



# **Semecon Oy**

## Malakakangas

Yhteisvaikutusten välkeselvitys

18.10.2024

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 101026197-002.

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:

**Semecon Oy**

Olli Malkamäki

[olli.malkamaki@semecon.fi](mailto:olli.malkamaki@semecon.fi)

Tekijä:

**AFRY Finland Oy**

Juulianna Lähteinen

[juulianna.lahteinen@afry.com](mailto:juulianna.lahteinen@afry.com)

Wind and Solar Finland

[www.afry.com](http://www.afry.com)

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101026197-002

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	21.09.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	21.09.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen (Raportti 101022365-001.001)
002	18.10.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	18.10.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Malakakankaan voimalakoordi- naatit muuttuneet ja voimala T11 poistettu. Naapuripuisto Kaukasen laajennuksen voima- lakoordinaatit, napakorkeus sekä roottorin halkaisija muut- tuneet.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE .....	9
2.1	Välkevaikutus.....	9
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	9
2.3	Arvioinnin epävarmuudet .....	9
2.4	Ohjeavot .....	10
3	YHTEISVAIKUTUSTEN VÄLKEMALLINNUS .....	11
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	11
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	15
3.3	Teoreettinen välkevaikutus .....	17
4	YHTEENVETO.....	18
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ .....	19
6	VIITTEET .....	21

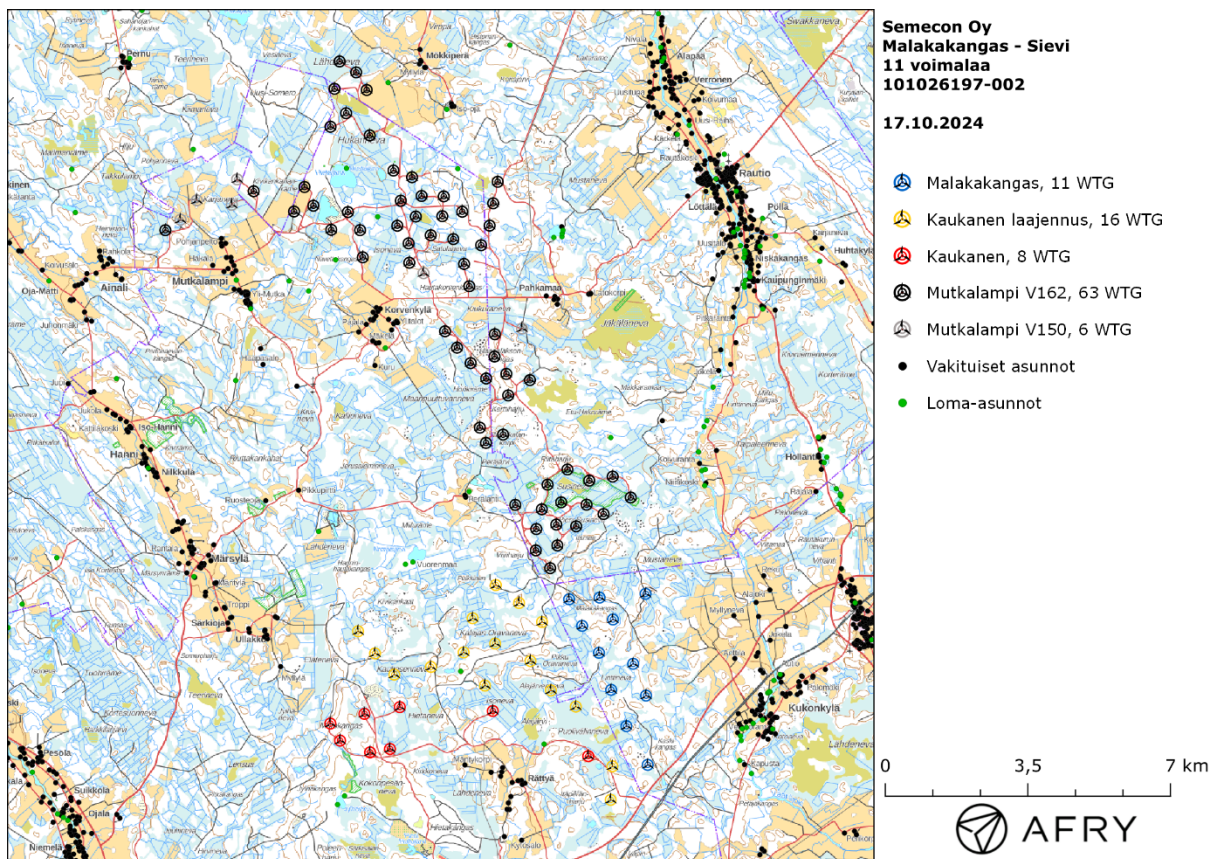
# 1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Malakakankaan tuulivoimapuiston sekä lähteisten toiminnassa ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutukset ovat suurimmat Malakakankaan suunnitelmalla VE1, joten riittää tarkastella välkkeen yhteisvaikutuksia pelkästään Malakakankaan 11 voimalan suunnitelmalla VE1.

Malakakankaan välittömässä läheisyydessä on kaksi toiminnassa olevaa tuulivoimapuistoa sekä suunnitteilla yksi tuulivoimapuisto, jotka huomioidaan selvityksen mallinnuksissa:

- Mutkalampi, 69 voimalaa (toiminnassa)
- Kaukanen, 8 voimalaa (toiminnassa)
- Kaukanen laajennus, 16 voimalaa (suunnitteilla)

Mutkalammin lähimmät voimalat sijaitsevat n. 900 metrin etäisyydellä, Kaukasen lähimmät voimalat n. 1,2 km etäisyydellä ja Kaukasen laajennukseen suunnitellut voimalat lähimmillään n. 850 metrin etäisyydellä Malakakankaan voimaloista. Kaukasen laajennuksen voimalat ovat vielä suunnitteilla, joten voimaloiden sijainnit voivat vielä muuttua kyseisen hankkeen edetessä. Tässä selvityksessä Kaukasen laajennukselle on käytetty 2.10.2024 saatua voimalasijoittelua. Kaikkien puistojen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).



**Kuva 1-1: Malakakankaan sekä läheisten tuulivoimapuistojen voimaloiden sijainnit.**

**Taulukko 1-1: Malakakankaan tuulivoimaloiden (11 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	360035	7097920	85
T2	360353	7097266	84
T3	360766	7096606	84
T4	361067	7095697	89
T5	361440	7094807	89
T6	361964	7093856	90
T7	360782	7097961	76
T8	361110	7097424	76
T9	361607	7096337	89
T10	361923	7095557	81
T12	361911	7098053	77

**Taulukko 1-2: Kaukasen tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
K1	354172	7094870	82
K2	355009	7095107	102
K3	355877	7095274	106
K4	354412	7094451	96
K5	355148	7094164	107
K6	355636	7094247	107
K7	358161	7095179	90
K8	360505	7094071	97

**Taulukko 1-3: Kaukasen laajennuksen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
KL1	354853	7097134	80
KL2	355269	7096591	92
KL3	355742	7096071	94
KL4	356641	7096260	103
KL5	357445	7096615	92
KL6	357666	7097454	85
KL7	358235	7098268	91
KL8	358805	7097829	89
KL9	358219	7096833	86
KL10	357968	7095802	89
KL11	359085	7096404	86

KL12	359369	7097362	85
KL13	359588	7095684	85
KL14	360198	7095286	85
KL15	361096	7093821	88
KL16	361055	7092999	91

**Taulukko 1-4: Mutkalammin tuulivoimaloiden (69 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	359072	7103298	76
M2	359993	7101103	76
M3	358202	7103875	79
M4	358493	7103449	81
M5	358539	7102922	75
M6	358413	7101960	70
M7	358281	7108163	61
M8	358170	7107635	61
M9	358082	7107087	68
M10	358877	7104562	69
M11	358211	7104423	78
M12	359506	7100732	73
M13	360529	7100831	81
M14	359839	7100299	75
M15	360463	7100241	77
M16	360207	7099710	75
M17	359720	7099752	77
M18	359364	7100127	75
M19	359228	7099643	75
M20	359217	7099119	80
M21	359569	7098683	83
M22	359746	7099241	81
M23	361104	7100930	78
M24	361547	7100416	72
M25	360880	7100011	77
M26	358713	7100236	70
M27	352290	7107930	49
M28	351884	7108222	48
M29	351753	7107598	44
M30	350894	7107708	43
M31	350494	7107232	40
M32	356178	7108274	58
M33	357410	7107428	67

M34	356413	7107814	59
M35	356956	7107805	64
M36	356921	7107319	62
M37	356270	7107310	59
M38	350122	7106975	40
M39	356637	7106853	63
M40	356094	7106652	61
M41	357874	7106607	65
M42	357191	7106757	62
M43	357455	7106147	65
M44	357583	7105600	72
M45	356111	7106177	60
M46	356460	7105920	66
M47	356988	7104494	69
M48	357283	7104093	70
M49	357616	7103714	69
M50	357998	7103337	67
M51	357843	7102130	74
M52	357993	7101756	69
M53	354195	7106985	55
M54	354902	7106976	56
M55	354968	7106309	57
M56	354400	7111115	45
M57	354806	7110847	50
M58	355065	7110416	53
M59	354275	7110444	49
M60	354560	7109846	55
M61	354176	7109514	51
M62	355140	7109301	52
M63	355721	7108438	58
M64	355902	7107698	61
M65	353538	7108035	52
M66	354605	7107420	49
M67	353757	7107576	51
M68	353280	7107433	51
M69	355816	7107084	59



## 2 TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE

### 2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolelle (aamu- ja ilta-ajat). 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 kohdisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen välkelaskenta 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 Malakankaan hankealueeseen on noin 140 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 YHTEISVAIKUTUSTEN 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 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, 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 vakioleveyinen: 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 Malakakankaan voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 172 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 172 metrin roottorin halkaisijaa.

Kaukasen laajennuksen voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Siemens Gamesa SG170 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 200 metrin roottorin halkaisijaa.

Kaukasen voimaloille ja osalle Mutkalammin voimaloista on käytetty roottorin halkaisijaa 162 m ja voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa. V150 tuulivoimalatyypillä oleville Mutkalammin voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 150 m ja Vestas V150 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa. Taulukossa (Taulukko 3-1) on esitetty mallinnuksessa käytetyt voimatiedot. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

**Taulukko 3-1: Mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytetyt voimalamitat.**

Tuulivoimapuisto	Voimaloiden lukumäärä	Napakorkeus	Roottorin halkaisija	Kokonaiskorkeus
Malakakangas	12	214 m	172 m	300 m
Kaukanen laajennus	16	200 m	200 m	300 m
Mutkalampi	6	145 m	150 m	220 m
Mutkalampi	63	139 m	162 m	220 m
Kaukanen	8	149 m	162 m	230 m

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 suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisdella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa 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 3-2).

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

**Taulukko 3-2: 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	0,170	0,192	0,177	0,125	0,117	0,144

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

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479

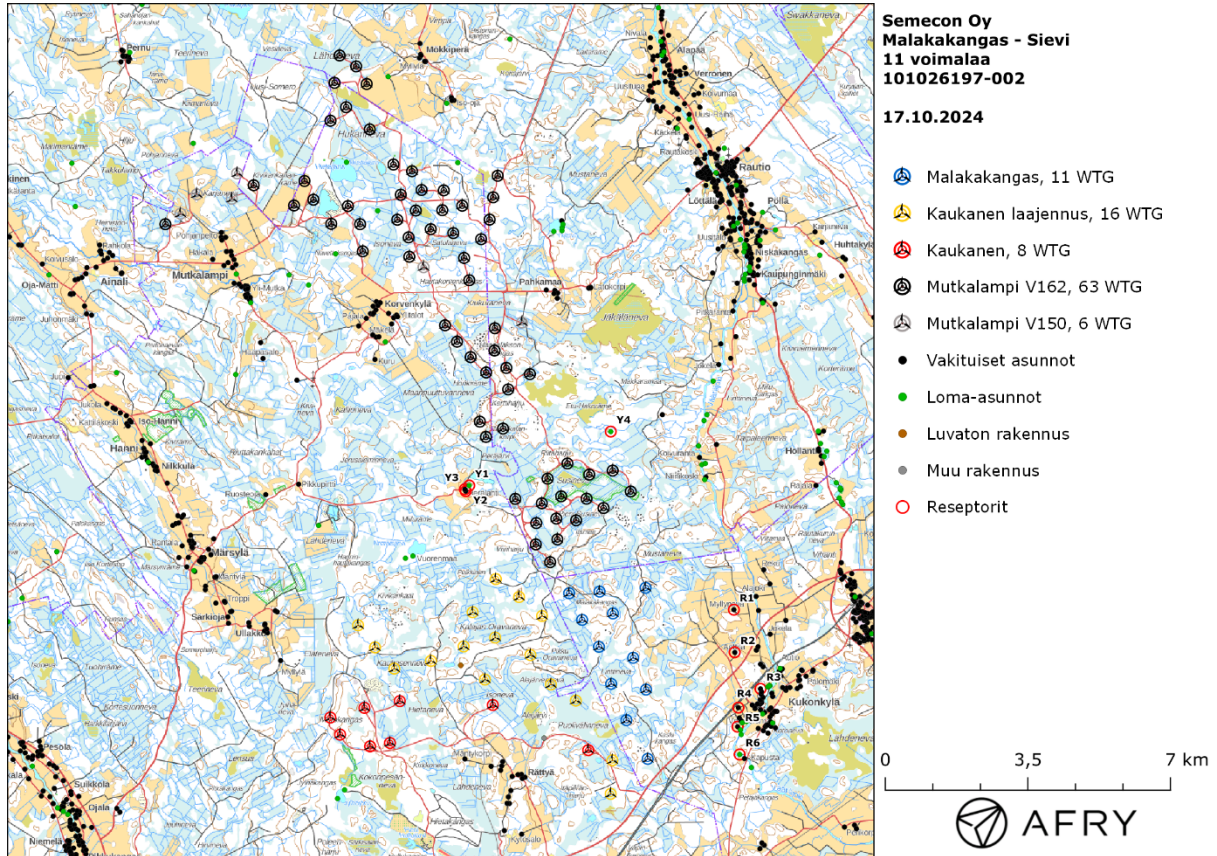
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 3-4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kymmenen 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 2,2-4,0 km etäisyydellä voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan Malakakankaan hankealueen länsipuolella noin 3,4 km etäisyydellä voimalasta T3 sijaitsee loma-asunto. Kannuksen kaupungilta saadun tiedon mukaan kyseinen rakennus ei ole rekisterissä, minkä vuoksi se käsitellään selvityksessä luvattomana rakennuksena eikä sitä huomioida tämän selvityksen välketarkasteluissa. Rakennus on merkitty karttoihin ruskealla. Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan noin 2 km länteen Malakakankaan voimalasta T5 sijaitsee loma-asunto. Hankekehittäjältä tulleen tiedon mukaan kyseisen loma-asunnon käyttötarkoitus on muutettu vuonna 2024 muuksi rakennukseksi, minkä vuoksi sitä ei huomioida tämän selvityksen välketarkasteluissa. Kyseinen rakennus on merkitty karttoihin harmaalla. Välkkeen ohjearovot koskevat ainoastaan loma- ja asuinrakennuksia.

**Taulukko 3-4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	364080	7097513	69	vakituinen asunto
R2	364100	7096469	73	vakituinen asunto
R3	364734	7095572	79	vakituinen asunto
R4	364191	7095111	75	vakituinen asunto
R5	364169	7094643	76	vakituinen asunto
R6	364223	7093961	75	loma-asunto
Y1	357583	7100560	71	loma-asunto
Y2	357498	7100421	75	vakituinen asunto
Y3	357477	7100469	73	vakituinen asunto
Y4	361058	7101884	79	loma-asunto



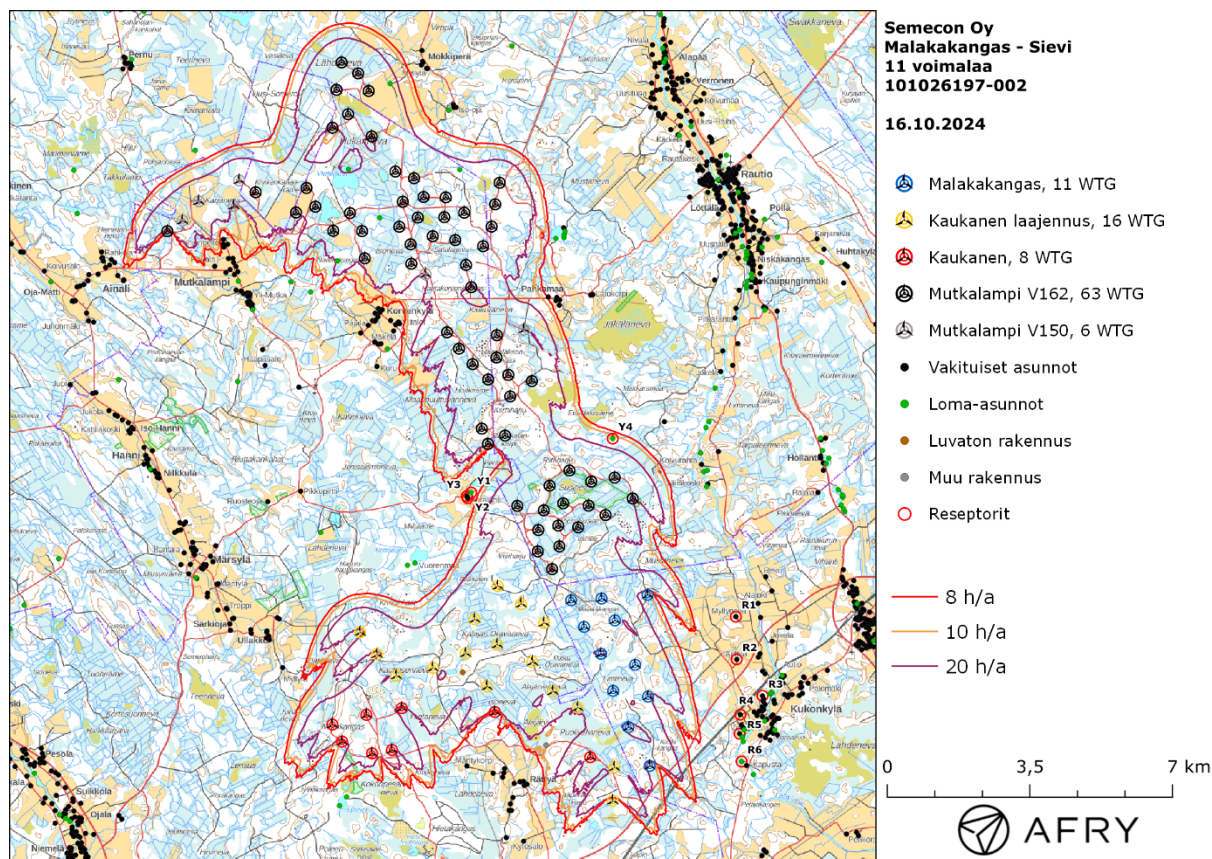
**Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat suhteessa tuulivoimapaistoihin.**

### 3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (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 ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon reseptorin Y4 kohdalla. Vaikutukset aiheutuvat kuitenkin pelkästään Mutkalammin voimaloista, eikä Malakakankaan voimaloista aiheudu välkevaikutuksia kyseiseen reseptoriin. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdilla välkeajat jäävät alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen. Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-5).

Mallinnusten perusteella Malakakankaan, Mutkalammin, Kaukasen ja Kaukasen laajennuksen tuulivoimaloista ei aiheudu merkittäviä välkkeen yhteisvaikutuksia ympäröivään asutukseen eikä yhteisvaikutuksista aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä. Malakakankaan voimaloista aiheutuu suurimmat välkevaikutukset reseptoriin R5. Taulukossa (Taulukko 3-6) on esitetty välkkeen tarkempi ajoittuminen kyseisen reseptorin kohdalla. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



**Kuva 3-2: Malakakankaan, Mutkalammin, Kaukasen sekä Kaukasen laajennuksen tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.**

**Taulukko 3-5: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdalla.**

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:20	0:02
R2	0:20	0:02
R3	0:00	0:00
R4	0:16	0:02
R5	0:26	0:02
R6	0:15	0:02
Y1	5:05	0:09
Y2	4:26	0:08
Y3	4:07	0:08
Y4	11:23	0:15

**Taulukko 3-6: 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	0:07	0:00	0:00	0:00	0:07
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:00	0:00	0:07
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	0:07	0:00	0:00	0:07
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	0:04	0:00	0:00	0:00	0:04
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
<b>Yhteensä</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:12</b>	<b>0:14</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:26</b>



### 3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon reseptorin Y4 kohdalla. Malakakankaan voimaloille ei ole vaikutusta kyseiseen reseptoriin, vaan vaikutukset aiheutuvat pelkästään Mutkalammin voimaloista. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin päiväkohtaisen raja-arvon neljän reseptoripisteen kohdilla. Malakakankaan voimat eivät kuitenkaan aiheuta vaikutuksia näihin reseptoreihin, vaan vaikutukset aiheutuvat pelkästään naapuripuistojen voimaloista.

Koska Malakakankaan voimat eivät aiheuta teoreettista välkettä pisteisiin Y1-Y4, on teoreettisen välkkeen tarkempi ajoittuminen esitetty reseptorin R5 kohdalla taulukossa (Taulukko 3-8). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

**Taulukko 3-7: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.**

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	1:26	0:09
R2	1:39	0:08
R3	0:00	0:00
R4	1:09	0:08
R5	2:00	0:08
R6	1:12	0:09
Y1	26:52	0:41
Y2	23:31	0:37
Y3	21:55	0:36
Y4	75:26	1:04

**Taulukko 3-8: 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	0:30	0:00	0:00	0:00	0:30
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30	0:00	0:00	0:30
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	0:30	0:00	0:00	0:30
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:02
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:28	0:00	0:00	0:00	0:28
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	1:00	1:00	0:00	0:00	2:00

## 4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Sievin kunnan alueelle suunnitellun Malakakankaan tuulivoimapuiston sekä läheisten toiminnassa ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Malakakankaan lisäksi kaksi toiminnassa olevaa naapuripuistoa Mutkalampi ja Kaukanen sekä suunnitteilla oleva Kaukanen laajennus.

Yhteisvaikutusmallinnuksen perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon yhden reseptoripisteen kohdilla. Malakakankaan voimat eivät kuitenkaan aiheuta vaikutuksia kyseiseen reseptoripisteeseen, vaan vaikutukset aiheutuvat pelkästään naapuripuisto Mutkalammin voimaloista. Todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Saksan 30 tunnin raja-arvo vuotuiselle teoreettiselle maksimivälkkeelle ylittyy yhden reseptorin kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon neljän reseptoripisteen kohdalla. Malakakankaan voimat eivät aiheuta välkevaikutuksia edellä mainittuihin reseptoripisteisiin, vaan vaikutukset aiheutuvat pelkästään naapuripuistojen voimaloista.

Mallinnusten perusteella Malakakankaan voimat eivät aiheuta merkittäviä välkkeen yhteisvaikutuksia ympäröivään asutukseen Mutkalammin, Kaukasen eikä Kaukasen laajennuksen kanssa.

## 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 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.

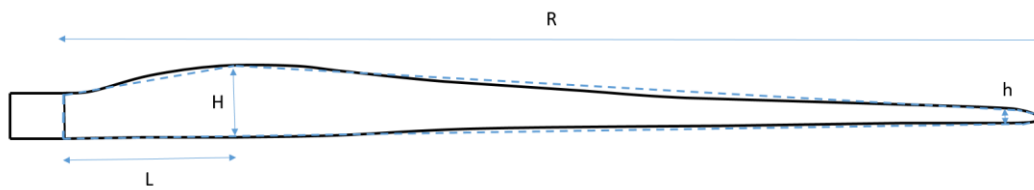
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 5-1) 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 väkelaskennassa 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 väkelaskennassa 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 kustnära 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.