



Eurowind Energy AS

Tielammen tuulivoimapuiston väikeselvitys (VE2)

101023002-001, 20.03.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Eurowind Energy AS
Neil Stewart

Päivämäärä
20/03/2024

Projektinnumero
101023002-001

Raportin tila
VALMIS

Tielammen tuulivoimapuiston välkesselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	29.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	29.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
001	20.03.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	20.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Napakorkeus ja roottorin halkaisija muutettu

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

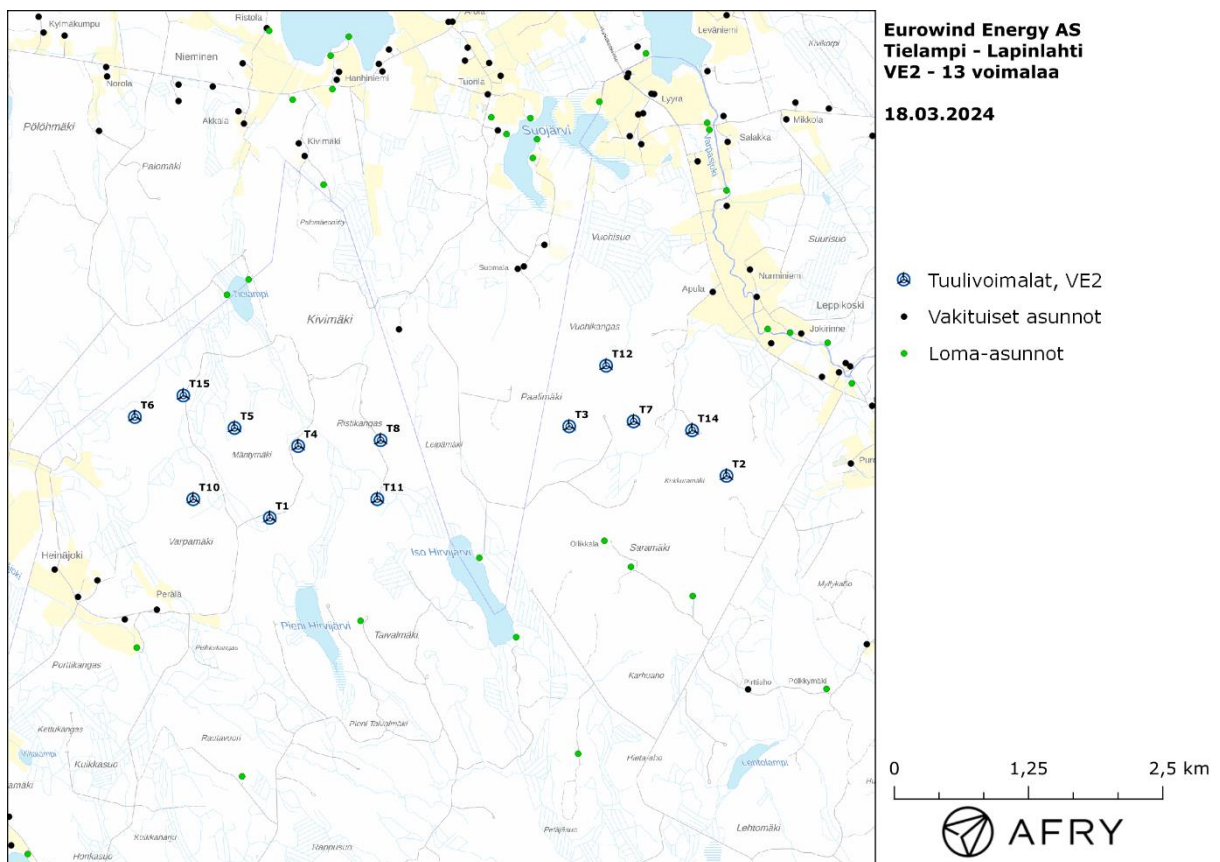
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
2.4	Ohjearvot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	13
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset	14
4	Yhteenveto	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	18
6	Viitteet	20

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Lapinlahden kuntaan suunnitellun Tielammen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimahanke sijaitsee Lapinlahden kunnan ja Iisalmen kaupungin rajan tuntumassa. Arviointi on tehty 13 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 173 m ja roottorin halkaisijaa 155 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty Siemens Gamesa SG155 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa, jonka levin kohta on 4,5 m.

Selvityksessä arvioidaan lisäksi väkkeen yhteisvaikutuksia Tielammen viereen suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimahankkeen kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.4.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Tielammen hankealueella suunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (13 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	520704	7039805	140
T2	524957	7040196	168
T3	523492	7040656	177
T4	520968	7040473	132
T5	520375	7040641	124
T6	519447	7040744	113
T7	524092	7040702	165
T8	521736	7040527	143
T10	519991	7039978	121
T11	521705	7039979	137
T12	523836	7041220	133
T14	524637	7040619	165
T15	519899	7040943	119

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 iltatimet). 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 on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Siilinjärven sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 45 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. 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 välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

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, tuulivoimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 173 m ja roottorin halkaisijaa 155 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyyppin Siemens Gamesa SG155 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profilitietoa, jonka maksimileveys on 4,5 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimaloiden orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 150 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisyys on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Siilinjärven sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektoriokohtaiset 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	0,194	0,180	0,138	0,119	0,142	0,146

Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

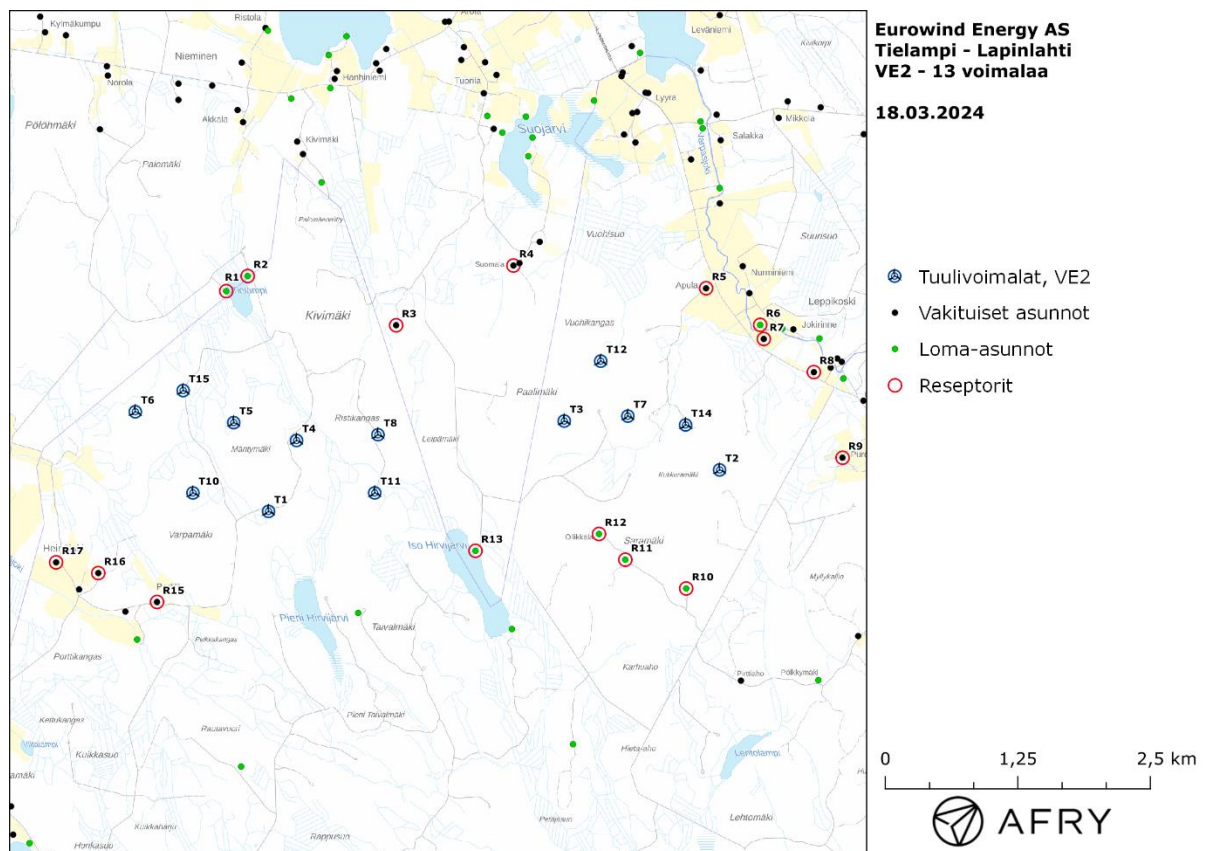
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,154
Helmikuu	0,262
Maaliskuu	0,332
Huhtikuu	0,432
Toukokuu	0,454
Kesäkuu	0,424
Heinäkuu	0,456
Elokuu	0,406
Syyskuu	0,299
Lokakuu	0,186
Marraskuu	0,108
Joulukuu	0,082

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 16 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat noin 1-1,5 km etäisyydellä voimaloista.

Maastotietokannan mukaan Tielammen voimaloiden eteläpuolella noin 1 km etäisyydellä sijaitsee loma-asunto. Tätä ei ole kuitenkaan otettu mukaan tämän selvityksen reseptoripisteeksi, koska se sijaitsee noin 200 m etäisyydellä suunnitellusta Iso-Petäjämäen voimalapaikasta. Rakennukseen kohdistuvat vaikutukset aiheutuvat siis pääosin naapurikohteesta eikä Tielammen voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	520306	7041879	115	lomarakennus
R2	520508	7042021	116	lomarakennus
R3	521908	7041557	122	vakituinen asuinrakennus
R4	523014	7042120	109	vakituinen asuinrakennus
R5	524831	7041906	100	vakituinen asuinrakennus
R6	525341	7041561	96	lomarakennus
R7	525375	7041428	100	vakituinen asuinrakennus
R8	525847	7041116	109	vakituinen asuinrakennus
R9	526118	7040309	115	vakituinen asuinrakennus
R10	524643	7039077	178	lomarakennus
R11	524069	7039348	204	lomarakennus
R12	523821	7039591	199	lomarakennus
R13	522656	7039432	140	lomarakennus
R15	519653	7038950	110	vakituinen asuinrakennus
R16	519099	7039222	105	vakituinen asuinrakennus
R17	518701	7039323	106	vakituinen asuinrakennus



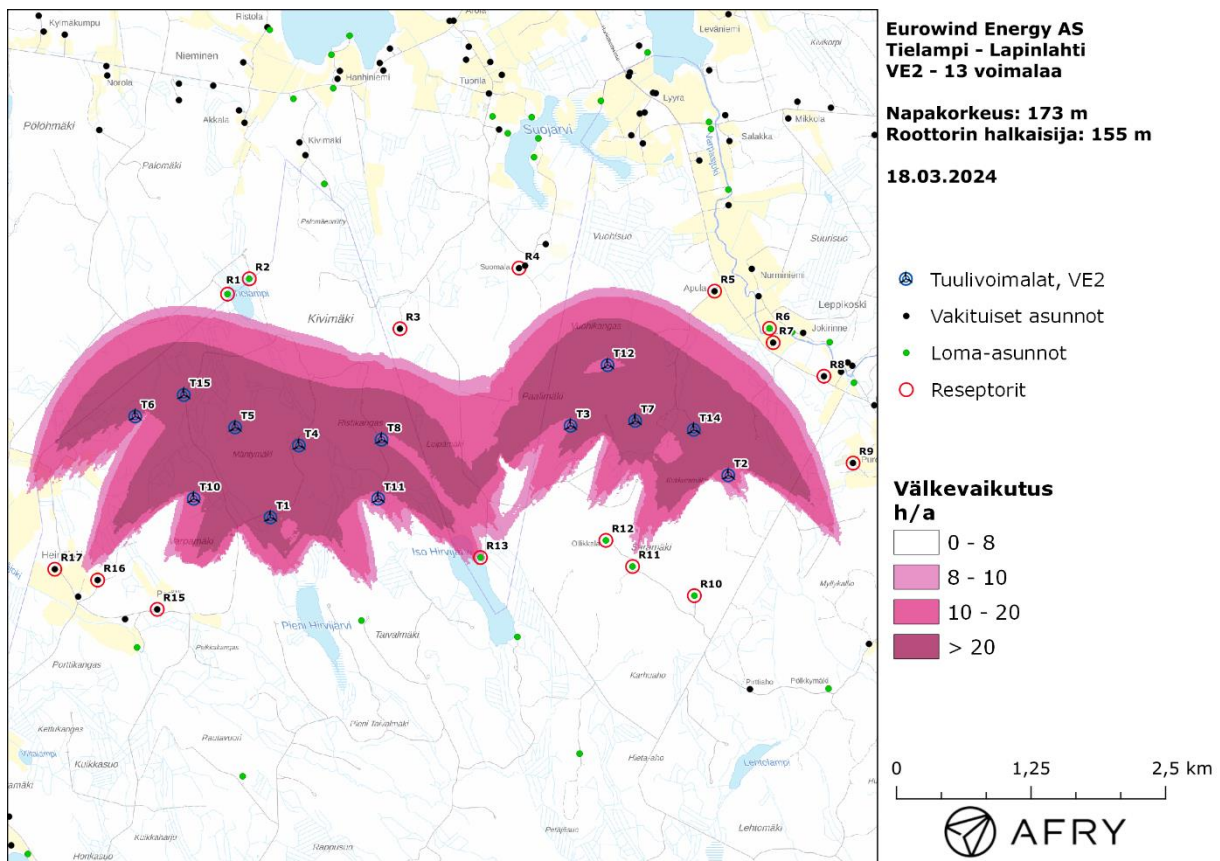
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

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

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon reseptorin R13 kohdalla. Muiden loma- ja asuinrakennusten kohdalla todennäköiset välkeajat jäävät alle ohjearvon. Päiväkohtainen todennäköinen välke aika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorin kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R13 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talvi-aika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaika
R1	5:04	0:09
R2	3:09	0:07
R3	4:00	0:06
R4	2:03	0:04
R5	3:39	0:05
R6	3:12	0:05
R7	3:58	0:06
R8	2:25	0:05
R9	2:56	0:06
R10	0:00	0:00
R11	4:27	0:08
R12	2:35	0:06
R13	9:06	0:11
R15	2:41	0:06
R16	3:25	0:06
R17	1:46	0:05

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R13 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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:02	0:00	0:00	2:13
Kesäkuu	0:00	0:51	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:00	0:00	0:00	2:52
Heinäkuu	0:00	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:49	0:25	0:00	3:59
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:02
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	1:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:54	0:25	0:00	9:06

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon kolmen reseptorin kohdalla. Myös Saksan 30 minuutin teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeä ylittyy useamman reseptorin kohdalla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittumistaulukosta reseptorin R1 (Taulukko 8) nähdään, että välkettä esiintyy loka-helmikuussa, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa hyvinkin alhainen.

Taulukko 7: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeäika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeäika
R1	43:46	0:59
R2	29:51	0:48
R3	33:58	0:39
R4	16:21	0:24
R5	28:23	0:29
R6	22:25	0:25
R7	26:32	0:30
R8	14:52	0:28
R9	13:35	0:25
R10	0:00	0:00
R11	16:43	0:33
R12	10:23	0:24
R13	36:50	0:47
R15	10:21	0:28
R16	13:48	0:28
R17	7:00	0:19

Taulukko 8: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R1 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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	5:19	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	6:33
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:34	5:10	8:36	0:00	0:00	0:00	0:00	15:20
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:13	2:08	0:00	0:00	0:00	0:00	7:21
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:46	5:56	0:47	0:00	0:00	0:00	0:00	14:29
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:03
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:19	21:41	11:46	0:00	0:00	0:00	0:00	43:46

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Tielammen ja sen eteläpuolelle suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimapuiston yhteisvaikutuksia. Iso-Petäjämäen tuulivoimahanketta suunnittelee ABO Wind Oy. Iso-Petäjämäkeen on suunnitteilla 14 voimalaa, ja lähimmät niistä sijaitsevat noin 1,2-1,5 km etäisyydellä Tielammen voimaloista. Iso-Petäjämäen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa 9. Mallinuksissa naapuripuiston voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyyppin Vestas V162 lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Skaalatun roottorin maksimi-levy on 4,6 m.

Taulukko 9: Iso-Petäjämäen (14 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

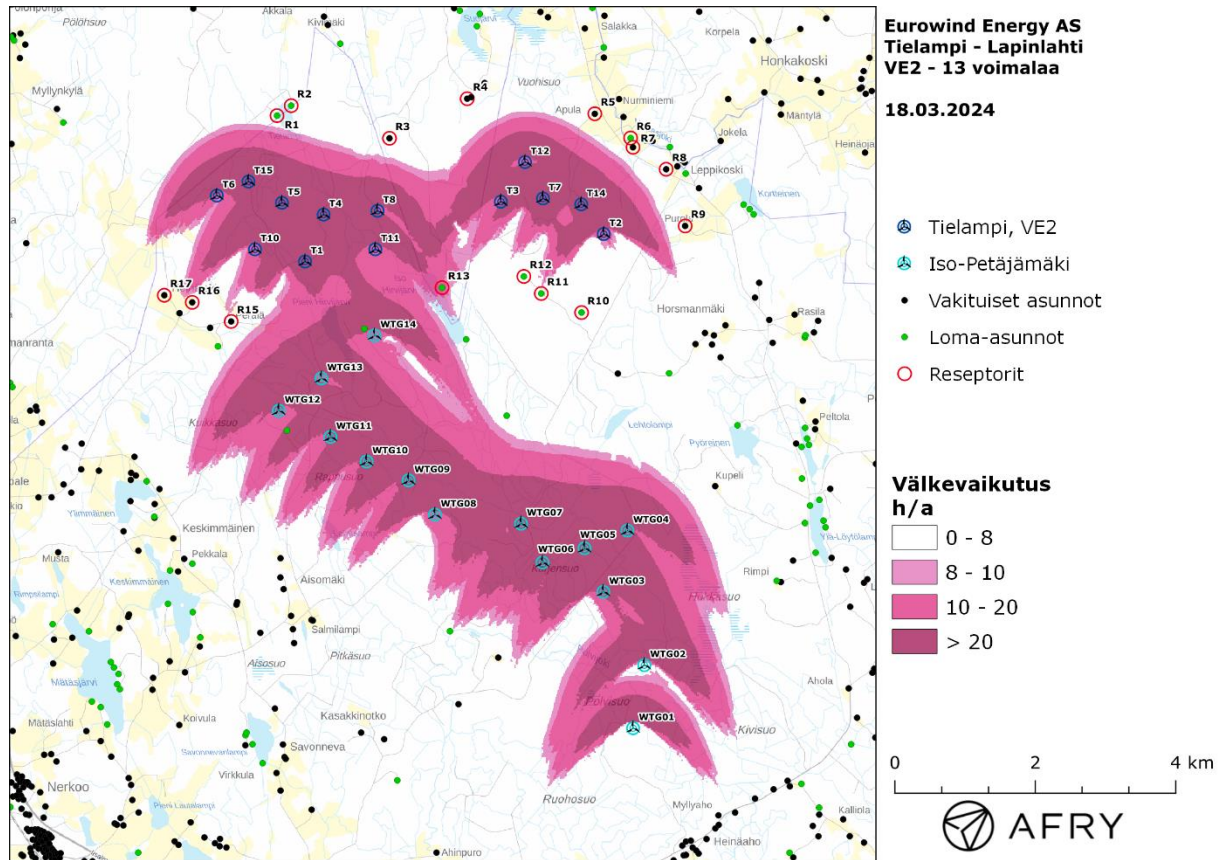
Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	525375	7033164	152
WTG02	525535	7034061	140
WTG03	524951	7035104	149
WTG04	525295	7035976	161
WTG05	524684	7035725	152
WTG06	524085	7035522	144
WTG07	523780	7036074	138
WTG08	522554	7036203	174
WTG09	522178	7036690	130
WTG10	521580	7036959	130
WTG11	521065	7037308	130
WTG12	520331	7037683	144
WTG13	520937	7038142	122
WTG14	521694	7038754	180

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa 10. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon reseptorin R13 kohdalla. Ylitys ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksista. Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien reseptorien kohdalla.

Teoreettisen maksimivälkkeen kohdalla sovelletaan Saksan 30 tunnin vuotuista raja-arvoa ja 30 minuuttia päivässä. Mallinnusten mukaan teoreettisen maksimivälkkeen vuotuinen raja-arvo ylittyy neljän reseptorin kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittyy useamman reseptorin kohdalla.

Taulukko 10: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE2 sekä Iso-Petäjämäen 14 voimalan suunnitelma. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	5:04	0:09	43:46	0:59
R2	3:09	0:07	29:51	0:48
R3	4:00	0:06	33:58	0:39
R4	2:03	0:04	16:21	0:24
R5	3:39	0:05	28:23	0:29
R6	3:12	0:05	22:25	0:25
R7	3:58	0:06	26:32	0:30
R8	2:25	0:05	14:52	0:28
R9	2:56	0:06	13:35	0:25
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	4:40	0:08	17:55	0:33
R12	2:51	0:06	12:11	0:24
R13	12:44	0:11	58:47	0:47
R15	6:42	0:07	39:48	0:41
R16	4:20	0:06	20:47	0:28
R17	2:02	0:05	9:01	0:19



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinuksissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE2 ja Iso-Petäjänmäen voimalat.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Lapinlahden kuntaan suunnitellun Tielammen tuulivoimapuiston ympäristölle aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 13 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Selvityksessä on arvioitu myös välkkeen yhteisvaikutuksia Tielammen viereen suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimapuiston kanssa.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon yhden lomarakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla välkevaikutukset pysyvät ohjearvoissa. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon useamman rakennuksen kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon useamman rakennuksen kohdalla.

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutukset ylittävät ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. Lisäksi teoreettisen välkkeen yhteisvaikutukset ylittävät Saksan vuotuisen ja päiväkohtaisen maksimivälkkeen raja-arvot useiden 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 tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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

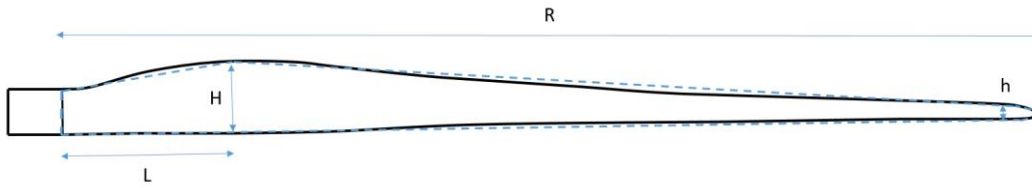
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

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

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 5) on esitetty malli tyypillisestä profilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon H ja h perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan tarkemmin tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: *Vindkraftshandboken*, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P.Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.