

# Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

OULAINEN - MAASELÄNKANGAS

ERKKI HEIKKOLA

04.06.2021

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Oulainen - Maaselänkangas  
TV-2019-511-1, 04.06.2021

## Asiakas

Niina Lappalainen  
WPD Finland Oy

## Raportin tekijät

Erkki Heikkola, Numerola Oy  
[erkki.heikkola@numerola.fi](mailto:erkki.heikkola@numerola.fi)

## Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen avoimien aineistojen käyttöluvien 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 Oulaisten kaupungin Maaselänkankaan alueelle suunnitellun seitsemän tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden välkevaikutusten laskennassa käytetään voimalan valmistajan ilmoittamaa lapaprofiilia. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Versiohistoria

Versio	Päiväys	Muutokset	Tekijä
00	11.4.2019		Erkki Heikkola
01	4.6.2021	Uusi voimalatyyppi ja yksi poistettu voimala	Erkki Heikkola

## 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

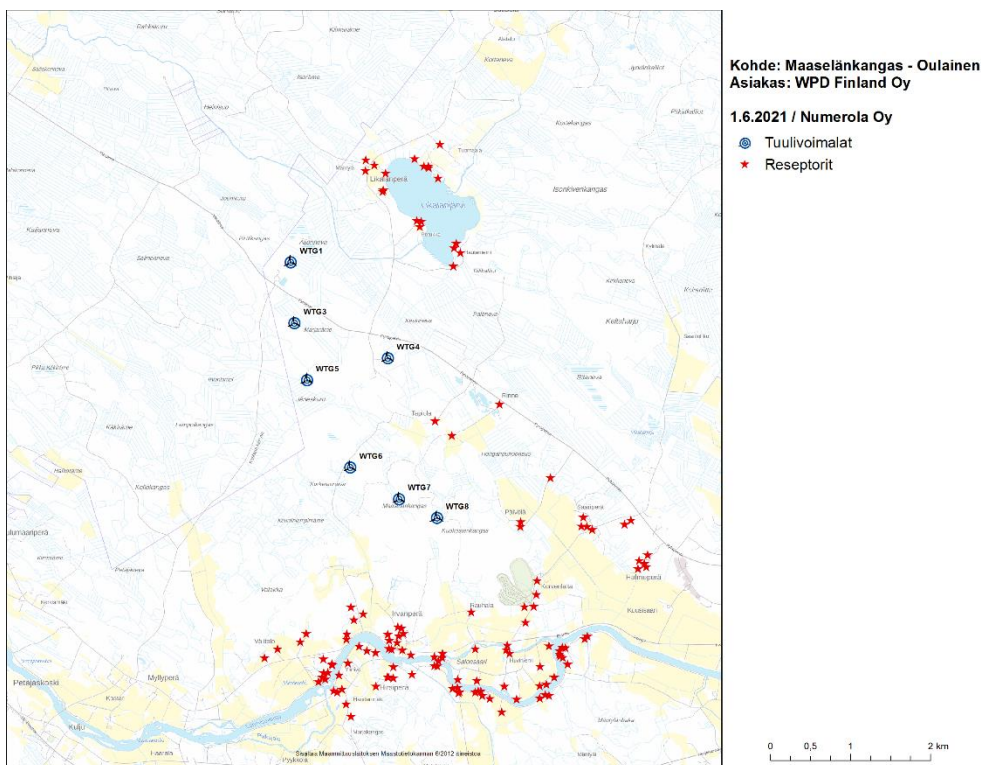
1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden välke.....	5
2.1	Välkevaikutus.....	5
2.2	Ohjeavot.....	5
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	5
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	6
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	6
3.2	Välkevaikutus.....	9
4	Yhteenvedo .....	13
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	14
6	Viitteet .....	16

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Oulaisten kaupungin Maaselänkankaan alueelle suunnitellun seitsemän tuulivoimalan aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Voimaloiden turbiinityppi on N163 5,7 MW, roottorin halkaisija 163 m ja napakorkeus joko 158,5 m tai 148,5 m taulukon mukaisesti. Karttakuvassa (Kuva 1) on esitetty voimaloiden lähellä sijaitsevat asiakkaan toimittamat vertailukiinteistöt. Välkevaikutusta arvioidaan erityisesti toimitettujen vertailukiinteistöjen (reseptorit) paikoilla.

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

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]	Napakorkeus [m]
WTG1	386945,3	7133531,6	65,4	158,5
WTG3	386991,1	7132769,6	65,4	158,5
WTG4	388158,1	7132335,0	69,1	158,5
WTG5	387148,0	7132059,0	63,5	158,5
WTG6	387690,7	7130970,3	62,9	148,5
WTG7	388298,2	7130575,2	70,0	148,5
WTG8	388771,6	7130339,9	69,8	148,5



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Maaselänkankaan alueella ja asiakkaan toimittamat vertailukiinteistöt.**

## 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 kaakkoispuolelle (aamu- ja iltajat). Voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain, jos voimala sijaitsee joko Kravun kääntöpiirin eteläpuolella tai 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 suunnitellun tuulipuiston välkevaikutus arvioidaan sekä todennäköisessä tilanteessa että teoreettisessa maksimitilanteessa.

### 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.

### 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.

Laskennassa käytetyt voimaloiden mitat on esitetty taulukossa (Taulukko 1). Tarkka tieto voimalatyyppin N163 lapaprofiilista on saatu Nordexilta, ja laskennassa on käytetty tätä tietoa luvussa 5 esitetyn menetelmän mukaisesti.

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 suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuva 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 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten 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 tuulenopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.**

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
<b>Yli 3 m/s osuus</b>	0,162	0,167	0,168	0,133	0,119	0,155

**Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.**

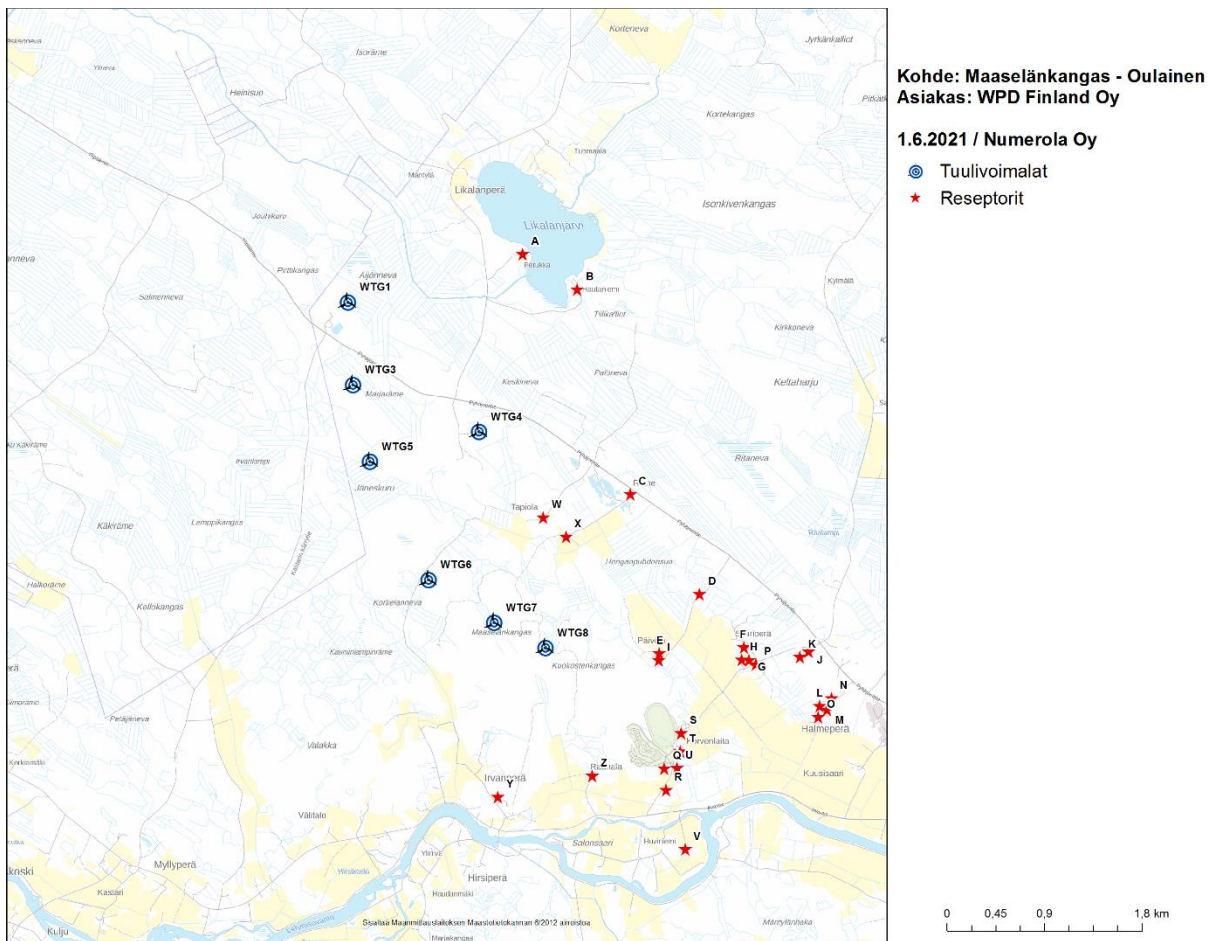
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 26 vertailukiinteistöä, joiden kohdalla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Asiakkaalta saatu lista vertailukiinteistöistä sisältää kaikkiaan 127 pistettä (Kuva 1), mutta raportoinnin selkeyden vuoksi suurin osa pisteistä on jätetty taulukoimatta. Pois jätetyissä pisteissä vuotuinen välkevaikutus jää selkeästi alle 4 tunnin, joten ne eivät vaikuttaisi selvityksen johtopäätöksiin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt W ja X sijaitsevat lähimmillään 1,0 km etäisyydellä, ja muut käsiteltävät vertailukiinteistöt sijaitsevat 1,1-2,7 km etäisyydellä voimaloista.



Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ja mallinnetut välkevaikutukset kiinteistöjen kohdilla.

Reseptori	E	N	Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke [h:min]	Teoreettisen maksimivälkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
A	388561	7133978	0:48	2	5:54	12
B	389065	7133651	0:30	2	3:25	13
C	389554	7131763	1:35	4	8:57	14
D	390195	7130843	0:42	3	3:30	14
E	389822	7130295	2:57	9	12:46	35
F	390603	7130349	0:15	2	1:12	8
G	390651	7130233	0:14	2	1:04	8
H	390581	7130237	0:17	2	1:16	9
I	389817	7130233	3:00	10	12:38	38
J	391201	7130311	0:00	0	0:00	0
K	391121	7130261	0:00	0	0:00	0
L	391302	7129810	0:00	0	0:00	0
M	391369	7129774	0:00	0	0:00	0
N	391411	7129881	0:00	0	0:00	0
O	391289	7129707	0:00	0	0:00	0
P	390714	7130195	0:12	2	0:55	8
Q	389869	7129233	2:18	4	9:01	18
R	389883	7129035	0:51	2	3:24	9
S	390025	7129558	1:26	4	5:53	15
T	390015	7129387	1:28	4	5:49	14
U	389986	7129237	1:46	3	6:59	13
V	390062	7128487	0:00	0	0:00	0
W	388749	7131550	4:01	6	29:28	33
X	388961	7131372	4:30	6	30:43	35
Y	388332	7128968	0:00	0	0:00	0
Z	389204	7129165	0:00	0	0:00	0



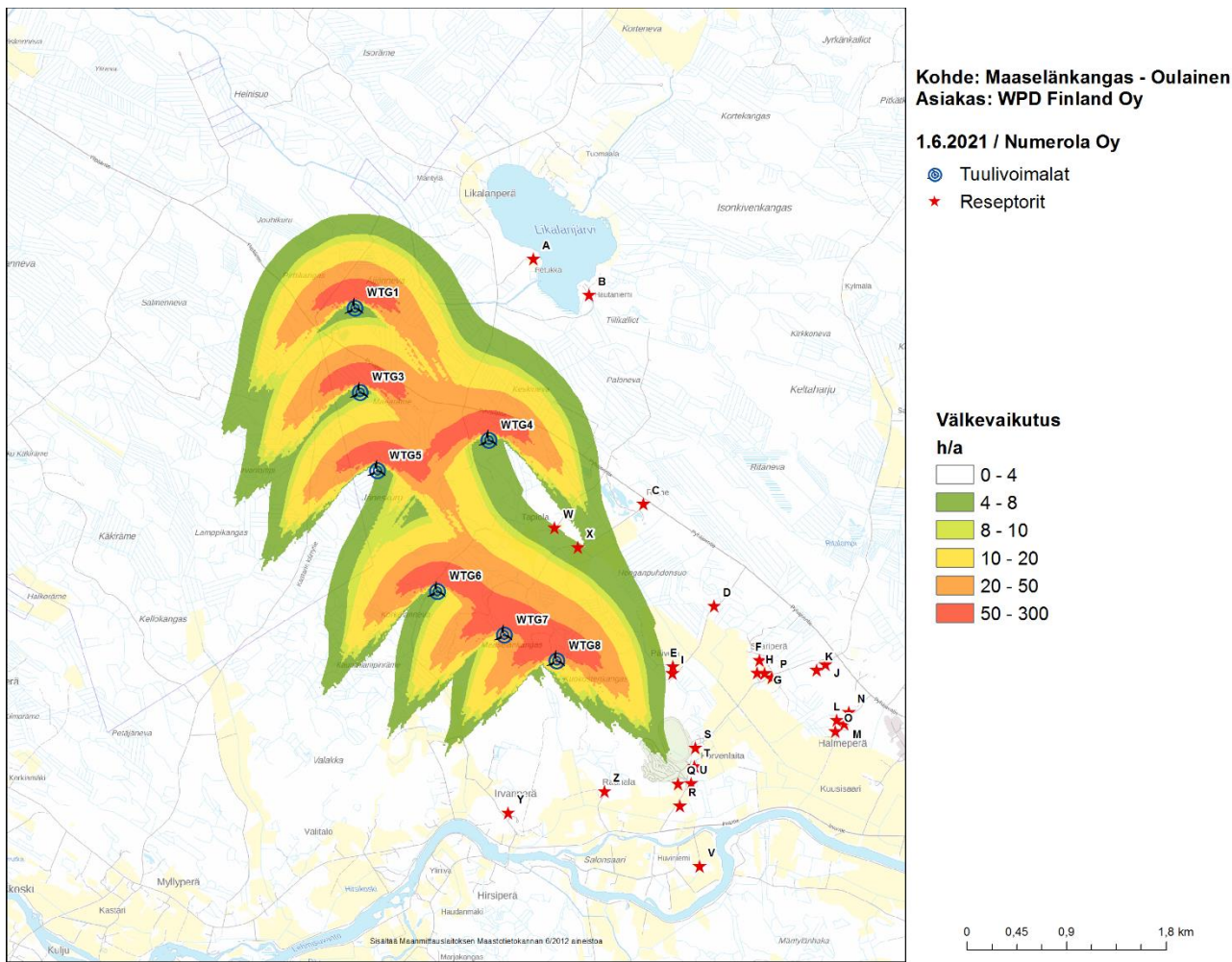
**Kuva 2: Valittujen vertailukiinteistöjen paikat Maaselänkankaan alueella.**

### 3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut todennäköinen vuotuinen välkevaikutus on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Todennäköiset välkevarjostusajat ja teoreettiset maksimivälkkeet vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu aiemmassa taulukossa (Taulukko 4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin rajan kaikkien kiinteistöjen kohdilla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välke aika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen rakennusten kohdalla. Suurin välkevaikutus kohdistuu vertailukiinteistöön X, jonka kohdalla vuotuinen todennäköinen välke aika on 4 tuntia 30 minuuttia. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke kyseisen kiinteistön kohdalla hieman ylittää 30 tunnin ohjearvon.

Välkkeen tarkempi ajoittuminen on taulukoitu vertailukiinteistöjen I, E, W ja X kohdilla taulukoihin (Taulukko 5-Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



**Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.**

Välke ajoittuu vuoden- ja vuorokaudenaikojen suhteen vertailukiinteistöjen I, E, W ja X kohdilla seuraavasti:

- E ja I: Välkettä esiintyy huhtikuussa ja elo-syyskuussa iltaisin klo 16 jälkeen.
- W ja X: Välkettä esiintyy pääosin tammi-helmikuussa ja loka-marraskuussa iltapäivisin klo 12-14 sekä helmi-maaliskuussa, kesä-heinäkuussa ja lokakuussa myöhemmin iltapäivällä klo 14-18.

**Taulukko 5: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön E 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
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	26	70	0	0	1:36
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	17	37	0	0	0:54
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	5	22	0	0	0:27
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0:48</b>	<b>2:09</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2:57</b>

**Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön I 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
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	23	73	0	0	1:36
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	19	55	0	0	1:14
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0:10
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0:44</b>	<b>2:16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3:00</b>

**Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön W 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	1	18	2	0	0	0	0	0:21
Helmikuu	0	0	0	0	0	1	30	30	0	0	0	0	1:02
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0:36
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0:15
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0:07
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0:02
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0:18
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	7	9	22	0	0	0	0:37
Marraskuu	0	0	0	0	0	2	30	12	0	0	0	0	0:43
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0:04</b>	<b>1:25</b>	<b>0:53</b>	<b>1:39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4:01</b>

**Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön X 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	19	0	0	0	0	0	0:19
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	40	60	0	0	0	0	1:40
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0:25
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0:08
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0:08
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0:22
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	3	47	1	0	0	0	0:51
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0:37
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1:39</b>	<b>1:47</b>	<b>1:04</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4:30</b>

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Oulaisten kaupungin Maaselänkankaan alueelle suunnitellun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus ei ylitä 8 tunnin ohjearvoa alueen rakennusten kohdilla. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten kohdalla.



## 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 peittämässä 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.

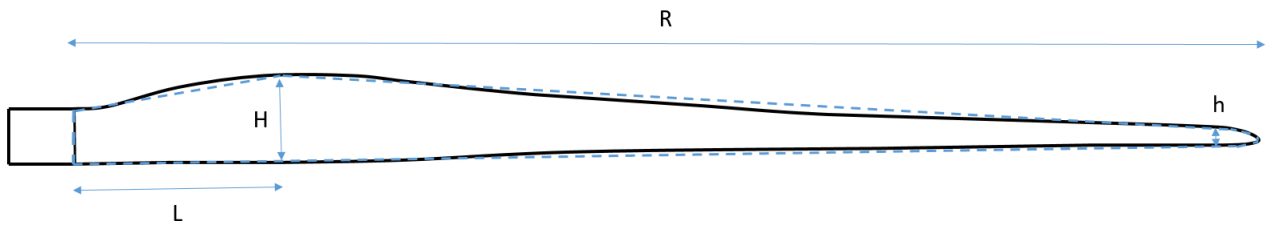
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 määritetään parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona (esim. WindPRO Shadow).



**Kuva 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.**

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään voimalan valmistajan toimittamia tietoja turbiinityyppien lapaprofiileista. 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, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.