



# **Neoen Renewables Finland Oy**

Kolmihaara

Tuulivoimapuiston väikeselvitys

23.02.2026

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 101025072-006.

Kannen kuva: © AFRY

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

## YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

**Neoen Renewables Finland Oy**

Lauri Kuusisto

[lauri.kuusisto@neoen.com](mailto:lauri.kuusisto@neoen.com)

Tekijä:

**AFRY Finland Oy**

Juulianna Lähteinen

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

Renewables & Energy Storage Development, Finland

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

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101025072-006

Raporttiversio: 003

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	05.09.2025/ Helmi Uusitalo, Technical Consultant	05.09.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	30.09.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	30.09.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Layout päivittynyt
003	23.02.2026/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	23.02.2026/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Voimalanumerointi ja karttaku- vat päivitetty.

## SISÄLLYS

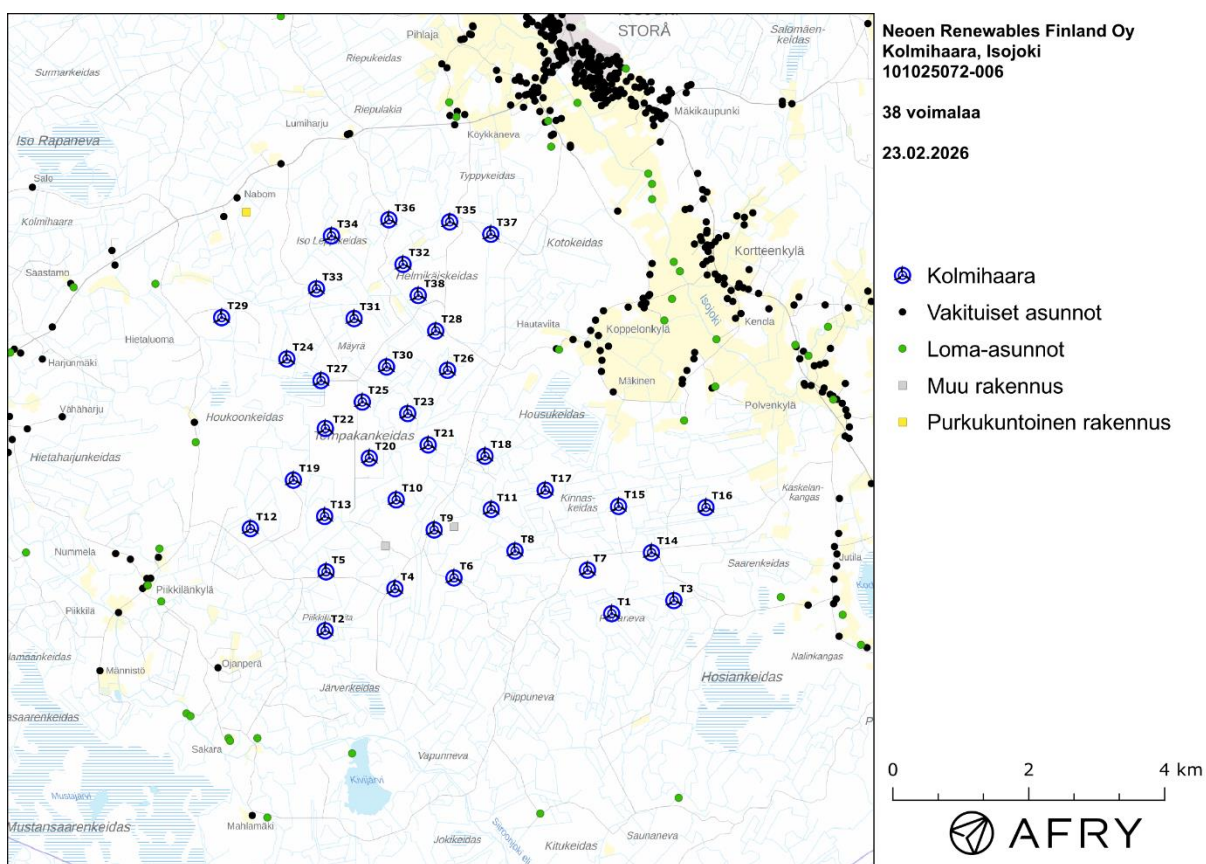
1	JOHDANTO .....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE .....	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet .....	7
2.4	Ohjeavot .....	8
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS .....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	12
3.3	Teoreettinen välkevaikutus .....	13
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	15
4	YHTEENVETO.....	18
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ .....	19
6	VIITTEET .....	21

# 1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Isojoen kunnan alueelle suunnitellun Kolmihaaran tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 38 voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 219 m ja roottorin halkaisijaa 162 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla. Roottorin halkaisijan koko on merkittävämpi välkeikaan vaikuttava tekijä kuin lavan muoto, mutta myös voimalatyypin lavan leveys vaikuttaa välkkeen suuruuteen.

Selvityksessä arvioidaan myös Kolmihaaran sekä läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



**Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kolmihaaran hankealueella.**

**Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (38 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatissa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	237619	6888895	99
T2	233397	6888644	82
T3	238534	6889088	100
T4	234425	6889263	89
T5	233411	6889511	86
T6	235295	6889421	91
T7	237262	6889535	102
T8	236194	6889817	97
T9	235003	6890128	92
T10	234444	6890571	94
T11	235844	6890429	97
T12	232297	6890147	86
T13	233390	6890327	90
T14	238204	6889793	105
T15	237720	6890473	104
T16	239007	6890459	107
T17	236639	6890712	104
T18	235752	6891213	100
T19	232930	6890861	90
T20	234048	6891185	90
T21	234915	6891379	95
T22	233401	6891621	89
T23	234614	6891841	96
T24	232834	6892644	92
T25	233945	6892011	91
T26	235200	6892478	98
T27	233337	6892326	92
T28	235026	6893057	100
T29	231873	6893253	89
T30	234302	6892527	97
T31	233824	6893239	96
T32	234545	6894037	99
T33	233270	6893677	96
T34	233491	6894456	98
T35	235232	6894662	106
T36	234336	6894694	102
T37	235838	6894480	103
T38	234769	6893579	97

## 2 TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE

### 2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolelle (aamu- ja ilta-ajat). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohdisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen 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 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]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

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

## 3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

### 3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuulivoimaloiden dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, tuulivoimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

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

Välkelaskennassa Kolmihaaran voimaloille on käytetty napakorkeutta 219 m ja roottorin halkaisijaa 162 m. Välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muotona on käytetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittamaa lavan muotoa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen

keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja 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 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	0,175	0,212	0,156	0,113	0,136	0,142

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

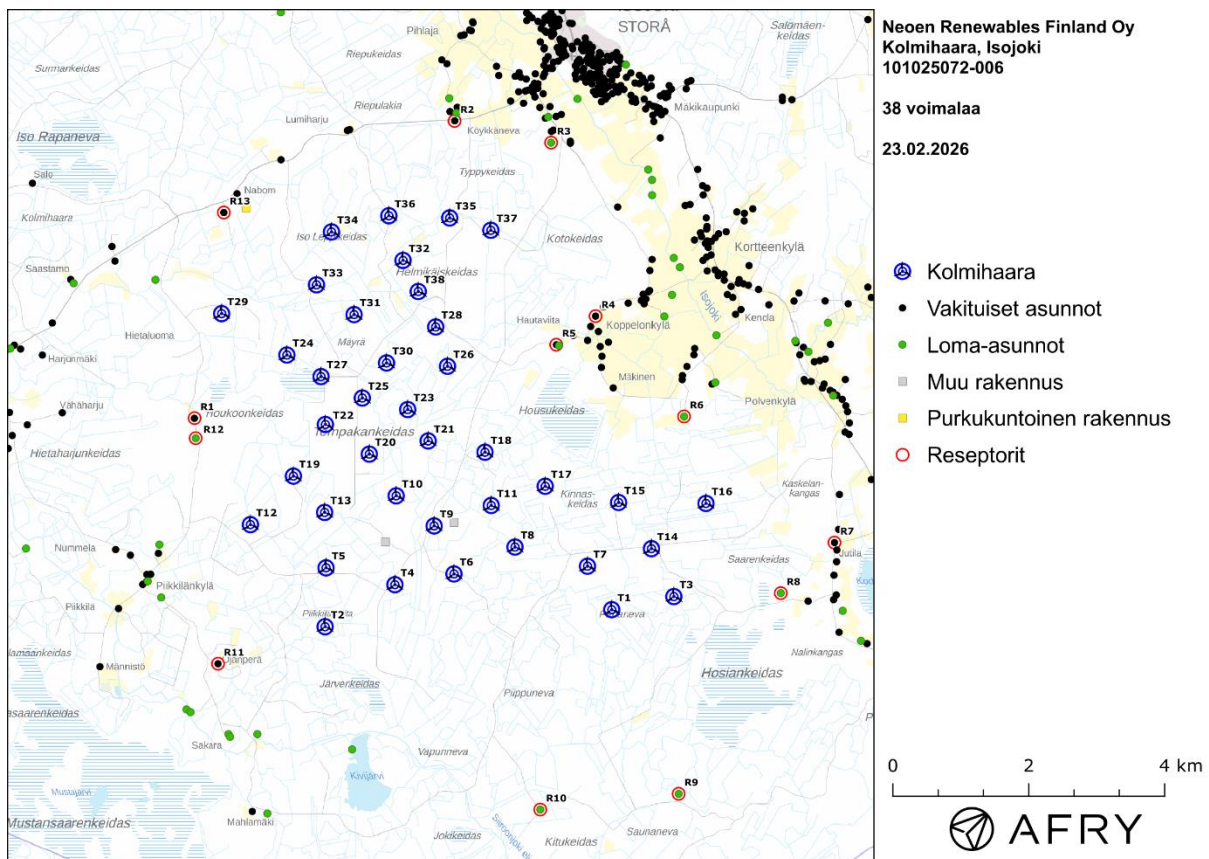
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,0–3,1 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueen sisäpuolella voimalan T9 itä- ja länsipuolella sijaitsee kaksi loma-asunnoiksi luokiteltua rakennusta. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan rakennukset eivät todellisuudessa ole loma-asuntoja, minkä vuoksi niitä ei ole otettu huomioon välkevaikutusten arvioinnissa. Hankealueen luoteispuolella kiinteistöllä 151-402-12-69 sijaitseva asuinrakennukseksi luokiteltu rakennus on todettu rakennusviranomaisen toimesta purkukuntoiseksi, minkä vuoksi sitä ei huomioida tämän raportin välketarkasteluissa.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	231476	6891712	91	vakituinen asunto
R2	235305	6896087	103	vakituinen asunto
R3	236728	6895768	104	loma-asunto
R4	237382	6893214	102	vakituinen asunto
R5	236803	6892793	105	vakituinen asunto
R6	238686	6891737	101	loma-asunto
R7	240901	6889880	102	vakituinen asunto
R8	240111	6889136	105	loma-asunto
R9	238606	6886182	91	loma-asunto
R10	236568	6885950	88	loma-asunto
R11	231821	6888097	81	vakituinen asunto
R12	231492	6891417	97	loma-asunto
R13	231907	6894739	88	vakituinen asunto

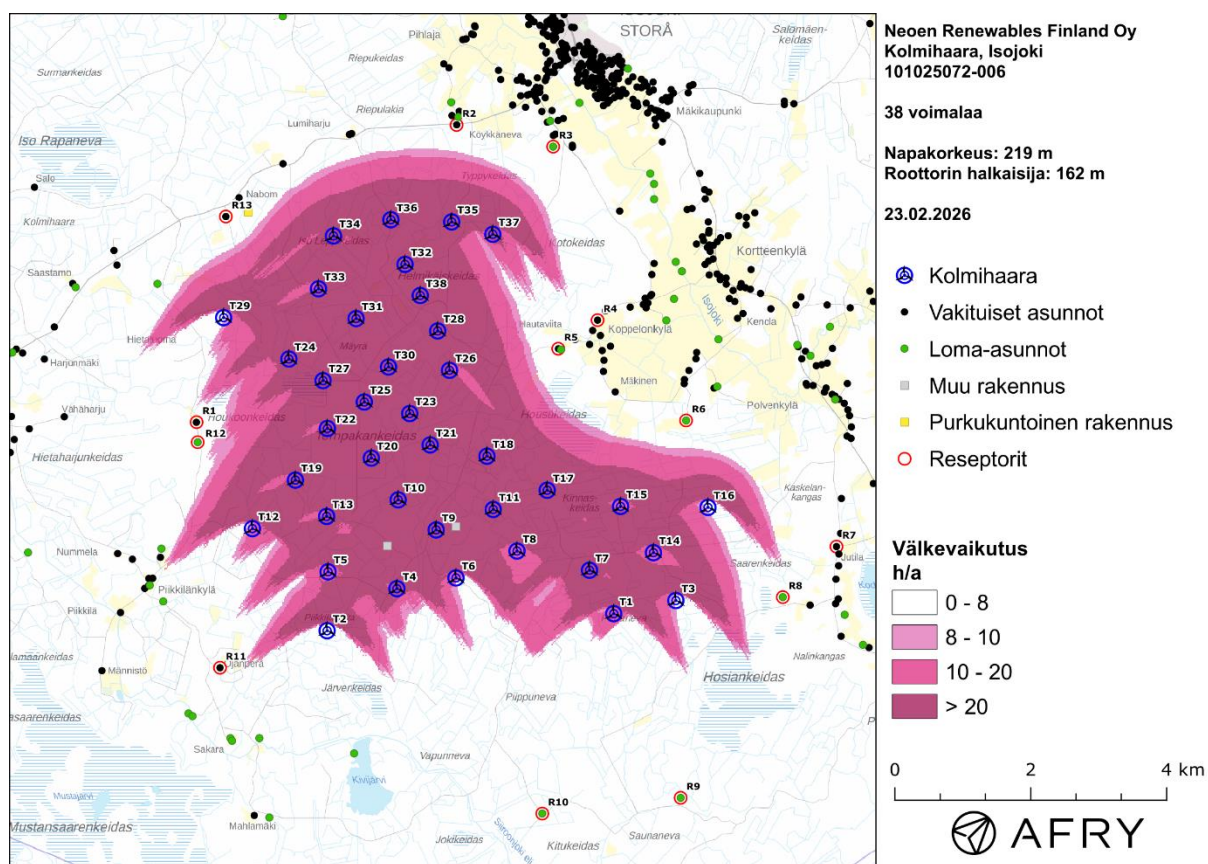

**Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kolmihaaran tuulivoimapuiston hankealueella.**

### 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 alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

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



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

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	3:49	0:04
R2	3:09	0:09
R3	1:30	0:04
R4	1:32	0:03
R5	4:22	0:05
R6	3:19	0:08
R7	0:42	0:03
R8	1:40	0:04
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	1:56	0:05
R12	4:05	0:04
R13	3:09	0:04

**Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R5 kohdalla.**

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:04</b>	<b>0:16</b>	<b>0:12</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:32</b>
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:08</b>	<b>0:06</b>	0:00	0:00	0:00	<b>0:14</b>
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:35</b>	0:00	0:00	0:00	<b>0:35</b>
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:34</b>	0:00	0:00	<b>0:34</b>
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	<b>0:00</b>
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:34</b>	0:00	<b>0:34</b>
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:11</b>	0:00	<b>0:11</b>
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:11</b>	0:00	0:00	<b>0:11</b>
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:31</b>	<b>0:19</b>	0:00	0:00	<b>0:50</b>
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:06</b>	<b>0:04</b>	0:00	0:00	0:00	<b>0:10</b>
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:04</b>	<b>0:06</b>	<b>0:12</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:22</b>
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:09</b>	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:09</b>
Yhteensä	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:00</b>	<b>0:08</b>	<b>0:31</b>	<b>0:37</b>	<b>1:17</b>	<b>1:04</b>	<b>0:45</b>	<b>0:00</b>	<b>4:22</b>

### 3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälkeaika pysyy alle raja-arvojen kaikkien rakennusten kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää raja-arvon reseptorien R2 ja R6 kohdilla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viihosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Välkkeen ajoittumistaulukosta pisteen R6 kohdalla (Taulukko 3-7) nähdään, että välkettä esiintyy pääosin talvikuukausina tai myöhäisinä kesäiltoina, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys

on Suomessa alhainen tai auringonpaiste jää käytännössä puiden varjoon. Päiväkohtaisten raja-arvojen ylitykset eivät tällä perusteella ole merkittäviä.

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

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	19:08	0:17
R2	24:33	0:41
R3	10:37	0:21
R4	6:21	0:12
R5	26:20	0:23
R6	26:02	0:47
R7	3:08	0:12
R8	7:45	0:18
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	7:06	0:19
R12	20:13	0:20
R13	12:21	0:18

**Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R5 kohdalla.**

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:41	2:37	1:53	0:00	0:00	0:00	0:00	5:11
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43	0:38	0:00	0:00	0:00	1:20
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:32	0:00	0:00	0:00	2:32
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:27	0:00	0:00	2:27
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	2:08	0:00	2:08
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42	0:00	0:42
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:51	0:00	0:00	0:51
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:30	1:36	0:00	0:00	4:06
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:28	0:00	0:00	0:00	1:03
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:41	1:03	2:12	0:00	0:00	0:00	0:00	3:55
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:04
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:22	5:44	5:21	6:09	4:53	2:51	0:00	26:20

### 3.4 Välikkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kolmihaaran voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Marjakeitaan ja Surmankeitaan tuulivoimapuistojen aiheuttamaa välikkeen yhteisvaikutusta.

Marjakeitaan tuulivoimahanketta suunnittelee Neoen Renewables Finland Oy ja Surmankeitaan tuulivoimahanketta suunnittelee CPC Surmankeidas Oy. Marjakeitaan tuulivoimapuistoon on suunnitteilla 24 voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 7,5 km etäisyydellä Kolmihaaran voimaloista. Surmankeitaan tuulivoimapuistoon suunnitellaan puolestaan 22 voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 3,2 km etäisyydellä Kolmihaaran voimaloista.

Välikemallinnuksessa Marjakeitaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Surmankeitaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 199 m ja roottorin halkaisijaa 162 m. Marjakeitaan ja Surmankeitaan voimaloiden lapaprofiilit on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka Marjakeitaan tapauksessa on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 172 metrin roottorin halkaisijaa. Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-8 ja Taulukko 3-9).

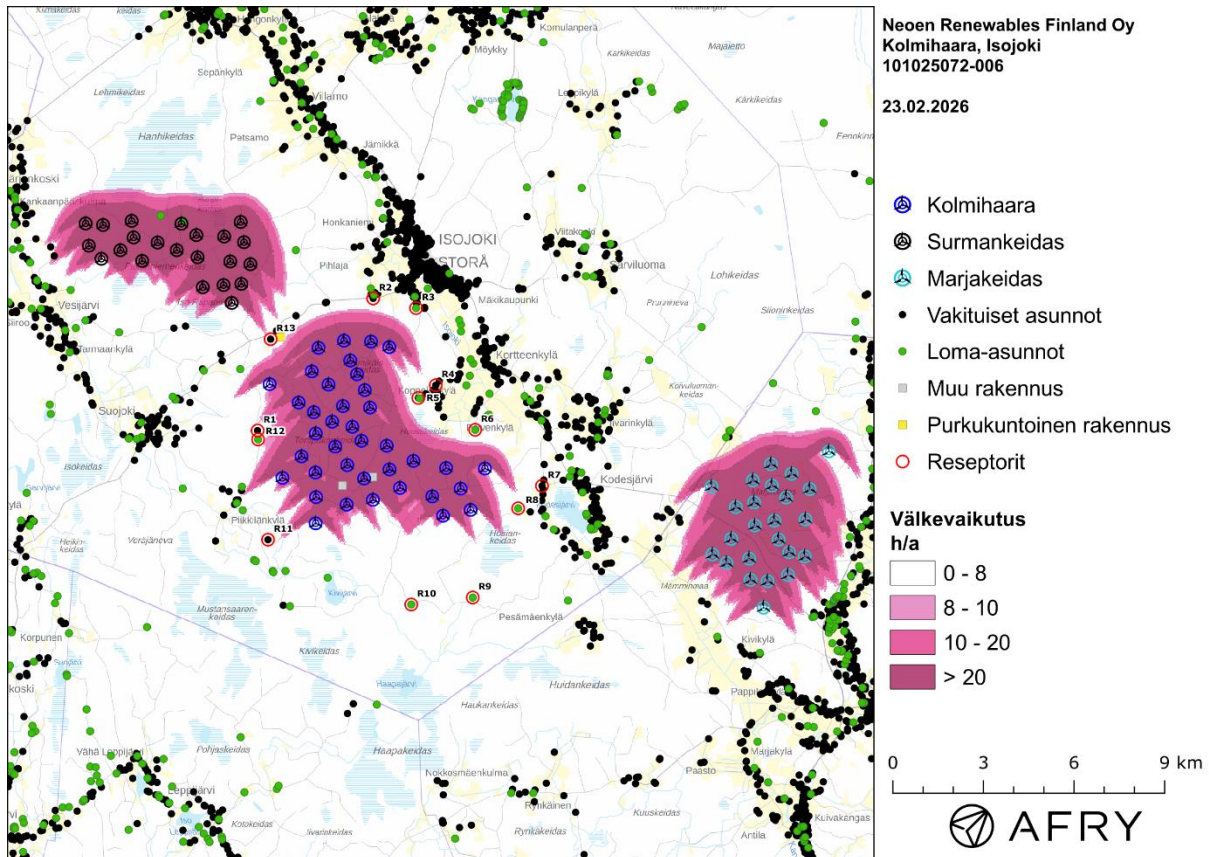
**Taulukko 3-8: Marjakeitaan (24 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M07	248989	6889497	122
M05	247887	6890066	120
M08	249632	6888771	116
M15	247323	6889182	125
M03	249171	6890282	120
M02	248487	6890602	120
M11	248602	6888730	117
M16	247955	6888569	118
M24	248240	6885850	115
M19	246548	6887614	112
M12	248741	6888104	117
M22	248374	6886724	117
M01	250406	6891028	125
M18	247765	6887473	119
M10	247928	6889335	120
M14	249610	6887547	116
M21	247808	6886772	118
M04	249771	6889776	117
M09	246519	6889858	124
M20	247014	6887332	113
M23	249052	6886936	115
M17	247171	6888129	118
M13	249089	6887682	115
M06	248518	6889895	120

**Taulukko 3-9: Surmankeitaan (22 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
S1	228158	6897945	82
S2	228794	6897691	80
S3	228949	6898567	84
S4	227364	6898113	79
S5	227299	6898662	85
S6	226352	6898526	78
S7	229483	6897457	80
S8	229443	6898190	83
S9	230365	6898144	85
S10	225774	6898576	78
S11	225880	6897839	78
S12	226927	6897690	76
S13	226298	6897405	75
S14	227647	6897337	75
S15	230913	6898626	88
S16	231023	6897955	90
S17	231235	6897227	90
S18	230567	6897316	87
S19	230934	6896573	89
S20	230346	6896535	83
S21	230616	6895944	84
S22	229657	6896464	82

Kolmihaaran, Marjakeitaan ja Surmankeitaan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-3). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-10). Mallinnusten perusteella Kolmihaaran ja naapuripuistojen voimaloista aiheutuu vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta asutukselle. Yhteisvaikutuksista ei aiheudu todennäköisen välkkeen ohjearvon ylityksiä minkään asuin- tai lomarakennuksen kohdilla. Teoreettinen vuotuinen välke aika ylittää hieman ohjearvot reseptorin R13 kohdalla ja teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika reseptorien R2 ja R6 kohdilla. Ylitykset ovat kuitenkin suhteellisen vähäisiä luvussa 3.3 esitetyillä perusteilla.



**Kuva 3-3: Kolmihaaran, Marjakeitaan ja Surmankeitaan tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.**

**Taulukko 3-10: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kolmihaaran sekä naapuripuistojen voimat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.**

Resep-tori	Todennäköinen vuotuinen välke aika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välke aika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	3:49	0:04	19:08	0:17
R2	3:09	0:09	24:33	0:41
R3	1:30	0:04	10:37	0:21
R4	1:32	0:03	6:21	0:12
R5	4:22	0:05	26:20	0:23
R6	3:19	0:08	26:02	0:47
R7	0:42	0:03	3:08	0:12
R8	1:40	0:04	7:45	0:18
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	1:56	0:05	7:06	0:19
R12	4:05	0:04	20:13	0:20
R13	7:11	0:07	27:52	0:24

## 4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Isojoen kunnan alueelle suunnitellun Kolmihaaran tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 38 voimalan suunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 162 m ja napakorkeudella 219 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Kolmihaaran ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla, kun huomioidaan yhteisvaikutukset läheisten tuulivoimapuistojen kanssa. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan raja-arvot yhden reseptorin kohdalla ja teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää raja-arvot kahden reseptorin kohdilla.

## 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.

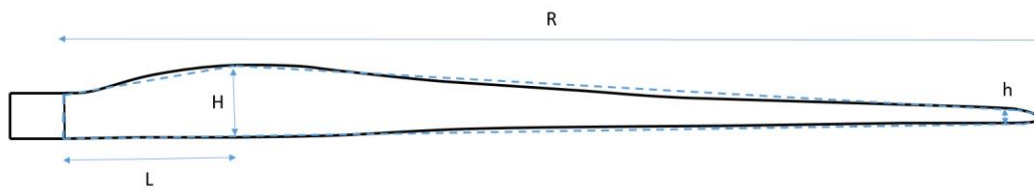
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

## 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.