



# **Ilmatar Lylyharju Oy**

## Lylyharjun Kihniön tuulivoimahanke

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

10.12.2025

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 101021368-021.

Kannen kuva: © AFRY

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Ilmatieteen laitoksen avoimien aineistojen käyttö lupien 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**

Helmi Uusitalo

helmi.uusitalo@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

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

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101021368-021

Raporttiversio: 001

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

| Versio | Pvm/Laatija                                            | Pvm/Tarkastaja                                      | Merkinnät/Muutokset                                                              |
|--------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 000    | 12.8.2025/<br>Helmi Uusitalo,<br>Technical consultant  | 12.8.2025/<br>Erkki Heikkola,<br>Senior consultant  |                                                                                  |
| 001    | 18.11.2025/<br>Helmi Uusitalo,<br>Technical consultant | 18.11.2025/<br>Erkki Heikkola,<br>Senior consultant | Roottorin halkaisijan ja napa-<br>korkeuden muutos, uusi voima-<br>lasuunnitelma |

## SISÄLLYS

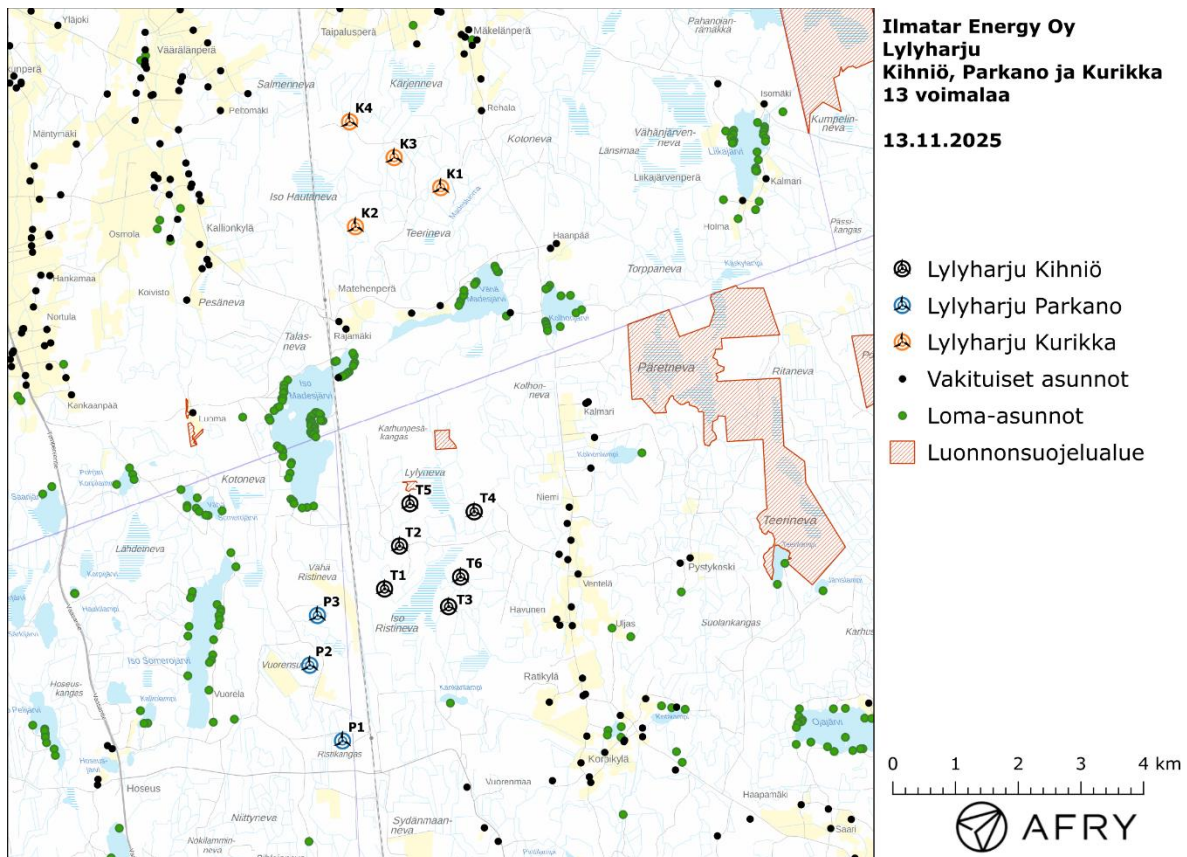
|     |                                                            |    |
|-----|------------------------------------------------------------|----|
| 1   | JOHDANTO .....                                             | 5  |
| 2   | TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE .....                               | 7  |
| 2.1 | 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.....                           | 12 |
| 3.3 | Teoreettinen välkevaikutus .....                           | 14 |
| 3.4 | Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan yhteisvaikutus..... | 15 |
| 4   | YHTEENVETO.....                                            | 17 |
| 5   | VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ .....                   | 18 |
| 6   | VIITTEET .....                                             | 20 |

# 1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Kihniön kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 6 voimalan suunnitelmalle. Tarkastelussa on huomioitu myös Lylyharjun Parkanon ja Kurikan 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.**

**Taulukko 1-1: Kihniön, Parkanon ja Kurikan tuulivoimaloiden (13 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                 |
| T3 (Kihniö)   | 294094 | 6909998 | 163                 |
| T4 (Kihniö)   | 294502 | 6911511 | 159                 |
| 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                 |
| K1 (Kurikka)  | 293968 | 6916680 | 143                 |
| K2 (Kurikka)  | 292607 | 6916057 | 148                 |
| K3 (Kurikka)  | 293225 | 6917160 | 144                 |
| K4 (Kurikka)  | 292514 | 6917731 | 133                 |

## 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 pilvisuus.

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 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.

## 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 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.

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

Väkelaskennassa Lylyharjun Kihniön voimaloille on käytetty napakorkeutta 195 m ja roottorin halkaisijaa 190 m, ja Lylyharjun Parkanon ja Kurikan 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 (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 väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisdella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa

tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 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 varjotusaikoja 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 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 | 0,185 | 0,186  | 0,166  | 0,114  | 0,124   | 0,152   |

**Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.**

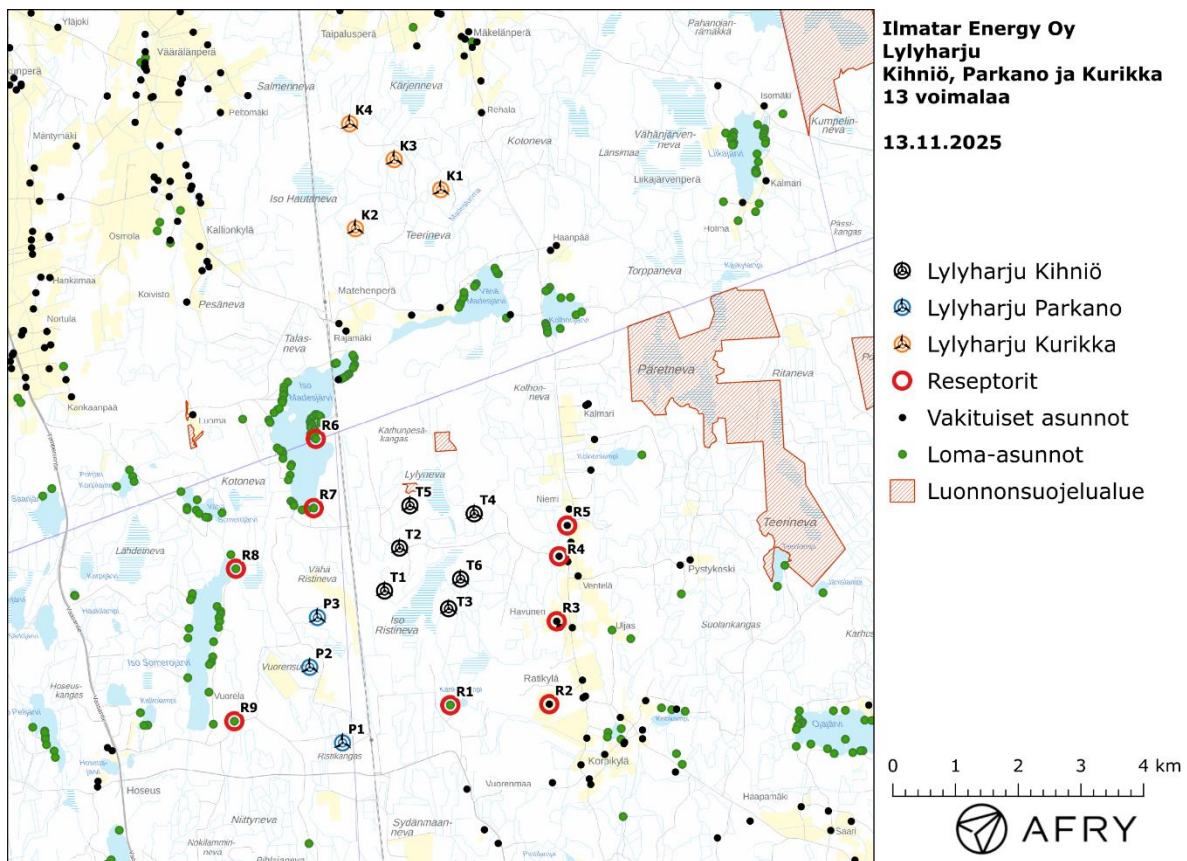
| Kuukausi  | Auringonpaisteen todennäköisyys |
|-----------|---------------------------------|
| Tammikuu  | 0,162                           |
| Helmikuu  | 0,291                           |
| Maaliskuu | 0,398                           |
| Huhtikuu  | 0,423                           |
| Toukokuu  | 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.

**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              |

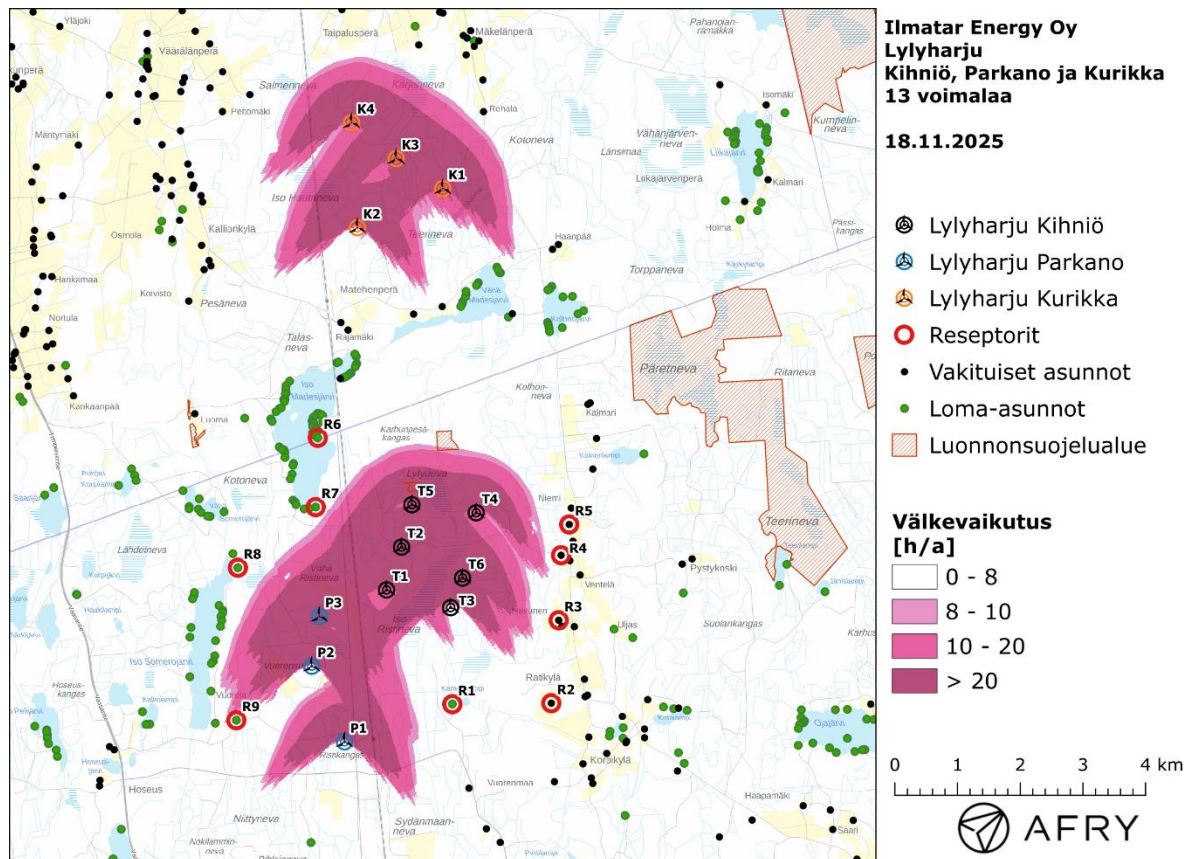

**Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Lylyharjun tuulivoimapuiston hankealueella.**

### 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 maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R9 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



**Kuva 3-2: 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        | 1:38                              | 0:05                                          |
| R2        | 1:15                              | 0:03                                          |
| R3        | 2:11                              | 0:04                                          |
| R4        | 3:39                              | 0:06                                          |
| R5        | 2:18                              | 0:05                                          |
| 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 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 |

### 3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälkeaja jää Saksan raja-arvojen alapuolelle kaikkien reseptoreiden kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaja ylittyy hieman reseptorin R9 kohdalla. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R9 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). 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 välkeajoja. Todennäköisyys sille, että juuri noina päivinä voimallat 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 merkittävänä.

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

| Reseptori | Teoreettinen vuotuinen välkeaja | Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| R1        | 8:07                            | 0:20                                         |
| R2        | 4:44                            | 0:12                                         |
| R3        | 9:33                            | 0:17                                         |
| R4        | 16:18                           | 0:22                                         |
| R5        | 11:30                           | 0:21                                         |
| R6        | 5:41                            | 0:15                                         |
| R7        | 17:42                           | 0:21                                         |
| R8        | 15:30                           | 0:29                                         |
| R9        | 24:13                           | 0:37                                         |

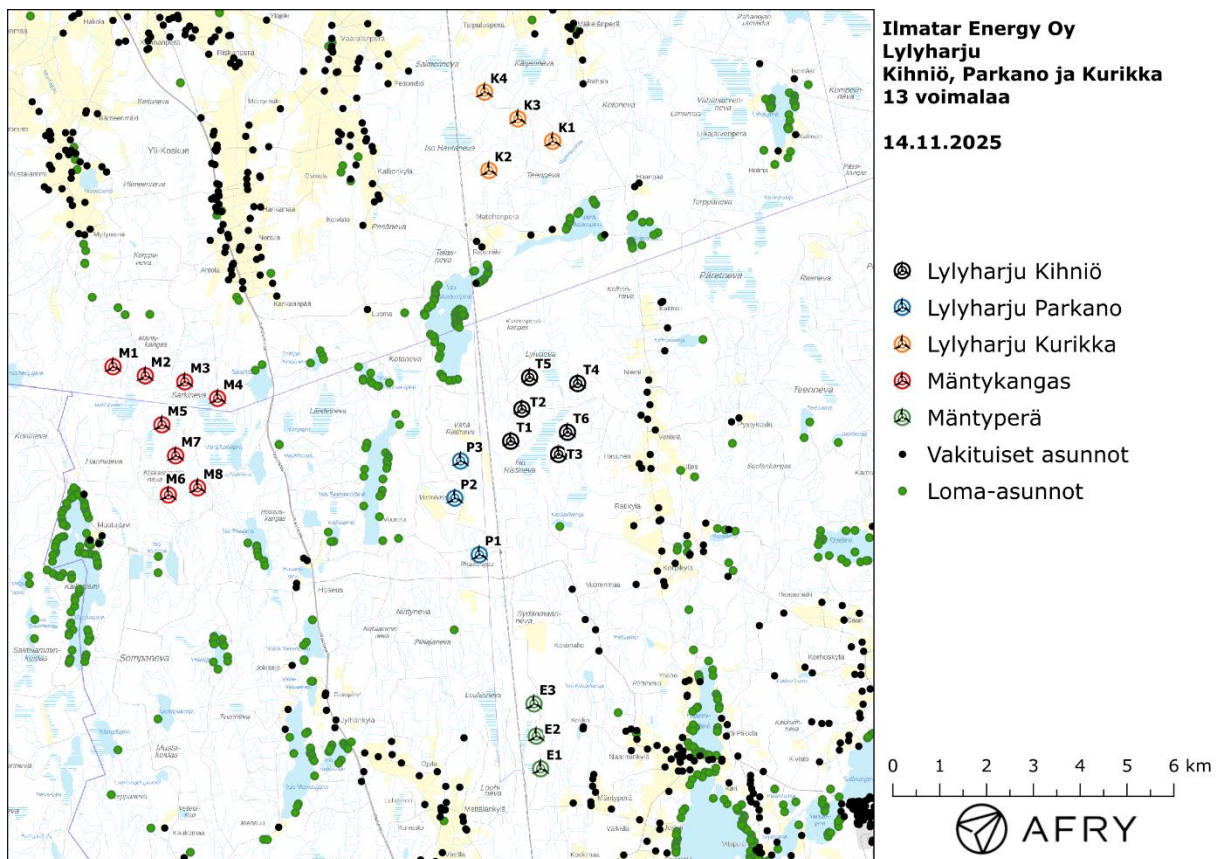
**Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R9 kohdalla.**

| 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 |

### 3.4 Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Lylyharjun ja lähelle suunniteltujen Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimapaistojen 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 3-8).

Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimapaistojen 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.**

**Taulukko 3-8: 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                 |

## 4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Kihniön kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty Kihniön 6 voimalan suunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 190 m ja napakorkeudella 195 m. Arvioinnissa huomioitiin myös Lylyharjun Parkanon ja Kurikan 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.

## 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.

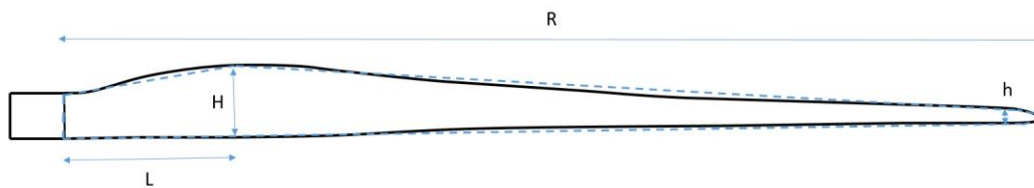
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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 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.