

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

LÄNSI-TOHOLAMPI, TOHOLAMPI-LESTIJÄRVI

ERKKI HEIKKOLA

25.03.2020

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Länsi-Toholampi, Toholampi-Lestijärvi
TV-2020-558-1, 25.03.2020

Raportin tekijät

Erkki Heikkola, Numerola Oy
erkki.heikkola@numerola.fi

Asiakas

Paul Bade
WPD Finland 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 Toholammin ja Lestijärven kuntien alueelle suunnitellun 74 tuulivoimalan kokonaisuuden (Länsi-Toholampi, Toholampi-Lestijärvi) aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden välkevaikutus lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 170 m, napakorkeutta 145 m ja turbiinin SG170 6 MW valmistajan ilmoittamaa lapaprofiilia. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	25.03.2020		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.

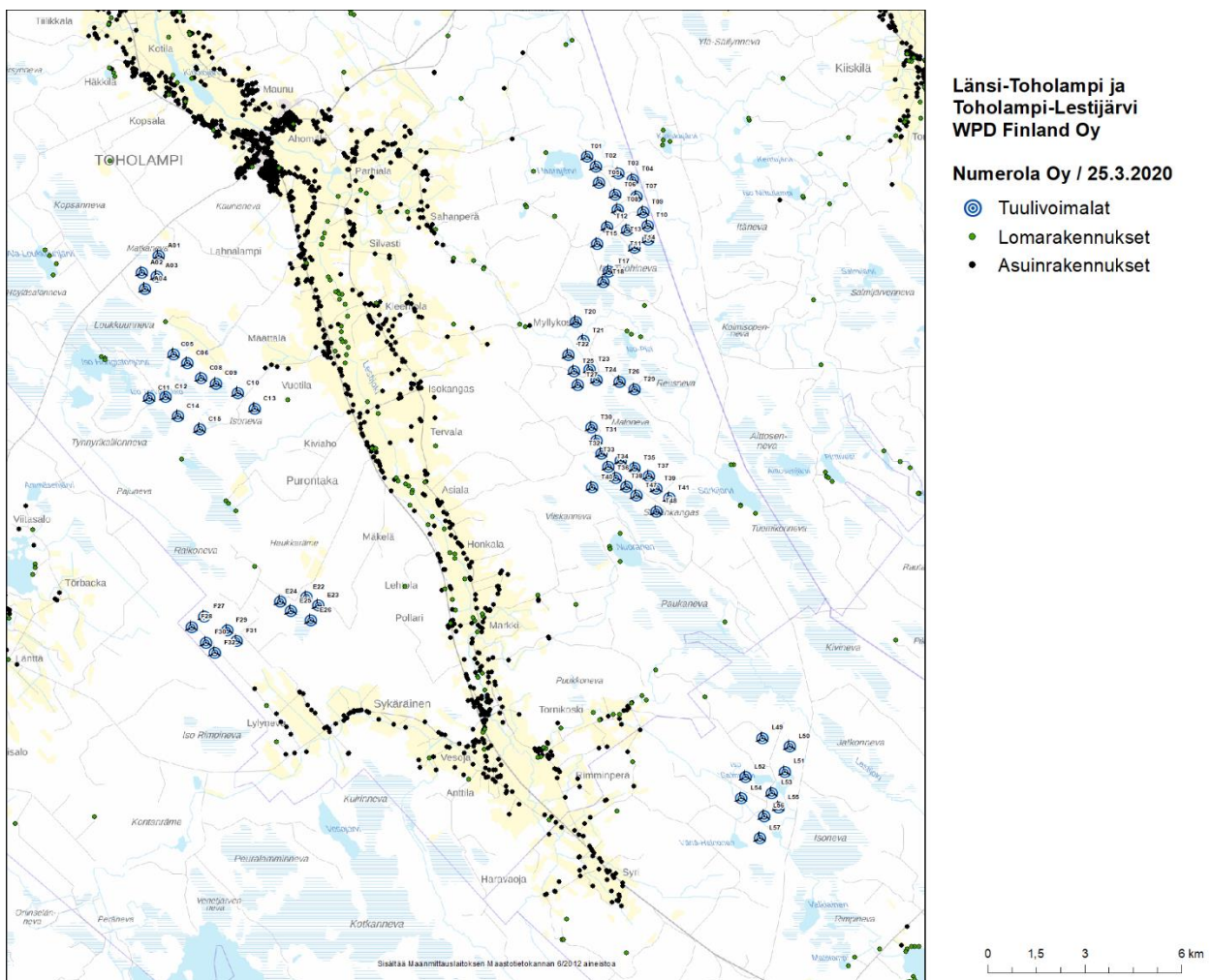
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke.....	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	Välkevaikutus.....	11
4	Yhteenvedo	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	17
6	Viitteet	19

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Toholammin ja Lestijärven kuntien alueelle suunnitellun 74 tuulivoimalan kokonaisuuden (Länsi-Toholampi ja Toholampi-Lestijärvi) aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteisiin suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1 ja Taulukko 2, Länsi-Toholampi ja Toholampi-Lestijärvi). Mallinnuksissa on käytetty turbiinityypin SG170 6 MW teknisiä tietoja (roottorin halkaisija 170 m) sekä napakorkeutta 145 m.

Karttakuvassa (Kuva 1) on esitetty voimaloiden lähellä sijaitsevien asuntojen sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti. Alueen rakennukset käsitellään tarkemmin luvussa 3.1.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Toholammin ja Lestijärven alueella.

Taulukko 1: Länsi-Toholammin voimaloiden (25 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
A01	361257,0	7071221,0	130,1
A02	360733,0	7070696,0	128,3
A03	361183,6	7070586,3	130,6
A04	360830,8	7070196,7	123,4
C05	361705,5	7068156,1	120,0
C06	362133,4	7067891,5	117,6
C08	362561,5	7067426,6	118,6
C09	363024,6	7067261,1	116,6
C10	363702,9	7066962,8	120,4
C11	360958,3	7066803,7	124,0
C12	361467,2	7066839,0	122,9
C13	364221,1	7066470,4	121,8
C14	361839,0	7066251,0	125,1
C15	362519,5	7065836,2	128,0
E22	365826,0	7060637,3	140,6
E23	366207,0	7060382,0	143,2
E24	365023,0	7060495,2	141,9
E25	365356,7	7060210,0	142,5
E26	365960,6	7059917,9	144,1
F27	362668,4	7060038,7	138,1
F28	362271,9	7059717,9	137,0
F29	363368,9	7059610,4	151,6
F30	362715,3	7059234,8	153,7
F31	363673,7	7059290,5	152,0
F32	362992,7	7058912,4	154,0

Taulukko 2: Toholampi-Lestijärven voimaloiden (49 kpl) sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
L49	379972,5	7056276,0	144,7
L50	380811,2	7056009,3	142,7
L51	380658,1	7055233,9	145,4
L52	379436,9	7055066,7	144,9
L53	380256,6	7054576,5	145,2
L54	379314,9	7054418,7	143,9
L55	380471,7	7054117,4	147,5
L56	380022,0	7053860,5	146,6
L57	379887,2	7053173,8	146,8

T01	374534,3	7074294,4	113,4
T02	374803,1	7073990,0	119,2
T03	375503,9	7073773,8	118,2
T04	375948,6	7073585,8	117,9
T05	374909,7	7073480,0	118,5
T06	375410,5	7073106,5	120,9
T07	376067,8	7073055,8	120,4
T08	375489,2	7072649,0	127,2
T09	376264,7	7072570,1	125,4
T10	376405,0	7072151,8	127,7
T11	375762,9	7072003,7	127,0
T12	375151,4	7072115,0	126,5
T13	376436,2	7071722,6	128,0
T14	376011,8	7071469,2	130,8
T15	374834,6	7071580,6	129,4
T17	375209,6	7070728,0	128,0
T18	375041,4	7070399,9	127,0
T20	374180,2	7069158,6	122,7
T21	374425,1	7068580,1	129,0
T22	373961,5	7068149,8	122,9
T23	374607,4	7067703,0	125,3
T24	374819,8	7067371,9	125,6
T25	374120,6	7067637,4	132,8
T26	375534,8	7067312,5	126,8
T27	374234,6	7067210,2	127,2
T29	376001,6	7067075,7	128,9
T30	374677,9	7065898,6	134,0
T31	374829,6	7065499,2	138,5
T32	374968,4	7065086,4	140,5
T33	375573,9	7064882,5	137,5
T34	375182,5	7064686,5	140,5
T35	376001,0	7064643,4	133,1
T36	375429,5	7064337,9	140,5
T37	376438,3	7064393,3	133,5
T38	375743,3	7064069,7	140,2
T39	376685,7	7064000,3	135,1
T40	374686,6	7064039,0	140,5
T41	377078,4	7063705,2	133,0
T47	376066,6	7063791,7	140,4
T48	376682,1	7063296,0	143,0

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 väkemmäärien 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.

Laskennassa voimaloiden napakorkeus oli 145 m ja roottorin halkaisija oli 170 m (turbiinityyppi SG170 6 MW). Voimalan lapaprofiilia on arvioitu luvussa 5 kuvatulla yksinkertaistetulla profiililla, jota varten tarvitaan tietoa lavan maksimileveydestä sekä leveydestä lähellä lavan kärkeä. Voimalan valmistajan antamien teknisten tietojen perusteella SG170:n lavan maksimileveys on 4,5 m ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on 1,5 m (mitat H ja h luvussa 5), joiden perusteella on muodostettu yksinkertaistettu lapaprofiili. 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. 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 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 Seinäjoen 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 suuntaakohtaisesti 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
Yli 3 m/s osuus	0,166	0,200	0,181	0,118	0,114	0,143

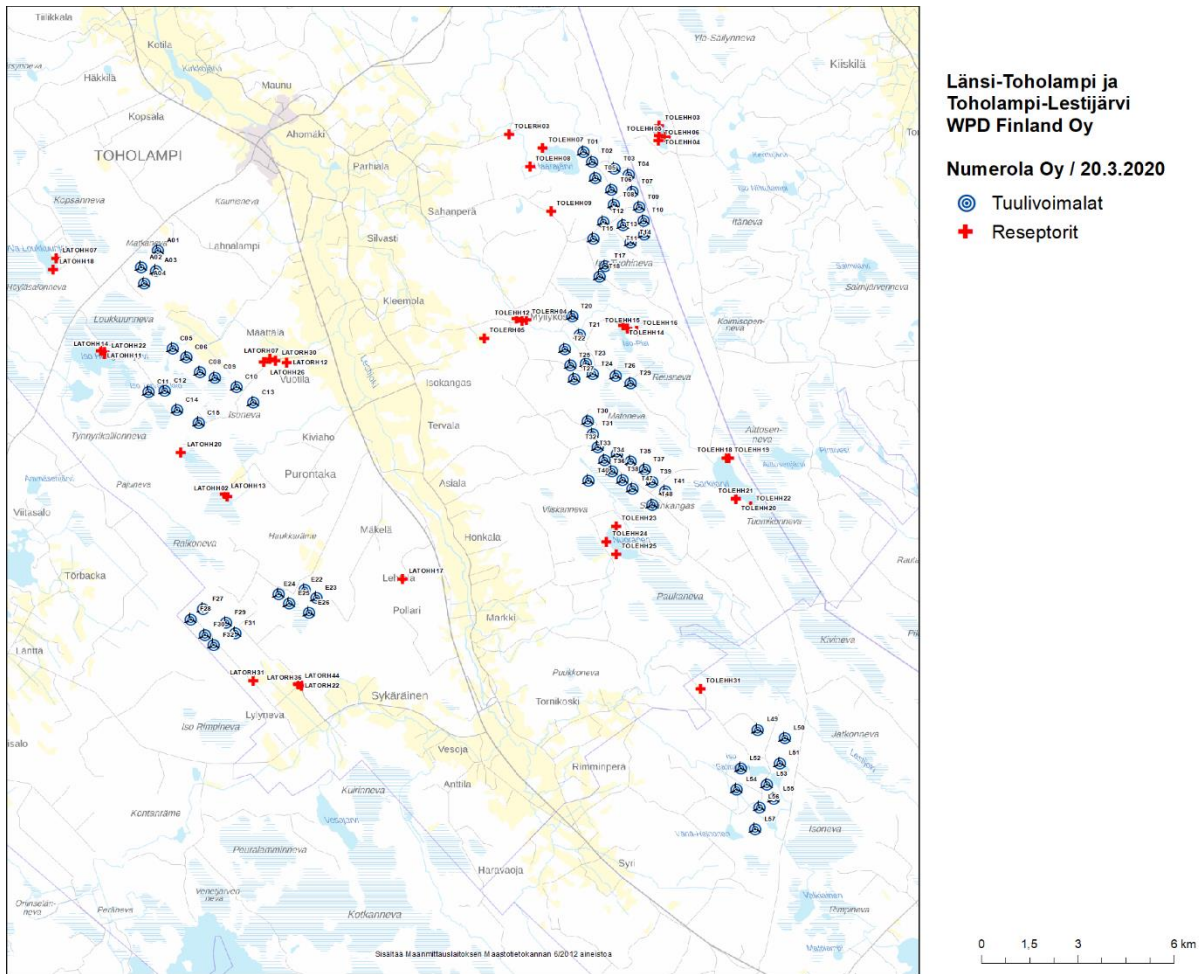
Taulukko 4: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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 41 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. 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]
LATO HH02	363422,0	7063535,9	129,0
LATO HH07	358077,4	7070959,6	122,9
LATO HH11	359469,9	7068085,7	120,7
LATO HH13	363332,0	7063620,6	128,8
LATO HH14	359589,5	7068052,7	121,1
LATO HH17	368879,8	7060959,9	131,2
LATO HH18	357983,0	7070622,4	122,8
LATO HH20	361967,9	7064913,3	128,5
LATO HH22	359591,9	7067991,5	120,2
LATO HH26	364547,4	7067744,7	111,3
LATO RH07	364743,2	7067832,5	105,5
LATO RH12	365262,8	7067712,0	104,1
LATO RH22	365633,2	7057676,0	133,3
LATO RH30	364916,4	7067771,8	107,6
LATO RH31	364222,6	7057790,3	141,0
LATO RH36	365742,7	7057643,7	133,4
LATO RH44	365625,5	7057701,6	133,4
TOLE HH03	376900,6	7075109,5	132,5
TOLE HH04	376899,1	7074798,0	135,8
TOLE HH05	377095,3	7074764,3	134,2
TOLE HH06	376880,2	7074646,2	132,9
TOLE HH07	373260,7	7074406,7	117,3
TOLE HH08	372873,3	7073830,8	116,2
TOLE HH09	373520,8	7072436,2	134,1
TOLE HH11	372438,8	7069086,0	112,3
TOLE HH12	372627,5	7069020,1	115,6
TOLE HH14	375778,6	7068878,5	125,8
TOLE HH15	375910,1	7068771,7	126,4
TOLE HH16	376201,1	7068707,8	125,3
TOLE HH18	378994,2	7064742,7	129,4
TOLE HH19	379077,2	7064731,5	129,5
TOLE HH20	379286,3	7063476,5	129,5
TOLE HH21	379291,3	7063464,5	129,6
TOLE HH22	379745,1	7063233,3	130,7
TOLE HH23	375559,6	7062616,5	136,4
TOLE HH24	375256,7	7062130,5	136,4
TOLE HH25	375559,8	7061749,2	136,2
TOLE HH31	378182,5	7057540,0	138,2
TOLE RH03	372207,0	7074831,6	109,9
TOLE RH04	372752,9	7069059,6	115,6
TOLE RH05	371432,8	7068470,1	113,2



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Länsi-Toholammin ja Toholampi-Lestijärven tuulipuistojen lähialueella.

3.2 Välkevaikutus

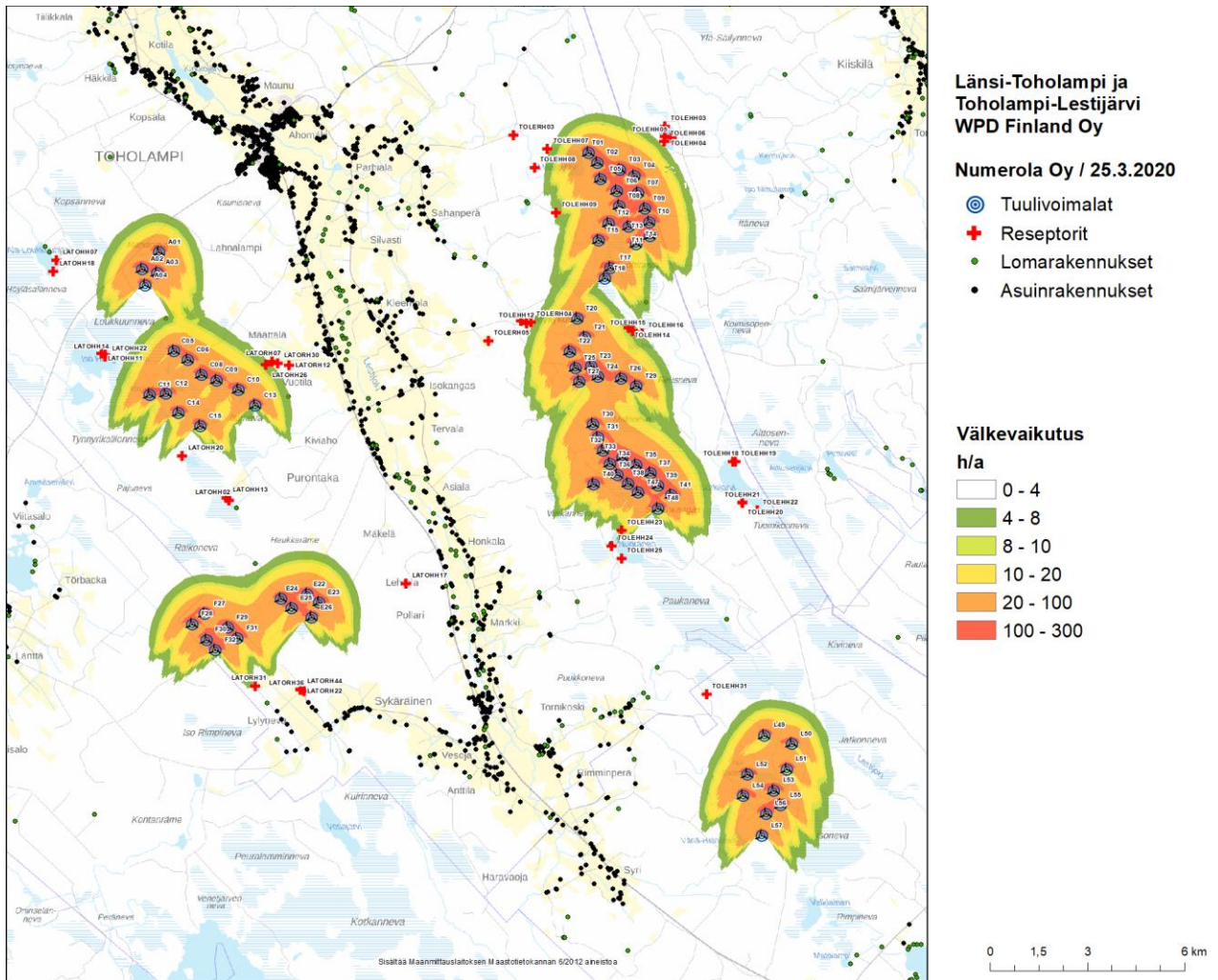
Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Karttaan on merkitty reseptoripisteiden paikat sekä ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja. Maastotietokanta sisältää joitakin asuinrakennuksia, jotka ovat alle 2 km etäisyydellä voimaloista, mutta jotka eivät ole valittuna vertailukiinteistöksi. Vuotuinen välkevaikutus niiden kohdilla jää kuitenkin alle 6 tuntiin.

Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuinrakennusten kohdilla. Myös päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdilla. Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 6). Suurimmat välkevaikutukset (yli 5 h/a) kohdistuvat reseptoripisteisiin LATO HH26, TOLE HH14, TOLE HH15 ja TOLE HH23, ja välkkeen tarkempi ajoittuminen näiden kiinteistöjen kohdilla

on esitetty taulukoissa (Taulukko 7-Taulukko 10). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 6: Välkevaikutukset kestot reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
LATO HH02	0:00	0
LATO HH07	0:00	0
LATO HH11	0:20	3
LATO HH13	0:00	0
LATO HH14	0:26	3
LATO HH17	0:00	0
LATO HH18	0:00	0
LATO HH20	0:00	0
LATO HH22	0:29	3
LATO HH26	5:31	8
LATO RH07	3:24	6
LATO RH12	1:33	4
LATO RH22	0:00	0
LATO RH30	2:45	5
LATO RH31	2:34	6
LATO RH36	0:00	0
LATO RH44	0:00	0
TOLE HH03	0:51	3
TOLE HH04	1:00	5
TOLE HH05	1:29	4
TOLE HH06	2:48	5
TOLE HH07	3:18	7
TOLE HH08	1:28	5
TOLE HH09	3:53	6
TOLE HH11	1:12	4
TOLE HH12	2:27	5
TOLE HH14	6:06	5
TOLE HH15	5:26	5
TOLE HH16	3:31	4
TOLE HH18	0:00	0
TOLE HH19	0:00	0
TOLE HH20	0:00	0
TOLE HH21	0:00	0
TOLE HH22	0:00	0
TOLE HH23	7:54	13
TOLE HH24	2:27	5
TOLE HH25	0:00	0
TOLE HH31	0:00	0
TOLE RH03	0:00	0
TOLE RH04	3:31	6
TOLE RH05	0:00	0



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön LATO HH26 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	46	0	0	0	0	0	0:46
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	13	91	0	0	0	0	1:44
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	2	28	0	0	0	0:30
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0:09
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	74	14	0	0	0	1:28
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0:54
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	0	0	0	0	0	0	1:53	2:46	0:51	0	0	0	5:31

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön TOLE HH14 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	21	37	12	0	0	0	0	1:10
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0:36
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0:58
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	7	24	0	0	0:32
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	0	6	0	0	0:06
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	50	15	0	0	1:05
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	14	9	0	0	0	0:24
Marraskuu	0	0	0	0	0	15	26	22	0	0	0	0	1:04
Joulukuu	0	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0:12
Yhteensä	0	0	0	0	0	0:40	1:11	1:24	2:04	0:46	0	0	6:06

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön TOLE HH15 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	20	47	4	0	0	0	0	1:12
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0:44
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0:34
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	13	9	0	0	0:22
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	5	4	0	0	0:10
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	41	3	0	0	0:44
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0:21
Marraskuu	0	0	0	0	0	14	40	14	0	0	0	0	1:08
Joulukuu	0	0	0	0	0	4	7	0	0	0	0	0	0:11
Yhteensä	0	0	0	0	0	0:39	1:34	1:23	1:33	0:16	0	0	5:26

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto kiinteistön TOLE HH23 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	0	0	0	0	0
Toukokuu	0	0	0	6	168	0	0	0	0	0	0	0	2:54
Kesäkuu	0	0	0	3	74	0	0	0	0	0	0	0	1:16
Heinäkuu	0	0	0	9	210	0	0	0	0	0	0	0	3:39
Elokuu	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0:04
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
Yhteensä	0	0	0	0:18	7:36	0	0	0	0	0	0	0	7:54

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Toholammin ja Lestijärven kuntien alueelle suunniteltujen Länsi-Toholammin ja Toholampi-Lestijärven tuulivoimapuistojen ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkeaika jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen kohdalla. Päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen 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.

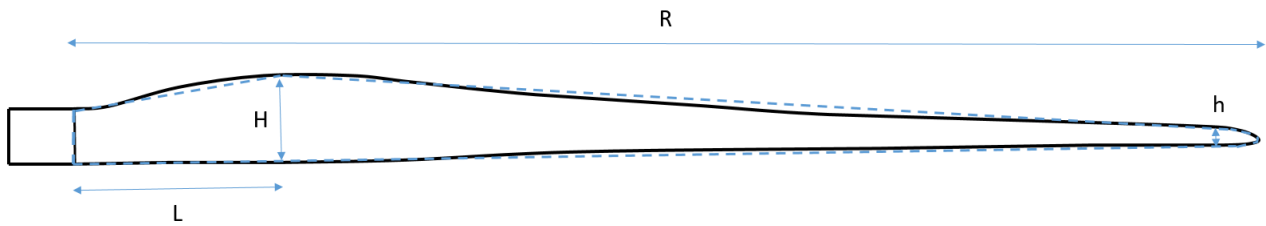
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 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 väkelaskennassa käytetään kuvan (Kuva 4) mukaista yksinkertaistettua profiilia, ja valmistajan antamia tietoja mitoista H ja h . 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, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.