



Windfarm Kairineva Oy

Kairineva

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

12.12.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101029015-002.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Windfarm Kairineva Oy

Kia Anttilainen

kia.anttilainen@neova-group.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinnumero: 101029015-002

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.12.2025/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.12.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

SISÄLLYS

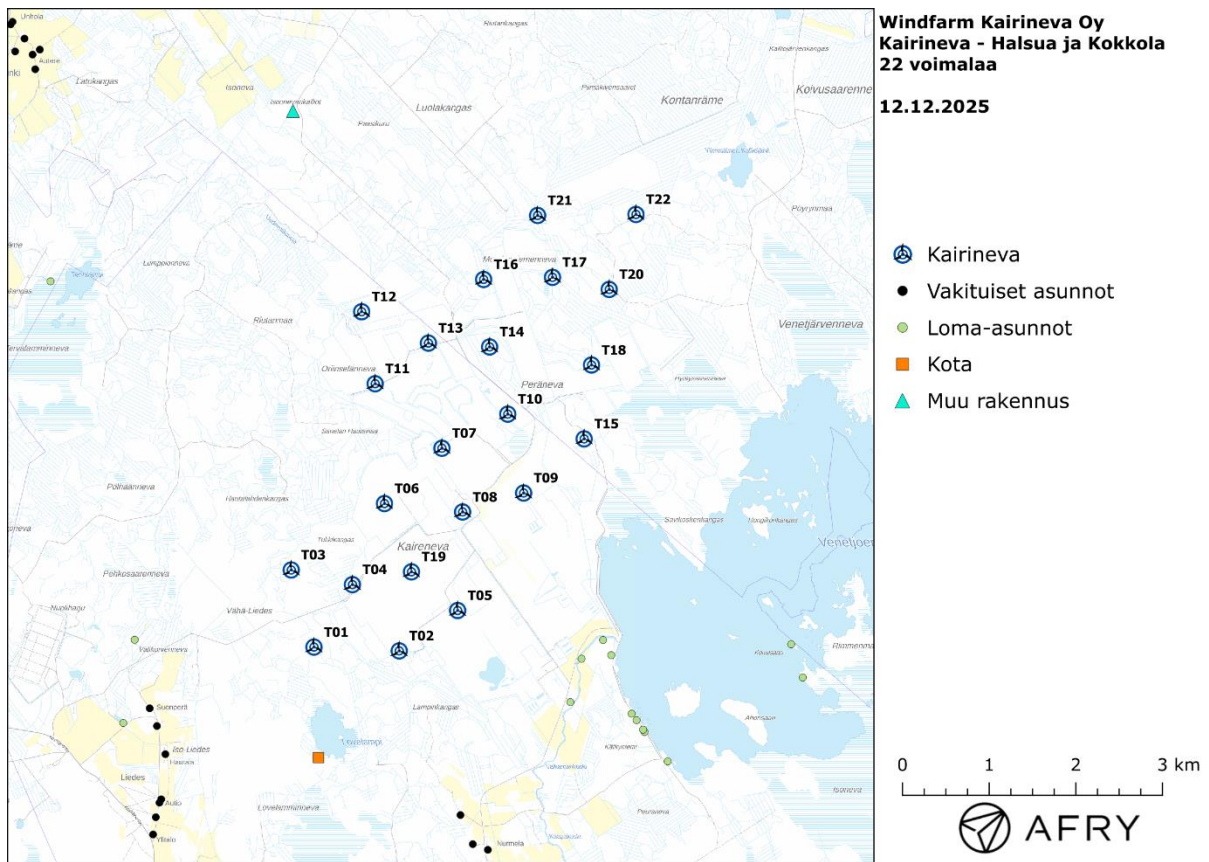
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjeavot	8
3	TUULIVOIMAKOHTEN VÄLKEMALLINNUS	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	13
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	14
4	YHTEENVETO.....	17
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	18
6	VIITTEET	20

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Halsuan kunnan ja Kokkolan kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 22 voimalan sijoittelusuunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa Kairinevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja voimalatyypin Vestas V172 (roottorin halkaisija 172 m) lavan profiilitietoa.

Selvityksessä arvioidaan myös Kairinevan sekä Kairinevan länsi- ja pohjoispuolelle suunnitellun Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kairinevan tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (22 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	357055	7047439	140
T02	358039	7047395	132
T03	356793	7048328	140
T04	357499	7048159	135
T05	358713	7047860	130
T06	357869	7049094	132
T07	358532	7049732	137
T08	358771	7048997	132
T09	359475	7049215	132
T10	359291	7050125	136
T11	357762	7050475	134
T12	357606	7051306	132
T13	358376	7050944	131
T14	359082	7050900	141
T15	360173	7049840	138
T16	359013	7051678	138
T17	359808	7051703	138
T18	360258	7050692	137
T19	358181	7048306	132
T20	360462	7051563	138
T21	359636	7052416	139
T22	360771	7052427	138

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 tuuli-voimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisyys.

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 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 Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 110 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]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuisen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

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 ihmissilmin 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 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. Tässä selvityksessä välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Välkelaskennassa Kairinevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja valmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa voimalatyypille Vestas V172 (roottorin halkaisija 172 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 tuulivoimalan 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 tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisdella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat 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 tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut väketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta väketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3-1: 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	0,167	0,196	0,182	0,124	0,119	0,146

Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

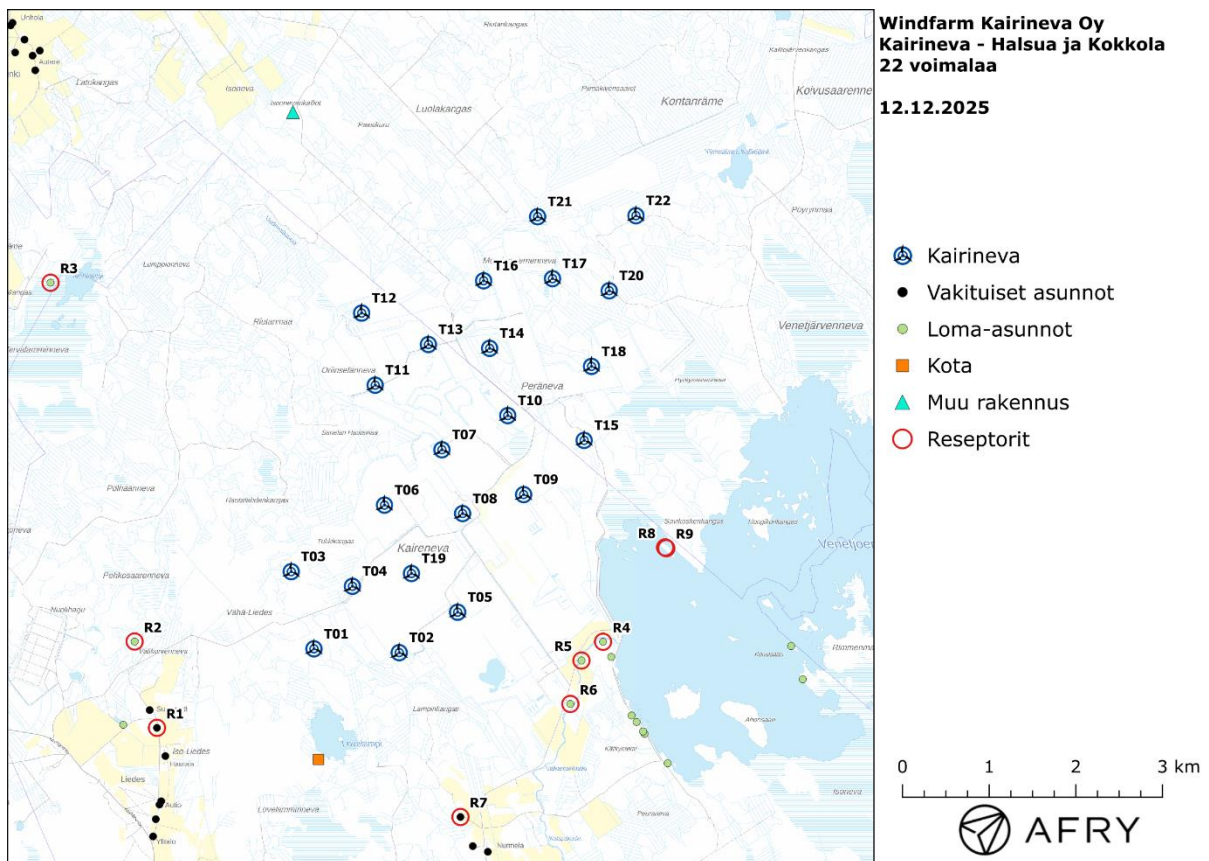
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä yhdeksän pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5–3,6 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista.

Hankealuealueen eteläpuolella, noin 1,3 km voimalan T01 eteläpuolella sijaitsee yksi Maanmittauslaitoksen maastotietokannassa loma-asunnoksi luokiteltu rakennus. Kyseistä rakennusta ei näy Suomen ympäristökeskuksen (Syke) Ryhti-palvelusta, joka on maastotietokantaa paremmin ajan tasalla rakennusten senhetkisestä luokituksesta. Asiakkaalta saadun tiedon mukaan kyseinen rakennus on todellisuudessa kota, eikä rakennusta huomioida tästä syystä välkevaikutusten arvioinnissa. Myöskään noin 2,4 km voimalan T12 luoteispuolella sijaitsevaa rakennusta ei huomioida välkevaikutusten arvioinnissa. Kyseinen rakennus on maastotietokannassa luokiteltu loma-asunnoksi, mutta rakennusta ei ole luokiteltu Syke:n Ryhti-palvelussa. Huomioimatta jätetyt rakennukset on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1).

Taulukko 3-3: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	355245	7046527	136	vakituinen asunto
R2	354987	7047521	137	loma-asunto
R3	354017	7051654	124	loma-asunto
R4	360392	7047518	130	loma-asunto
R5	360143	7047302	129	loma-asunto
R6	360015	7046802	129	loma-asunto
R7	358747	7045500	132	vakituinen asunto
R8	361108	7048605	136	loma-asunto
R9	361122	7048596	136	loma-asunto


Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kairinevan tuulivoimapuiston hankealueella.

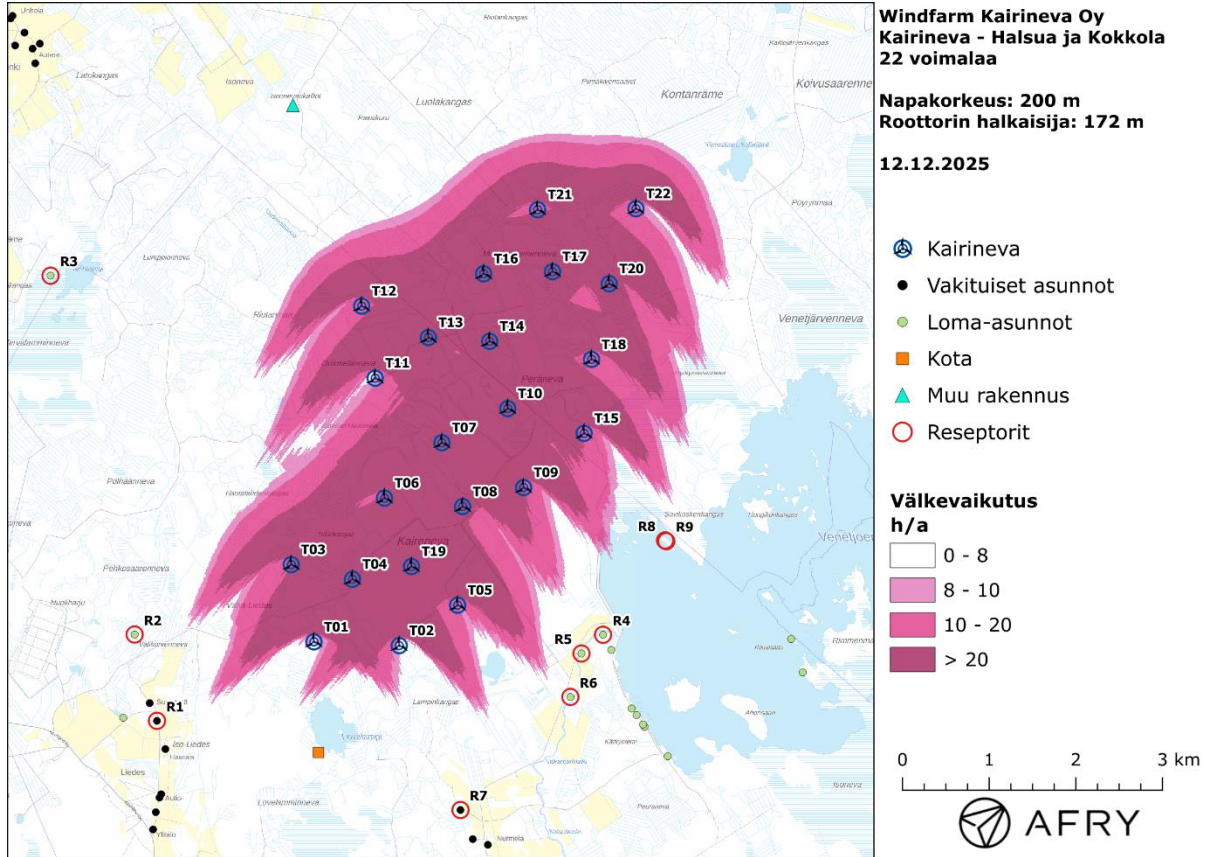
3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuva (Kuva 3-2). 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 jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen

todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R5 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Kairinevan tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:51	0:03
R2	1:12	0:04
R3	0:00	0:00
R4	1:35	0:04
R5	2:49	0:07
R6	2:28	0:04
R7	0:00	0:00
R8	0:47	0:03
R9	0:46	0:03

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R5 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	0:04	0:00	0:00	0:04
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	0:00	0:00	0:42
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:00	0:00	0:20
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:00	0:34
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:00	0:08
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52	0:00	0:00	0:52
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:09	0:00	0:00	0:10
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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	2:07	0:42	0:00	2:49

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälkeä aika pysyy alle raja-arvojen kaikkien rakennusten kohdalla, kun välkeä aikoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R5 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-6: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeä aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	3:03	0:11
R2	4:45	0:12
R3	0:00	0:00
R4	6:26	0:15
R5	11:55	0:28
R6	9:51	0:18
R7	0:00	0:00
R8	3:25	0:14
R9	3:20	0:14

Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R5 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	0:19	0:00	0:00	0:19
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:00	0:00	0:00	3:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:16	0:00	0:00	1:16
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:10	0:00	2:10
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:00	0:34
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:48	0:00	0:00	3:48
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:42	0:00	0:00	0:48
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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	9:05	2:44	0:00	11:55

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kairinevan voimaloiden sekä läheisen suunnitteilla olevan Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkkeen yhteisvaikutusta.

Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimahanketta suunnittelee wpd Suomi Oy. Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuistoon on suunnitteilla 49 voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 700 m etäisyydellä Kairinevan voimaloista.

Välkemallinnuksessa Tuohimaa-Riutanmaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 163 m. Tuohimaa-Riutanmaan voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyypin Nordex N163 (roottorin halkaisija 163 m) valmistajan ilmoittamaa la-
van profiilitietoa.

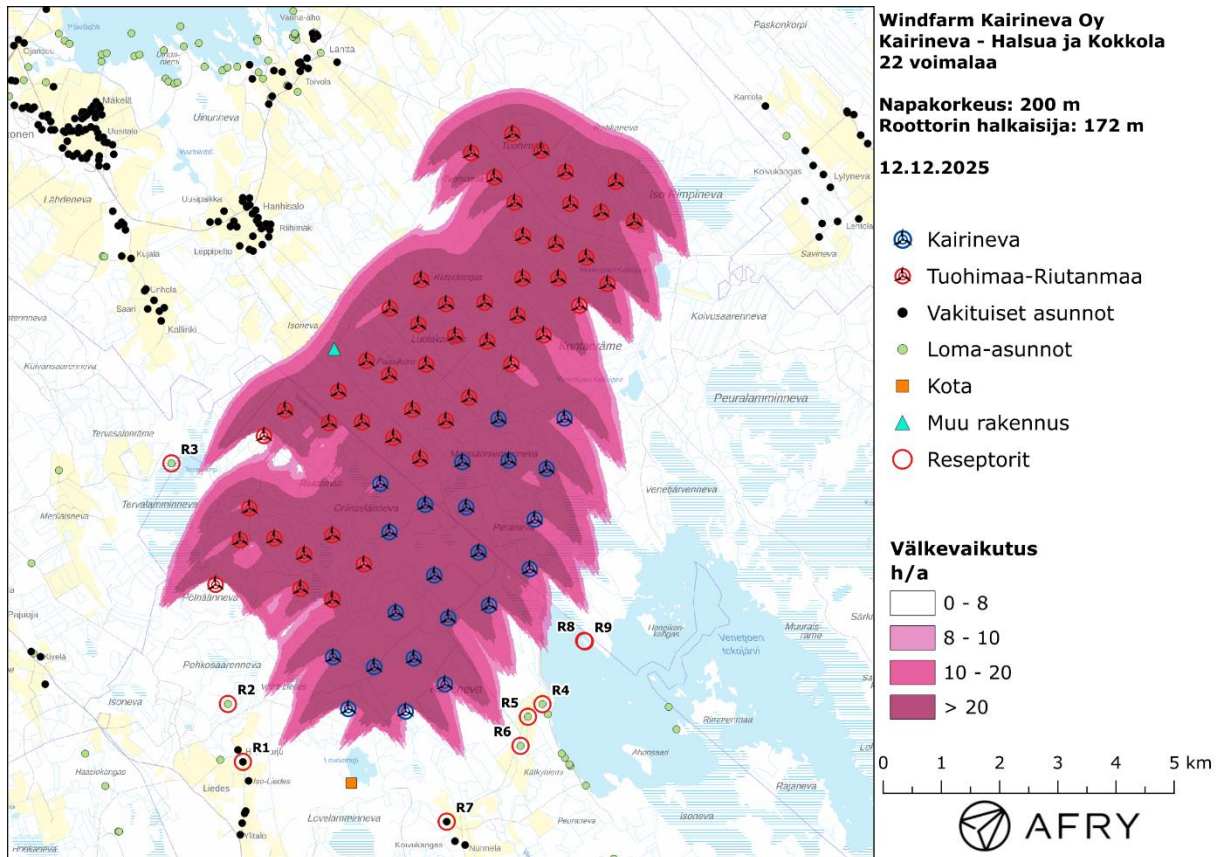
Tuohimaa-Riutanmaan voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-8).

Taulukko 3-8: Tuohimaa-Riutanmaan (49 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TR14	361655	7056491	141
TR15	361970	7055811	138
TR16	359874	7057317	139
TR17	360371	7057027	145
TR18	360790	7056661	146
TR19	360872	7056113	145
TR20	361402	7055969	141
TR21	359165	7056985	133
TR22	359563	7056569	148
TR23	359912	7056136	148
TR24	360057	7055559	146
TR25	360621	7055427	144
TR26	361144	7055189	140
TR27	361510	7054736	139
TR31	360049	7054835	143
TR32	360663	7054833	140
TR33	361026	7054363	140
TR36	359395	7054417	144
TR37	359963	7054194	141
TR38	360410	7053856	140
TR39	358306	7054806	136
TR40	358735	7054390	139
TR41	358891	7053845	142
TR42	359441	7053749	143
TR43	359855	7053359	140
TR44	357768	7054316	132
TR45	358258	7054037	137
TR46	358391	7053350	139

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TR47	359130	7052786	140
TR48	357366	7053414	140
TR49	357757	7053170	139
TR50	358156	7052577	139
TR51	358732	7052387	138
TR52	356885	7052890	136
TR53	357291	7052364	139
TR54	358290	7051732	134
TR55	355969	7052570	127
TR56	356724	7052347	129
TR57	357830	7052096	136
TR58	355606	7052126	133
TR63	355355	7050883	132
TR64	355783	7050366	139
TR66	356780	7050420	138
TR68	355195	7050337	130
TR69	354772	7049573	131
TR70	356296	7050086	146
TR71	356233	7049501	145
TR72	356780	7049314	142
TR73	357322	7049921	145

Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-3). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimi- välke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-9). Mallinnusten pe- rusteella Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan voimaloista aiheutuu vähäistä välkkeen yh- teisvaikutusta asutukselle. Suurin muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa tapahtuu reseptoripisteen R3 kohdalla, jossa vuotuinen todennäköinen välkevaikutus kasvaa yhden tunnin ja 42 minuuttia (1 h 42 min). Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvon ylityksiä minkään vakituisen- tai loma-asunnon kohdilla.



Kuva 3-3: Kairinevan ja Tuohimaa-Riutanmaan tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-9: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kairinevan sekä Tuohimaa-Riutanmaan voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Resep-tori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:51	0:03	3:03	0:11
R2	1:12	0:04	4:45	0:12
R3	1:42	0:03	8:28	0:12
R4	1:35	0:04	6:26	0:15
R5	2:49	0:07	11:55	0:28
R6	2:28	0:04	9:51	0:18
R7	0:00	0:00	0:00	0:00
R8	0:47	0:03	3:25	0:14
R9	0:46	0:03	3:20	0:14

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Halsuan kunnan ja Kokkolan kaupungin alueelle suunnitellun Kairinevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 22 voimalan suunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 172 m ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Kairinevan ja läheisen Tuohimaa-Riutanmaa tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Myös vuotuinen teoreettinen maksimivälke sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke alittaa Saksan raja-arvot.

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 tiheysfunktiota tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusuksilla.

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.

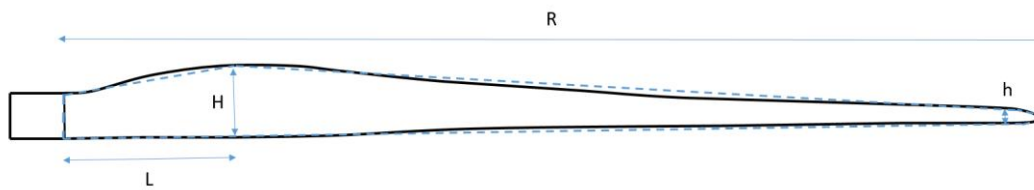
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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.

Kuvassa (Kuva 5-1) on esitetty 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 tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkелaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkелaskennassa huomioidaan 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 kust-nära vattenområden, 2009.
- [3] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.