



Semecon Oy

Vasama II ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten väikeselvitys

101026197-001, 12.09.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Semecon Oy
Olli Malkamäki

Päivämäärä
12/09/2024

Projektinumero
101026197-001

Raportin tila
VALMIS

Vasama II ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten välkesselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	28.06.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	28.06.2024/ Pinja Tikka, Technical Consultant	Alkuperäinen
001	12.09.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	12.09.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Vasama II:n suunnitelmasta poistettu voimala T1

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

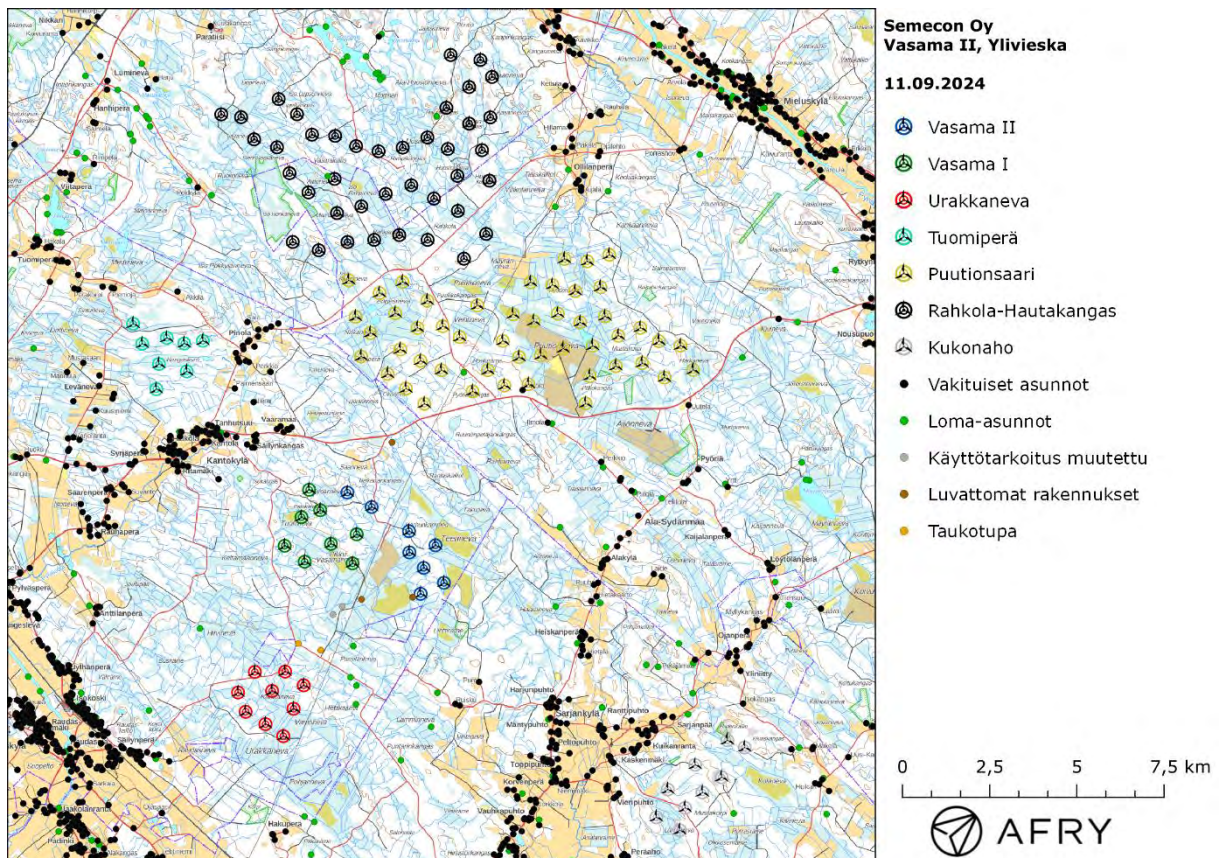
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	8
2.1	Välkevaikutus	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjeavot	9
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	10
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	14
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	16
4	Yhteenveto	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	18
6	Viitteet	20

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Ylivieskan kaupungin alueelle suunnitellun Vasama II tuulivoimapuiston sekä läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia laskennallisten mallien avulla. Vasama II tuulivoimapuistoon on suunnitteilla kahdeksan voimalaa. Vasama II tuulivoimapuiston läheisyydessä on kuusi tuulivoimapuistoa, jotka huomioidaan selvityksen mallinnuksissa:

- Vasama I, 8 voimalaa
- Urakkaneva, 9 voimalaa
- Tuomiperä, 8 voimalaa
- Puutionsaari, 49 voimalaa
- Rahkola-Hautakangas, 40 voimalaa
- Kukonaho, 9 voimalaa

Vasama I tuulivoimapuisto on Vasaman hankkeen ensimmäinen osa-alue ja Vasama II toinen osa-alue. Vasaman eri osa-alueiden voimat sijaitsevat lähimmillään 900 metrin etäisyydellä toisistaan. Muiden naapuripuistojen voimaloiden etäisyydet Vasama II:n voimaloihin ovat: Puutionsaari n. 3,3 km, Urakkaneva n. 4,2 km, Tuomiperä n. 5,7 km, Rahkola-Hautakangas n. 7,5 km ja Kukonaho n. 8,7 km. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa 1 ja koordinaatit annettu taulukoissa 1-7.



Kuva 1: Vasama II sekä läheisten tuulivoimapuistojen voimaloiden sijainnit.

Taulukko 1: Vasama II tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T2	401637	7103661	108
T3	400968	7103344	104
T4	399564	7105835	106
T5	400647	7104532	103
T6	400636	7105142	106
T7	401395	7104737	106
T8	401057	7104087	103
T9	398868	7106249	102

Taulukko 2: Vasama I tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
V09	399017	7104219	100
V10	397644	7104266	99
V11	398397	7104778	100
V12	397070	7104723	99
V14	398090	7105743	100
V15	397552	7105543	100
V16	399135	7105052	103
V18	397770	7106329	99

Taulukko 3: Urakkanevan tuulivoimaloiden (9 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
U1	396215	7101106	94
U2	397084	7101115	95
U3	397615	7100722	98
U4	396710	7100559	96
U5	397325	7100050	96
U6	395735	7100516	94
U7	395951	7099963	95
U8	396518	7099610	96
U9	397030	7099264	96

Taulukko 4: Tuomiperän tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TP1	392725	7111087	82
TP2	392985	7110516	84
TP3	393465	7109933	84
TP4	393390	7109214	84
TP5	394261	7109723	88
TP6	393691	7110683	85
TP7	394190	7110524	89
TP8	394725	7110600	90

Taulukko 5: Puutionsaaren tuulivoimaloiden (49 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]	Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
P1	398908	7112332	92	P26	404210	7111160	106
P2	399103	7111287	95	P27	404748	7112199	106
P3	399790	7111967	97	P28	405093	7112944	101
P4	399264	7110149	96	P29	404064	7109355	110
P5	399528	7110822	96	P30	404416	7110183	105
P6	400240	7111388	96	P31	404904	7111380	105
P7	400450	7112290	96	P32	405401	7112023	102
P8	400024	7109648	100	P33	405747	7112878	100
P9	400386	7110351	99	P34	405056	7110378	104
P10	400878	7110968	98	P35	405545	7111129	104
P11	401161	7111748	99	P36	406124	7112136	103
P12	400550	7109228	102	P37	406379	7113064	106
P13	400967	7110026	102	P38	405698	7108804	111
P14	401603	7111018	105	P39	405817	7109588	107
P15	401075	7108794	107	P40	405898	7110453	105
P16	401564	7109757	104	P41	406256	7111300	104
P17	402089	7110703	107	P42	406567	7109874	106
P18	402594	7111615	107	P43	406639	7110744	106
P19	402458	7109150	113	P44	407320	7109959	109
P20	402896	7109754	109	P45	407270	7110972	113
P21	403323	7110596	109	P46	407960	7109544	113
P22	403620	7111358	106	P47	407802	7110590	116
P23	404122	7112277	104	P48	408421	7110461	119
P24	403371	7109318	116	P49	408782	7109763	117
P25	403790	7110131	108				

Taulukko 6: Rahkola-Hautakankaan tuulivoimaloiden (40 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]	Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
RH1	397210	7115407	88	RH21	402361	7116827	105
RH2	397752	7114855	87	RH22	402359	7117877	100
RH3	398502	7115243	94	RH23	403016	7118165	97
RH4	398571	7114263	90	RH24	402683	7118652	96
RH5	398871	7113431	90	RH25	401829	7118796	96
RH6	399638	7113495	95	RH26	401707	7117282	100
RH7	399270	7114455	97	RH27	401163	7116432	100
RH8	400356	7113633	100	RH28	400454	7116139	99
RH9	401168	7113495	105	RH29	399763	7116034	97
RH10	402212	7112954	108	RH30	399118	7116182	97
RH11	402849	7113665	106	RH31	398518	7116475	95
RH12	402038	7114325	107	RH32	397855	7116511	91
RH13	402942	7115192	108	RH33	396850	7116148	85
RH14	402024	7115331	104	RH34	396194	7116377	83
RH15	401350	7114678	105	RH35	395252	7117092	87
RH16	399968	7114813	99	RH36	395821	7117013	83
RH17	400702	7115060	104	RH37	396897	7117532	90
RH18	401749	7116100	104	RH38	397423	7117096	92
RH19	402728	7116065	110	RH39	398048	7113196	91
RH20	402969	7117006	104	RH40	397302	7113434	87

Taulukko 7: Kukonahon tuulivoimaloiden (9 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
K1	409764	7099146	120
K2	410261	7098938	122
K3	408842	7098441	115
K4	409598	7098085	121
K5	409051	7097651	117
K6	408055	7097734	110
K7	408553	7097208	116
K8	408400	7096566	109
K9	407727	7096938	109

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 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 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 Oulun sääasemalta, josta etäisyys Vasama II:n hankealueeseen on noin 100 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 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 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. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Väkelaskennassa Vasama II ja Vasama I voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 172 metrin roottorin halkaisijaa. Lavan levein kohta on 4,4 m.

Väkelaskennassa Urakkanevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 169 m ja roottorin halkaisijaa 162 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa, jonka levein kohta on 4,3 m.

Väkelaskennassa Tuomiperän voimaloille on käytetty napakorkeutta 145 m, roottorin halkaisijaa 190 m ja lapaprofiilia, jonka levein kohta on 4,4 m. Kukonahon voimaloille on käytetty napakorkeutta 122,5 m, roottorin halkaisijaa 175 m ja lapaprofiilia, jonka levein kohta on 4,2 m. Puutionsaaren ja Rahkola-Hautakankaan voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 158 m ja lapaprofiilia, jonka levein kohta on 4,0 m. Puutionsaaren voimaloiden napakorkeutena on käytetty 200 m. Rahkola-Hautakankaan Haapaveden puoleisille 13 voimalalle on käytetty napakorkeutta 221 m ja Oulaisen puoleisille 27 voimalalle on käytetty napakorkeutta 171 m. Kaikkien edellä mainittujen voimaloiden lapaprofiileja on arvioitu voimalavalmistajien ilmoittamien tietojen perusteella. Välkemallinnuksessa käytetyt voimalatiedot on koottu taulukkoon 8.

Taulukko 8: Mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytetyt voimalamitat.

Tuulivoimapuisto	Voimaloiden lukumäärä	Napakorkeus	Roottorin halkaisija	Kokonaiskorkeus
Vasama II	8 kpl	214 m	172 m	300 m
Vasama I	8 kpl	214 m	172 m	300 m
Urakkaneva	9 kpl	169 m	162 m	250 m
Tuomiperä	8 kpl	145 m	190 m	240 m
Puutionsaari	49 kpl	200 m	158 m	279 m
Rahkola-Hautakangas	13 kpl	221 m	158 m	300 m
Rahkola-Hautakangas	27 kpl	171 m	158 m	250 m
Kukonaho	9 kpl	122,5 m	175 m	210 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 ajallisella 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 9).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimi-paistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 10). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 9: 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	0,163	0,179	0,158	0,133	0,134	0,159

Taulukko 10: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

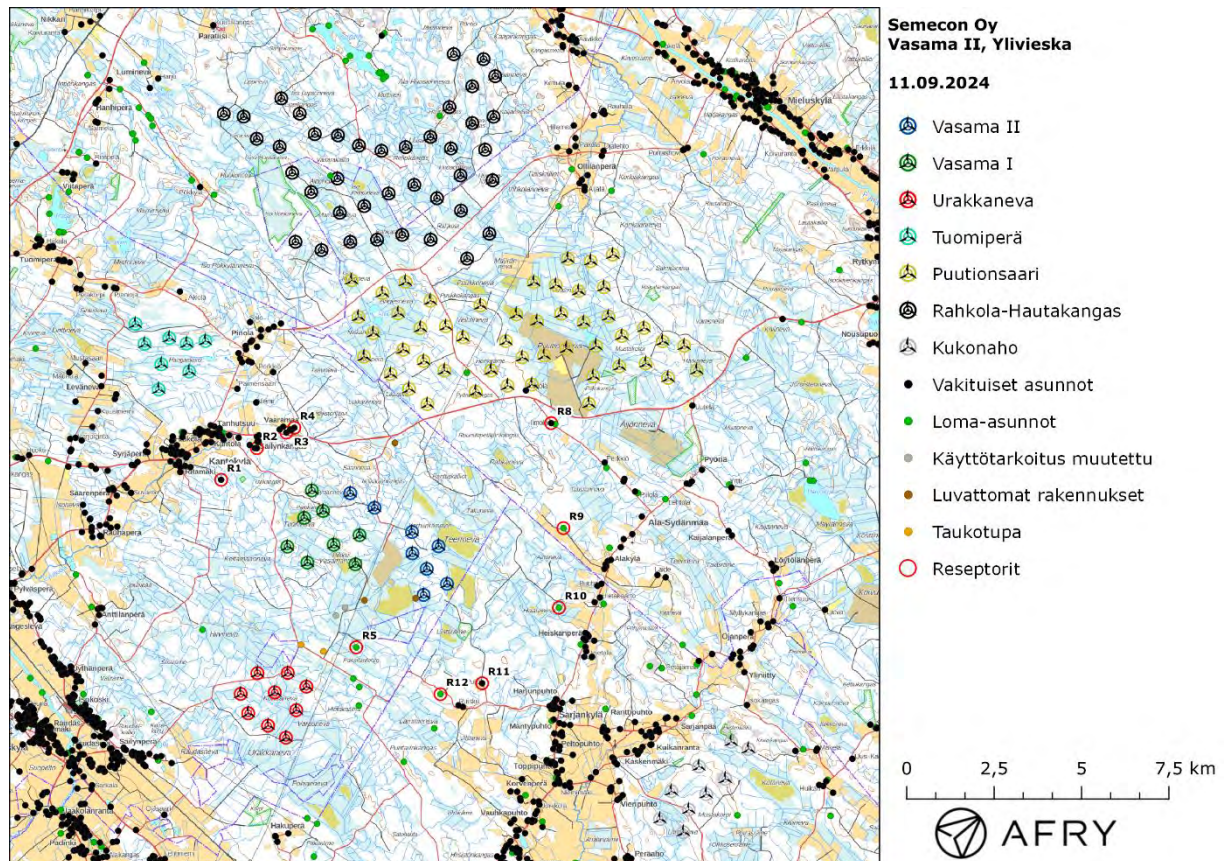
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 11) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kymmenen pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevat lähimmillään noin 2,4 km etäisyydellä voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineiston mukaan Vasama II hankealueen lounaspuolella sijaitsee kaksi lomarakennusta. Kyseisten rakennusten käyttötarkoitus on hankekehittäjältä tulleen tiedon mukaan muutettu muuksi rakennukseksi. Rakennusten sijainnit on merkitty karttakuviin harmaalla. MML:n maastotietokannan aineisto sisältää kolme lomarakennusta, jotka ovat hankekehittäjältä tulleen tiedon mukaan luvattomia. Luvattomat rakennukset on merkitty karttakuviin ruskealla. MML:n maastotietokannassa on lisäksi merkittynä loma- ja asuinrakennus kiinteistölle 977-405-11-132 sekä lomarakennus kiinteistölle 977-405-11-154. Nämä ovat hankekehittäjältä saadun tiedon mukaan todellisuudessa taukotupia tai kämppiä ja ne on merkitty karttakuviin keltaisella. Välkkeen ohjearvot koskevat pelkästään asuin- ja lomarakennuksia, minkä vuoksi edellä mainittuja rakennuksia ei huomioida tämän selvityksen välketarkasteluissa.

Taulukko 11: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	395179	7106629	87	vakituinen asuinrakennus
R2	396200	7107533	88	vakituinen asuinrakennus
R3	397044	7107977	88	vakituinen asuinrakennus
R4	397272	7108116	89	vakituinen asuinrakennus
R5	399043	7101843	101	lomarakennus
R8	404619	7108249	115	vakituinen asuinrakennus
R9	404970	7105250	113	lomarakennus
R10	404841	7102975	113	lomarakennus
R11	402645	7100816	114	vakituinen asuinrakennus
R12	401452	7100505	113	lomarakennus



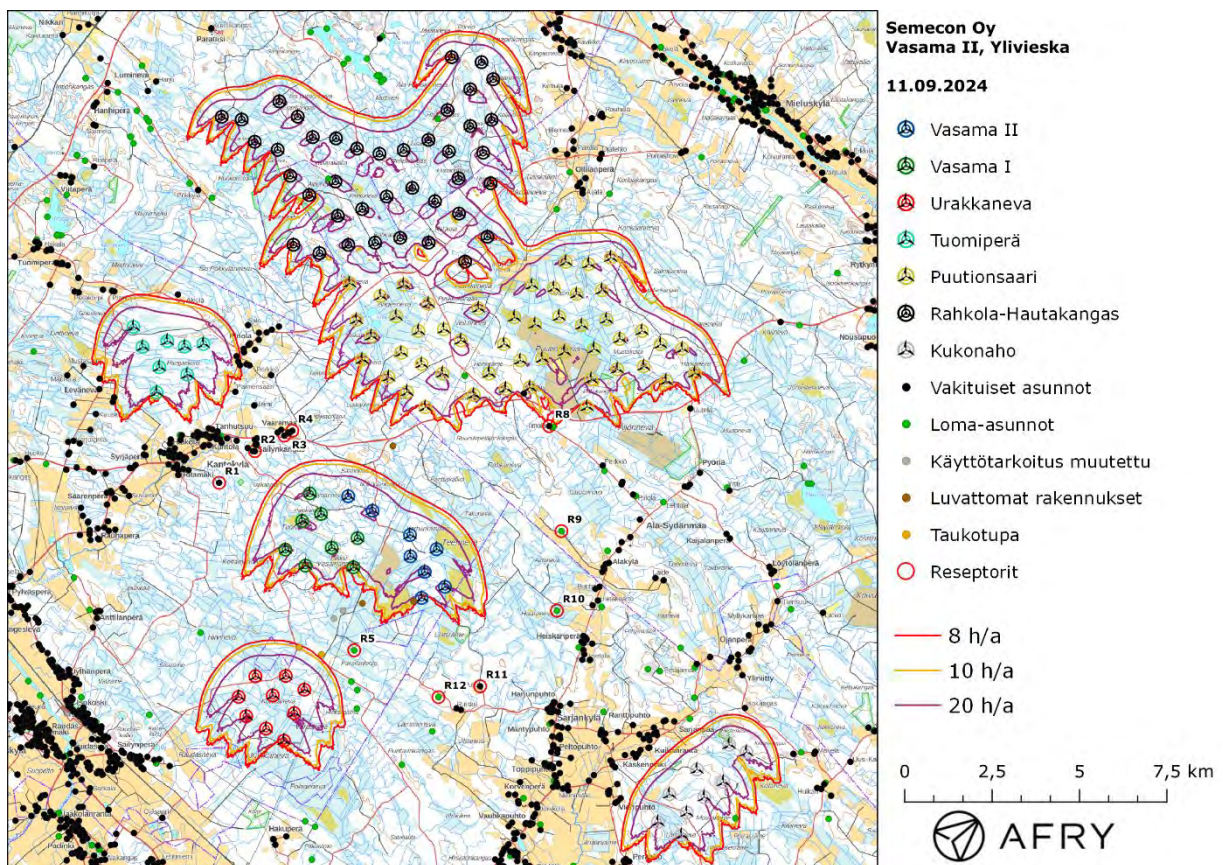
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

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. Tämän lisäksi karttaan on merkitty rakennukset, joiden käyttötarkoitus on muutettu (harmaa), luvattomat rakennukset (ruskea) sekä taukotuvat tai kämpät (keltainen). Tieto edellä mainituista rakennuksista on saatu hankekehittäjältä.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien reseptorien kohdilla. Myös päiväkohtaiset välkeajat pysyvät alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 12).

Välkkeen yhteisvaikutusmallinnuksen mukaan reseptoriin R8 kohdistuu suurimmat välkevaikutukset. Vaikutukset aiheutuvat kuitenkin pelkästään naapuripuistojen voimaloista, eikä Vasama II:n voimaloilla ole vaikutusta kyseisen reseptoripisteen välkeaikoihin. Vasama II:n voimalat aiheuttavat suurimmat välkevaikutukset reseptoriin R5, minkä vuoksi todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen esitetään taulukossa 13 reseptorin R5 kohdalla. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



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

Taulukko 12: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00
R2	0:32	0:02
R3	0:53	0:03
R4	0:40	0:02
R5	1:29	0:03
R8	7:26	0:09
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00

Taulukko 13: 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	0:13	0:10	0:00	0:00	0:00	0:23
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:11	0:00	0:00	0:00	0:11
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	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15
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	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15
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	0:00	0:15	0:07	0:00	0:00	0:00	0:22
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02
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	0:11	0:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30	0:29	0:00	0:00	0:00	1:29

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 14). Mallinnusten mukaan teoreettinen vuotuinen välkeaika jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon kaikkien reseptorien kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke jää alle Saksan 30 minuutin päiväkohtaisen raja-arvon.

Välkkeen yhteisvaikutusmallinnuksen mukaan reseptoriin R8 kohdistuu suurimmat välkevaikutukset. Vaikutukset aiheutuvat kuitenkin pelkästään naapuripuistojen voimaloista, eikä Vasama II:n voimaloilla ole vaikutusta reseptorin välkeaikoihin. Vasama II:n voimat aiheuttavat suurimmat vaikutukset reseptoriin R5, minkä vuoksi teoreettisen välkkeen tarkempi ajoittuminen esitetään taulukossa 15 reseptorin R5 kohdalla. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 14: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:00	0:00
R2	3:41	0:13
R3	7:33	0:18
R4	5:55	0:15
R5	8:06	0:14
R8	28:07	0:34
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00
R12	0:00	0:00

Taulukko 15: 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	1:17	0:59	0:00	0:00	0:00	2:16
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52	0:00	0:00	0:00	0:52
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	0:38	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55
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	0:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:55
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	0:00	1:54	0:52	0:00	0:00	0:00	2:46
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23
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	0:38	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	3:33	2:43	0:00	0:00	0:00	8:06

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Ylivieskan kaupungin alueelle suunnitellun Vasama II tuulivoimapuiston sekä läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen ympäristölleen aiheuttaman välkkeen yhteisvaikutusten laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Vasama II tuulivoimapuiston lisäksi kuusi naapuripuistoa: Vasama I, Urakkaneva, Tuomiperä, Puutionsaari, Rahkola-Hautakangas sekä Kukonaho.

Yhteisvaikutusten välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimi alittaa Saksan 30 minuutin päiväkohtaisen raja-arvon.

Vasama II:n ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutukset ovat vähäisiä. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.

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 roottorikehän 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.

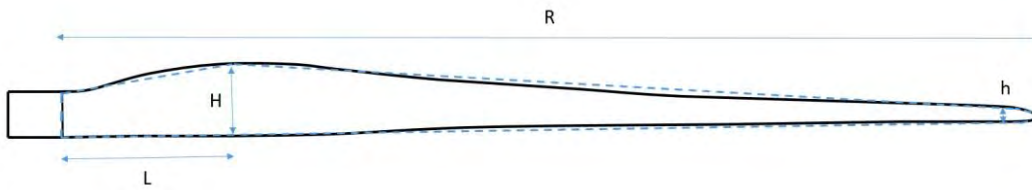
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 4) 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 4: 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. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.