

# Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

HALSUA – KANNISTO JA HONKAKANGAS

KALLE AUVINEN

26.01.2022

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Halsua – Kannisto ja Honkakangas  
TV-2022-675-2, 26.01.2022

## Asiakas

OX2 Finland Oy

## Raportin tekijät

Kalle Auvinen, Numerola Oy  
[kalle.auvinen@numerola.fi](mailto:kalle.auvinen@numerola.fi)

## Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Mika Laitinen

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen 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>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Halsuan kunnan alueelle suunnitellun 36 voimalan Halsuan tuulipuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat välkevaikutukset lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 200 m ja napakorkeutta 200 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	26.01.2022		Kalle Auvinen

## Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on laadittu raportissa mainitun vastaanottajan (Asiakas) käyttöön.

Asiakas voi käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit ja maanomistajat) on myös sallittu.

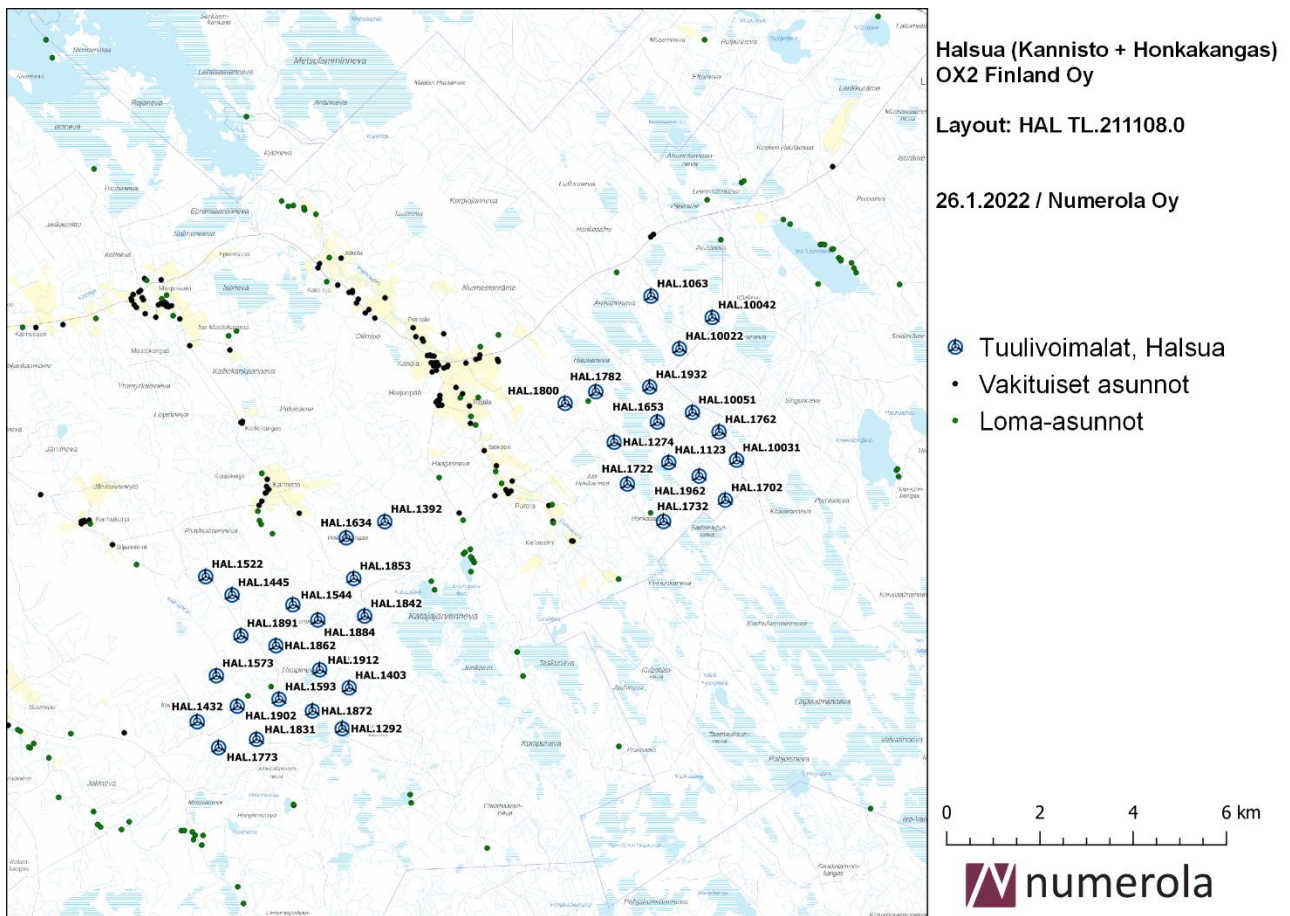
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden välke.....	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Ohjeavot.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	7
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	7
3.2	Välkevaikutus.....	10
3.3	Välkkeen yhteisvaikutus Lestijärven tuulipuiston kanssa .....	13
4	Yhteenveto .....	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	18
6	Viitteet.....	20

# 1 Johdanto

Tässä selvityksessä arvioidaan Halsuan kunnan alueelle suunnitellun Halsuan tuulivoimahankkeen aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Halsuan tuulivoima Oy:n ja OX2 Finland Oy:n yhteistyössä jatkokehittämä hanke koostuu kahdesta hankealueesta, Kannisto ja Honkakangas. Hankeesta käytetään tässä selvityksessä nimeä Halsuan tuulipuisto.

Halsuan tuulipuistoon suunniteltujen 36 tuulivoimalan paikat (Layout: HAL TL.211108.0) on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa Halsuan tuulivoimaloille käytetään napakorkeutta 200 m, roottorin halkaisijaa 200 m ja turbiinityypin SG170 6,6 MW skaalattua lapaprofiilia.



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Halsuan tuulipuiston alueella.**

**Taulukko 1: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa (Layout: HAL TL.211108.0) ja maaston korkeus turbiinipaikalla.**

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
HAL.10022	376145	7040853	170
HAL.10031	377373	7038465	174
HAL.10042	376848	7041522	171
HAL.10051	376425	7039488	168
HAL.1063	375536	7041980	167
HAL.1123	375916	7038416	168
HAL.1274	374748	7038849	162
HAL.1292	368913	7032710	165
HAL.1392	369826	7037147	157
HAL.1403	369062	7033588	162
HAL.1432	365804	7032860	161
HAL.1445	366551	7035576	154
HAL.1522	365986	7035968	147
HAL.1544	367856	7035366	154
HAL.1573	366214	7033846	158
HAL.1593	367557	7033342	160
HAL.1634	369000	7036800	160
HAL.1653	375673	7039283	164
HAL.1702	377129	7037609	175
HAL.1722	375029	7037953	167
HAL.1732	375806	7037151	169
HAL.1762	376995	7039070	172
HAL.1773	366264	7032303	163
HAL.1782	374352	7039931	161
HAL.1800	373695	7039683	160
HAL.1831	367076	7032483	160
HAL.1842	369395	7035124	161
HAL.1853	369162	7035928	160
HAL.1862	367493	7034489	158
HAL.1872	368275	7033089	163
HAL.1884	368392	7035039	157
HAL.1891	366741	7034702	155
HAL.1902	366662	7033192	158
HAL.1912	368431	7033972	159
HAL.1932	375509	7040034	166
HAL.1962	376570	7038123	172

## 2 Tuulivoimaloiden välke

### 2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja 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 kohtisuorassa 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 Ohjearvot

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

### 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 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 Halsuan tuulivoimaloille käytetään napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Halsuan tuulivoimaloille käytetään turbiinityypin SG170 6,6 MW lapaprofiilia, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden puolesta vastaamaan 200 m roottorin halkaisijaa. Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntaakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny.



Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille 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 [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukoon (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
<b>Yli 3 m/s osuus</b>	0,160	0,180	0,192	0,133	0,127	0,146

**Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Seinäjoen Pelmaan sääasemalla.**

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

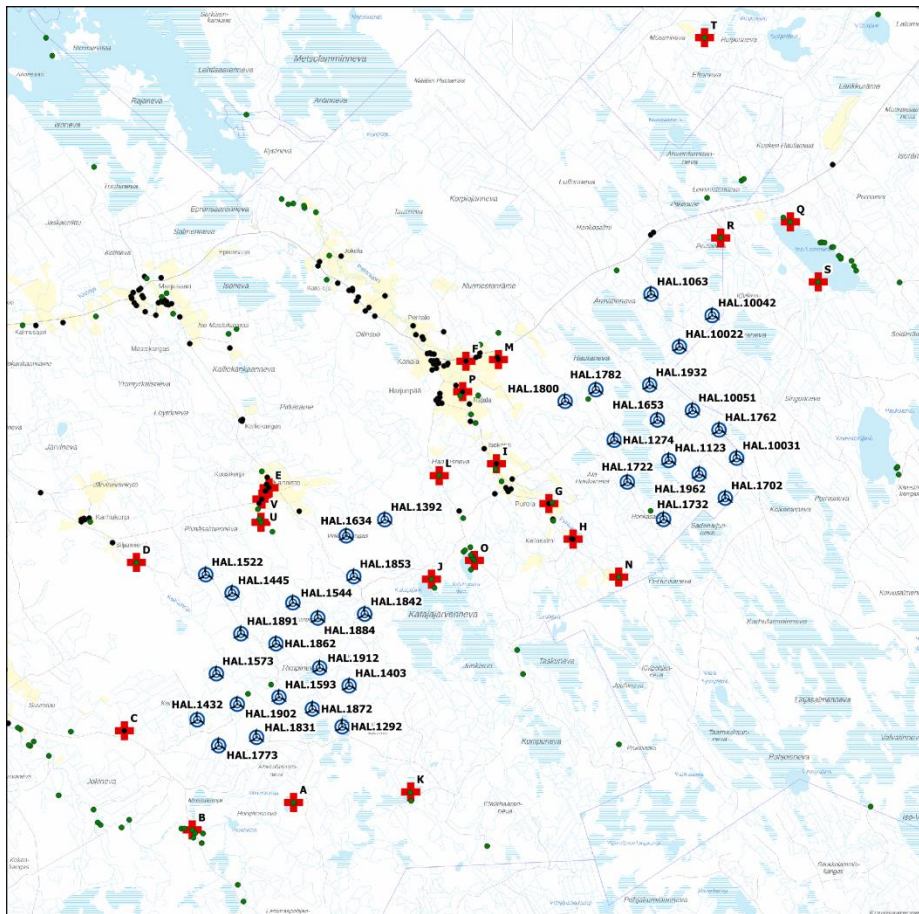
Asiakas on määritellyt tuulivoimaloiden ympäristöstä 22 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Pisteet sijaitsevat lähimmillään noin 1,5–5,6 km etäisyydellä voimaloista.

Kuvissa esitetty rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen loma- ja asuinrakennukset. Taulukossa (Taulukko 4) esitetyt rakennusluokitukset perustuvat asiakkaan toimittamiin tietoihin. Asiakkaan toimittamien tietojen mukaan, tarkasteltavat rakennukset ovat lähimpänä voimaloita sijaitsevia asuin- ja lomarakennuksia. Tuulivoimaloiden läheisyydessä on karttakuvissa nähtävissä tarkasteltavien kiinteistöjen lisäksi yksittäisiä kiinteistöjä. Asiakkaan mukaan näiden kiinteistöjen

todelliset luokitukset on tarkistettu tai niissä on muutos käynnissä, eikä niitä ole tästä syystä huomioitu mallinnuksissa.

**Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
A	367873	7031085	163	Lomarakennus
B	365699	7030495	157	Lomarakennus
C	364243	7032622	153	Asuinrakennus
D	364501	7036228	144	Lomarakennus
E	367345	7037828	142	Asuinrakennus
F	371569	7040539	144	Asuinrakennus
G	373347	7037488	156	Asuinrakennus
H	373867	7036728	158	Asuinrakennus
I	372224	7038341	151	Asuinrakennus
J	370829	7035870	162	Lomarakennus
K	370383	7031311	170	Lomarakennus
L	370996	7038086	154	Lomarakennus
M	372265	7040574	148	Lomarakennus
N	374845	7035914	163	Lomarakennus
O	371749	7036270	167	Lomarakennus
P	371498	7039888	145	Asuinrakennus
Q	378528	7043527	160	Lomarakennus
R	377034	7043182	166	Lomarakennus
S	379124	7042238	161	Lomarakennus
T	376687	7047472	158	Lomarakennus
U	367174	7037088	144	Lomarakennus
V	367193	7037585	143	Asuinrakennus



Halsua (Kannisto + Honkakangas)  
OX2 Finland Oy

Layout: HAL TL.211108.0

26.1.2022 / Numerola Oy

- ⊗ Tuulivoimalat, Halsua
- ⊕ Reseptorit
- Vakituiset asunnot
- Loma-asunnot

0 2 4 6 km

numerola

Kuva 2: Vertailupisteiden paikat Halsuan tuulipuiston alueella.

### 3.2 Välkevaikutus

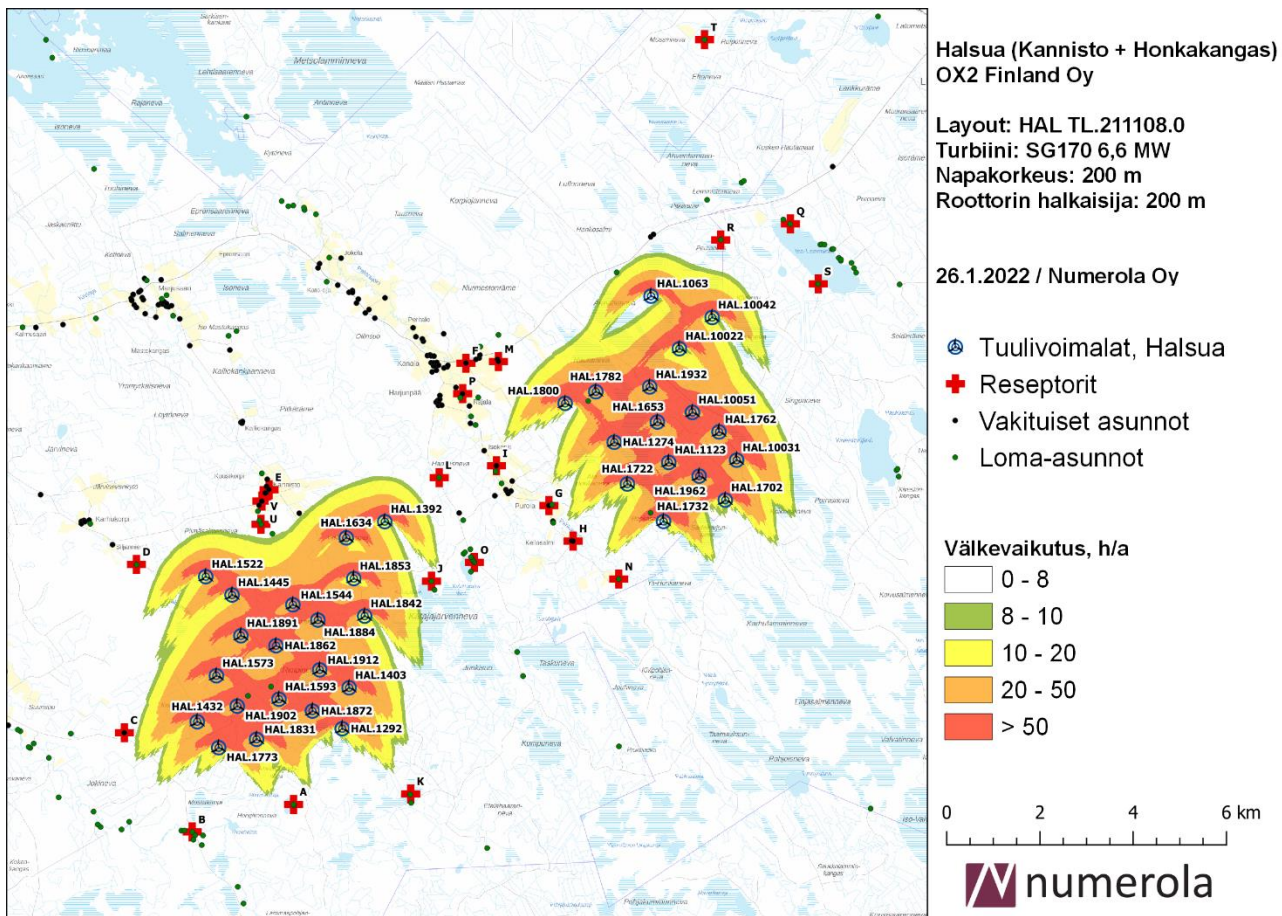
Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien tarkasteltavien loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.

Suurin välkevaikutus kohdistuu kiinteistöön U. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kiinteistöissä C, J ja U on esitetty taulukoissa (Taulukko 6)–(Taulukko 8). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

**Taulukko 5: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdilla.**

Reseptori	Välkevaikutus [h:min]	Päiväkohtainen maksimivälke [min]
A	1:21	4
B	0:00	0
C	3:32	6
D	2:10	6
E	1:14	3
F	0:20	2
G	1:40	6
H	0:55	4
I	0:43	3
J	3:21	5
K	2:08	5
L	1:53	8
M	1:20	4
N	0:00	0
O	0:42	3
P	0:27	3
Q	0:00	0
R	1:50	3
S	0:16	2
T	0:00	0
U	4:57	8
V	2:01	3



Kuva 3: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden aiheuttama väkjetuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 6: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina reseptorin C 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	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0:14
Huhtikuu	0	0	62	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1:05
Toukokuu	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:29
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:28
Elokuu	0	0	56	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1:00
Syyskuu	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0:16
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
<b>Yhteensä</b>	0:00	0:00	2:55	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:32

Taulukko 7: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin 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	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0:07
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	34	6	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	3	42	0	0	0:45
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0:16
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0:04
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	24	0	0	0:24
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	20	14	0	0	0:35
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	10	20	0	0	0	0:30
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
<b>Yhteensä</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	1:25	1:43	0:04	0:00	3:21

Taulukko 8: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin U kohdalla.

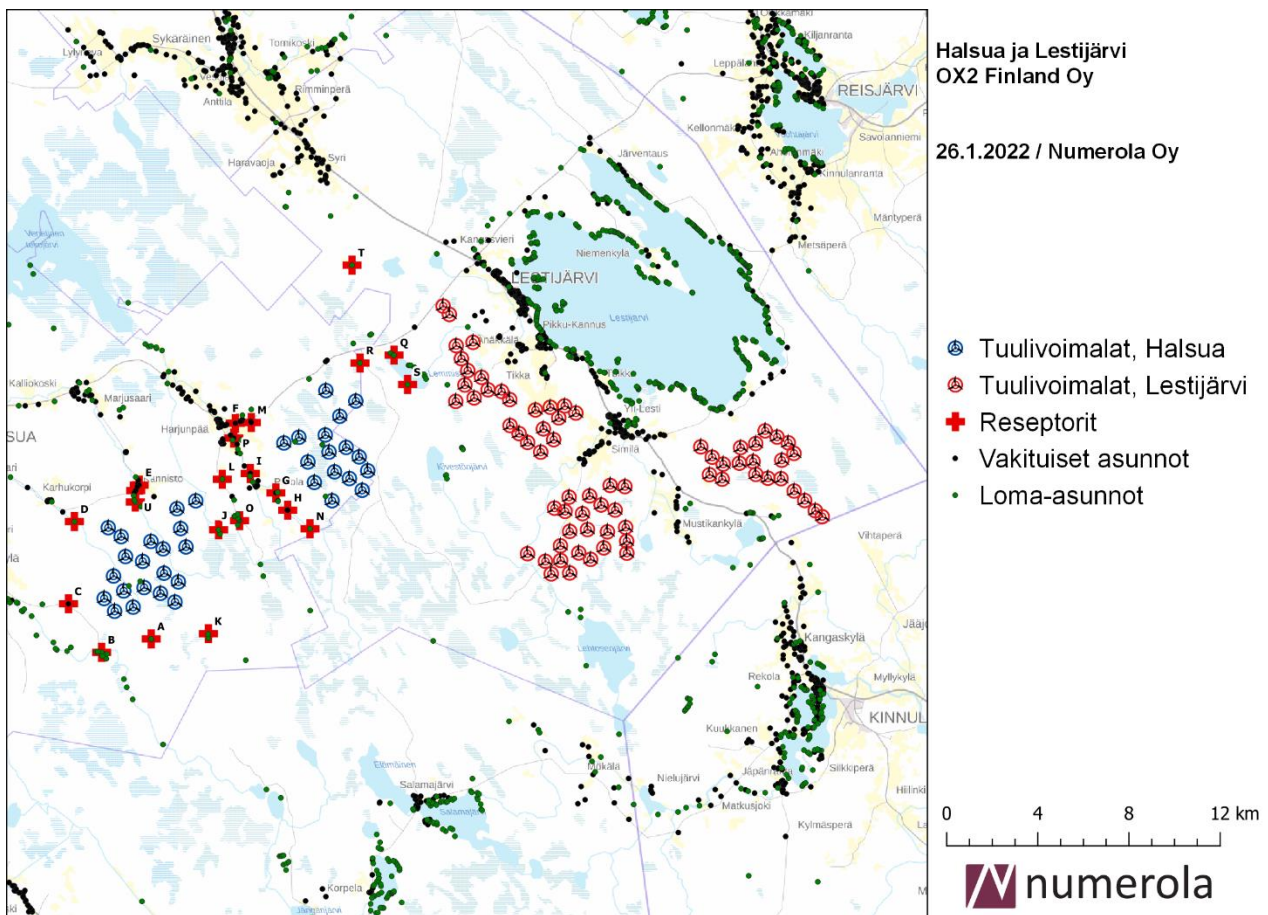
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	9	32	0	0	0	0	0	0:41
Helmikuu	0	0	0	0	0	27	19	43	0	0	0	0	1:29
Maaliskuu	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0:23
Huhtikuu	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0:13
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0:24
Lokakuu	0	0	0	7	0	0	0	34	0	0	0	0	0:41
Marraskuu	0	0	0	0	6	17	40	0	0	0	0	0	1:03
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0:02
<b>Yhteensä</b>	0:00	0:00	0:00	0:57	0:16	0:53	1:33	1:18	0:00	0:00	0:00	0:00	4:57

### 3.3 Välkkeen yhteisvaikutus Lestijärven tuulipuiston kanssa

Halsuan tuulipuiston itäpuolella sijaitseva Lestijärven tuulipuisto huomioitiin välkevaikutusten arvioinnissa tarkastelemalla Halsuan ja Lestijärven tuulivoimaloiden yhdessä aiheuttamaa välkevaikutusta vertailukiinteistöjen kohdilla. Lestijärven tuulipuiston 69 tuulivoimalalle käytettiin napakorkeuksia 155 m (64 voimalaa) ja 145 m (5 voimalaa) sekä turbiinityypin SG170 6,6 MW lapaprofiilia.

Lestijärven ja Halsuan tuulipuistojen tuulivoimat on esitetty kartalla kuvassa (Kuva 4). Tuulipuistojen vertailukiinteistöille yhdessä aiheuttama välkevaikutus on annettu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien tarkasteltavien loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Samoin päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.

Ainoastaan Halsuan tuulipuiston itäosassa sijaitsevat vertailukiinteistöt ovat sellaisella etäisyydellä Lestijärven tuulipuistosta, että Lestijärven tuulivoimat voisivat niihin mahdollisesti välkevaikutusta aiheuttaa. Mallinnustulosten perusteella, ainoastaan vertailukiinteistössä S vuotuinen välkevaikutusaika kasvaa, kun Lestijärven tuulivoimat otetaan mallinnuksessa huomioon. Vuotuinen välkevaikutusaika tässä kiinteistössä kasvaa Lestijärven tuulivoimat huomioituna 14 min vuodessa. Välkkeen tarkempi ajoittuminen vertailukiinteistössä S on esitetty ilman Lestijärven tuulivoimaloita taulukossa (Taulukko 10) ja Lestijärven tuulivoimat huomioituna taulukossa (Taulukko 11). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Tuulivoimaloiden sijainnit Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen alueella.

**Taulukko 9: Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdilla.**

Reseptori	Välkevaikutus [h:min]	Päiväkohtainen maksimivälke [min]
A	1:21	4
B	0:00	0
C	3:32	6
D	2:10	6
E	1:14	3
F	0:20	2
G	1:40	6
H	0:55	4
I	0:43	3
J	3:21	5
K	2:08	5
L	1:53	8
M	1:20	4
N	0:00	0
O	0:42	3
P	0:27	3
Q	0:00	0
R	1:50	3
S	0:30	2
T	0:00	0
U	4:57	8
V	2:01	3



**Taulukko 10: Halsuan tuulipuiston tuulivoimaloiden välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin S 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	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0:10
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	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0:07
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
<b>Yhteensä</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:16

**Taulukko 11: Halsuan ja Lestijärven tuulipuistojen tuulivoimaloiden välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin S 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	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	7	0	0	0	0	10	0	0	0	0:17
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	0:06
Lokakuu	0	0	0	1	0	0	0	0	7	0	0	0	0:08
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
<b>Yhteensä</b>	0:00	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:30

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Halsuan kunnan alueelle suunnitellun 36 tuulivoimalan Halsuan tuulipuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Voimaloiden välkevaikutusten arvio tehtiin roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m. Välkevaikutusten arvioinnissa otettiin huomioon myös Halsuan tuulipuiston itäpuolelle rakennettava Lestijärven tuulipuisto.

Mallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon alueen kaikkien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen 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 roottorikehien 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.

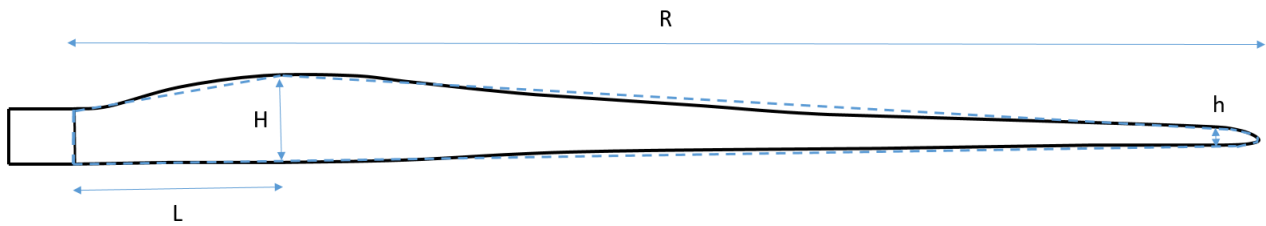
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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



**Kuva 5: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.**

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajalta saatua profiilitietoa. Laskennassa huomioitava 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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016.