



Ilmatar Lylyharju Oy

Lylyharjun tuulivoimapuiston välkesselvitys, Parkano

101021368-021, 6.5.2024



Tekijä
AFRY Finland Oy
Veera Hatulainen

E-mail
veera.hatulainen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Lylyharju Oy
Lauri Vierto

Päivämäärä
06/05/2024

Projektinumero
10102168-021

Raportin tila
LUONNOS

Lylyharjun tuulivoimapuiston välkeselvitys, Parkano

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	18.03.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	18.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	03.05.2024/ Veera Hatulainen Technical Consultant	06.05.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Yhteisvaikutukset Mäntykankaan tuulipuiston kanssa päivitetty

Aineistojen käyttöoikeudet

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

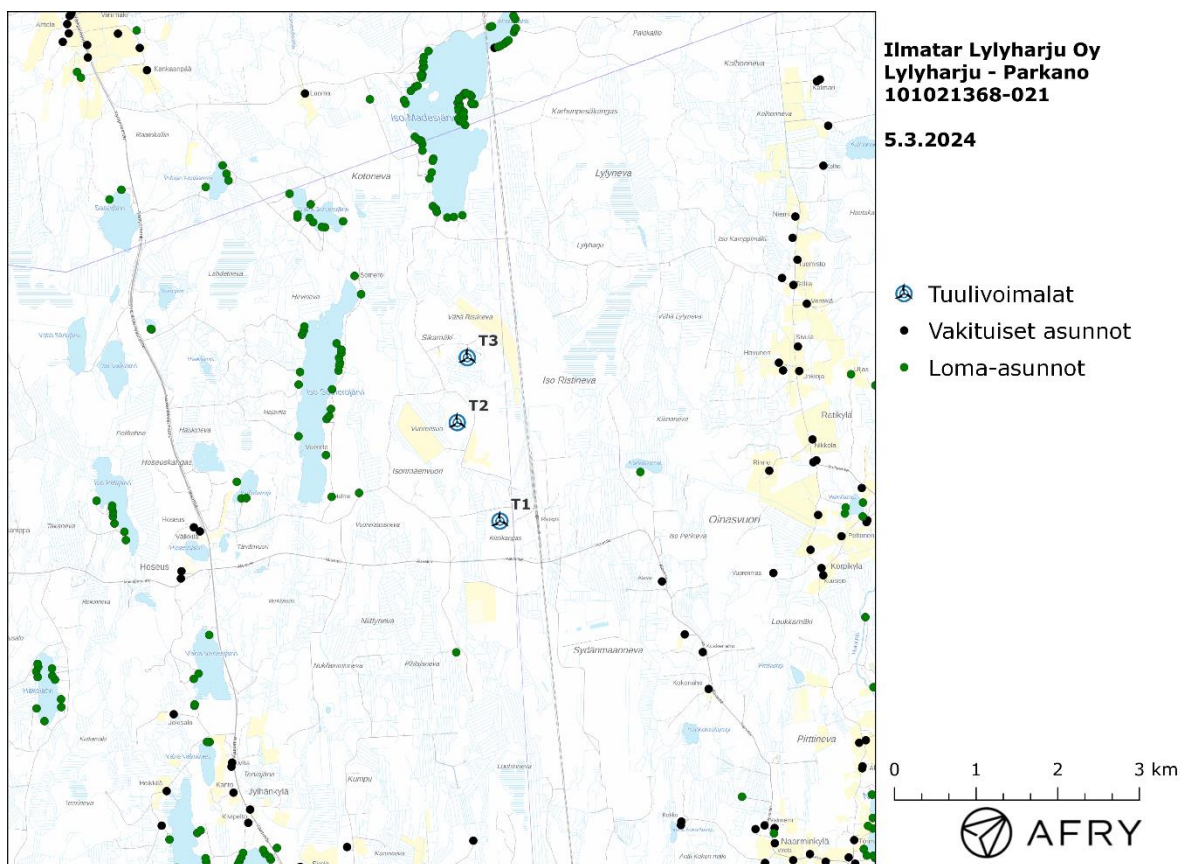
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	13
3.4	Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan yhteisvaikutus	14
4	Yhteenveto	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	18
6	Viitteet.....	20

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Parkanon kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty kolmen voimalan sijoitussuunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Karttakuvassa on esitetty myös voimaloiden lähellä sijaitsevien asuin- ja lomarakennusten sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti.

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 175 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,8 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Lylyharjun hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (3 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	292401	6907857	174
T2	291878	6909063	168
T3	292001	6909857	170

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). 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 tuulivoimaloiden näkyvyyttä ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4].

Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa.

Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

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

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

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

Väkelaskennassa Lylyharjun voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa skaalattuna roottorin halkaisijalle 230 m. Lapaprofiilia on skaalattu sekä pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimileveys on 4,8 m. 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 väiketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusväliille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

Taulukko 2: Suuntasektoriokohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulenopeuksille 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

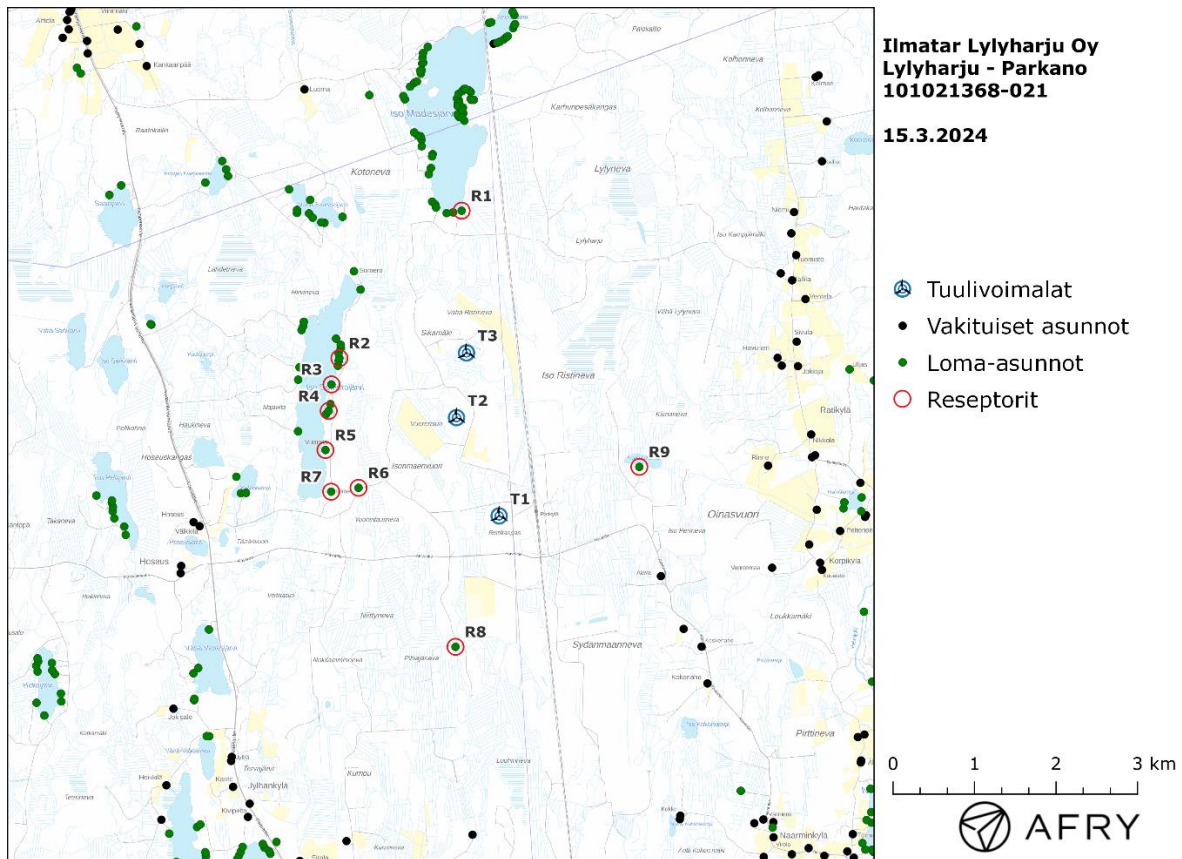
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä yhdeksän vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevan noin 1,4-2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	291942	6911599	146,5	loma-asunto
R2	290442	6909790	151,2	loma-asunto
R3	290345	6909468	152,2	loma-asunto
R4	290310	6909143	155,9	loma-asunto
R5	290271	6908663	155,7	loma-asunto
R6	290676	6908200	173,7	loma-asunto
R7	290341	6908152	161,2	loma-asunto
R8	291867	6906249	160,5	loma-asunto
R9	294123	6908456	164,9	loma-asunto



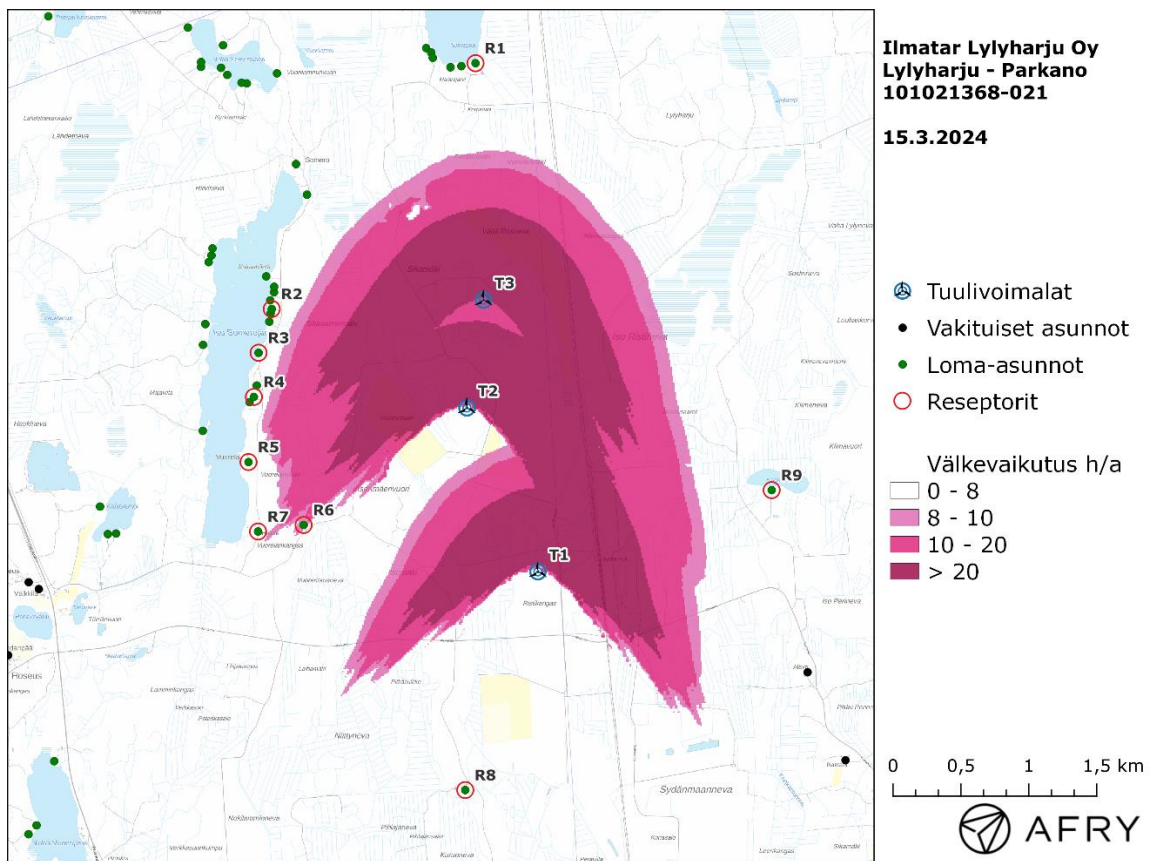
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten väiketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välke aika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R6 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talvi-aika).



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

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	2:07	3
R2	5:04	7
R3	4:23	8
R4	5:33	7
R5	3:21	6
R6	7:52	10
R7	0:00	0
R8	0:00	0
R9	2:25	6

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 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	0:40	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12
Toukokuu	0:00	0:23	0:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45
Kesäkuu	0:00	1:11	1:56	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:02
Heinäkuu	0:00	0:18	2:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:22
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	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:46
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	1:52	3:22	1:38	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:52

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälkeaja ylittää ohjearvon yhden rakennusten R6 kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

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 voimat 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 ylityksiä ei voida pitää merkittävänä.

Taulukko 7: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

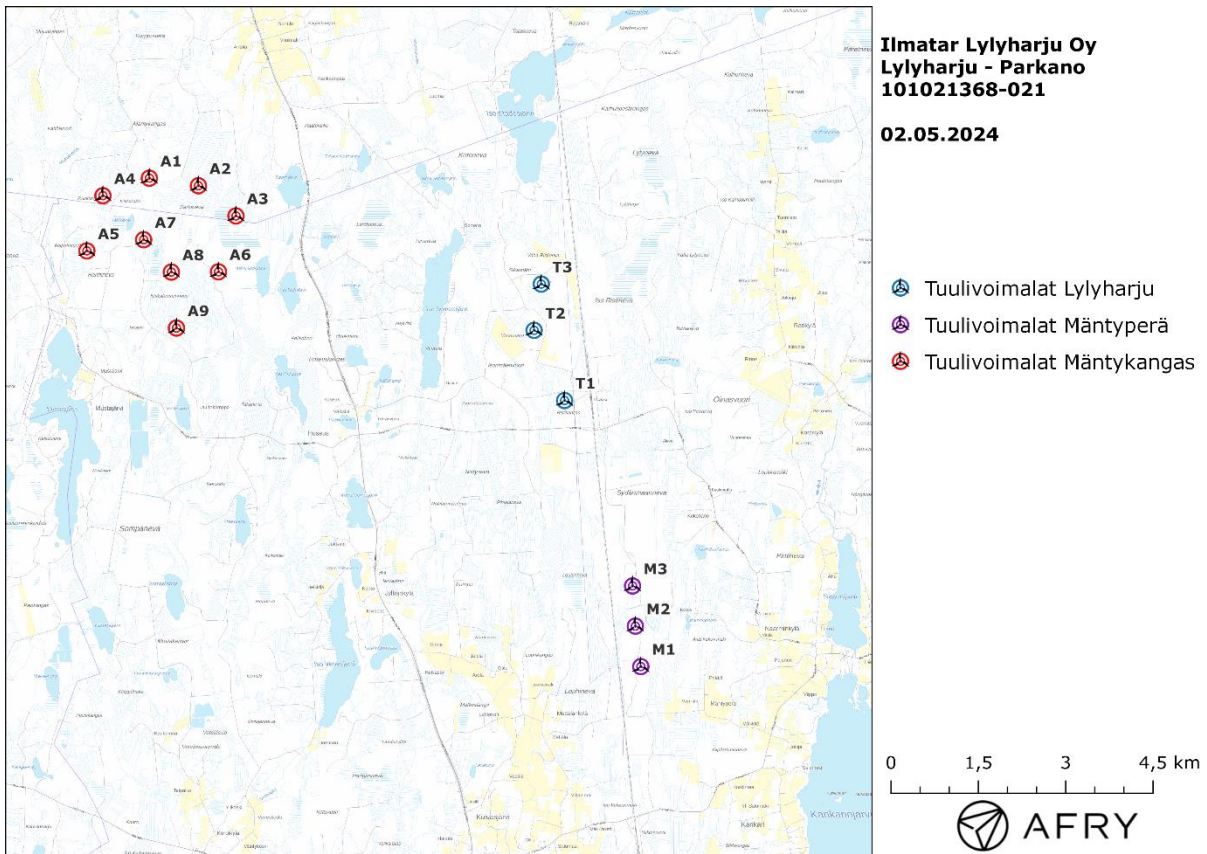
Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	0:54	5
R2	24:01	30
R3	18:40	27
R4	23:28	29
R5	12:23	20
R6	30:27	48
R7	0:00	0
R8	0:00	0
R9	11:43	23

Taulukko 8: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 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	3:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:01
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Toukokuu	0:00	1:05	1:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:41
Kesäkuu	0:00	4:23	6:56	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:19
Heinäkuu	0:00	1:26	7:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:37
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	3:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:55
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	6:54	15:44	7:49	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	30:27

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 yhdeksää voimalaa, joista lähin on 5,5 kilometrin etäisyydellä Lylyharjun voimaloista. Mäntyperän ja Mäntykankaan voimaloiden sijainnit ovat esitettyinä kartalla kuvassa 4 ja koordinaatteina taulukossa 9.

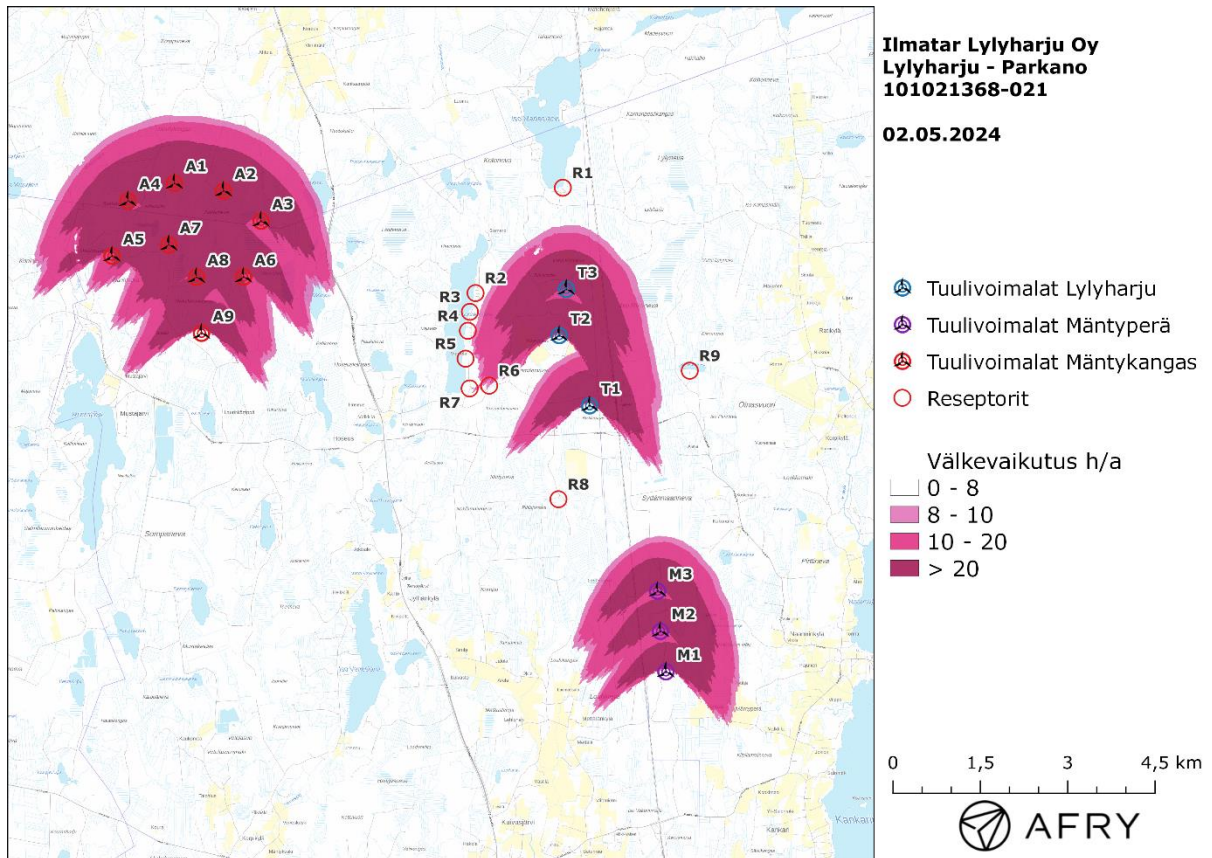


Kuva 4: Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimaloiden sijainnit

Taulukko 9: Mäntyperän ja Mäntykankaan voimaloiden sijainnit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	293711	6903288	161
M2	293617	6903983	150
M3	293569	6904673	152
A1	285267	6911676	160
A2	286110	6911546	154
A3	286755	6911028	154
A4	284469	6911376	153
A5	284193	6910428	162
A6	286455	6910068	161
A7	285169	6910619	157
A8	285645	6910064	158
A9	285733	6909102	158

Yhteisvaikutusten arvioinnissa Mäntyperän voimaloiden napakorkeutena käytetään 170 metriä ja roottorin halkaisijana 190 metriä. Mäntykankaan voimaloiden napakorkeutena käytetään 200 metriä ja roottorin halkaisijana 200 metriä. Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty kartalla kuvassa 5. Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke on listattu reseptoreittain taulukossa 10. Mallinnuksen perusteella Lylyharjun voimaloista ei aiheudu yhteisvaikutuksia asutukselle. Ainut ero mallinnusten välillä todennäköisessä välkevaikutuksessa ja teoreettisessa maksimivälkevaikutuksessa kohdistuu reseptoriin R8, jolla ei ollut välkevaikutusta, kun Lylyharjua tarkasteltiin yksinään. Välkevaikutus tähän reseptoriin johtuu vain Mäntyperän voimaloista.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksessa huomioidaan Lylyharjun, Mäntyperän ja Mäntykankaan voimalat

Taulukko 10: Välkeajat reseptoripisteissä, kun huomioidaan naapurivoimaloiden yhteisvaikutukset. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälkeaja [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	2:07	3	0:54	5
R2	5:04	7	24:01	30
R3	4:23	8	18:40	27
R4	5:33	7	23:28	29
R5	3:21	6	12:23	20
R6	7:52	10	30:27	48
R7	0:00	0	0:00	0
R8	0:13	1	1:26	9
R9	2:25	6	11:43	23

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Parkanon kunnan alueelle suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty kolmen voimalan sijoitussuunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 230 m ja napakorkeudella 175 m. Selvityksessä on otettu huomioon Lylyharjun yhteisvaikutukset lähelle suunniteltujen Mäntyperän ja Mäntykankaan tuulivoimakohteiden kanssa.

Välkevarjostusmallinnusten mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohje-arvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohje-arvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon yhdellä lomarakennuksella. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää samalla lomarakennuksella 30 minuutin raja-arvon.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

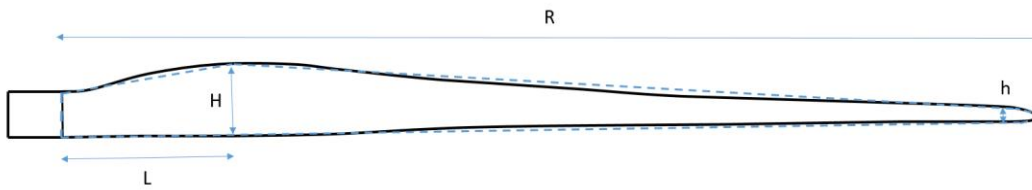
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa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

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

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 6) 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 6: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa, jota on skaalattu roottorin halkaisijoille 230 m ja 190 m. Laskennassa huomiotava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä tuulivoimaloihin 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.