

WestWind Oy – Kauniskankaan tuuli- ja aurinkovoimahanke, Kyyjärvi
YVA-TÄYDENNYKSEN 6.10.2023 LIITTEET

Liite 9

[Kauniskankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys, Afry 7.9.2023](#)



WestWind Oy

Kauniskankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys

101022243-001

Tekijä
Erkki Heikkola

pvm
07/09/2023

Osasto
Wind and Solar Finland

Projektinnumero
101022243-001

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Raporttiversio
001

Raportin tila
VALMIS

Asiakas

WestWind Oy
Matti Uuttu

Kauniskankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	07.09.23/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	07.09.23/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

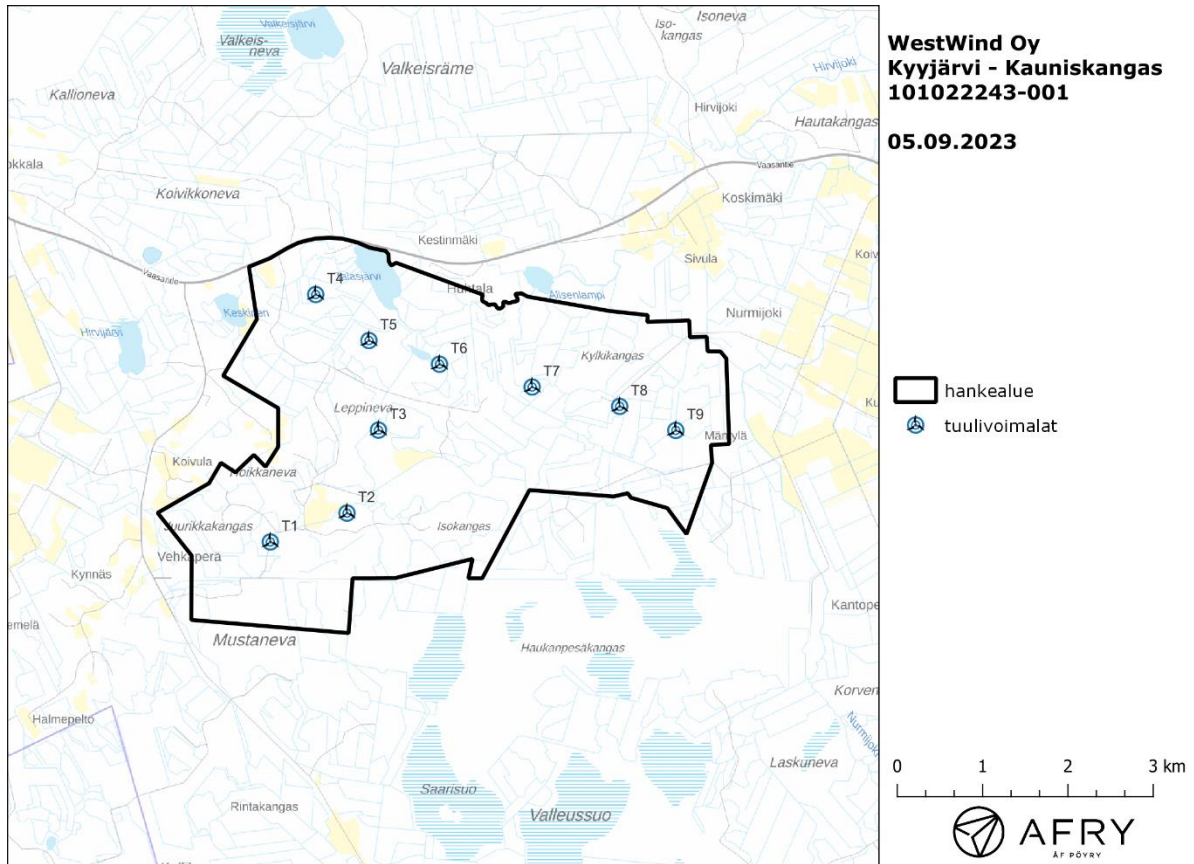
Sisällysluettelo

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	10
3.3	Välkkeen rajoittaminen hallintatyökalun avulla	12
4	Yhteenveto	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	17
6	Viitteet	19

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kyyjärven kunnan alueelle suunnitellun Kauniskankaan tuulivoimapaiston 9 voimalan tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m ja napakorkeutta 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 100 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella.

Taulukko 1: Kauniskankaan turbiinipaikkojen sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	366788	6988407	197,2
T2	367686	6988744	187,9
T3	368055	6989716	182,9
T4	367319	6991304	180,9
T5	367943	6990765	179,2
T6	368770	6990488	177,6
T7	369855	6990221	176,4
T8	370881	6989994	168,8
T9	371538	6989713	169,5

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 todennäköinen 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 yleistyksiä 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 tuulivoimapaiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [1]. Tässä selvityksessä välkeaikoja verrataan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin.

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 todennäköisen vuotuisen välkkeen raja-arvo on 8 tuntia. Teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot Saksassa ovat 30 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2,0 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 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin V162 lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Samalla lavan profiilia on levennetty siten, että profiilin levein kohta levenee 4,6 metriin. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätä (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 väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väkkeituntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlakselta [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa 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 osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [4]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti 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	0,162	0,180	0,169	0,147	0,134	0,145

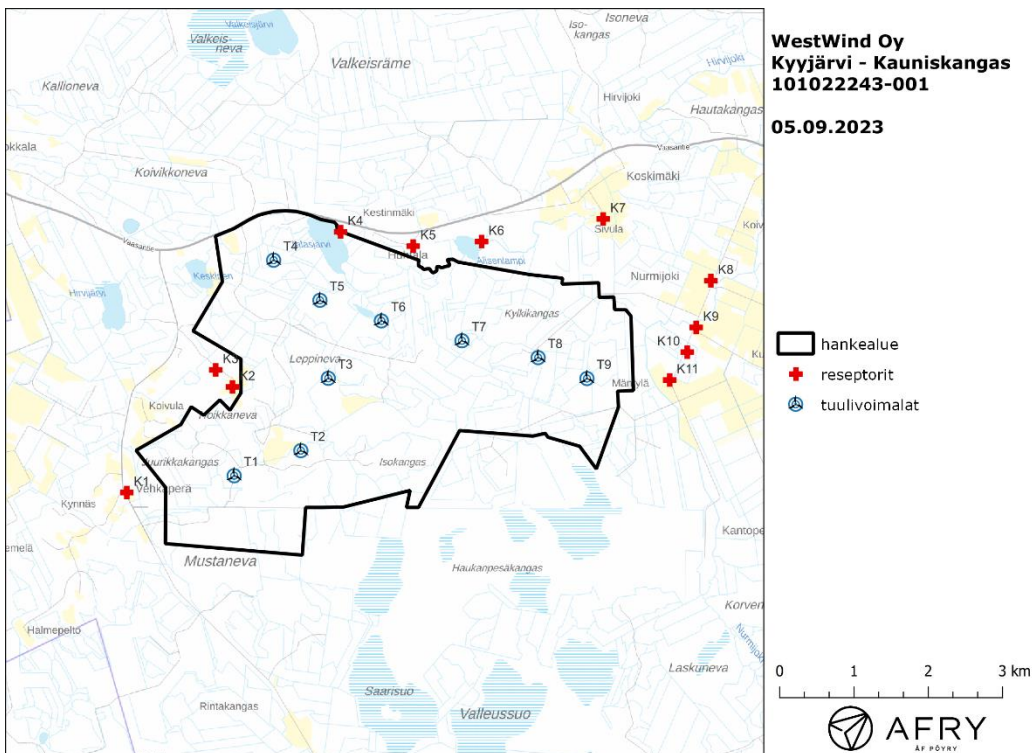
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat lähimmillään noin 1–2 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
K1	365343	6988178	203,8	vakituinen asuinrakennus
K2	366767	6989598	197,9	vakituinen asuinrakennus
K3	366541	6989827	198,3	vakituinen asuinrakennus
K4	368222	6991684	178,5	loma-asunto
K5	369200	6991492	177,2	vakituinen asuinrakennus
K6	370120	6991552	167,9	loma-asunto
K7	371758	6991856	166,0	vakituinen asuinrakennus
K8	373208	6991027	163,3	vakituinen asuinrakennus
K9	373009	6990397	164,2	vakituinen asuinrakennus
K10	372890	6990066	167,8	vakituinen asuinrakennus
K11	372653	6989692	166,7	vakituinen asuinrakennus

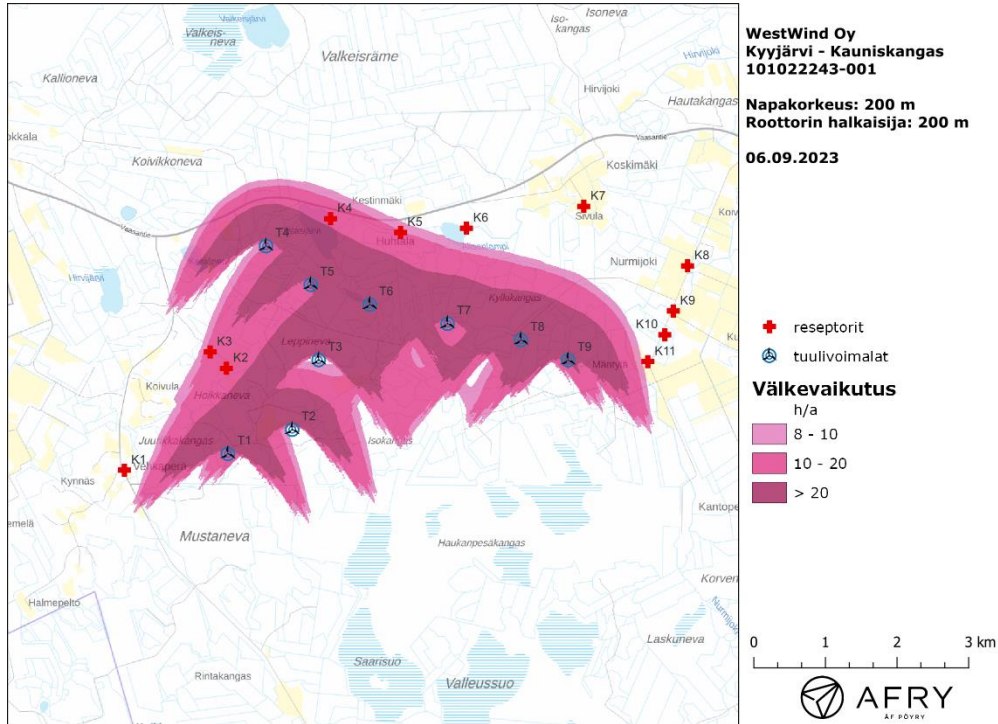


Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston ympäristössä.

3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisen välkeajan vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty välkevaikutusten arvioinnissa käytettävät reseptoripisteet.

Todennäköiset vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvot reseptorien K2-K5 kohdilla. Muiden asuntojen kohdilla todennäköinen vuotuinen välke jää alle 8 tunnin ohjearvon. Päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien K2 ja K4 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 7). Esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen väkjetuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ja suurin päiväkohtainen välkeaika reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
K1	3:37	10
K2	11:19	9
K3	11:37	8
K4	16:15	16
K5	10:23	13
K6	5:20	9
K7	1:11	2
K8	0:31	2
K9	2:00	6
K10	3:23	7
K11	6:32	15

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin K2 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	0:04	0:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:02	0:54	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
Huhtikuu	0:00	0:00	1:09	0:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:08
Toukokuu	0:00	0:00	0:32	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35
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	1:11	1:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:35
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	1:21	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:34
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
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	2:52	2:26	3:08	1:20	1:33	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:19

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto (h:min) reseptorin K4 kohdalla.

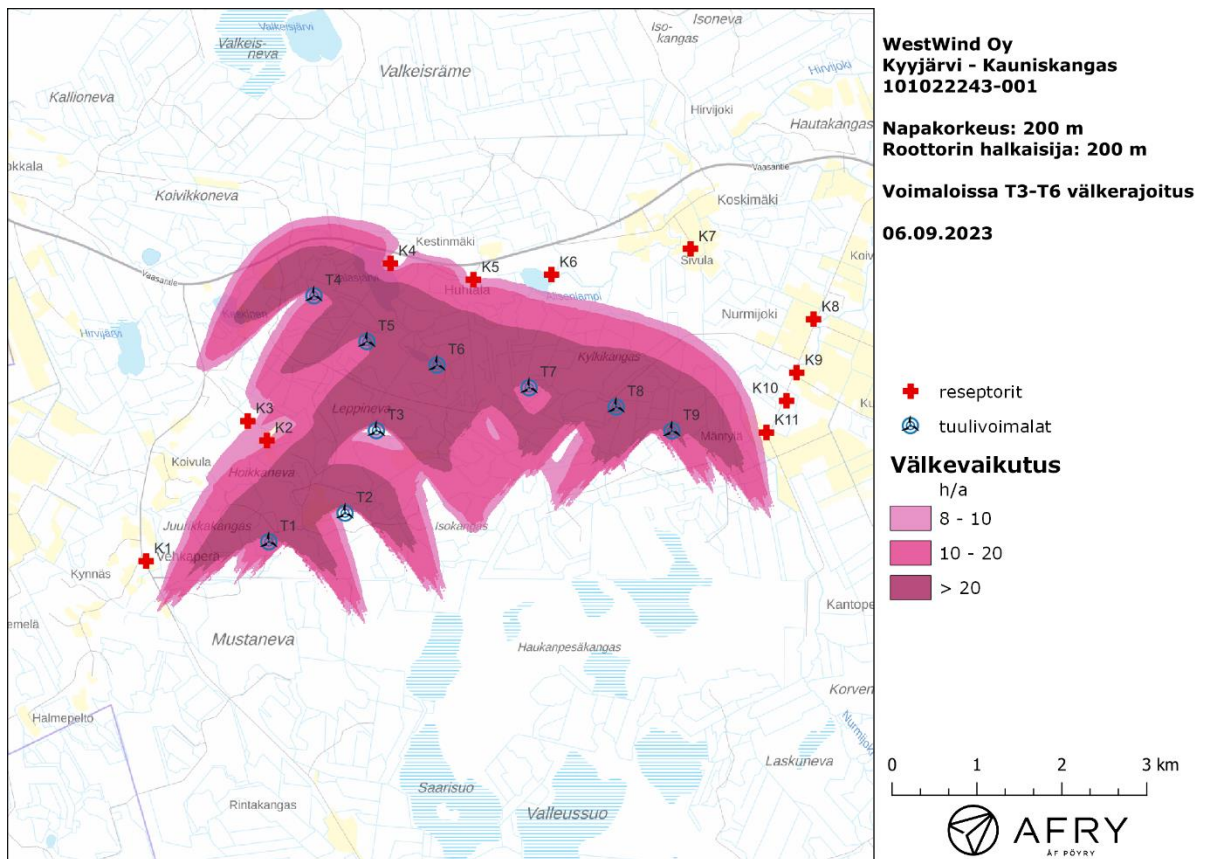
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:03
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	1:28	2:52	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:32
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:29	0:00	0:00	0:00	3:29
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	2:06	0:00	0:00	0:00	2:17
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:31	1:31	0:03	0:34	0:00	0:00	0:00	2:59
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:20	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:49
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	2:25	6:47	0:14	6:09	0:00	0:00	0:00	16:15

3.3 Välkkeen rajoittaminen hallintatyökalun avulla

Tässä luvussa välkevaikutus on mallinnettu tilanteessa, jossa on käytössä välkkeen hallintatyökalu. Hallintatyökalun sisältävässä mallinnuksessa voimat T3-T6 ovat pysäytettyinä taulukossa (Taulukko 8) lueteltuina päivinä ja kellonaikoina, jotka ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika). Hallintatyökalun huomioiva todennäköinen vuotuinen välkevaikutus on esitetty karttakuvassa (Kuva 4) ja taulukossa (Taulukko 9) reseptorikohtaisesti. Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin K2 ja K4 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 10 ja Taulukko 11). Asetetuilla toimintarajoitteilla välkevaikutus jää alle 8 tunnin kaikkien lähialueen asuntojen kohdilla.

Taulukko 8: Päivämäärät ja kellonajat, jolloin voimat T3-T6 ovat pysäytettynä välkkeen rajoittamiseksi.

Turbiini	Päivämäärät	Kellonaika
T3	14.-28.4., 24.-29.8.	05-06
	4.-11.4., 17.-28.4., 12.-27.8., 4.-6.9.	06-07
T4	7.-28.3., 16.9.-3.10.	16-17
T5	25.5.-14.6., 29.6.-20.7.	04-05
	26.-31.10.	12-13
	1.-22.2.	13-14
T6	1.-6.3.	16-17
	5.-10.5., 5.-6.8.	04-05
	6.-13.2.	10-11
	1.-16.2., 25.-31.10.	13-14



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä, kun käytössä on välkerajoitukset.

Taulukko 9: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ja suurin päiväkohtainen arvo reseptoreiden kohdalla, kun käytössä on välkettä rajoittava työkalu.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
K1	3:37	10
K2	7:37	8
K3	6:56	5
K4	7:07	11
K5	7:46	10
K6	5:13	9
K7	1:11	2
K8	0:31	2
K9	2:00	6
K10	3:23	7
K11	6:32	15

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin K2 kohdalla, kun käytössä on välkettä rajoittava työkalu.

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	0:04	0:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46	0:02	0:54	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
Huhtikuu	0:00	0:00	0:10	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
Toukokuu	0:00	0:00	0:12	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15
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	0:45	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55
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	1:21	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:34
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
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	1:07	0:29	3:08	1:20	1:33	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:37

Taulukko 11: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto [h:min] reseptorin K4 kohdalla, kun käytössä on välkettä rajoittava työkalu.

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	0:06	0:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:03
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:56	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:00	0:12
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:08	0:00	0:00	0:00	0:19
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:31	1:09	0:03	0:18	0:00	0:00	0:00	2:21
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:20	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:49
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	1:53	3:42	0:14	0:38	0:00	0:00	0:00	7:07

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kyyjärven kunnan alueelle suunnitellun Kauniskankaan tuulivoimapaiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkeaika ylittää 8 ja 10 tunnin ohjearvon neljän rakennuksen kohdalla. Muiden asuntojen kohdalla todennäköinen vuotuinen välke jää alle 8 tunnin ohjearvon. Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Raportissa on esitetty lisäksi mallinnukset, jossa neljän voimalan toimintaa on rajoitettu välkevaikutusten alentamiseksi. Esitetyn välkehallinnan avulla todennäköinen vuotuinen välkeaika saadaan rajoitettua alle 8 tunnin kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

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.

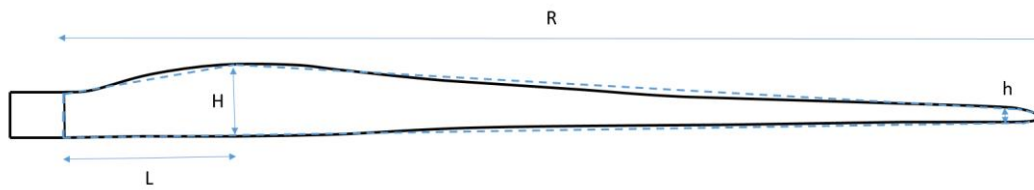
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 5) on esitetty yksinkertaistettu 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 5: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin välkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. 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] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [4] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.