



Pohjan Voima Oy

Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys

101024341-002, 11.6.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Päivämäärä
11/06/2024

Projektinumero
101024341-002

Raportin tila
LUONNOS

Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	11.06.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	11.06.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

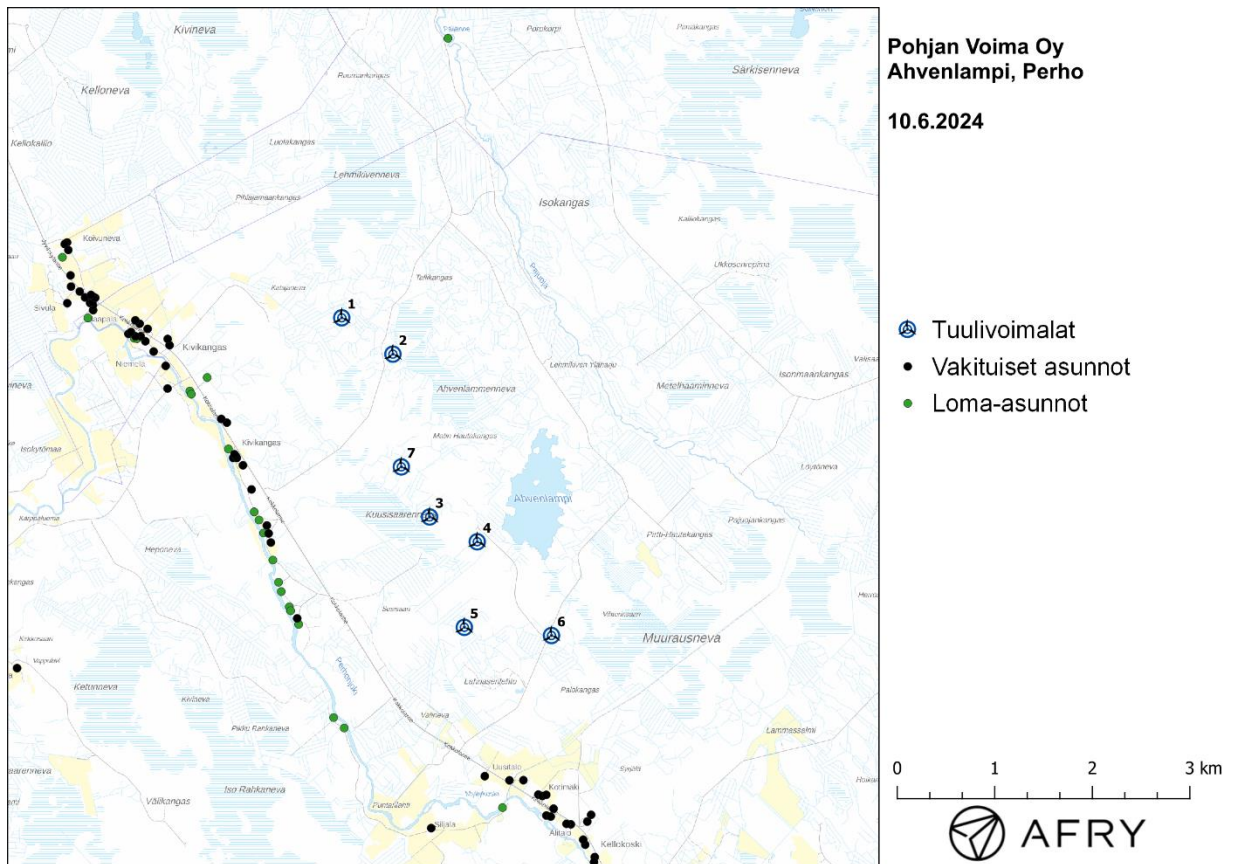
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Välkevaikutus	11
3.3	Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset.....	13
4	Yhteenveto	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	17
6	Viitteet.....	19

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään seitsemän voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 180 m ja roottorin halkaisijaa 180 m.

Tässä selvityksessä arvioidaan myös välkkeen yhteisvaikutuksia Ahvenlammen lähelle suunniteltujen tai rakennettujen tuulivoimapuistojen kanssa.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Ahvenlammen tuulivoimapuiston alueella.

Taulukko 1: Ahvenlammen tuulivoimaloiden (7 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	359771	7025145	151
2	360296	7024772	154
3	360672	7023104	155
4	361160	7022850	158
5	361028	7021974	154
6	361922	7021890	158
7	360382	7023617	154

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 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 kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

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

2.2 Välkkeen rajoittaminen

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

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 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 korkeintaan 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkeajan suositusarvo on korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä [2]. Teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot Saksassa ovat 30 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, 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 väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 180 m ja roottorin halkaisijaa 180 m. Voimaloille on käytetty voimalatyyppin SG170 6,2 MW lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 180 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimileveys on 4,6 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri 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 korkeammassa tuulissa turbiinit 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 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [4]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulenopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,165	0,187	0,189	0,125	0,126	0,144

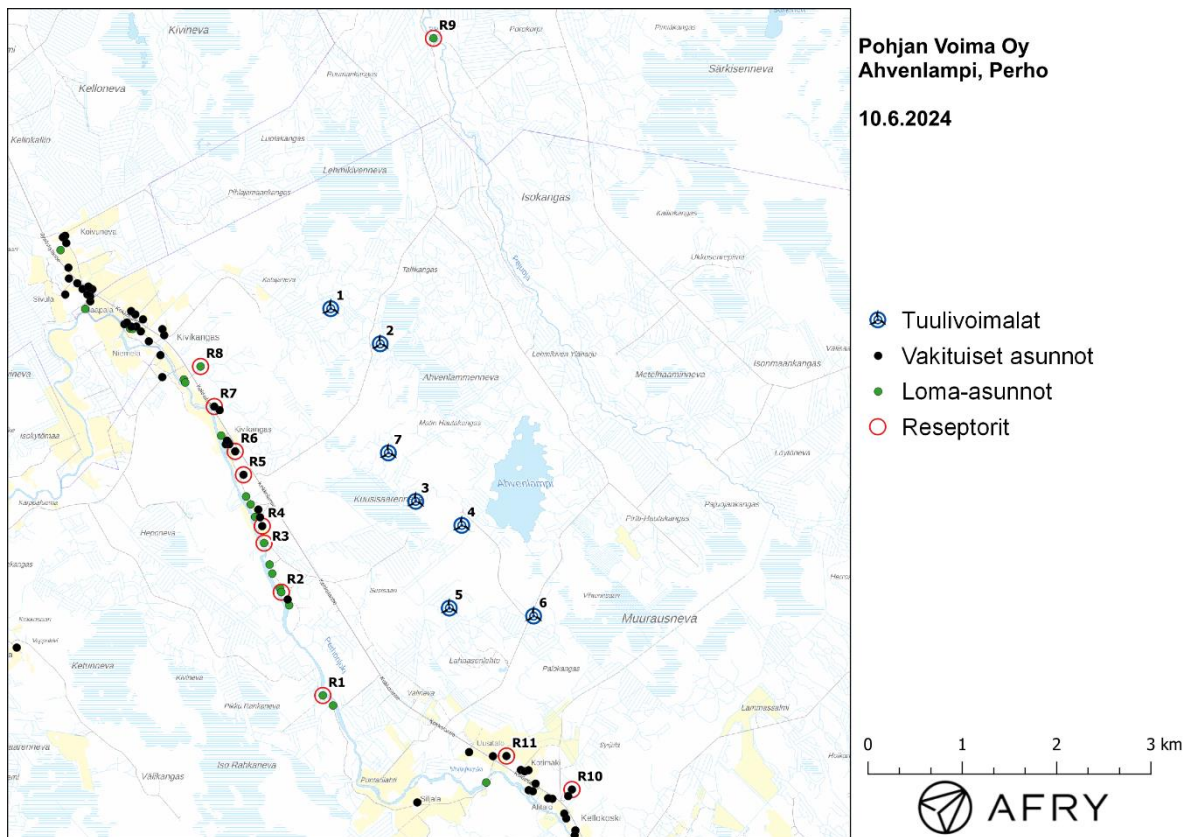
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 asuntoa, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Asuntojen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Asunnot sijaitsevat 1,5–3,1 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	359688	7021047	145	loma-asunto
R2	359248	7022141	144	loma-asunto
R3	359066	7022661	143	loma-asunto
R4	359046	7022841	143	vakituinen asuinrakennus
R5	358847	7023384	146	vakituinen asuinrakennus
R6	358759	7023632	147	vakituinen asuinrakennus
R7	358538	7024107	144	vakituinen asuinrakennus
R8	358392	7024531	144	loma-asunto
R9	360861	7028006	146	loma-asunto
R10	362329	7020051	155	vakituinen asuinrakennus
R11	361635	7020406	151	vakituinen asuinrakennus



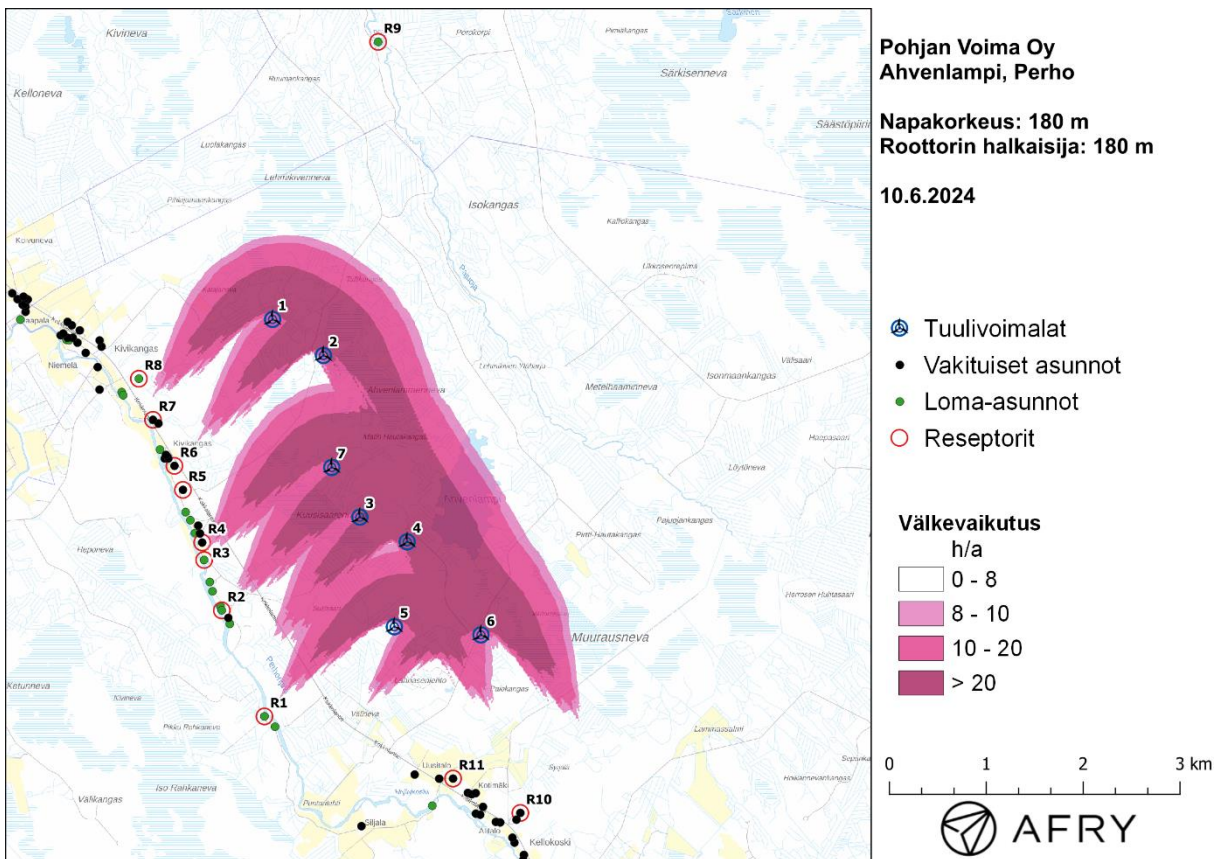
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisen välkeajan vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 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.

Taulukossa (Taulukko 5) on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana. Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Suurimmat todennäköiset päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla jäävät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien reseptoreiden kohdilla.

Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptoriin R4. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus.

Taulukko 5: Välkeajat tunteina ([h:min]) reseptoreiden kohdilla. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	4:26	0:07	15:29	0:26
R2	5:19	0:06	19:25	0:21
R3	5:58	0:07	22:06	0:27
R4	6:49	0:07	25:51	0:26
R5	2:38	0:05	11:08	0:21
R6	4:25	0:05	16:53	0:19
R7	3:26	0:04	13:23	0:18
R8	4:04	0:07	15:20	0:24
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R4 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11
Huhtikuu	0:00	0:00	0:40	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54
Toukokuu	0:00	0:00	1:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17
Kesäkuu	0:00	0:00	1:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:22
Heinäkuu	0:00	0:00	2:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:06
Elokuu	0:00	0:00	0:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
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	6:05	0:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:49

3.3 Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset

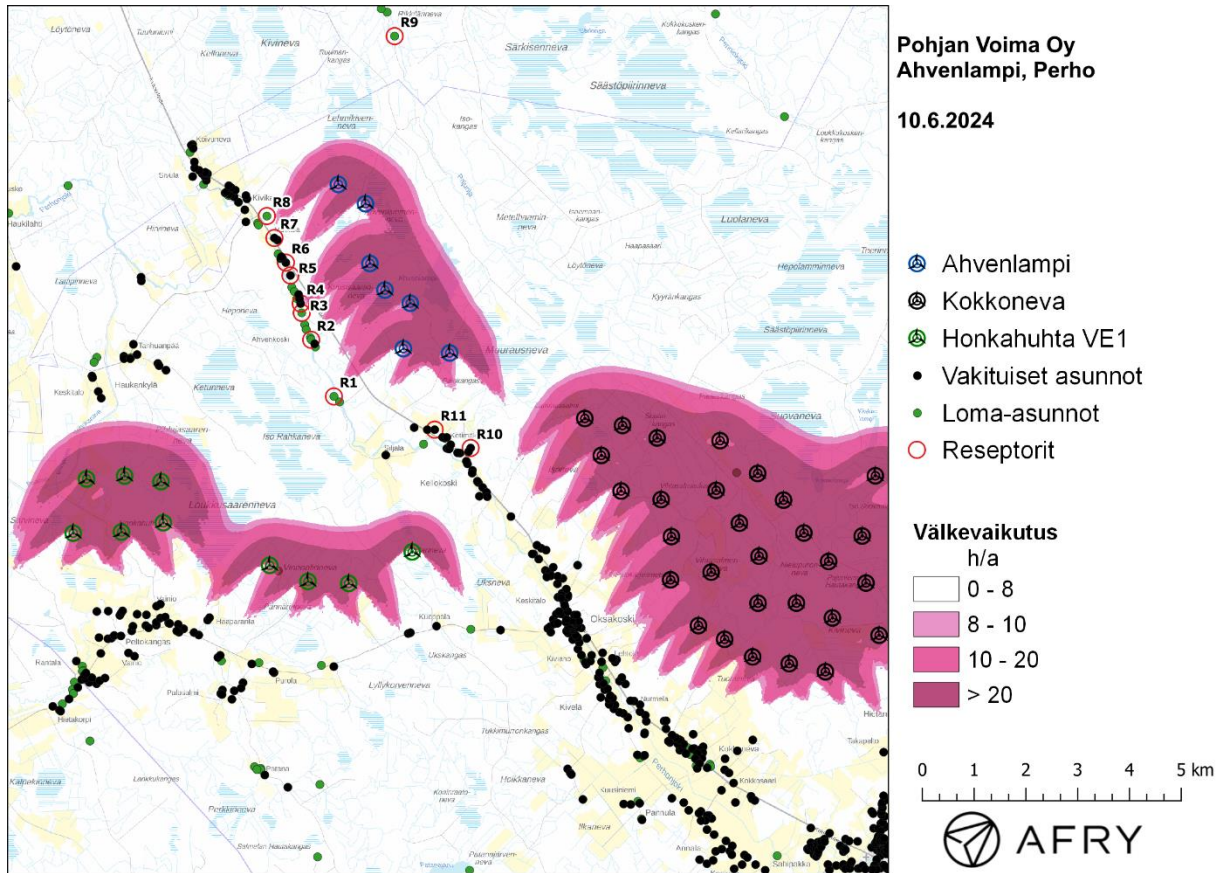
Tässä luvussa arvioidaan Ahvenlammen voimaloiden ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. 10 kilometrin säteellä Ahvenlammen voimaloista on suunnitteilla neljä muuta tuulivoimapuistoa: Halsua, Löytöneva, Honkahuhta ja Kokkoneva.

Halsuan tuulivoimalat [5] ovat Ahvenlammen pohjoispuolella lähimmillään noin 9 km etäisyydellä Ahvenlammen voimaloista. Suomen ja Ruotsin mallinnsuohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista, joten Ahvenlammen ja Halsuan voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.

Löytönevan tuulivoimapuisto on kaavoitettu Ahvenlammen luoteispuolelle. Etäisyys Ahvenlammen ja Löytönevan voimaloiden välillä on lähimmillään noin 5100 m. Löytönevan välkeselvitys [6] on tehty voimaloiden napakorkeudelle 160 m ja roottorin halkaisijalle 180 m. Kun voimaloiden roottorin halkaisija on korkeintaan 200 m, välkevaikutuksen maksimietäisyytenä voidaan pitää 2500 metriä. Tämän vuoksi myöskään Ahvenlammen ja Löytönevan voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.

Kokkonevan tuulivoimapuiston kaavoitus on aloitettu Ahvenlammen kaakkoispuolelle. Ahvenlammen ja Kokkonevan voimaloiden etäisyys on lähimmillään 2,9 km. Honkahuhtan tuulivoimapuiston YVA-menettely on käynnissä ja suunnitellut voimalat ovat lähimmillään 3,9 km etäisyydellä Ahvenlammen voimaloista. Alla Ahvenlammen, Kokkonevan ja Honkahuhtan välkkeen yhteisvaikutuksia on arvioitu mallintamalla. Honkahuhtan osalta mallinnukset on tehty suunnitelmalle VE1, joka aiheuttaa suuremmat välkevaikutukset kuin puiston muut vaihtoehdot. Välkemallinnuksissa Kokkonevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m, roottorin halkaisijaa 172 m ja voimalatyyppin Vestas V172 lapaprofiilia. Honkahuhtan voimaloille on käytetty napakorkeutta 180 m, roottorin halkaisijaa 180 m ja samaa lapaprofiilia kuin Ahvenlammen voimaloille.

Ahvenlammen, Kokkonevan ja Honkahuhtan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella Ahvenlammen, Kokkonevan ja Honkahuhtan voimaloista aiheutuu vain vähän välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Välkkeen yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkevaikutuksen ohjearvojen ylityksiä. Kokkonevan ja Honkahuhtan voimalat aiheuttavat vähän välkettä reseptorien R10 ja R11 kohdalla, mutta muiden reseptoreiden kohdilla Kokkonevan tai Honkahuhtan voimalat eivät lisää välkettä.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Ahvenlammen, Kokkonevan ja Honkahuhtan (VE1) voimalat.

Taulukko 7: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Ahvenlammen, Kokkonevan ja Honkahuhdan (VE1) tuulivoimapaistot. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	4:26	0:07	15:29	0:26
R2	5:19	0:06	19:25	0:21
R3	5:58	0:07	22:06	0:27
R4	6:49	0:07	25:51	0:26
R5	2:38	0:05	11:08	0:21
R6	4:25	0:05	16:53	0:19
R7	3:26	0:04	13:23	0:18
R8	4:04	0:07	15:20	0:24
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:37	0:02	4:01	0:10
R11	0:21	0:01	4:06	0:10

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty seitsemän voimalan suunnitelmalle. Vaikutusten arvioinnissa on huomioitu Ahvenlammen läheisyyteen suunnitellut tai rakennetut tuulivoimapuistot.

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. Myös teoreettinen maksimivälke jää alle Saksan raja-arvojen.

Ahvenlammen voimaloista ja se läheisyyteen suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu vain vähän välkkeen yhteisvaikutuksia. Välkkeen yhteisvaikutukset eivät aiheuta välkevaikutuksen ohjearvojen ylityksiä asutuksen kohdalla.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa 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 tuulisuusosuuksilla.

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

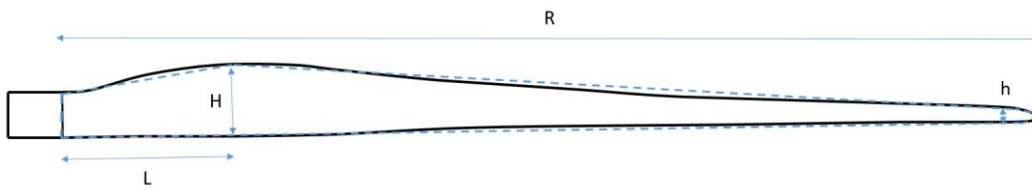
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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

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

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä 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 5) 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 lavan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin välkkelaskennassa 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 välkkelaskennassa huomioidaan voimalan lavan muuttuva lapaprofiili, 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. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [5] Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Halsua–Kannisto ja Honkakangas, Numerola Oy, 26.1.2022.
- [6] Välkeselvitys: Löytönevan Tuulipuisto, Etha Wind, 14.06.2021.