

Muntterinkankaan tuulivoimahanke, Pie- lavesi ja Keitele

LIITE 9: MUNTTERINKANKAAN TUULIVOIMAHANKKEEN VÄL-
KESELVITYS (VE2), AFRY FINLAND OY



Ilmatar Pielavesi Oy

Munsterinkankaan tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

200_304-012

Tekijä
Juulianna Lähteinen

pvm
15.03.2023

Osasto
Wind and Solar Power and New Energy Systems

Projektinumero
200_304-012

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Raporttiversio
001

Raportin tila
VALMIS

Asiakas

Ilmatar Pielavesi Oy
Timo Laitinen

Muntterinkankaan tuulivoimahankkeen välkeselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	15.03.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	15.03.2023/ 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>.

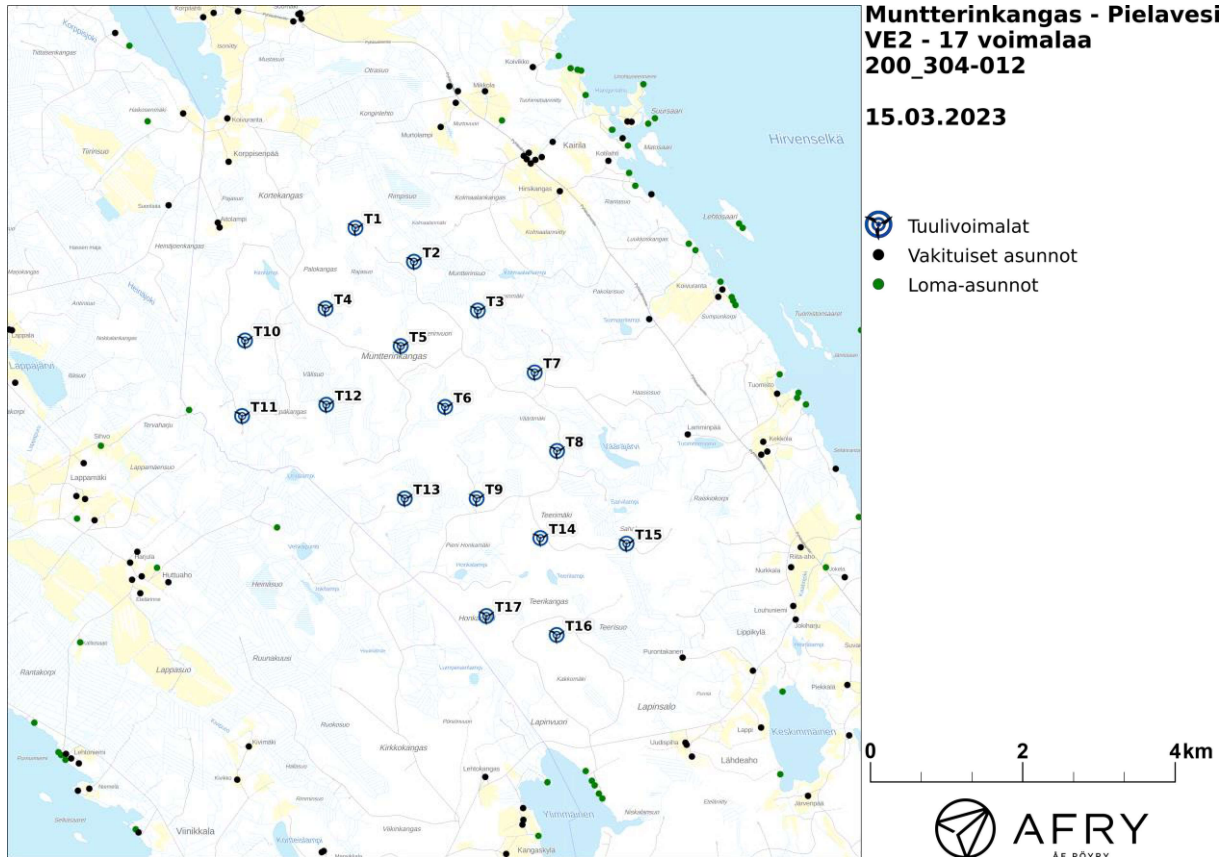
Sisällysluettelo

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
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Välkevaikutus.....	11
4	Yhteenveto	14
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	15
6	Viitteet.....	17

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Pielaveden kunnan alueelle suunnitellun Muntterinkankaan tuulivoima-
 puiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 17 voimalan
 sijoitussuunnitelmalle VE2.

Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).
 Mallinuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 250 m ja napakorkeutta 225 m.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Muntterinkankaan hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini-paikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	467927,0	7022293,0	139
T2	468681,0	7021857,0	137
T3	469503,0	7021229,0	136
T4	467542,0	7021255,0	147
T5	468510,0	7020771,0	145
T6	469082,0	7019987,0	155
T7	470236,0	7020431,0	147
T8	470524,0	7019416,0	155
T9	469488,0	7018804,0	159
T10	466504,8	7020842,4	130
T11	466466,8	7019869,7	122
T12	467552,1	7020015,2	136
T13	468562,0	7018803,0	137
T14	470309,0	7018294,0	160
T15	471415,0	7018222,0	142
T16	470519,0	7017046,0	184
T17	469613,5	7017290,4	172

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

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

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

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen välkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistäyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja.

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 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän 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 250 m. Voimaloiden lavan muodolle on käytetty profiilia, jonka maksimileveys on 5,0 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä. Lapa kapenee lineaarisesti arvoon 2,0 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 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 Siilinjärven sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta

maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntaakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,158	0,174	0,159	0,143	0,140	0,164

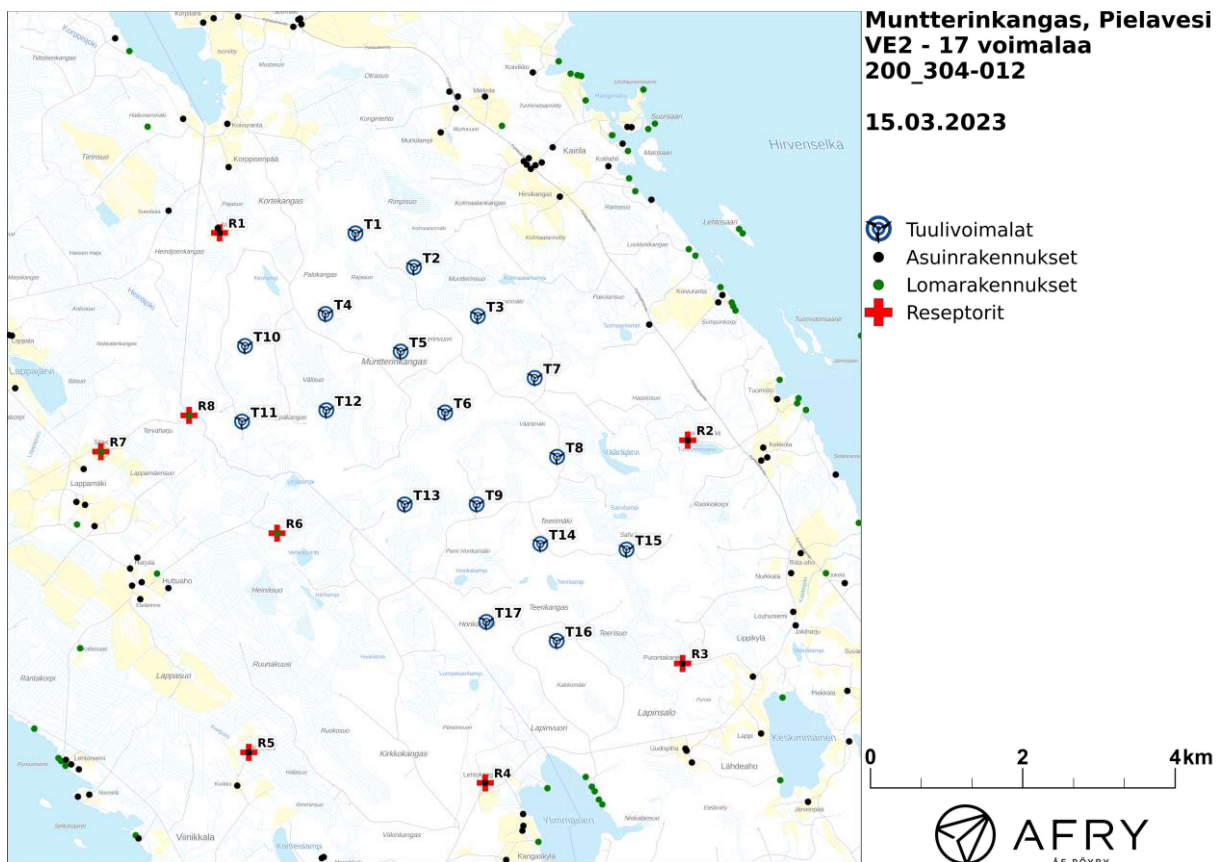
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,154
Helmikuu	0,262
Maaliskuu	0,332
Huhtikuu	0,432
Toukokuu	0,454
Kesäkuu	0,424
Heinäkuu	0,456
Elokuu	0,406
Syyskuu	0,299
Lokakuu	0,186
Marraskuu	0,108
Joulukuu	0,082

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kahdeksan vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-3,5 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R8, joka sijaitsee alle 700 metrin etäisyydellä voimalasta T11. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan kyseisen lomarakennuksen käyttötarkoitus tullaan muuttamaan.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	466178	7022306	129	vakituinen asuinrakennus
R2	472204	7019637	125	vakituinen asuinrakennus
R3	472138	7016763	127	vakituinen asuinrakennus
R4	469600	7015226	149	vakituinen asuinrakennus
R5	466555	7015618	126	vakituinen asuinrakennus
R6	466918	7018439	125	lomarakennus
R7	464649	7019490	125	lomarakennus
R8	465785	7019956	115	lomarakennus



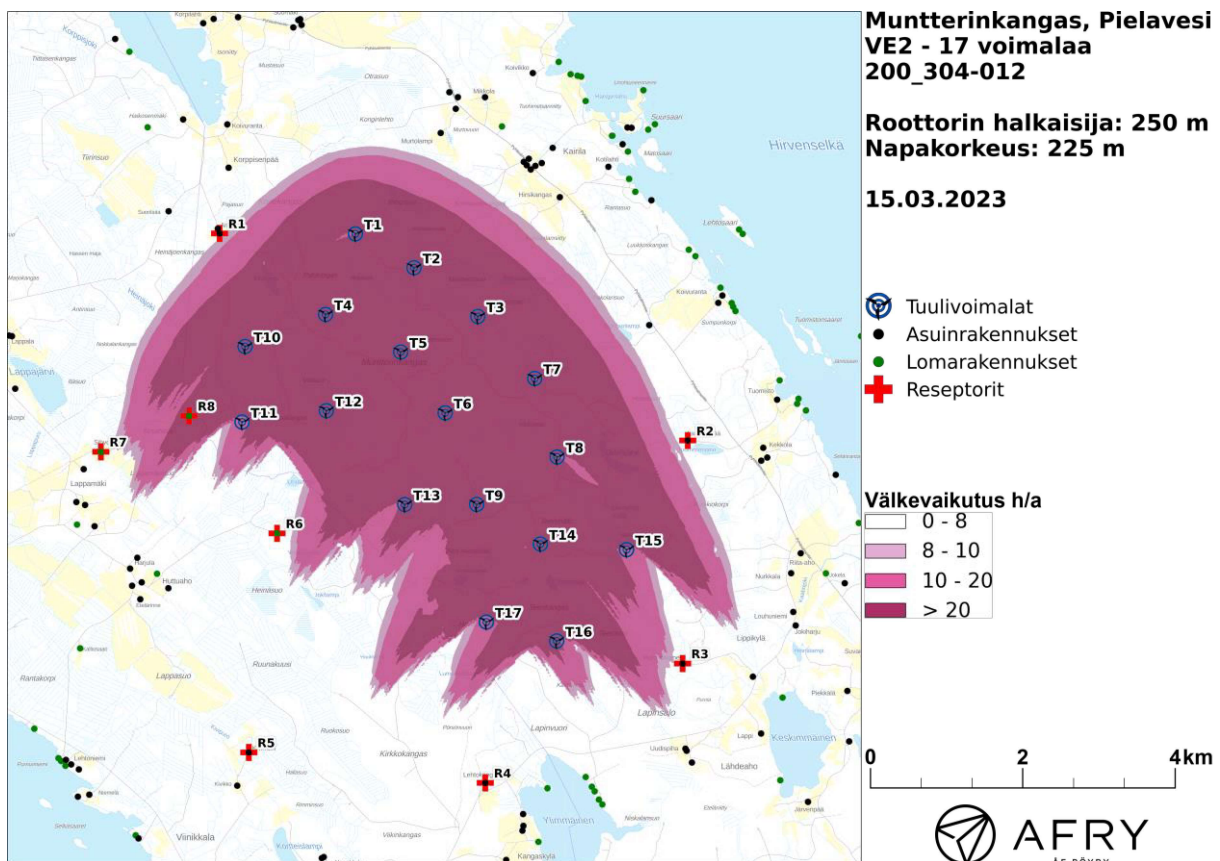
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Välkevaikutus

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

Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon yhden lähialueen rakennuksen kohdalla. Kyseisen lomarakennuksen käyttötarkoitus tullaan muuttamaan. Päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Vuotuiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R1, R3, R6 ja R8 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6-Taulukko 9). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaika [min]
R1	7:09	7
R2	5:57	7
R3	6:06	8
R4	0:00	0
R5	0:00	0
R6	4:27	8
R7	4:09	7
R8	35:38	27

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [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	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:22	1:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:09	0:34	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:44
Huhtikuu	0:00	0:00	0:04	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:14
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	0:04	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18
Syyskuu	0:00	0:00	0:01	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:44
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03	0:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03
Yhteensä	0:00	0:00	0:08	2:18	1:35	3:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:09

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [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	0:00	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	1:48	0:00	0:00	1:48
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:23	0:00	0:34
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52	0:00	0:52
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	0:00	0:59
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:52	0:00	0:00	1:52
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	3:52	2:14	0:00	6:06

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [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	0:00	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	1:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:35
Toukokuu	0:00	0:00	0:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
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	0:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:21
Elokuu	0:00	0:00	1:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:48
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	4:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:27

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin R8 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	0:15	8:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:54
Toukokuu	0:00	0:05	1:37	6:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:08
Kesäkuu	0:00	0:03	1:21	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:44
Heinäkuu	0:00	0:00	2:08	3:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:40
Elokuu	0:00	0:00	0:37	9:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:42
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	1:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:30
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	0:07	5:59	29:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	35:38

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Pielaveden kunnan alueelle suunnitellun Munterinkankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 17 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2, napakorkeudella 225 m ja roottorin halkaisijalla 250 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon yhden lähialueen kiinteistön kohdalla. Kyseisen rakennuksen käyttötarkoitus tullaan muuttamaan. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

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

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.

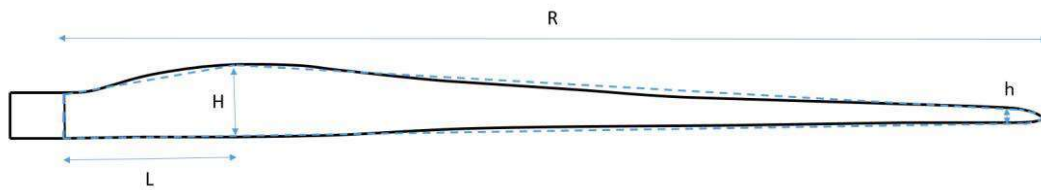
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 4) 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 4: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään yksinkertaistettua lineaarista 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.



6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.