

# Västervik II tuulivoimahanke

LIITE 7: VÄLKESELVITYS



# **Ilmatar Kristiinankaupunki Kaksi Oy**

## Västervik II tuulivoimahanke

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

26.9.2025

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 101021368-036.

Kannen kuva: © AFRY

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

## YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

**Ilmatar Kristiinankaupunki Kaksi Oy**

Helena Arola

helena.arola@ilmatar.com

Tekijä:

**AFRY Finland Oy**

Helmi Uusitalo

helmi.uusitalo@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

[www.afry.com](http://www.afry.com)

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101021368-036

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
000	19.6.2025/ Helmi Uusitalo, Technical consultant	19.6.2025/ Erkki Heikkola, Senior consultant	
001	26.9.2025/ Helmi Uusitalo, Technical consultant	26.9.2025/ Erkki Heikkola, Senior consultant	Lisätty uusi 15 voimalan suunnitelma

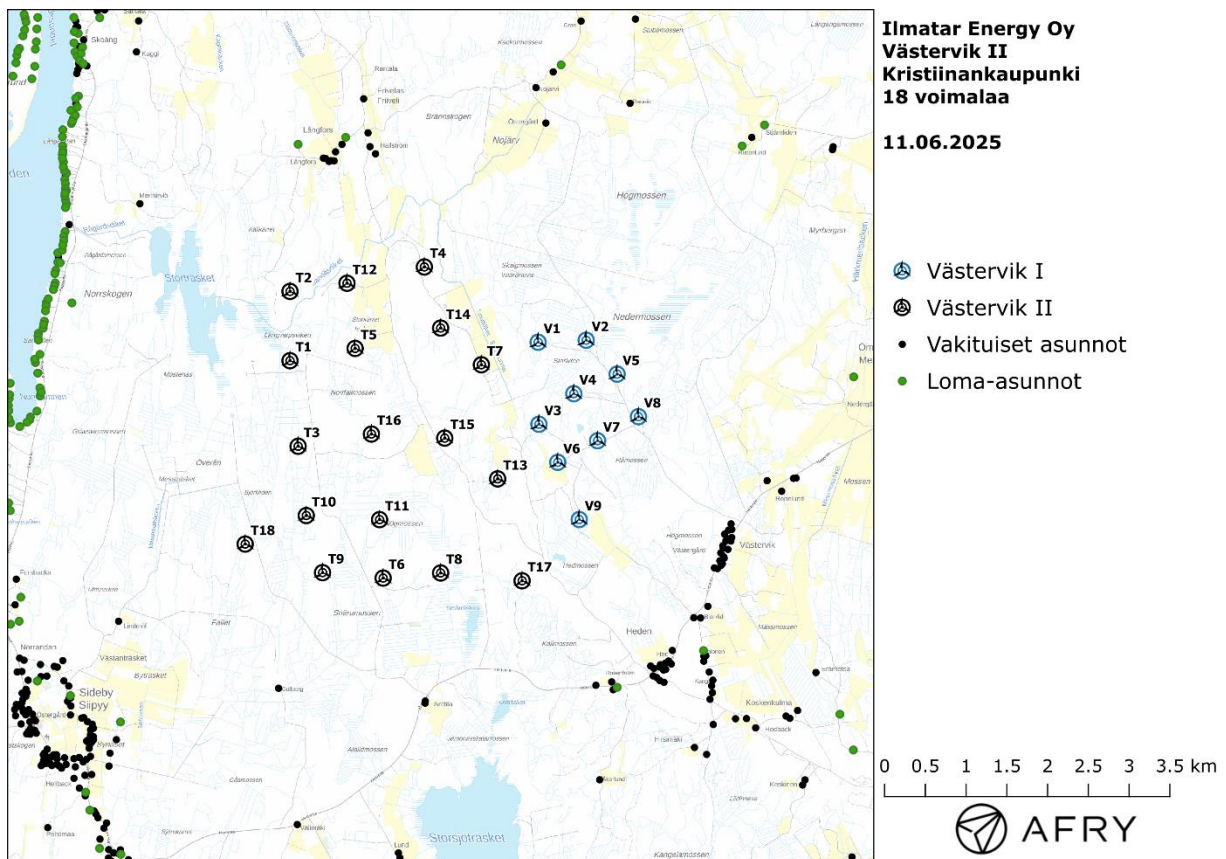
## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE .....	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet .....	7
2.4	Ohjeavot .....	8
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS .....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	12
4	YHTEENVETO.....	15
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ .....	16
6	VIITTEET .....	18

# 1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Kristiinankaupungin alueelle suunnitellun Västervik II tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty kahdelle 18 ja 15 voimalan toteutus suunnitelmalle (VE1 ja VE2). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1). 15 voimalan suunnitelmassa voimat T2, T4 ja T12 on jätetty pois.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapaistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välke aikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyyppin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, väkemannuksissa voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin 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). Voimalatyyppin V162 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutusta. Selvityksessä on huomioitu myös hankealueen itäpuolella olevan Västervik I tuulivoimapaiston vaikutukset mallinnuksiin.



**Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Västervik II hankealueella.**

**Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (18 kpl tai 15 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	206616	6895168	9
T2 (vain suunnitelmassa 1)	206616	6896018	13
T3	206716	6894118	13
T4 (vain suunnitelmassa 1)	208266	6896318	17
T5	207416	6895318	17
T6	207760	6892501	19
T7	208966	6895118	19
T8	208466	6892564	18
T9	207016	6892568	18
T10	206816	6893268	17
T11	207716	6893218	21
T12 (vain suunnitelmassa 1)	207316	6896118	14
T13	209166	6893718	21
T14	208466	6895568	21
T15	208516	6894218	19
T16	207616	6894268	18
T17	209466	6892468	23
T18	206066	6892918	16

## 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 pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolelle (aamu- ja iltajat). 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 kohdittuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta 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 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 Pelmaan 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]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja. 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 vuotuisen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

### 3 TUULIVOIMAKOHTTEEN 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-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueen 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 2,0 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 vakioleveyinen: 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 Västervik II:n voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 230 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden 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 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 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 pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjotusaikoja Pelmaan 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 tuulenopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.**

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,225	0,204	0,118	0,098	0,120	0,148

**Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.**

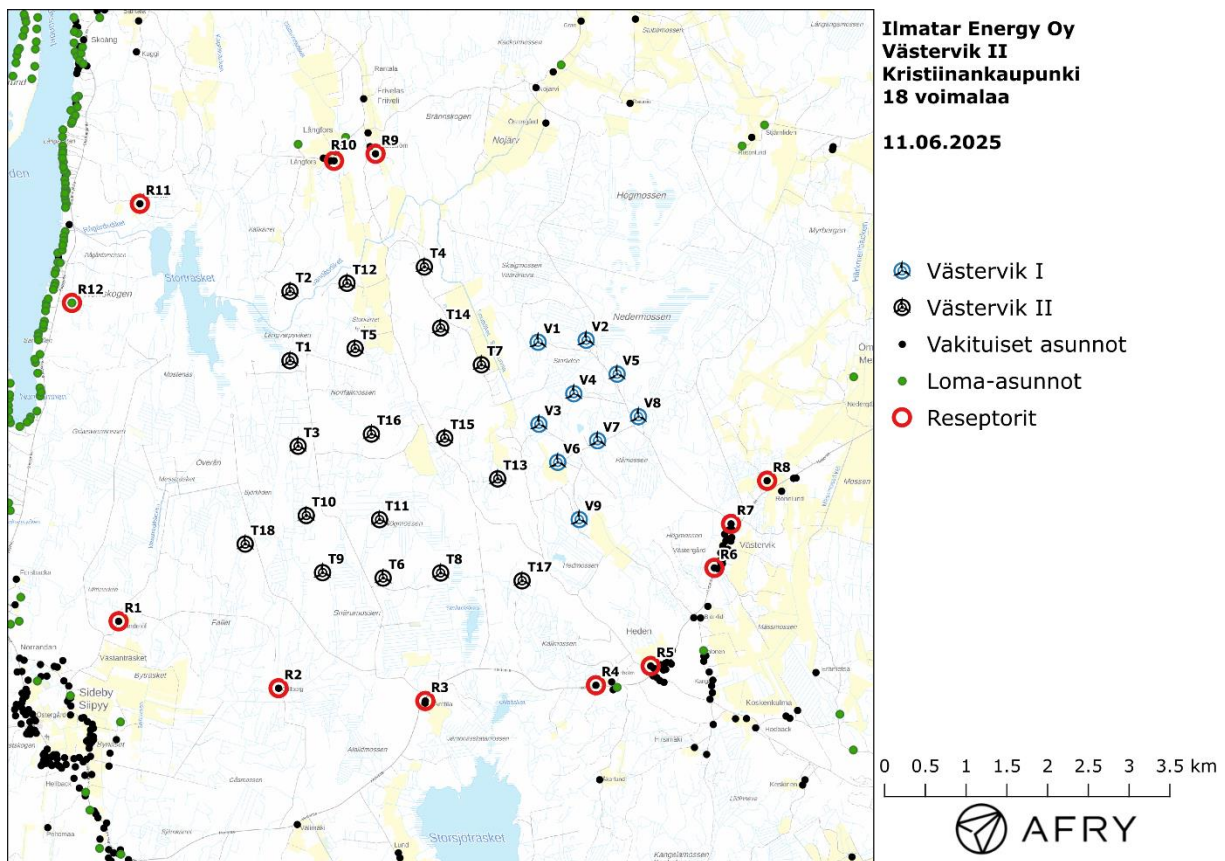
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailukiinteistöä, 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). Kiinteistöt sijaitsevat noin 1,5–3,2 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueella tai sen läheisyydessä sijaitsee myös rakennus- ja huoneistotietorekisterin mukaisia muita kuin asuin- tai lomarakennuskäyttöön tarkoitettuja rakennuksia. Muita kuin asuin- tai lomarakennuksia ei ole otettu huomioon välkevaikutusten arvioinnissa.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	204513	6891969	9	vakituinen asuinrakennus
R2	206477	6891148	14	vakituinen asuinrakennus
R3	208279	6890991	18	vakituinen asuinrakennus
R4	210374	6891184	25	vakituinen asuinrakennus
R5	211046	6891420	41	vakituinen asuinrakennus
R6	211828	6892624	29	vakituinen asuinrakennus
R7	212033	6893164	29	vakituinen asuinrakennus
R8	212476	6893693	24	vakituinen asuinrakennus
R9	207668	6897704	17	vakituinen asuinrakennus
R10	207158	6897618	14	vakituinen asuinrakennus
R11	204774	6897091	11	vakituinen asuinrakennus
R12	203940	6895875	8	lomarakennus

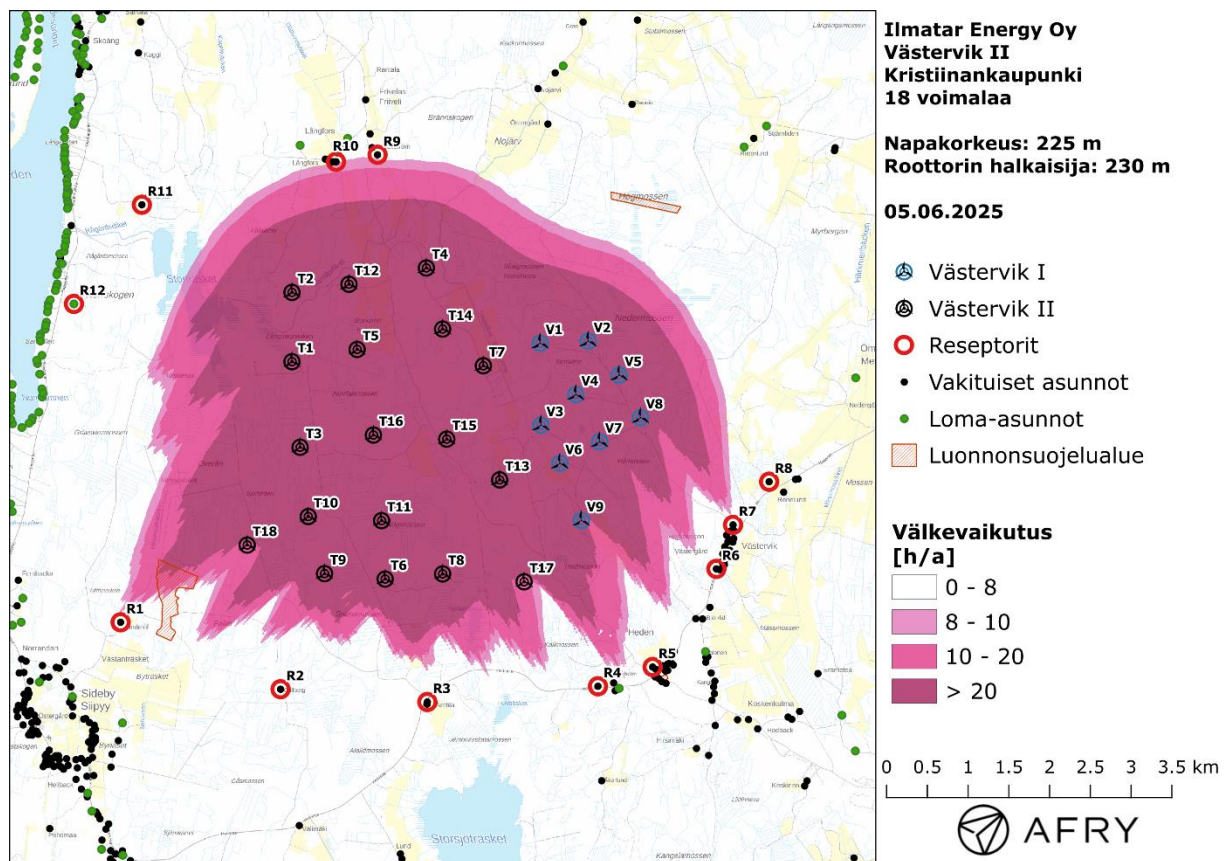

**Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Västervik II tuulivoimapuiston hankealueella.**

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

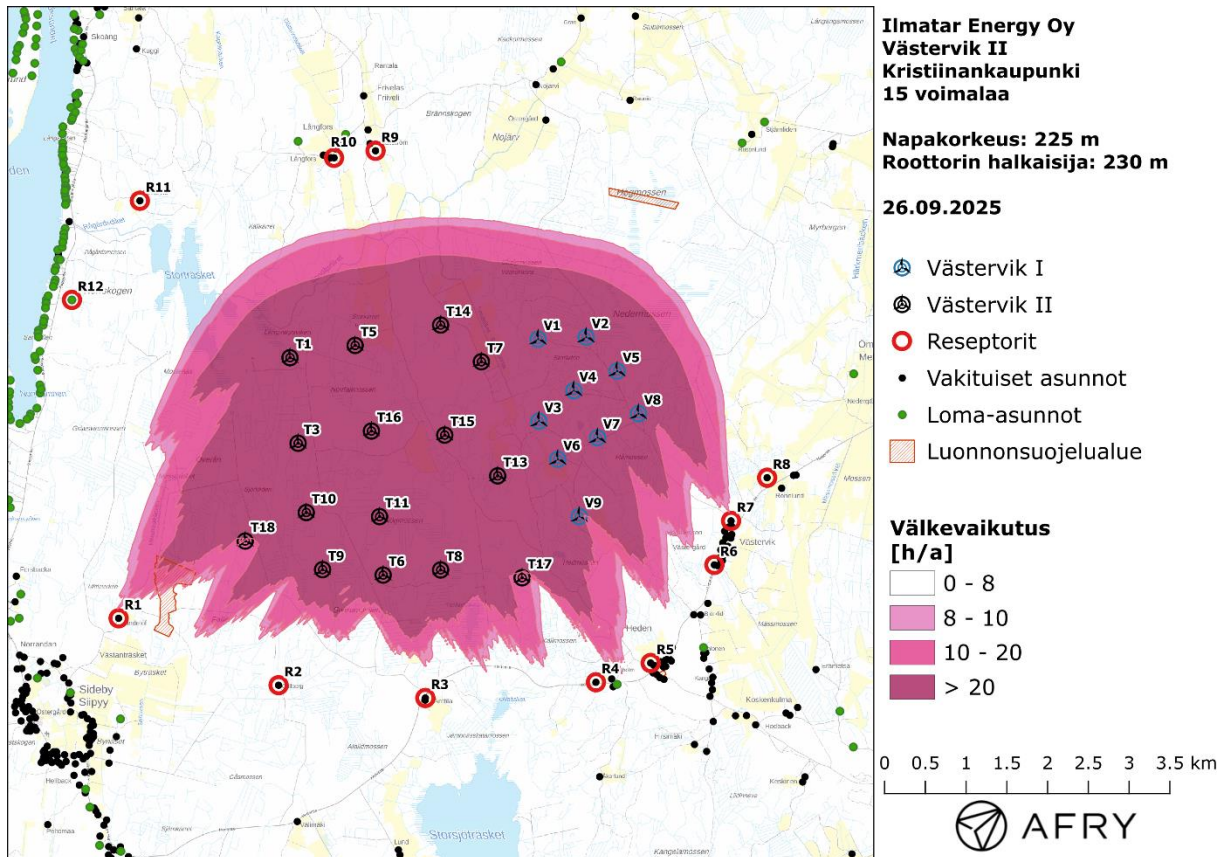
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana 18 voimalan suunnitelmalle (Kuva 3-2) ja 15 voimalan suunnitelmalle (Kuva 3-3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää enintään Ruotsin 8 tunnin ohjearvoon 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 maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R10 kohdalla 18 voimalan suunnitelmalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R7 kohdalla 15 voimalan suunnitelmalle on esitetty taulukossa (Taulukko 3-6). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



**Kuva 3-2: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta 18 voimalan suunnitelmalle.**



**Kuva 3-3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta 15 voimalan suunnitelmalle.**

**Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla 18 ja 15 voimalan suunnitelmille.**

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika (18 voimalaa)	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi (18 voimalaa)	Todennäköinen vuotuinen välke aika (15 voimalaa)	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi (15 voimalaa)
R1	4:40	0:07	4:40	0:07
R2	1:22	0:04	1:22	0:04
R3	1:08	0:04	1:08	0:04
R4	0:52	0:03	0:52	0:03
R5	2:13	0:07	2:13	0:06
R6	2:45	0:03	2:45	0:03
R7	6:02	0:08	6:02	0:08
R8	1:48	0:04	1:48	0:04
R9	7:07	0:11	1:10	0:02
R10	7:55	0:08	1:36	0:02
R11	0:51	0:03	1:36	0:02
R12	0:15	0:02	0:13	0:01

**Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R10 kohdalla 18 voimalan suunnitelmalle.**

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	<b>1:18</b>	<b>1:17</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>2:35</b>
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:55</b>	<b>0:39</b>	<b>0:07</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>1:41</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:47</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:47</b>
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:07</b>	<b>1:22</b>	<b>0:50</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>2:18</b>
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:08</b>	<b>0:26</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:34</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>1:48</b>	<b>3:27</b>	<b>2:40</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>7:55</b>

**Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R7 kohdalla 15 voimalan suunnitelmalle.**

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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:08</b>	<b>0:16</b>	0:00	0:00	<b>0:24</b>
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:13</b>	0:00	0:00	<b>0:13</b>
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:19</b>	<b>0:20</b>	0:00	<b>0:38</b>
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>2:30</b>	0:00	<b>2:30</b>
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>1:22</b>	0:00	<b>1:22</b>
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:25</b>	<b>0:11</b>	0:00	<b>0:35</b>
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:11</b>	<b>0:03</b>	0:00	0:00	<b>0:14</b>
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:05</b>	0:00	0:00	0:00	<b>0:05</b>
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	<b>0:00</b>
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	<b>0:00</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:24</b>	<b>1:15</b>	<b>4:23</b>	<b>0:00</b>	<b>6:02</b>

## 4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Kristiinankaupungin alueelle suunnitellun Västervik II tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 18 ja 15 voimalan suunnitelmille, roottorin halkaisijalla 230 m ja napa- korkeudella 225 m. Arvioinnissa on huomioitu myös hankealueen itäpuolella olevan Västervik I tuulivoimapuiston vaikutukset mallinnuksiin.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää enintään Ruotsin 8 tunnin ohjearvoon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla molemmilla voimalasuunnitelmilla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla molemmilla suunnitelmilla.

## 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 roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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

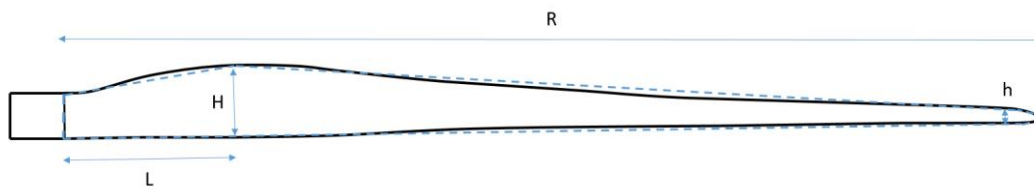
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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

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

missä  $d$  on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä 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.



**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.

## 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. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.