



Ilmatar Paltamo Oy

Hukkalansalon tuulivoimapuiston välkeselvitys

101021368-028, 06.08.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Ilmatar Paltamo Oy
Ville Huovinen

Päivämäärä
06/08/2024

Projektinumero
101021368-028

Raportin tila
LUONNOS

Hukkalansalon tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	08.12.2022/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	08.12.2022/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen (200_304.014.001)
002	06.08.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	06.08.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Layout muuttunut. Huomioitu yhteisvaikutukset Varsavaaran kanssa.

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

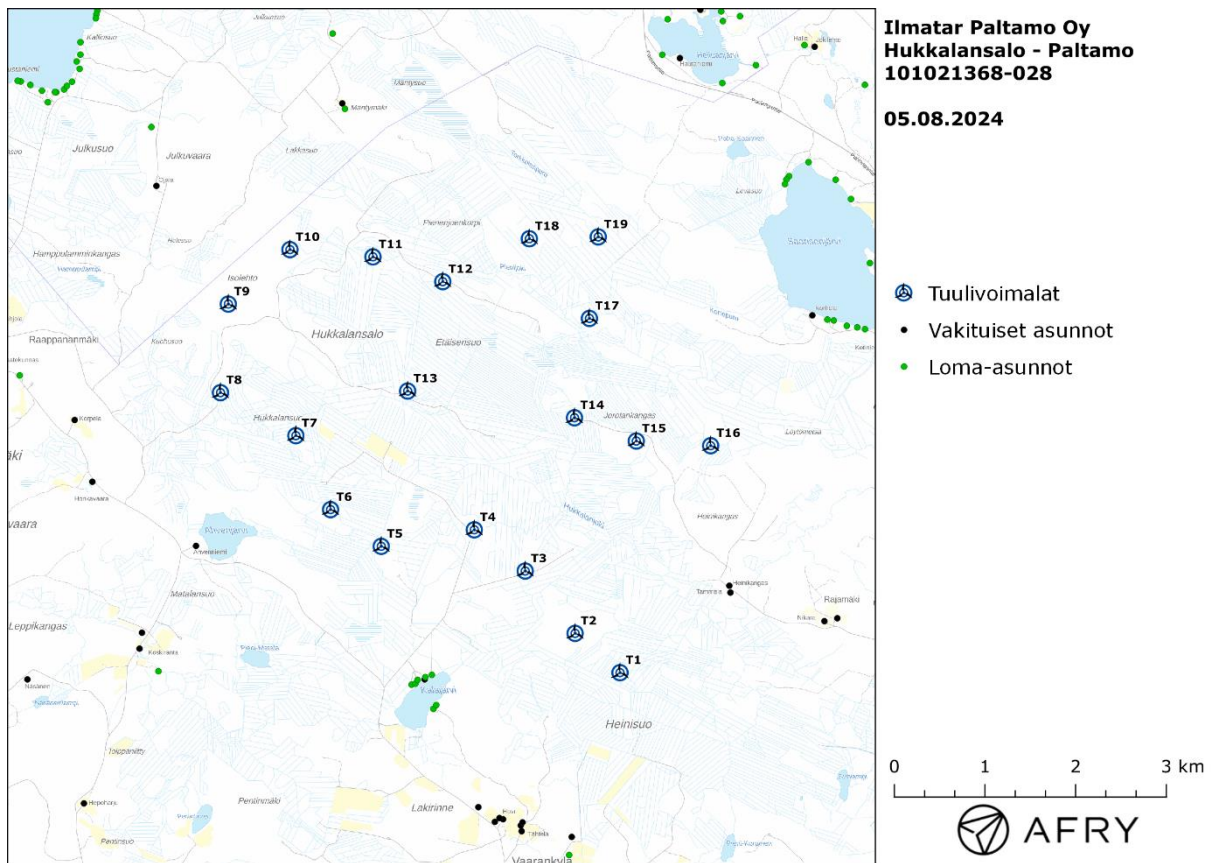
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	14
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	16
4	Yhteenveto	20
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	21
6	Viitteet.....	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Paltamon kunnan alueelle suunnitellun Hukkalansalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 19 voimalan sijoitus-suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 220 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 110 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 lisäksi Hukkalansalon ja naapuripuisto Varsavaaran välkkeen yhteisvaikutukset. Yhteisvaikutuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Hukkalansalon hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (19 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	535220	7149940	176
T2	534725	7150373	182
T3	534174	7151060	174
T4	533613	7151514	172
T5	532587	7151331	178
T6	532028	7151736	177
T7	531645	7152551	177
T8	530814	7153024	186
T9	530900	7154000	203
T10	531580	7154600	198
T11	532496	7154520	188
T12	533265	7154247	176
T13	532878	7153042	172
T14	534718	7152748	170
T15	535400	7152491	175
T16	536220	7152440	168
T17	534883	7153842	169
T18	534220	7154720	173
T19	534980	7154740	174

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 Oulun sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 120 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. 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 todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 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 200 m ja roottorin halkaisijaa 220 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 220 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan 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 tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa tuulivoimalat 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 tuulivoimalan käyntinopeusväliille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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 3). Suuntaakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,167	0,166	0,152	0,165	0,134	0,146

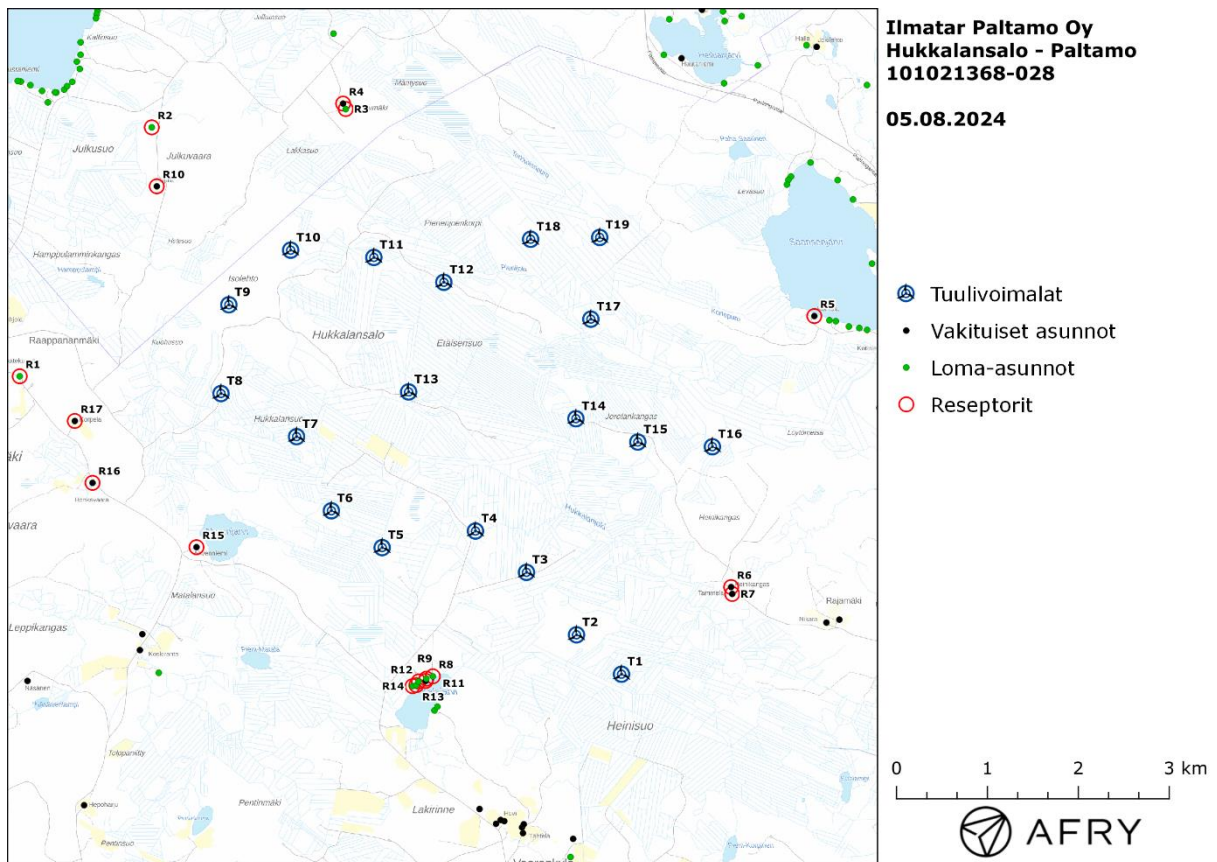
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 17 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1,5-2,2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	528600	7153212	256	lomarakennus
R2	530053	7155948	209	lomarakennus
R3	532187	7156149	209	lomarakennus
R4	532158	7156209	211	vakituinen asuinrakennus
R5	537342	7153874	166	vakituinen asuinrakennus
R6	536427	7150896	167	vakituinen asuinrakennus
R7	536439	7150820	165	vakituinen asuinrakennus
R8	533145	7149915	191	lomarakennus
R9	533074	7149889	193	lomarakennus
R10	530108	7155300	203	vakituinen asuinrakennus
R11	533066	7149864	191	vakituinen asuinrakennus
R12	532989	7149858	191	lomarakennus
R13	532964	7149818	189	lomarakennus
R14	532922	7149807	190	lomarakennus
R15	530545	7151334	195	vakituinen asuinrakennus
R16	529401	7152041	227	vakituinen asuinrakennus
R17	529206	7152721	233	vakituinen asuinrakennus



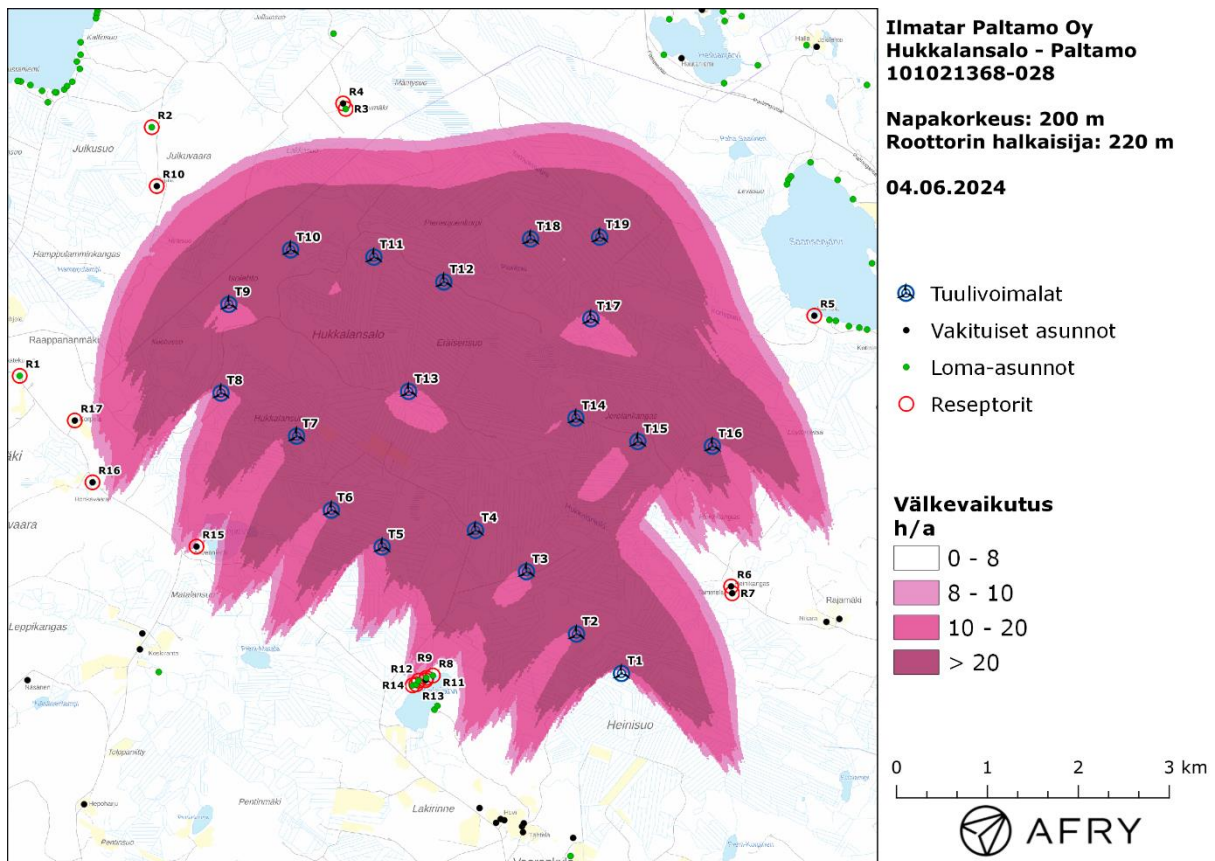
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

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

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R9 ja R15 kohdalla on esitetty taulukoissa 6-7. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



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

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi
R1	0:23	0:03
R2	0:55	0:02
R3	4:09	0:12
R4	3:39	0:11
R5	2:23	0:04
R6	5:47	0:07
R7	5:44	0:07
R8	7:14	0:08
R9	7:27	0:08
R10	3:52	0:05
R11	7:02	0:08
R12	7:25	0:10
R13	6:52	0:08
R14	6:55	0:08
R15	7:59	0:09
R16	5:13	0:08
R17	4:24	0:08

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R9 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	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03
Huhtikuu	0:00	0:00	1:14	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:36
Toukokuu	0:00	0:15	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18
Kesäkuu	0:00	2:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:30
Heinäkuu	0:00	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:29
Elokuu	0:00	0:00	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Syyskuu	0:00	0:00	0:03	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19
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	4:14	2:30	0:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:27

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R15 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	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Huhtikuu	0:00	0:00	1:41	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:05
Toukokuu	0:00	0:05	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
Kesäkuu	0:00	2:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:15
Heinäkuu	0:00	1:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08
Elokuu	0:00	0:00	1:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43
Syyskuu	0:00	0:00	0:07	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24
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	3:28	3:44	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:59

3.3 Teorettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella vuotuinen teoreettinen välke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kolmen reseptoripisteen kohdalla. Tämän lisäksi Saksan päiväkohtainen 30 minuutin raja-arvo ylittyy useamman reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittumistaulukosta reseptorin R3 kohdalla (Taulukko 9) nähdään, että välkettä esiintyy erityisesti marras-helmikuussa, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa hyvinkin alhainen.

Taulukko 8: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:27	0:10
R2	7:59	0:18
R3	38:33	1:13
R4	35:09	1:10
R5	13:38	0:22
R6	27:37	0:29
R7	27:28	0:33
R8	27:51	0:28
R9	28:08	0:32
R10	26:31	0:30
R11	26:22	0:31
R12	27:33	0:41
R13	25:39	0:29
R14	25:55	0:37
R15	30:25	0:34
R16	19:06	0:28
R17	16:54	0:29
R1	1:27	0:10
R2	7:59	0:18

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R3 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	8:03	3:09	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	11:57
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	2:25	3:03	1:06	0:00	0:00	0:00	0:00	7:20
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	0:46	0:00	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	2:15	8:13	6:49	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	18:16
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	3:46	18:41	13:16	2:50	0:00	0:00	0:00	0:00	38:33

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

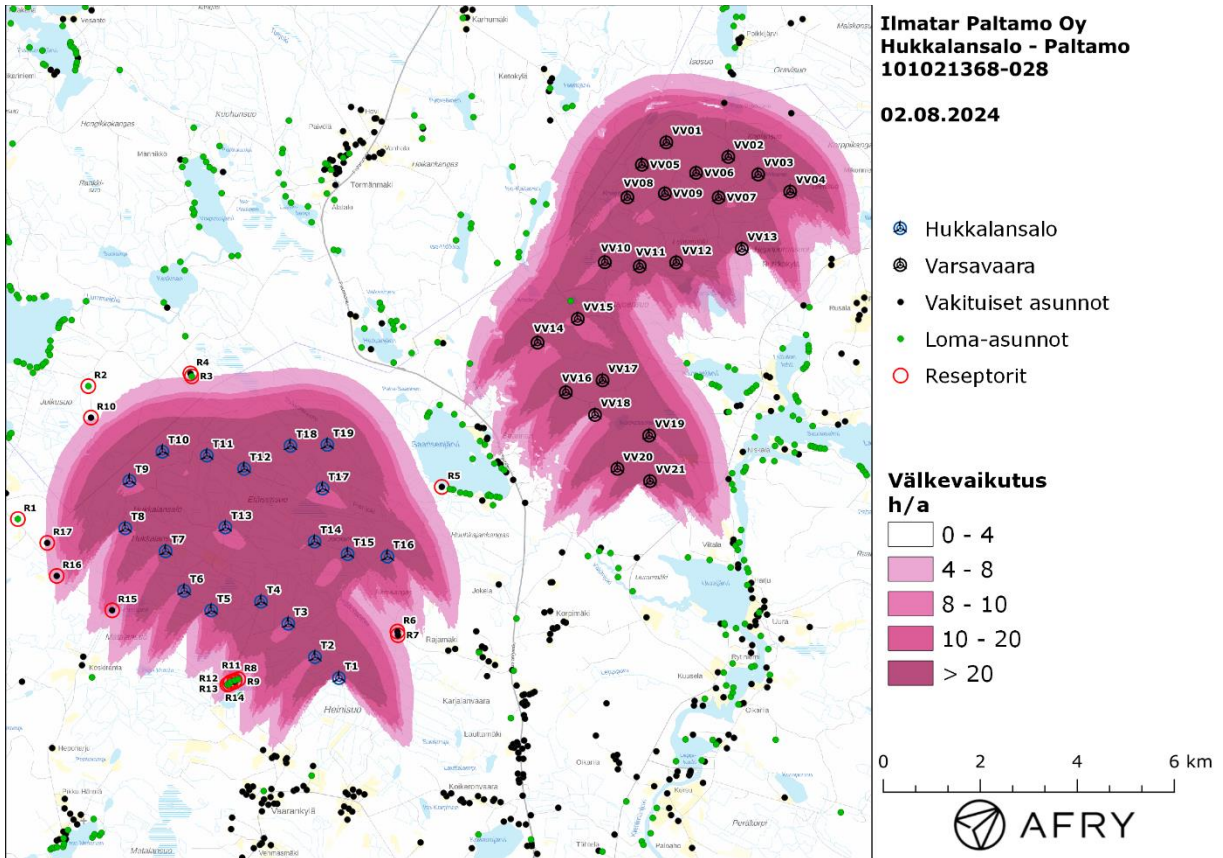
Tässä luvussa arvioidaan Hukkalansalon ja läheisen suunnitteilla olevan Varsavaaran tuulivoimauiston välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksissa huomioidaan Varsavaaran YVA:n mukainen 21 voimalan suunnitelma VE1, sillä se aiheuttaa suuremman vaikutuksen kuin sen suunnitelma VE2. Hukkalansalon ja Varsavaaran voimalat sijaitsevat lähimmillään 4,8 km etäisyydellä toisistaan. Varsavaaran voimaloiden koordinaatit ja maaston korkeus voimalapaikoilla on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10: Varsavaaran tuulivoimaloiden (21 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

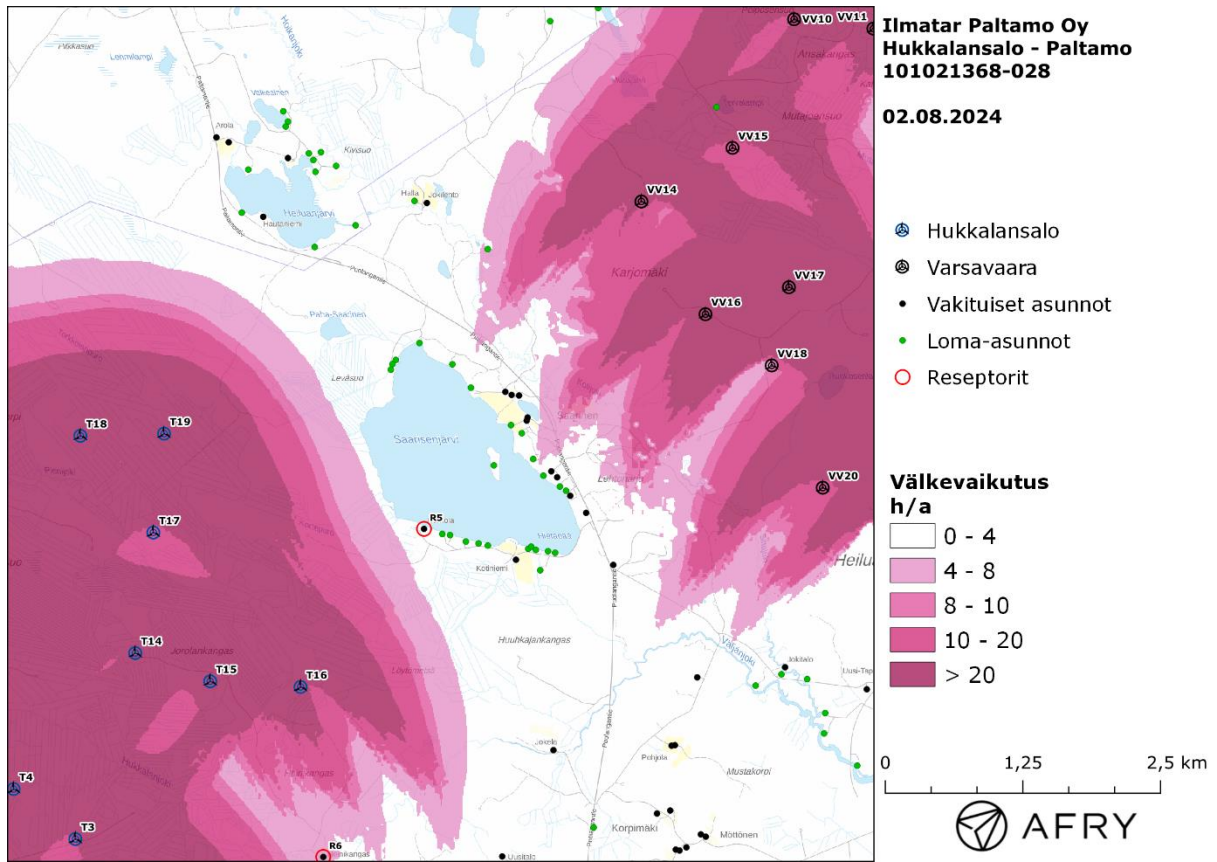
Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
VV01	541971	7160969	285
VV02	543249	7160670	197
VV03	543865	7160308	182
VV04	544525	7159955	186
VV05	541467	7160508	261
VV06	542585	7160341	261
VV07	543049	7159835	200
VV08	541169	7159837	226
VV09	541941	7159916	246
VV10	540703	7158502	193
VV11	541423	7158417	175
VV12	542175	7158498	166
VV13	543529	7158779	170
VV14	539316	7156847	194
VV15	540144	7157334	187
VV16	539898	7155824	200
VV17	540656	7156069	181
VV18	540500	7155359	174
VV19	541617	7154933	180
VV20	540963	7154249	194
VV21	541635	7153995	211

Välkemallinnuksissa Varsavaaran voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty Vestaksen V162 lavan profiilitietoa skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Skaalatun profiilin levein kohta on 4,6 m ja leveys 90 % etäisyydellä lavan tyvestä 1,8 m.

Hukkalansalon ja Varsavaaran todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke on listattu taulukossa 11. Mallinnusten perusteella Hukkalansalon ja Varsavaaran voimalat eivät aiheuta välkkeen yhteisvaikutusta tarkasteltuihin reseptoreihin. Karttakuva 5 on kohdistettuna Saarisen kylän ympäristöön, joka jää tuulivoimapuistojen väliin. Karttakuvasta nähdään, että 4 tunnin välkerajat jäävät noin 1,4 km etäisyydelle toisistaan, joten kyseisten puistojen yhteisvaikutukset eivät ole merkittäviä myöskään Saarisen kylän asutuksen kohdalla.



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta, kun mallinnoissa huomioidaan Hukkalansalon ja Varsavaaran voimalat.



Kuva 5: Todennäköinen välke kohdistettuna Saarisen kylän ympäristöön.

Taulukko 11: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Hukkalansalon voimalat sekä Varsavaaran 21 voimalan suunnitelma VE1. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika 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	0:23	0:03	1:27	0:10
R2	0:55	0:02	7:59	0:18
R3	4:09	0:12	38:33	1:13
R4	3:39	0:11	35:09	1:10
R5	2:23	0:04	13:38	0:22
R6	5:47	0:07	27:37	0:29
R7	5:44	0:07	27:28	0:33
R8	7:14	0:08	27:51	0:28
R9	7:27	0:08	28:08	0:32
R10	3:52	0:05	26:31	0:30
R11	7:02	0:08	26:22	0:31
R12	7:25	0:10	27:33	0:41
R13	6:52	0:08	25:39	0:29
R14	6:55	0:08	25:55	0:37
R15	7:59	0:09	30:25	0:34
R16	5:13	0:08	19:06	0:28
R17	4:24	0:08	16:54	0:29

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Paltamon kunnan alueelle suunnitellun Hukkalansalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 19 voimalan sijoitussuunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 220 m ja napakorkeudella 200 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kolmen reseptorin kohdalla. Tämän lisäksi Saksan päiväkohtainen 30 minuutin raja-arvon ylittyy useamman reseptorin kohdalla.

Välkkeen yhteisvaikutusten mallinnuksen mukaan Hukkalansalon ja Varsavaaran voimaloista ei aiheudu merkittävää välkkeen yhteisvaikutusta asutukseen.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehien 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 suuntakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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

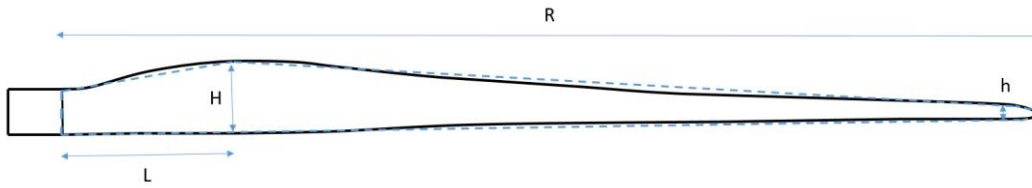
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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

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

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



Kuva 6: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan 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 väkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan 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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.