



Pohjan Voima Oy

**Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys (VE1)**

101021203-002

Tekijä  
Mika Laitinen

pvm  
26/04/2023

Osasto  
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinnumero  
101021203-002

E-mail  
[mika.laitinen@afry.com](mailto:mika.laitinen@afry.com)

Raporttiversio  
001

Raportin tila  
VALMIS

Asiakas

Pohjan Voima Oy  
Sami Merelä

## Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys (VE1)

## Raporttihistoria

| Versio | Pvm/Laatiija                                       | Pvm/Tarkastaja                                      | Merkinnät/Muutokset |
|--------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| 001    | 26.04.2023/<br>Mika Laitinen,<br>Senior Consultant | 26.04.2023/<br>Erkki Heikkola,<br>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>.

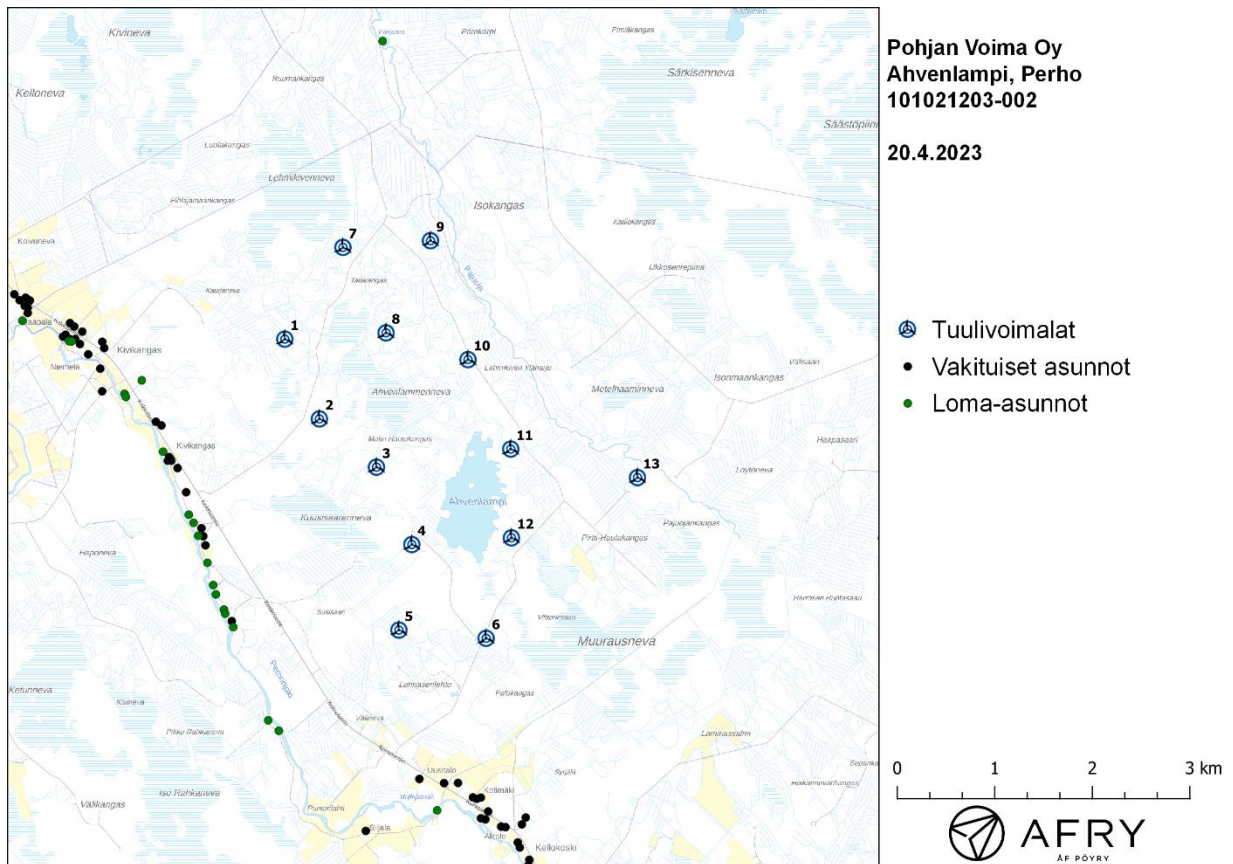
## Sisällysluettelo

|     |                                                                      |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 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 | Todennäköinen välkevaikutus .....                                    | 11 |
| 3.3 | Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset ..... | 13 |
| 4   | Yhteenveto .....                                                     | 15 |
| 5   | Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....                             | 16 |
| 6   | Viitteet .....                                                       | 18 |

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 13 voimalan suunnitelmalle VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 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 sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

| Turbiinit | E      | N       | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|
| 1         | 359858 | 7024955 | 153                 |
| 2         | 360212 | 7024137 | 157                 |
| 3         | 360797 | 7023643 | 157                 |
| 4         | 361160 | 7022850 | 157                 |
| 5         | 361028 | 7021974 | 154                 |
| 6         | 361922 | 7021890 | 159                 |
| 7         | 360454 | 7025895 | 151                 |
| 8         | 360896 | 7025019 | 156                 |
| 9         | 361351 | 7025963 | 152                 |
| 10        | 361736 | 7024745 | 162                 |
| 11        | 362174 | 7023828 | 159                 |
| 12        | 362181 | 7022919 | 159                 |
| 13        | 363473 | 7023536 | 157                 |

## 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 välkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

### 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 edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa 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 välkeaikoja verrataan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin.

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 todennäköisen vuotuisen välkkeen raja-arvo on 8 tuntia. 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. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien 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, turbiinin 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.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin 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 turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

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

Väkelaskennassa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin SG170 6,2 MW lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimileveys on 4,7 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätö (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksista [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin 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 turbiinin 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 tuulennopeuksille 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   |

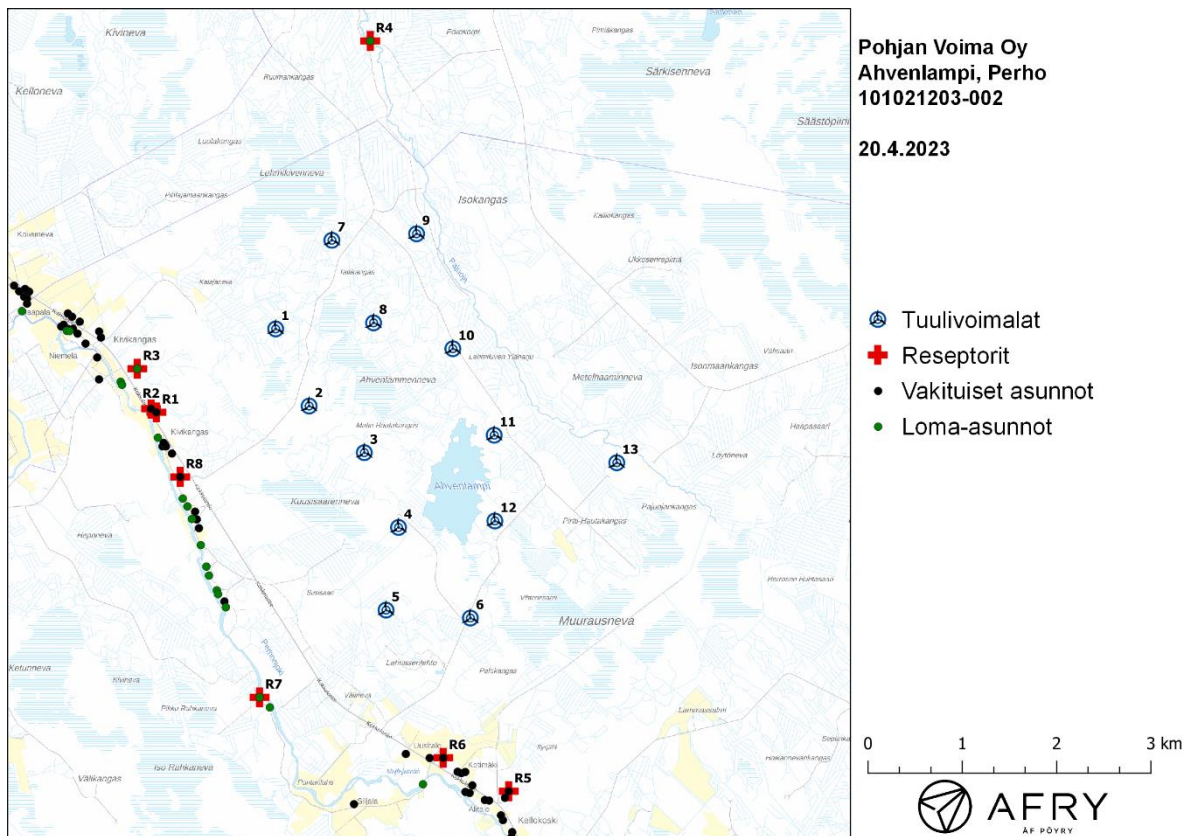
*Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.*

| 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 8 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat 1,5–2,1 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        | 498211 | 7108217 | 148                 | vakituinen asuinrakennus |
| R2        | 499197 | 7108549 | 144                 | vakituinen asuinrakennus |
| R3        | 500775 | 7108069 | 141                 | loma-asunto              |
| R4        | 501131 | 7107111 | 140                 | loma-asunto              |
| R5        | 501285 | 7106624 | 137                 | vakituinen asuinrakennus |
| R6        | 501908 | 7106385 | 140                 | vakituinen asuinrakennus |
| R7        | 505039 | 7104290 | 146                 | loma-asunto              |
| R8        | 501142 | 7102654 | 191                 | vakituinen asuinrakennus |



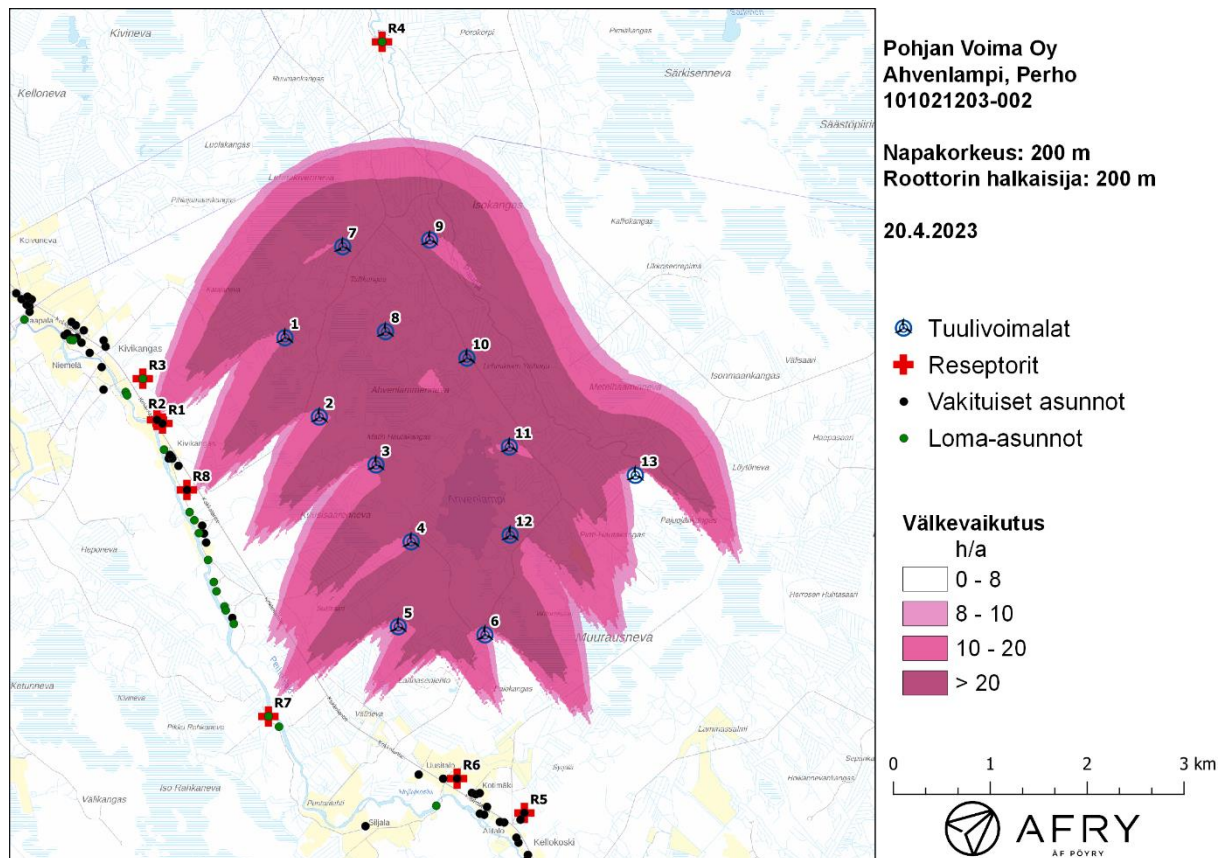
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisen välkeajan vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Todennäköiset vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla jäävät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon.

Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptoriin R8. 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: Todennäköisen välkevaikutuksen vuotuinen määrä ja suurin päiväkohtainen välkeaika reseptoreiden kohdilla.

| Reseptori | Todennäköinen vuotuinen välkeaika | Todennäköinen suurin päiväkohtainen välkeaika |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
| R1        | 5:50                              | 0:07                                          |
| R2        | 6:43                              | 0:08                                          |
| R3        | 3:38                              | 0:07                                          |
| R4        | 0:58                              | 0:02                                          |
| R5        | 0:00                              | 0:00                                          |
| R6        | 0:00                              | 0:00                                          |
| R7        | 4:39                              | 0:09                                          |
| R8        | 6:54                              | 0:08                                          |

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R8 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 | 0:10 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:10 |
| Huhtikuu   | 0:00 | 0:00 | 0:26 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:26 |
| Toukokuu   | 0:00 | 0:00 | 1:29 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 1:29 |
| Kesäkuu    | 0:00 | 0:00 | 1:48 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 1:48 |
| Heinäkuu   | 0:00 | 0:00 | 2:27 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 2:27 |
| Elokuu     | 0:00 | 0:00 | 0:25 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:25 |
| Syyskuu    | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:09 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:09 |
| 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 | 6:35 | 0:19 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 6:54 |

### 3.3 Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Ahvenlammen voimaloiden ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. 10 kilometrin säteellä Ahvenlammen voimaloista on suunnitteilla kolme muuta tuulivoimapuistoa: Halsuan tuulivoimapuisto, Löytönevan tuulivoimapuisto ja Kokkonevan tuulivoimapuisto.

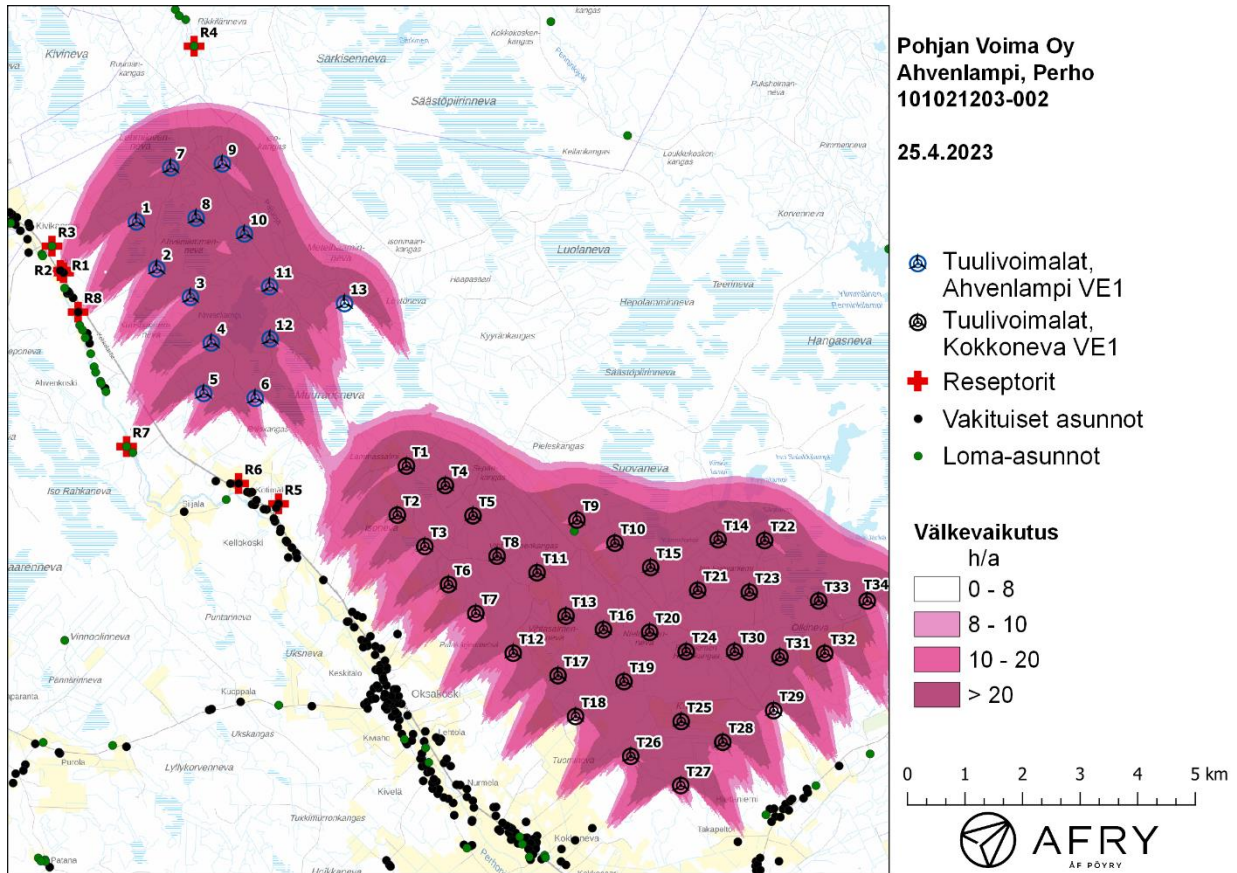
Halsuan tuulivoimalat [5] ovat Ahvenlammen pohjoispuolella lähimmillään noin 9 km etäisyydellä Ahvenlammen voimaloista. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista, joten Ahvenlammen ja Halsuan voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.

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 2900 m, joten välkkeen yhteisvaikutuksia pitää arvioida mallintamalla. Kokkonevan puistosta on tehty välkeselvitykset [7][8] toteutussuunnitelmilla VE1 ja VE2.

Kokkonevan suunnitelmassa VE1 on 34 voimalaa napakorkeudella 200,5 m ja roottorin halkaisijalla 199 m. Suunnitelmassa VE2 on 42 voimalaa napakorkeudella 215 m ja roottorin halkaisijalla 170 m. Suunnitelman VE1 voimalat ovat hieman lähempänä Ahvenlammen voimaloita ja lisäksi tässä suunnitelmassa voimaloiden roottorin halkaisija on suurempi. Tämän vuoksi Kokkonevan suunnitelma VE1 aiheuttaa suuremman välkevaikutuksen Ahvenlammen suunnassa ja siten suuremman välkkeen yhteisvaikutuksen. Tällä perusteella riittää tarkastella Ahvenlammen ja Kokkoneva VE1:n välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten mallinuksissa Kokkoneva VE1:n voimaloille on käytetty välkeselvityksessä [7] ilmoitettuja voimaloiden koordinaatteja ja dimensioita, eli napakorkeutta 200,5 m ja roottorin halkaisijaa 199 m.

Ahvenlammen ja Kokkoneva VE1:n todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella Ahvenlammen ja Kokkonevan voimaloista aiheutuu vain vähän välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Kokkonevan voimalat aiheuttavat vähän välkettä reseptorin R5 kohdalla, mutta muiden reseptoreiden kohdilla Kokkonevan voimalat eivät lisää välkettä.



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

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen vuotuinen määrä ja suurin päiväkohtainen välkeika reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Ahvenlammen (VE1) ja Kokkonevan (VE1) voimalat.

| Reseptori | Todennäköinen vuotuinen välkeika | Todennäköinen suurin päiväkohtainen välkeika |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| R1        | 5:50                             | 0:07                                         |
| R2        | 6:43                             | 0:08                                         |
| R3        | 3:38                             | 0:07                                         |
| R4        | 0:58                             | 0:02                                         |
| R5        | 1:07                             | 0:03                                         |
| R6        | 0:00                             | 0:00                                         |
| R7        | 4:39                             | 0:09                                         |
| R8        | 6:54                             | 0:08                                         |

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 13 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1. 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.

Ahvenlammen voimaloista ja se läheisyyteen suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien 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.

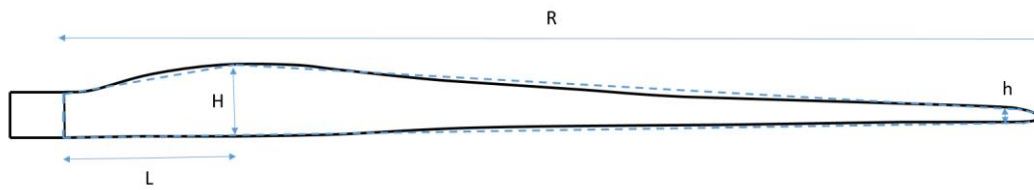
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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



Kuva 5: Turbiinin 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 turbiinin 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.
- [7] Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kokkoneva–Perho, Layout 1 (34 voimalaa), Numerola Oy, 13.12.2021.
- [8] Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kokkoneva–Perho, Layout 2 (42 voimalaa), Numerola Oy, 16.5.2022.



Pohjan Voima Oy

**Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys (VE2)**

101021203-002

Tekijä  
Mika Laitinen

pvm  
09/05/2023

Osasto  
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinumero  
101021203-002

E-mail  
[mika.laitinen@afry.com](mailto:mika.laitinen@afry.com)

Raporttiversio  
001

Raportin tila  
VALMIS

Asiakas

Pohjan Voima Oy  
Sami Merelä

## Ahvenlammen tuulivoimapuiston välkeselvitys (VE2)

## Raporttihistoria

| Versio | Pvm/Laatiija                                       | Pvm/Tarkastaja                                      | Merkinnät/Muutokset |
|--------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| 001    | 09.05.2023/<br>Mika Laitinen,<br>Senior Consultant | 09.05.2023/<br>Erkki Heikkola,<br>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>.

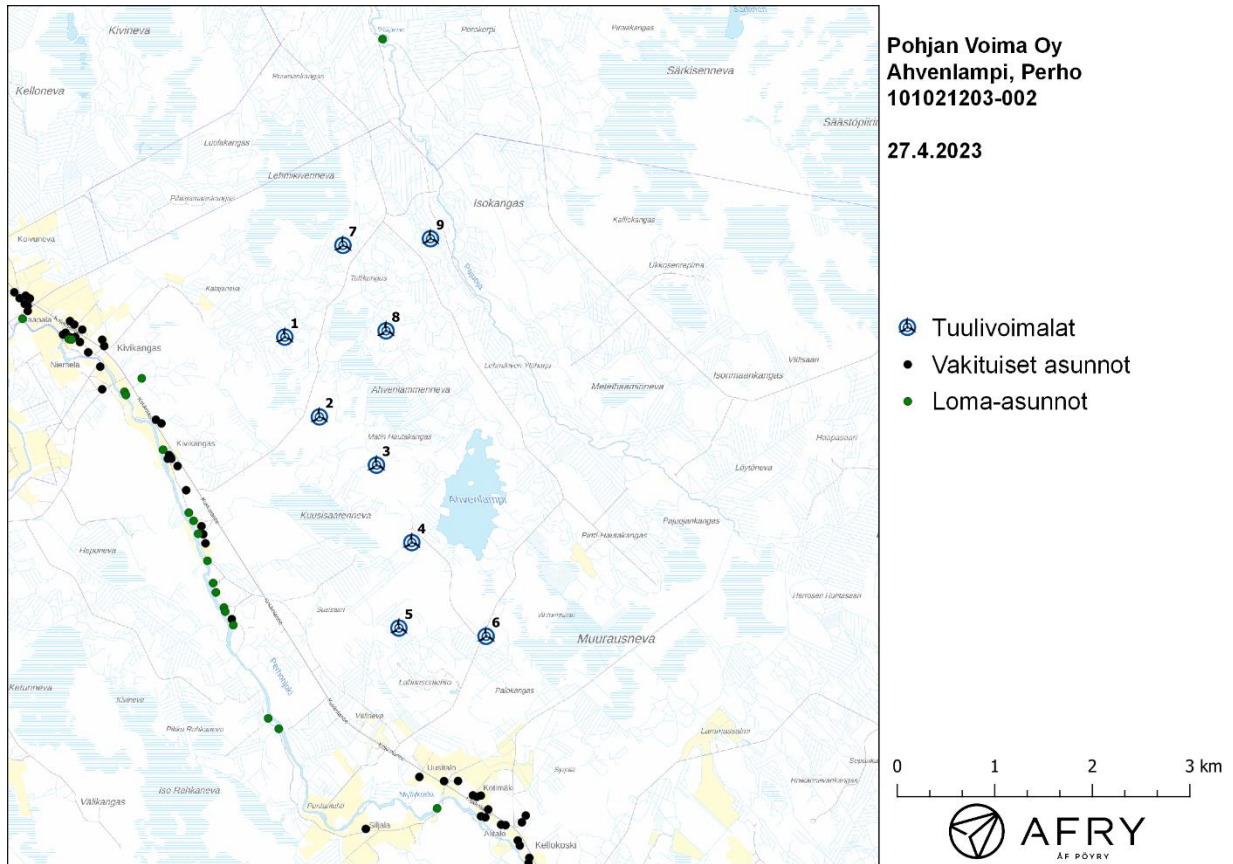
## Sisällysluettelo

|     |                                                                      |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 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 | Todennäköinen välkevaikutus .....                                    | 11 |
| 3.3 | Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset ..... | 13 |
| 4   | Yhteenveto .....                                                     | 15 |
| 5   | Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....                             | 16 |
| 6   | Viitteet .....                                                       | 18 |

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 9 voimalan suunnitelmalle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 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 sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

| Turbiinit | E      | N       | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|
| 1         | 359858 | 7024955 | 153                 |
| 2         | 360212 | 7024137 | 157                 |
| 3         | 360797 | 7023643 | 157                 |
| 4         | 361160 | 7022850 | 157                 |
| 5         | 361028 | 7021974 | 154                 |
| 6         | 361922 | 7021890 | 159                 |
| 7         | 360454 | 7025895 | 151                 |
| 8         | 360896 | 7025019 | 156                 |
| 9         | 361351 | 7025963 | 152                 |

## 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 välkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

### 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 edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa 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 välkeaikoja verrataan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin.

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 todennäköisen vuotuisen välkkeen raja-arvo on 8 tuntia. 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. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien 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, turbiinin 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.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin 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 turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

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

Väkelaskennassa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin SG170 6,2 MW lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimileveys on 4,7 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätö (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin 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 turbiinin 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 tuulennopeuksille 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   |

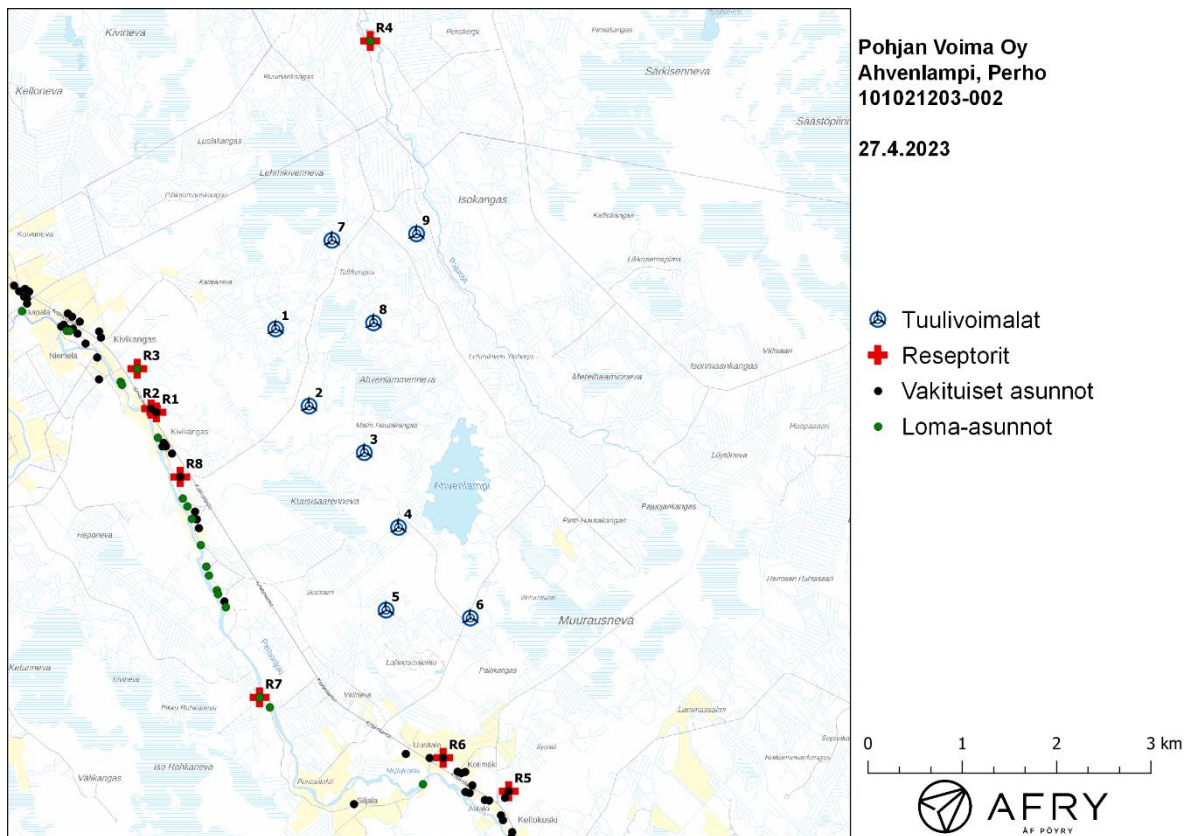
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

| 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 8 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat 1,5–2,1 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        | 498211 | 7108217 | 148                 | vakituinen asuinrakennus |
| R2        | 499197 | 7108549 | 144                 | vakituinen asuinrakennus |
| R3        | 500775 | 7108069 | 141                 | loma-asunto              |
| R4        | 501131 | 7107111 | 140                 | loma-asunto              |
| R5        | 501285 | 7106624 | 137                 | vakituinen asuinrakennus |
| R6        | 501908 | 7106385 | 140                 | vakituinen asuinrakennus |
| R7        | 505039 | 7104290 | 146                 | loma-asunto              |
| R8        | 501142 | 7102654 | 191                 | vakituinen asuinrakennus |



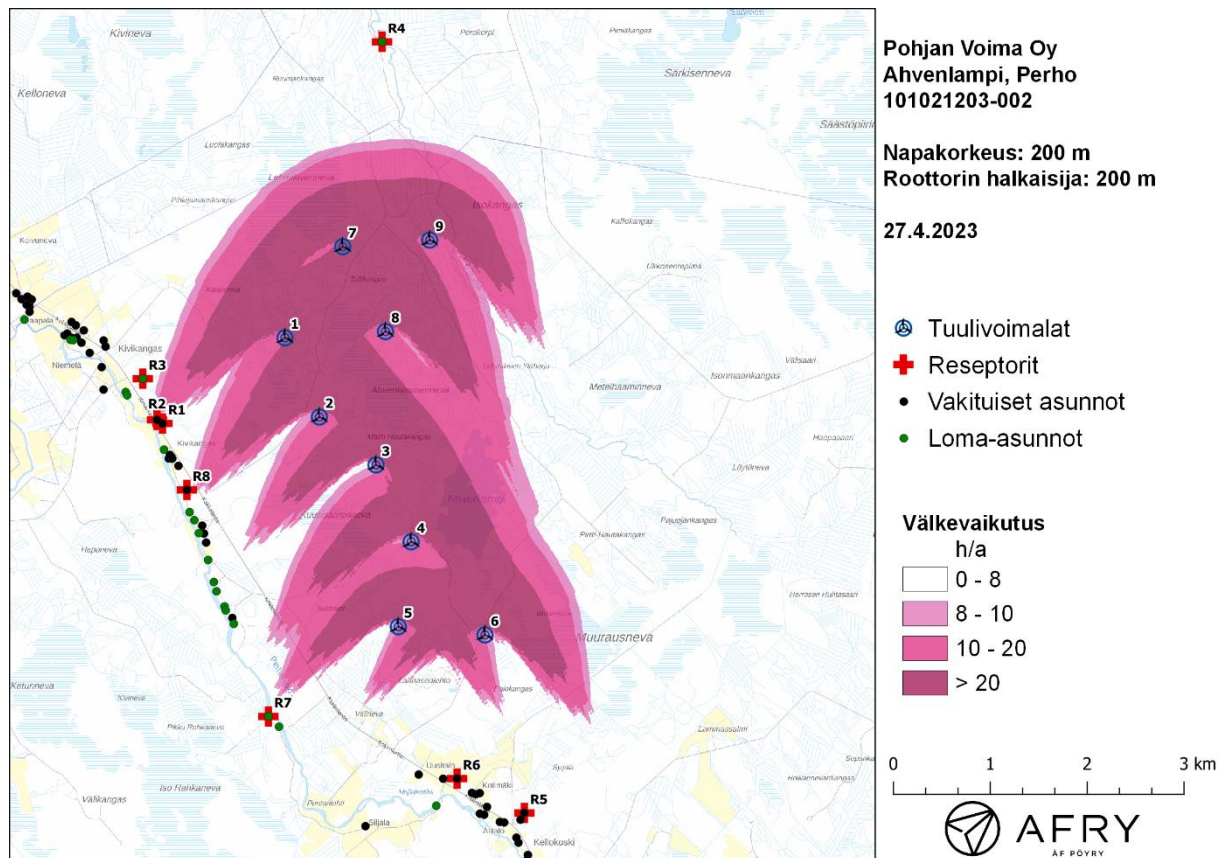
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisen välkeajan vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Todennäköiset vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla jäävät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon.

Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptoriin R8. 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: Todennäköisen välkevaikutuksen vuotuinen määrä ja suurin päiväkohtainen välkeaika reseptoreiden kohdilla.

| Reseptori | Todennäköinen vuotuinen välkeaika | Todennäköinen suurin päiväkohtainen välkeaika |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
| R1        | 5:50                              | 0:07                                          |
| R2        | 6:43                              | 0:08                                          |
| R3        | 3:38                              | 0:07                                          |
| R4        | 0:58                              | 0:02                                          |
| R5        | 0:00                              | 0:00                                          |
| R6        | 0:00                              | 0:00                                          |
| R7        | 4:39                              | 0:09                                          |
| R8        | 6:54                              | 0:08                                          |

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina ja tunteina reseptorin R8 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 | 0:10 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:10 |
| Huhtikuu   | 0:00 | 0:00 | 0:26 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:26 |
| Toukokuu   | 0:00 | 0:00 | 1:29 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 1:29 |
| Kesäkuu    | 0:00 | 0:00 | 1:48 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 1:48 |
| Heinäkuu   | 0:00 | 0:00 | 2:27 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 2:27 |
| Elokuu     | 0:00 | 0:00 | 0:25 | 0:00 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:25 |
| Syyskuu    | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:09 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:09 |
| 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 | 6:35 | 0:19 | 0:00 | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 0:00  | 6:54 |



### 3.3 Ahvenlammen ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Ahvenlammen voimaloiden ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. 10 kilometrin säteellä Ahvenlammen voimaloista on suunnitteilla kolme muuta tuulivoimapuistoa: Halsuan tuulivoimapuisto, Löytönevan tuulivoimapuisto ja Kokkonevan tuulivoimapuisto.

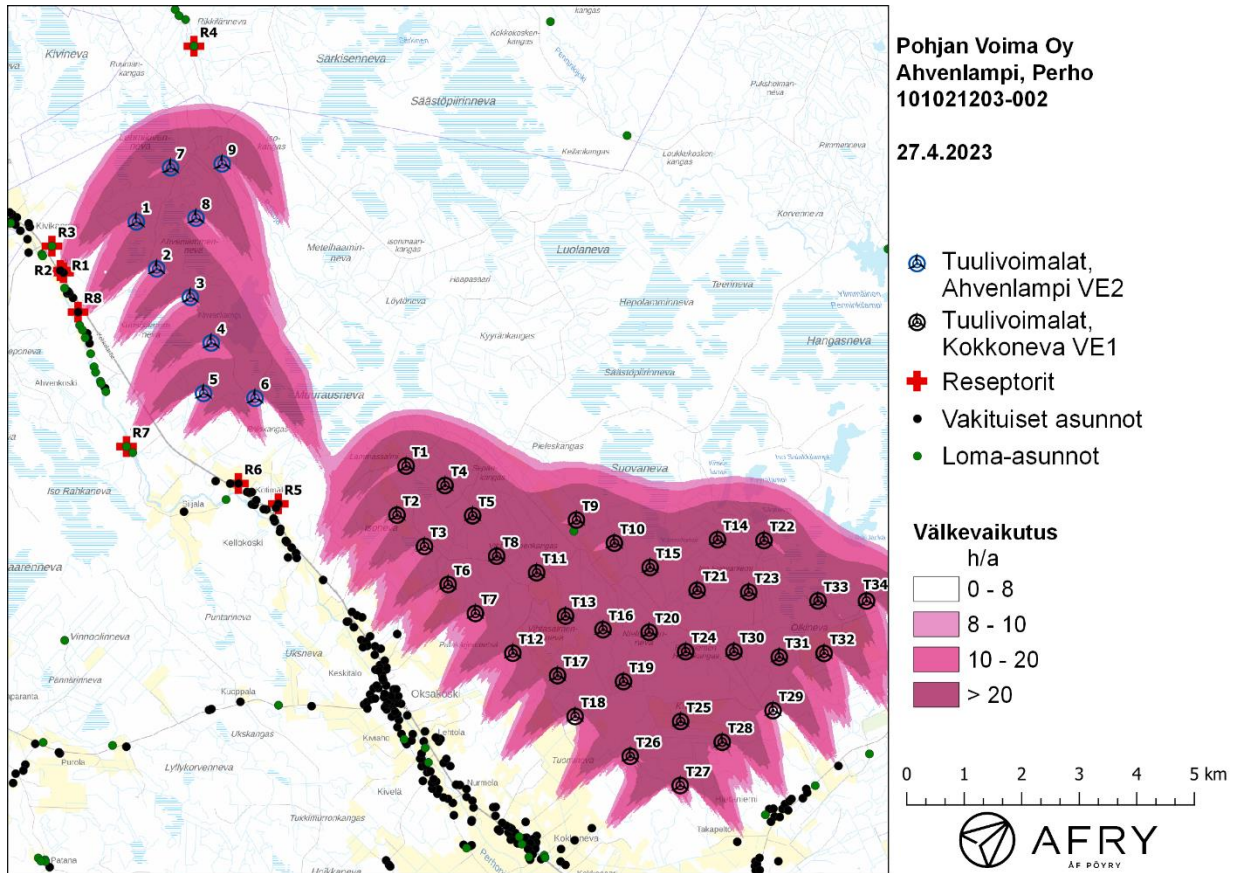
Halsuan tuulivoimalat [5] ovat Ahvenlammen pohjoispuolella lähimmillään noin 9 km etäisyydellä Ahvenlammen voimaloista. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista, joten Ahvenlammen ja Halsuan voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.

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 2900 m, joten välkkeen yhteisvaikutuksia pitää arvioida mallintamalla. Kokkonevan puistosta on tehty välkeselvitykset [7][8] toteutussuunnitelmilla VE1 ja VE2.

Kokkonevan suunnitelmassa VE1 on 34 voimalaa napakorkeudella 200,5 m ja roottorin halkaisijalla 199 m. Suunnitelmassa VE2 on 42 voimalaa napakorkeudella 215 m ja roottorin halkaisijalla 170 m. Suunnitelman VE1 voimalat ovat hieman lähempänä Ahvenlammen voimaloita ja lisäksi tässä suunnitelmassa voimaloiden roottorin halkaisija on suurempi. Tämän vuoksi Kokkonevan suunnitelma VE1 aiheuttaa suuremman välkevaikutuksen Ahvenlammen suunnassa ja siten suuremman välkkeen yhteisvaikutuksen. Tällä perusteella riittää tarkastella Ahvenlammen ja Kokkoneva VE1:n välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten mallinuksissa Kokkoneva VE1:n voimaloille on käytetty välkeselvityksessä [7] ilmoitettuja voimaloiden koordinaatteja ja dimensioita, eli napakorkeutta 200,5 m ja roottorin halkaisijaa 199 m.

Ahvenlammen ja Kokkoneva VE1:n todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella Ahvenlammen ja Kokkonevan voimaloista aiheutuu vain vähän välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Kokkonevan voimalat aiheuttavat vähän välkettä reseptorin R5 kohdalla, mutta muiden reseptoreiden kohdilla Kokkonevan voimalat eivät lisää välkettä.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Ahvenlammen (VE2) ja Kokkonevan (VE1) voimalat.

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen vuotuinen määrä ja suurin päiväkohtainen välkeika reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Ahvenlammen (VE2) ja Kokkonevan (VE1) voimalat.

| Reseptori | Todennäköinen vuotuinen välkeika | Todennäköinen suurin päiväkohtainen välkeika |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| R1        | 5:50                             | 0:07                                         |
| R2        | 6:43                             | 0:08                                         |
| R3        | 3:38                             | 0:07                                         |
| R4        | 0:58                             | 0:02                                         |
| R5        | 1:07                             | 0:03                                         |
| R6        | 0:00                             | 0:00                                         |
| R7        | 4:39                             | 0:09                                         |
| R8        | 6:54                             | 0:08                                         |

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Ahvenlammen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 9 voimalan suunnitelmalle VE2. 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.

Ahvenlammen voimaloista ja se läheisyyteen suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista aiheutuu 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla 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.

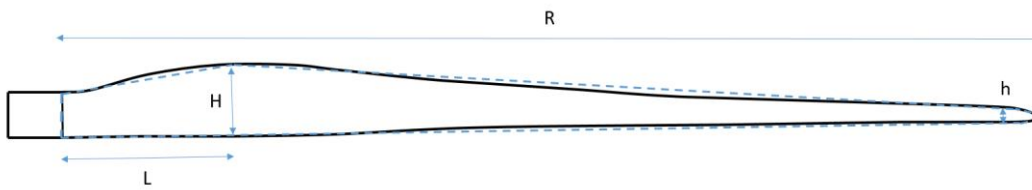
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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



Kuva 5: Turbiinin 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 turbiinin 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.
- [7] Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kokkoneva–Perho, Layout 1 (34 voimalaa), Numerola Oy, 13.12.2021.
- [8] Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kokkoneva–Perho, Layout 2 (42 voimalaa), Numerola Oy, 16.5.2022.