



Pohjan Voima Oy ja Taaleri Energia Oy

Vaarinkankaan tuulivoimapuiston väikeselvitys

101021081-003, 26.02.2025

Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Taaleri Energia Oy

Päivämäärä
26/02/2025

Projektinumero
101021081-003

Raportin tila
VALMIS

Vaarinkankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	26.02.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	26.02.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

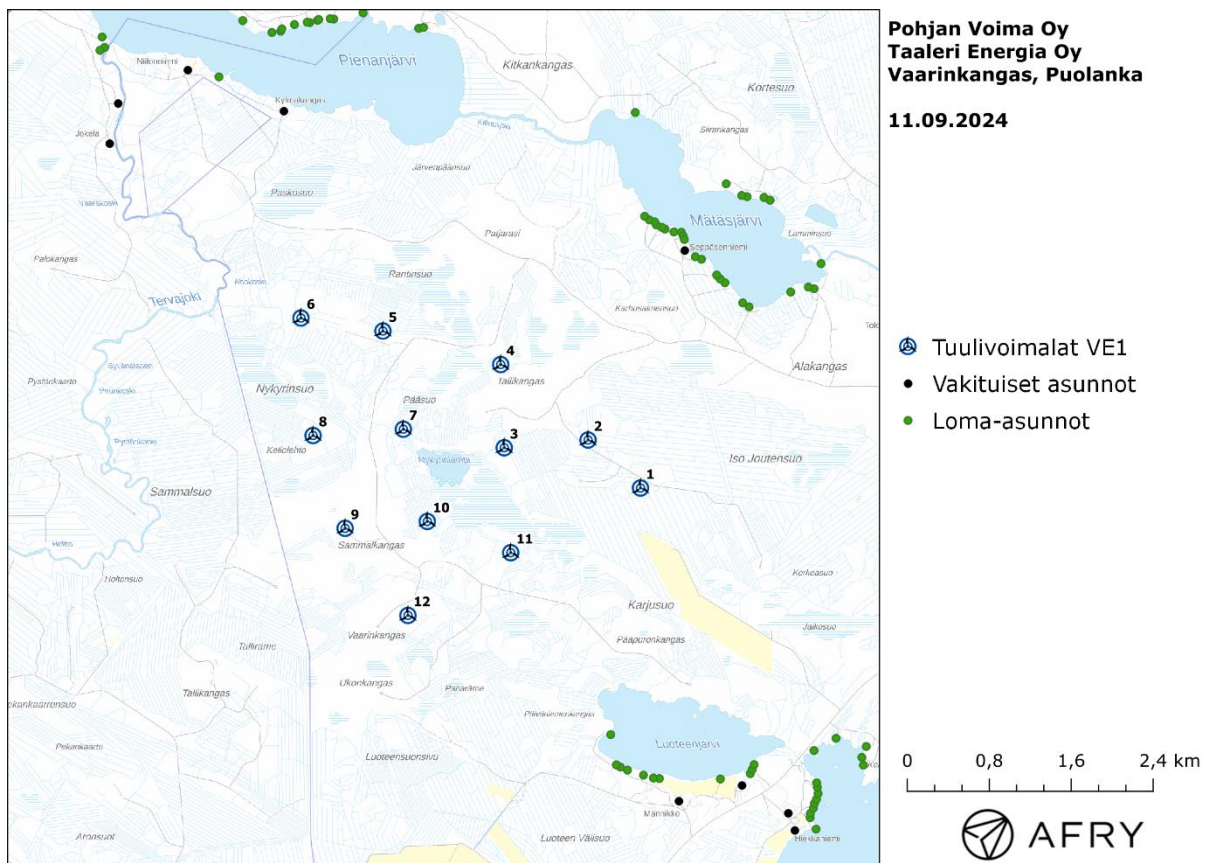
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	7
2.1	Välkevaikutus	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	7
2.4	Ohjeavot	8
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Välkevaikutus	11
3.3	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	14
4	Yhteenvedo	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	18
6	Viitteet	20

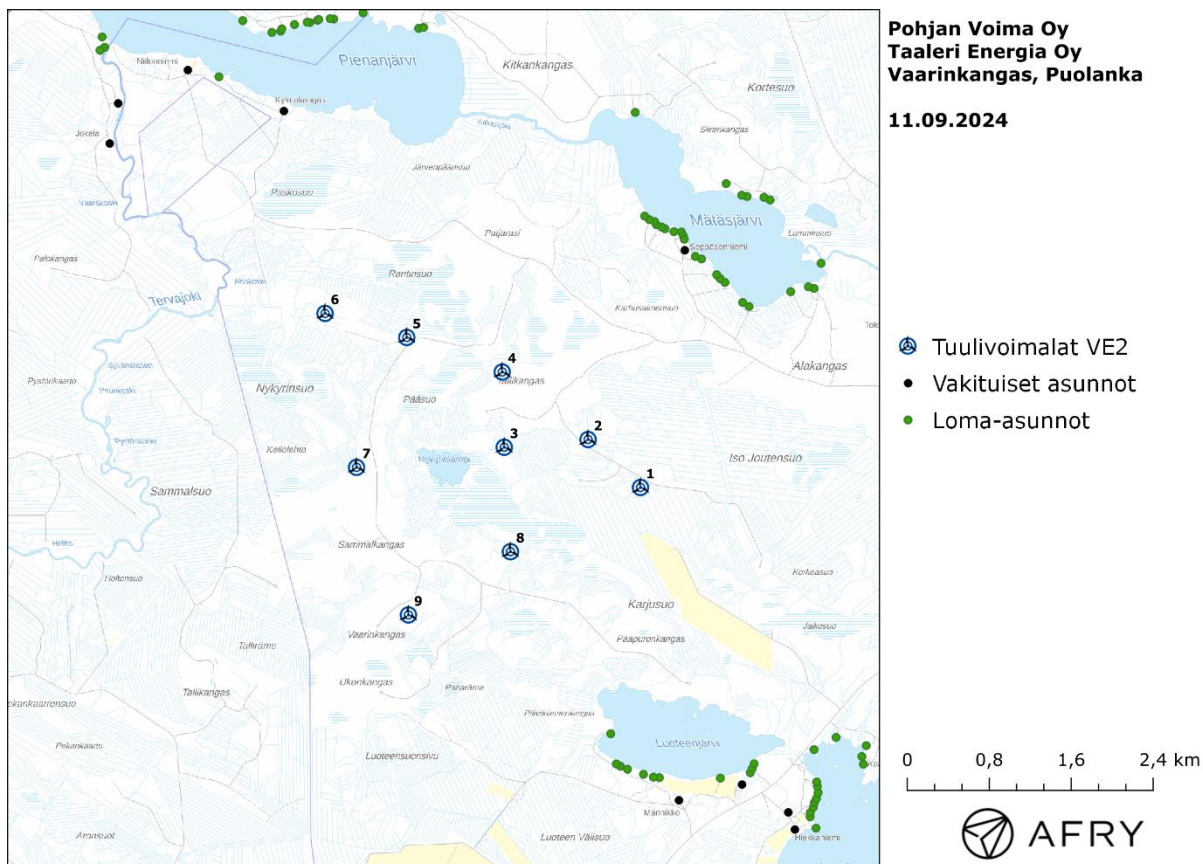
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Puolangan kunnan alueelle suunnitellun Vaarinkankaan tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitteluvaihtoehdoille VE1 (12 voimalaa) ja VE2 (9 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1 ja Taulukko 2). Selvityksessä arvioidaan myös välkkeen yhteisvaikutuksia Vaarinkankaan lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapaistojen kanssa.

Välkemallinnuksissa Vaarinkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m (kokonaiskorkeus 300 m). Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapaistoihin 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 lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyyppistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Lapaa on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Voimalatyyppin V162 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutusta.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit sijoitteluvaihtoehdolla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit sijoitteluvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1: Vaihtoehtoon VE1 voimaloiden (12 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	515977	7172311	167
2	515465	7172778	178
3	514647	7172703	169
4	514613	7173514	172
5	513463	7173841	165
6	512663	7173967	152
7	513662	7172884	164
8	512782	7172822	154
9	513094	7171918	178
10	513896	7171985	162
11	514711	7171680	162
12	513708	7171069	171

Taulukko 2: Vaihtoehtoon VE2 voimaloiden (9 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	515977	7172311	167
2	515465	7172778	178
3	514647	7172703	169
4	514628	7173437	172
5	513696	7173774	167
6	512898	7174009	160
7	513206	7172507	160
8	514708	7171684	162
9	513712	7171067	170

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja keston vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

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

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellon-aikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Oulun lentoaseman sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 100 km.

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

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on

yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [1]. Tässä selvityksessä 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 vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola mallinnusohjelmistolla. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan arvio siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, voimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2,0 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle voimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu voimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen voimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä voimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä voimalan napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu voimalan muuttuva lapaprofiili.

Välkemallinnuksissa Vaarinkankaan 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. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyypistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 100 metriin, lapaa on skaalattu 7 % leveämmäksi kuin voimalatyypissä V162. Välkevaikutuksen 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 voimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri voimaloiden orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua

välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn voimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa voimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet voimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3).

Paikallinen pilvisyys on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun lentoaseman sääasemalta [4] mitattujen auringonpaistatuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistatuntien määrästä (Taulukko 4). Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 4). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,178	0,173	0,140	0,147	0,140	0,151

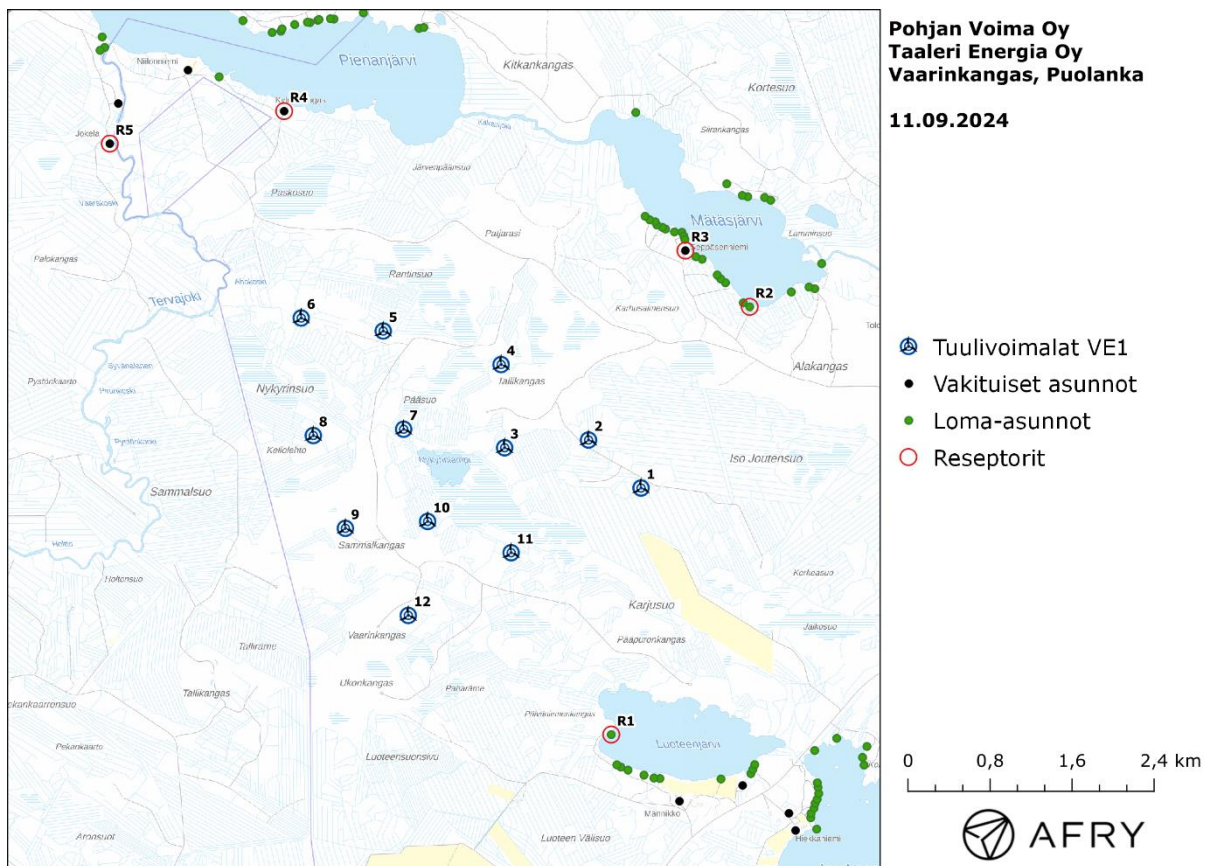
Taulukko 4: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

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 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä viisi rakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat 2,0–2,5 km etäisyydellä lähimmästä voimalasta. Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta.

Taulukko 5: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	515688	7169906	152	loma-asunto
R2	517038	7174075	157	loma-asunto
R3	516411	7174623	156	vakituinen asunto
R4	512498	7175982	157	vakituinen asunto
R5	510798	7175665	155	vakituinen asunto



Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston ympäristössä.

3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot sijoitteluvaihtoehtojen VE1 ja VE2 todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 4 ja Kuva 5). 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.

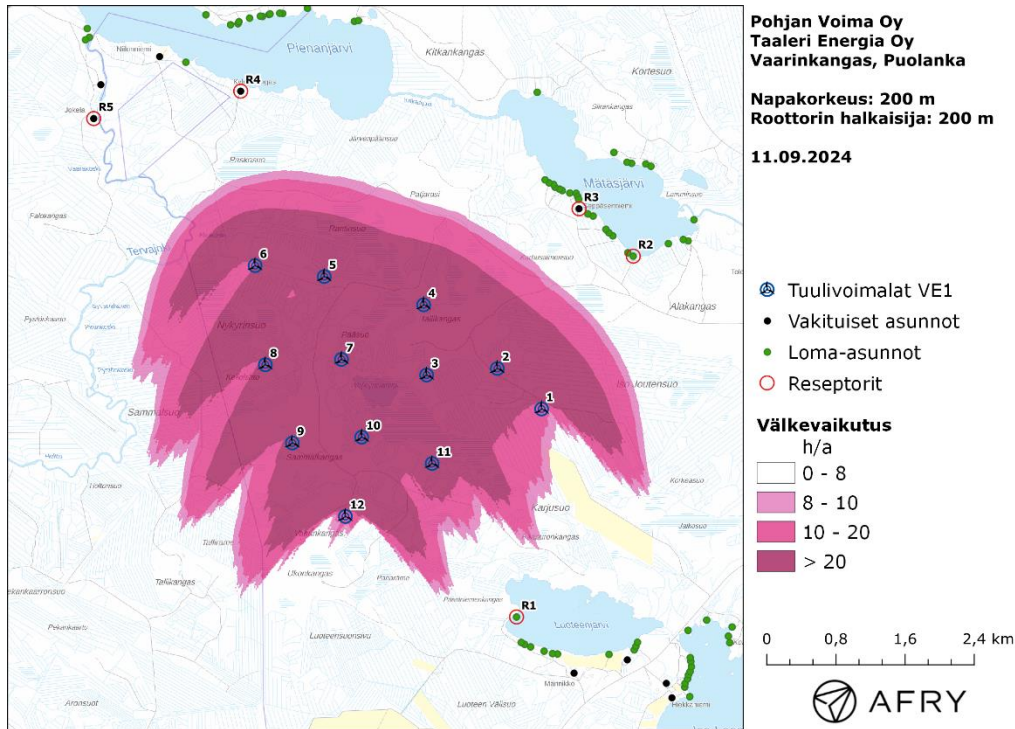
Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana. Suunnitelman VE1 välkevaikutus ulottuu laajemmalle kuin suunnitelman VE2, mutta asutuksen kohdalla molempien suunnitelmien välkevaikutus on vähäinen. Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Tanskan 10 tunnin ohjearvon ja Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Suurin todennäköinen välkevaikutus kohdistuu reseptorin R2 kohdalla olevaan asuntoon. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 7).

Vuotuinen teoreettinen maksimivälke alittaa Saksan 30 tunnin raja-arvon alueen kaikkien asuntojen kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdalla.

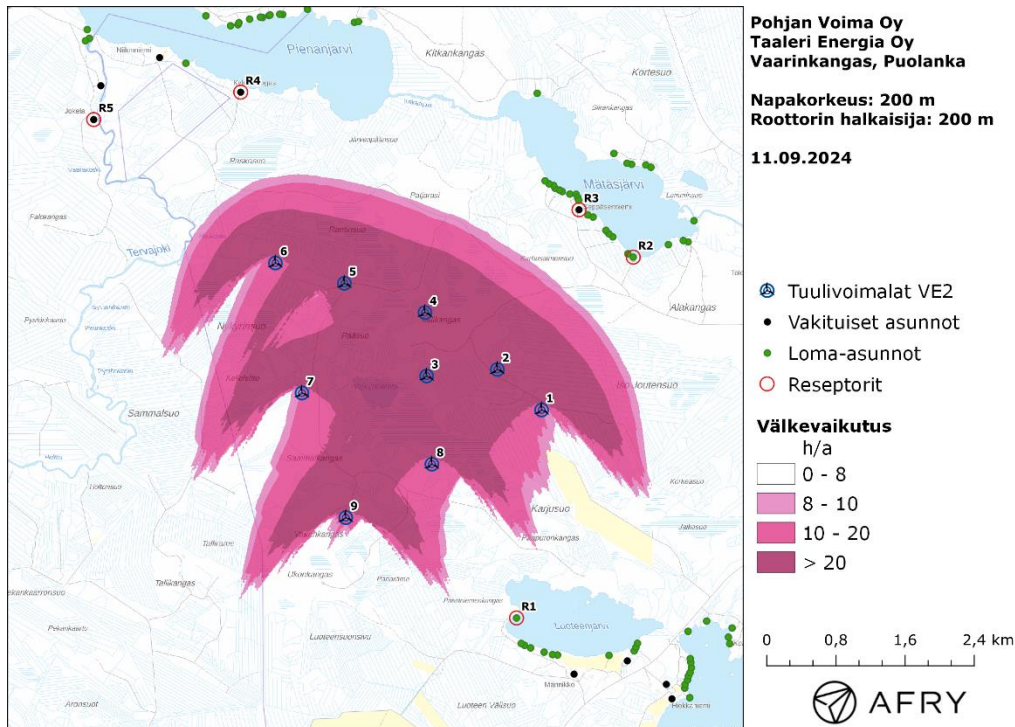
Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa laskennallisesti suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Suomessa myös kesän auringonnousut ja -laskut voivat aiheuttaa laskennallisesti kauas ulottuvan teoreettisen maksimivälkkeen. Auringonnousun ja -laskun aikaan hyvin viistosti paistava aurinko jää helpommin puuston ja rakennusten taakse.

Taulukko 6: Mallinnusten mukaiset välkemäärät [h:min] reseptoripisteittäin sijoitteluvaihtoehdoilla VE1 ja VE2. Taulukossa on esitetty vuotuinen välketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

	sijoitteluvaihtoehto VE1				sijoitteluvaihtoehto VE2			
Reseptori	Todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi		Todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:46	0:03	3:05	0:13	0:46	0:03	3:07	0:13
R2	1:28	0:03	9:34	0:16	1:28	0:03	9:33	0:16
R3	1:26	0:03	11:05	0:15	1:23	0:03	10:57	0:15
R4	0:56	0:02	9:50	0:21	0:37	0:02	6:27	0:18
R5	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE1 ilman puuston vaikutusta.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE2 ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R2 kohdalla. Välkevaikutus on sama suunnitelmilla VE1 ja VE2. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	Yht.
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	0:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	0:00	0:00	0:00	0:09
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	0:08	0:00	0:00	0:00	0:08
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10
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	0:03	1:08	0:16	0:00	0:00	0:00	1:28

3.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Vaarinkankaan voimaloiden ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulipuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutuksia voi siis esiintyä, kun eri puistojen voimaloiden etäisyys on alle 6 km. Tällä etäisyydellä Vaarinkankaan voimaloista sijaitsevat suunnitteilla olevat tuulivoimapuistot Haarasuonkangas (35 voimalaa, Kaavaehdotus), Susisuo (15 voimalaa, VE1), Turkkiselkä (39 voimalaa, Rakennusluvut myönnetty) ja Ukonkangas (15 voimalaa, VE1). Näistä puistoista yhteisvaikutusten mallinnukseen on valittu suunnitteluvaihtoehto, jotka aiheuttavat suurimmat välkevaikutukset. Yhteisvaikutusten mallinnukset tehdään vain Vaarinkankaan suunnitelmalle VE1, joka aiheuttaa suuremmat välkevaikutukset kuin vaihtoehto VE2.

Välkkeen yhteisvaikutusten mallinnuksessa on käytetty taulukossa (Taulukko 8) lueteltuja napakorkeuksia ja roottorin halkaisijoita. Voimaloiden lapaprofiilit on skaalattu voimalatyyppin Vestas V162 lapaprofiilista vastaamaan suurempaa roottorin halkaisijaa. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi.

Taulukko 8: Välkkeen yhteisvaikutusten mallinnuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät napakorkeudet ja roottorin halkaisijat. Voimaloiden lapaprofiilit on skaalattu voimalatyyppistä Vestas V162.

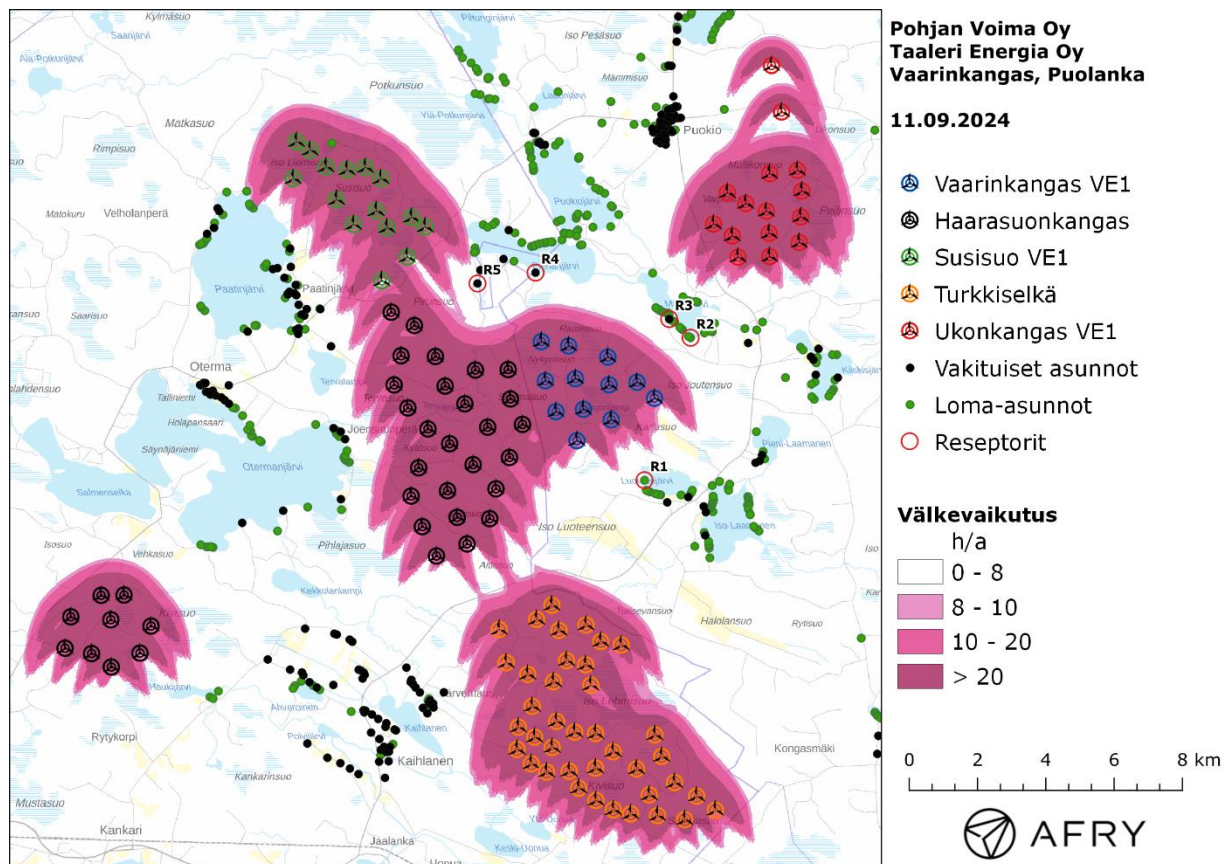
Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]
Vaarinkangas VE1	200	200
Haarasuonkangas Kaavaehdotus	180	180
Susisuo VE1	220	200
Turkkiselkä Rakennusluvut myönnetty	190	180
Ukonkangas VE1	220	200

Vaarinkankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen todennäköisen vuotuisen välkkeen yhteisvaikutukset on esitetty karttakuvassa (Kuva 6). Todennäköiset välkeajat ja teoreettisen maksivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella Vaarinkankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen voimaloilla on välkkeen yhteisvaikutuksia lähinnä alueilla, joilla ei ole asuntoja. Reseptorikohtaisissa laskennoissa ei esiinny ollenkaan välkkeen yhteisvaikutuksia. Susisuo voimalat aiheuttavat hieman välkevaikutusta reseptoriin R5, mutta Vaarinkankaan voimaloista ei aiheudu välkettä tähän reseptoriin.

Vaarinkankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutukset ovat siis vähäisiä, eikä yhteisvaikutuksista aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.

Taulukko 9: Mallinnusten mukaiset välkemäärät [h:min] reseptoripisteittäin, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapuistot Vaarinkangas VE1, Haarasuonkangas, Susisuo VE1, Turkkiselkä ja Ukonkangas VE1. Taulukossa on esitetty vuotuinen välketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:46	0:03	3:05	0:13
R2	1:28	0:03	9:34	0:16
R3	1:26	0:03	11:05	0:15
R4	0:56	0:02	9:50	0:21
R5	2:36	0:04	11:37	0:13



Kuva 6: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Vaarinkangas VE1, Haarasuonkangas, Susisuo VE1, Turkkiselkä ja Ukonkangas VE1. Mallinnus ei huomioi puuston vaikutusta.

4 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Puolangan kunnan alueelle suunnitellun Vaarinkankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 12 voimalan vaihtoehdolle 1 ja 9 voimalan vaihtoehdolle 2. Selvityksessä on arvioitu myös Vaarinkankaan ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon alueen kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen kohdilla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdilla. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo alittaa Saksan 30 minuutin raja-arvon. Vaarinkankaan ja läheisten tuulivoimahankkeiden välkkeen yhteisvaikutukset ovat vähäisiä, eikä yhteisvaikutuksista aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.

Välkemallinnusten mukaan vaihtoehdon 1 välkevaikutus ulottuu hieman laajemmalle kuin vaihtoehdon 2, mutta asutuksen kohdalla vaihtoehtojen välkevaikutus on samankaltainen. Kokonaisuutena Vaarinkankaan tuulivoimapuiston vaihtoehtojen 1 ja 2 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 voimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota voimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Voimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla voimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen voimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulusuusuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

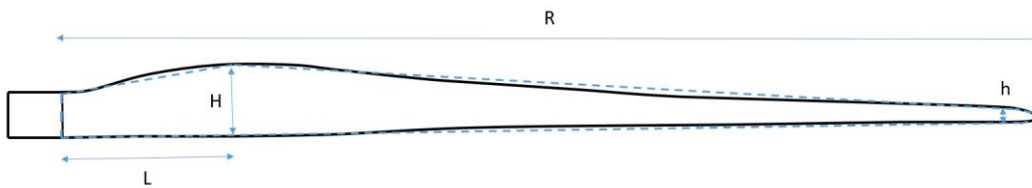
Voimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle voimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu voimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen voimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä voimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä voimalan napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 7) on esitetty yksinkertaistettu malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa voimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 7: Voimalan lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin välkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan lavan muuttuva leveysprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

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