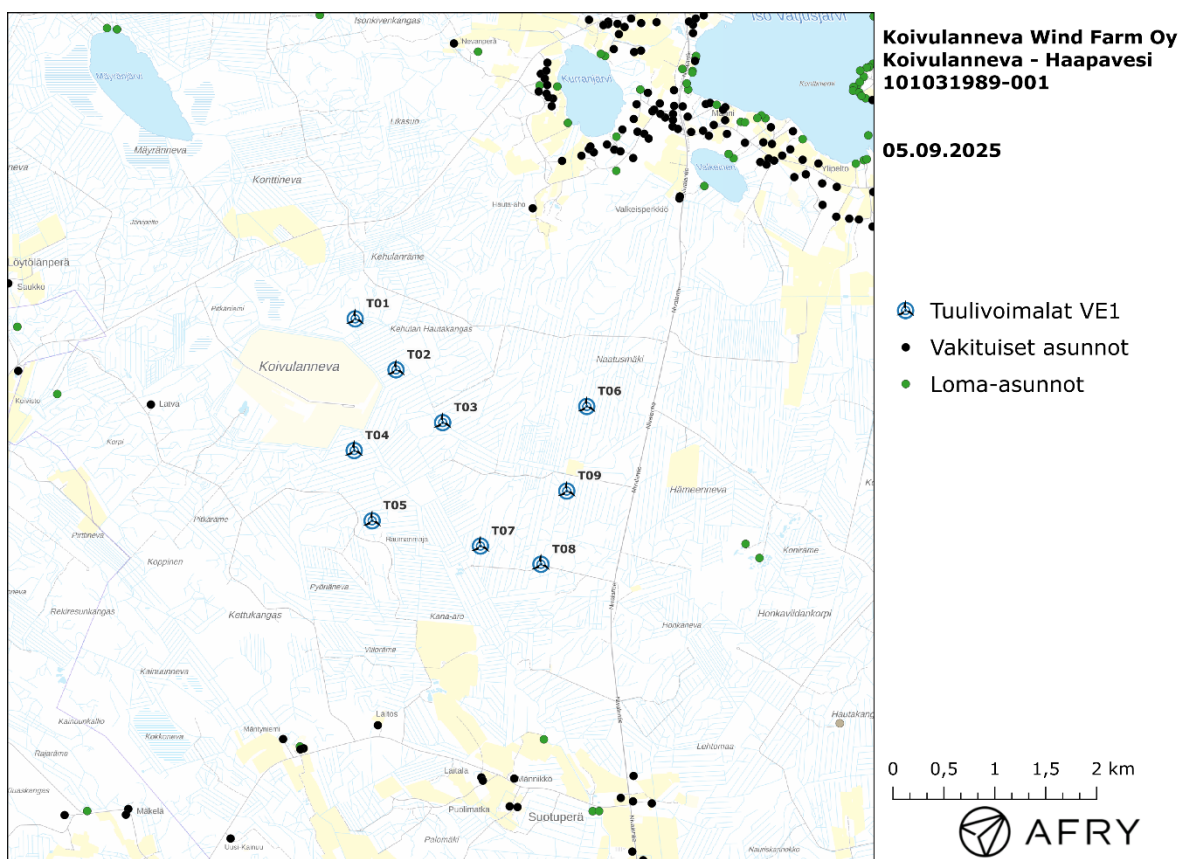
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	8
2.1	Välkevaikutus.....	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjeavot	9
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	10
3.1	Mallinusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	16
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	18
4	YHTEENVETO.....	25
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	26
6	VIITTEET	28

1 JOHDANTO

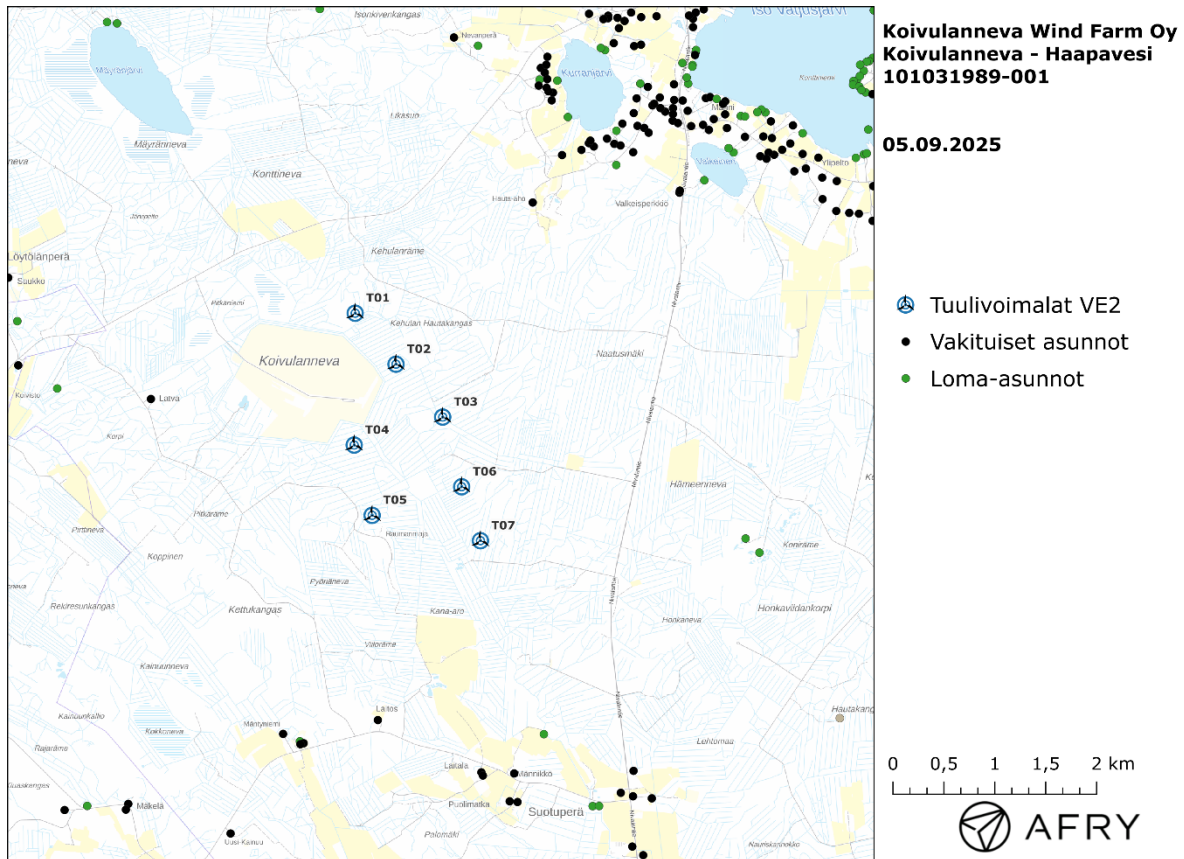
Selvityksessä arvioidaan Haapaveden kaupungin alueelle suunnitellun Koivulannevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty yhdeksän (VE1) ja seitsemän (VE2) voimalan suunnitelmille. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1-1-Kuva 1-2) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1-1-Taulukko 1-2).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 250 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välkeaikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyyppin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lappojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, väkemannuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyyppistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Lapa on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Voimalatyyppin V162 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutusta.

Selvityksessä arvioidaan myös Koivulannevan sekä läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden VE1 sijainnit Koivulannevan hankealueella.



Kuva 1-2: Tuulivoimaloiden VE2 sijainnit Koivulannevan hankealueella.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden VE1 (9 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	414457	7103759	134
T2	414857	7103259	134
T3	415316	7102741	135
T4	414447	7102466	133
T5	414623	7101777	132
T6	415687	7101529	131
T7	416281	7101350	132
T8	416534	7102069	138
T9	416731	7102899	141

Taulukko 1-2: Tuulivoimaloiden VE2 (7 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	414457	7103759	134
T2	414857	7103259	134
T3	415316	7102741	135
T4	414447	7102466	133
T5	414623	7101777	132
T6	415687	7101529	131
T7	415502	7102058	132

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 kaakkoispuolelle (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 kohdisuorassa 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 sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 110 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 tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, 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 vakioleveyinen: 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 Koivulannevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 250 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuitoihin ja mallinuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyypistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 100 metriin, lapa on skaalattu 5 % leveämmäksi kuin voimalatyypissä V162. 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 ajallisaosuudella. 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 sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä 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	0,175	0,176	0,170	0,137	0,128	0,147

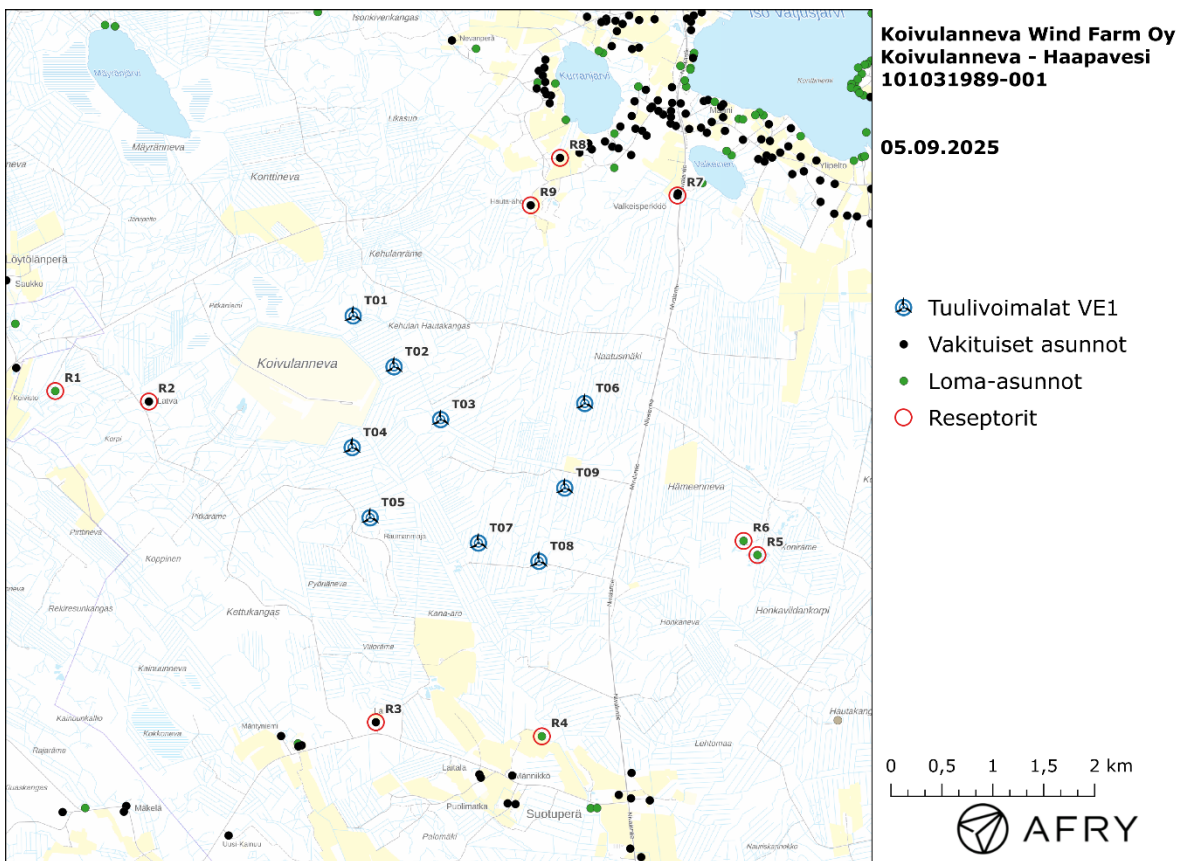
Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

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 9 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 noin 1,8-3,0 km etäisyydellä voimaloista.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	411533	7103020	121	loma-asunto
R2	412452	7102916	131	vakituinen asunto
R3	414680	7099769	130	vakituinen asunto
R4	416310	7099631	122	loma-asunto
R5	418427	7101410	147	loma-asunto
R6	418291	7101549	145	loma-asunto
R7	417641	7104939	124	vakituinen asunto
R8	416489	7105307	124	vakituinen asunto
R9	416201	7104842	134	vakituinen asunto

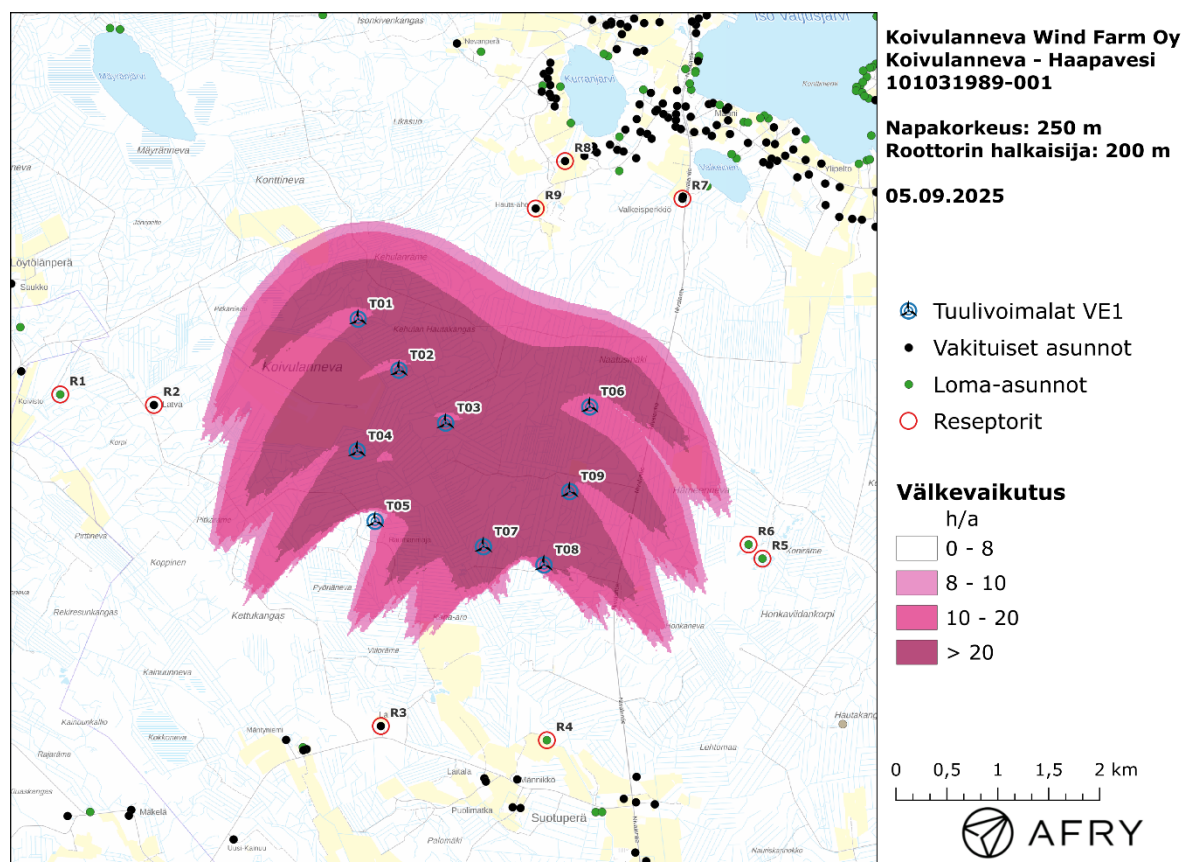

Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Koivulannevan tuulivoimauiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

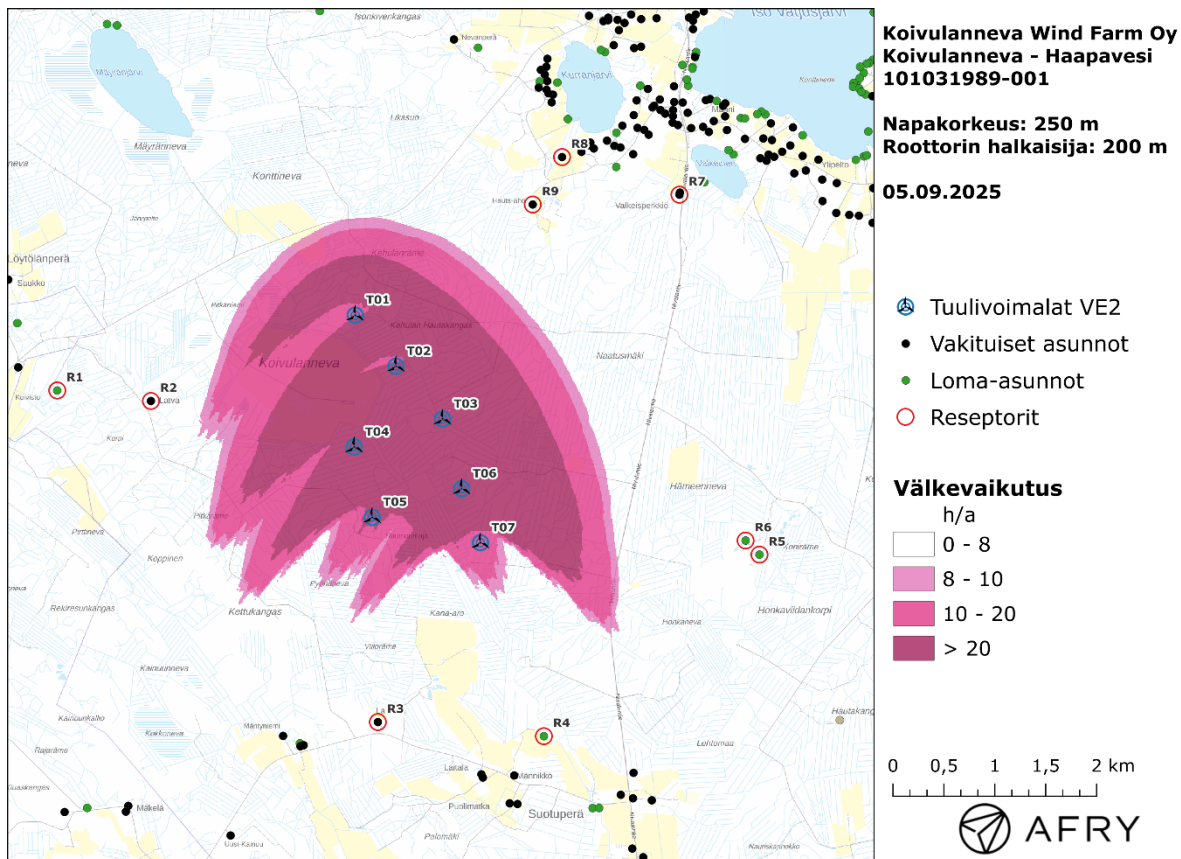
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 3-2-Kuva 3-3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset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

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla molemmilla sijoitus-suunnitelmissa VE1 ja VE2. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla molemmilla suunnitelmissa. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-4-Taulukko 3-5). Reseptorikohtaisten välkevaikutusten laskennassa huomioitiin myös olemassa olevat Keson ja Hankilan tuulivoimapaistot (sijaintikoordinaatit esitettynä kappaleessa 3.4) eikä välkeajassa ole eroa verrattuna vain Koivulannevan VE1 tai VE2 tuulivoimaloiden aiheuttamaan välkkeeseen, joten reseptoripisteisiin kohdistuva välke aiheutuu vain Koivulannevan suunnitelluista voimaloista.

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen sijoitus suunnitelmalla VE1 reseptorin R6 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-6) ja sijoitus suunnitelmalla VE2 reseptorin R2 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aika- vyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Tuulivoimaloiden VE1 aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.



Kuva 3-3: Tuulivoimaloiden VE2 aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	1:59	0:04
R3	0:31	0:02
R4	0:00	0:00
R5	3:16	0:04
R6	4:43	0:05
R7	0:22	0:02
R8	0:13	0:01
R9	1:57	0:04

Taulukko 3-5: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	1:59	0:04
R3	0:00	0:00
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	1:24	0:03

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:17	0:00	0:00	0:00	0:17
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:40	0:00	0:00	0:44
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:18	0:00	0:23
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:20	0:00	1:20
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:02	0:00	1:02
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	0:00	0:00	0:40
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18	0:00	0:00	0:00	0:18
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39	1:25	2:40	0:00	4:43

Taulukko 3-7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R2 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:19	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
Huhtikuu	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11
Toukokuu	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
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	0:33	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:33
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	1:11	0:41	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:59

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-8-Taulukko 3-9). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälke aika pysyy alle raja-arvojen kaikkien rakennusten kohdalla molemmilla sijoitussuunnitelmilla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen sijoitussuunnitelmalla VE1 reseptorin R6 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-10) ja sijoitussuunnitelmalla VE2 reseptorin R9 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-11). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aika-
 vyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-8: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	8:39	0:14
R3	1:55	0:08
R4	0:00	0:00
R5	13:14	0:15
R6	19:00	0:18
R7	2:56	0:12
R8	2:24	0:10
R9	14:12	0:26

Taulukko 3-9: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	8:39	0:14
R3	0:00	0:00
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	9:15	0:15

Taulukko 3-10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE1.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	1:17	0:00	0:00	0:00	1:17
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	2:34	0:00	0:00	2:49
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17	1:09	0:00	1:27
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:04	0:00	5:04
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:57	0:00	3:57
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:51	0:00	0:00	2:51
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:33	0:00	0:00	0:00	1:33
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:06	5:43	10:11	0:00	19:00

Taulukko 3-11: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R9 kohdalla sijoitussuunnitelmalla VE2.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14	0:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	2:06	0:14	0:00	0:00	0:00	2:24
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17	0:00	0:00	0:00	1:17
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:12	0:00	0:00	0:00	0:00	3:12
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:25
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43	6:01	1:31	0:00	0:00	0:00	9:15

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Koivulannevan voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Kukonahon, Hankilan ja Keson laajennuksen, Puutionsaaren ja Nevalaistenniemen tuulivoimapuistojen, sekä toiminnassa olevan Hankilan ja Keson tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkkeen yhteisvaikutusta.

Kukonahon tuulivoimahanketta suunnittelee OX2 ja siihen on suunnitteilla viisi voimalaa, joista lähin sijaitsee 5,2 km etäisyydellä Koivulannevan voimaloista. Hankilan ja Keson laajennusta suunnittelee Puhuri Oy ja siihen on suunnitteilla 16 tuulivoimalaa, joista lähin sijaitsee 3,3 km etäisyydellä Koivulannevan voimaloista. Puutionsaaren tuulivoimahanketta suunnittelee VSB Uusiutuva Energia Suomi Oy ja siihen on suunnitteilla 49 tuulivoimalaa, joista lähin sijaitsee 8,2 km etäisyydellä Koivulannevan voimaloista. Nevalaistenniemen tuulivoimahanketta suunnittelee Winda Energy Oy ja siihen on suunnitteilla 11 tuulivoimalaa, joista lähin sijaitsee noin 6,0 km etäisyydellä Koivulannevan voimaloista. Toiminnassa olevia Hankilan ja Keson tuulivoimapuistoja operoi Puhuri Oy ja niissä on yhteensä 15 tuulivoimalaa, joista lähin sijaitsee noin 5,5 km etäisyydellä Koivulannevan tuulivoimaloista.

Välkemallinnuksessa naapuripuistoille käytetyt napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja käytetyt lapaprofiilit on esitetty taulukossa (Taulukko 3-12). Kukonahon, Hankilan ja Keson laajennuksen, Puutionsaaren ja Nevalaistenniemen voimaloiden lapaprofiilit on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan isompaa roottorin halkaisijaa.

Taulukko 3-12: Naapuri tuulivoimapuistojen napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja lapaprofiilit

Tuulipuisto	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Lapaprofiili
Kukonaho	142,5	175	skaalattu V162
Hankilan ja Keson laajennus	200	200	skaalattu V162
Puutionsaari	200	200	skaalattu V162
Nevalaistenniemi	220	260	skaalattu V162
Hankila ja Keso	166	162	valmistajan ilmoittama V162

Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-13-Taulukko 3-17).

Taulukko 3-13: Kukonahon (5 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
KUK.1071	408857	7098427	115
KUK.1052	407742	7096948	109
KUK.1082	409752	7099120	116
KUK.1042	410264	7098972	123
KUK.1034	409573	7098129	122

Taulukko 3-14: Hankilan ja Keson laajennuksen (16 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
KL8	419216	7099788	136
HL9	425352	7093235	144
KL9	420348	7099424	138
HL10	426694	7093090	146
KL10	422123	7100389	141
HL11	427759	7091821	143
KL11	422037	7098841	148
HL12	429826	7089534	137
KL12	423482	7099355	142
HL13	431676	7090184	127
KL13	423340	7098530	141
HL14	431273	7088999	138
KL14	424307	7097220	138
KL15	423416	7096727	142
KL16	422338	7096753	142
KL17	420925	7095966	127

Taulukko 3-15: Puutionsaaren (49 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
P1	398896	7112332	92
P2	399097	7111286	96
P3	399784	7111972	97
P4	399264	7110151	96
P5	399536	7110832	96
P6	400239	7111382	96
P7	400444	7112292	96
P8	400019	7109649	100
P9	400380	7110348	99
P10	400876	7110966	98
P11	401152	7111752	99
P12	400549	7109232	102
P13	400953	7110020	102
P14	401537	7111046	105
P15	401068	7108792	108
P16	401564	7109758	104
P17	402089	7110702	107
P18	402589	7111603	107
P19	402455	7109148	112
P20	402889	7109778	109

P21	403318	7110593	109
P22	403622	7111352	106
P23	404117	7112276	104
P24	403379	7109327	116
P25	403790	7110129	108
P26	404210	7111152	106
P27	404739	7112199	106
P28	405100	7112943	101
P29	404061	7109351	110
P30	404420	7110174	106
P31	404900	7111381	105
P32	405395	7112030	102
P33	405740	7112891	100
P34	405042	7110380	105
P35	405532	7111130	104
P36	406114	7112133	103
P37	406460	7113127	108
P38	405707	7108791	111
P39	405822	7109587	107
P40	405893	7110455	105
P41	406257	7111298	104
P42	406558	7109872	106
P43	406638	7110744	106
P44	407324	7109954	109
P45	407269	7110957	113
P46	407963	7109542	113
P47	407809	7110582	116
P48	408414	7110457	119
P49	408786	7109772	117

Taulukko 3-16: Nevalaistenniemen (11 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

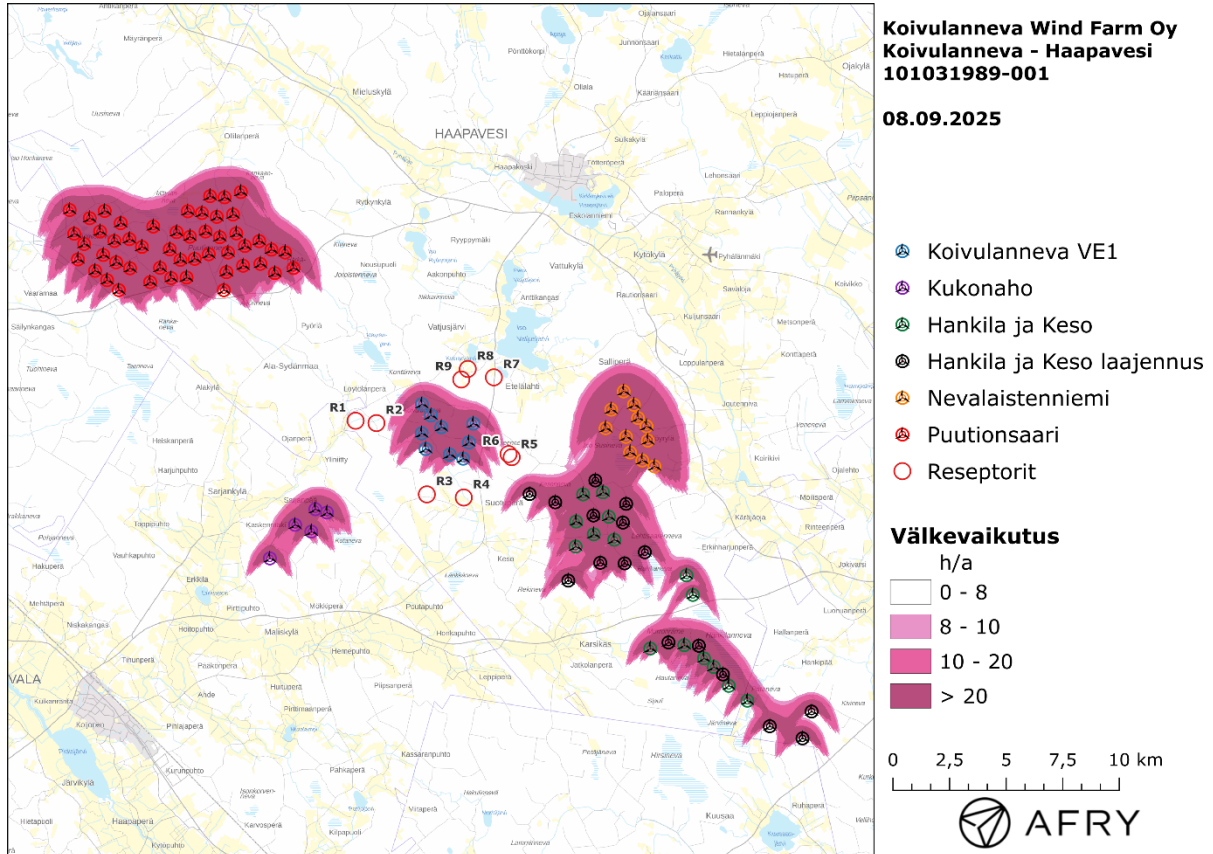
Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
N1	423373	7104320	130
N2	422821	7103514	131
N3	423823	7103729	127
N4	422574	7102696	136
N5	424005	7103144	128
N6	423474	7102315	135
N7	424383	7102779	129
N8	423657	7101626	136
N9	424439	7102149	127

N10	424193	7101272	132
N11	424733	7101010	128

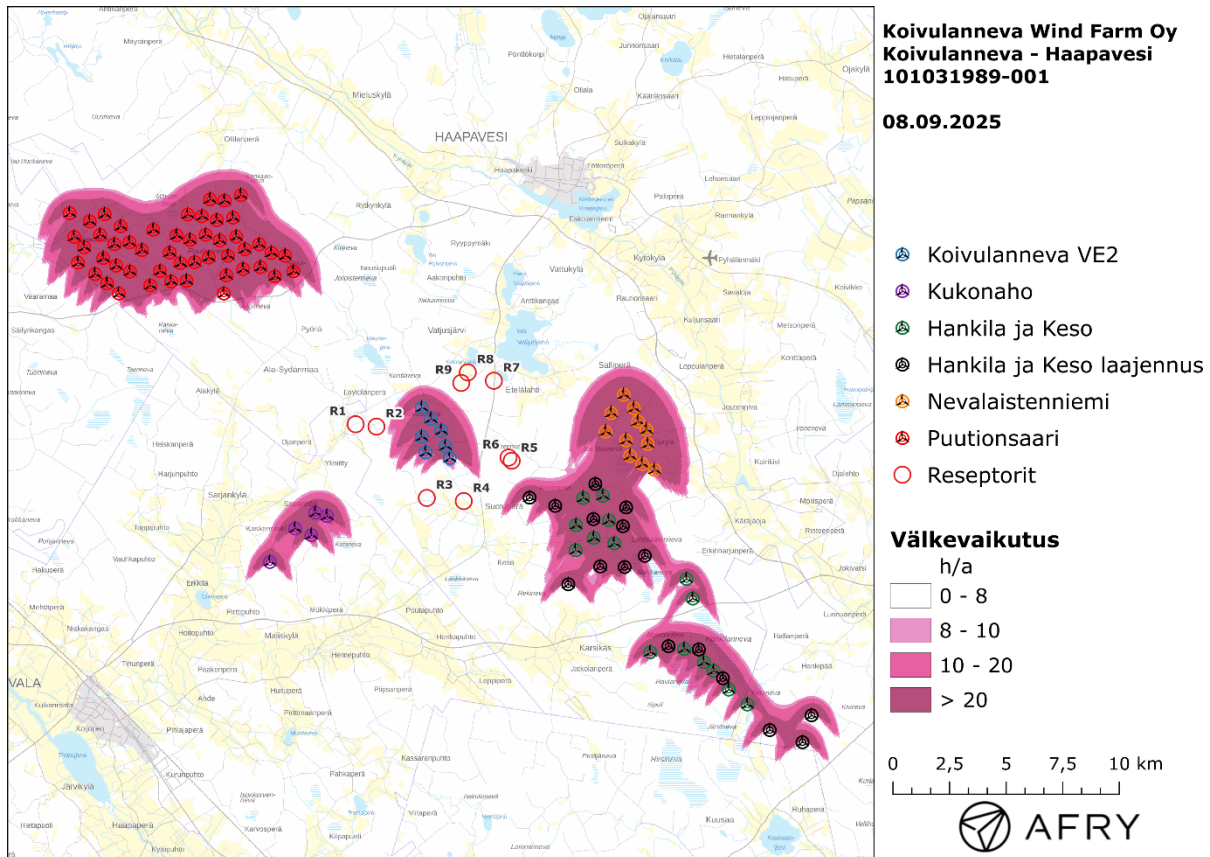
Taulukko 3-17: Hankilan ja Keson (15 kpl) toiminnassa olevien tuulivoimaloiden sijainti-koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
H1	426149	7096197	140
H2	426428	7095334	148
H3	424547	7092965	138
H4	426049	7093114	146
H5	426921	7092530	147
H6	427353	7092148	146
H7	428017	7091319	142
H8	428837	7090661	138
K1	421580	7099774	153
K2	422460	7099865	143
K3	422717	7098782	147
K4	422956	7097770	145
K5	422051	7098010	142
K6	421250	7097469	138
K7	421269	7098573	140

Koivulannevan sijoitusvaihtoehtojen VE1 ja VE2 ja naapurituulivoimapuistojen todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnukset on esitetty karttakuvina (Kuva 3-4-Kuva 3-5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukoissa (Taulukko 3-18-Taulukko 3-19). Mallinnusten perusteella Koivulannevan ja naapuripuistojen voimaloista aiheutuu vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta asutukselle. Suurin muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa tapahtuu reseptoripisteen R5 kohdalla, jossa vuotuinen todennäköinen välkevaikutus kasvaa 51 minuuttia molemmilla sijoitusvaihtoehdoilla. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvon ylityksiä minkään asuin- tai lomarakennuksen kohdilla.



Kuva 3-4: Koivulannevan VE1 ja naapurituulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.



Kuva 3-5: Koivulannevan VE2 ja naapurituulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-18: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Koivulanneva VE1 sekä naapuripuistojen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	1:59	0:04	8:39	0:14
R3	0:31	0:02	1:55	0:08
R4	0:00	0:00	0:00	0:00
R5	4:07	0:04	20:51	0:20
R6	5:18	0:05	24:09	0:18
R7	0:22	0:02	2:56	0:12
R8	0:13	0:01	2:24	0:10
R9	1:57	0:04	14:12	0:26

Taulukko 3-19: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Koivulanneva VE2 sekä naapuripuistojen voimat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Resep-tori	Todennäköinen vuotuinen välke aika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välke aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	1:59	0:04	8:39	0:14
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	0:00	0:00	0:00	0:00
R5	0:51	0:03	7:37	0:20
R6	0:34	0:03	5:10	0:16
R7	0:00	0:00	0:00	0:00
R8	0:00	0:00	0:00	0:00
R9	1:24	0:03	9:15	0:15

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Haapaveden kaupungin alueelle suunnitellun Koivulannevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 9 (VE1) ja 7 (VE2) voimalan suunnitelmille, roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 250 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Koivulannevan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Myös vuotuinen teoreettinen maksimivälke sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke alittaa Saksan raja-arvot.

Koivulannevan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutukset ovat vähäisiä. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvon ylityksiä minkään asuin- tai lomarakennuksen kohdilla.

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 roottorikehien 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 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.

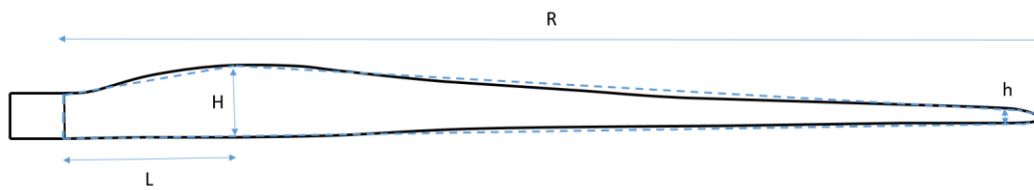
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 välkелaskennassa 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 välkелaskennassa 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 kustnära 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.