



Ilmatar Paltamo Oy

Hukkalansalon ja Takiankankaan tuulivoimahankkeen välkeselvitykset

200_304_021

Tekijä
Juulianna Lähteinen

pvm
23/02/2023

Osasto
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinnumero
200_304-021

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Raporttiversio
001

Raportin tila
LUONNOS

Asiakas

Ilmatar Paltamo Oy
Ville Huovinen

Hukkalansalon ja Takiankankaan tuulivoimahankkeen välkeselvitykset

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	23.02.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	23.02.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen ja 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
1.1	Hukkalansalon hankealue	5
1.2	Takiankankaan hankealue.....	7
1.3	YVA-ohjelman toteutusvaihtoehdot	9
2	Tuulivoimaloiden välke	12
2.1	Välkevaikutus.....	12
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	12
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	12
2.4	Ohjearovot	13
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	14
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	14
3.2	Hukkalansalon välke	16
3.3	Takiankankaan välke.....	25
3.4	YVA-ohjelman toteutusvaihtoehtojen välke	30
4	Yhteenveto	33
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	34
6	Viitteet.....	36

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan kahden tuulivoimahankkeen Hukkalansalon ja Takiankankaan ympäristö-
leen aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Hukkalansalon hankealueella on
kolme eri voimaloiden sijoitussuunnitelmaa ja Takiankankaassa puolestaan kaksi eri voimaloiden
sijoitussuunnitelmaa. Hankkeet on esitelty tarkemmin omissa kappaleissaan 1.1 ja 1.2.

Hukkalansalon ja Takiankankaan hankkeita käsitellään YVA-ohjelmassa yhtenä tuulivoimahankkeena
ja YVA:n eri toteutusvaihtoehdot ovat erilaisia yhdistelmiä Hukkalansalon ja Takiankankaan
yksittäisten hankkeiden sijoitussuunnitelmista. YVA-ohjelman toteutusvaihtoehdot on esitelty
tarkemmin kappaleessa 1.3.

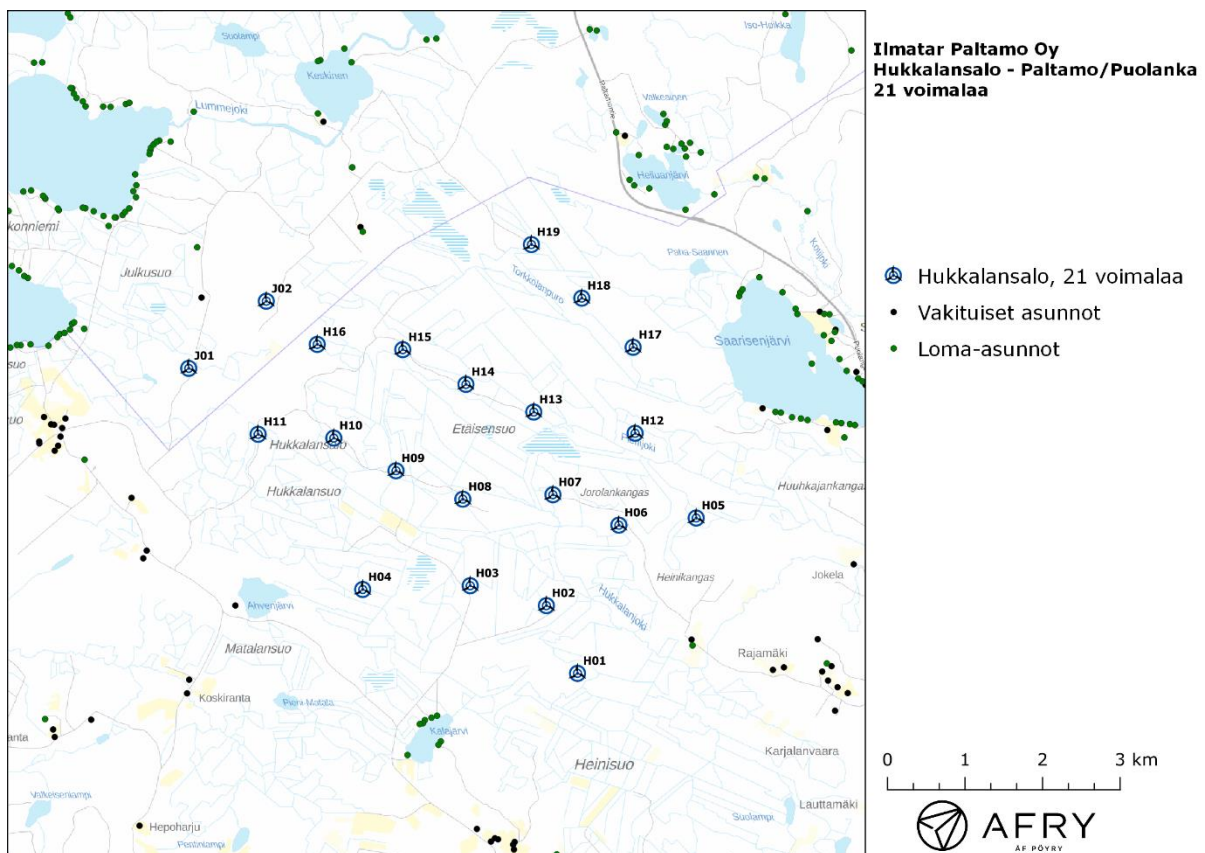
Välkevaikutukset voivat pisimmillään ulottua noin 1-3 km etäisyydellä voimaloista. Etäisyyteen
vaikuttavat mm. tuulivoimalan mitat, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät, kuten
kasvillisuus. Hukkalansalon ja Takiankankaan hankealueet sekä lähimmät voimalat sijaitsevat noin
seitsemän kilometrin etäisyydellä toisistaan. Hankkeiden välisen etäisyyden vuoksi voimaloiden
aiheuttamilla välkevaikutuksilla ei ole yhteisvaikutuksia. Tämän vuoksi tässä raportissa Hukkalansa-
lon ja Takiankankaan välkevaikutukset on käsitelty erikseen omissa kappaleissaan.

Raportin kappaleessa 3.4 on esitetty YVA-ohjelman eri toteutusvaihtoehtojen välkevaikutukset
karttakuvina, joista saadaan kokonaiskuva Hukkalansalon ja Takiankankaan hankealueen välke-
vaikutuksista kullakin YVA-ohjelman vaihtoehdolla.

1.1 Hukkalansalon hankealue

Hukkalansalon hankealue sijaitsee Paltamon ja Puolangan kuntien rajan tuntumassa. Hukkalansalon hankealueella on kolme eri sijoitteluvaihtoehtoa ja ne on kuvattu alla. Voimaloiden sijainti-koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 1) ja voimaloiden sijainnit on esitetty karttakuvassa (Kuva 1).

- **21 voimalaa**, joista 19 voimalaa Paltamossa ja 2 voimalaa Puolangassa.
- **19 voimalaa**, joista 19 voimalaa Paltamossa. Maksimisuunnitelmasta on poistettu Puolangan puolen kaksi voimalaa JO1 ja JO2.
- **18 voimalaa**, joista 16 Paltamossa ja 2 Puolangassa. Maksimisuunnitelmasta on poistettu Paltamon puolelta voimalat H01, H02 sekä H17.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Hukkalansalon hankealueella 21 voimalan sijoitussuunnitelmalla. Voimalat JO1 ja JO2 on poistettu 19 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Voimalat H01, H02 ja H17 on poistettu 18 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Muilta osin Hukkalansalon voimaloiden sijainnit ovat samat kaikissa suunnitelmissa.

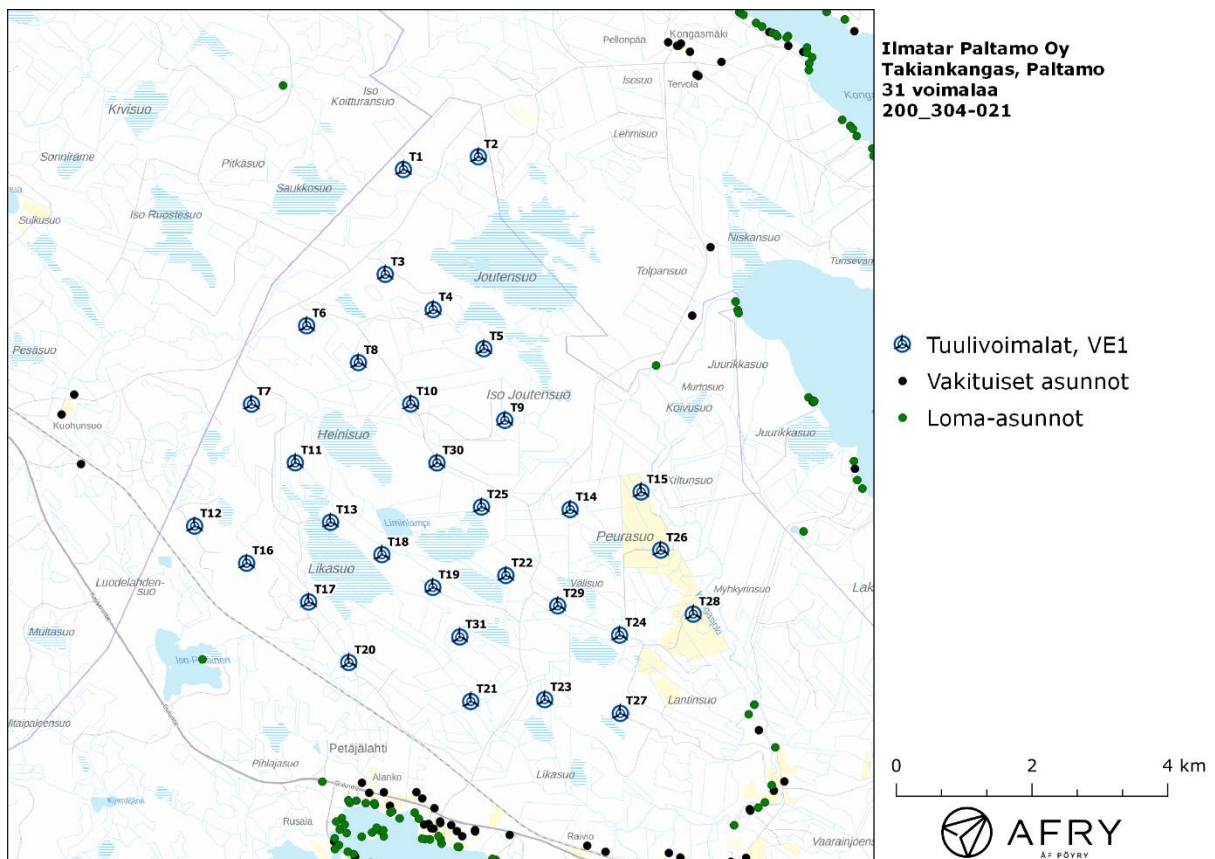
Taulukko 1: Hukkalansalon tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Voimalat JO1 ja JO2 on poistettu 19 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Voimalat HO1, HO2 ja H17 on poistettu 18 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Muilta osin Hukkalansalon voimaloiden sijainnit ovat samat kaikissa suunnitelmissa.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
H01	534954,8	7150462,3	179
H02	534553,8	7151334,8	163
H03	533571,4	7151591,3	169
H04	532185,2	7151542,6	181
H05	536485,1	7152463,2	164
H06	535488,3	7152371,3	175
H07	534637,8	7152763,4	168
H08	533476,2	7152705,8	170
H09	532614,4	7153071,9	173
H10	531812,6	7153492,5	189
H11	530837,0	7153541,6	194
H12	535697,5	7153554,6	163
H13	534391,0	7153828,0	167
H14	533516,4	7154184,2	175
H15	532701,7	7154631,7	184
H16	531598,9	7154699,2	198
H17	535672,0	7154662,0	172
H18	535010,6	7155294,8	184
H19	534360,5	7155985,3	189
JO1	529942,0	7154390,7	183
JO2	530942,1	7155255,5	236

1.2 Takiankankaan hankealue

Takiankankaan hankealue sijaitsee Paltamon kunnassa. Takiankankaan hankealueella on kaksi eri sijoitteluvaihtoehtoa ja ne on kuvattu alla. Voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 2) ja sijoitusvaihtoehdot on esitetty karttakuvassa (Kuva 2).

- **31 voimalaa.**
- **29 voimalaa.** Maksimisijoitussuunnitelmasta on poistettu voimat T1 ja T2.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan hankealueella 31 voimalan sijoitussuunnitelmalla. Voimat T1 ja T2 on poistettu 29 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Muilta osin Takiankankaan voimaloiden sijainnit ovat samat.

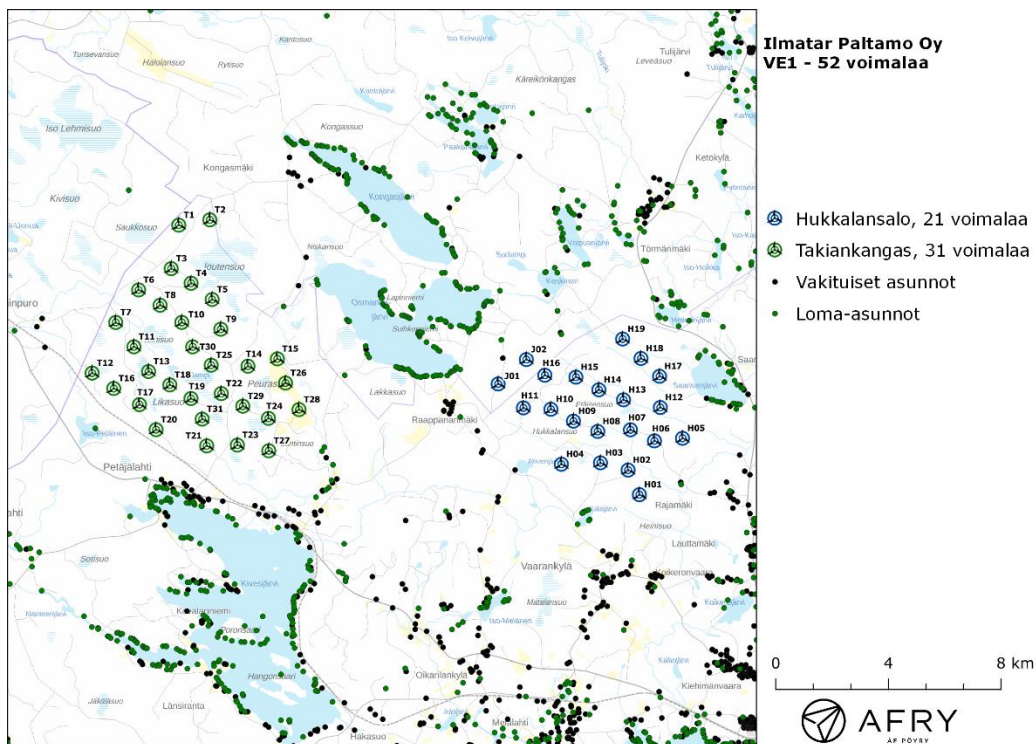
Taulukko 2: Takiankankaan tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Voimalat T1 ja T2 on poistettu 29 voimalan sijoitussuunnitelmasta. Muilta osin Takiankankaan voimaloiden sijainnit ovat samat.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	518603,3	7160024,3	165
T2	519707,2	7160212,4	182
T3	518334,7	7158481,9	179
T4	519040,7	7157962,9	170
T5	519788,0	7157386,3	173
T6	517177,2	7157725,0	163
T7	516365,1	7156571,6	143
T8	517940,1	7157182,1	155
T9	520095,7	7156332,8	164
T10	518710,5	7156574,1	159
T11	517009,8	7155707,7	142
T12	515527,4	7154776,2	154
T13	517530,1	7154831,8	147
T14	521058,1	7155020,1	167
T15	522103,5	7155279,1	161
T16	516293,4	7154229,5	163
T17	517207,3	7153658,8	147
T18	518285,5	7154355,9	148
T19	519036,4	7153873,5	150
T20	517797,6	7152767,6	148
T21	519594,6	7152194,0	138
T22	520111,6	7154049,0	156
T23	520684,5	7152221,2	145
T24	521787,3	7153170,6	158
T25	519753,6	7155056,7	151
T26	522392,8	7154422,0	160
T27	521797,6	7152019,0	160
T28	522872,0	7153480,1	159
T29	520875,5	7153601,8	158
T30	519096,8	7155706,2	153
T31	519433,6	7153143,6	143

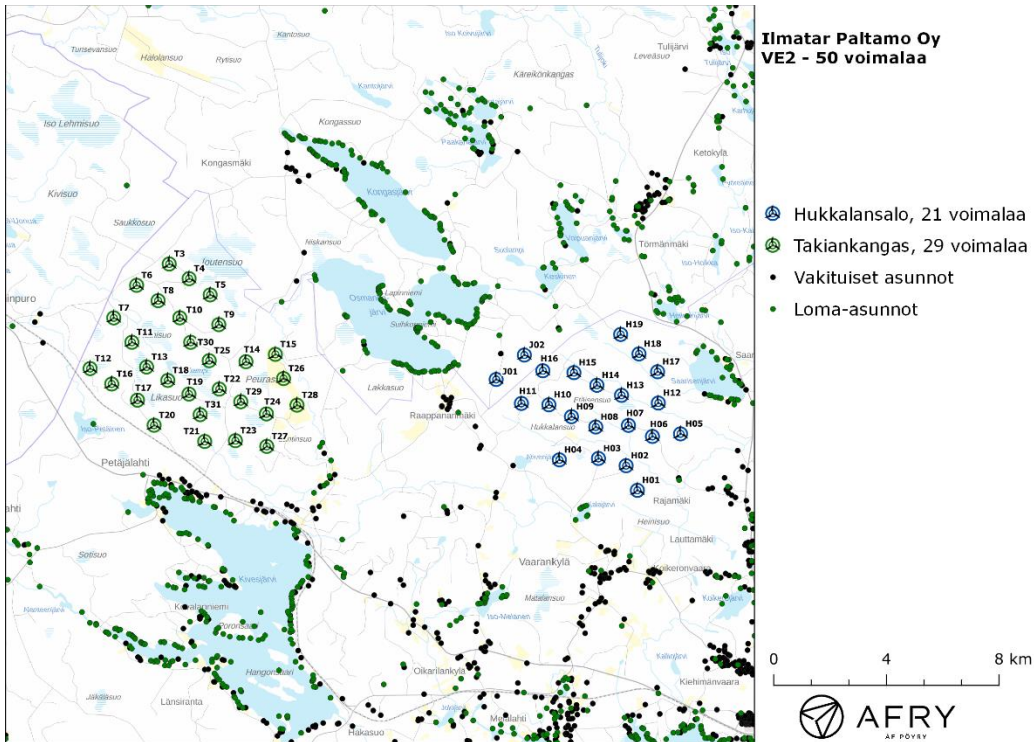
1.3 YVA-ohjelman toteutusvaihtoehdot

Hukkalansalon ja Takiankankaan tuulivoimahankkeita käsitellään yhtenä kokonaisuutena YVA-ohjelmassa. Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeessa on eri toteutusvaihtoehtoja, jotka ovat erilaisia yhdistelmiä Hukkalansalon ja Takiankankaan yksittäisten hankkeiden sijoitus-suunnitelmista. YVA-ohjelman toteutusvaihtoehdot ovat kuvattu alla.

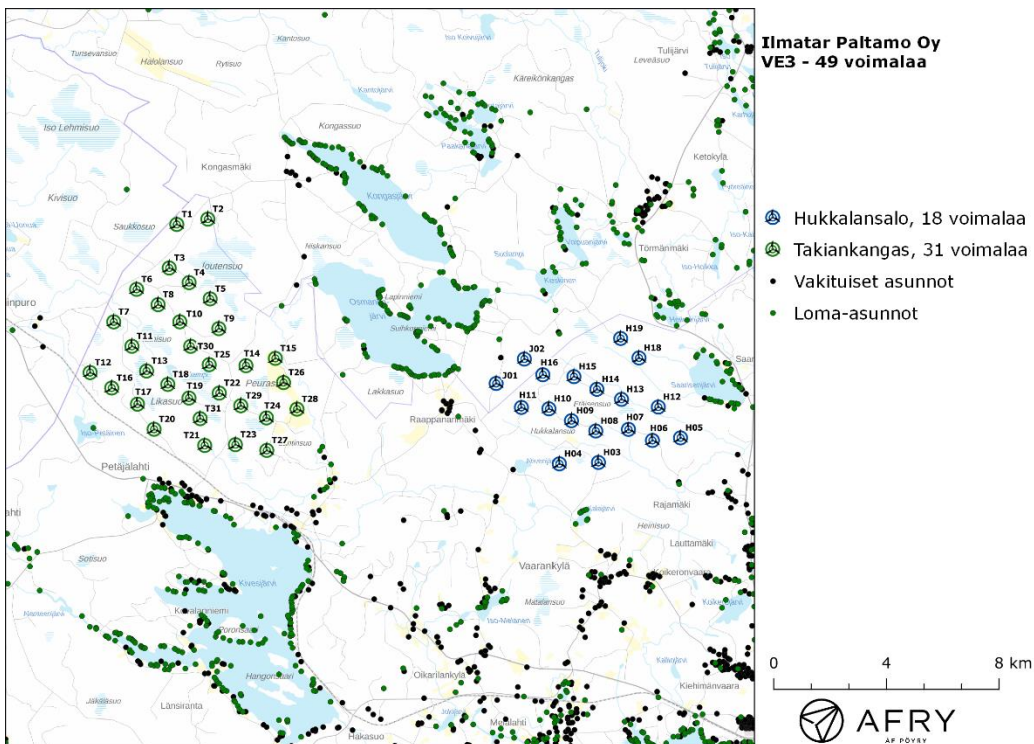
- **VE0: 0 voimalaa.** Hanketta ei toteuteta.
- **VE1: 52 voimalaa.** Hukkalansalon 21 voimalaa ja Takiankangas 31 voimalaa (Kuva 3).
- **VE2: 50 voimalaa.** Hukkalansalo 21 voimalaa ja Takiankangas 29 voimalaa (Kuva 4).
- **VE3: 49 voimalaa.** Hukkalansalo 18 voimalaa ja Takiankangas 31 voimalaa (Kuva 5).
- **VE4: 47 voimalaa.** Hukkalansalo 18 voimalaa ja Takiankangas 29 voimalaa (Kuva 6).
- **Paltamon maksimiratkaisu ilman Puolankaa: 50 voimalaa.** Hukkalansalo 19 voimalaa ja Takiankangas 31 voimalaa (Kuva 7).



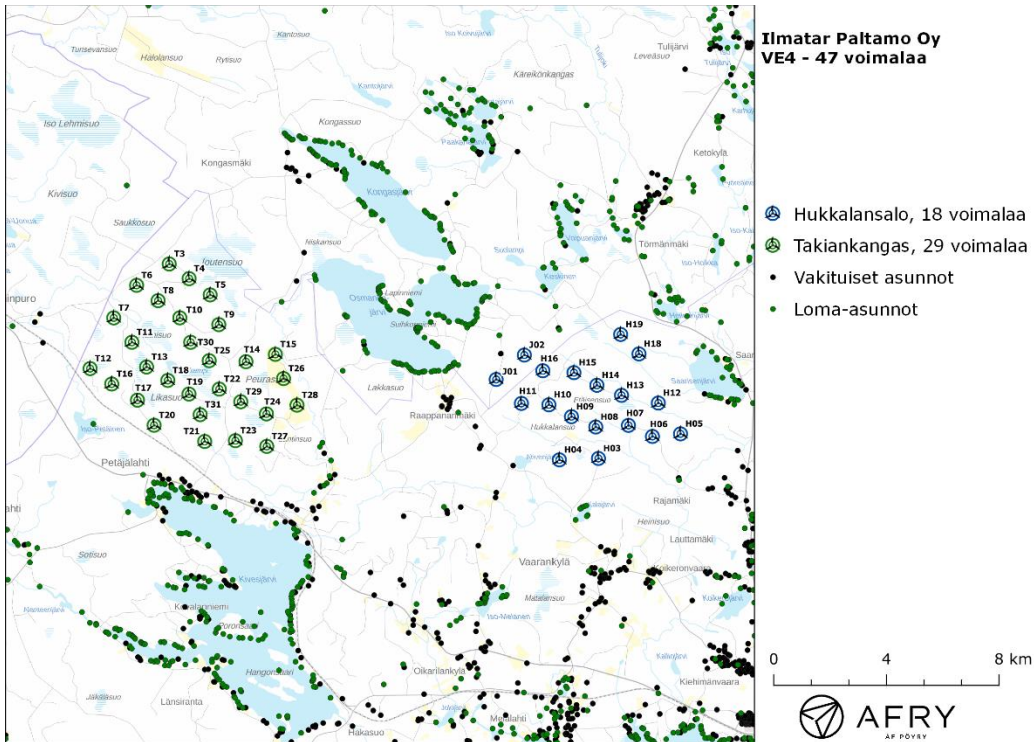
Kuva 3: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen alueella toteutusvaihtoehdolla VE1.



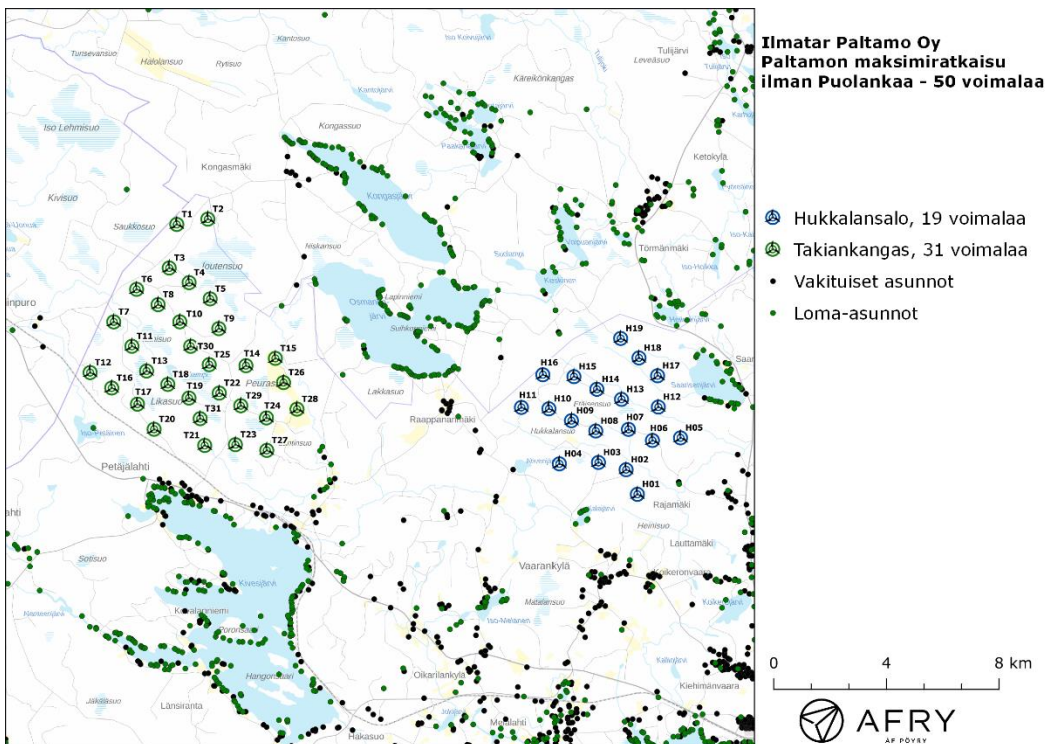
Kuva 4: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen alueella toteutusvaihtoehdolla VE2.



Kuva 5: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen alueella toteutusvaihtoehdolla VE3.



Kuva 6: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen alueella toteutusvaihtoehdolla VE4.



Kuva 7: Tuulivoimaloiden sijainnit Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen alueella maksimiratkaisulla ilman Puolankaa.

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.

Tässä selvityksessä välkelaskennat mallinnetaan molempien tilanteiden mukaisesti.

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 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 [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. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja sekä teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa Saksan 30 tunnin raja-arvoa.

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 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 1,5 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.

Väkelaskennoissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, jonka pituus on kasvatettu 125 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 5,0 m (162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 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-alueiden keskeltä korkeudelta 200 m,

ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-Taulukko 4).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 5). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3: Hukkalansalon 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	0,167	0,166	0,152	0,165	0,134	0,146

Taulukko 4: Takiankankaan 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	0,177	0,156	0,150	0,159	0,140	0,150

Taulukko 5: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

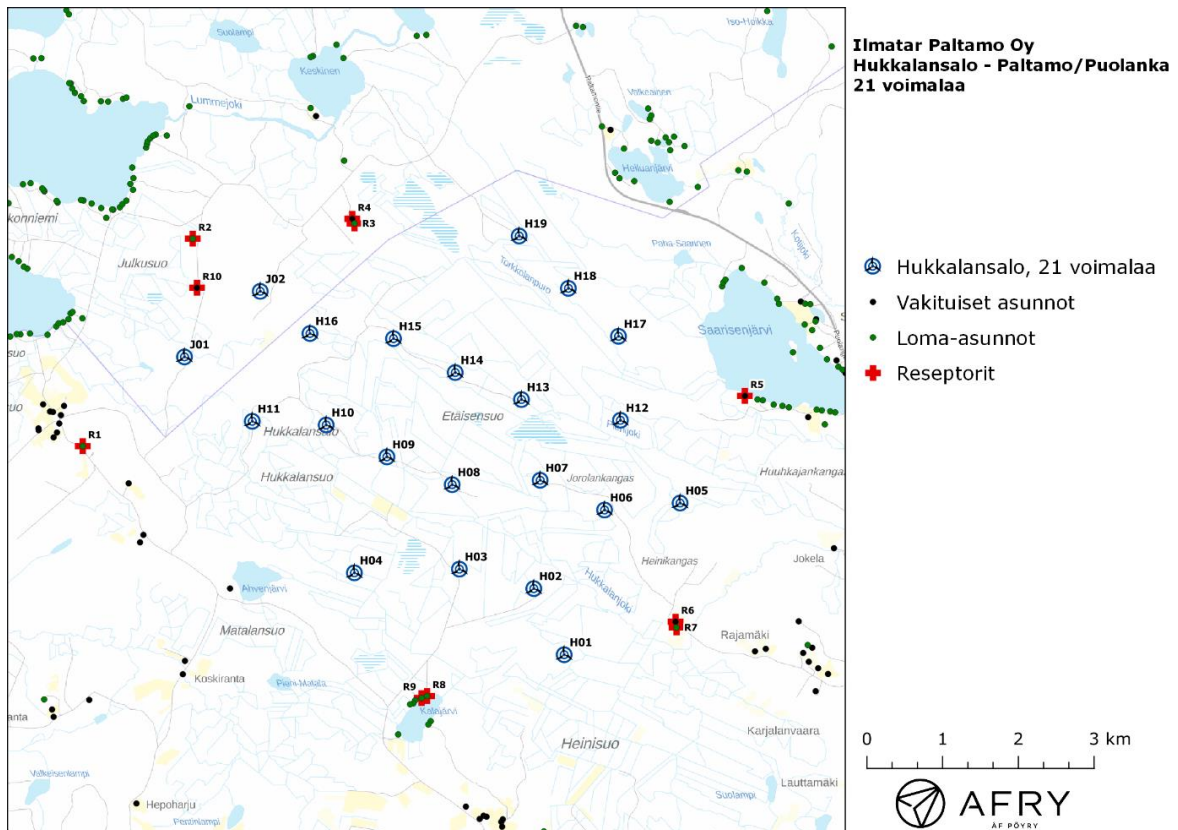
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

3.2 Hukkalansalon välke

Hukkalansalon tuulivoimaloiden ympäristöstä on määritelty kymmenen vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 8) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 6). Reseptoripiste R10 sijaitsee noin 800 metrin etäisyydellä lähimmästä voimalasta. Muut reseptoripisteet sijaitsevat noin 1,1-1,8 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 6: Hukkalansalon vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	528600	7153212	257	lomarakennus
R2	530053	7155948	210	lomarakennus
R3	532187	7156149	210	lomarakennus
R4	532158	7156209	211	vakituinen asuinrakennus
R5	537342	7153874	166	vakituinen asuinrakennus
R6	536427	7150896	167	vakituinen asuinrakennus
R7	536439	7150820	165	lomarakennus
R8	533145	7149915	192	lomarakennus
R9	533074	7149889	194 </td <td>lomarakennus</td>	lomarakennus
R10	530108	7155300	203	vakituinen asuinrakennus



Kuva 8: Reseptoreiden paikat Hukkalansalon tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2.1 Todennäköinen välkevaikutus

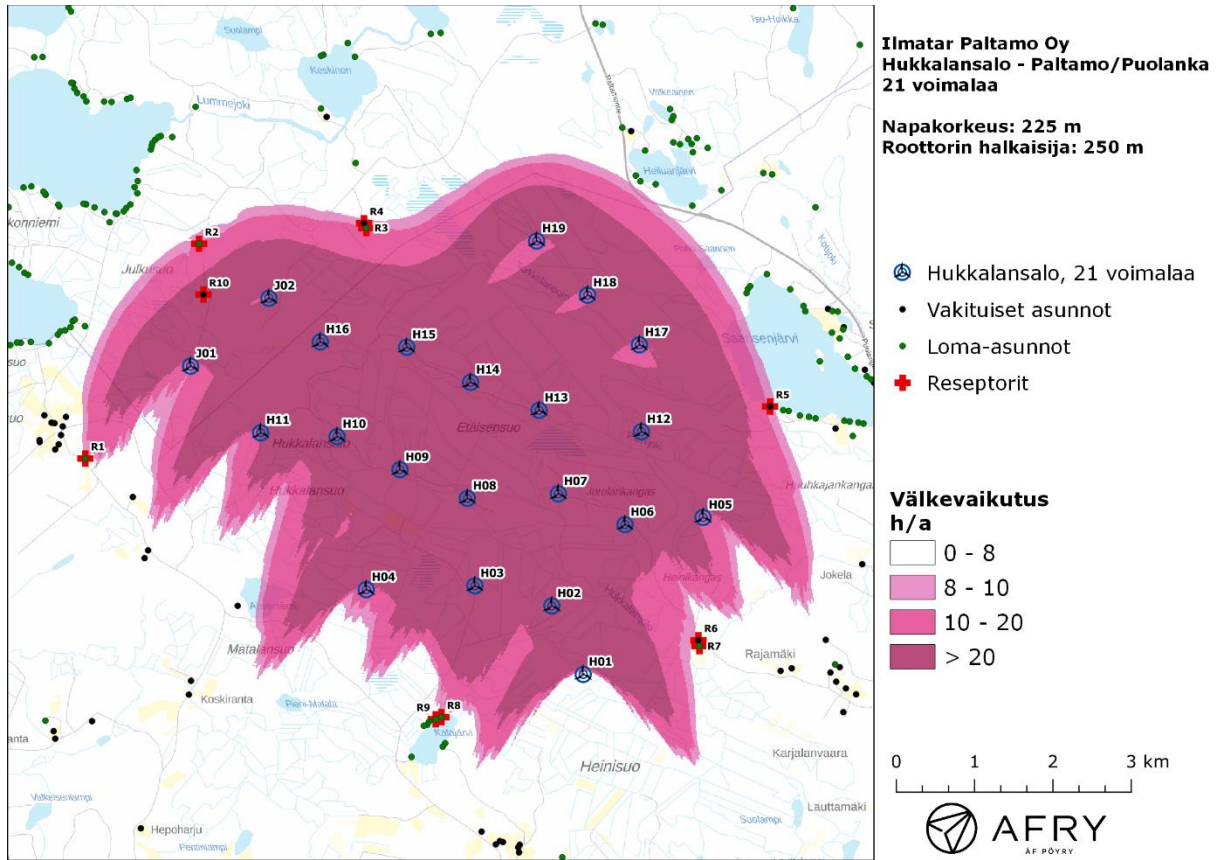
Mallinnetut arviot todennäköisten väletuntien vuotuisesta määrästä eri sijoitussuunnitelmilla on esitetty karttakuvina (Kuva 9 - Kuva 11) Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon viiden lähialueen rakennuksen kohdalla (21 voimalaa), yhden lähialueen rakennuksen kohdalla (19 voimalaa) sekä neljän lähialueen rakennuksen kohdalla (18 voimalaa). Vuotuiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptoreiden kohdilla on lueteltu sijoitussuunnitelmittain taulukoissa (Taulukko 7 - Taulukko 9).

21 voimalan ja 18 voimalan sijoitussuunnitelmissa reseptoripisteisiin R3 ja R4 vaikuttavat eniten turbiinit H15, H16 sekä JO2. Jotta välkevaikutukset saadaan pysymään alle 8 tunnin ohjearvon, kyseiset voimalat voidaan varustaa välkkeenhallintatyökalulla tai vaihtoehtoisesti niiden roottorin halkaisijoita voidaan pienentää.

21 voimalan ja 19 voimalan sijoitussuunnitelmissa reseptoripisteeseen R5 vaikuttavat eniten turbiinit H05, H12 ja H17. Jotta välkevaikutukset saadaan pysymään alle 8 tunnin ohjearvon, kyseiset voimalat voidaan varustaa välkkeenhallintatyökalulla tai vaihtoehtoisesti niiden roottorin halkaisijoita voidaan pienentää.

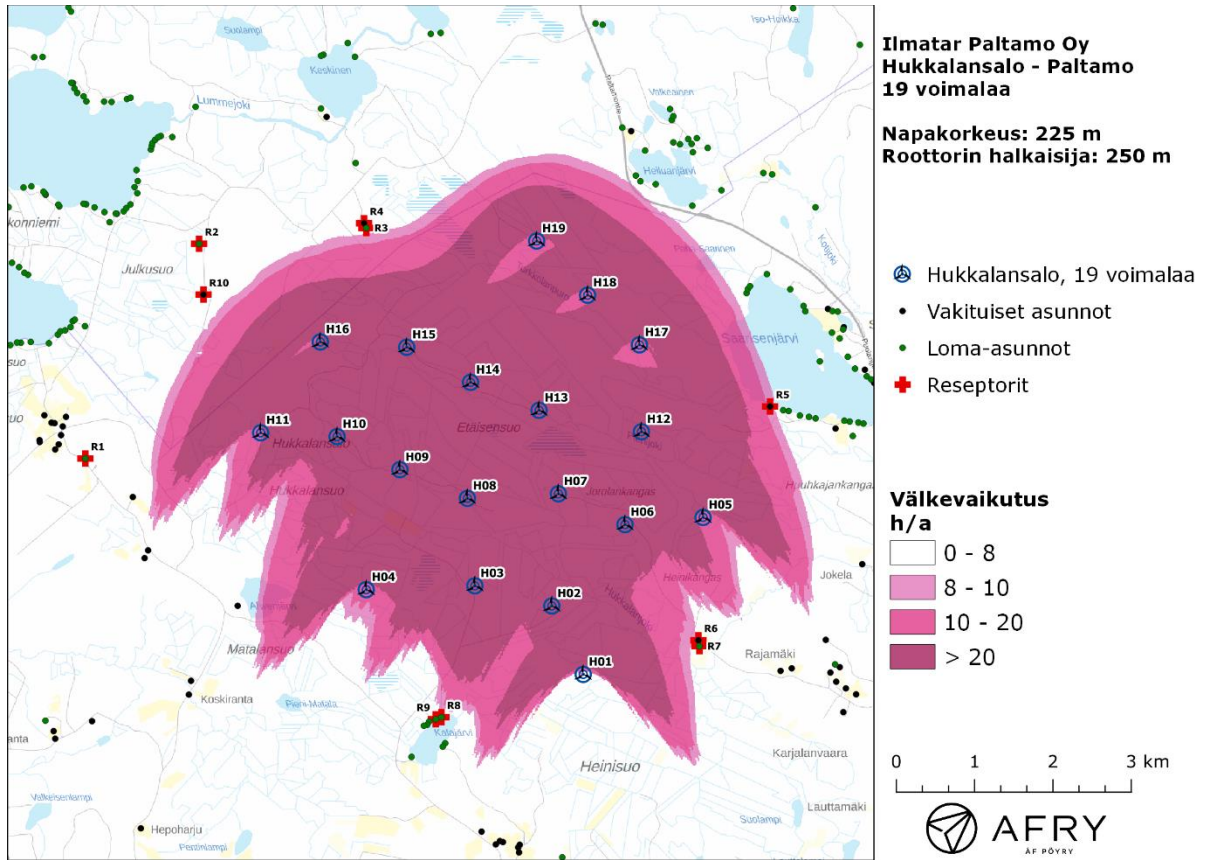
Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon reseptorien kohdalla kaikilla kolmella sijoitussuunnitelmalla. Taulukoissa (Taulukko 10 - Taulukko 14) on esitetty välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R2, R3, R4, R5 ja R10 kohdalla 21 voimalan sijoitussuunnitelmalla. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 9: Hukkalansalon tuulivoimaloiden aiheuttamien todennäköisten välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta 21 voimalan sijoitus suunnitelmalla.

Taulukko 7: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (21 voimalaa).

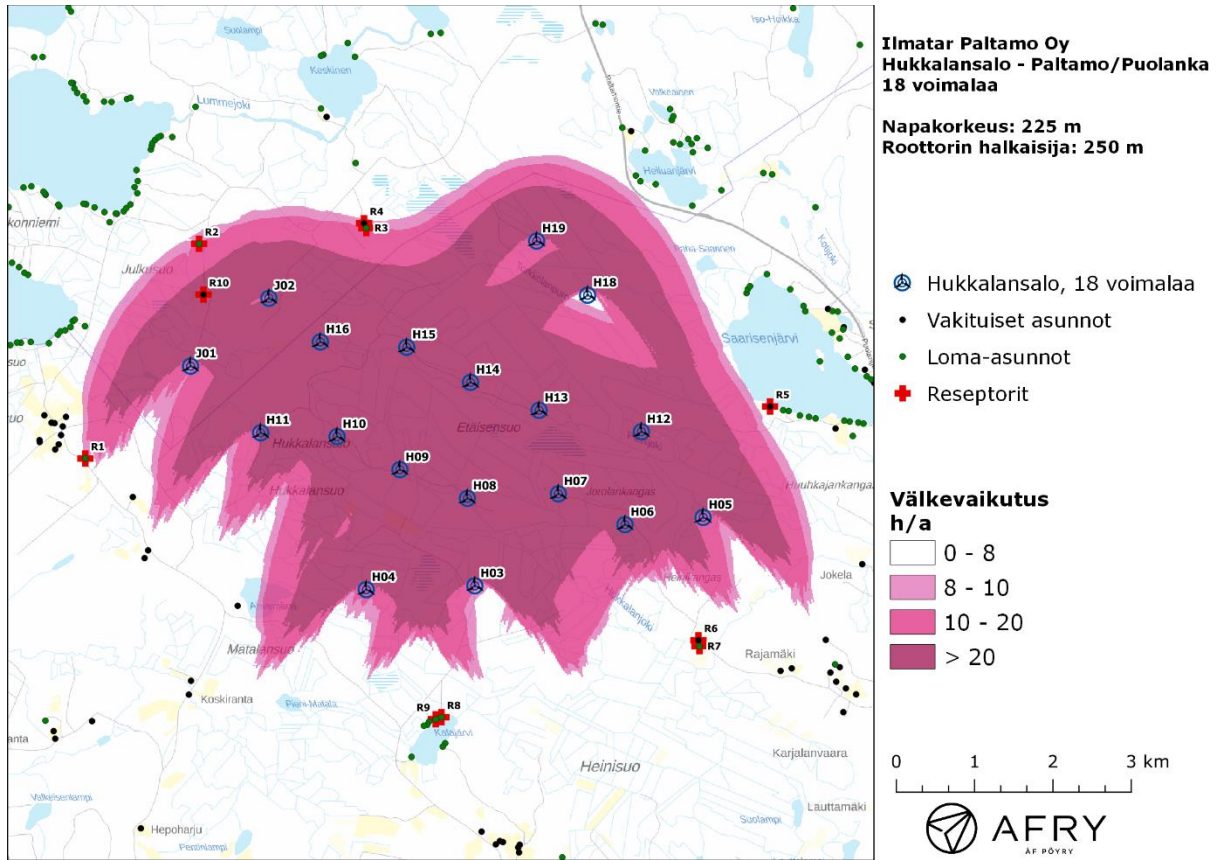
Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	7:21	9
R2	9:59	12
R3	9:55	13
R4	8:43	13
R5	9:11	10
R6	7:24	8
R7	7:09	8
R8	7:06	8
R9	6:35	7
R10	34:05	23



Kuva 10: Hukkalansalon tuulivoimaloiden aiheuttamien todennäköisten välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta 19 voimalan sijoitussuunnitelmalla.

Taulukko 8: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (19 voimalaa).

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	0:35	4
R2	1:04	4
R3	6:58	13
R4	5:54	13
R5	9:11	10
R6	7:24	8
R7	7:09	8
R8	7:06	8
R9	6:35	7
R10	3:58	7



Kuva 11: Hukkalansalon tuulivoimaloiden aiheuttamien todennäköisten välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta 18 voimalan sijoitussuunnitelmalla.

Taulukko 9: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (18 voimalaa).

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	7:21	9
R2	9:59	12
R3	9:55	13
R4	8:43	13
R5	5:55	7
R6	1:57	4
R7	1:39	3
R8	0:00	0
R9	0:00	0
R10	34:05	23

Taulukko 10: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R2 kohdalla (21 voimaa).

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	0:11	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23	0:00	0:38	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	3:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:41
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	1:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:58	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:13
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	7:10	0:26	2:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:59

Taulukko 11: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R3 kohdalla (21 voimaa).

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	0:01	0:27	0:24	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	1:10	1:04	0:23	0:04	0:00	0:00	0:00	2:50
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:22	0:00	0:00	0:00	1:12	0:25	0:00	0:00	0:00	1:59
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
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	0:26	0:00	0:00	0:00	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:26	0:56	0:00	0:00	0:00	0:00	1:34
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:50	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:51
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	0:55	0:20	2:38	2:45	2:48	0:29	0:00	0:00	0:00	9:55

Taulukko 12: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R4 kohdalla (21 voimaa).

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	0:01	0:27	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:58	1:07	0:22	0:00	0:00	0:00	0:00	2:33
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:00	0:00	1:20	0:01	0:00	0:00	0:00	1:47
Huhtikuu	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
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	0:24	0:00	0:00	0:00	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:17	1:04	0:00	0:00	0:00	0:00	1:27
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:47	0:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:41
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	0:51	0:16	2:18	2:28	2:49	0:01	0:00	0:00	0:00	8:43

Taulukko 13: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R5 kohdalla (21 voimaa).

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	1:40	0:00	0:00	0:00	0:00	1:40
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:06	0:00	0:00	0:00	1:06
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:04	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	1:55	0:00	0:00	1:55
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	0:26	0:02	0:00	0:28
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:11	0:09	0:00	1:20
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:11	0:00	0:00	0:00	1:11
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:21	0:34	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
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	0:28	2:23	2:32	3:37	0:11	0:00	9:11

Taulukko 14: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R10 kohdalla (21 voimaa).

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	0:13	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:34	4:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:09
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:05	0:06	0:00	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:58
Huhtikuu	0:00	0:00	0:42	4:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:17
Toukokuu	0:00	0:00	1:50	3:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:34
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	0:53	1:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:16
Elokuu	0:00	0:00	1:18	5:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:13
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	1:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:18
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:03	0:12	0:02	2:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:10
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	1:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:33
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	4:44	18:03	0:32	1:18	9:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	34:05

3.2.2 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla eri sijoitussuunnitelmissa on lueteltu taulukoissa (Taulukko 15 - Taulukko 17). Teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvon ylityksiä tulee useamman kiinteistön kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan 30 tunnin vuotuisen ja 30 minuutin päiväkohtaiseen raja-arvoon.

Saksan ohjearvot teoreettiselle maksimivälkkeelle eivät sovellu hyvin Suomen olosuhteisiin, sillä Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa pimeimpään vuodenaikaan aurinko paistaa matalalta, mikä voi synnyttää paikoitellen suurta teoreettista maksimivälkettä, vaikka talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen. Toisinaan myös Suomen kesä- ja heinäkuun auringonnousut ja -laskut voivat aiheuttaa joinakin päivinä teoreettisesti suuria päiväkohtaisia välkeajoja. Todennäköisyys sille, että juuri noina päivinä voimat aiheuttavat maksimaalisen välkkeen on alhainen. Lisäksi auringonnousun ja -laskun aikaan paiste on hyvin viistoa, jolloin puusto voi vähentää välkevaikutusta merkittävästi.

Taulukko 15: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (21 voimalaa).

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	26:15	31
R2	56:02	52
R3	70:27	16
R4	62:22	18
R5	45:37	35
R6	30:55	35
R7	29:53	35
R8	26:09	30
R9	23:41	33
R10	169:49	33

Taulukko 16: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (19 voimalaa).

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	2:23	14
R2	8:35	20
R3	54:34	16
R4	46:39	18
R5	45:37	35
R6	30:55	35
R7	29:53	35
R8	26:09	30
R9	23:41	33
R10	25:05	33

Taulukko 17: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (18 voimalaa).

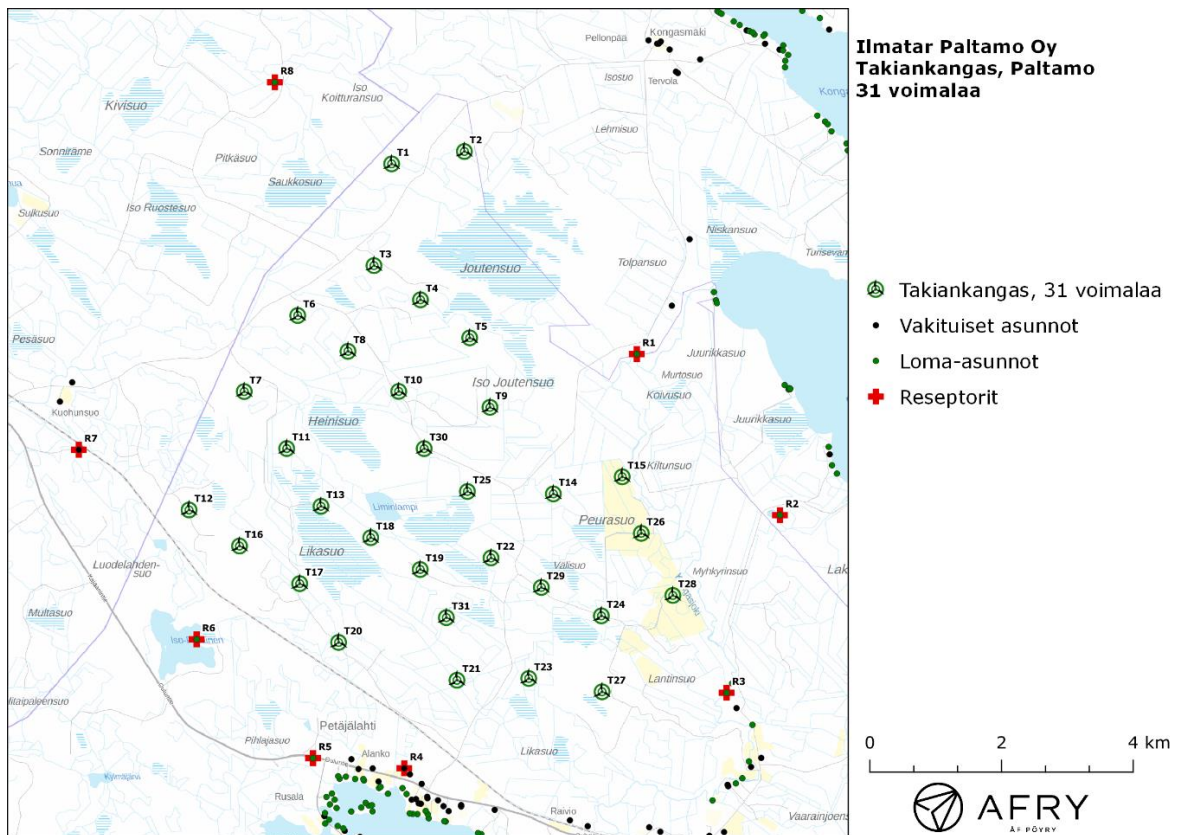
Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	26:15	31
R2	56:02	52
R3	70:27	16
R4	62:22	18
R5	32:56	34
R6	7:17	15
R7	6:12	14
R8	0:00	0
R9	0:00	0
R10	169:49	33

3.3 Takiankankaan välke

Takiankankaan tuulivoimaloiden ympäristöstä on määritelty kahdeksan vertailukiinteistöjä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 12) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 18). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään noin 1,5-2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 18: Takiankankaan vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	522327	7157138	163	lomarakennus
R2	524499	7154695	168	lomarakennus
R3	523690	7152002	146	lomarakennus
R4	518796	7150857	145	vakituinen asuinrakennus
R5	517410	7151011	142	lomarakennus
R6	515644	7152812	154	lomarakennus
R7	513855	7155686	138	vakituinen asuinrakennus
R8	516831	7161260	145	lomarakennus



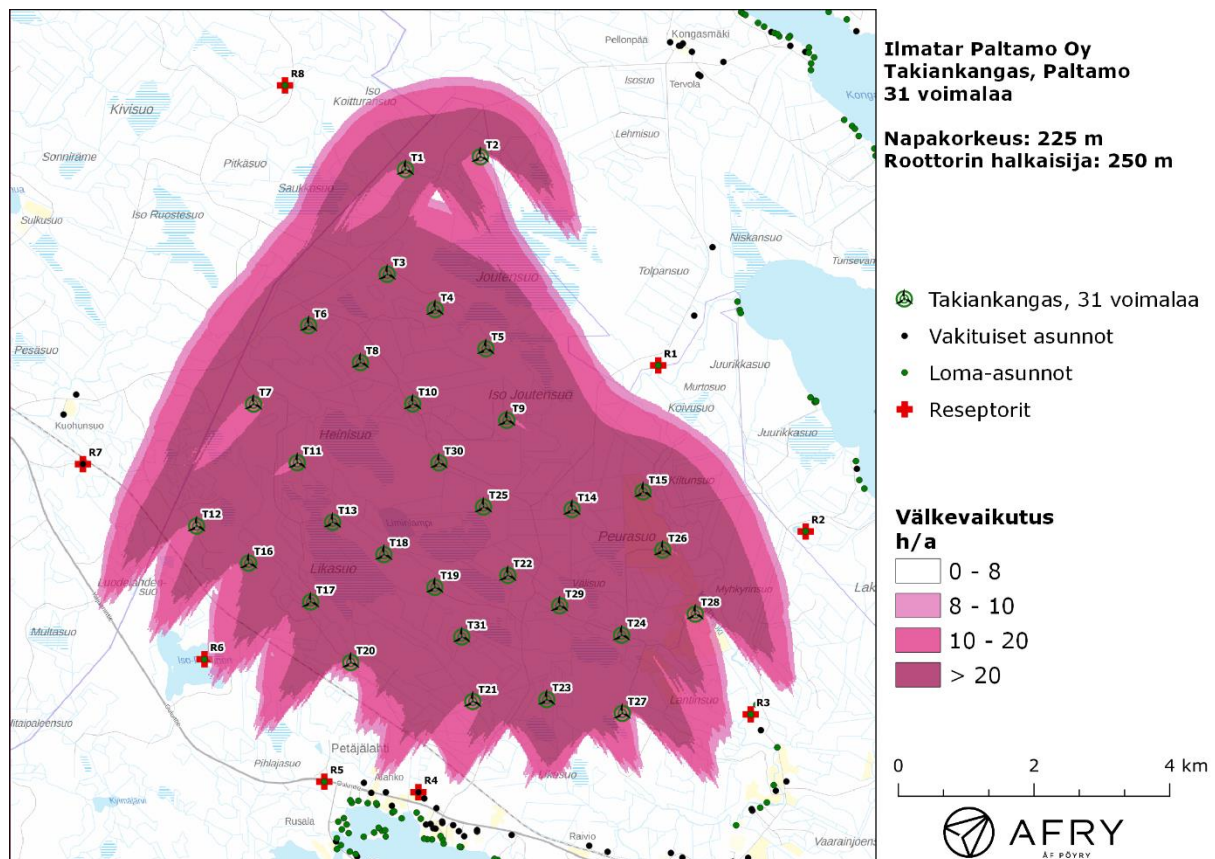
Kuva 12: Reseptoreiden paikat Takiankankaan tuulivoimapuiston hankealueella.

3.3.1 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä eri sijoitussuunnitelmilla on esitetty karttakuvissa (Kuva 13 - Kuva 14). 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.

Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen kiinteistöjen kohdalla molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Päiväkohtainen välkeaika jää myös alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 19 - Taulukko 20).

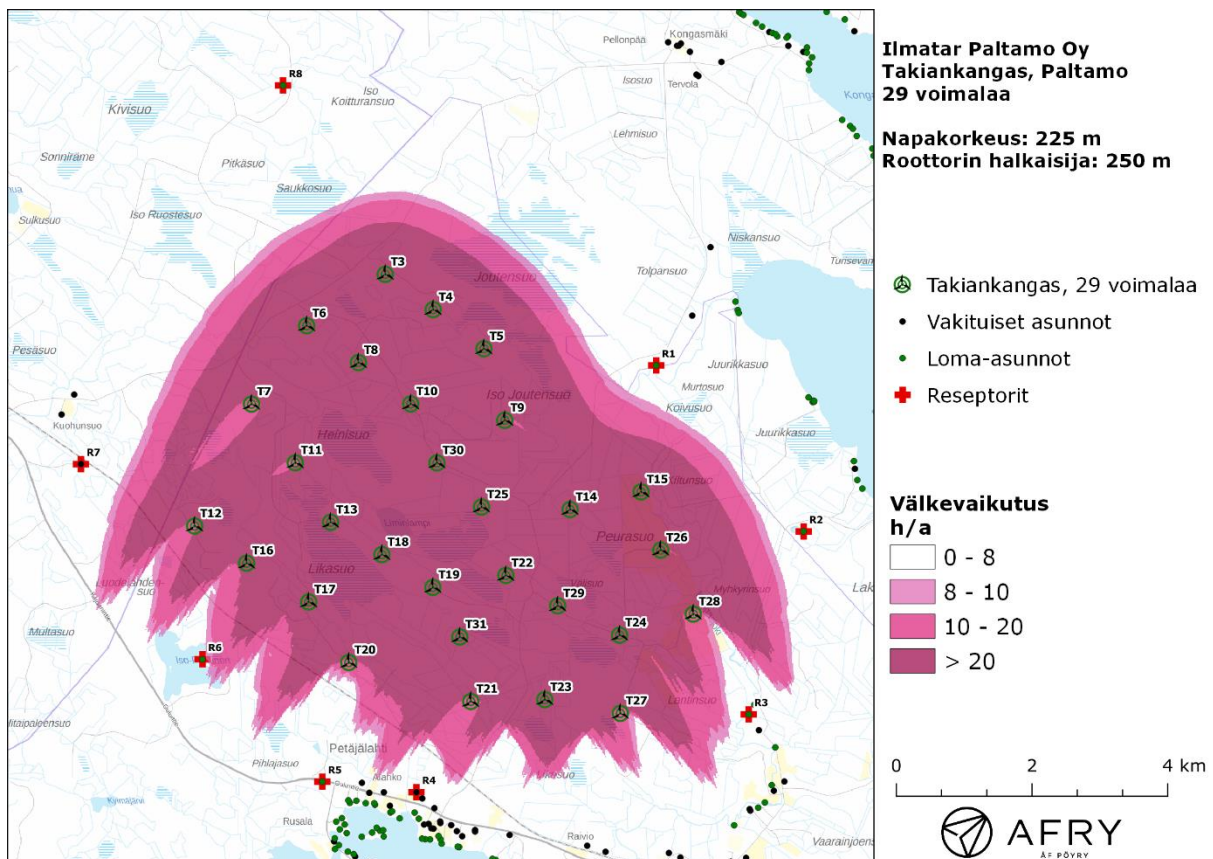
Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R6 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 21). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 13: Takiankankaan tuulivoimaloiden aiheuttamien todennäköisten välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta 31 voimalan sijoitussuunnitelmalla.

Taulukko 19: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (31 voimalaa).

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	3:12	5
R2	2:44	4
R3	3:32	6
R4	1:46	5
R5	0:53	4
R6	5:19	8
R7	1:51	5
R8	0:48	4



Kuva 14: Takiankankaan tuulivoimaloiden aiheuttamien todennäköisten välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta 29 voimalan sijoitussuunnitelmalla.

Taulukko 20: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (29 voimaa).

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	3:12	5
R2	2:44	4
R3	3:32	6
R4	1:46	5
R5	0:53	4
R6	5:19	8
R7	1:51	5
R8	0:00	0

Taulukko 21: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R6 kohdalla 31 ja 29 voimalan sijoitus-suunnitelmilla.

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	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Toukokuu	0:00	0:00	2:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:14
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	1:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:12
Elokuu	0:00	0:00	0:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Syyskuu	0:00	0:00	0:02	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
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	4:21	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:19

3.3.2 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla eri sijoitus suunnitelmilla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 22 - Taulukko 23). Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus jää alle Saksan 30 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo ylittää Saksan 30 minuutin ohjearvon yhdellä minuutilla reseptorin R1 kohdalla.

Saksan ohjearvot teoreettiselle maksimivälkkeelle eivät sovellu hyvin Suomen olosuhteisiin, sillä Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa pimeimpään vuodenaikaan aurinko paistaa matalalta, mikä voi synnyttää paikoitellen suurta teoreettista maksimivälkettä, vaikka talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen. Toisinaan myös Suomen kesä- ja heinäkuun auringonnousut – ja laskut voivat aiheuttaa joinakin päivinä teoreettisesti suuria päiväkohtaisia välkeajoja. Todennäköisyys sille, että juuri noina päivinä voimat aiheuttavat maksimaalisen välkkeen on alhainen. Lisäksi auringonnousun ja -laskun aikaan paiste on hyvin viistoa, jolloin puusto voi vähentää välkevaikutusta merkittävästi. Näiden seikkojen vuoksi yhden minuutin teoreettisen päiväkohtaisen maksimivälkeajan ylitystä ei voida pitää merkittävänä.

Taulukko 22: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (31 voimalaa).

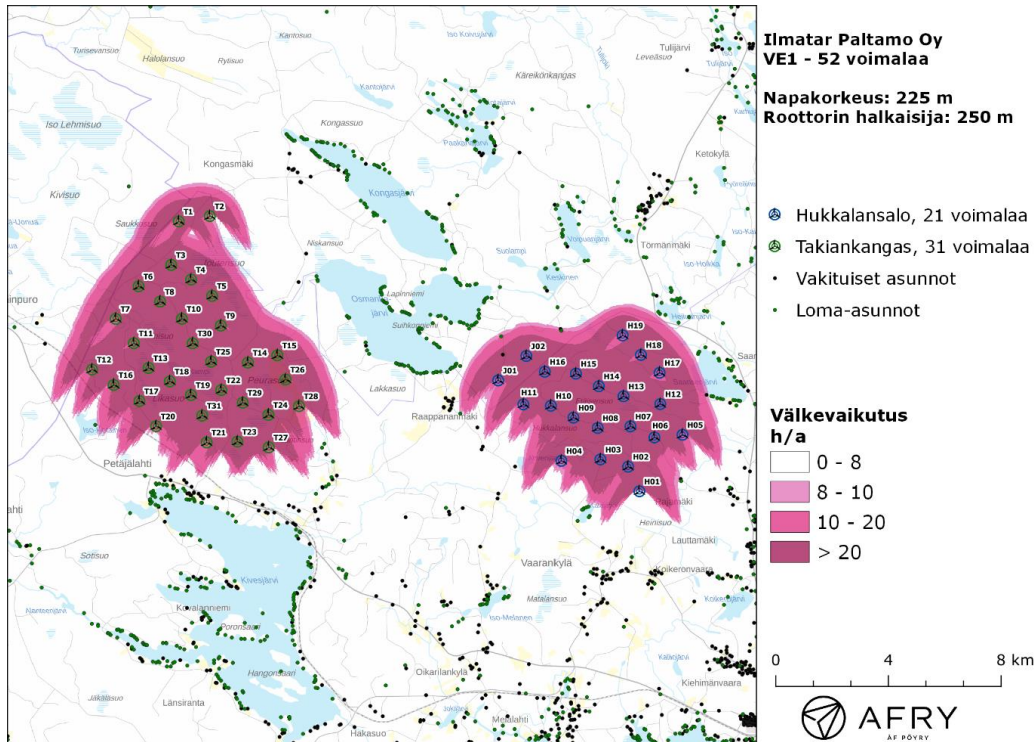
Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	22:42	31
R2	13:55	20
R3	14:32	23
R4	6:24	16
R5	3:25	13
R6	20:54	28
R7	9:29	25
R8	4:47	17

Taulukko 23: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla (29 voimalaa).

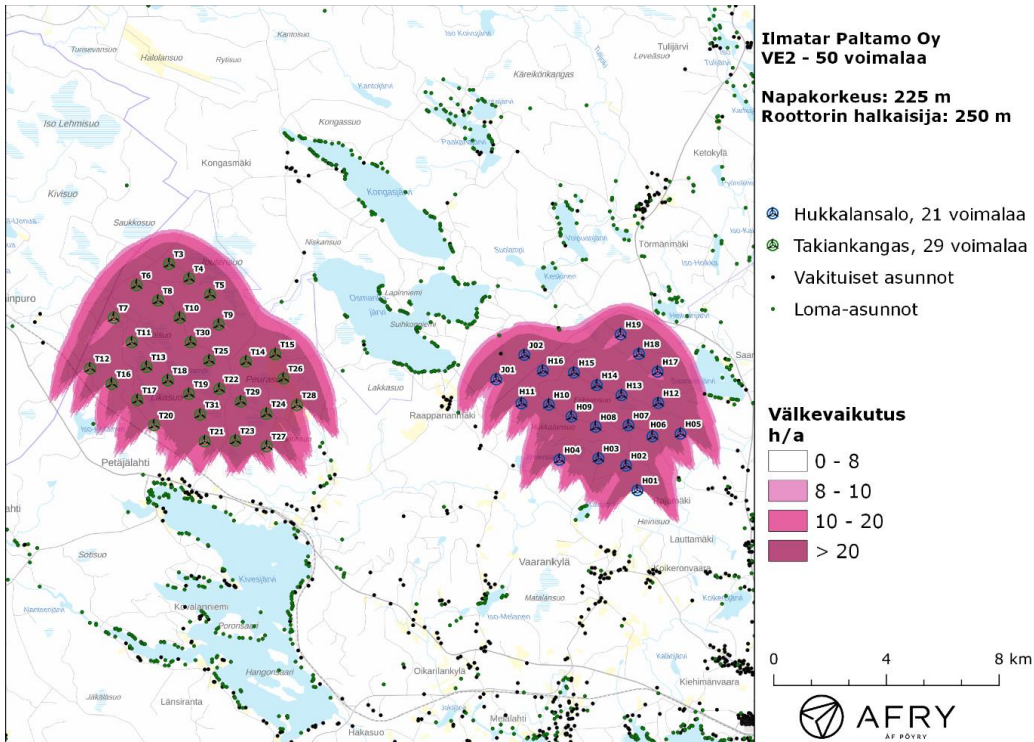
Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	22:42	31
R2	13:55	20
R3	14:32	23
R4	6:24	16
R5	3:25	13
R6	20:54	28
R7	9:29	25
R8	0:00	0

3.4 YVA-ohjelman toteutusvaihtoehtojen välke

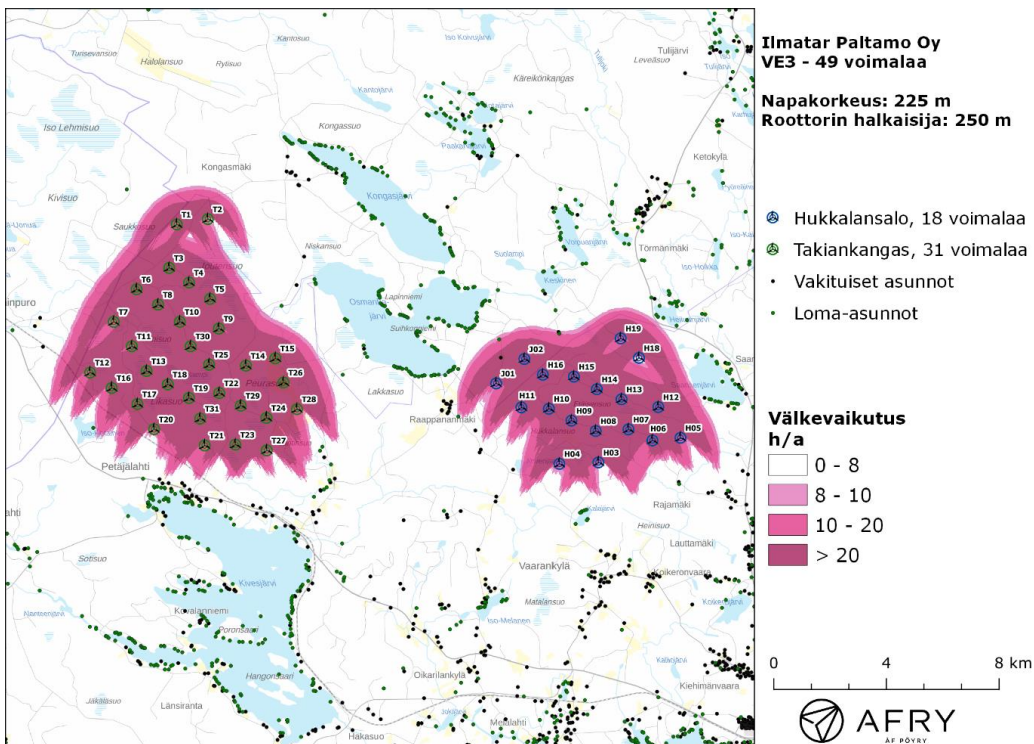
Tässä kappaleessa on koottuna YVA-ohjelman eri toteutusvaihtoehtojen todennäköiset välkevaikutukset karttakuviksi (Kuva 15 - Kuva 19). Hukkalansalon ja Takiankankaan todennäköiset välkevaikutukset sekä tarkemmat analysit mallinnustuloksista on esitetty aiemmin kappaleissa (3.2.1 ja 3.3.1.).



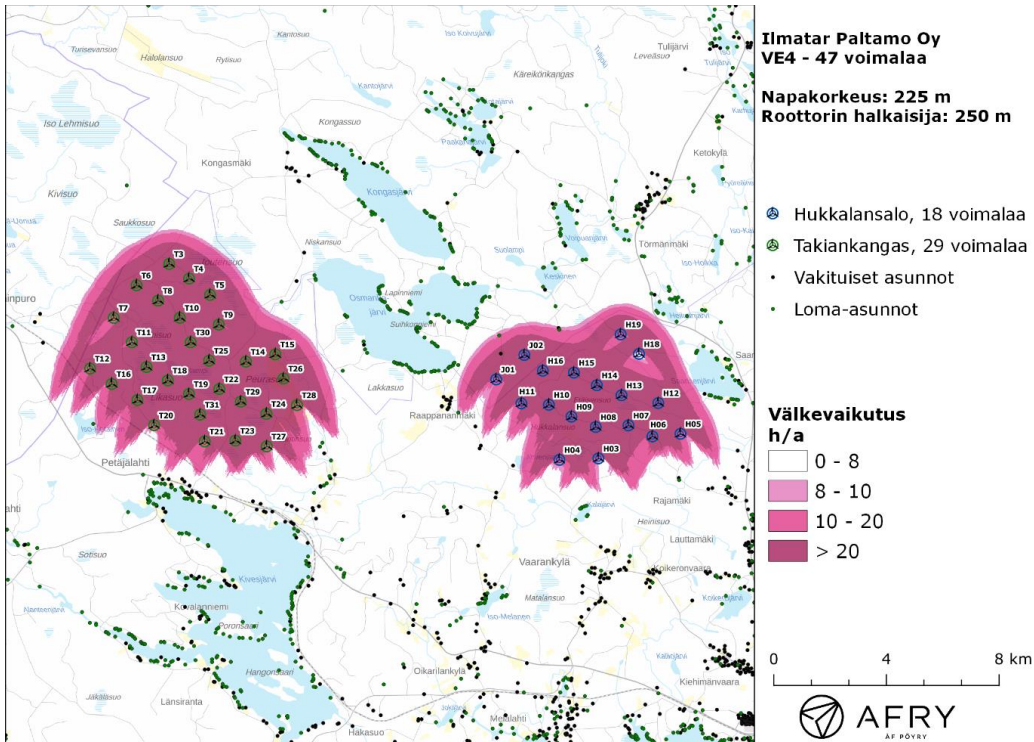
Kuva 15: Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen toteutusvaihtoehdon VE1 todennäköinen välkevaikutus.



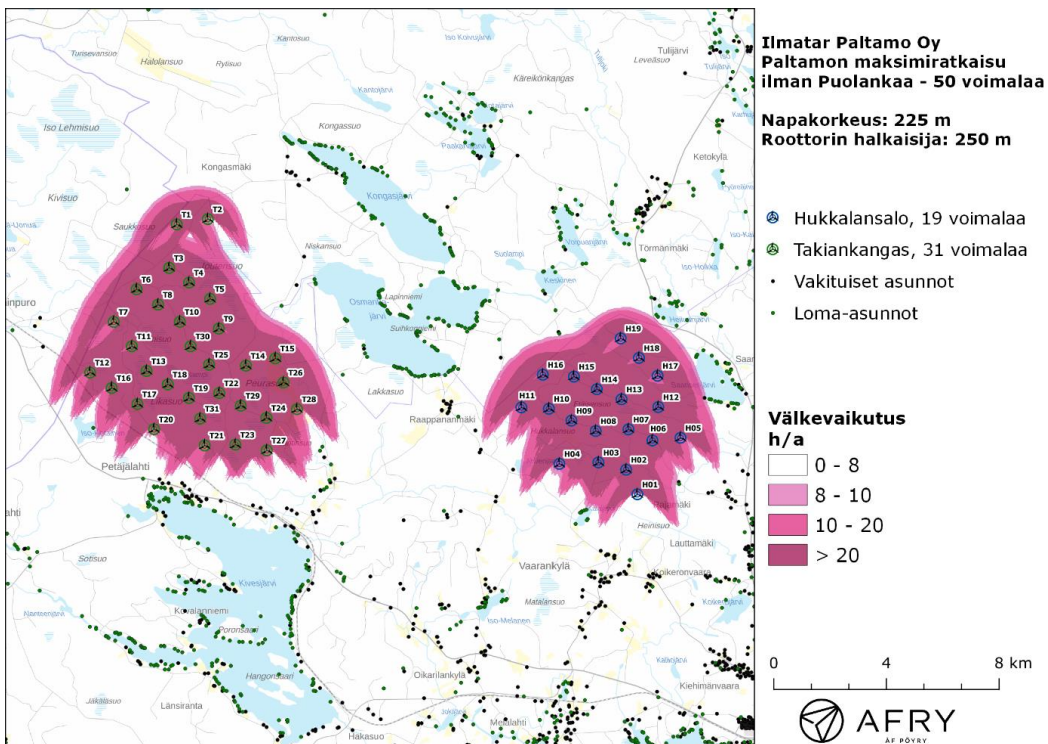
Kuva 16: Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen toteutusvaihtoehdon VE2 todennäköinen välkevaikutus.



Kuva 17: Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen toteutusvaihtoehdon VE3 todennäköinen välkevaikutus.



Kuva 18: Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen toteutusvaihtoehdon VE4 todennäköinen välkevaikutus.



Kuva 19: Takiankankaan ja Hukkalansalon tuulivoimahankkeen maksimiratkaisun todennäköinen välkevaikutus ilman Puolankaa.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Paltamon ja Puolangan kuntien alueelle suunniteltujen Hukkalansalon ja Takiankankaan tuulivoimapuistojen ympäristölleen aiheuttamat välkevaikutusten laskennalliset arviot. Vaikutusten arviointi tehtiin Hukkalansalon kolmelle sijoitteluvaihtoehdolle ja Takiankankaan kahdelle sijoitteluvaihtoehdolle. Lisäksi raportissa esitettiin YVA-ohjelman eri toteutusvaihtoehdot ja niiden välkevaikutukset karttakuvina.

Hukkalansalon mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin raja-arvon viiden lähialueen rakennuksen kohdalla 21 voimalan sijoitussuunnitelmalla. 19 voimalan sijoitussuunnitelmalla välkevaikutukset ylittävät 8 tunnin raja-arvon yhden lähialueen rakennuksen kohdalla. 18 voimalan sijoitussuunnitelmalla vuotuiset välkevaikutukset ylittävät 8 tunnin raja-arvon neljän ympäristössä sijaitsevan rakennuksen kohdalla. Päiväkohtainen maksimivälke aika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikilla sijoitussuunnitelmilla.

Takiankankaan mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus alittaa 8 tunnin raja-arvon kaikkien lähialueen kiinteistöjen kohdalla molemmilla sijoitussuunnitelmilla. Myös päiväkohtainen maksimivälke aika jää alle 30 minuutin.

Koska Hukkalansalon ja Takiankankaan hankkeiden lähimmät voimalat sijaitsevat toisistaan noin seitsemän kilometrin etäisyydellä, voitiin hankkeiden välkevaikutuksia tarkastella erikseen. Jokaisessa YVA-ohjelman toteutusvaihtoehdoissa tulee välkkeen 8 tunnin raja-arvon ylityksiä, jotka johtuvat pelkästään Hukkalansalon voimaloista. Välkevaikutuksia voidaan vähentää varustamalla kriittiset voimalat välkkeenhallintatyökalulla tai vaihtoehtoisesti niiden roottorin halkaisijoita voidaan pienentää.

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 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 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.

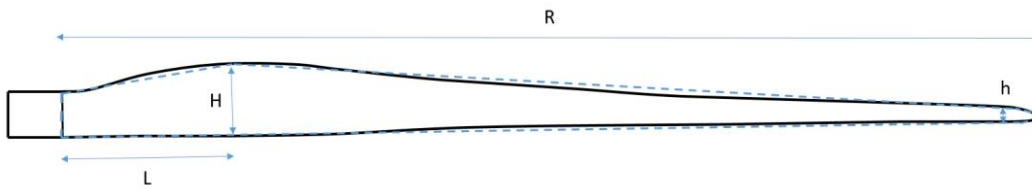
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 20) 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 20: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomiotava 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 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.