



Finnish
Consulting
Group

Tuuramäen tuuli- ja aurinkovoi- mahanke, Virrat

LIITE 16: TUURAMÄEN TUULIVOIMAHANKKEEN VÄLKESELVITYS
(VE2), AFRY FINLAND OY



Ilmatar Virrat Oy

Tuuramäen tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

101021368-013, 28.05.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
003

Asiakas
Ilmatar Virrat Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
28/05/2024

Projektinumero
101021368-013

Raportin tila
VALMIS

Tuoramäen tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	30.01.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	30.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	26.04.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	26.04.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Napakorkeus ja roottorin halkaisija muutettu
003	28.05.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	28.05.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Lisätty yhteisvaikutus- mallinnukset Myyrän- kankaan VE2:n kanssa.

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

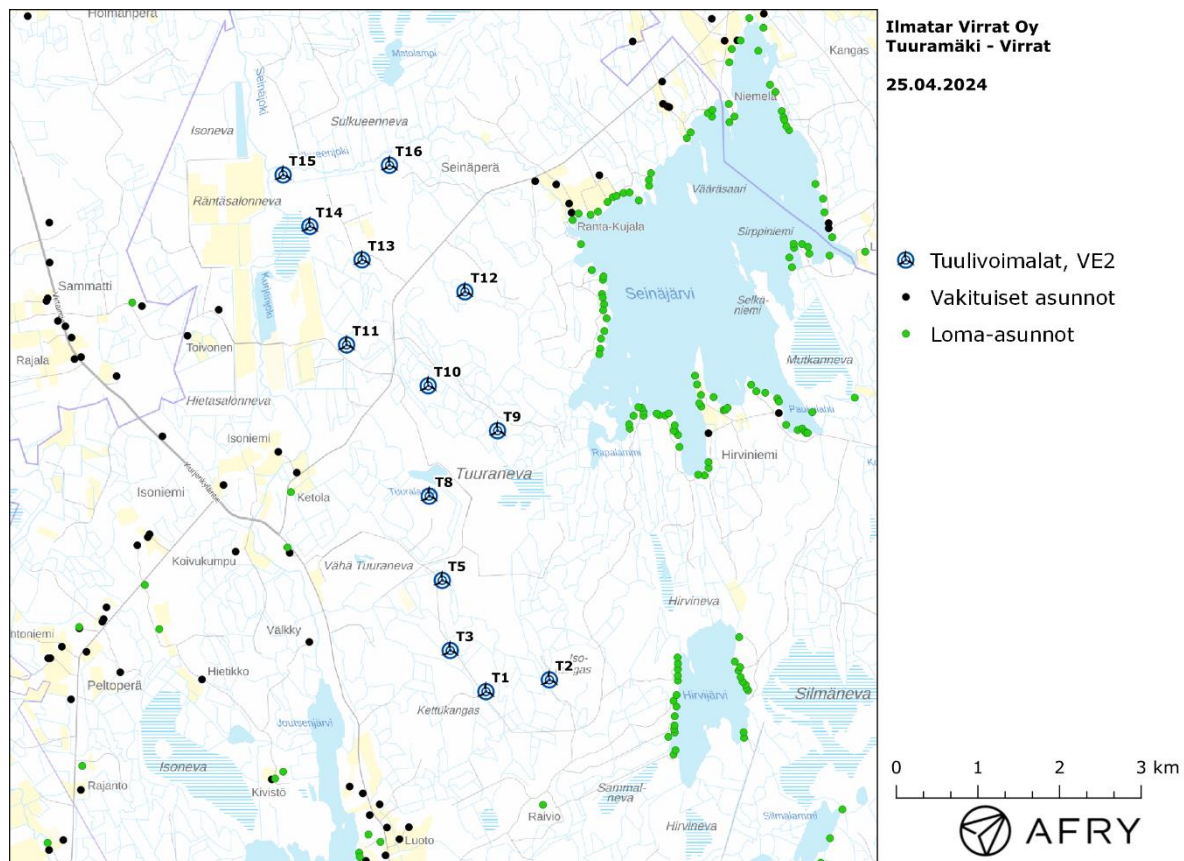
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
2.5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	12
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	16
3.4	Tuuramäen, Myyränkankaan ja Vermassalon yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	23
5	Viitteet	24

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Tuuramäen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 13 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

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

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



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Tuuramäen hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1: Tuuramäen tuulivoimaloiden (13 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	310494	6916260	153
T2	311271	6916405	150
T3	310056	6916764	143
T5	309958	6917622	145
T8	309799	6918653	151
T9	310636	6919454	143
T10	309786	6920004	140
T11	308786	6920504	136
T12	310236	6921154	143
T13	308975	6921545	133
T14	308336	6921954	131
T15	308008	6922584	130
T16	309312	6922702	133

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 110 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.

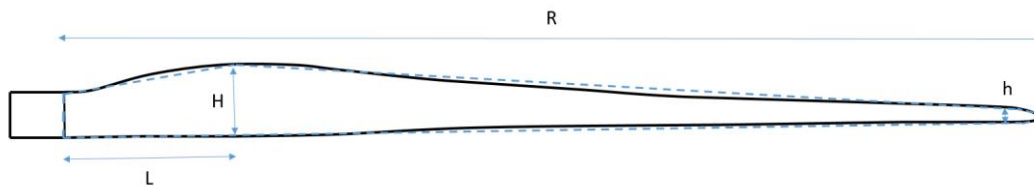
Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

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

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 välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 205 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 230 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). 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	0,173	0,188	0,167	0,125	0,131	0,150

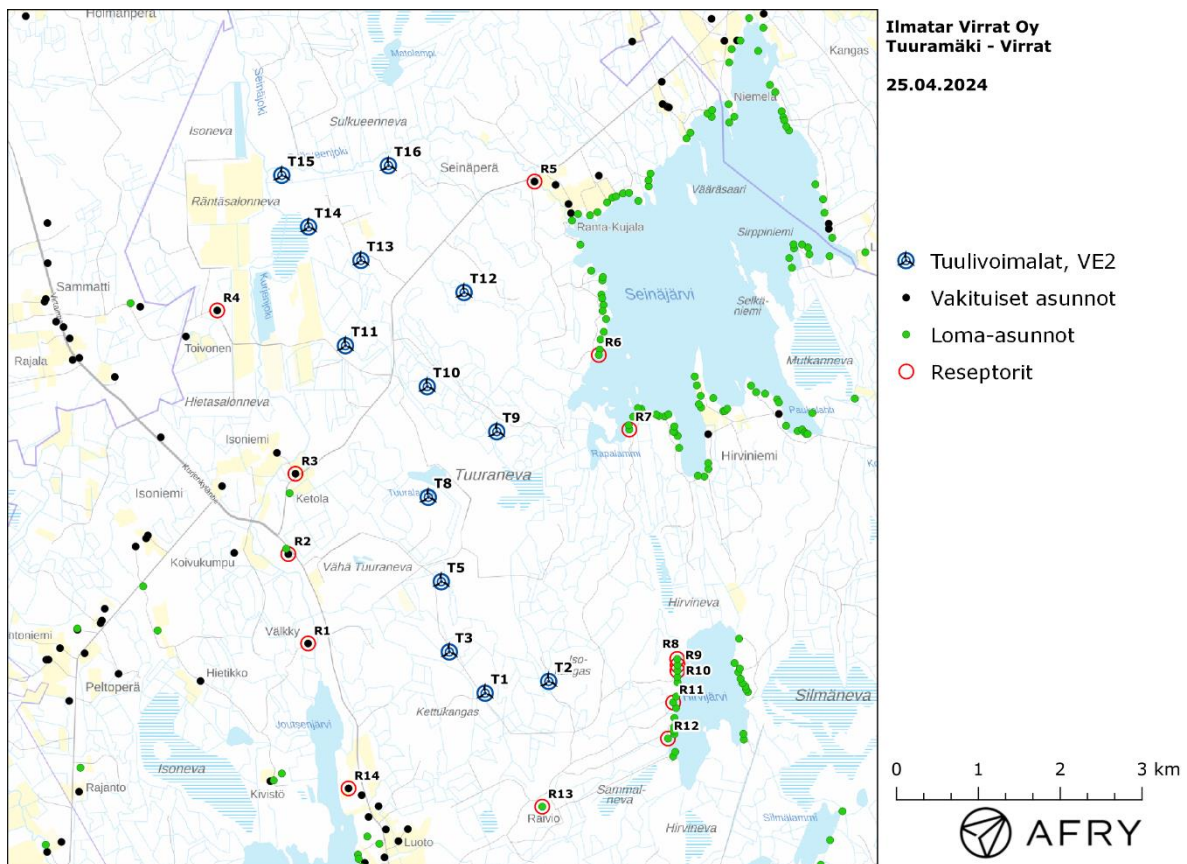
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jyväskylän sääasemalla.

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 14 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.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	308331	6916866	133	vakituinen asuinrakennus
R2	308089	6917957	136	vakituinen asuinrakennus
R3	308176	6918938	131	vakituinen asuinrakennus
R4	307220	6920932	135	vakituinen asuinrakennus
R5	311099	6922506	143	vakituinen asuinrakennus
R6	311885	6920389	141	lomarakennus
R7	312258	6919478	141	lomarakennus
R8	312843	6916677	147	lomarakennus
R9	312848	6916601	147	lomarakennus
R10	312846	6916533	147	lomarakennus
R11	312794	6916145	143	lomarakennus
R12	312730	6915705	144	lomarakennus
R13	311193	6914873	151	lomarakennus
R14	308825	6915096	136	vakituinen asuinrakennus



Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

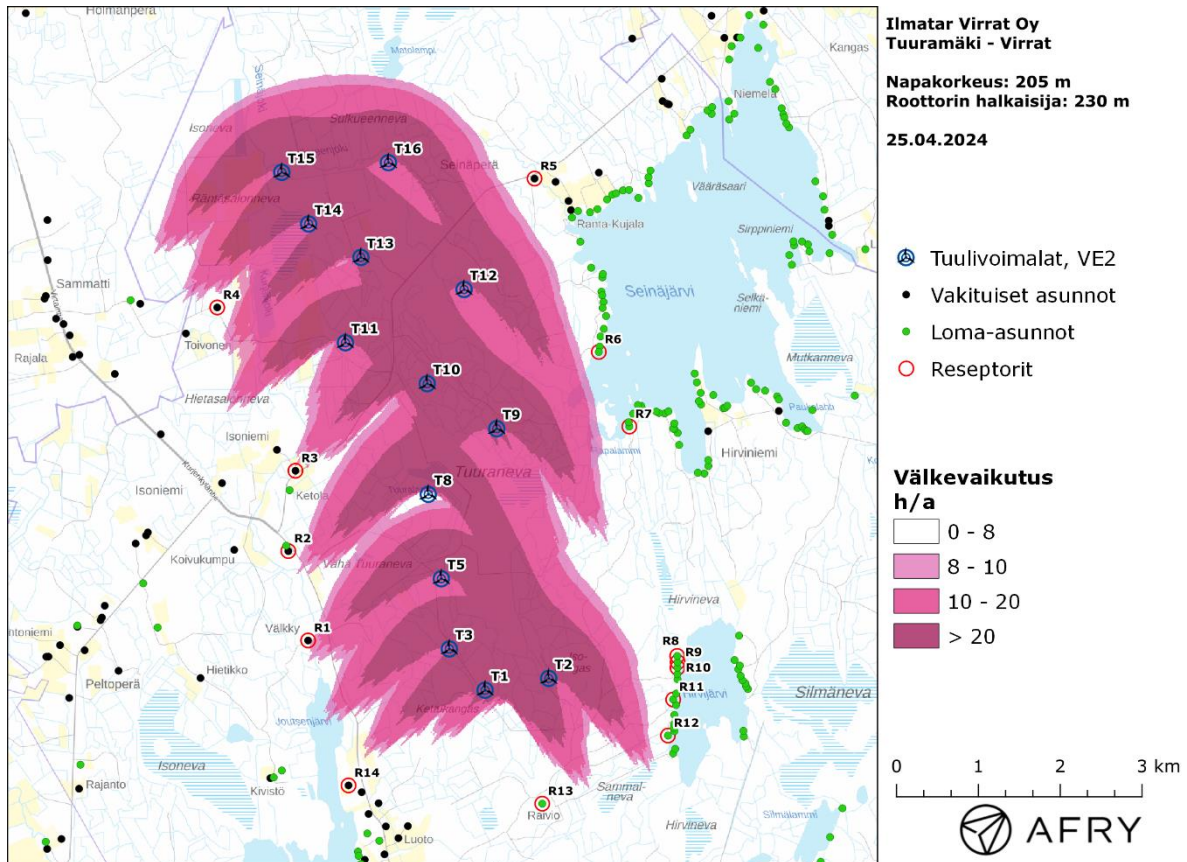
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

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

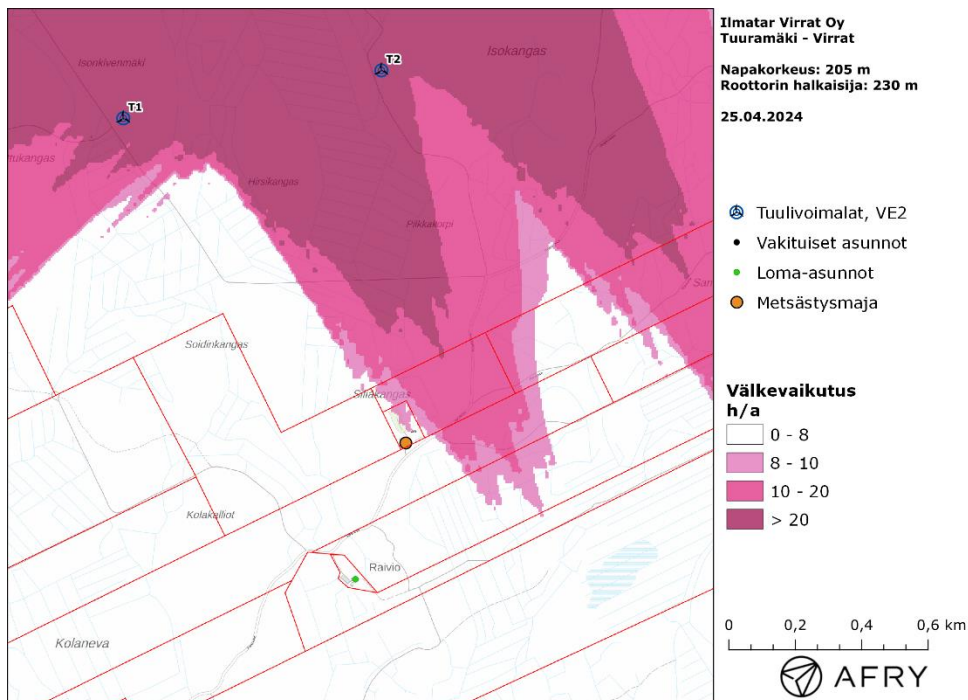
Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R1 ja R3 kohdalla on esitetty taulukoissa 6-7. Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Tähän selvitykseen on pyydetty välkevaikutusten arviointia kiinteistöllä 936-403-3-95, joka sijaitsee noin 1,1 km voimalan T2 eteläpuolella. Tällä kiinteistöllä on metsästysmaja, mutta ei vakituista tai vapaa-ajan asuntoa. Ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksessa ei ole yksilöity missä kohteissa välkevaikutusten tarkastelut tulee tehdä, mutta vakiintuneen käytännön mukaan välkevaikutuksen ohjearvoja on yleensä sovellettu vain asuntojen kohdalla.

Todennäköisen välkevaikutuksen kartta kiinteistön 936-403-3-95 läheisyydessä on esitetty kuvassa (Kuva 5). Kiinteistön alueella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus on 5–9 tuntia. Metsästysmajan keskipisteen kohdalla todennäköinen vuotuinen välkeaika on 5 tuntia 52 minuuttia. Välkkeen tarkempi ajoittuminen metsästysmajan kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 8). Taulukon mukaan välke ajoittuu touko-heinäkuun iltoihin klo 21–23 väliseen aikaan Suomen kesäajan mukaan (taulukon 8 välkeajat ovat talviajan mukaisia).



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



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kiinteistön 936-403-3-95 metsästysmajan kohdalla.

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi
R1	6:39	0:07
R2	4:43	0:07
R3	6:52	0:07
R4	4:35	0:06
R5	3:24	0:06
R6	4:41	0:05
R7	2:35	0:06
R8	2:35	0:07
R9	2:37	0:07
R10	2:39	0:06
R11	3:22	0:08
R12	4:00	0:07
R13	0:00	0:00
R14	2:49	0:06

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R1 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:18	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59
Toukokuu	0:00	0:00	1:54	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:54
Kesäkuu	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
Heinäkuu	0:00	0:00	2:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:00
Elokuu	0:00	0:00	0:07	0:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	4:15	2:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:39

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R3 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:16	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
Huhtikuu	0:00	0:00	0:14	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:04
Toukokuu	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Kesäkuu	0:00	0:00	1:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:57
Heinäkuu	0:00	0:00	1:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:32
Elokuu	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	4:25	2:00	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:52

Taulukko 8: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] kiinteistöllä 936-403-3-95 olevan metsästysmajan kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:11	0:00	0:11
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:47	0:00	3:47
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:54	0:00	1:54
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:52	0:00	5:52

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälke aika ylittää hieman Saksan 30 tunnin raja-arvon yhden reseptorin kohdalla. Tämän lisäksi teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useamman reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen.

Suurin teoreettinen maksimivälke kohdistuu reseptoriin R3. Välkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 10). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aika-vyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika). Taulukosta nähdään, että teoreettinen maksimivälke ajoittuu varhaisiin aamuihin.

Taulukko 9: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	27:32	0:28
R2	20:17	0:26
R3	30:16	0:30
R4	20:03	0:27
R5	27:15	0:32
R6	26:19	0:30
R7	13:24	0:29
R8	12:59	0:32
R9	13:08	0:31
R10	13:25	0:29
R11	15:37	0:31
R12	17:08	0:28
R13	0:00	0:00
R14	10:49	0:24

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R3 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:51	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:51
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:21	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:08
Huhtikuu	0:00	0:00	0:58	3:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:35
Toukokuu	0:00	0:00	1:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43
Kesäkuu	0:00	0:00	7:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:44
Heinäkuu	0:00	0:00	5:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:39
Elokuu	0:00	0:00	0:58	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	4:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:59
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:38	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:38
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	17:02	9:57	3:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	30:16

3.4 Tuurämäen, Myyränkankaan ja Vermassalon yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Tuurämäen voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Vermassalon voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 22-27 voimalaa, jotka sijaitsevat lähimmillään 5,2-6,2 km etäisyydellä Tuurämäen voimaloista. Yhteisvaikutukset mallinnetaan sekä Myyränkankaan VE1 (27 voimalaa) että VE2 (22 voimalaa) suunnitelmissa.

Yhteisvaikutukset mallinnetaan Vermassalon 25 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1, joka aiheuttaa suuremman välkevaikutuksen kuin toinen vaihtoehto VE2. Vermassalon voimalat sijaitsevat lähimmillään 7,6 km etäisyydellä Tuurämäen voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 11-12.

Taulukko 11: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Myyränkankaan VE2:sta on poistettu viisi voimalaa: WTG18-19, WTG24-25 sekä WTG27.

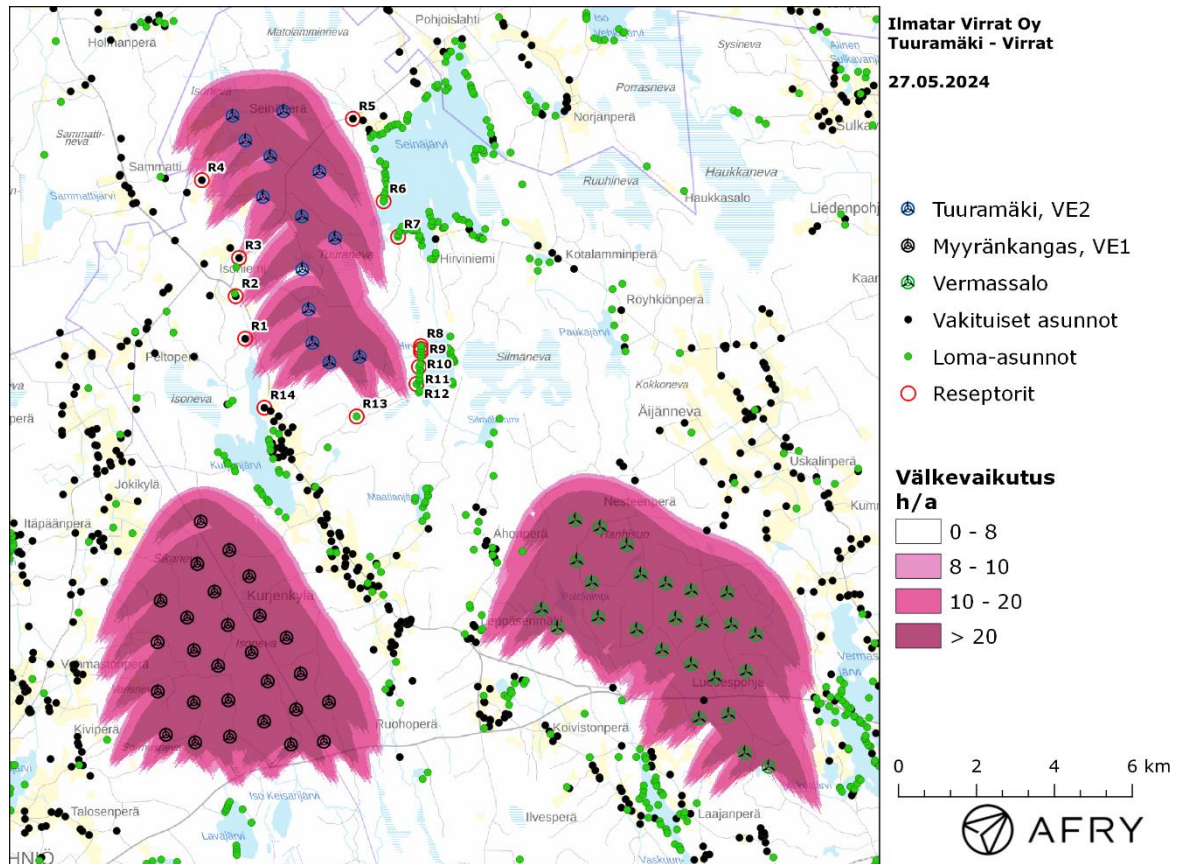
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	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: Vermassalon tuulivoimaloiden (25 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

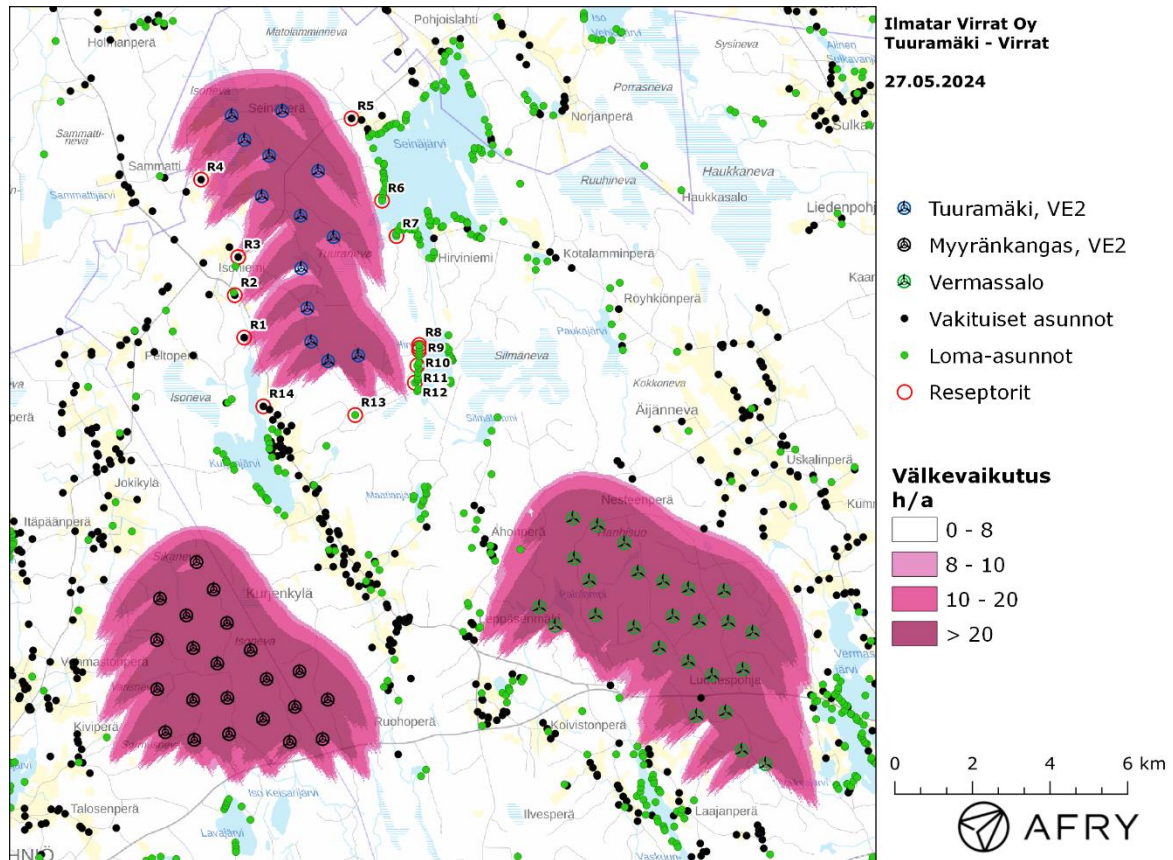
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
V1	316839	6911182	163
V2	319031	6908885	180
V3	321189	6908333	169
V4	320702	6910351	148
V5	319130	6910596	161
V6	321768	6905892	163
V7	315939	6909933	164
V8	316804	6912220	159
V9	317439	6912033	157
V10	319783	6910409	162
V11	320389	6908183	177
V12	319988	6907134	160
V13	318380	6909409	181
V14	319782	6908527	175
V15	321439	6909283	153
V16	317394	6909726	165
V17	318131	6911581	156
V18	316347	6909451	166
V19	320739	6907233	163
V20	321156	6906247	156
V21	317228	6910616	165
V22	320062	6909571	167
V23	320811	6909538	158
V24	319380	6909704	168
V25	318482	6910825	172

Mallinuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja roottorin halkaisijaa 215 m. Vermassalon voimaloille on puolestaan käytetty mallinuksissa napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 240 m.

Tuuramäen, Myyränkankaan (VE1 ja VE2) ja Vermassalon todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnukset on esitetty karttakuvina 6-7. Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptorien kohdilla on listattu taulukoissa 13-14. Mallinnusten perusteella tarkasteltuihin reseptoreihin ei synny välkkeen yhteisvaikutuksia eivätkä ne aiheuta välkkeen ohjearvon ylityksiä.



Kuva 6: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Tuoramäen, Myyränkankaan VE1 ja Vermassalon tuulivoimapaistot.



Kuva 7: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnoissa huomioidaan Tuoramäen, Myyränkankaan VE2 ja Vermassalon tuulivoimapaistot.

Taulukko 13: Välkeajat reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Tuuramäen, Myyränkankaan VE1 ja Vermassalon voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo [h:min], sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	6:39	0:07	27:32	0:28
R2	4:43	0:07	20:17	0:26
R3	6:52	0:07	30:16	0:30
R4	4:35	0:06	20:03	0:27
R5	3:24	0:06	27:15	0:32
R6	4:41	0:05	26:19	0:30
R7	2:35	0:06	13:24	0:29
R8	2:35	0:07	12:59	0:32
R9	2:37	0:07	13:08	0:31
R10	2:39	0:06	13:25	0:29
R11	3:22	0:08	15:37	0:31
R12	4:00	0:07	17:08	0:28
R13	0:00	0:00	0:00	0:00
R14	2:49	0:06	10:49	0:24

Taulukko 14: Välkeajat reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Tuuramäen, Myyränkankaan VE2 ja Vermassalon voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo [h:min], sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	6:39	0:07	27:32	0:28
R2	4:43	0:07	20:17	0:26
R3	6:52	0:07	30:16	0:30
R4	4:35	0:06	20:03	0:27
R5	3:24	0:06	27:15	0:32
R6	4:41	0:05	26:19	0:30
R7	2:35	0:06	13:24	0:29
R8	2:35	0:07	12:59	0:32
R9	2:37	0:07	13:08	0:31
R10	2:39	0:06	13:25	0:29
R11	3:22	0:08	15:37	0:31
R12	4:00	0:07	17:08	0:28
R13	0:00	0:00	0:00	0:00
R14	2:49	0:06	10:49	0:24

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Tuuramäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 13 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2, roottorin halkaisijalla 230 m ja napakorkeudella 205 m. Selvityksessä on arvioitu myös Tuuramäen ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Vermassalon tuulivoimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika ei ylitä Ruotsin 30 minuutin ohjearvoa asuntojen kohdilla. Saksan 30 tunnin raja-arvo vuotuiselle teoreettiselle maksimivälkkeelle ylittyy yhden rakennuksen kohdalla. Tämän lisäksi teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useammassa rakennuksessa.

Tuuramäen, Myyränkankaan ja Vermassalon 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.