



Perhon Tuuli Oy

**Honkahuhdan tuulivoimahankkeen välkeselvitys, VE1**

101024341-003



Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Erkki Heikkola

E-mail  
[erkki.heikkola@afry.com](mailto:erkki.heikkola@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
003

Asiakas  
Perhon Tuuli Oy  
Mira Talonen

Päivämäärä  
05/11/2024

Projektinumero  
101024341-003

Raportin tila  
VALMIS

## Honkahuhtan tuulivoimahankkeen välkesselvitys, VE1

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	22.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	22.01.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen (Raportti 101021203-006.001)
002	09.04.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	09.04.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Yhteisvaikutusten päivitys (Raportti 101021203-006.002)
003	05.11.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	05.11.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Voimalapaikan 6 muutos ja yhteisvaikutusten päivitys (Raportti 101024341-003.003)

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen 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

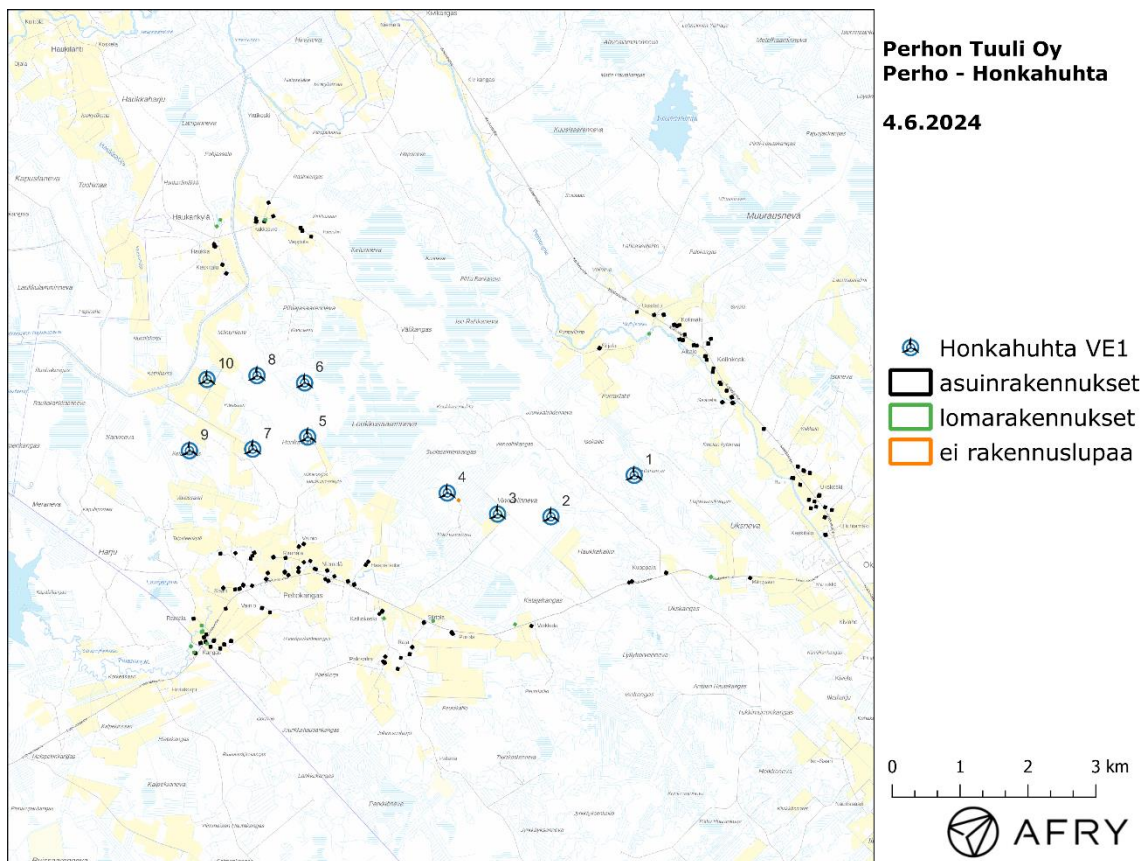
1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden välke .....	6
2.1	Välkevaikutus .....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen .....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot .....	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus .....	11
3.3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

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Honkahuhtan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Honkahuhtan 10 voimalan sijoitussuunnitelman VE1 sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Karttakuvassa on esitetty myös voimaloiden lähellä sijaitsevien asuin- ja lomarakennusten sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 205 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,8 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan myös Honkahuhtan sekä lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen välkkeiden yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkahuhtan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini-paikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	361198	7018048	154
T2	359972	7017438	148
T3	359186	7017477	144
T4	358445	7017788	146
T5	356389	7018610	143
T6	356345	7019406	138
T7	355580	7018432	135
T8	355643	7019513	137
T9	354649	7018410	134
T10	354906	7019457	130

## 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 Auringon 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.

Tässä selvityksessä suoritetaan todennäköisen välkevaikutuksen laskennat.

### 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 vuodenaikoina. 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 perustuu tässä selvityksessä mittauksiin Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 90 km.

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

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

## 2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4].

Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Tässä selvityksessä välkeajoja verrataan Ruotsin ja Tanskan ohjearvoihin.



## 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 tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin 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.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin 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 Honkahuhtan voimaloille on käytetty napakorkeutta 205 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa skaalattuna roottorin halkaisijalle 230 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalattun lavan maksimileveys on 4,8 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien 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 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 välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] 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 osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

*Taulukko 2: Suuntasektoriokohtaiset 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	0,164	0,194	0,189	0,122	0,124	0,141

*Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.*

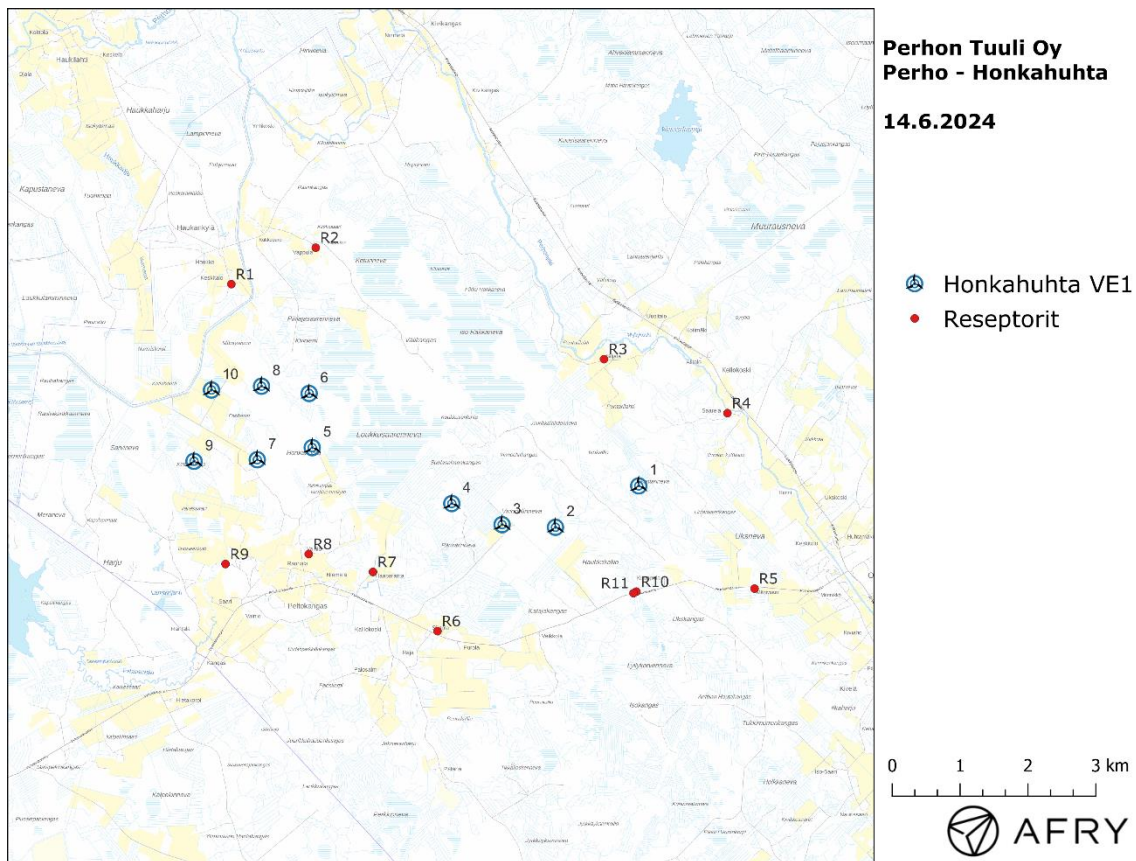
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1,5–2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Honkahuhdan voimalan 4 vieressä sijaitsee yksi maastotietokannassa loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Perhon kunnan rakennusvalvonnasta saadun tiedon mukaan kyseisellä kiinteistöllä ei ole rakennuslupaa, eikä sitä ole otettu tästä syystä välkevaikutusten arvioinnissa huomioon.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	355200	7021011	130,5	vakituinen asunto
R2	356443	7021547	140,6	vakituinen asunto
R3	360688	7019908	146,1	vakituinen asunto
R4	362506	7019114	153,8	vakituinen asunto
R5	362905	7016534	157,9	vakituinen asunto
R6	358236	7015909	143,6	loma-asunto
R7	357286	7016780	141,0	vakituinen asunto
R8	356339	7017042	136,5	vakituinen asunto
R9	355114	7016896	133,1	vakituinen asunto
R10	361165	7016491	156,0	vakituinen asunto
R11	361122	7016467	156,6	vakituinen asunto



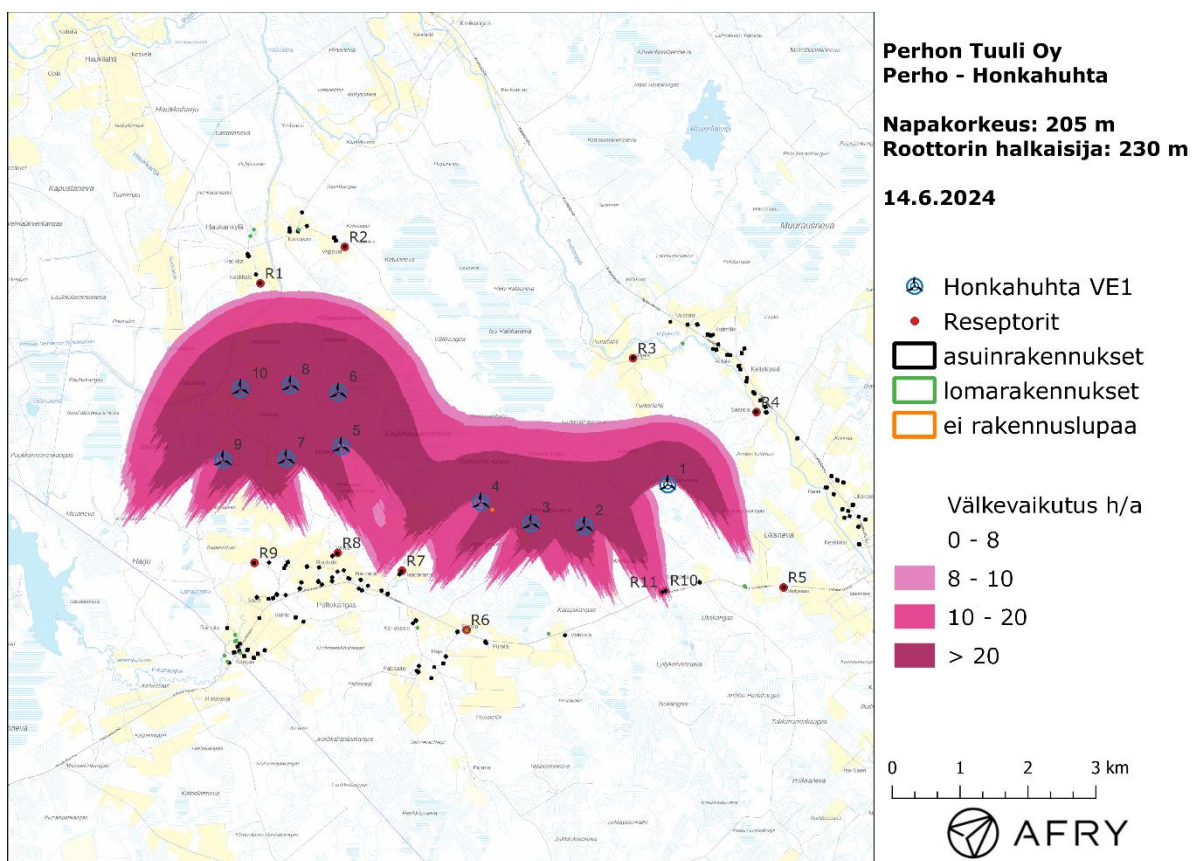
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty voimaloiden lähiympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja ja Perhon kunnasta saatuja lisätietoja.

Taulukossa (Taulukko 5) on lueteltu todennäköinen välkevaikutus reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena arvona. Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden asuinrakennuksen kohdalla kohteen kaakkoispuolella, mutta alittaa Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Lisäksi päiväkohtainen maksimivälke aika pysyy alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuntojen kohdalla.

Todennäköisen välkevaikutuksen tarkempi ajoittuminen reseptorien R1 ja R11 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 7). Näissä esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköinen välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkeika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	5:45	10
R2	1:46	3
R3	1:22	3
R4	1:52	5
R5	1:27	4
R6	1:32	4
R7	4:38	6
R8	2:43	4
R9	0:00	0
R10	9:29	11
R11	9:37	11

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin R1 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	0:36	1:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:36
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32	0:50	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:39
Maaliskuu	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
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:52	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:56
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56	2:28	2:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:45

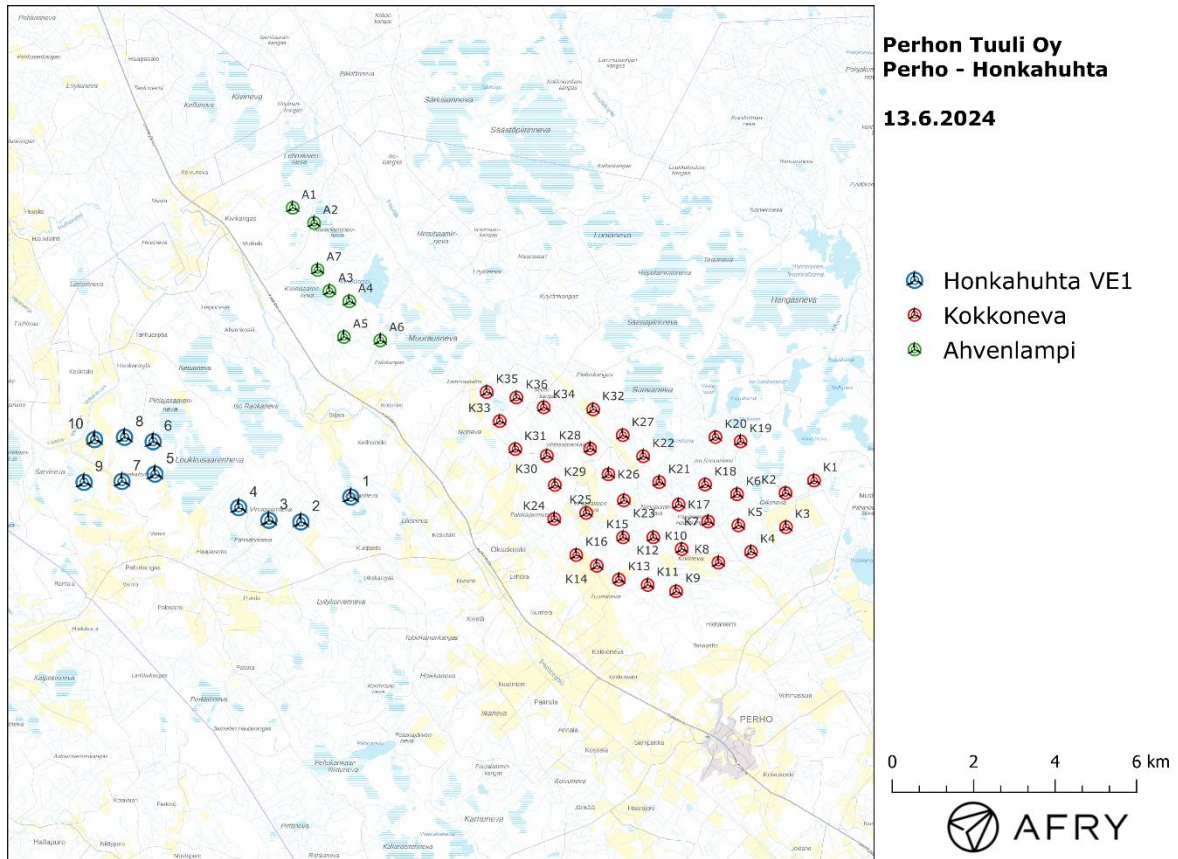
Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin R11 kohdalla.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19	0:00	0:00	0:19
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	2:13	0:00	2:24
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:51	0:00	2:51
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:35	0:00	3:35
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	0:00	0:00	0:29
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	8:38	0:00	9:37



### 3.3 Honkahuhdan, Ahvenlammen ja Kokkonevan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Honkahuhdan voimaloiden ja lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunniteltu 7 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 4 km etäisyydellä Honkahuhdan voimaloista. Kokkonevan tuulivoimapuistoon on suunniteltu 36 voimalaa, joista lähimmät ovat vajaan 4 km etäisyydellä Honkahuhdan voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapolhjalla (Kuva 4) ja koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).



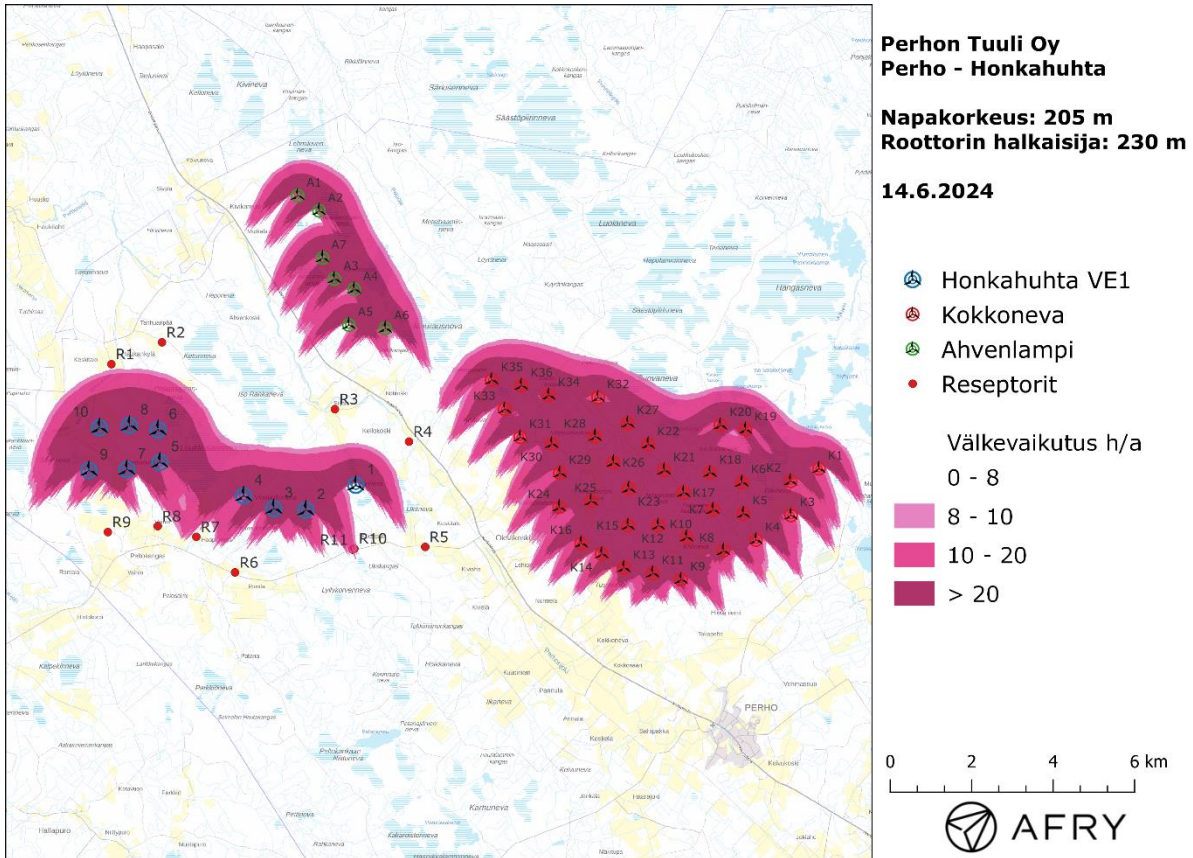
Kuva 4: Ahvenlammen ja Kokkonevan voimaloiden sijainnit suhteessa Honkahuhdan voimaloihin.

Taulukko 8: Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimaloiden koordinaatit.

Turbiinit	E	N	Turbiinit	E	N
Ahvenlampi			K15	367880,0	7017058,0
A1	359771,2	7025144,7	K16	366729,0	7016625,0
A2	360295,7	7024772,3	K17	369244,0	7017864,0
A3	360671,8	7023104,3	K18	369893,0	7018355,0
A4	361160,0	7022850,0	K19	370763,0	7019412,0
A5	361027,7	7021973,7	K20	370147,0	7019518,0
A6	361921,5	7021889,5	K21	368766,0	7018413,0
A7	360381,8	7023617,3	K22	368373,0	7019048,0
Kokkoneva			K23	367899,0	7017966,0
K1	372567,0	7018452,0	K24	366191,0	7017509,0
K2	371867,0	7018147,0	K25	366974,0	7017657,0
K3	371878,0	7017309,0	K26	367520,0	7018603,0
K4	371021,0	7016705,0	K27	367873,0	7019564,0
K5	370710,0	7017351,0	K28	367071,0	7019237,0
K6	370676,0	7018116,0	K29	366206,0	7018344,0
K7	369966,0	7017447,0	K30	366008,0	7019060,0
K8	370219,0	7016438,0	K31	365234,0	7019224,0
K9	369182,0	7015734,0	K32	367146,0	7020197,0
K10	369317,0	7016773,0	K33	364852,0	7019911,0
K11	368482,0	7015890,0	K34	365931,0	7020249,0
K12	368622,0	7017059,0	K35	364533,0	7020625,0
K13	367777,0	7016021,0	K36	365261,0	7020489,0
K14	367235,0	7016360,0			

Yhteisvaikutusten arvioinnissa Ahvenlammen voimaloille käytetään napakorkeutta 180 m ja roottorin halkaisijaa 180 m. Kokkonevan voimaloilla napakorkeus on 214 m ja roottorin halkaisija 172 m.

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella Honkahuhtan naapurivoimaloista aiheutuu vain vähäisiä välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Ainoa muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa kohdistuu reseptoriin R4, jossa välkevaikutus pysyy kuitenkin edelleen ohjearvoissa.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Honkahuhtan, Ahvenlammen ja Kokkonevan voimalat.

Taulukko 9: Välkeajat reseptoripisteissä, kun huomioidaan naapurivoimaloiden yhteisvaikutukset. Taulukossa on esitetty todennäköinen vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	5:45	10
R2	1:46	3
R3	1:22	3
R4	2:42	5
R5	1:27	4
R6	1:32	4
R7	4:38	6
R8	2:43	4
R9	0:00	0
R10	9:29	11
R11	9:37	11



## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Honkahuhdan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Honkahuhdan tuulivoimapuistolle on käytetty 10 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE1. Välkevaikutusten arviointi on tehty roottorin halkaisijalla 230 m ja napakorkeudella 205 m. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen kanssa.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden asunnon kohdalla, mutta alittaa Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke aika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten 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 roottorikehän 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 suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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

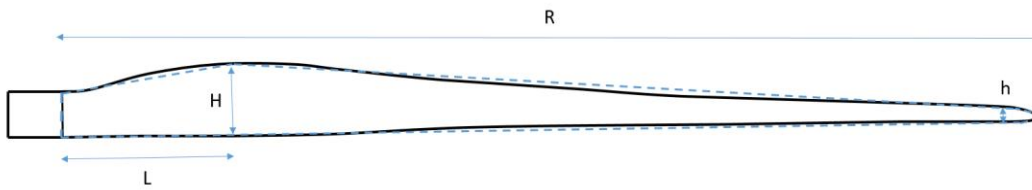
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 6) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on  $H$  etäisyydellä  $L$  lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on  $R$  ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on  $h$ . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta  $H$  arvoon  $h$  liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä  $[0, R]$  riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

## 6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.



Perhon Tuuli Oy

**Honkahuhdan tuulivoimahankkeen välkeselvitys, VE2**

101024341-003



Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Erkki Heikkola

E-mail  
[erkki.heikkola@afry.com](mailto:erkki.heikkola@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
003

Asiakas  
Perhon Tuuli Oy  
Mira Talonen

Päivämäärä  
05/11/2024

Projektinumero  
101024341-003

Raportin tila  
VALMIS

## Honkahuhtan tuulivoimahankkeen välkeseelvitys, VE2

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	22.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	22.01.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen (Raportti 101021203-010.001)
002	09.04.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	09.04.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Yhteisvaikutusten päivitys (Raportti 101021203-010.002)
003	05.11.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	05.11.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Voimalapaikan 6 muutos ja yhteisvaikutusten päivitys (Raportti 101024341-003.003)

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen 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	Honkahuhdan, Ahvenlammen ja Kokkonevan yhteisvaikutus .....	13
4	Yhteenveto .....	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	17
6	Viitteet .....	19

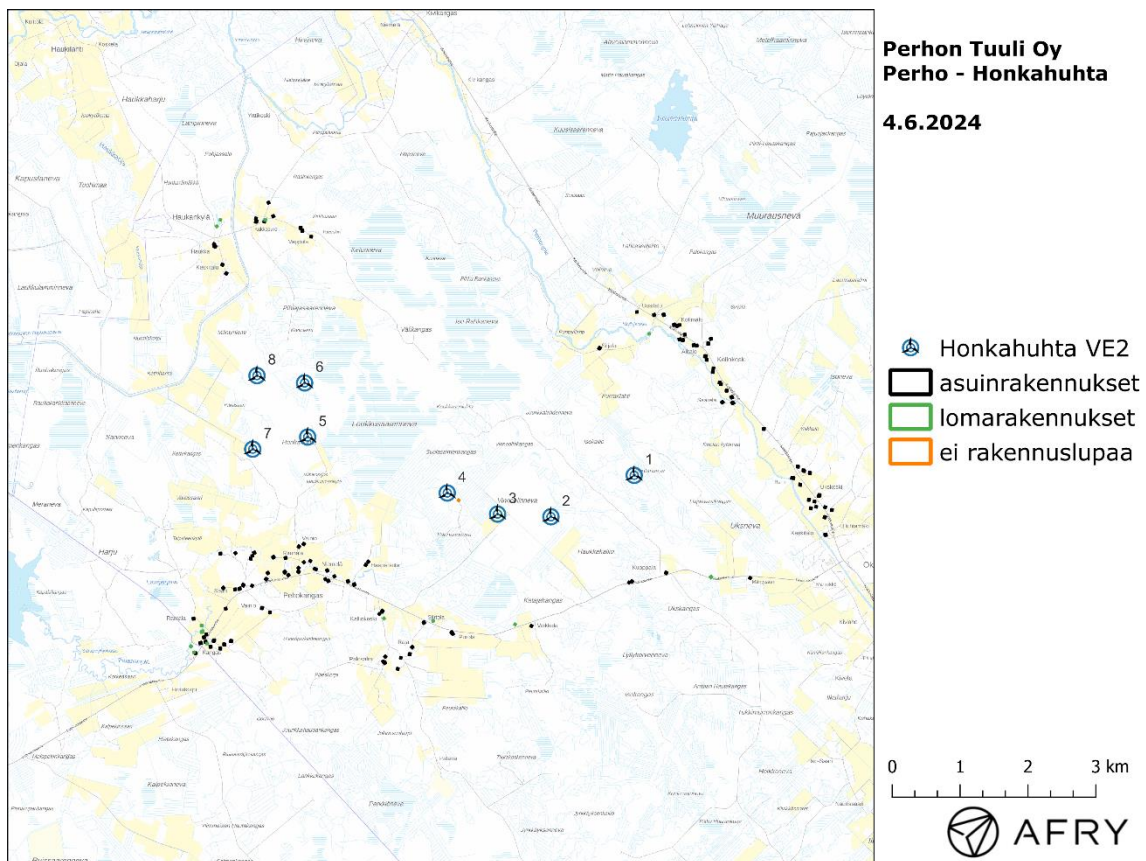


# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Honkahuhtan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Honkahuhtan 8 voimalan sijoitussuunnitelman VE2 sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Karttakuvassa on esitetty myös voimaloiden lähellä sijaitsevien asuin- ja lomarakennusten sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 205 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,8 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan myös Honkahuhtan sekä lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen välkkeiden yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Honkahuhtan hankealueella.

*Taulukko 1: Tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini-paikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	361198	7018048	154
T2	359972	7017438	148
T3	359186	7017477	144
T4	358445	7017788	146
T5	356389	7018610	143
T6	356345	7019406	138
T7	355580	7018432	135
T8	355643	7019513	137

## 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 Auringon 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.

Tässä selvityksessä suoritetaan todennäköisen välkevaikutuksen laskennat.

### 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 vuodenaikoina. 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 perustuu tässä selvityksessä mittauksiin Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 90 km.

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

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

## 2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4].

Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Tässä selvityksessä välkeajoja verrataan Ruotsin ja Tanskan ohjearvoihin.

## 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 tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin 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.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin 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 Honkahuhtan voimaloille on käytetty napakorkeutta 205 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa skaalattuna roottorin halkaisijalle 230 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimileveys on 4,8 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 välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] 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 osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntaakohtaisesti 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	0,164	0,194	0,189	0,122	0,124	0,141

*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

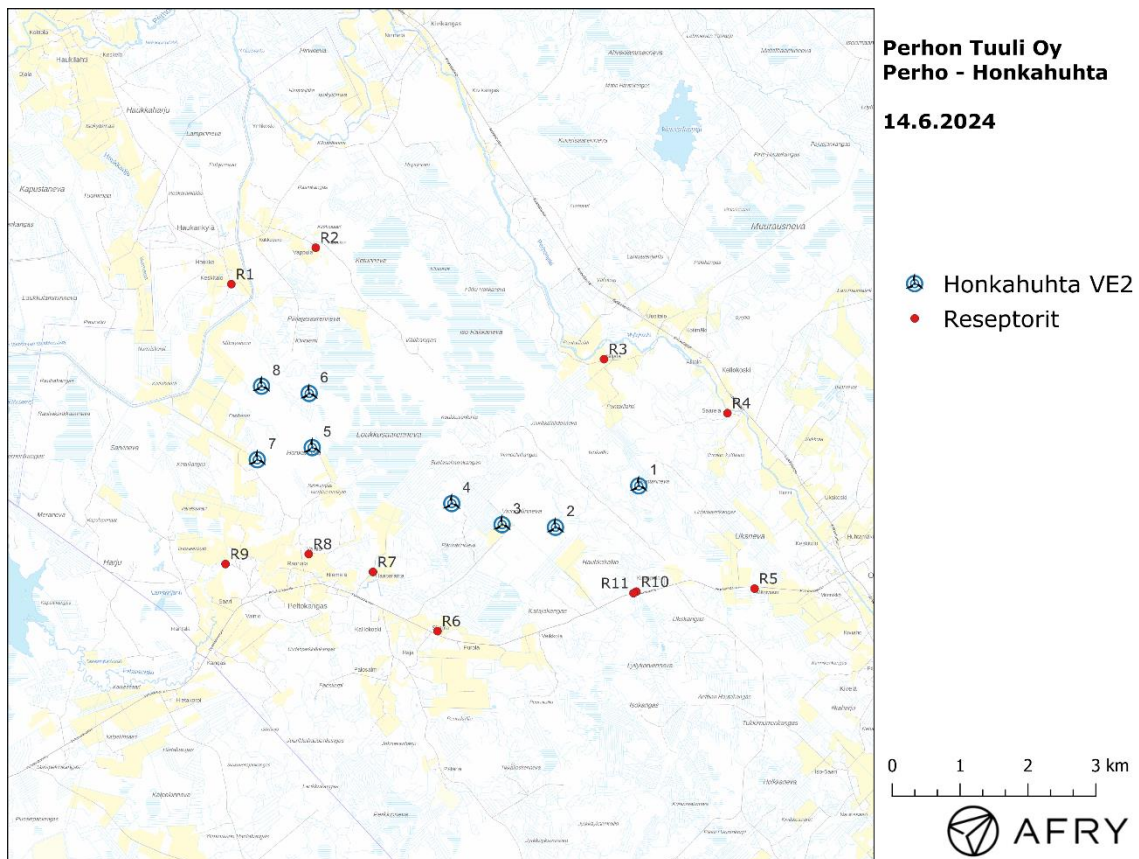
Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1,5–2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Honkahuhdan voimalan 4 vieressä sijaitsee yksi maastotietokannassa loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Perhon kunnan rakennusvalvonnasta saadun tiedon mukaan kyseisellä kiinteistöllä ei ole rakennuslupaa, eikä sitä ole otettu tästä syystä välkevaikutusten arvioinnissa huomioon.



Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	355200	7021011	130,5	vakituinen asunto
R2	356443	7021547	140,6	vakituinen asunto
R3	360688	7019908	146,1	vakituinen asunto
R4	362506	7019114	153,8	vakituinen asunto
R5	362905	7016534	157,9	vakituinen asunto
R6	358236	7015909	143,6	loma-asunto
R7	357286	7016780	141,0	vakituinen asunto
R8	356339	7017042	136,5	vakituinen asunto
R9	355114	7016896	133,1	vakituinen asunto
R10	361165	7016491	156,0	vakituinen asunto
R11	361122	7016467	156,6	vakituinen asunto



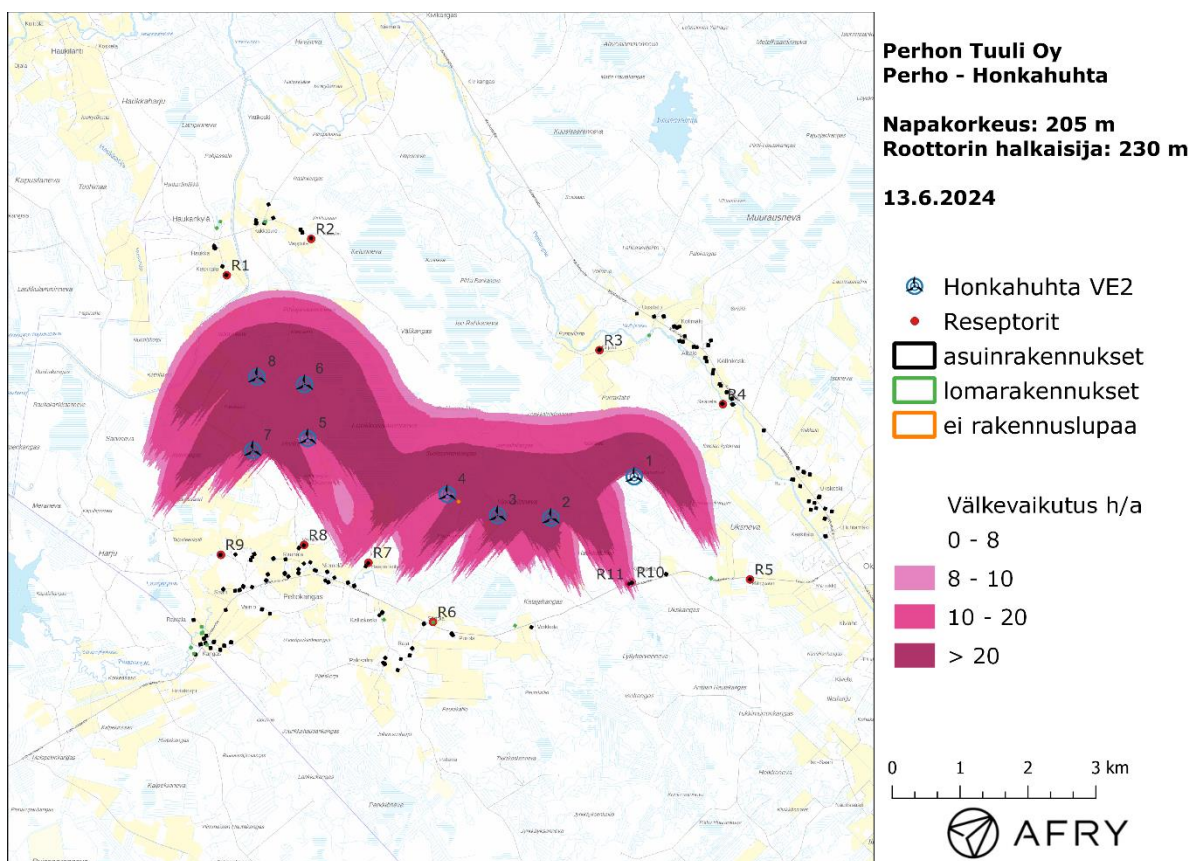
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty voimaloiden lähiympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja ja Perhon kunnasta saatuja lisätietoja.

Taulukossa (Taulukko 5) on lueteltu todennäköinen välkevaikutus reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena arvona. Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden asuinrakennuksen kohdalla kohteen kaakkoispuolella, mutta alittaa Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Lisäksi päiväkohtainen maksimivälke aika pysyy alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuntojen kohdalla.

Todennäköisen välkevaikutuksen tarkempi ajoittuminen reseptorien R1 ja R11 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 7). Näissä esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköinen välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.



Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkeika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	3:24	6
R2	1:32	3
R3	1:22	3
R4	1:52	5
R5	1:27	4
R6	1:32	4
R7	4:38	6
R8	1:06	4
R9	0:00	0
R10	9:29	11
R11	9:37	11

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin R1 kohdalla.

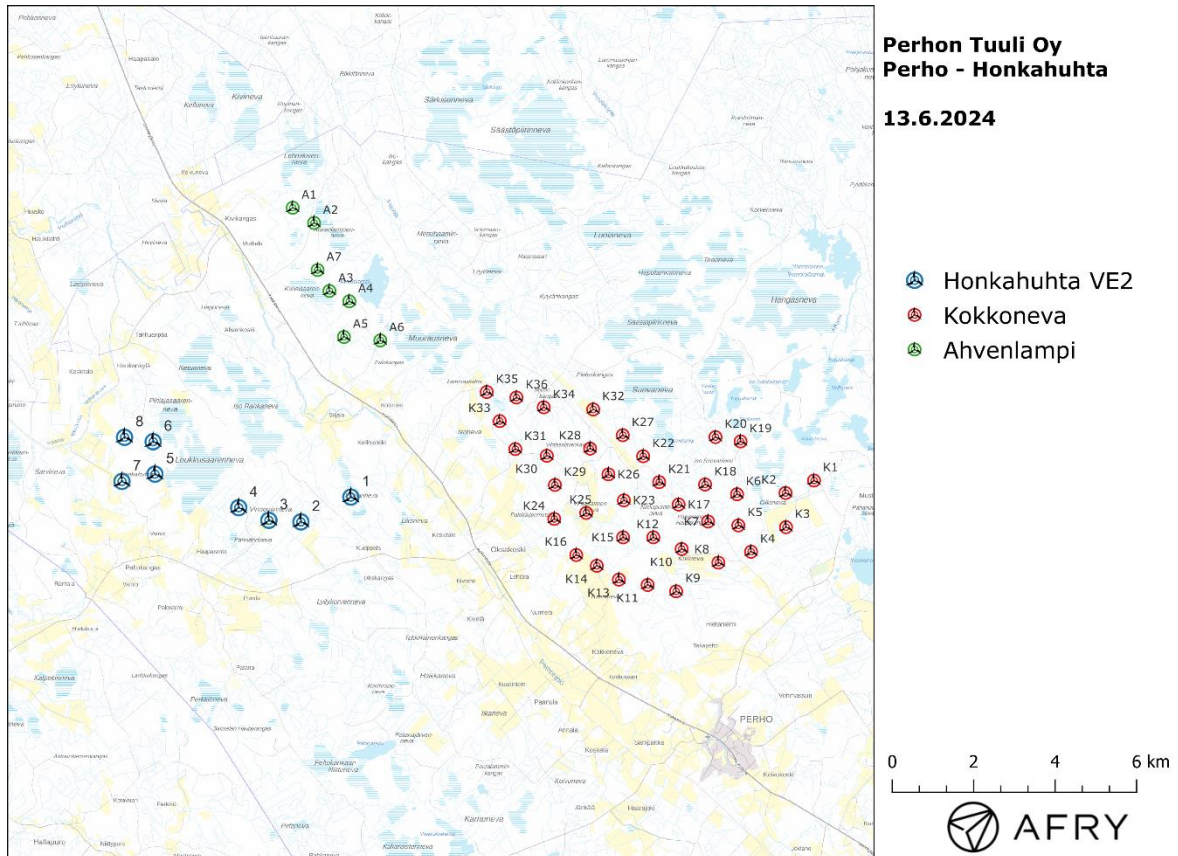
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:22
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:52	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:57
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56	2:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:24

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin R11 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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19	0:00	0:00	0:19
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	2:13	0:00	2:24
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:51	0:00	2:51
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:35	0:00	3:35
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	0:00	0:00	0:29
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	8:38	0:00	9:37

### 3.3 Honkahuhtan, Ahvenlammen ja Kokkonevan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Honkahuhtan voimaloiden ja lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen välkeeseen yhteisvaikutuksia. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunniteltu 7 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 4 km etäisyydellä Honkahuhtan voimaloista. Kokkonevan tuulivoimapuistoon on suunniteltu 36 voimalaa, joista lähimmät ovat vajaan 4 km etäisyydellä Honkahuhtan voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapoljalla (Kuva 4) ja koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 8).



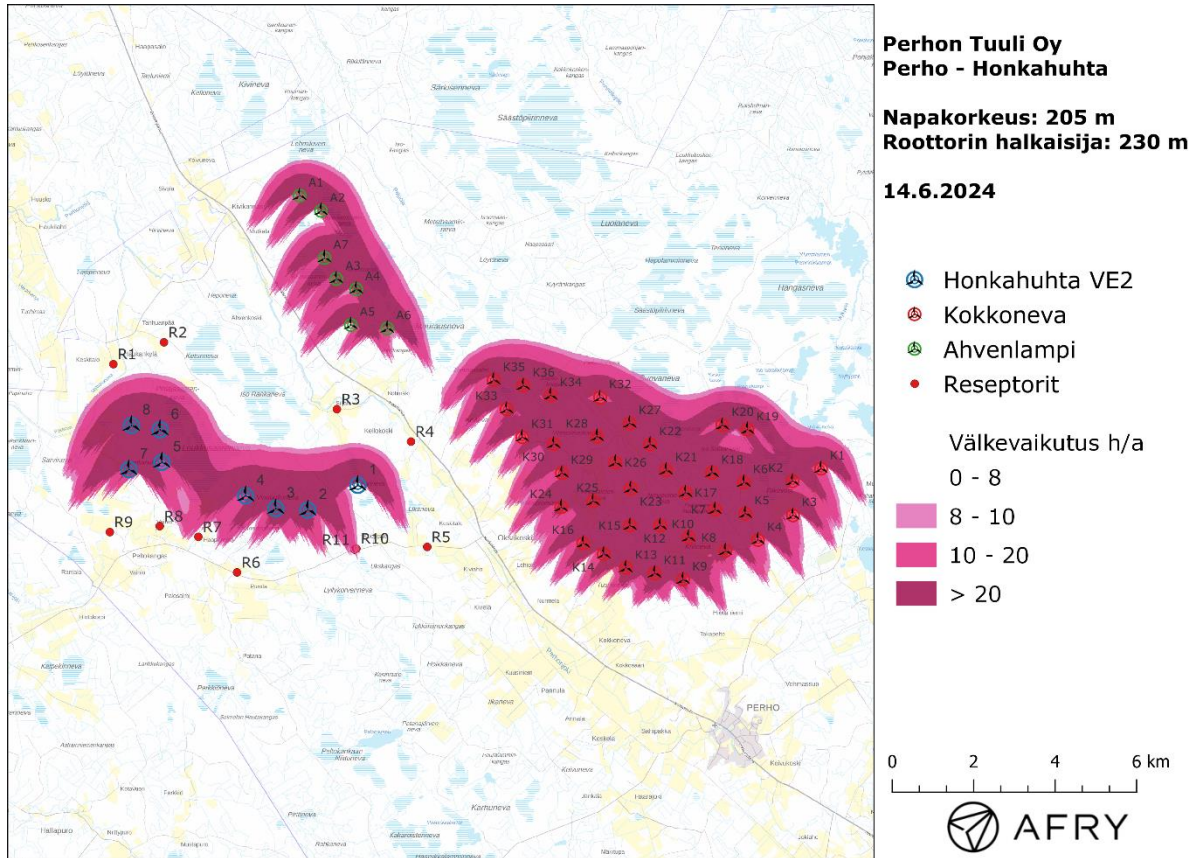
Kuva 4: Ahvenlammen ja Kokkonevan voimaloiden sijainnit suhteessa Honkahuhtan voimaloihin.

Taulukko 8: Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimaloiden koordinaatit.

Turbiinit	E	N	Turbiinit	E	N
Ahvenlampi			K15	367880,0	7017058,0
A1	359771,2	7025144,7	K16	366729,0	7016625,0
A2	360295,7	7024772,3	K17	369244,0	7017864,0
A3	360671,8	7023104,3	K18	369893,0	7018355,0
A4	361160,0	7022850,0	K19	370763,0	7019412,0
A5	361027,7	7021973,7	K20	370147,0	7019518,0
A6	361921,5	7021889,5	K21	368766,0	7018413,0
A7	360381,8	7023617,3	K22	368373,0	7019048,0
Kokkoneva			K23	367899,0	7017966,0
K1	372567,0	7018452,0	K24	366191,0	7017509,0
K2	371867,0	7018147,0	K25	366974,0	7017657,0
K3	371878,0	7017309,0	K26	367520,0	7018603,0
K4	371021,0	7016705,0	K27	367873,0	7019564,0
K5	370710,0	7017351,0	K28	367071,0	7019237,0
K6	370676,0	7018116,0	K29	366206,0	7018344,0
K7	369966,0	7017447,0	K30	366008,0	7019060,0
K8	370219,0	7016438,0	K31	365234,0	7019224,0
K9	369182,0	7015734,0	K32	367146,0	7020197,0
K10	369317,0	7016773,0	K33	364852,0	7019911,0
K11	368482,0	7015890,0	K34	365931,0	7020249,0
K12	368622,0	7017059,0	K35	364533,0	7020625,0
K13	367777,0	7016021,0	K36	365261,0	7020489,0
K14	367235,0	7016360,0			

Yhteisvaikutusten arvioinnissa Ahvenlammen voimaloille käytetään napakorkeutta 180 m ja roottorin halkaisijaa 180 m. Kokkonevan voimaloilla napakorkeus on 214 m ja roottorin halkaisija 172 m.

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella Honkahuhtan naapurivoimaloista aiheutuu vain vähäisiä välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Ainoa muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa kohdistuu reseptoriin R4, jossa välkevaikutus pysyy kuitenkin edelleen ohjearvoissa.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Honkahuhtan, Ahvenlammen ja Kokkonevan voimalat.

Taulukko 9: Välkeajat reseptoripisteissä, kun huomioidaan naapurivoimaloiden yhteisvaikutukset. Taulukossa on esitetty todennäköinen vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	3:24	6
R2	1:32	3
R3	1:22	3
R4	2:42	5
R5	1:27	4
R6	1:32	4
R7	4:38	6
R8	1:06	4
R9	0:00	0
R10	9:29	11
R11	9:37	11

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Honkahuhdan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Honkahuhdan tuulivoimapuistolle on käytetty 8 voimalan sijoittelusuunnitelmaa VE2. Välkevaikutusten arviointi on tehty rottorin halkaisijalla 230 m ja napakorkeudella 205 m. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Ahvenlammen ja Kokkonevan tuulivoimapuistojen kanssa.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden asunnon kohdalla, mutta alittaa Tanskan 10 tunnin ohjearvon. Todennäköinen päiväkohtainen maksimivälkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten 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 roottorikehän 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 suuntakohtaisilla tuulusuusosuuksilla.

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.

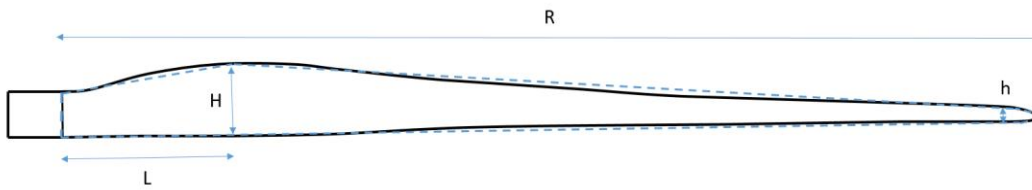
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 6) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on  $H$  etäisyydellä  $L$  lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on  $R$  ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on  $h$ . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta  $H$  arvoon  $h$  liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä  $[0, R]$  riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

## 6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.