

Vermassalon tuulivoimahanke, Virrat

LIITE 23: VÄLKESELVITYKSET

Ilmatar Vermassalo Oy



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE1)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE1)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

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

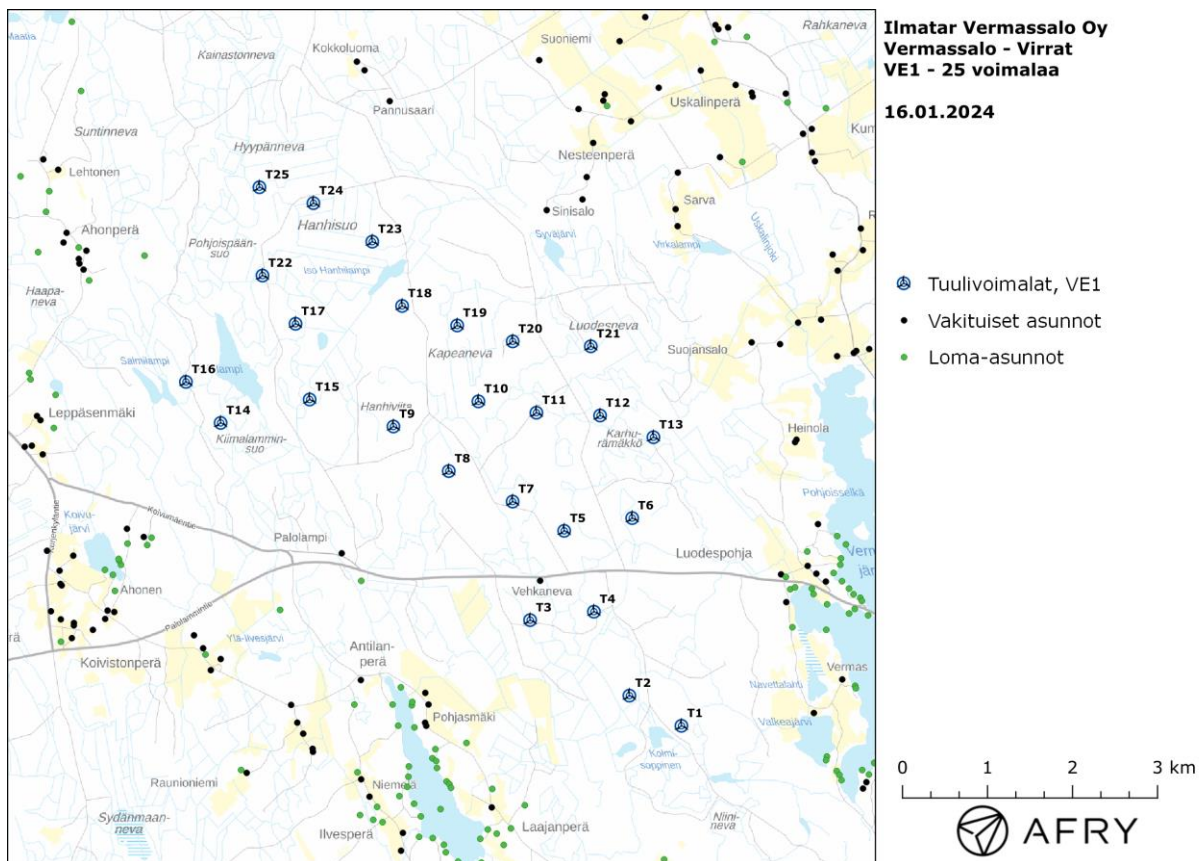
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
2.5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	15
3.4	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	22
5	Viitteet.....	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 25 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 120 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levin kohta on 4,9 m (V162:n lapaprofiilin levin kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE1.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (25 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	321768	6905892	163
T2	321156	6906247	156
T3	319988	6907134	158
T4	320739	6907233	164
T5	320389	6908183	178
T6	321189	6908333	170
T7	319782	6908527	177
T8	319031	6908885	181
T9	318380	6909409	181
T10	319380	6909704	168
T11	320062	6909571	166
T12	320811	6909538	158
T13	321439	6909283	153
T14	316347	6909451	167
T15	317394	6909726	166
T16	315939	6909933	164
T17	317228	6910616	166
T18	318482	6910825	170
T19	319130	6910596	162
T20	319783	6910409	163
T21	320702	6910351	149
T22	316839	6911182	163
T23	318131	6911581	155
T24	317439	6912033	157
T25	316804	6912220	158

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 Jyväskylän 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.

2.5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää 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.

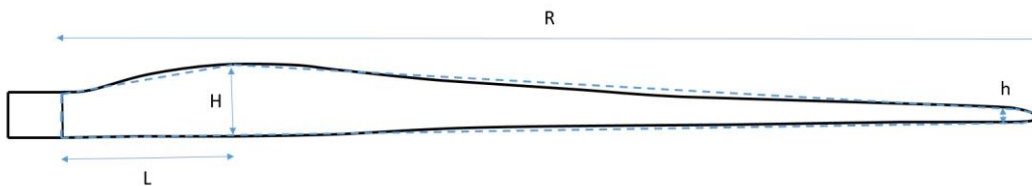
Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

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

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 (**Error! Reference source not found.**) 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 2: Turbiinin lavan malliprofiili.

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

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

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 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 240 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 2.5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,160	0,168	0,188	0,129	0,141	0,154

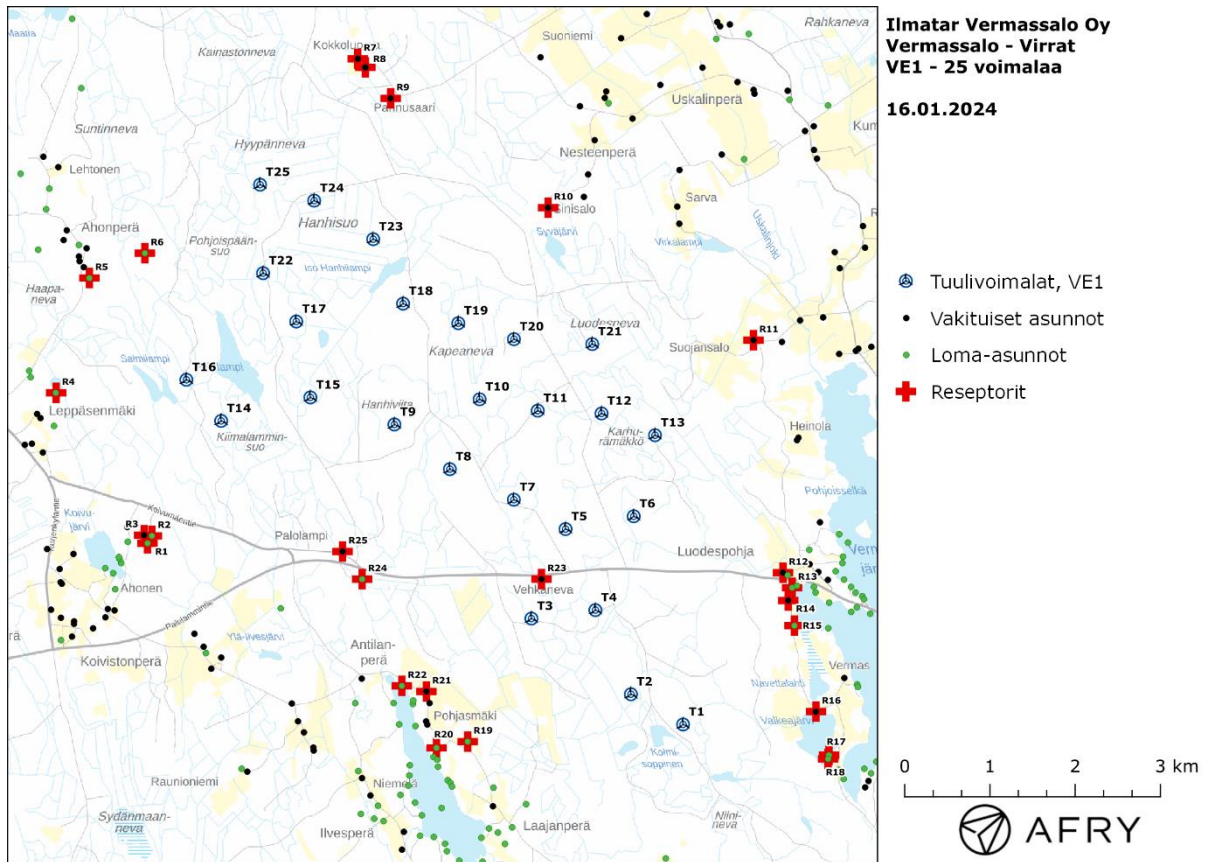
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jyväskylän sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,131
Helmikuu	0,256
Maaliskuu	0,373
Huhtikuu	0,402
Toukokuu	0,456
Kesäkuu	0,412
Heinäkuu	0,447
Elokuu	0,419
Syyskuu	0,315
Lokakuu	0,191
Marraskuu	0,095
Joulukuu	0,062

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee alle 500 metrin etäisyydellä voimalasta T3.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakennus
R2	315535	6908101	188	lomarakennus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakennus
R5	314801	6911124	175	lomarakennus
R6	315453	6911415	184	lomarakennus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakennus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakennus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakennus
R18	323471	6905487	130	lomarakennus
R19	319241	6905690	149	lomarakennus
R20	318875	6905616	143	lomarakennus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakennus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakennus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



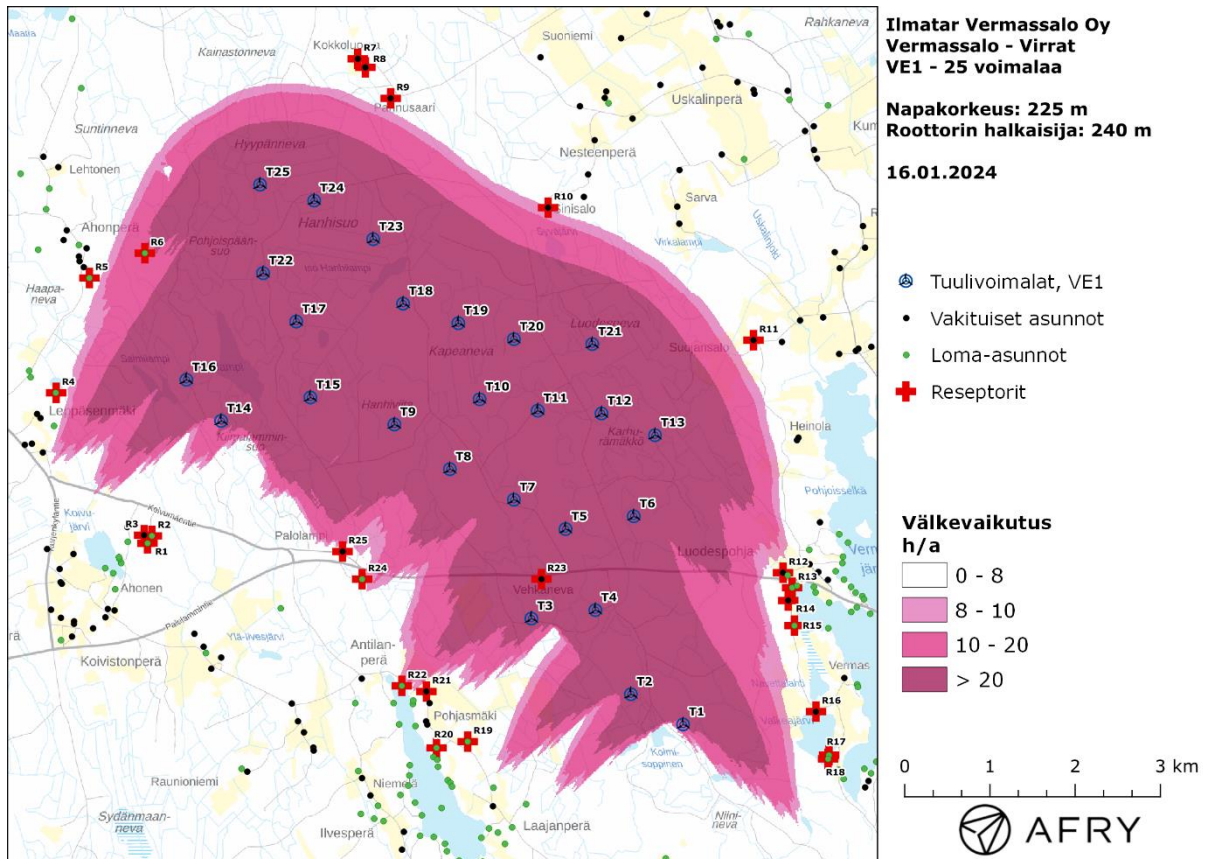
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kahden reseptorin (R6 ja R23) kohdalla. Tämän lisäksi päiväkohtainen todennäköinen välke aika ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkevaikutukset pysyvät ohjearvoissa. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Suurimmat todennäköiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoripisteisiin R6 ja R23. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kyseisten reseptorien kohdalla on esitetty taulukoissa 6-7. Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Vermassalon tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]
R1	0:21	2
R2	0:48	3
R3	1:14	3
R4	5:28	8
R5	5:38	6
R6	17:49	13
R7	3:15	6
R8	3:37	6
R9	6:00	8
R10	7:50	12
R11	4:52	5
R12	6:22	6
R13	4:54	6
R14	4:18	5
R15	4:19	4
R16	3:32	9
R17	3:03	10
R18	3:07	10
R19	2:33	6
R20	0:53	4
R21	5:06	6
R22	7:48	10
R23	51:15	36
R24	7:11	7
R25	5:04	5

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	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:12	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:14
Huhtikuu	0:00	0:00	0:17	1:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:08
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	2:51	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:51
Heinäkuu	0:00	0:00	3:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:24
Elokuu	0:00	0:00	0:50	0:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08
Syyskuu	0:00	0:00	0:02	2:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:03
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:07	0:07	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
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	9:39	5:28	0:19	2:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	17:49

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R23 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	1:08	0:00	3:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:33
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:05	3:36	0:00	10:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	13:59
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:13	4:25	0:00	2:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:14
Toukokuu	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:07
Kesäkuu	0:00	0:00	2:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04	0:00	3:32
Heinäkuu	0:00	0:00	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43	0:00	1:52
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:03	1:52	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:06
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:58	4:18	0:01	7:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:23
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:01	4:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:25
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03
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	3:39	1:19	16:08	0:02	28:13	0:00	0:00	0:00	1:53	0:00	51:15

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälkeä ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon yhdeksän reseptorin kohdalla. Tämän lisäksi teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeä ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useamman reseptorin kohdalla. Teoreettisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R6 ja R23 kohdalla on esitetty taulukoissa 09-10.

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.

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päivakohtainen maksimivälke [min]
R1	1:27	7
R2	3:08	11
R3	4:39	13
R4	23:12	38
R5	30:53	38
R6	95:19	57
R7	40:50	45
R8	32:33	39
R9	61:57	52
R10	81:51	78
R11	32:40	31
R12	32:48	24
R13	25:55	20
R14	24:43	23
R15	24:03	26
R16	17:05	40
R17	12:43	39
R18	12:56	38
R19	9:54	21
R20	3:28	14
R21	20:21	29
R22	29:38	37
R23	208:56	118
R24	28:55	27
R25	20:53	25

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen 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	10:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:01
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	4:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:56
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	5:27	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:47
Huhtikuu	0:00	0:00	1:14	7:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:50
Toukokuu	0:00	0:00	8:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:09
Kesäkuu	0:00	0:00	11:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:20
Heinäkuu	0:00	0:00	12:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:36
Elokuu	0:00	0:00	3:18	1:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:36
Syyskuu	0:00	0:00	0:12	10:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:59
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	1:08	0:59	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:29
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	13:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	14:36
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	36:49	26:16	3:00	29:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	95:19

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R23 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	7:40	0:00	21:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	28:51
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:43	16:55	0:00	25:49	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	43:28
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	2:12	17:46	0:00	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	20:48
Toukokuu	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:32
Kesäkuu	0:00	0:00	10:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:20	0:00	14:45
Heinäkuu	0:00	0:00	4:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:42	0:00	7:25
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:29	7:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:56
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	6:50	22:36	0:13	9:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	39:20
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	7:08	0:42	37:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	45:05
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
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	15:14	10:15	80:19	0:55	94:45	0:00	0:00	0:00	7:28	0:00	208:56

3.4 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat lähes kuuden kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat noin seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 11-12.

Taulukko 11: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

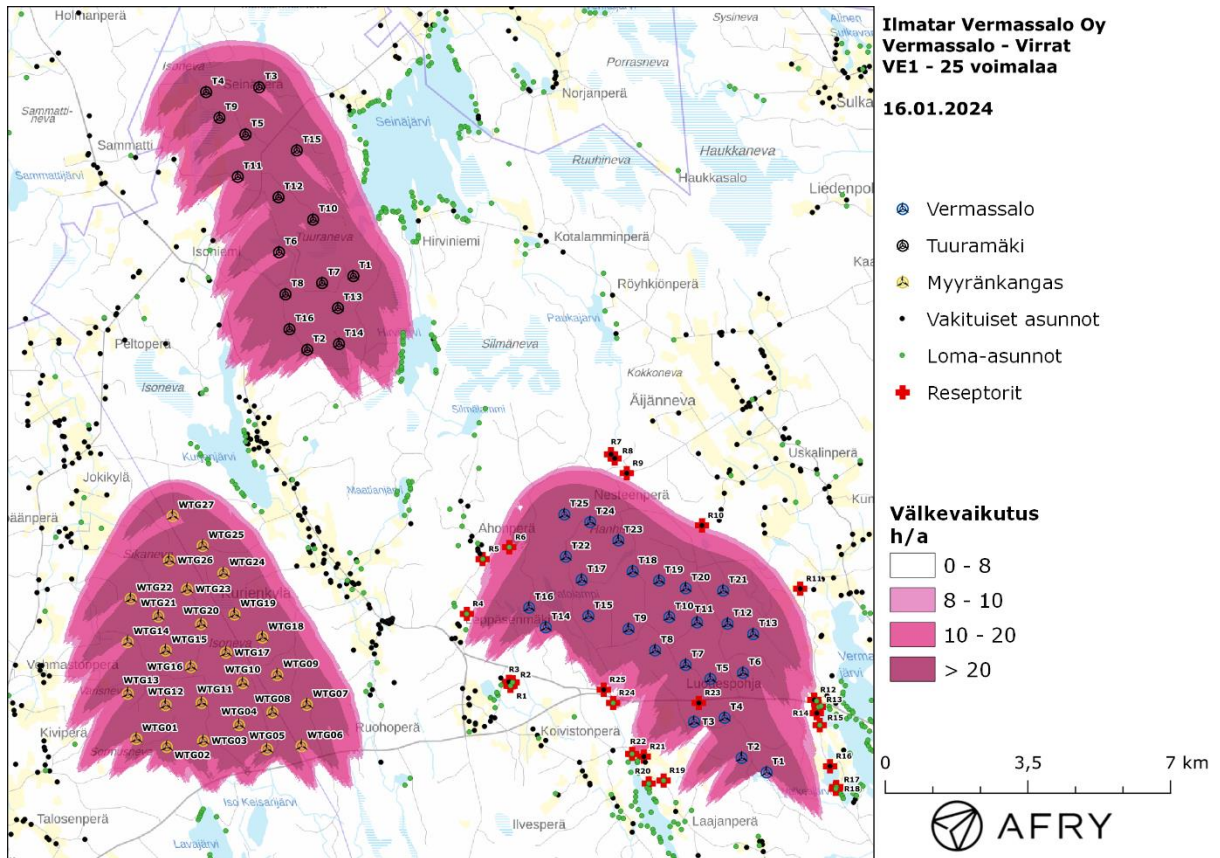
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

Taulukko 12: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja roottorin halkaisijaa 215 m. Tuuramäen voimaloille on puolestaan käytetty mallinnuksissa napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 240 m.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptorien kohdilla on listattu taulukossa 13. Mallinnusten perusteella tarkasteltuihin reseptoreihin ei synny välkkeen yhteisvaikutuksia eivätkä ne aiheuta välkkeen ohjearvon ylityksiä.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

Taulukko 13: Välkeajat reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min]
R1	0:21	2	1:27	7
R2	0:48	3	3:08	11
R3	1:14	3	4:39	13
R4	5:28	8	23:12	38
R5	5:38	6	30:53	38
R6	17:49	13	95:19	57
R7	3:15	6	40:50	45
R8	3:37	6	32:33	39
R9	6:00	8	61:57	52
R10	7:50	12	81:51	78
R11	4:52	5	32:40	31
R12	6:22	6	32:48	24
R13	4:54	6	25:55	20
R14	4:18	5	24:43	23
R15	4:19	4	24:03	26
R16	3:32	9	17:05	40
R17	3:03	10	12:43	39
R18	3:07	10	12:56	38
R19	2:33	6	9:54	21
R20	0:53	4	3:28	14
R21	5:06	6	20:21	29
R22	7:48	10	29:38	37
R23	51:15	36	208:56	118
R24	7:11	7	28:55	27
R25	5:04	5	20:53	25

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 25 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1, roottorin halkaisijalla 240 m ja napakorkeudella 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kahden rakennuksen kohdalla. Tämän lisäksi päiväkohtainen todennäköinen välkeaika ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet jäävät alle ohjearvojen.

Teoreettisen välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen välkevaikutus sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää Saksan 30 tunnin ja päiväkohtaisen 30 minuutin raja-arvon useamman rakennuksen kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimapuistoista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla.

5 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.



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

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

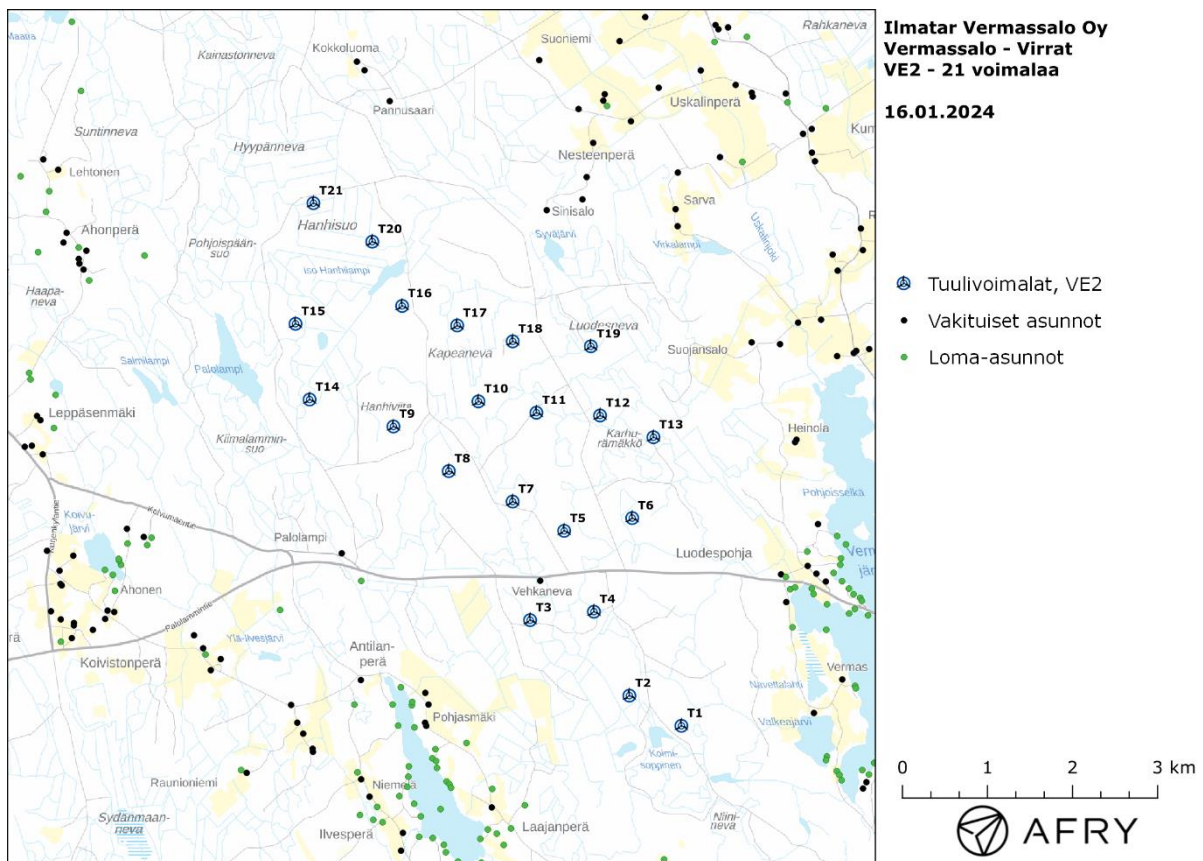
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
2.5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	15
3.4	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	22
5	Viitteet	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 21 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 120 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levin kohta on 4,9 m (V162:n lapaprofiilin levin kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (21 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	321768	6905892	163
T2	321156	6906247	156
T3	319988	6907134	158
T4	320739	6907233	164
T5	320389	6908183	178
T6	321189	6908333	170
T7	319782	6908527	177
T8	319031	6908885	181
T9	318380	6909409	181
T10	319380	6909704	168
T11	320062	6909571	166
T12	320811	6909538	158
T13	321439	6909283	153
T14	317394	6909726	166
T15	317228	6910616	166
T16	318482	6910825	170
T17	319130	6910596	162
T18	319783	6910409	163
T19	320702	6910351	149
T20	318131	6911581	155
T21	317439	6912033	157

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja 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 Jyväskylän 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.

2.5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla 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.

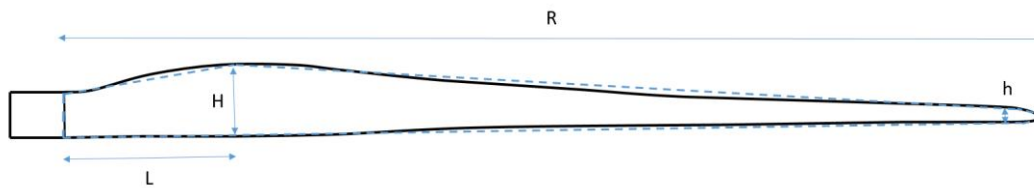
Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

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

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 2) 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 2: Turbiinin lavan malliprofiili.

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

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 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 240 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 2.5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,160	0,168	0,188	0,129	0,141	0,154

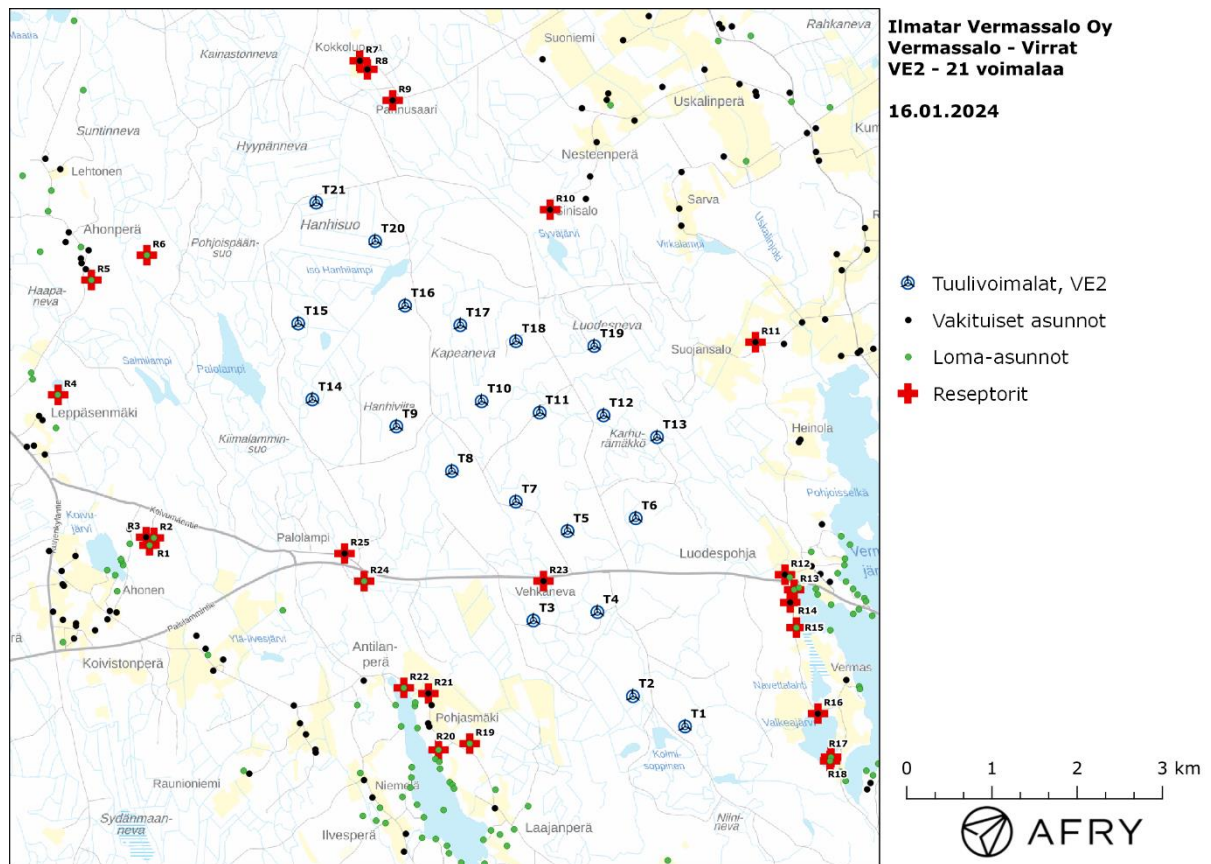
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jyväskylän sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,131
Helmikuu	0,256
Maaliskuu	0,373
Huhtikuu	0,402
Toukokuu	0,456
Kesäkuu	0,412
Heinäkuu	0,447
Elokuu	0,419
Syyskuu	0,315
Lokakuu	0,191
Marraskuu	0,095
Joulukuu	0,062

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-3 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee alle 500 metrin etäisyydellä voimalasta T3.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakennus
R2	315535	6908101	188	lomarakennus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakennus
R5	314801	6911124	175	lomarakennus
R6	315453	6911415	184	lomarakennus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakennus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakennus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakennus
R18	323471	6905487	130	lomarakennus
R19	319241	6905690	149	lomarakennus
R20	318875	6905616	143	lomarakennus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakennus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakennus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



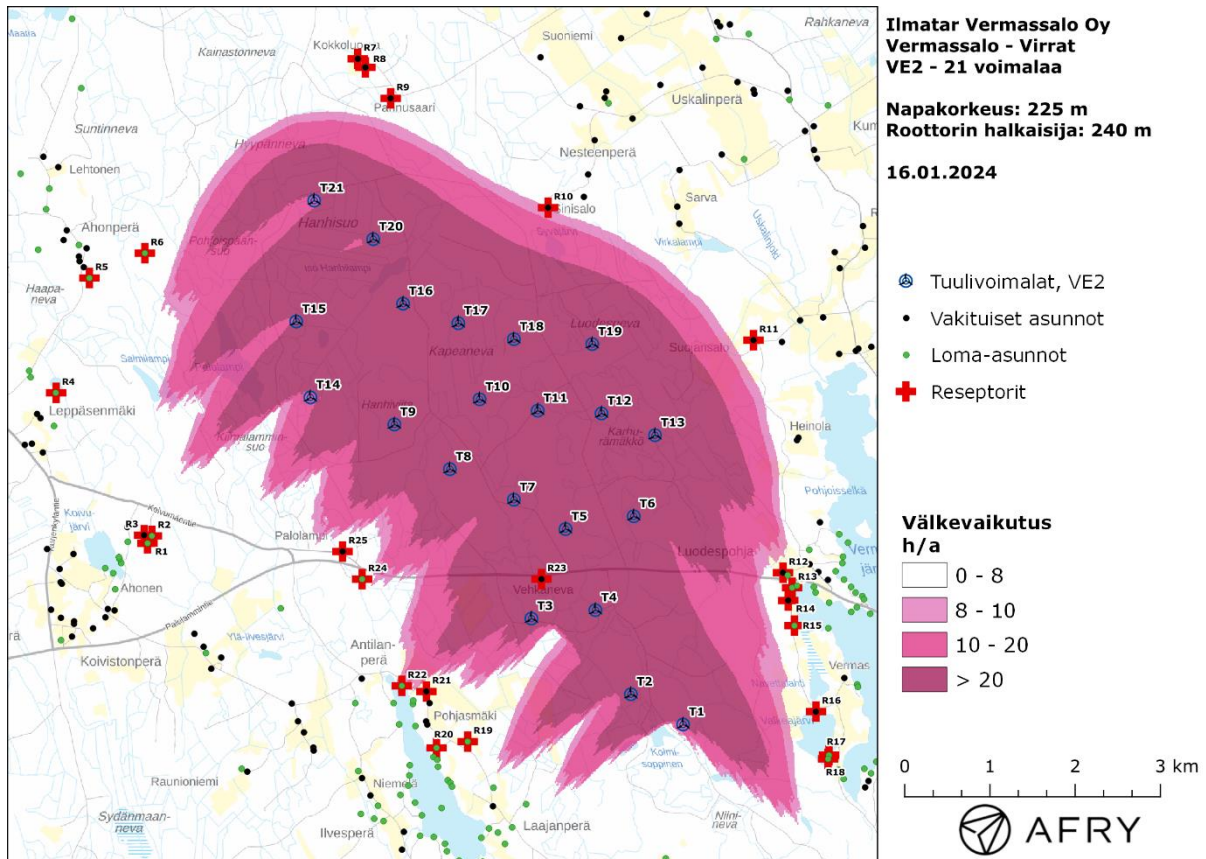
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Tämän lisäksi päiväkohtainen todennäköinen välkeaika ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkevaikutukset pysyvät ohjearvoissa. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Suurimmat todennäköiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoripisteisiin R10 ja R23. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kyseisten reseptorien kohdalla on esitetty taulukoissa 6-7. Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Vermassalon tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]
R1	0:21	2
R2	0:48	3
R3	1:14	3
R4	0:00	0
R5	0:25	3
R6	3:24	5
R7	2:09	4
R8	2:22	4
R9	4:34	7
R10	7:50	12
R11	4:52	5
R12	6:22	6
R13	4:54	6
R14	4:18	5
R15	4:19	4
R16	3:32	9
R17	3:03	10
R18	3:07	10
R19	2:33	6
R20	0:53	4
R21	5:06	6
R22	7:48	10
R23	51:15	36
R24	5:33	6
R25	2:44	5

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R10 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	0:34	1:17	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	1:55
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:25	0:59	0:25	0:00	0:00	0:00	2:23
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31	0:00	0:00	0:00	0:31
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	0:26	0:00	0:00	0:00	0:26
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38	0:55	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	1:48
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:47	2:45	1:56	1:23	0:00	0:00	0:00	7:50

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R23 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	1:08	0:00	3:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:33
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:05	3:36	0:00	10:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	13:59
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:13	4:25	0:00	2:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:14
Toukokuu	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:07
Kesäkuu	0:00	0:00	2:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04	0:00	3:32
Heinäkuu	0:00	0:00	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43	0:00	1:52
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:03	1:52	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:06
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:58	4:18	0:01	7:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:23
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:01	4:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:25
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03
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	3:39	1:19	16:08	0:02	28:13	0:00	0:00	0:00	1:53	0:00	51:15

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kuuden reseptorin kohdalla. Tämän lisäksi teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useamman reseptorin kohdalla. Teoreettisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R10 ja R23 kohdalla on esitetty taulukoissa 9-10.

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.

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min]
R1	1:27	7
R2	3:08	11
R3	4:39	13
R4	0:00	0
R5	2:04	11
R6	16:04	21
R7	30:25	45
R8	22:30	39
R9	50:18	43
R10	81:51	78
R11	32:40	31
R12	32:48	24
R13	25:55	20
R14	24:43	23
R15	24:03	26
R16	17:05	40
R17	12:43	39
R18	12:56	38
R19	9:54	21
R20	3:28	14
R21	20:21	29
R22	29:38	37
R23	208:56	118
R24	22:19	23
R25	11:31	18

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R10 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	7:15	15:01	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	23:01
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:36	2:36	6:17	2:36	0:00	0:00	0:00	15:05
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:19	0:00	0:00	0:00	2:19
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	2:19	0:00	0:00	0:00	2:19
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	0:00	5:18	0:00	0:00	0:00	0:00	5:30
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:09	14:35	4:20	0:00	0:00	0:00	0:00	30:04
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	3:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:32
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	22:19	35:37	16:40	7:14	0:00	0:00	0:00	81:51

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R23 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	7:40	0:00	21:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	28:51
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:43	16:55	0:00	25:49	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	43:28
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	2:12	17:46	0:00	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	20:48
Toukokuu	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:32
Kesäkuu	0:00	0:00	10:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:20	0:00	14:45
Heinäkuu	0:00	0:00	4:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:42	0:00	7:25
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:29	7:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:56
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	6:50	22:36	0:13	9:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	39:20
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	7:08	0:42	37:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	45:05
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
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	15:14	10:15	80:19	0:55	94:45	0:00	0:00	0:00	7:28	0:00	208:56

3.4 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat noin 7,5 kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 11-12.

Taulukko 11: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

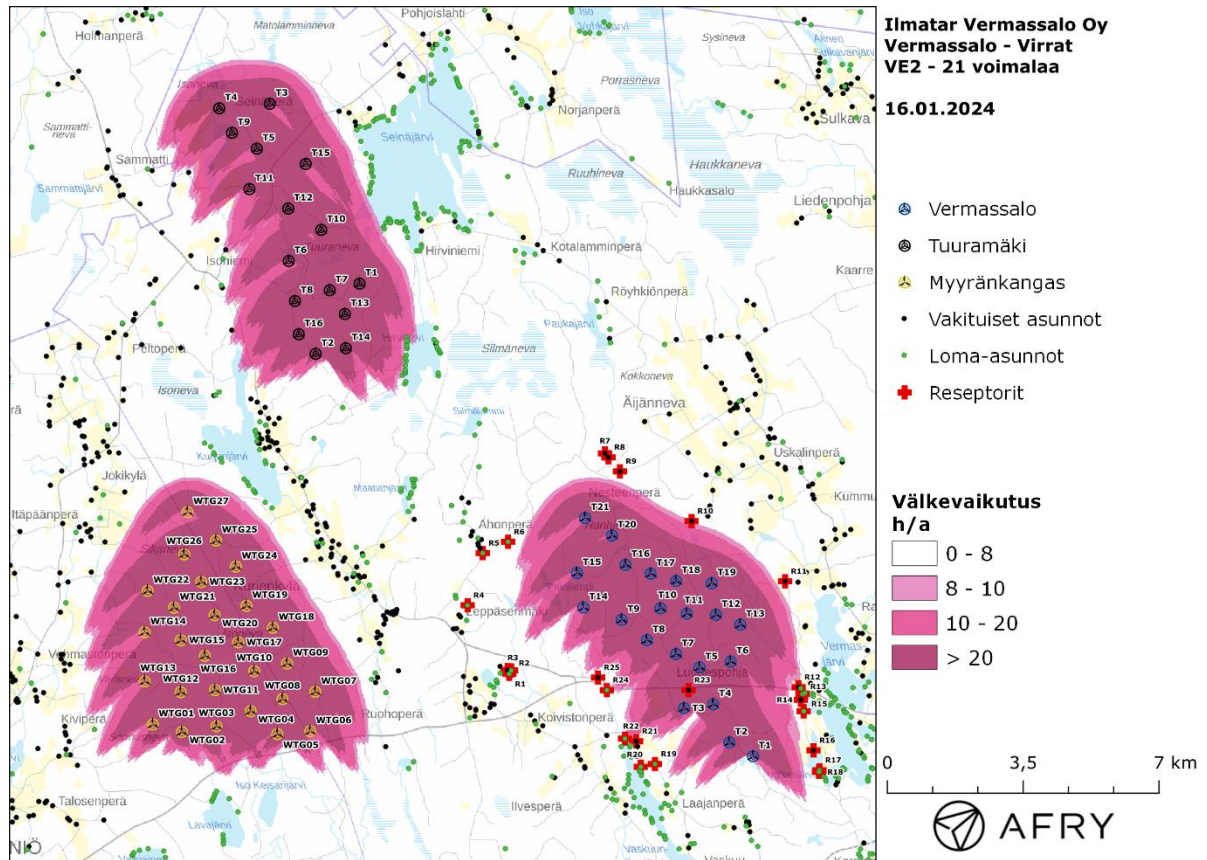
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

Taulukko 12: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja roottorin halkaisijaa 215 m. Tuuramäen voimaloille on puolestaan käytetty mallinnuksissa napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 240 m.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptorien kohdilla on listattu taulukossa 13. Mallinnusten perusteella tarkasteltuihin reseptoreihin ei synny välkkeen yhteisvaikutuksia eivätkä ne aiheuta välkkeen ohjearvon ylityksiä.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

Taulukko 13: Välkeajat reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min]
R1	0:21	2	1:27	7
R2	0:48	3	3:08	11
R3	1:14	3	4:39	13
R4	0:00	0	0:00	0
R5	0:25	3	2:04	11
R6	3:24	5	16:04	21
R7	2:09	4	30:25	45
R8	2:22	4	22:30	39
R9	4:34	7	50:18	43
R10	7:50	12	81:51	78
R11	4:52	5	32:40	31
R12	6:22	6	32:48	24
R13	4:54	6	25:55	20
R14	4:18	5	24:43	23
R15	4:19	4	24:03	26
R16	3:32	9	17:05	40
R17	3:03	10	12:43	39
R18	3:07	10	12:56	38
R19	2:33	6	9:54	21
R20	0:53	4	3:28	14
R21	5:06	6	20:21	29
R22	7:48	10	29:38	37
R23	51:15	36	208:56	118
R24	5:33	6	22:19	23
R25	2:44	5	11:31	18

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 21 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2, roottorin halkaisijalla 240 m ja napakorkeudella 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. Tämän lisäksi päiväkohtainen todennäköinen välke aika ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kyseisen rakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet jäävät alle ohjearvojen.

Teoreettisen välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen välkevaikutus sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 tunnin ja päiväkohtaisen 30 minuutin raja-arvon useamman rakennuksen kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimapuistoista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla.

5 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.



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE3)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE3)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

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

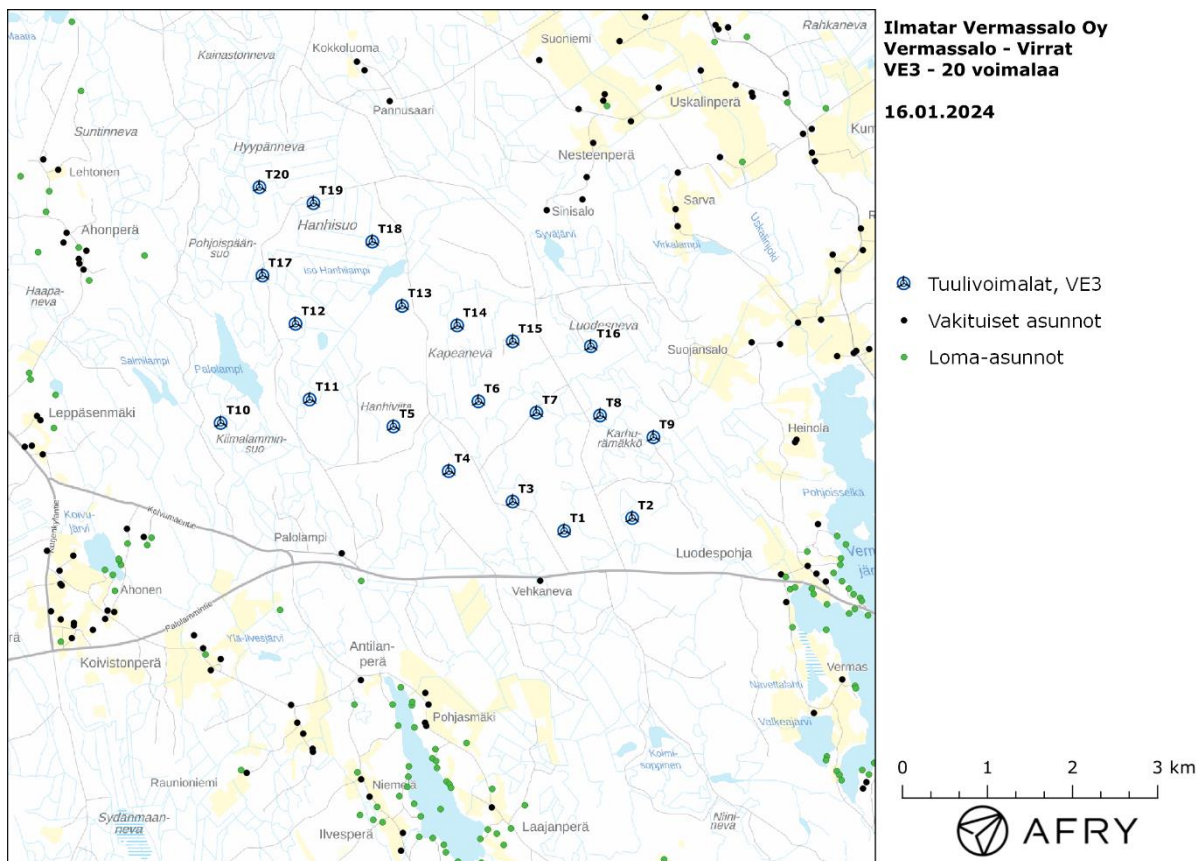
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
2.5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	15
3.4	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	22
5	Viitteet	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 20 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 120 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levin kohta on 4,9 m (V162:n lapaprofiilin levin kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE3.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (20 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	320389	6908183	178
T2	321189	6908333	170
T3	319782	6908527	177
T4	319031	6908885	181
T5	318380	6909409	181
T6	319380	6909704	168
T7	320062	6909571	166
T8	320811	6909538	158
T9	321439	6909283	153
T10	316347	6909451	167
T11	317394	6909726	166
T12	317228	6910616	166
T13	318482	6910825	170
T14	319130	6910596	162
T15	319783	6910409	163
T16	320702	6910351	149
T17	316839	6911182	163
T18	318131	6911581	155
T19	317439	6912033	157
T20	316804	6912220	158

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 Jyväskylän 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.

2.5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää 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.

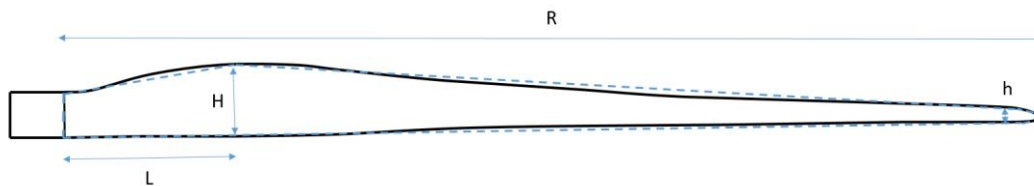
Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

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

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 2) 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 2: Turbiinin lavan malliprofiili.

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

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnus-ohjelmistolla, 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 2 m korkeudelle. Auringon-paistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 240 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 2.5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymis-frekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

Taulukko 2: 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	0,160	0,168	0,188	0,129	0,141	0,154

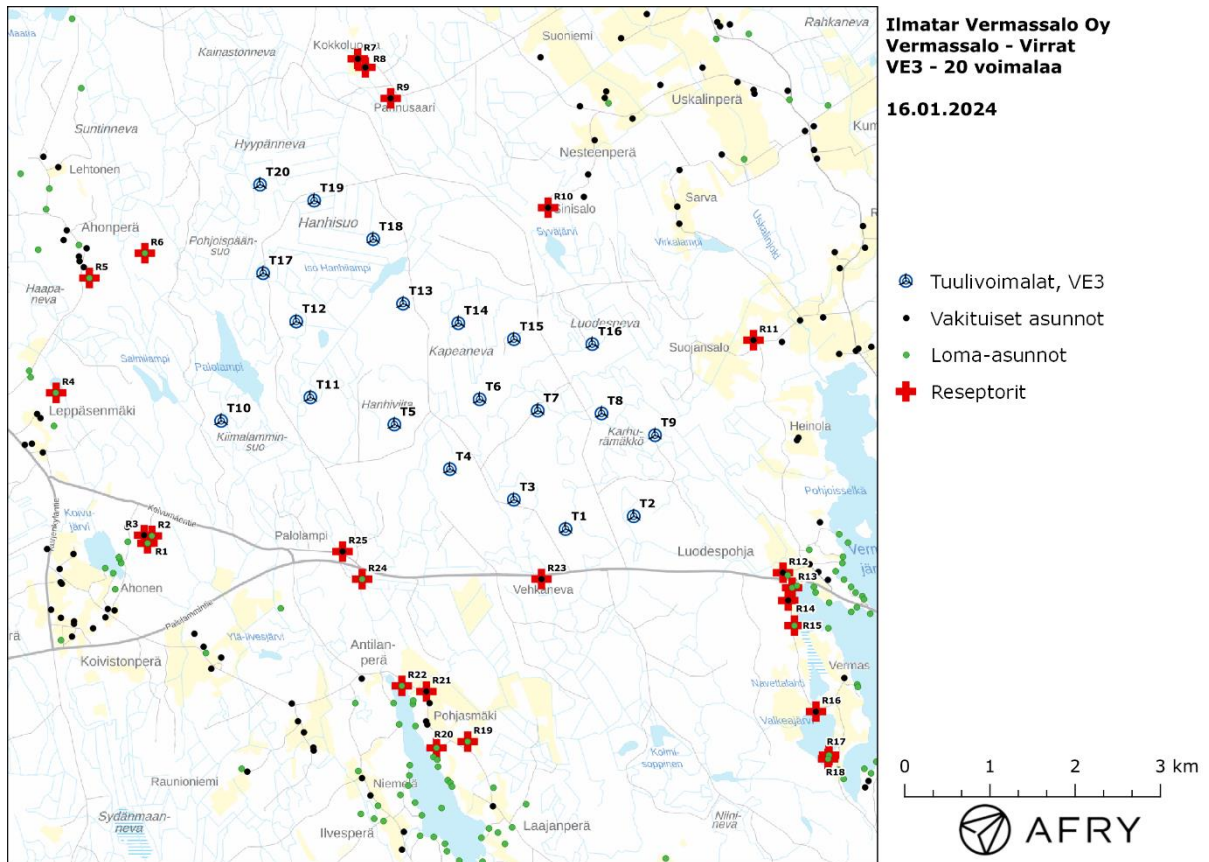
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jyväskylän sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,131
Helmikuu	0,256
Maaliskuu	0,373
Huhtikuu	0,402
Toukokuu	0,456
Kesäkuu	0,412
Heinäkuu	0,447
Elokuu	0,419
Syyskuu	0,315
Lokakuu	0,191
Marraskuu	0,095
Joulukuu	0,062

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-3,5 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee noin 650 metrin etäisyydellä voimalasta T1.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakennus
R2	315535	6908101	188	lomarakennus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakennus
R5	314801	6911124	175	lomarakennus
R6	315453	6911415	184	lomarakennus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakennus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakennus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakennus
R18	323471	6905487	130	lomarakennus
R19	319241	6905690	149	lomarakennus
R20	318875	6905616	143	lomarakennus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakennus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakennus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



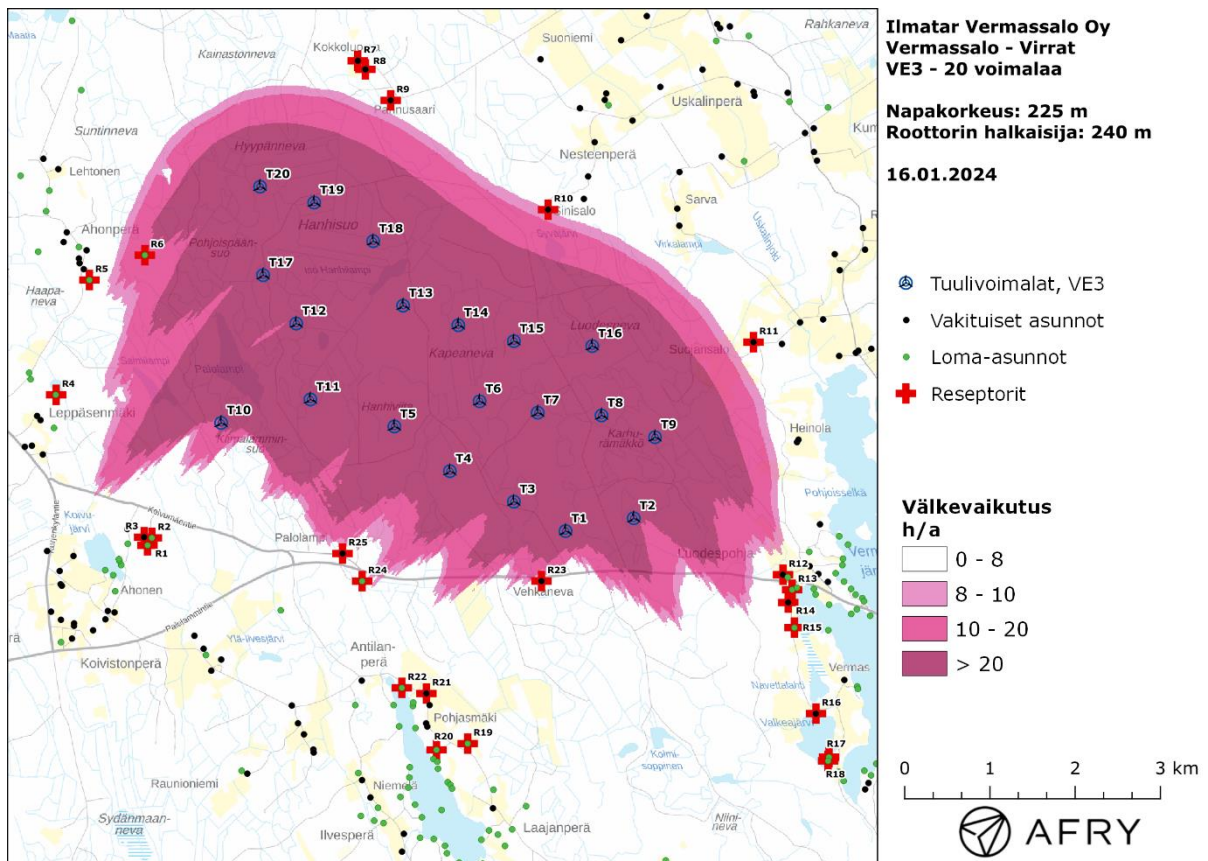
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon reseptorin R6 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkevaikutukset pysyvät ohjearvoissa. Päiväkohtaiset maksimivälkkeet pysyvät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Suurimmat todennäköiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoripisteisiin R6 ja R10. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kyseisten reseptorien kohdalla on esitetty taulukoissa 6-7. Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Vermassalon tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]
R1	0:21	2
R2	0:48	3
R3	1:14	3
R4	1:14	5
R5	3:56	5
R6	15:55	13
R7	3:15	6
R8	3:37	6
R9	6:00	8
R10	7:50	12
R11	4:52	5
R12	4:34	6
R13	3:03	6
R14	1:56	5
R15	1:24	4
R16	0:00	0
R17	0:00	0
R18	0:00	0
R19	0:00	0
R20	0:00	0
R21	0:00	0
R22	0:00	0
R23	5:32	12
R24	6:09	7
R25	4:31	5

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	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:12	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:14
Huhtikuu	0:00	0:00	0:17	1:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:08
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	2:51	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:51
Heinäkuu	0:00	0:00	3:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:24
Elokuu	0:00	0:00	0:50	0:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08
Syyskuu	0:00	0:00	0:02	2:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:03
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:07	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12
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	9:39	5:28	0:19	0:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	15:55

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R10 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	0:34	1:17	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	1:55
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:25	0:59	0:25	0:00	0:00	0:00	2:23
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31	0:00	0:00	0:00	0:31
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	0:26	0:00	0:00	0:00	0:26
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38	0:55	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	1:48
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:47	2:45	1:56	1:23	0:00	0:00	0:00	7:50

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälkeäika ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kuuden reseptorin kohdalla. Tämän lisäksi teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeäika ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useamman reseptorin kohdalla. Teoreettisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R6 ja R10 kohdalla on esitetty taulukoissa 9-10.

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.

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min]
R1	1:27	7
R2	3:08	11
R3	4:39	13
R4	6:01	21
R5	17:57	20
R6	72:22	47
R7	40:50	45
R8	32:33	39
R9	61:57	52
R10	81:51	78
R11	32:40	31
R12	18:44	24
R13	12:20	20
R14	7:58	21
R15	5:29	17
R16	0:00	0
R17	0:00	0
R18	0:00	0
R19	0:00	0
R20	0:00	0
R21	0:00	0
R22	0:00	0
R23	22:42	59
R24	23:48	27
R25	18:11	25

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen 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	2:49	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:49
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	0:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:40
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	5:27	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:47
Huhtikuu	0:00	0:00	1:14	7:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:50
Toukokuu	0:00	0:00	8:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:09
Kesäkuu	0:00	0:00	11:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:20
Heinäkuu	0:00	0:00	12:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:36
Elokuu	0:00	0:00	3:18	1:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:36
Syyskuu	0:00	0:00	0:12	10:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:59
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	1:08	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:07
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	2:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:30
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	36:49	26:16	3:00	6:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	72:22

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R10 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	7:15	15:01	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	23:01
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:36	2:36	6:17	2:36	0:00	0:00	0:00	15:05
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:19	0:00	0:00	0:00	2:19
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	2:19	0:00	0:00	0:00	2:19
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	0:00	5:18	0:00	0:00	0:00	0:00	5:30
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:09	14:35	4:20	0:00	0:00	0:00	0:00	30:04
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	3:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:32
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	22:19	35:37	16:40	7:14	0:00	0:00	0:00	81:51

3.4 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin kuuden kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat lähes seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 11-12.

Taulukko 11: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

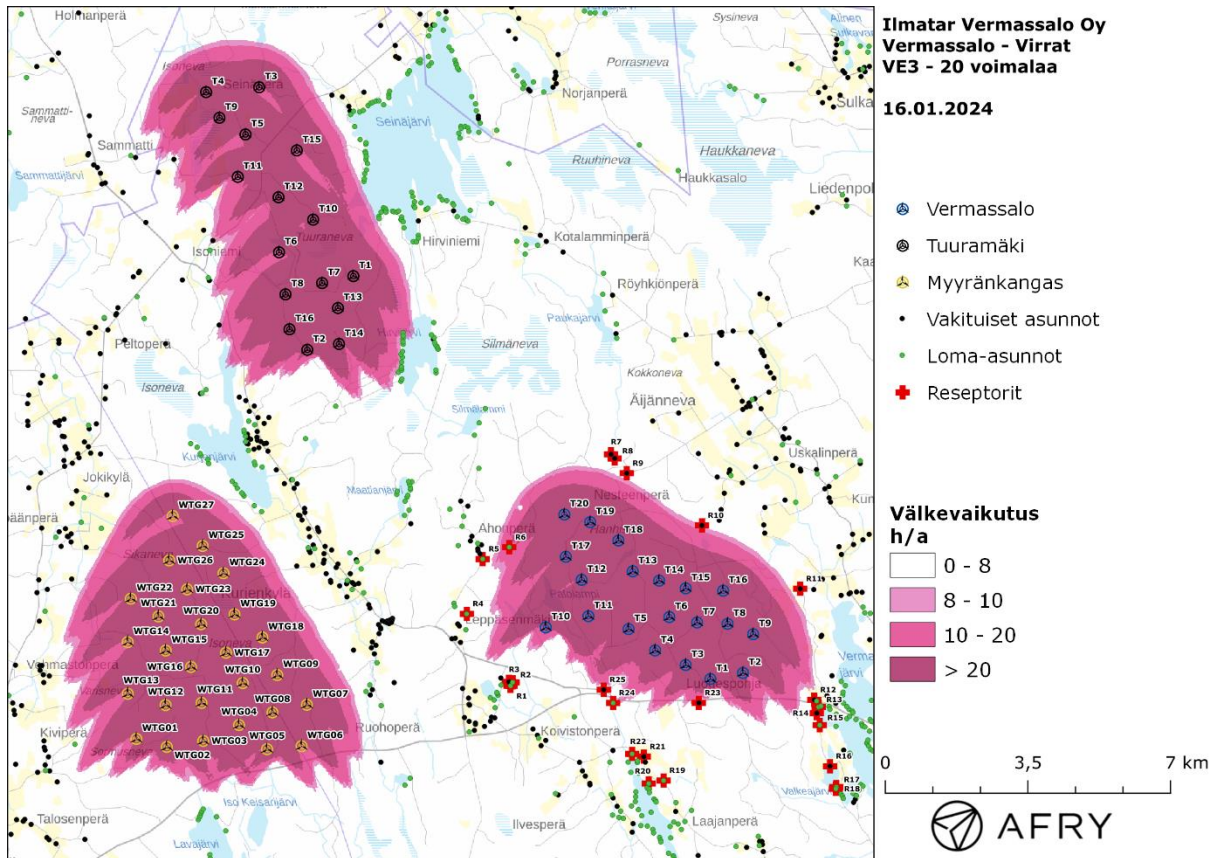
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

Taulukko 12: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja roottorin halkaisijaa 215 m. Tuuramäen voimaloille on puolestaan käytetty mallinnuksissa napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 240 m.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 5). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptorien kohdilla on listattu taulukossa 13. Mallinnusten perusteella tarkasteltuihin reseptoreihin ei synny välkkeen yhteisvaikutuksia eivätkä ne aiheuta välkkeen ohjearvon ylityksiä.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

Taulukko 13: Välkeajat reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke [h:min]	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min]
R1	0:21	2	1:27	7
R2	0:48	3	3:08	11
R3	1:14	3	4:39	13
R4	1:14	5	6:01	21
R5	3:56	5	17:57	20
R6	15:55	13	72:22	47
R7	3:15	6	40:50	45
R8	3:37	6	32:33	39
R9	6:00	8	61:57	52
R10	7:50	12	81:51	78
R11	4:52	5	32:40	31
R12	4:34	6	18:44	24
R13	3:03	6	12:20	20
R14	1:56	5	7:58	21
R15	1:24	4	5:29	17
R16	0:00	0	0:00	0
R17	0:00	0	0:00	0
R18	0:00	0	0:00	0
R19	0:00	0	0:00	0
R20	0:00	0	0:00	0
R21	0:00	0	0:00	0
R22	0:00	0	0:00	0
R23	5:32	12	22:42	59
R24	6:09	7	23:48	27
R25	4:31	5	18:11	25

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 20 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3, roottorin halkaisijalla 240 m ja napakorkeudella 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdilla todennäköiset välkevaikutusajat pysyvät ohjearvoissa. Todennäköiset päiväkohtaiset maksimivälkkeet pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon.

Teoreettisen välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen välkevaikutus sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 tunnin ja päiväkohtaisen 30 minuutin raja-arvon useamman rakennuksen kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimapuistoista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla.

5 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.