

Ilmatar Lylyharju Oy

Lylyharjun Kihniön tuulivoimahanke

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

9.9.2026

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 101034005-009.

Kannen kuva:© AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Ilmatar Lylyharju Oy

Marko Penttilä

marko.penttila@ilmatar.com

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Erkki Heikkola

erkki.heikkola@afry.com

Renewables and Energy Storage Finland Development

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101034005-009

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
000	12.8.2025/ Helmi Uusitalo, Technical consultant	12.8.2025/ Erkki Heikkola, Senior consultant	
001	18.11.2025/ Helmi Uusitalo, Technical consultant	18.11.2025/ Erkki Heikkola, Senior consultant	Roottorin halkaisijan ja napa-korkeuden muutos, uusi voima-lasuunnitelma (projektitunnus 101021368-021)
002	09.09.2026/ Erkki Heikkola, Senior consultant	09.09.2026/ Mika Laitinen, Senior consultant	Voimalasijoittelu muuttunut

Copyright © AFRY Finland Oy

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5

2 TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE 7
2.1 Välkevaikutus 7
2.2 Välkkeen rajoittaminen 7
2.3 Arvioinnin epävarmuudet 7
2.4 Ohjearvot 8

3 TUULIVOIMAKOHTEEN VÄLKEMALLINNUS 9
3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto 9
3.2 Todennäköinen välkevaikutus 12
3.3 Teoreettinen välkevaikutus 14
3.4 Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan yhteisvaikutus 15

4 YHTEENVETO 17

5 VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ 18

6 VIITTEET 20

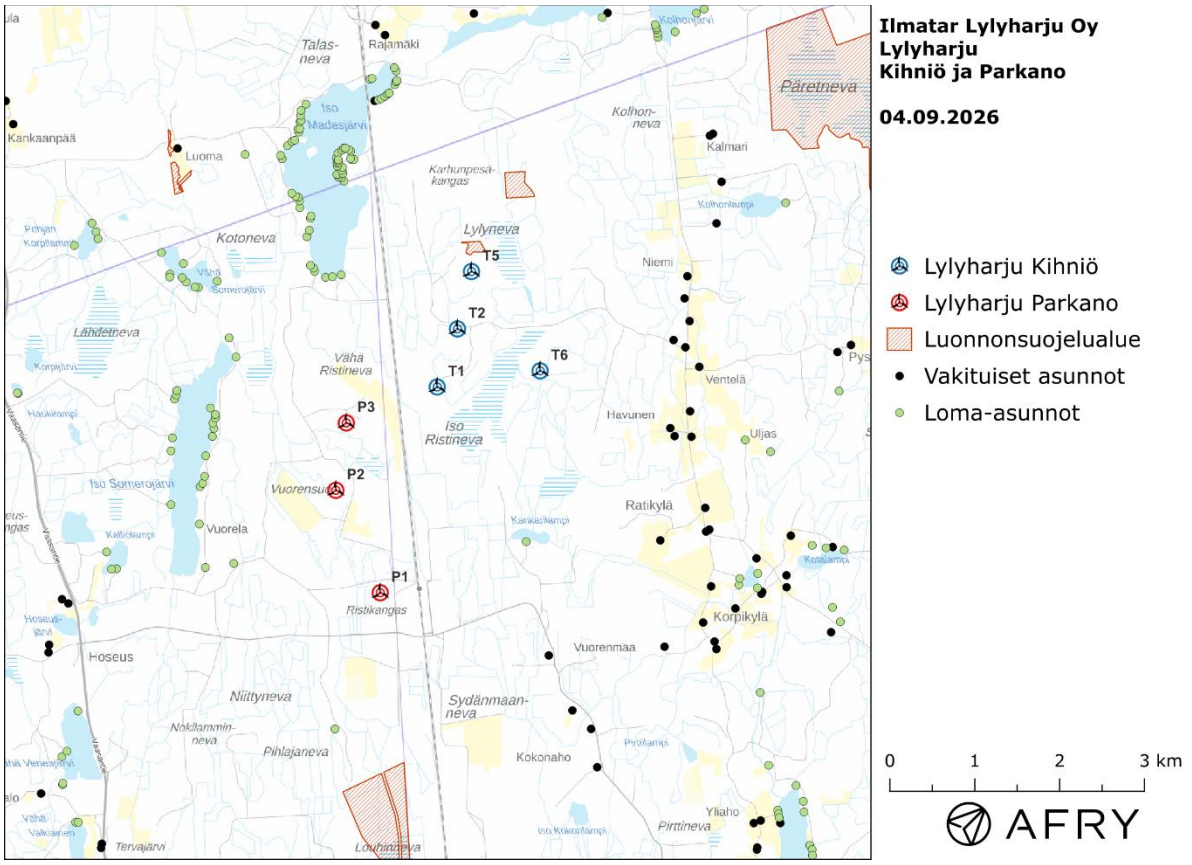
Copyright © AFRY Finland Oy

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Kihniön kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 4 voimalan suunnitelmalle. Tarkastelussa on huomioitu myös Lylyharjun Parkanon voimalat. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 195 m ja roottorin halkaisijaa 190 m. Näin suuren roottorin voimaloita ei ole vielä tarjolla maatuulivoimapuistoihin ja mallinnuksissa arvioidaan nykyistä suurempien tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutuksia. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välkeaikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyypin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen. Koska tulevaisuuden voimaloiden lapojen leveydestä ei ole vielä tarkkaa tietoa, välkemallinnuksissa voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V172 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 95 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,5 m (V172:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Voimalatyypin V172 lapa on muodoltaan leveä ja tällä pyritään turvalliseen arvioon, joka ei aliarvioi tulevaisuuden voimaloiden välkevaikutusta.

Selvityksessä arvioidaan myös Lylyharjun sekä lähelle suunniteltujen Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Lylyharjun hankealueella.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 1-1: Kihniön ja Parkanon tuulivoimaloiden (7 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1 (Kihniö)	293072	6910280	165
T2 (Kihniö)	293311	6910964	163
T5 (Kihniö)	293476	6911640	163
T6 (Kihniö)	294285	6910470	159
P1 (Parkano)	292401	6907857	174
P2 (Parkano)	291878	6909063	168
P3 (Parkano)	292001	6909857	170

Copyright © AFRY Finland Oy

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 kestoon vaikuttavat tuulivoimalan 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 ilta-ajat). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimiväl kkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimiväl kkeen 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 välkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimiväl ke.

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 60 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.

Copyright © AFRY Finland Oy

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 välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja. 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 vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

Copyright © AFRY Finland Oy

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 tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästöllä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueen 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 2,0 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 Lylyharjun Kihniön voimaloille on käytetty napakorkeutta 195 m ja roottorin halkaisijaa 190 m, ja Lylyharjun Parkanon voimaloille napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V172 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 190 metrin ja 230 metrin roottorin halkaisijoita. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisyys 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 korkeammissa

Copyright © AFRY Finland Oy

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 pilvisyys 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 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä 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	0,185	0,186	0,166	0,114	0,124	0,152

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

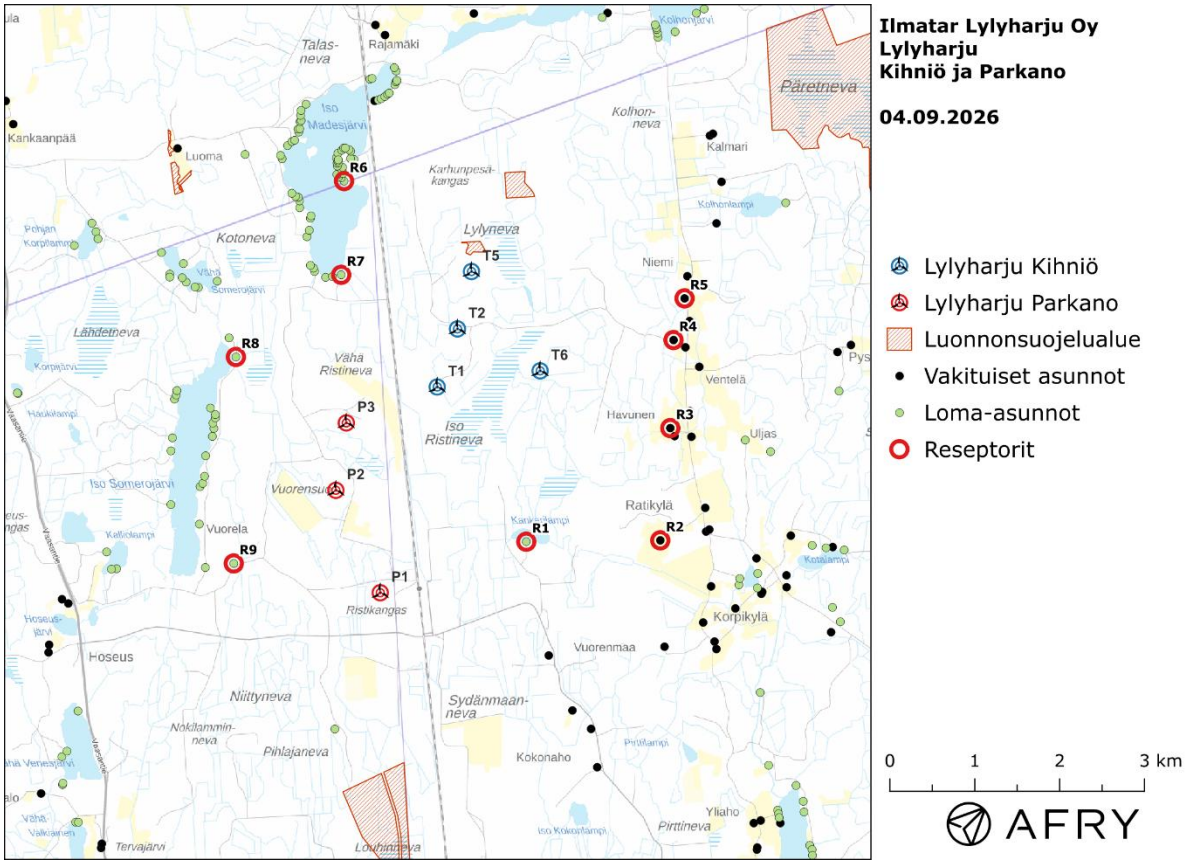
Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 9 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Kiinteistöt sijaitsevat noin 1,5–2,2 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueella tai sen läheisyydessä sijaitsee myös rakennus- ja huoneistotietorekisterin mukaisia muita kuin asuin- tai lomarakennuskäyttöön tarkoitettuja rakennuksia. Muita kuin asuin- tai lomarakennuksia ei ole otettu huomioon välkevaikutusten arvioinnissa.

Copyright © AFRY Finland Oy

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	294123	6908456	165	loma-asunto
R2	295702	6908472	143	vakituinen asuinrakennus
R3	295820	6909794	142	vakituinen asuinrakennus
R4	295858	6910831	145	vakituinen asuinrakennus
R5	295988	6911322	146	vakituinen asuinrakennus
R6	291976	6912703	146	loma-asunto
R7	291942	6911599	146	loma-asunto
R8	290701	6910632	152	loma-asunto
R9	290676	6908200	174	loma-asunto



Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Lylyharjun tuulivoimapuiston hankealueella.

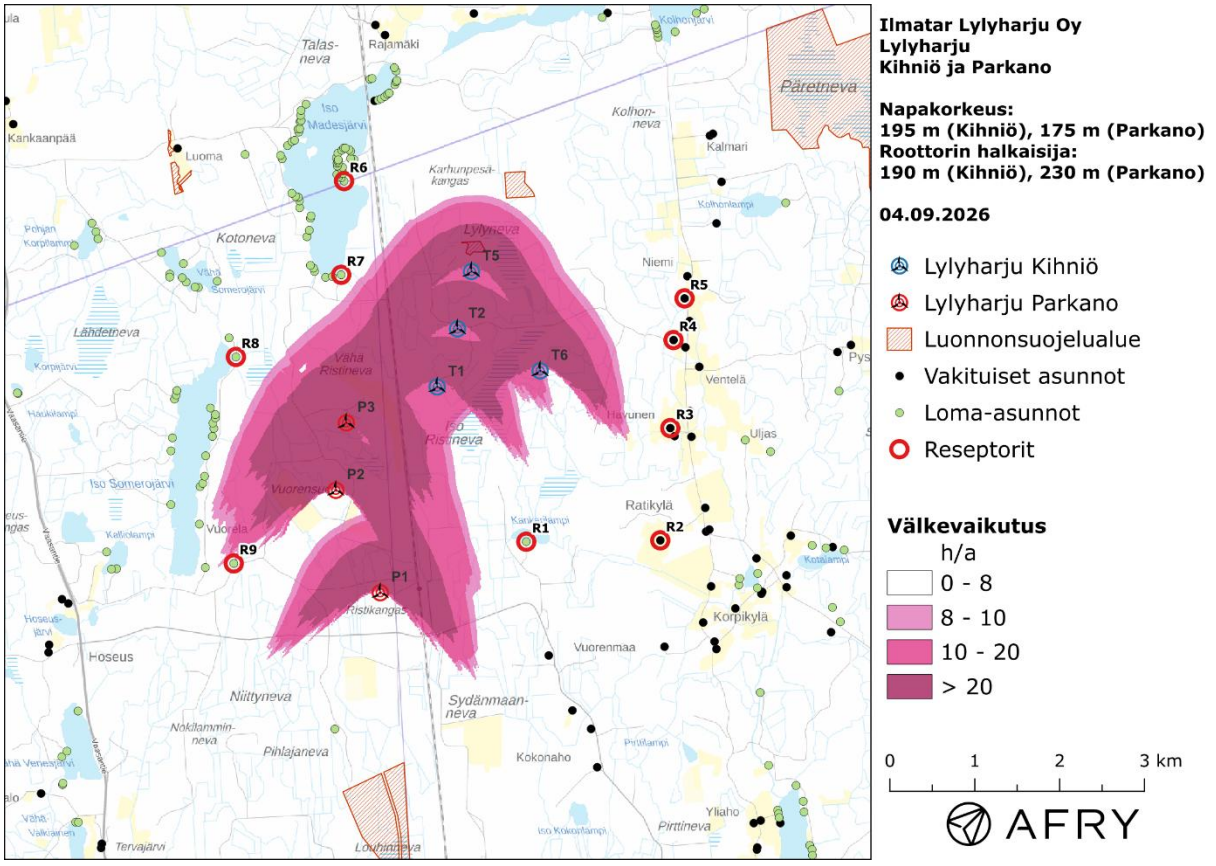
Copyright © AFRY Finland Oy

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 jää enintään Ruotsin 8 tunnin ohjearvoon 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 maksimiväl kkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R7 ja R9 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 3-5 ja Taulukko 3-6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



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

Copyright © AFRY Finland Oy

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	1:38	0:05
R2	0:00	0:00
R3	1:20	0:04
R4	1:04	0:04
R5	0:32	0:03
R6	0:57	0:03
R7	4:50	0:05
R8	2:38	0:06
R9	6:18	0:10

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R7 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	**0:14**	**0:26**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:40**
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:23**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:23**
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	**0:31**	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:40**
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	**0:45**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:45**
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	**0:45**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:45**
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	**0:35**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:35**
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:20**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:20**
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:25**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:25**
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:17**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:17**
Yhteensä	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**2:36**	**0:43**	**0:56**	**0:26**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**4:50**

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R9 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	**0:33**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:33**
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	**0:08**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:08**
Toukokuu	0:00	**0:14**	**0:13**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:27**
Kesäkuu	0:00	**0:55**	**1:52**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**2:47**
Heinäkuu	0:00	**0:10**	**1:38**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**1:47**
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	**0:36**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:36**
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**	**1:19**	**3:43**	**1:16**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**6:18**

Copyright © AFRY Finland Oy

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälkeaika jää Saksan raja-arvojen alapuolelle kaikkien reseptoreiden kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittyy hieman reseptorin R9 kohdalla. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R9 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-8). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Saksan ohjearvot teoreettiselle maksimivälkkeelle eivät sovellu hyvin Suomen olosuhteisiin, sillä Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa pimeimpään vuodenaikaan aurinko paistaa matalalta, mikä voi synnyttää paikoitellen suurta teoreettista maksimivälkettä, vaikka talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen. Toisinaan myös Suomen kesä- ja heinäkuun auringonnousut ja -laskut voivat aiheuttaa joinakin päivinä teoreettisesti suuria päiväkohtaisia välkeaikoja. Todennäköisyys sille, että juuri noina päivinä voimalat aiheuttavat välkettä on alhainen. Lisäksi auringonnousun ja -laskun aikaan paiste on hyvin viistoa, jolloin puusto voi vähentää välkevaikutusta merkittävästi. Näiden seikkojen vuoksi teoreettisen päiväkohtaisen maksimivälkeajan ylitystä ei voida pitää merkittävinä.

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	8:07	0:20
R2	0:00	0:00
R3	5:36	0:17
R4	4:53	0:18
R5	3:05	0:14
R6	5:41	0:15
R7	17:42	0:21
R8	15:30	0:29
R9	24:13	0:37

Taulukko 3-8: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R9 kohdalla.

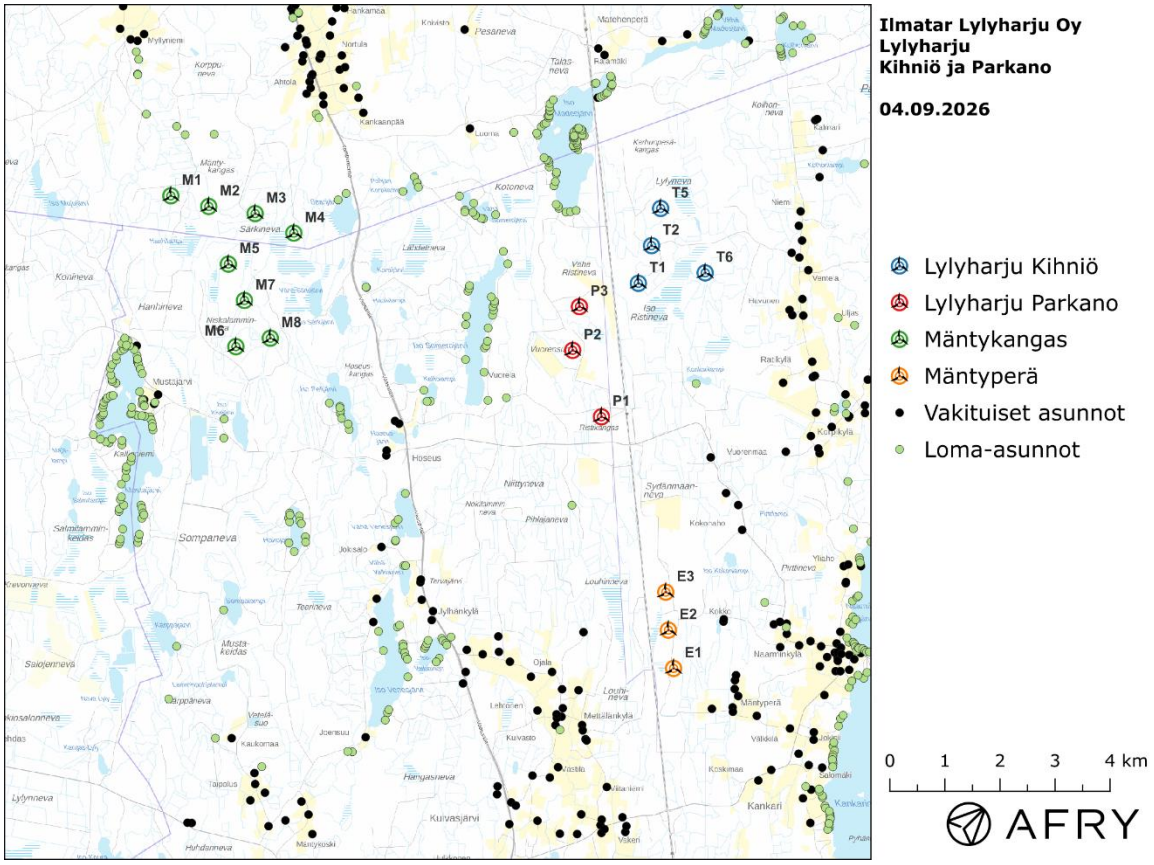
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:00**
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:00**
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	**2:26**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**2:26**
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	**0:36**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**0:36**
Toukokuu	0:00	**0:43**	**0:58**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**1:41**
Kesäkuu	0:00	**3:28**	**6:18**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**9:45**
Heinäkuu	0:00	**0:49**	**5:53**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**6:43**
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	**3:02**	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	**3:02**
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**	**5:00**	**13:09**	**6:04**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**0:00**	**24:13**

Copyright © AFRY Finland Oy

3.4 Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Lylyharjun ja lähelle suunniteltujen Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Mäntyperän tuulipuistoon on suunnitteilla kolme voimalaa, joista lähin on noin 3,4 kilometrin päässä Lylyharjun voimaloista. Mäntykankaan tuulipuistoon suunnitellaan kahdeksaa voimalaa, joista lähin on 5,3 kilometrin etäisyydellä Lylyharjun voimaloista. Mäntyperän ja Mäntykankaan voimaloiden sijainnit on esitetty kartalla kuvassa (Kuva 3-3) ja koordinaatteina taulukossa (Taulukko 3-9).

Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimapuistojen voimaloiden etäisyys Lylyharjun Kihniön voimaloiden kannalta olennaisista reseptoripisteistä on yli 3,5 km, joten yhteisvaikutuksia ei esiinny pitkän etäisyyden vuoksi. Tarkempia mallinnuksia ei näin ollen ole tarpeen tehdä.



Kuva 3-3: Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimaloiden sijainnit.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 3-9: Mäntyperän ja Mäntykankaan sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
E1 (Mäntyperä)	293711	6903288	161
E2 (Mäntyperä)	293617	6903983	150
E3 (Mäntyperä)	293569	6904673	153
M1 (Mäntykangas)	284578	6911869	151
M2 (Mäntykangas)	285267	6911675	160
M3 (Mäntykangas)	286110	6911546	154
M4 (Mäntykangas)	286812	6911192	156
M5 (Mäntykangas)	285623	6910629	157
M6 (Mäntykangas)	285760	6909130	158
M7 (Mäntykangas)	285915	6909969	156
M8 (Mäntykangas)	286385	6909284	154

Copyright © AFRY Finland Oy

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Kihniön kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty Kihniön 4 voimalan suunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 190 m ja napakorkeudella 195 m. Arvioinnissa huomioitiin myös Lylyharjun Parkanon voimalat, ja lisäksi arvioitiin yhteisvaikutuksia lähelle suunniteltujen Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimakohteiden kanssa.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää enintään Ruotsin 8 tunnin ohjearvoon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen maksimivälke jää Saksan 30 tunnin raja-arvon alapuolelle kaikkien reseptorien kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää 30 minuutin raja-arvon yhden reseptorin kohdalla.

Copyright © AFRY Finland Oy

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 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 suuntakohtaisilla 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.

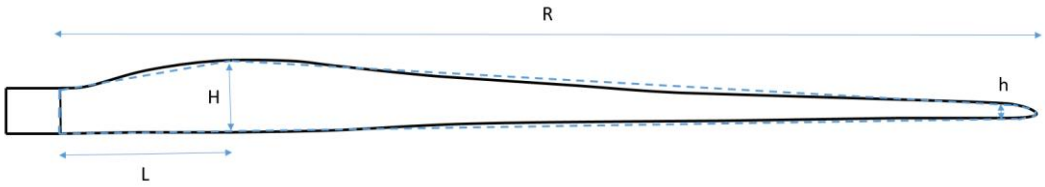
Kun lavan leveys on *w* metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

*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.

Copyright © AFRY Finland Oy



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa 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 välkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

Copyright © AFRY Finland Oy

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.

Copyright © AFRY Finland Oy