

# Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

KRISTIINANKAUPUNKI - ÅBACK

JUULIANNA LÄHTEINEN

22.04.2022

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kristiinankaupunki - Åback  
TV-2022-689-1, 22.04.2022

## Raportin tekijät

Juulianna Lähteinen, Numerola Oy  
[juulianna.lahteinen@numerola.fi](mailto:juulianna.lahteinen@numerola.fi)

## Asiakas

Liisa Karhu  
FCG Finnish Consulting Group Oy

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistojen käyttöilupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Kristiinankaupungin alueelle suunnitellun 20 voimalan Åbackin tuulivoimapuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten mallien avulla. Välkevaikutusten arvioinnissa otetaan huomioon myös suunnitteilla oleva 20 voimalan tuulivoimapuisto Kristiinankaupunki Pohjoinen. Tuulivoimaloiden välkevaikutus lasketaan käyttäen Åbackin voimaloille roottorin halkaisijaa 162 m ja napakorkeutta 149 m ja Kristiinankaupunki Pohjoisen voimaloille roottorin halkaisijaa 163 m ja napakorkeutta 168,5 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	24.02.2022		Juulianna Lähteinen
01	22.04.2022	Voimalat T5, T7 ja T11 poistettu. Naapuripuiston turbiinityyppi ja -mitat muuttuneet.	Juulianna Lähteinen

## Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on luottamuksellinen ja laadittu yksinomaan raportissa mainitun vastaanottajan käyttöön.

Asiakas voi kuitenkin käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä (ympäristöselvitykset, kaavoitus jne.) sekä hankkeiden toimijoiden valinnassa. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

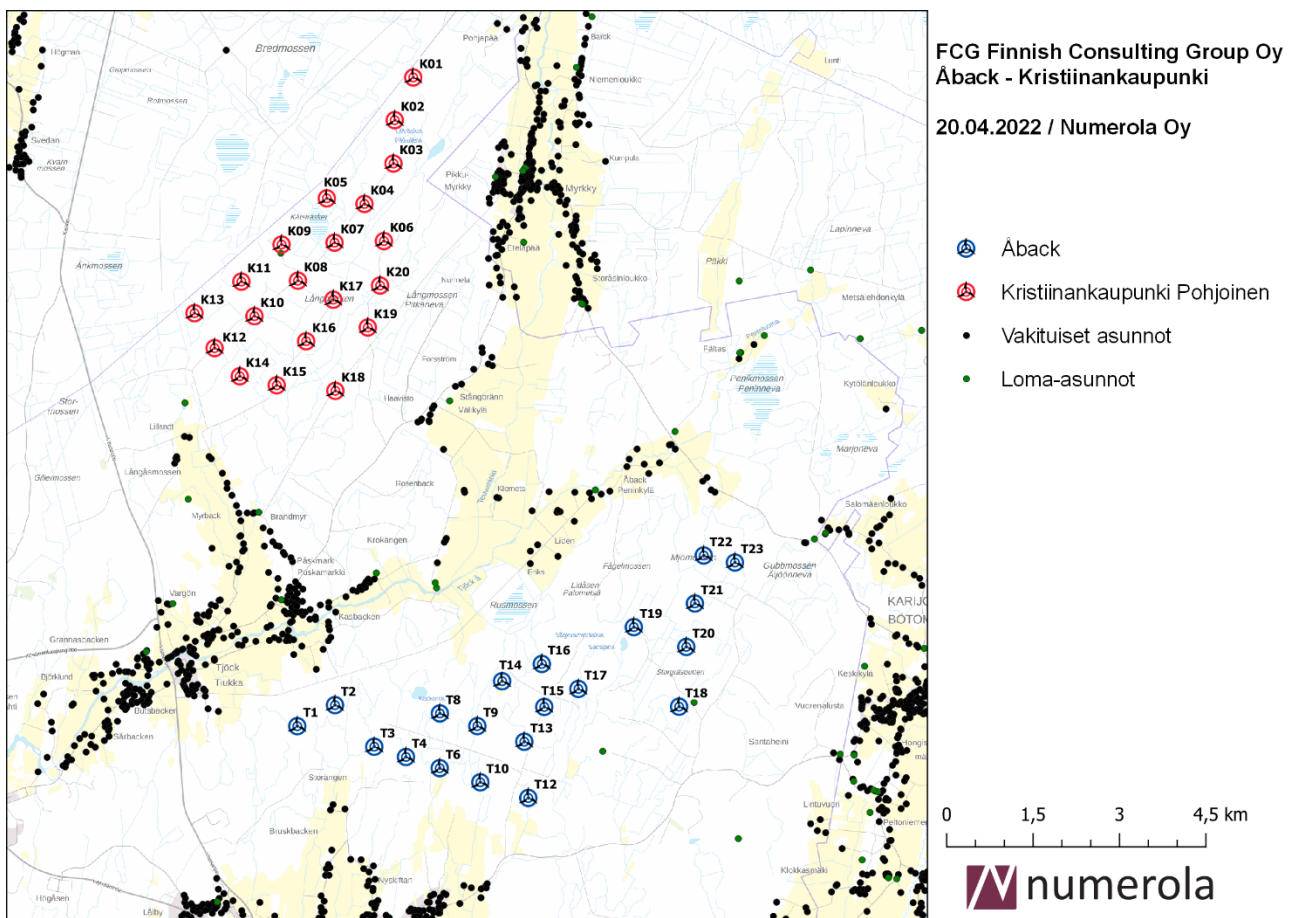
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden välke .....	7
2.1	Välkevaikutus .....	7
2.2	Ohjeavot .....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet .....	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus .....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	8
3.2	Åbackin välkevaikutus .....	12
3.3	Åbackin ja Kristiinankaupunki Pohjoisen yhteisvaikutus .....	16
4	Yhteenveto .....	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	18
6	Viitteet .....	20

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kristiinankaupungin alueelle suunnitellun 20 voimalan Åbackin tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Åbackin tuulivoimapuiston koordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 1). Välkemallinnuksissa huomioidaan Åbackin voimaloiden yhteisvaikutukset Kristiinankaupunkiin suunnitellun tuulivoimapuisto Kristiinankaupunki Pohjoisen kanssa, jonka voimalakoordinaatit on annettu taulukossa (Taulukko 2). Molempien tuulipuistojen voimaloiden sijainnit on esitetty karttakuvassa (Kuva 1).

Mallinnuksissa on käytetty Åbackin voimaloille roottorin halkaisijaa 162 m, napakorkeutta 149 m ja voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lapaprofiilia. Kristiinankaupunki Pohjoisen voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 163 m, napakorkeutta 168,5 m ja voimalatyyppin N163 valmistajan dokumenttien pohjalta arvioitua lapaprofiilia.



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Åbackin ja Kristiinankaupunki Pohjoisen alueilla.**

**Taulukko 1: Åbackin voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.**

<b>Turbiinit</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Maastonkorkeus [m]</b>
<b>T1</b>	214724	6919011	35,6
<b>T2</b>	215379	6919376	33,7
<b>T3</b>	216061	6918654	28,2
<b>T4</b>	216612	6918476	32,2
<b>T6</b>	217198	6918282	21,2
<b>T8</b>	217201	6919232	30,8
<b>T9</b>	217852	6919012	23,2
<b>T10</b>	217904	6918037	22,5
<b>T12</b>	218737	6917765	21,5
<b>T13</b>	218667	6918741	35,2
<b>T14</b>	218282	6919791	27,3
<b>T15</b>	219014	6919345	40,3
<b>T16</b>	218972	6920091	36,8
<b>T17</b>	219607	6919657	34,8
<b>T18</b>	221356	6919349	52,8
<b>T19</b>	220570	6920730	39,8
<b>T20</b>	221481	6920386	51,0
<b>T21</b>	221631	6921140	50,3
<b>T22</b>	221784	6921973	47,7
<b>T23</b>	222326	6921851	57,6

**Taulukko 2: Kristiinankaupunki Pohjoisen voimaloiden sijainnit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeudet.**

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
K01	216738	6930269	75,7
K02	216417	6929528	71,2
K03	216395	6928775	69,1
K04	215891	6928074	52,8
K05	215237	6928171	44,9
K06	216229	6927430	55,0
K07	215371	6927402	44,9
K08	214736	6926742	45,6
K09	214451	6927369	49,0
K10	213980	6926126	49,8
K11	213753	6926726	58,8
K12	213288	6925572	45,4
K13	212939	6926178	45,6
K14	213725	6925083	44,4
K15	214367	6924927	40,5
K16	214878	6925691	39,9
K17	215350	6926412	36,9
K18	215385	6924830	42,8
K19	215949	6925930	44,9
K20	216162	6926658	44,6

## 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 1–2 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 iltajat). Voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain, jos voimala sijaitsee pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevarjostuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen välkevaikutuksen mallinnukseen:

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

Tässä selvityksessä väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

### 2.2 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 välke-tilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan välkevaikutusten ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa analysoitu välkevaikutus vastaa todellista odotettavissa olevaa välketuntimäärää, ja näin ollen suunnitteluohjearvona käytetään 8 tai 10 tuntia.

### 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.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Avoimilla alueilla mallinnettu välkevaikutus vastaa todellista tilannetta, mutta puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä myös lisää arvioinnin epävarmuutta.

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



### 3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

#### 3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin geometrisella laskentamallilla, joka huomioi Auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot (Numerola Oy:n implementoitu malli). 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 ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä 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. Tässä selvityksessä välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Laskennassa Åbackin voimaloiden napakorkeus oli 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. Voimaloiden lapaprofiilina käytettiin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lapaprofiilia. Kristiinankaupunki Pohjoisen voimaloiden napakorkeus oli 168,5 m ja roottorin halkaisija 163 m. Voimaloiden lapaprofiili arvioitiin Nordex N163 valmistajan dokumenttien pohjalta, missä lavan maksimileveydeksi ilmoitettiin 4,15 m ja leveydeksi 90 % etäisyydellä lavan tyvestä 1,1 m.

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. 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 suuntaakohtaisesta 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 150 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3).

Auringonpaisteen todennäköisyyttä on arvioitu Pelmaan sääaseman mittausten [3] perusteella. Sääaseman mittauksista lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 4). Eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja on skaalattu auringonpaisteen todennäköisyydellä ja suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
<b>Yli 3 m/s osuus</b>	0,201	0,242	0,124	0,095	0,115	0,131

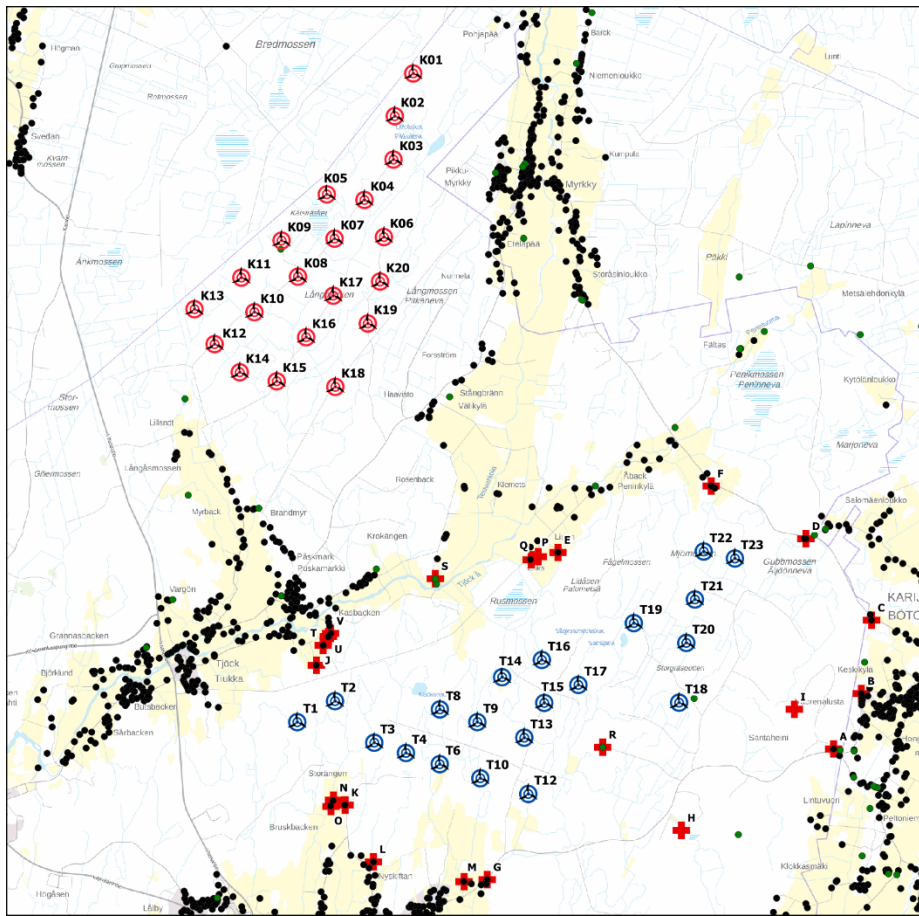
**Taulukko 4: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.**

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

Taulukossa (Taulukko 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 22 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Vertailukiinteistöt on valittu erityisesti Åbackin tuulipuiston läheltä. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2).

**Taulukko 5: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
A	224041	6918543	79,4
B	224523	6919504	64,4
C	224701	6920777	68,5
D	223560	6922191	79,6
E	219254	6921953	26,6
F	221916	6923106	40,0
G	218025	6916275	13,9
H	221397	6917130	102,7
I	223360	6919231	130,7
J	215058	6919995	21,6
K	215557	6917569	12,2
L	216049	6916584	12,3
M	217623	6916240	11,4
N	215355	6917654	12,1
O	215312	6917545	11,0
P	218911	6921880	25,0
Q	218788	6921826	25,0
R	220030	6918573	50,1
S	217124	6921498	25,4
T	215175	6920340	22,5
U	215266	6920493	21,8
V	215303	6920548	23,2



FCG Finnish Consulting Group Oy  
Åback - Kristiinankaupunki

20.04.2022 / Numerola Oy

- Åback
- Kristiinankaupunki Pohjoinen
- Vakituiset asunnot
- Loma-asunnot
- Reseptorit

0 1,5 3 4,5 km

numerola

**Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Åbackin ja Kristiinankaupunki Pohjoisen tuulipuistojen alueilla. Vertailukiinteistöt on valittu erityisesti Åbackin tuulipuiston läheltä.**

### 3.2 Åbackin välkevaikutus

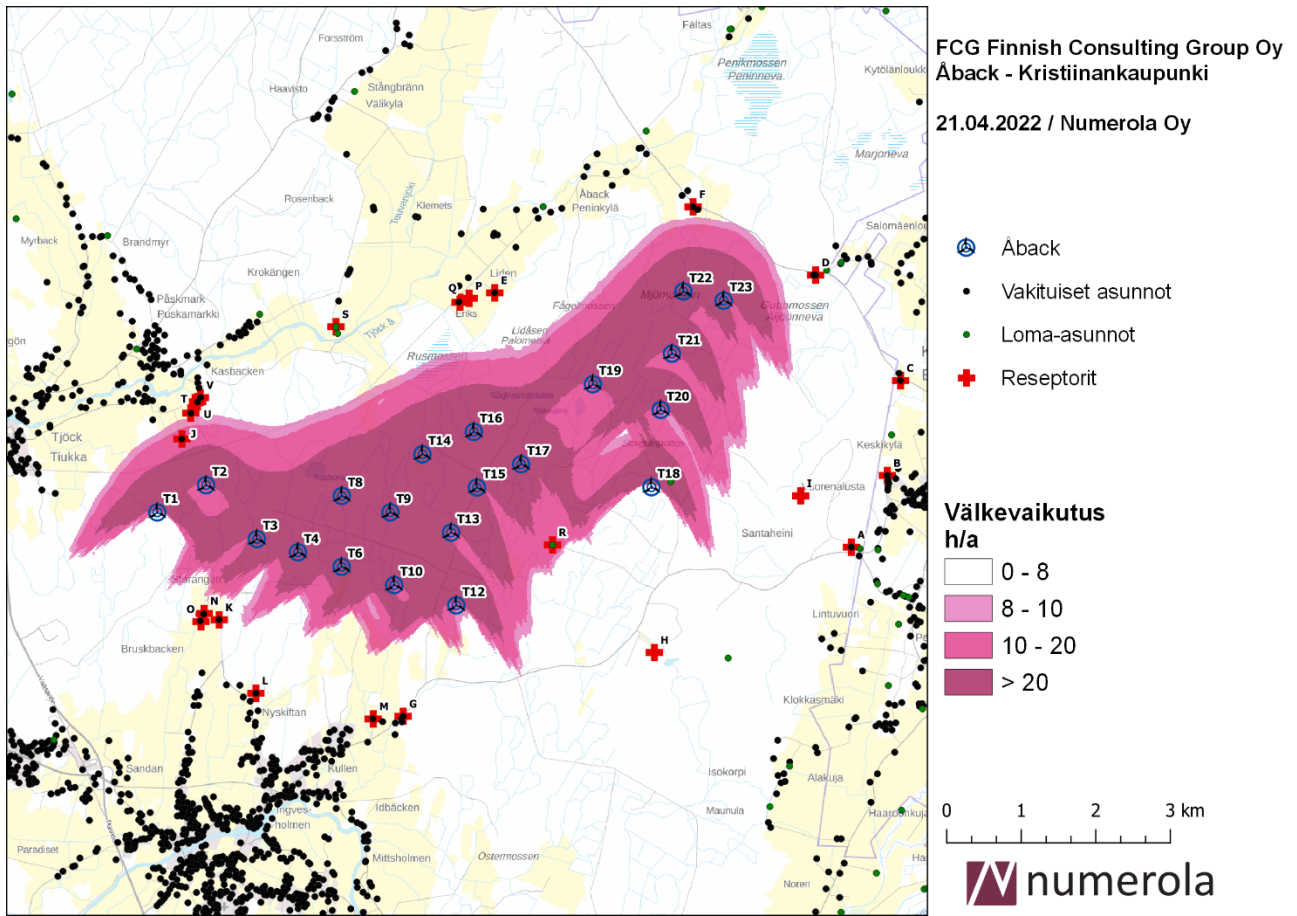
Mallinnetut arviot väketuntien todennäköisestä vuotuisesta määrästä ilman Kristiinankaupungin tuulivoimaloita on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon kahden kiinteistön kohdalla, ja ylitykset johtuvat pelkästään Åbackin tuulivoimaloista. Päivittäinen maksimivälke aika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien kiinteistöjen kohdalla.

Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien J, R ja T kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 7-Taulukko 9). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

**Taulukko 6: Tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdalla.**

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]	Todennäköinen välke aika ilman Kristiinankaupunki Pohjoista [h:min]
A	0:00	0	0:00
B	0:00	0	0:00
C	0:00	0	0:00
D	2:15	7	2:15
E	2:04	4	2:04
F	5:52	10	5:52
G	0:00	0	0:00
H	0:00	0	0:00
I	0:02	1	0:02
J	13:11	11	13:10
K	1:51	4	1:49
L	0:51	2	0:51
M	0:00	0	0:00
N	3:34	6	3:34
O	2:12	4	2:12
P	1:53	2	1:53
Q	2:16	3	2:16
R	13:17	10	13:17
S	0:51	2	0:51
T	7:07	12	7:06
U	5:16	7	5:16
V	4:43	6	4:43



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

**Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön J 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	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	1:15
Helmikuu	0	0	0	0	37	172	57	0	0	0	0	0	4:26
Maaliskuu	0	0	0	6	0	97	0	0	0	0	0	0	1:43
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0:07
Lokakuu	0	0	0	0	147	76	4	0	0	0	0	0	3:48
Marraskuu	0	0	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	1:47
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0:04
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:12</b>	<b>3:13</b>	<b>5:47</b>	<b>3:59</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>13:10</b>

**Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön R 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0:33
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20	0	0	0:25
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0:34
Toukokuu	0	0	48	0	0	0	0	0	0	59	74	0	3:01
Kesäkuu	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	74	0	3:07
Heinäkuu	0	0	108	0	0	0	0	0	0	1	99	0	3:28
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	55	0	0:55
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0:45
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	25	3	0	0	0	0:29
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0:01
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>4:28</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:26</b>	<b>0:41</b>	<b>2:39</b>	<b>5:02</b>	<b>0:00</b>	<b>13:17</b>

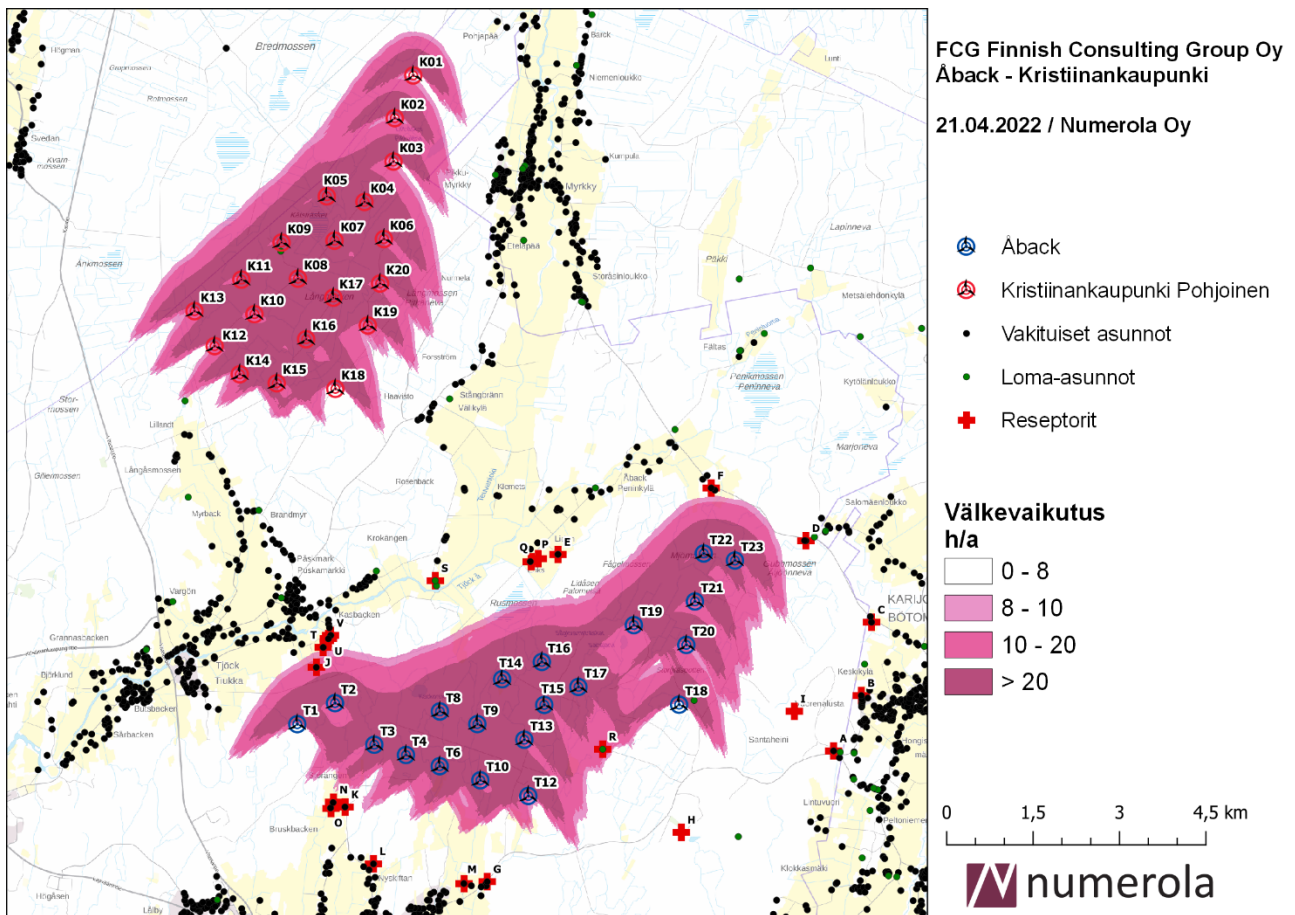
**Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön T kohdalla.**

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	0	0	0	0	50	58	0	0	0	0	0	1:48
Helmikuu	0	0	0	0	7	115	0	0	0	0	0	0	2:01
Maaliskuu	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0:05
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Lokakuu	0	0	0	4	2	30	0	0	0	0	0	0	0:36
Marraskuu	0	0	0	0	14	81	41	0	0	0	0	0	2:16
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0:19
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:04</b>	<b>0:28</b>	<b>4:36</b>	<b>1:58</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>7:06</b>



### 3.3 Åbackin ja Kristiinankaupunki Pohjoisen yhteisvaikutus

Mallinnetut arviot välketuntien todennäköisestä vuotuisesta määrästä yhdessä Kristiinankaupunki Pohjoisen tuulipuiston kanssa on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Vuotuiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnusten perusteella yhteisvaikutukset ylittävät 8 tunnin ohjearvon kahden kiinteistön kohdalla. Tarkasteltujen reseptoripisteiden kohdalla välkevaikutukset aiheutuvat pelkästään Åbackin puiston tuulivoimaloista.



Kuva 4: Åbackin ja Kristiinankaupunki Pohjoisen tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kristiinankaupunkiin suunnitellun Åbackin tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Mallinuksissa otettiin huomioon myös yhteisvaikutukset suunnitellun tuulivoimapuisto Kristiinankaupunki Pohjoisen kanssa.

Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon kahden lähikiinteistön kohdilla. Ohjearvon ylitykset aiheutuvat Åbackin tuulivoimaloista. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien tarkasteltujen asuin- ja lomarakennusten 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 läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla 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.

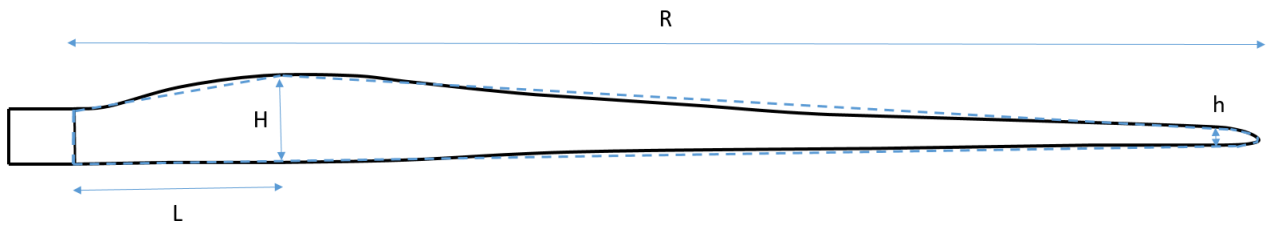
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

Laskennassa huomiotava roottorin säde vaihtelee välillä  $[0, R]$  riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa 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. Ympäristöministeriö, 2016.