



wpd Suomi Oy

Tuohimaa-Riutanmaa

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

5.5.2025

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 101016428-009.

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:

wpd Suomi Oy

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Erkki Heikkola

erkki.heikkola@afry.com

Wind and Solar Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101016428-009

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	5.5.2025/ Erkki Heikkola Senior Consultant	5.5.2025/ Mika Laitinen Senior Consultant	Alkuperäinen

SISÄLLYS

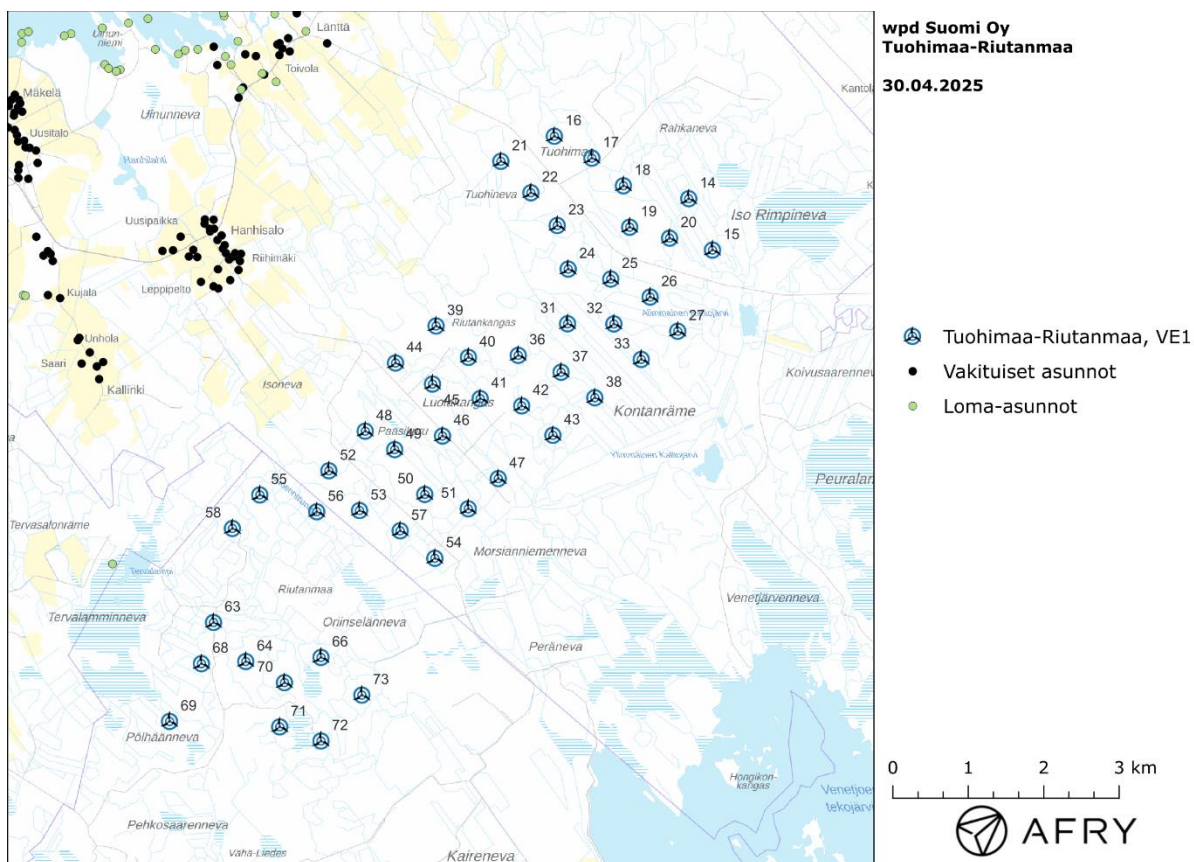
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	8
2.1	Välkevaikutus.....	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjeavot	9
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	10
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	14
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	17
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	20
4	YHTEENVETO.....	25
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	26
6	VIITTEET	28

1 JOHDANTO

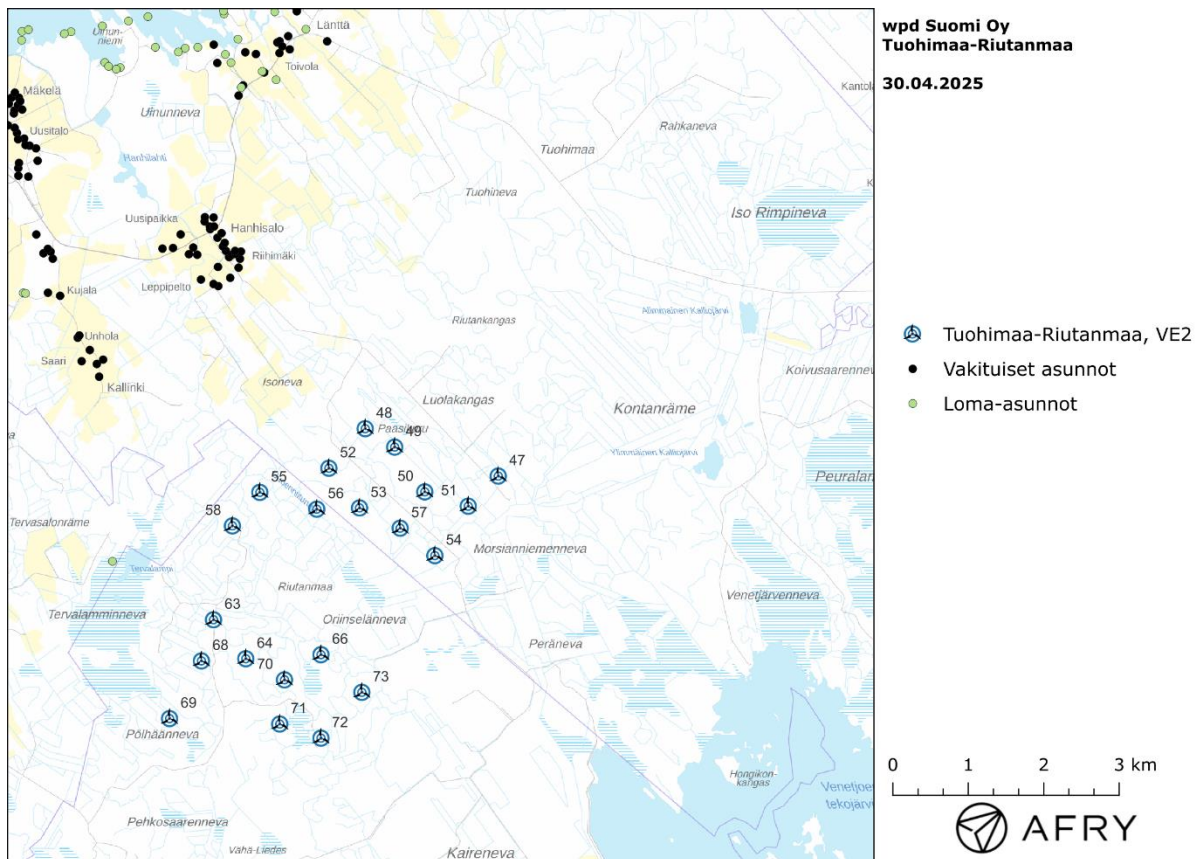
Selvityksessä arvioidaan Kokkolan ja Halsuan kuntien alueelle suunnitellun wpd Tuohimaa-Riutanmaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Välkevaikutukset selvitetään hankkeen kahdelle ympäristövaikutusten arviointimenetelyssä tarkasteltavalle vaihtoehdolle VE1 (49 voimalaa) ja VE2 (21 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1-1 ja Kuva 1-2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 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 välkeikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyypin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyypistä N163 (roottorin halkaisija 163 m). Profiilia on pidennetty 100 metriin ja samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,5 m (N163:n lapaprofiilin levein kohta on 4,15 m).

Tässä selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia Toholammin alueelle suunnitellun wpd Suomi Oy:n Länsi-Toholampi kanssa sekä Kokkolan ja Halsuan puolelle suunnitellun Neova Oy:n Kairinevan tuulipuiston kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään luvussa 3.4.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Tuohimaa-Riutanmaan hankevaihtoehdolla VE1.



Kuva 1-2: Tuulivoimaloiden sijainnit Tuohimaa-Riutanmaan hankevaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1-1: Tuohimaa-Riutanmaan hankevaihtoehdon VE1 tuulivoimaloiden (49 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla. Hankevaihtoehdossa VE2 on jätetty pois voimat T14-T46.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T14	361655	7056491	141,3
T15	361970	7055811	138,1
T16	359874	7057317	138,5
T17	360371	7057027	144,8
T18	360790	7056662	145,6
T19	360872	7056113	145,2
T20	361402	7055969	140,7
T21	359165	7056985	132,8
T22	359563	7056569	147,6
T23	359912	7056136	147,8
T24	360057	7055559	146,5
T25	360621	7055427	144,2
T26	361144	7055189	140,1
T27	361510	7054736	139,4
T31	360049	7054835	143,0
T32	360663	7054833	140,5

T33	361026	7054364	139,5
T36	359395	7054417	143,9
T37	359963	7054194	140,9
T38	360410	7053856	140,1
T39	358306	7054806	135,7
T40	358735	7054390	139,1
T41	358891	7053845	141,6
T42	359441	7053749	142,6
T43	359855	7053360	139,6
T44	357768	7054316	132,2
T45	358258	7054037	136,7
T46	358391	7053350	139,0
T47	359130	7052786	140,0
T48	357366	7053414	140,1
T49	357757	7053170	138,7
T50	358156	7052577	139,0
T51	358732	7052387	137,8
T52	356885	7052890	135,9
T53	357291	7052364	139,1
T54	358290	7051732	134,5
T55	355969	7052570	126,5
T56	356724	7052348	128,7
T57	357830	7052096	135,4
T58	355606	7052126	133,2
T63	355356	7050883	132,1
T64	355783	7050366	139,5
T66	356780	7050420	137,5
T68	355195	7050337	130,3
T69	354772	7049573	131,3
T70	356296	7050086	146,3
T71	356233	7049501	144,7
T72	356780	7049314	141,8
T73	357322	7049921	144,7

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 ilta-ajat). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

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

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohdittuorassa 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. Välkkeen hallintatyökalu voidaan määrätä otettavaksi käyttöön ympäristöluvassa, mikäli välkkeen ohjearvot ylittyvät asutuksen tai loma-asutuksen osalta.

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 Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 100 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 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 Tuohimaa-Riutanmaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuistoihin 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 N163 (roottorin halkaisija 163 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 100 metriin, lapaa on skaalattu 8 % leveämmäksi kuin voimalatyypissä N163. 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 ajallisella osuudella. 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 Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten 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	0,166	0,196	0,182	0,126	0,119	0,144

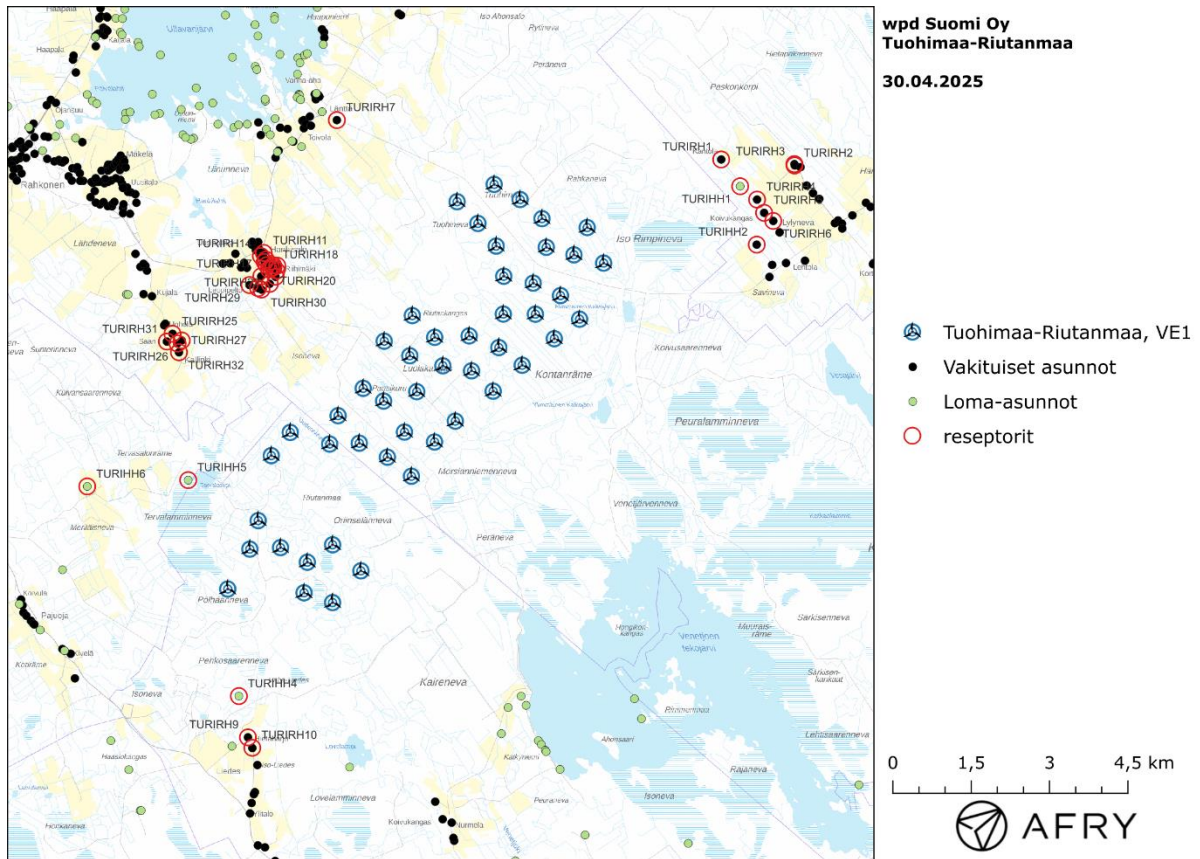
Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 36 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu niiden vakituisten tai loma-asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat 1,5-4 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 3-3: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa (koordinaatit Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta).

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
TURIRH1	364223	7057790	141	vakituinen asunto
TURIRH2	365628	7057675	134	vakituinen asunto
TURIRH3	365626	7057702	134	vakituinen asunto
TURIRH4	364910	7057023	135	vakituinen asunto
TURIRH5	365045	7056769	137	vakituinen asunto
TURIRH6	365220	7056614	135	vakituinen asunto
TURIRH7	356863	7058544	124	vakituinen asunto
TURIRH9	355161	7046731	138	vakituinen asunto
TURIRH10	355244	7046531	136	vakituinen asunto
TURIRH11	355464	7056002	121	vakituinen asunto
TURIRH12	355482	7055827	120	vakituinen asunto
TURIRH13	355506	7055873	121	vakituinen asunto
TURIRH14	355409	7055942	121	vakituinen asunto
TURIRH15	355522	7055768	118	vakituinen asunto
TURIRH16	355721	7055759	121	vakituinen asunto
TURIRH17	355416	7055555	118	vakituinen asunto
TURIRH18	355651	7055726	121	vakituinen asunto
TURIRH19	355708	7055662	120	vakituinen asunto
TURIRH20	355603	7055716	119	vakituinen asunto
TURIRH21	355689	7055545	120	vakituinen asunto
TURIRH22	355562	7055686	117	vakituinen asunto
TURIRH23	355643	7055766	122	vakituinen asunto
TURIRH24	355580	7055410	120	vakituinen asunto
TURIRH25	353717	7054454	121	vakituinen asunto
TURIRH26	353813	7054269	119	vakituinen asunto
TURIRH27	353893	7054327	119	vakituinen asunto
TURIRH28	355356	7055328	120	vakituinen asunto
TURIRH29	355190	7055387	119	vakituinen asunto
TURIRH30	355419	7055300	121	vakituinen asunto
TURIRH31	353609	7054306	121	vakituinen asunto
TURIRH32	353840	7054101	119	vakituinen asunto
TURIHH1	364586	7057278	137	loma-asunto
TURIHH2	364904	7056161	135	vakituinen asunto
TURIHH4	354987	7047521	137	loma-asunto
TURIHH5	354017	7051654	124	loma-asunto
TURIHH6	352083	7051533	115	loma-asunto



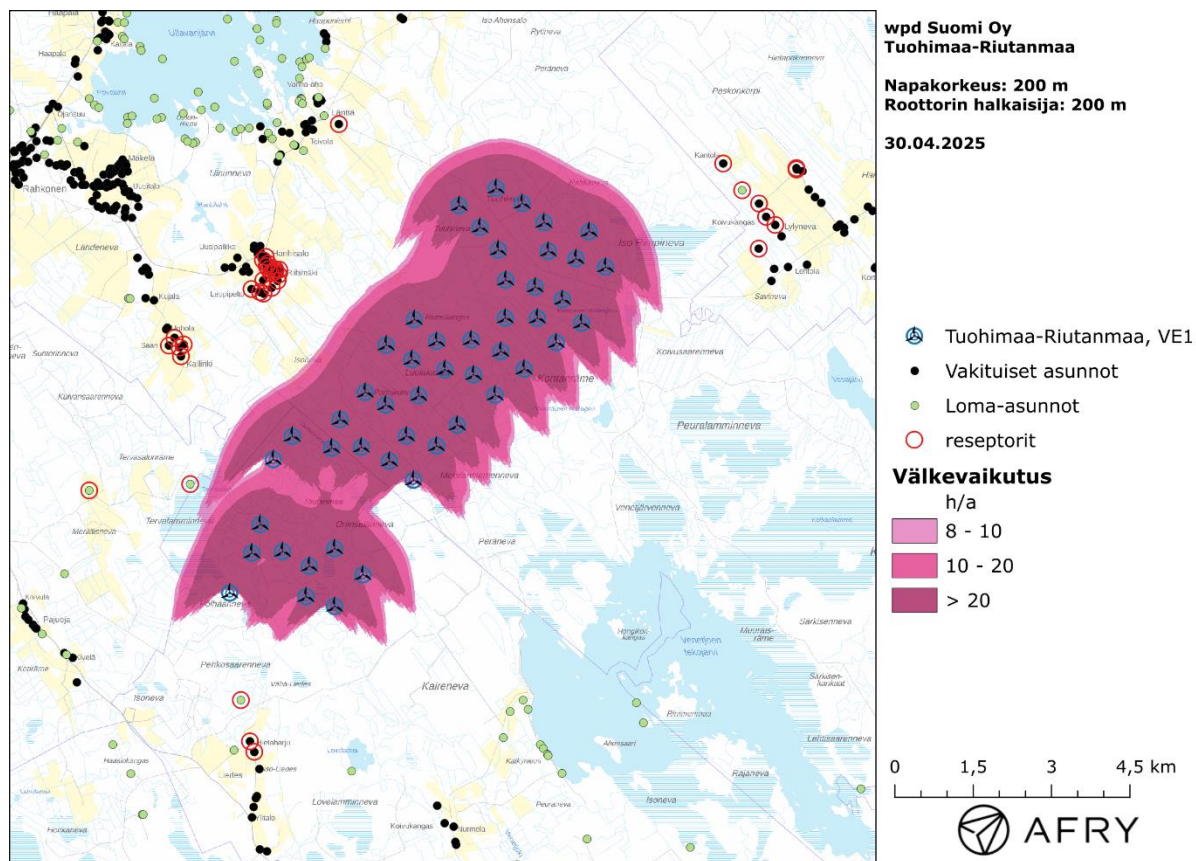
Kuva 3-1: Reseptoreiden sijainnit Tuohimaa-Riutanmaan tuulivoimapuiston ympäristössä.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

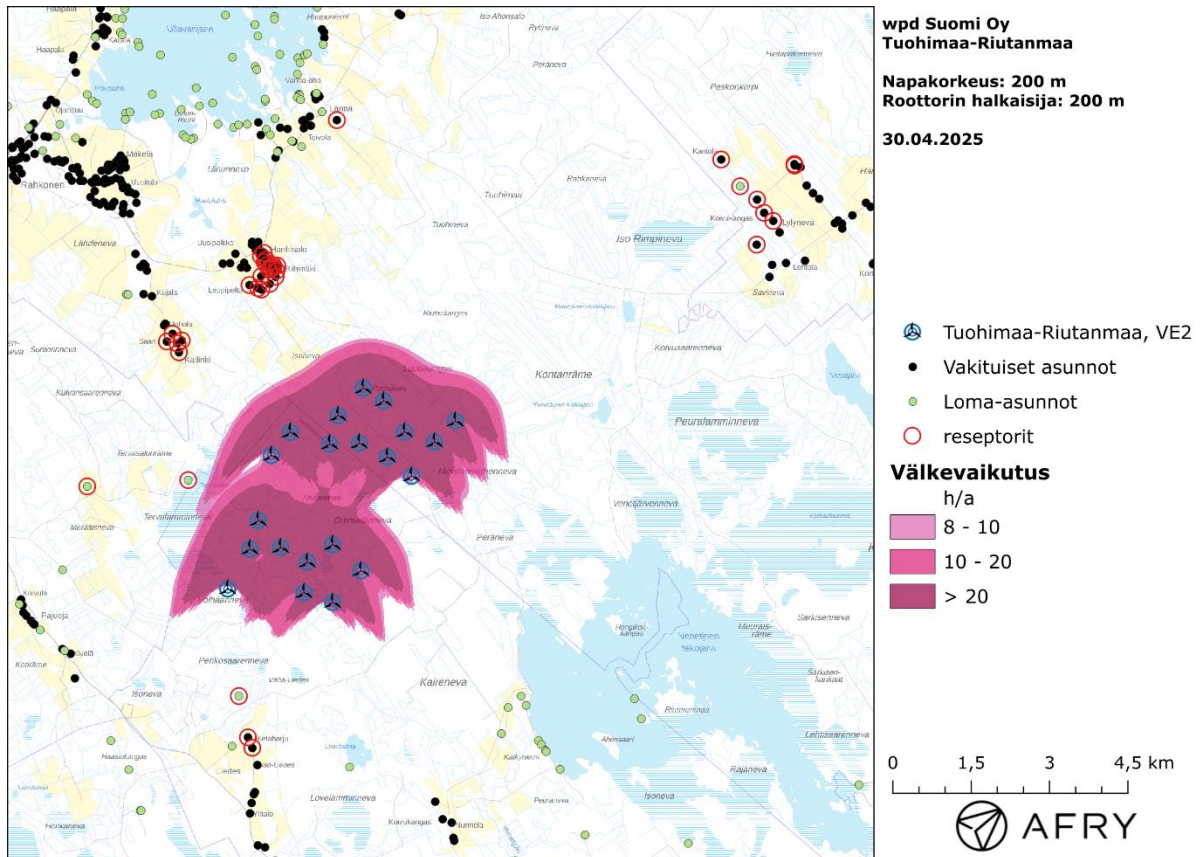
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä vaihtoehdolla VE1 ja VE2 on esitetty karttakuvina (Kuva 3-2 ja Kuva 3-3). Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat 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. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkevaikutus alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdilla ja molemmilla toteutusvaihtoehdolla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin TURIH55 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköinen välke hankevaihtoehdolla VE1.



Kuva 3-3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköinen välke hankevaihtoehdolla VE2.

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika		Todennäköisen välkkeen päivakohtainen maksimi	
	VE1	VE2	VE1	VE2
TURIRH1	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH3	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH4	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH5	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH6	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH7	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH9	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH10	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH11	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH12	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH13	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH14	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH15	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH16	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH17	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH18	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH19	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH20	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH21	0:06	0:06	0:01	0:01
TURIRH22	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH23	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH24	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH25	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH26	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH27	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH28	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH29	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH30	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH31	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH32	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH1	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH4	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH5	3:02	3:02	0:05	0:05
TURIHH6	0:00	0:00	0:00	0:00

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin TURIIH5 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	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Huhtikuu	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Toukokuu	0:00	0:00	0:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42
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	0:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:04	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:08	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	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	1:32	0:12	1:09	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:02

3.3 Teorettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälke aika pysyvät alle raja-arvojen kaikkien rakennusten kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin TURIIH5 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-6: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika		Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	
	VE1	VE2	VE1	VE2
TURIRH1	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH3	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH4	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH5	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH6	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH7	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH9	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH10	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH11	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH12	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH13	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH14	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH15	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH16	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH17	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH18	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH19	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH20	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH21	0:35	0:35	0:06	0:06
TURIRH22	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH23	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH24	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH25	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH26	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH27	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH28	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH29	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH30	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH31	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH32	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH1	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH4	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH5	15:15	15:15	0:16	0:16
TURIHH6	0:00	0:00	0:00	0:00

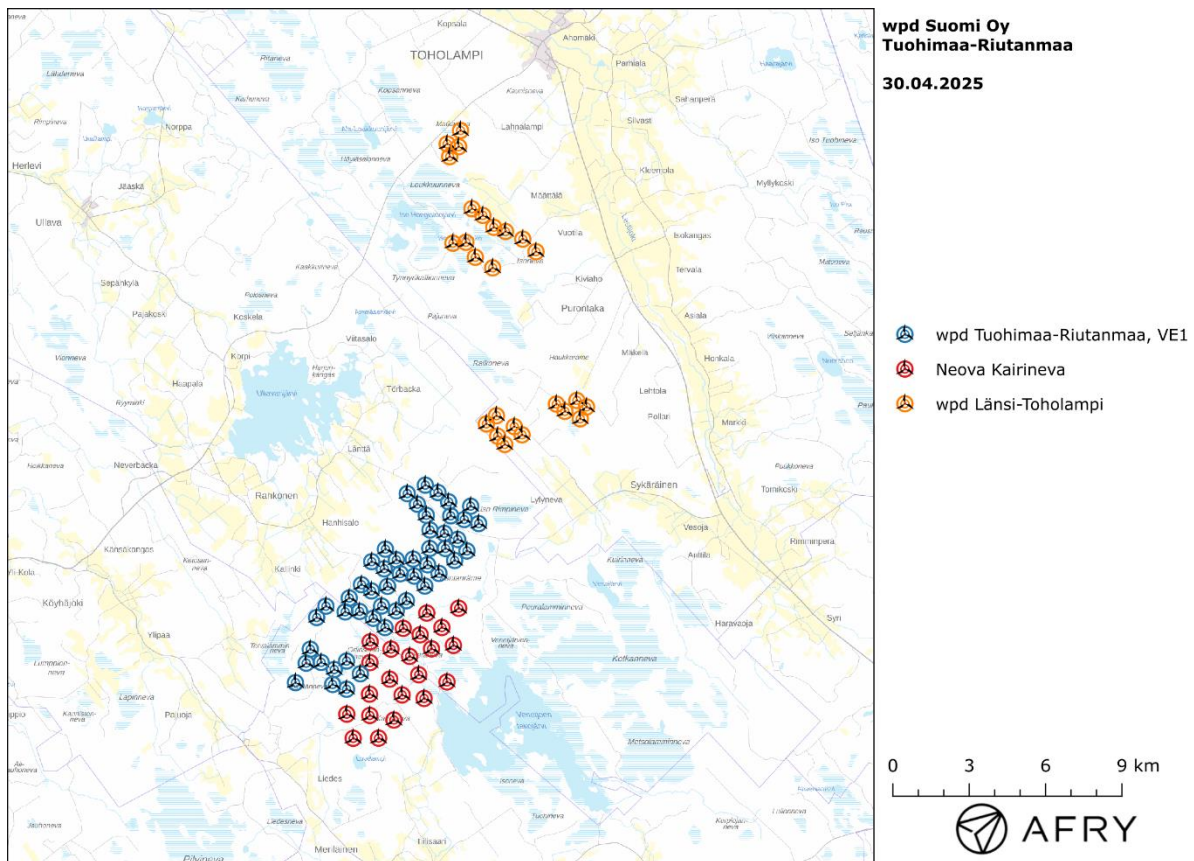
Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin TURIIH5 kohdalla.

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	0:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	2:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:13
Huhtikuu	0:00	0:00	0:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30
Toukokuu	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
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	2:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:53
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:23	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:53	2:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:15
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	5:49	1:16	6:34	1:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	15:15

3.4 Välikkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Tuohimaa-Riutanmaan voimaloiden välikkeen yhteisvaikutuksia Toholammin alueelle suunnitellun wpd:n tuulipuiston Länsi-Toholampi (25 voimalaa) kanssa sekä Kokkolan ja Halsuan puolelle suunnitellun Neova Oy:n Kairinevan tuulipuiston (22 voimalaa) kanssa. Muut lähialueille suunnitellut tuulivoimakohteet ovat niin etäällä (yli 10 km) Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista, ettei välikkeen yhteisvaikutuksia esiinny. Yhteisvaikutusten mallinnukset tehdään Tuohimaa-Riutanmaan laajemmalla hankevaihtoehdolla VE1.

Länsi-Toholammin ja Kairinevan tuulivoimaloiden sijainnit suhteessa Tuohimaa-Riutanmaan voimaloihin on esitetty kartalla (Kuva 3-4) ja koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-8 ja Taulukko 3-9). Välikemallinnuksessa Länsi-Toholammin ja Kairinevan voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m ja samaa lapaprofiilia kuin Tuohimaa-Riutanmaalla. Kairinevan voimaloiden napakorkeus on 200 m ja Länsi-Toholammin 170 m.



Kuva 3-4: wpd Tuohimaa-Riutanmaan välikkeen yhteisvaikutuksissa huomioidut tuulivoimalat.

Taulukko 3-8: wpd Länsi-Toholammin (25 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

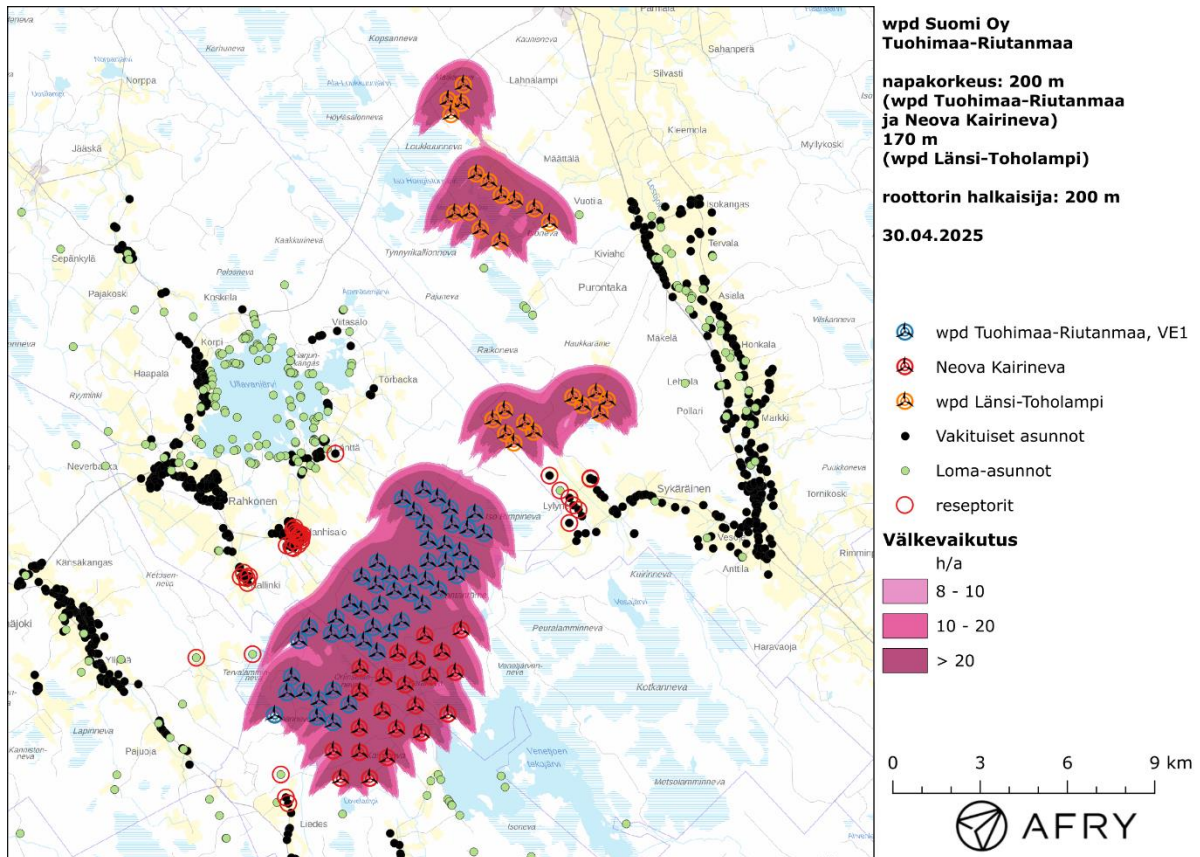
Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
A01	361257	7071221	129,4
A02	360733	7070696	129,6
A03	361184	7070586	131,6
A04	360831	7070197	123,2
C05	361706	7068156	119,3
C06	362133	7067892	117,2
C08	362562	7067427	117,9
C09	363025	7067261	116,6
C10	363703	7066963	120,2
C11	360958	7066804	124,5
C12	361467	7066839	124,2
C13	364221	7066470	121,8
C14	361839	7066251	124,7
C15	362520	7065836	127,7
E22	365826	7060637	141,3
E23	366207	7060382	143,2
E24	365023	7060495	142,3
E25	365357	7060210	142,8
E26	365961	7059918	143,9
F27	362668	7060039	137,4
F28	362272	7059718	137,4
F29	363369	7059610	152,5
F30	362715	7059235	153,9
F31	363674	7059291	152,5
F32	362993	7058912	153,9

Taulukko 3-9: Neova Kairinevan (22 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
K01	357041	7047391	138,0
K02	358039	7047395	132,0
K03	356788	7048337	139,8
K04	357694	7048286	132,9
K05	358640	7048107	131,7
K06	357681	7049122	133,4
K07	358475	7049710	138,5

K08	358962	7049090	132,8
K09	359825	7048952	137,7
K10	359615	7049882	133,9
K11	357699	7050357	133,7
K12	357708	7051174	131,7
K13	358526	7050887	131,5
K14	359257	7050603	137,4
K15	360725	7049600	137,2
K16	359008	7051703	137,9
K17	359671	7051450	137,6
K18	360116	7050898	137,4
K19	360978	7051033	137,2
K20	360525	7051735	138,9
K21	359931	7052300	139,9
K22	361184	7052489	145,0

wpd Tuohimaa-Riutanmaan, wpd Länsi-Toholammin ja Neova Kairinevan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-10). Mallinnusten perusteella hankkeiden voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutusta vakituiselle tai loma-asutukselle. Reseptoreiden välkevaikutukset aiheutuvat kokonaan joko Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista tai naapurikohteiden voimaloista.



Kuva 3-5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapuistot wpd Tuohimaa-Riutanmaa, wpd Länsi-Toholampi ja Neova Kairineva.

Taulukko 3-10: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan wpd Tuohimaa-Riutanmaan, Neova Kairinevan ja wpd Länsi-Toholammin suunnitellut voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaja	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
TURIRH1	3:15	0:06	12:52	0:25
TURIRH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH3	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH4	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH5	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH6	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH7	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH9	0:33	0:03	2:02	0:10
TURIRH10	0:40	0:03	2:26	0:11
TURIRH11	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH12	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH13	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH14	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH15	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH16	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH17	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH18	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH19	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH20	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH21	0:06	0:01	0:35	0:06
TURIRH22	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH23	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH24	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH25	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH26	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH27	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH28	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH29	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH30	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH31	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIRH32	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH1	0:32	0:02	2:05	0:08
TURIHH2	0:00	0:00	0:00	0:00
TURIHH4	0:57	0:03	3:44	0:11
TURIHH5	3:02	0:05	15:15	0:16
TURIHH6	0:00	0:00	0:00	0:00

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Kokkolan ja Halsuan kuntien alueelle suunnitellun wpd Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty hankevaihtoehdoille VE1 (49 voimalaa) ja VE2 (21 voimalaa) roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Tuohimaa-Riutanmaan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

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

Tuohimaa-Riutanmaan hankevaihtoehdoilla VE1 ja VE2 ei ole välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa. Kokonaisuutena hankevaihtoehtojen VE1 ja VE2 välkevaikutus on vähäinen.

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 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.

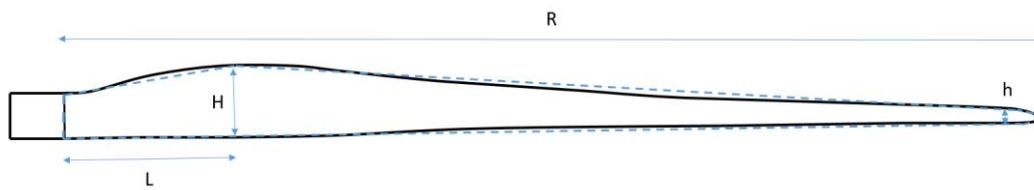
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 välkelaskennassa 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 välkelaskennassa 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. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.