



ATP Palloneva Oy

**Pallonevan pohjoisen tuulivoimapuiston välkeselvitys**

101024733-001, 02.05.2024

Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Mika Laitinen

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

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
001

Asiakas  
ATP Palloneva Oy  
Jaakko Leppinen

Päivämäärä  
02/05/2024

Projektinumero  
101024733-001

Raportin tila  
VALMIS

## Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston välkeselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	02.05.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	02.05.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

## Aineistojen käyttöoikeudet

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

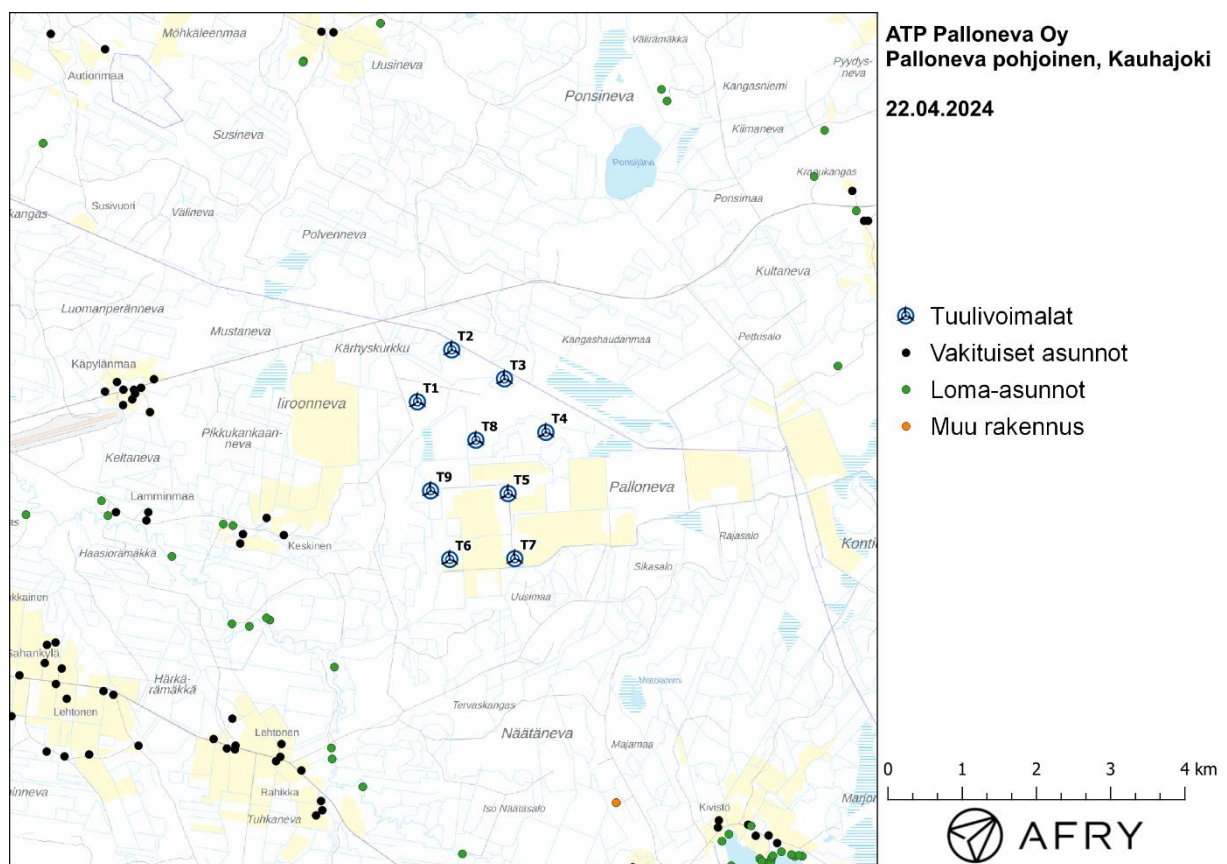
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden välke .....	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot .....	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	11
4	Yhteenveto .....	15
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	16
6	Viitteet .....	18

# 1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Kauhajoen kaupungin alueelle suunnittelun Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapuisto on osa ATP Palloneva Oy:n yhdistettyä aurinko ja tuulivoimahanketta Palloneva pohjoinen. Arviointi on tehty 9 voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näillä voimaladimensiolla on pyritty mallintamaan maksimaalisen välkevaikutus. Lopullisilla napakorkeuksilla ja voimalatyypeillä ei tulla ylittämään 300 metrin kokonaiskorkeutta.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit.

*Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (9 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	267279	6934666	149
T2	267742	6935366	140
T3	268453	6934975	154
T4	269011	6934256	147
T5	268502	6933431	142
T6	267715	6932545	137
T7	268592	6932555	136
T8	268068	6934150	143
T9	267457	6933469	141

## 2 Tuulivoimaloiden välke

### 2.1 Välkevaikutus

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

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

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

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

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

### 2.2 Välkkeen rajoittaminen

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

### 2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Seinäjoen Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 50 km.

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

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

## 2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi korkeintaan 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkeajan suositusarvo on korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä [2]. Teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot Saksassa ovat 30 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä.



## 3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

### 3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan 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, tuulivoimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lavan leveysprofiili on mallinnettu voimalatyyppin Siemens Gamesa SG 7.0-170 lavasta: roottorin halkaisija on skaalattu 170 metristä 200 metriin ja samalla lapa on skaalattu 5 % leveämmäksi. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätötila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri voimaloiden orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väiketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn voimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa voimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet voimalan käyntinopeusvälille osuille 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 [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suunta-kohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioon-ottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

*Taulukko 2: Suuntasektori-kohtaiset 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	0,181	0,209	0,167	0,128	0,119	0,135

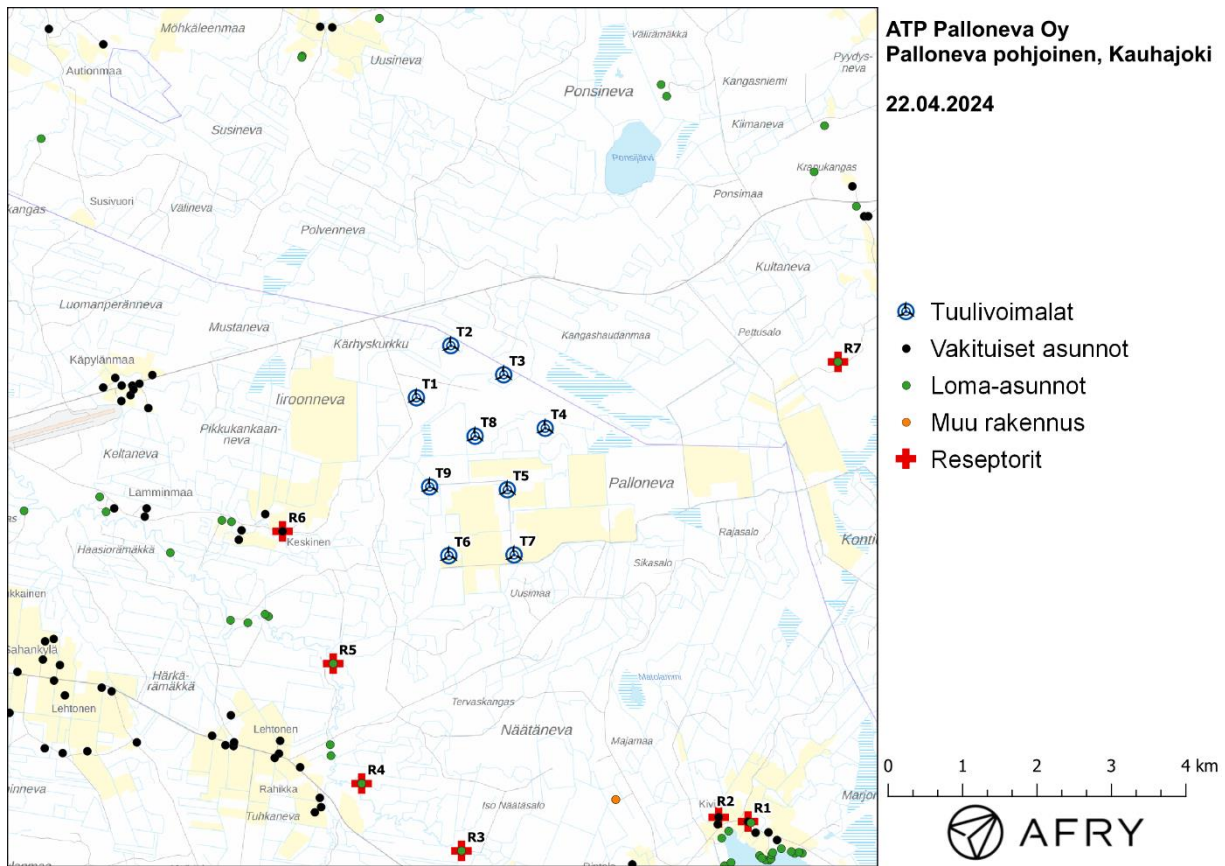
*Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.*

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 seitsemän vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Reseptorit sijaitsevat 2,1–4,8 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Hankealueen kaakkoispuolella on Maanmittauslaitoksen maastotietokannassa loma-asunnoksi merkitty rakennus, mutta jolla ei ole Kauhajoen kaupungin rakennusvalvonnalta saadun tiedon mukaan rakennuslupaa. Tämä rakennus on merkitty karttoihin oranssilla ympyrällä ja selitteellä Muu rakennus. Tätä rakennusta ei huomioida välkevaikutusten arvioinnissa.

Taulukko 4: Reseptoreiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	271739	6928971	144	vakituinen asuinrakennus
R2	271344	6929029	143	vakituinen asuinrakennus
R3	267887	6928578	141	lomarakennus
R4	266545	6929482	139	lomarakennus
R5	266162	6931093	135	lomarakennus
R6	265480	6932870	130	vakituinen asuinrakennus
R7	272949	6935146	145	lomarakennus



Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

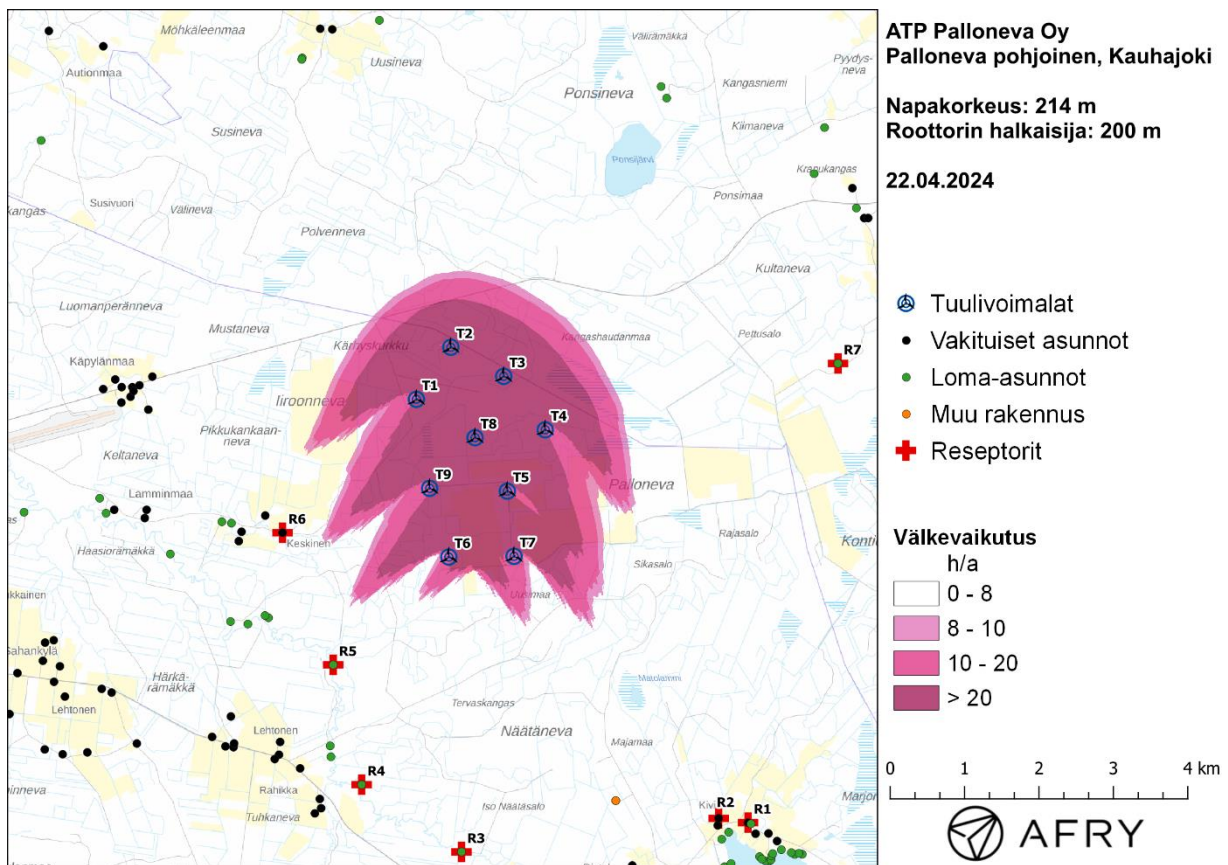
### 3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arvio todennäköisten välketuntien 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.

Taulukossa (Taulukko 5) on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana.

Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla. Myös todennäköisen välkkeen suurin päiväkohtainen määrä jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien reseptoreiden kohdilla.

Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptorin R6 kohdalla olevaan asuntoon. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	0:00	0:00	0:00	0:00
R5	0:00	0:00	0:00	0:00
R6	1:24	0:04	5:34	0:13
R7	0:00	0:00	0:00	0:00

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 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	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11
Toukokuu	0:00	0:00	0:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32
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	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11
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	1:00	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24

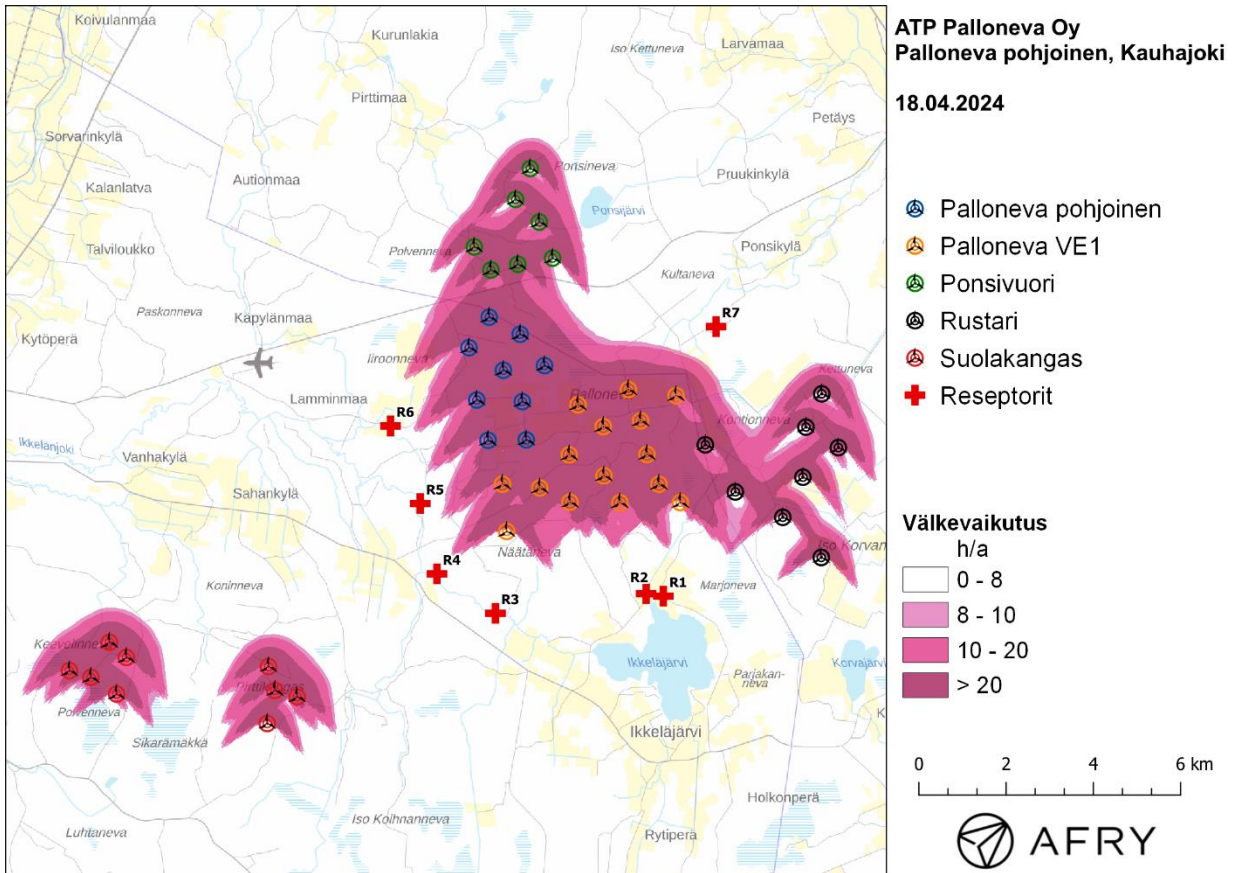
### 3.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Palloneva pohjoisen ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan suunnitteilla oleva Pallonevan tuulivoimapuisto sekä jo toiminnassa olevat Rustarin, Ponsivuoren ja Suolakankaan tuulivoimapuistot. Pallonevan osalta yhteisvaikutusten arvio tehdään sijoittelusuunnitelmalle VE1, joka tuottaa suuremman välkevaikutuksen kuin puiston muut suunnitelmat. Vätkemallinnuksissa käytetään taulukossa (Taulukko 7) lueteltuja napakorkeuksia, roottorin halkaisijoita ja voimalatyyppisiä. Mallinnuksessa käytetyt tuulivoimaloiden tiedot on saatu hankkeista vastaavilta toimijoilta. Voimaloiden lapaprofiileja on arvioitu voimalavalmistajien toimittamien tietojen perusteella.

Taulukko 7: Välkkeen yhteisvaikutusten mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytettävät napakorkeudet, roottorin halkaisijat ja voimalatyypit.

Tuulivoimapuisto	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Voimalatyyppi
Palloneva pohjoinen	214	200	skaalattu voimalatyyppistä SG 7.0-170
Palloneva VE1	200	200	skaalattu voimalatyyppistä SG 7.0-170
Ponsivuori	135	149	Nordex N149 4.5MW
Rustari	151	158	GE158 5.5MW
Suolakangas	155	150	Vestas V150-4.2MW

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettisen maksivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä. Reseptoreiden kohdilla Palloneva pohjoisen lähelle suunnitellut tai rakennetut tuulivoimapuistot aiheuttavat välkettä vain reseptoreihin R4, R5 ja R7, joihin taas Palloneva pohjoisen voimalat eivät aiheuta välkettä. Reseptoreiden kohdilla ei siis esiinny välkkeen yhteisvaikutuksia.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapuistot Palloneva pohjoinen, Palloneva VE1, Rustari, Ponsivuori ja Suolakangas.

Taulukko 8: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan tuulivoimapaistot Palloneva pohjoinen, Palloneva VE1, Rustari, Ponsivuori ja Suolakangas. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:07	0:06	11:02	0:23
R5	1:37	0:05	6:44	0:15
R6	1:24	0:04	5:34	0:13
R7	0:45	0:02	7:27	0:18

## 4 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Kauhajoen kaupungin alueelle suunnitellun Palloneva pohjoisen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 9 voimalan suunnitelmalle napakorkeudella 214 m ja roottorin halkaisijalla 200 m. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen tai rakennettujen Pallonevan, Ponsivuoren, Rustarin ja Suolakankaan tuulivoimapuistojen kanssa.

Mallinnusten mukaan Palloneva pohjoisen voimaloiden välkevaikutus on vähäinen. Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Todennäköinen välkevaikutus jää selvästi alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen. Teoreettinen maksimivälke jää alle Saksan raja-arvojen. Palloneva pohjoisen voimaloilla ei ole merkittäviä välkkeen yhteisvaikutuksia läheisten tuulivoimahankkeiden kanssa. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.



## 5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapallolta taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden 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.

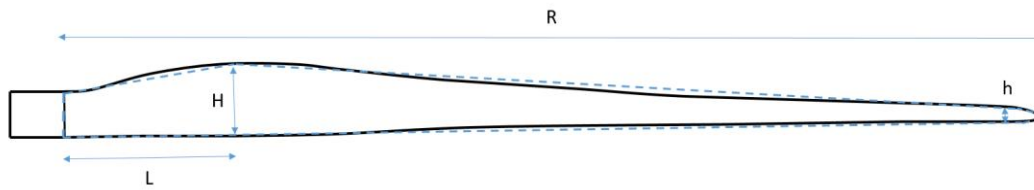
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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

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

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

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 5) 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 voimalan lavan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 5: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään yksinkertaistettua lineaarista 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 voimalan muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

## 6 Viitteet

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