

Sitowise

Valkiavaara (VE3)

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

10.12.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101020250-002.

Kannen kuva:© AFRY

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Ilmatieteen laitoksen sekä Luonnonvarakeskuksen avoimien aineistojen käyttölupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi.

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Sitowise

Anna-Maria Kujala

anna-maria.kujala@sitowise.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Juulianna Lähteinen

juulianna.lahteinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101020250-002

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	10.12.2025/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	10.12.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Copyright © AFRY Finland Oy

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5

2 TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE 7
2.1 Välkevaikutus 7
2.2 Välkkeen rajoittaminen 7
2.3 Arvioinnin epävarmuudet 7
2.4 Ohjearvot 8

3 TUULIVOIMAKOHTEEN VÄLKEMALLINNUS 9
3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto 9
3.2 Todennäköinen välkevaikutus 13
3.3 Teoreettinen välkevaikutus 15
3.4 Puuston välkettä vähentävä vaikutus 16
3.5 Välkkeen yhteisvaikutukset 18

4 YHTEENVETO 24

5 VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ 25

6 VIITTEET 27

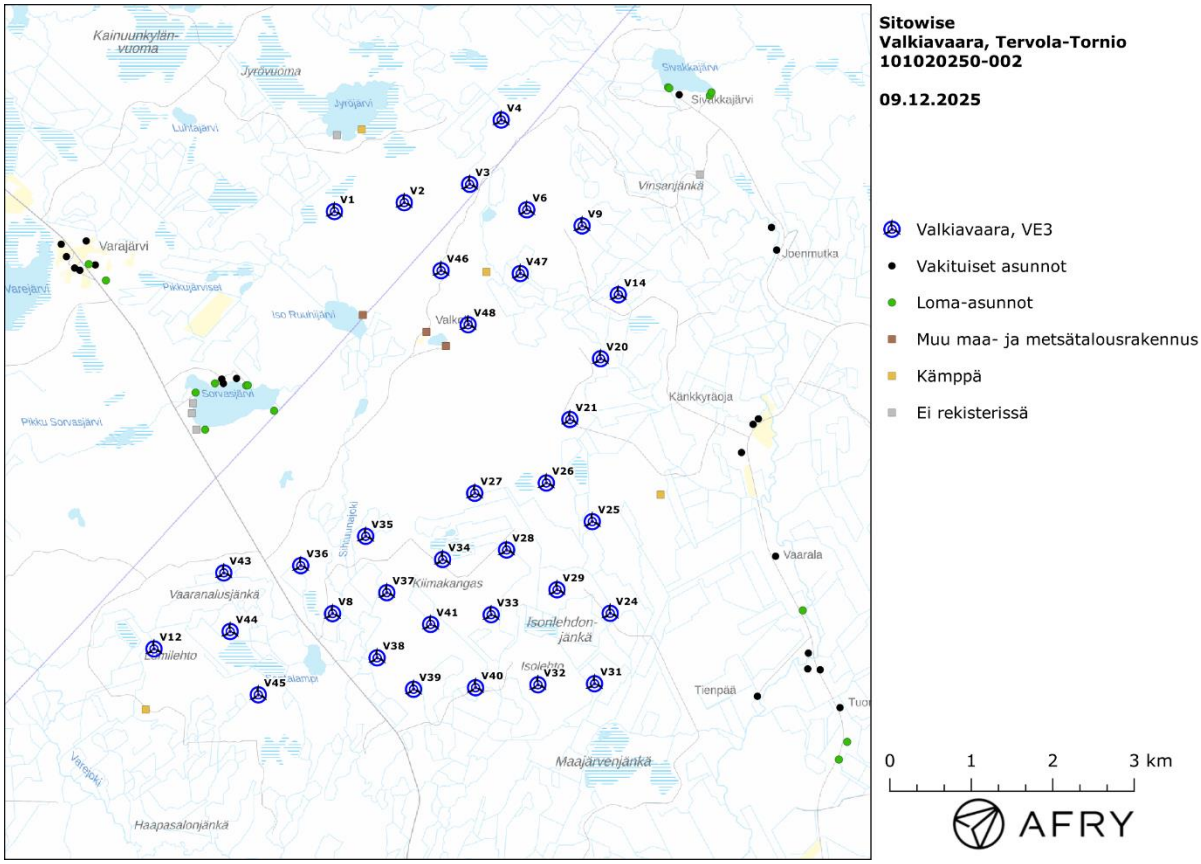
Copyright © AFRY Finland Oy

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Tervolan kunnan ja Tornion kaupungin alueelle suunnitellun Valkiavaaran tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 34 voimalan suunnitelmalle VE3. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välkeaikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyypin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyypistä V172 (roottorin halkaisija 172 m). Lapaa on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Voimalatyypin V172 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutusta.

Selvityksessä arvioidaan myös Valkiavaaran sekä läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.5.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Valkiavaaran hankealueella.

Taulukko 1-1: Valkiavaaran tuulivoimaloiden (34 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
V1	393530	7351429	141
V2	394387	7351538	167
V3	395190	7351763	153
V4	395577	7352552	134
V6	395891	7351450	141
V8	393507	7346496	90
V9	396570	7351253	116
V12	391315	7346063	107
V14	397015	7350408	101
V20	396797	7349623	92
V21	396420	7348878	97
V24	396915	7346500	79
V25	396695	7347625	95
V26	396131	7348099	102
V27	395252	7347973	103
V28	395643	7347277	96
V29	396262	7346789	87
V31	396723	7345636	72
V32	396028	7345624	86
V33	395454	7346483	88
V34	394858	7347160	104
V35	393914	7347445	101
V36	393116	7347085	99
V37	394173	7346753	97
V38	394054	7345954	91
V39	394501	7345568	85
V40	395262	7345588	73
V41	394711	7346364	98
V43	392172	7346996	106
V44	392250	7346277	98
V45	392596	7345500	98
V46	394839	7350704	128
V47	395811	7350668	119
V48	395171	7350040	131

Copyright © AFRY Finland Oy

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 kestoon vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisyys.

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

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

- Teoreettisen maksimiväkkeen 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 välkelaskenta 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 Rovaniemen sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 55 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.

Copyright © AFRY Finland Oy

2.4 Ohjearvot

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

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

Copyright © AFRY Finland Oy

3 TUULIVOIMAKOHTEEN VÄLKEMALLINNUS

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

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

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

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

Välkelaskennassa Valkiavaaran voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu nykyisestä voimalatyypistä V172 (roottorin halkaisija 172 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 100 metriin, lapaa on skaalattu 8 % leveämmäksi kuin voimalatyypissä V172. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisyys ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja

Copyright © AFRY Finland Oy

suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisyys on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Rovaniemen sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3-1: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,189	0,244	0,135	0,109	0,113	0,129

Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Rovaniemen sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,111
Helmikuu	0,246
Maaliskuu	0,363
Huhtikuu	0,436
Toukokuu	0,392
Kesäkuu	0,376
Heinäkuu	0,393
Elokuu	0,347
Syyskuu	0,285
Lokakuu	0,204
Marraskuu	0,107
Joulukuu	0,040

Taulukossa (Taulukko 3-4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä yhdeksän pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,7-2,2 km etäisyydellä voimaloista.

Copyright © AFRY Finland Oy

Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. MML:n maastotietokannan aineiston mukaan hankealueelle ja sen välittömään läheisyyteen sijoittuu useita asuin- ja lomarakennuksiksi luokiteltuja rakennuksia. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan osa rakennuksista on todellisuudessa käyttötarkoitukseltaan muita rakennuksia tai niitä ei ole merkitty kunnan rekisteriin. Nämä kyseiset rakennukset on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-3). Välkkeen ohjearvot koskevat ainoastaan vakituisiksi asuinrakennuksiksi sekä loma-asunnoiksi tarkoitettuja rakennuksia, minkä vuoksi kyseisiä rakennuksia ei huomioida tämän raportin välketarkasteluissa. Rakennukset on merkitty myös karttakuviin.

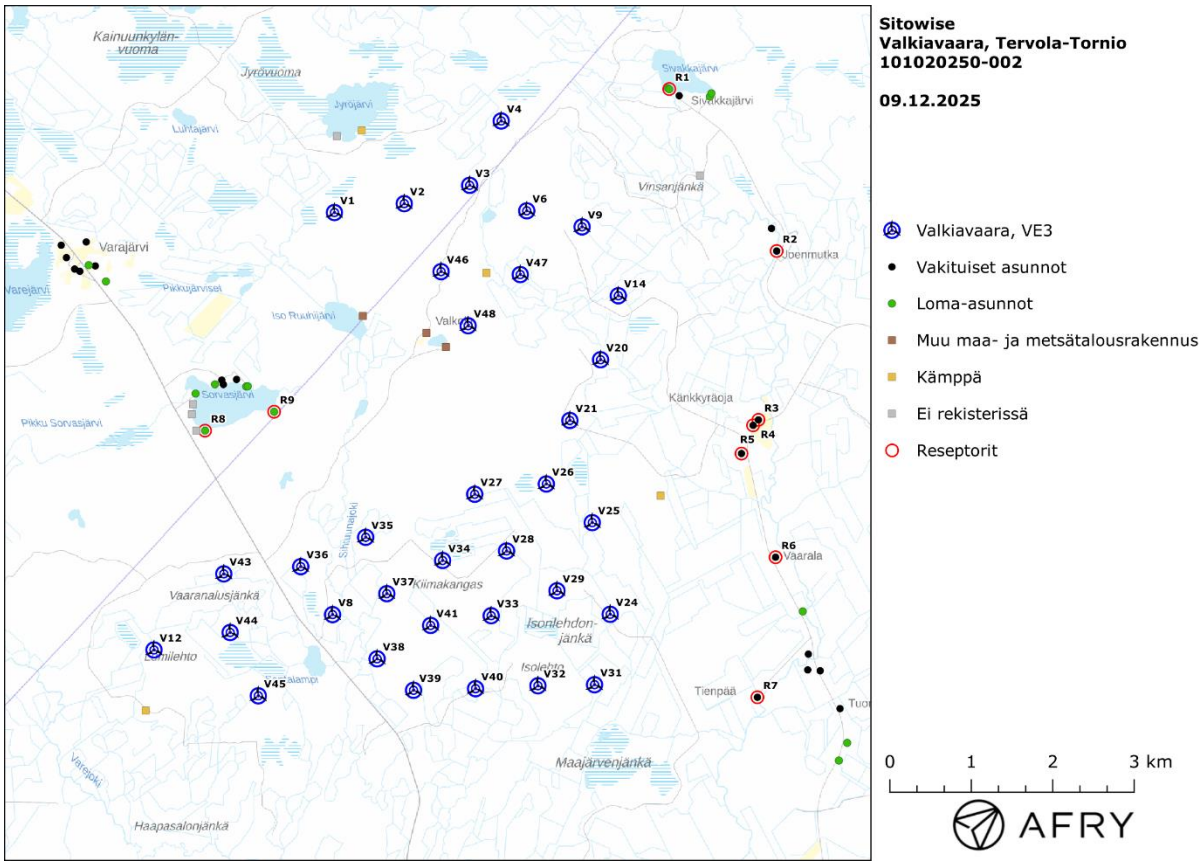
Taulukko 3-3: Asiakkaalta saadut rakennusten statukset.

Kiinteistönumero	Status
845-402-214-2	kämppä
845-402-5-142	muu maa- ja metsätalousrakennus
845-402-5-155	kämppä
845-402-94-2	kämppä
845-404-15-2	rakennusta ei rekistereissä
845-404-27-0	muu maa- ja metsätalousrakennus
851-424-13-19	rakennusta ei rekistereissä
851-424-13-36	rakennusta ei rekistereissä
851-424-14-22	rakennusta ei rekistereissä
851-424-2-23	muu maa- ja metsätalousrakennus
851-433-16-35	kämppä
851-433-878-48	rakennusta ei rekistereissä

Taulukko 3-4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	397641	7352942	102	loma-asunto
R2	398960	7350955	78	vakituinen asunto
R3	398736	7348884	71	vakituinen asunto
R4	398670	7348816	71	vakituinen asunto
R5	398528	7348470	75	vakituinen asunto
R6	398946	7347198	73	vakituinen asunto
R7	398723	7345480	61	vakituinen asunto
R8	391943	7348751	126	loma-asunto
R9	392791	7348983	123	loma-asunto

Copyright © AFRY Finland Oy



Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Valkiavaaran tuulivoimapuiston hankealueella.

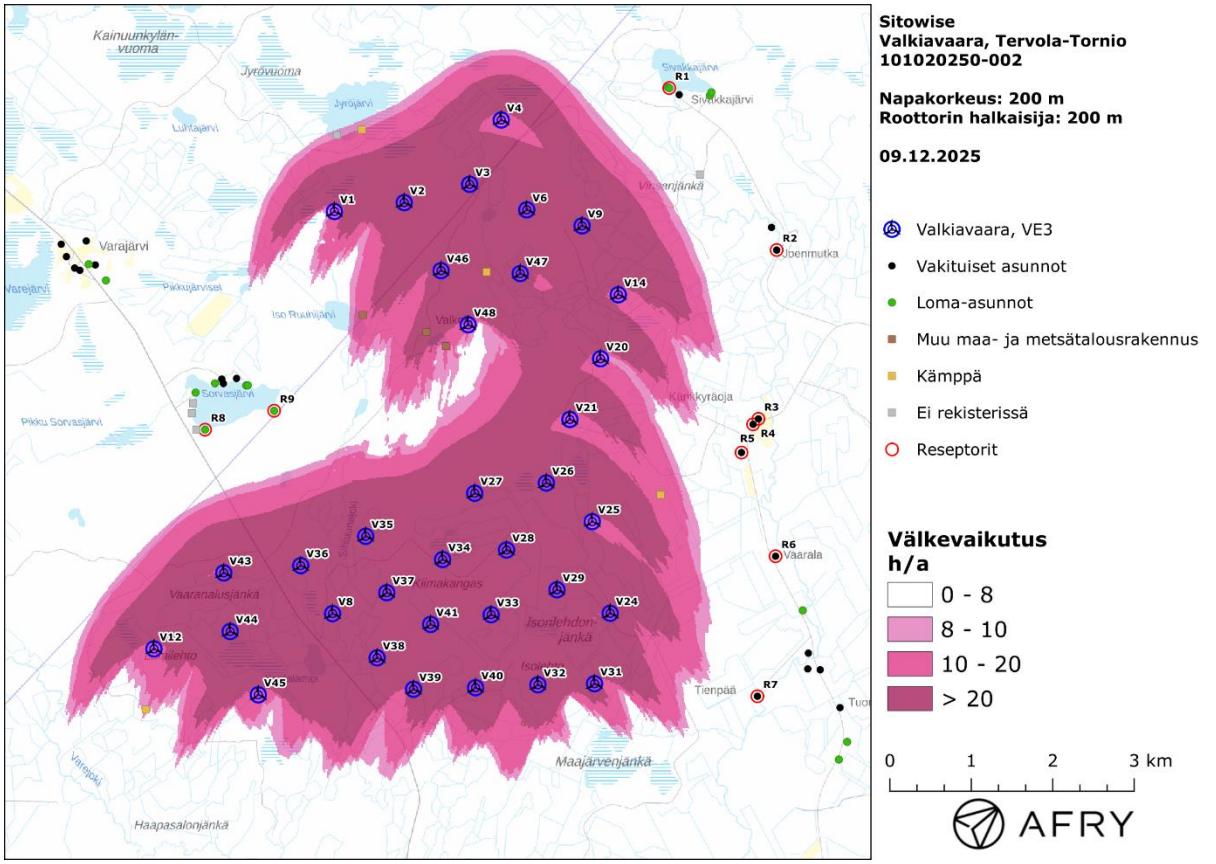
Copyright © AFRY Finland Oy

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja. Karttaan on lisäksi merkitty asiakkaan tarkentamat rakennukset (kts. Taulukko 3-3).

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimiväl kkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R4 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Valkiavaaran tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 3-5: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	1:12	0:03
R2	0:30	0:03
R3	2:16	0:03
R4	2:30	0:03
R5	2:01	0:03
R6	0:46	0:02
R7	1:25	0:03
R8	0:38	0:02
R9	1:04	0:03

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R4 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	0:10	0:00	0:00	0:00	**0:10**
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	**0:12**
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23	0:00	0:00	**0:23**
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:00	**0:46**
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	0:00	**0:24**
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:17	0:00	**0:23**
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05	0:00	0:00	**0:05**
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	**0:06**
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**	**0:16**	**0:46**	**1:28**	**0:00**	**2:30**

Copyright © AFRY Finland Oy

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälkeaika pysyy alle raja-arvojen kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla, kun välkeaikoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R4 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-8). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-7: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	7:22	0:14
R2	2:41	0:13
R3	11:30	0:14
R4	12:57	0:14
R5	10:16	0:14
R6	3:56	0:11
R7	7:20	0:13
R8	5:41	0:17
R9	10:25	0:23

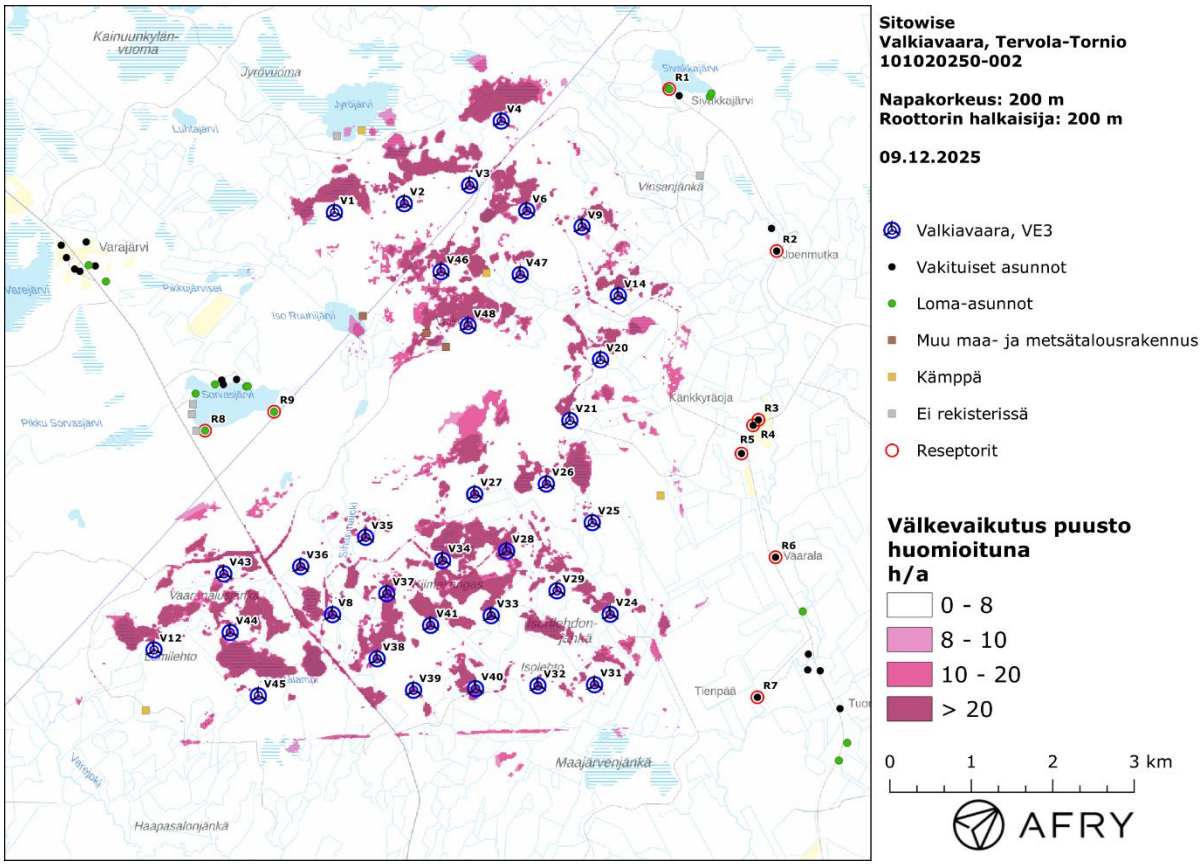
Taulukko 3-8: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R4 kohdalla.

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	0:47	0:00	0:00	0:00	**0:47**
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55	0:00	0:00	**0:55**
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:55	0:03	0:00	**1:58**
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	1:53	0:00	**1:53**
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	1:28	0:00	**2:14**
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35	0:00	0:00	**0:35**
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:00	0:00	0:00	**0:47**
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**	**1:34**	**4:11**	**7:12**	**0:00**	**12:57**

Copyright © AFRY Finland Oy

3.4 Puuston välkettä vähentävä vaikutus

Karttakuvassa (Kuva 3-3) on esitetty todennäköisen välkkeen mallinnus, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan. Puuston huomioivat vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptorien kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-9). Mallinnusten perusteella puusto rajoittaa merkittävästi Valkiavaaran voimaloiden näkyvyyttä ja siten vähentää välkevaikutusta. Laskennassa puustodatana on käytetty Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien investoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2023 (© Luonnonvarakeskus, 2025).



Kuva 3-3: Valkiavaaran tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä, kun puusto huomioidaan.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 3-9: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun metsän vaikutus huomioidaan.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	0:00	0:00
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	1:25	0:03
R8	0:00	0:00
R9	0:00	0:00

Copyright © AFRY Finland Oy

3.5 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Valkiavaaran voimaloiden sekä läheisten tuulivoimapuistojen aiheuttamaa välkkeen yhteisvaikutusta. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [4][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutuksia voi siis esiintyä, kun eri puistojen voimaloiden etäisyys on alle 6 km. Tällä etäisyydellä Valkiavaaran voimaloista sijaitsevat suunnitteilla olevat tuulivoimapuistot Kolopetäjä-Rovavaara, Martimo sekä Outojänkä. Näistä puistoista yhteisvaikutusten mallinnukseen on valittu suunnitteluvaihtoehdot, jotka aiheuttavat suurimmat välkevaikutukset. Taulukkoon (Taulukko 3-10) on koottu naapuripuistojen voimalatiedot.

Taulukko 3-10: Mallinnuksissa naapuripuistoille käytetyt voimalamitat.

Tuulivoimapuisto	Etäisyys Valkiavaaraan	Voimalat	Napakorkeus	Roottorin halkaisija
Kolopetäjä-Rovavaara	1,2 km	77 kpl	210 m	200 m
Martimo	1,7 km	70 kpl	200 m	200 m
Outojänkä	4,8 km	35 kpl	200 m	200 m

Välkemallinnuksessa Kolopetäjä-Rovavaaran voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m. Martimon ja Outojängän voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m. Kaikille naapuripuistojen voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m ja samaa lapaprofiilia kuin Valkiavaaran voimaloille. Käytetystä lapaprofiilista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 3.1.

Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-11-Taulukko 3-13).

Taulukko 3-11: Kolopetäjä-Rovavaaran tuulivoimaloiden (77 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]	Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
KR1	393551	7344355	76	KR40	391113	7337305	46
KR2	393926	7343935	73	KR41	390313	7336714	42
KR3	393115	7343985	73	KR42	389064	7336442	42
KR4	391987	7344125	71	KR43	389052	7335787	40
KR5	391343	7344239	70	KR44	390031	7335892	46
KR6	390729	7344248	71	KR45	391291	7336343	41
KR7	389992	7344178	74	KR46	392085	7336687	53
KR8	388896	7344154	78	KR47	393047	7337372	56
KR9	390405	7343466	72	KR48	393446	7336696	50
KR10	389579	7343483	70	KR49	392947	7336072	55
KR11	388908	7343127	75	KR50	392665	7335339	45
KR12	389721	7342577	70	KR51	392215	7335952	52
KR13	388998	7342004	74	KR52	391511	7335523	42
KR14	389055	7341354	72	KR53	390814	7335529	38
KR15	388241	7340747	88	KR54	388725	7337446	54
KR16	386620	7340385	75	KR55	389667	7339792	74

Copyright © AFRY Finland Oy

KR17	385780	7340379	71	KR56	390330	7340582	70
KR18	385357	7341084	73	KR57	389834	7341425	67
KR19	384482	7341037	71	KR58	391319	7341286	66
KR20	384452	7341700	81	KR59	391944	7341315	71
KR21	389071	7340129	81	KR60	392075	7342764	68
KR22	387956	7339831	78	KR61	392676	7344247	77
KR23	386982	7339490	79	KR62	391984	7339784	78
KR24	386133	7339420	59	KR63	391389	7339539	70
KR25	386300	7338308	55	KR64	390789	7339210	60
KR26	387212	7338795	60	KR65	390908	7341916	70
KR27	388086	7338768	56	KR66	391737	7342216	67
KR28	388609	7339515	71	KR67	387983	7341877	83
KR29	389286	7338536	54	KR68	387751	7342635	92
KR30	388157	7337947	58	KR69	388209	7343565	90
KR31	390163	7338763	57	KR70	386718	7342500	131
KR32	389918	7338056	58	KR71	385648	7341898	90
KR33	389538	7337123	51	KR72	386454	7341756	82
KR34	390287	7337536	54	KR73	387010	7341303	77
KR35	391347	7338774	80	KR74	391057	7340057	64
KR36	392038	7339003	105	KR75	389482	7340773	72
KR37	392777	7338873	81	KR76	390791	7338198	51
KR38	392316	7337960	63	KR77	386321	7341167	74
KR39	391902	7337489	64				

Taulukko 3-12: Martimon tuulivoimaloiden (70 kpl)sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]	Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	377136	7346601	98	M36	377939	7348298	98
M2	381942	7349951	116	M37	384931	7345604	92
M3	384823	7350235	129	M38	377927	7341803	84
M4	378218	7349690	106	M39	381585	7345156	90
M5	376338	7343974	96	M40	377484	7345706	101
M6	386698	7348199	130	M41	383766	7349664	124
M7	380286	7349474	115	M42	387472	7348166	109
M8	377219	7341555	113	M43	379571	7349548	113
M9	384185	7351157	134	M44	375984	7342889	92
M10	379407	7345078	116	M45	388106	7345330	98
M11	383586	7346346	94	M46	384979	7348706	117
M12	384845	7343049	103	M47	385299	7343681	91
M13	382688	7348862	115	M48	381471	7342111	66
M14	387386	7347276	109	M49	381136	7349414	114

Copyright © AFRY Finland Oy

M15	379158	7350132	117	M50	380067	7344005	91
M16	379784	7341455	84	M51	386473	7346774	108
M17	385431	7349826	129	M52	379950	7346725	104
M18	380634	7346505	107	M53	383541	7343988	77
M19	388935	7345847	90	M54	376849	7345049	105
M20	383614	7342612	81	M55	383831	7348006	115
M21	378277	7347180	102	M56	379088	7343932	99
M22	381938	7351003	128	M57	381836	7349104	114
M23	375548	7343958	97	M58	378631	7348904	106
M24	385606	7348200	122	M59	384153	7343180	88
M25	377274	7344017	97	M60	376874	7342518	86
M26	387384	7345330	92	M61	387884	7346811	102
M27	380842	7341808	67	M62	381534	7346355	99
M28	382486	7346956	101	M63	385084	7346808	105
M29	383152	7350834	136	M64	380734	7343249	72
M30	388577	7347134	101	M65	382970	7350062	128
M31	378894	7345938	112	M66	378147	7344004	97
M32	382484	7342265	68	M67	386313	7345891	104
M33	380686	7348606	109	M68	379436	7347755	102
M34	379156	7341846	85	M69	384033	7345524	99
M35	389668	7346470	87	M70	384387	7349114	119

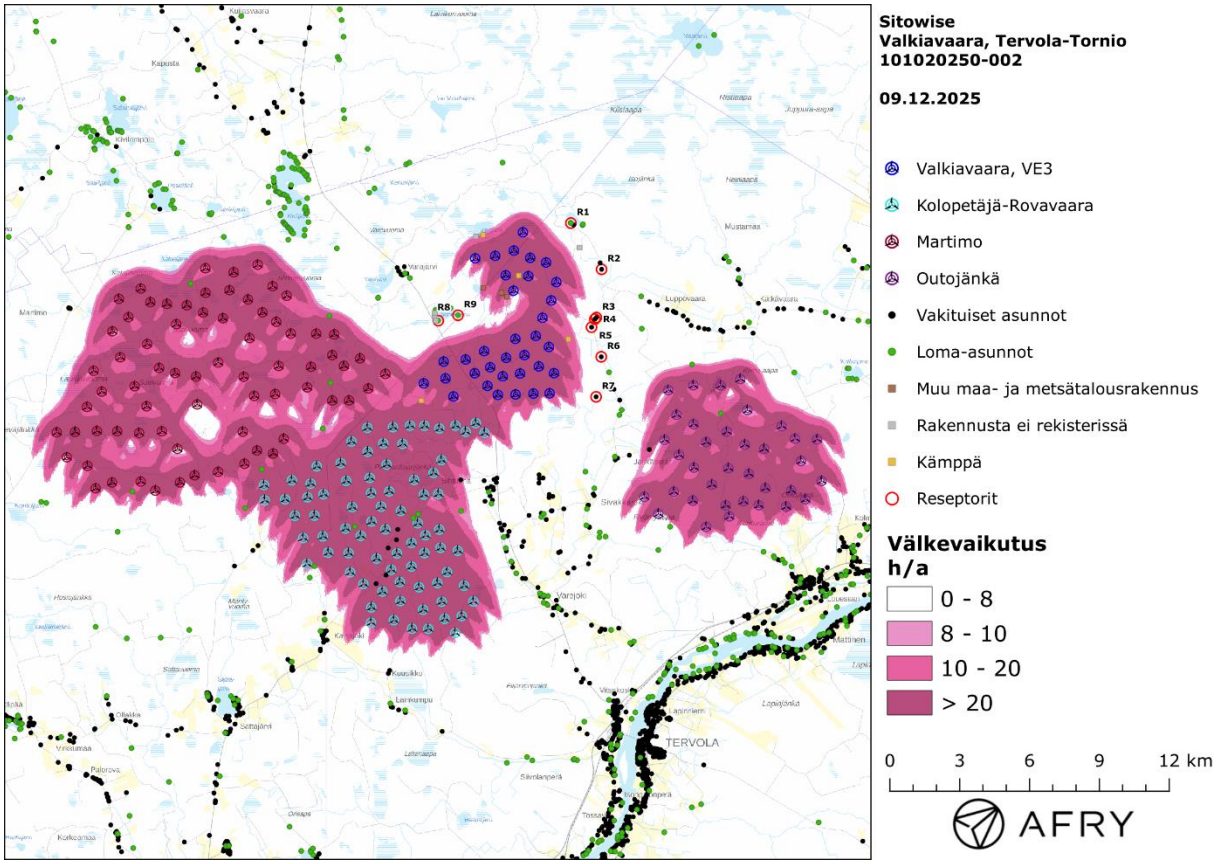
Taulukko 3-13: Outojängän tuulivoimaloiden (35 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]	Tuuli-voimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
O1	400794	7341190	52	O19	405110	7343435	59
O2	402059	7341405	54	O20	407266	7343686	72
O3	402877	7341029	48	O21	406693	7344229	66
O4	403450	7339901	40	O22	405994	7341566	45
O5	404442	7340348	43	O23	402925	7342444	54
O6	404286	7340826	44	O24	402284	7342985	61
O7	405051	7340999	52	O25	403450	7343543	61
O8	405707	7340832	43	O26	404336	7343988	59
O9	406884	7340772	40	O27	401665	7343636	59
O10	407714	7341083	42	O28	402910	7344316	71
O11	407099	7341465	44	O29	402176	7344714	62
O12	408406	7341871	51	O30	405221	7344917	65
O13	407522	7342731	56	O31	401823	7345772	71
O14	408215	7343656	69	O32	402897	7345978	76
O15	405284	7342175	54	O33	404074	7345978	68
O16	404406	7342420	49	O34	404915	7346246	69

Copyright © AFRY Finland Oy

O17	403695	7341716	49	O35	401396	7340463	46
O18	405940	7343250	57				

Valkiavaaran, Kolopetäjä-Rovavaaran, Martimon sekä Outojängän todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-14). Mallinnusten perusteella Valkiavaaran ja naapuripuistojen voimaloista ei aiheudu merkittävää välkkeen yhteisvaikutusta ympäröivään asutukseen.



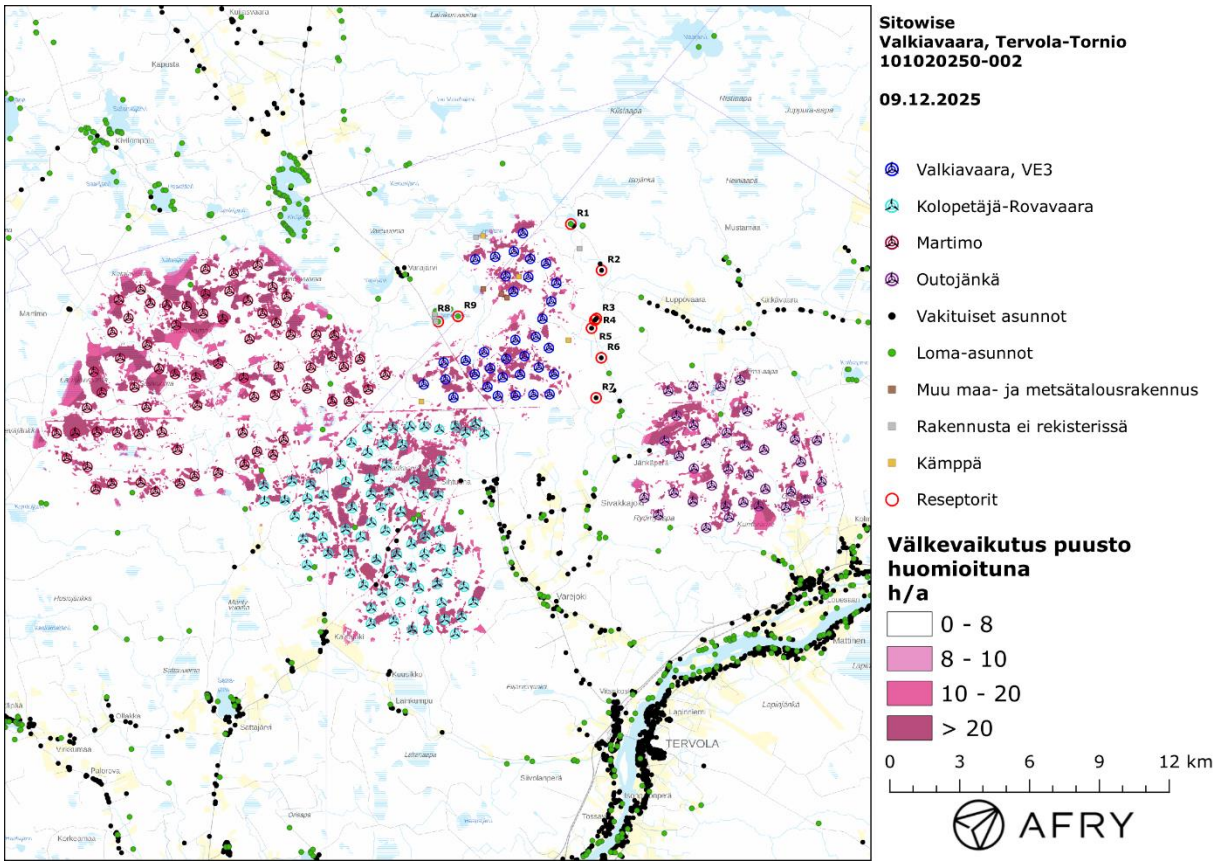
Kuva 3-4: Valkiavaaran, Kolopetäjä-Rovavaaran, Martimon ja Outojängän tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 3-14: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Valkiavaaran sekä naapuripuistojen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	1:12	0:03	7:22	0:14
R2	0:30	0:03	2:41	0:13
R3	2:16	0:03	11:30	0:14
R4	2:30	0:03	12:57	0:14
R5	2:01	0:03	10:16	0:14
R6	0:46	0:02	3:56	0:11
R7	1:25	0:03	7:20	0:13
R8	0:38	0:02	5:41	0:17
R9	1:04	0:03	10:25	0:23

Todennäköinen välkevaikutus puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden on esitetty karttakuvana (Kuva 3-5) ja välkeajat reseptorien kohdilla on listattu taulukkoon (Taulukko 3-15).



Kuva 3-5: Valkiavaaran, Kolopetäjä-Rovavaaran, Martimon ja Outojängän tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä, kun puuston vaikutus huomioidaan.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 3-15: Valkiavaaran, Kolopetäjä-Rovavaaran, Martimon ja Outojängän voimaloiden aiheuttama todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun metsän vaikutus huomioidaan.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00
R2	0:00	0:00
R3	0:00	0:00
R4	0:00	0:00
R5	0:00	0:00
R6	0:00	0:00
R7	1:25	0:03
R8	0:00	0:00
R9	0:00	0:00

Copyright © AFRY Finland Oy

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Tervolan kunnan ja Tornion kaupungin alueelle suunnitellun Valkiavaaran tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 34 voimalan suunnitelmalle VE3, roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Valkiavaaran ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Vuotuinen teoreettinen maksimivälke sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke alittaa Saksan raja-arvot.

Yhteisvaikutusmallinnusten perusteella Valkiavaaran ja läheisten naapuripuistojen voimaloista ei aiheudu merkittävää välkkeen yhteisvaikutusta.

Copyright © AFRY Finland Oy

5 VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ

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

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

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

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

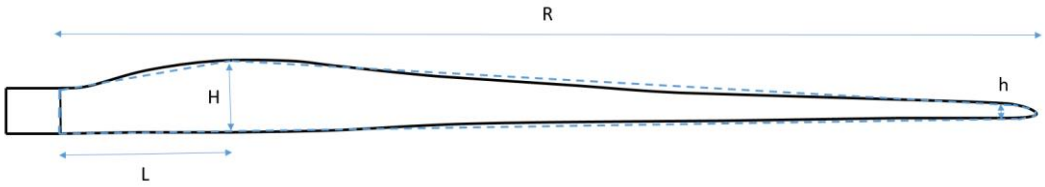
Kun lavan leveys on *w* metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

*maksimietäisyys = (5 * d * w)/1’097’780,*

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

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 5-1) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h. Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.

Copyright © AFRY Finland Oy



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

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

Copyright © AFRY Finland Oy

6 VIITTEET

[1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.

[2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.

[3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1

[4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.

Copyright © AFRY Finland Oy