

Tuulivoimakohteen välkeselvitys

KIHNIÖ, KURIKKA, PARKANO – LYLHARJU, LAYOUT VE1

JUULI ANNA LÄHTEINEN

23.03.2022

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimakohteen välkeselvitys: Kihniö, Kurikka, Parkano – Lylyharju, layout VE1
TV-2022-600-1, 23.03.2022

Raportin tekijät

Juulianna Lähteinen, Numerola Oy
juulianna.lahteinen@numerola.fi

Asiakas

Lauri Vierto
Ilmatar Lylyharju Oy

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulipuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla layout-suunnitelmalle VE1. Tuulivoimaloiden aiheuttamat välkevaikutukset lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 175 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	23.03.2022		Juulianna Lähteinen

Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on luottamuksellinen ja laadittu yksinomaan raportissa mainitun vastaanottajan käyttöön.

Asiakas voi kuitenkin käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä (ympäristöselvitykset, kaavoitus jne.) sekä hankkeiden toimijoiden valinnassa. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

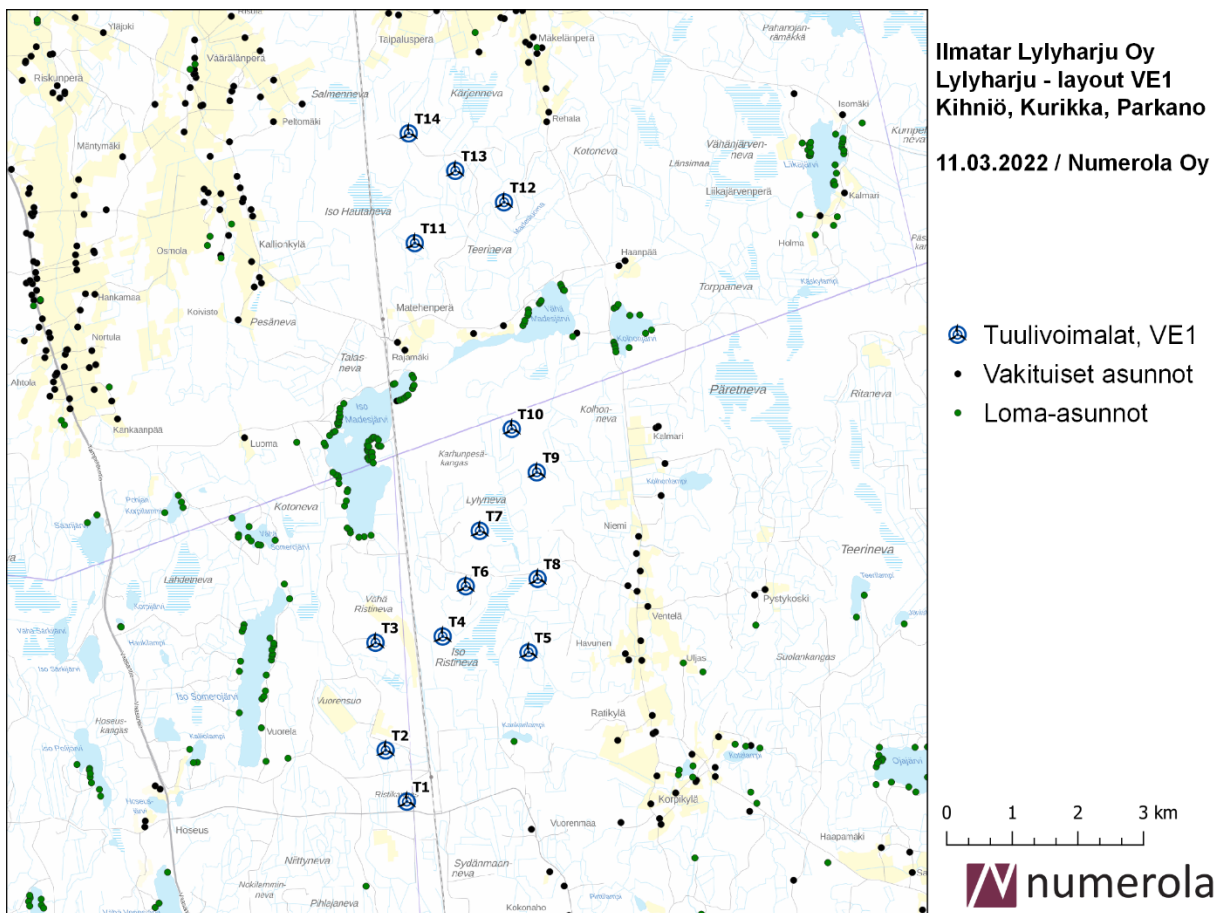
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Ohjeavot	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	7
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	7
3.2	Välkevaikutus	10
4	Yhteenveto	13
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	14
6	Viitteet	16

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 14 voimalan layout-suunnitelmalle VE1. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin SG170 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin mukaan niin, että sen pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,9 m (SG170:n lapaprofiilin levein kohta on 4,5 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Lylyharjun tuulipuiston alueella.

Taulukko 1: Lylyharjun voimaloiden (14 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
T1	292486	6907540	172
T2	292163	6908323	166
T3	292008	6909964	171
T4	293033	6910059	166
T5	294342	6909816	161
T6	293385	6910825	165
T7	293598	6911670	162
T8	294480	6910938	160
T9	294467	6912562	172
T10	294087	6913224	172
T11	292607	6916057	148
T12	293968	6916680	143
T13	293225	6917160	142
T14	292515	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 1–2 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 iltajat). Voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain, jos voimala sijaitsee pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevarjostuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen välkevaikutuksen mallinnukseen:

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

Tässä selvityksessä väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

2.2 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia väkემäärien 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 välke-tilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan välkevaikutusten ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa analysoitu välkevaikutus vastaa todellista odotettavissa olevaa välketuntimäärää, ja näin ollen suunnitteluohjearvona käytetään 8 tai 10 tuntia.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Avoimilla alueilla mallinnettu välkevaikutus ilman puustoa vastaa todellista tilannetta, mutta puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä myös lisää arvioinnin epävarmuutta.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin geometrisella laskentamallilla, joka huomioi Auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot (Numerola Oy:n implementoitu malli). 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, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin 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 turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Laskennassa voimaloiden napakorkeus oli 175 m ja roottorin halkaisija 230 m. Voimalan lapaprofiilia on arvioitu voimalatyyppin Siemens Gamesa SG170 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden puolesta vastaamaan 230 m roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien 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 turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien 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 turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit 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 turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Auringonpaisteen todennäköisyyttä on arvioitu Jokioisten sääaseman mittausten [3] perusteella. Sääaseman mittauksista lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja on skaalattu auringonpaisteen todennäköisyydellä ja suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: 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	0,186	0,184	0,169	0,118	0,121	0,149

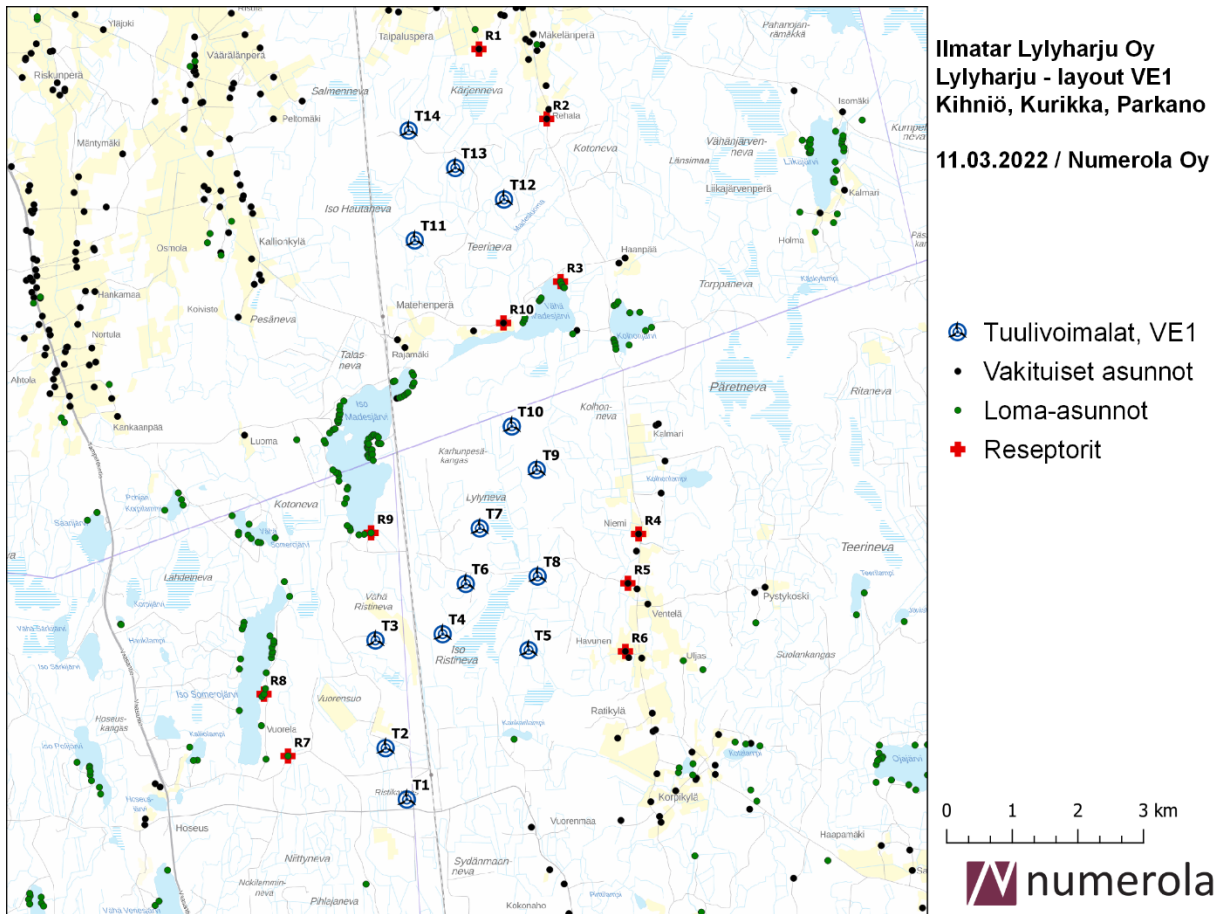
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kymmenen vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2).

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	293588	6918969	127
R2	294620	6917905	130
R3	294832	6915427	144
R4	296021	6911583	146
R5	295859	6910831	146
R6	295820	6909794	142
R7	290676	6908200	173
R8	290310	6909143	153
R9	291942	6911599	146
R10	293962	6914796	147



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Lylyharjun tuulipuiston alueella.

3.2 Välkevaikutus

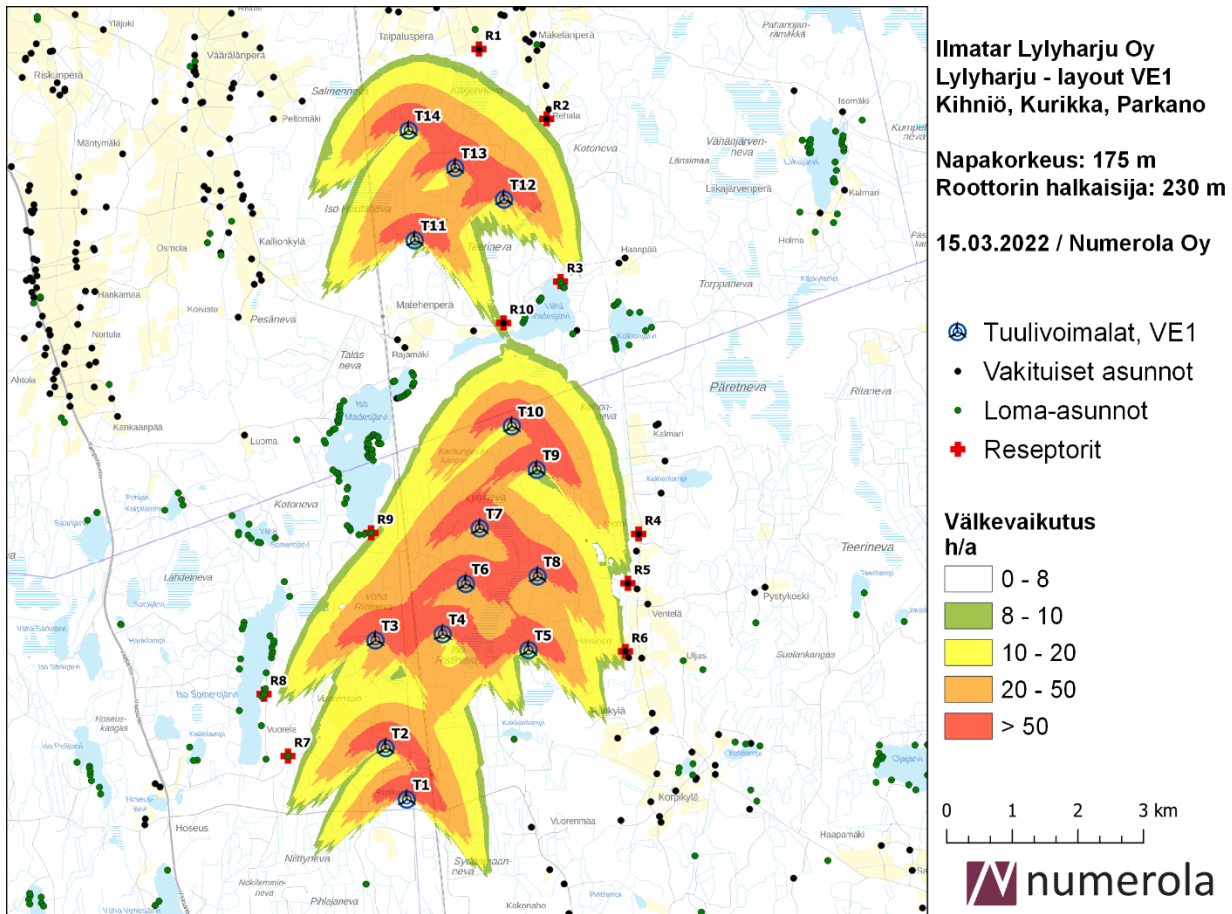
Mallinnetut arviot todellisten välketuntien määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Karttaan on merkitty reseptoripisteiden paikat. Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkeaika jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien tarkasteltavien loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

Korkeimmat vaikutusajat kohdistuvat vertailukiinteistöihin R6, R9 ja R10. Välkkeen tarkempi ajoittuminen vuoden- ja vuorokaudenaikojen suhteen näiden kiinteistöjen kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6- Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
R1	4:31	6
R2	6:24	8
R3	3:04	5
R4	4:42	7
R5	7:17	9
R6	7:53	8
R7	4:40	9
R8	2:30	6
R9	7:26	7
R10	7:35	8



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston näkyvyyttä rajoittavaa vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	17	23	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	36	14	0	0	0:50
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	1:46
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0:49
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	2:26
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	77	4	0	0	1:21
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:10	0:42	5:01	0:00	7:53

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	27	35	0	0	0	0	0	1:01
Helmikuu	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0:41
Maaliskuu	0	0	0	3	53	0	0	0	0	0	0	0	0:56
Huhtikuu	0	0	4	71	0	0	0	0	0	0	0	0	1:14
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	2	60	0	0	0	0	0	0	0	0	1:02
Syyskuu	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0:34
Lokakuu	0	0	0	21	17	0	0	0	0	0	0	0	0:39
Marraskuu	0	0	0	0	10	45	0	0	0	0	0	0	0:55
Joulukuu	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0:24
Yhteensä	0:00	0:00	0:06	3:10	2:00	1:35	0:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:26

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R10 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	0	0	0	0	83	8	0	0	0	0	0	1:31
Helmikuu	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0:07
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	1:28
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0:48
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	0	2:07
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	0	0	1:14
Joulukuu	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0:20
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:04	0:08	0:00	0:00	0:00	4:23	0:00	7:35

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevarjostusvaikutuksen laskennallinen arvio. Arvio on tehty 14 voimalan layout-suunnitelmalle VE1. Voimaloiden välkevaikutusten arvio tehtiin napakorkeudella 175 m ja roottorin halkaisijalla 230 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Päivittäinen maksimivälkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien kiinteistöjen 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusosuuksilla.

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.

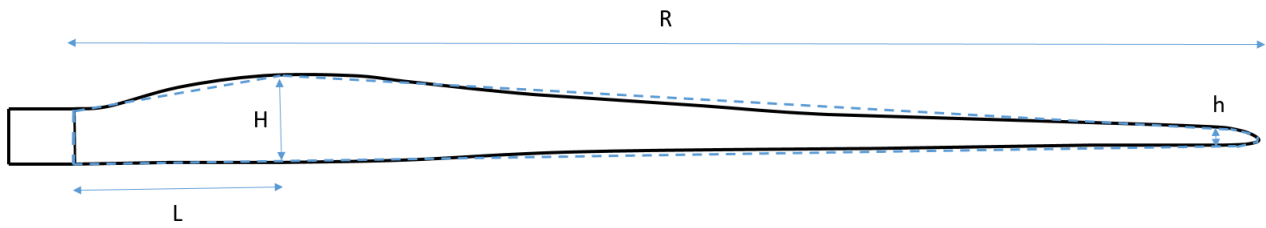
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin 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 turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 on esitetty yksinkertaistettu 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 turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind Atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Ympäristöministeriö, 2016.

Tuulivoimakohteen välkeselvitys

KIHNIÖ, KURIKKA, PARKANO – LYLHARJU, LAYOUT VE2

JUULIANNÄ LÄHTEINEN

23.03.2022

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimakohteen välkeselvitys: Kihniö, Kurikka, Parkano – Lylyharju, layout VE2
TV-2022-600-2, 23.03.2022

Raportin tekijät

Juulianna Lähteinen, Numerola Oy
juulianna.lahteinen@numerola.fi

Asiakas

Lauri Vierto
Ilmatar Lylyharju Oy

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulipuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla layout-suunnitelmalle VE2. Tuulivoimaloiden aiheuttamat välkevaikutukset lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 175 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	23.03.2022		Juulianna Lähteinen

Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on luottamuksellinen ja laadittu yksinomaan raportissa mainitun vastaanottajan käyttöön.

Asiakas voi kuitenkin käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä (ympäristöselvitykset, kaavoitus jne.) sekä hankkeiden toimijoiden valinnassa. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

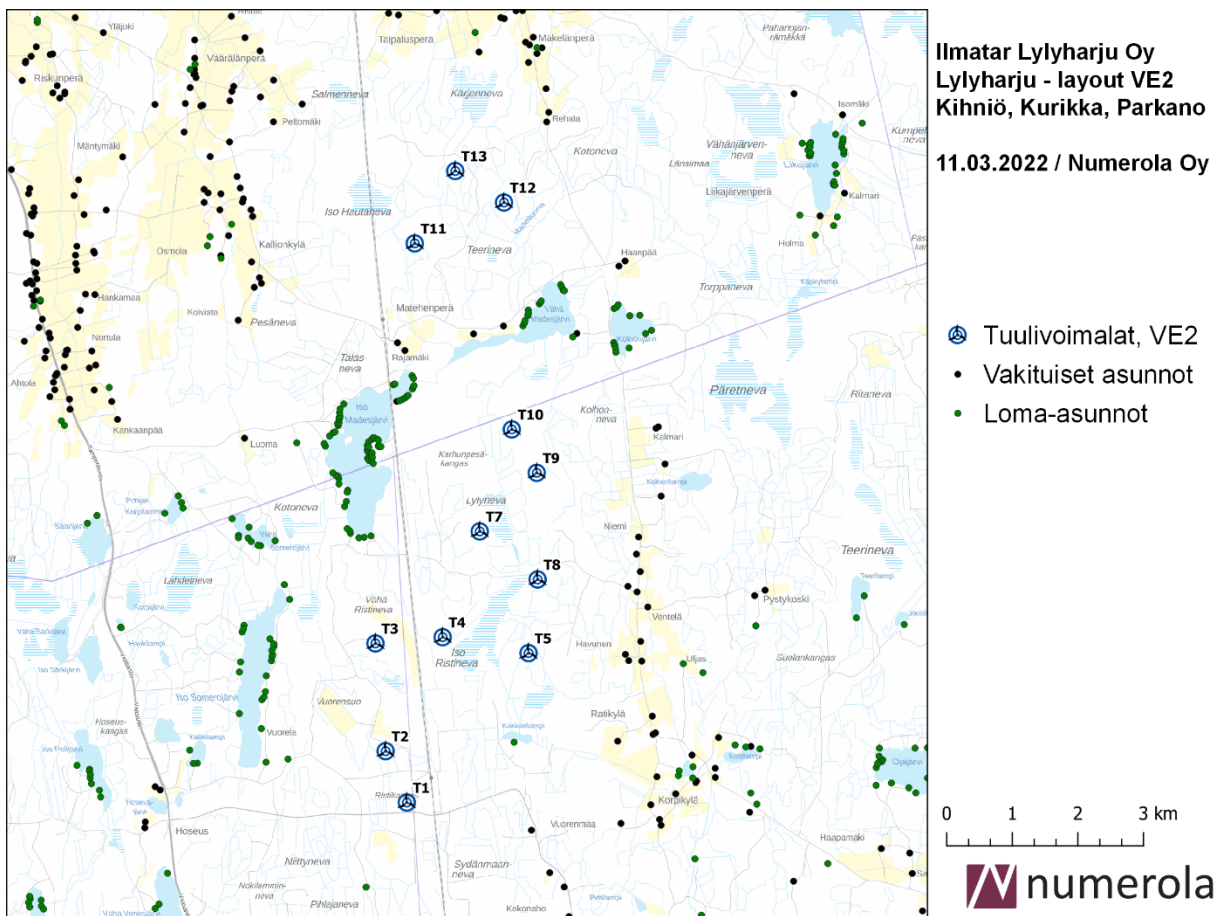
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Ohjeavot	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	7
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	7
3.2	Välkevaikutus	10
4	Yhteenveto	13
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	14
6	Viitteet	16

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 12 voimalan layout-suunnitelmalle VE2. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin SG170 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin mukaan niin, että sen pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,9 m (SG170:n lapaprofiilin levein kohta on 4,5 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Lylyharjun tuulipuiston alueella.

Taulukko 1: Lylyharjun voimaloiden (12 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
T1	292486	6907540	172
T2	292163	6908323	166
T3	292008	6909964	171
T4	293033	6910059	166
T5	294342	6909816	161
T7	293598	6911670	162
T8	294480	6910938	160
T9	294467	6912562	172
T10	294087	6913224	172
T11	292607	6916057	148
T12	293968	6916680	143
T13	293225	6917160	142

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 1–2 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 iltajat). Voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain, jos voimala sijaitsee pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevarjostuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen välkevaikutuksen mallinnukseen:

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

Tässä selvityksessä väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

2.2 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 välke-tilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan välkevaikutusten ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa analysoitu välkevaikutus vastaa todellista odotettavissa olevaa välketuntimäärää, ja näin ollen suunnitteluohjearvona käytetään 8 tai 10 tuntia.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Avoimilla alueilla mallinnettu välkevaikutus ilman puustoa vastaa todellista tilannetta, mutta puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä myös lisää arvioinnin epävarmuutta.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin geometrisella laskentamallilla, joka huomioi Auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot (Numerola Oy:n implementoitu malli). 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, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin 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 turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Laskennassa voimaloiden napakorkeus oli 175 m ja roottorin halkaisija 230 m. Voimalan lapaprofiilia on arvioitu voimalatyyppin Siemens Gamesa SG170 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden puolesta vastaamaan 230 m roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien 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 turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien 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 turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit 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 turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Auringonpaisteen todennäköisyyttä on arvioitu Jokioisten sääaseman mittausten [3] perusteella. Sääaseman mittauksista lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja on skaalattu auringonpaisteen todennäköisyydellä ja suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: 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	0,186	0,184	0,169	0,118	0,121	0,149

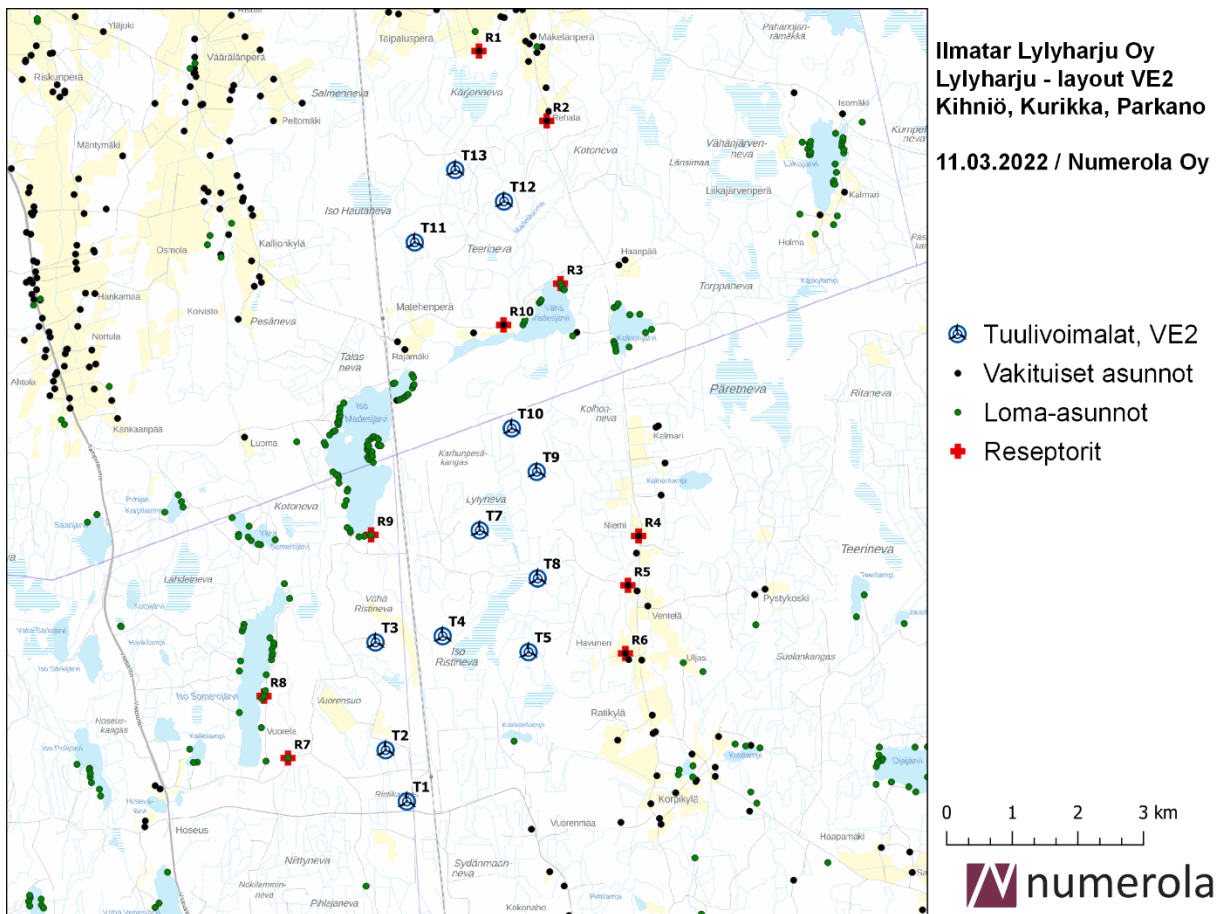
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kymmenen vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2).

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	293588	6918969	127
R2	294620	6917905	130
R3	294832	6915427	144
R4	296021	6911583	146
R5	295859	6910831	146
R6	295820	6909794	142
R7	290676	6908200	173
R8	290310	6909143	153
R9	291942	6911599	146
R10	293962	6914796	147



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Lylyharjun tuulipuiston alueella.

3.2 Välkevaikutus

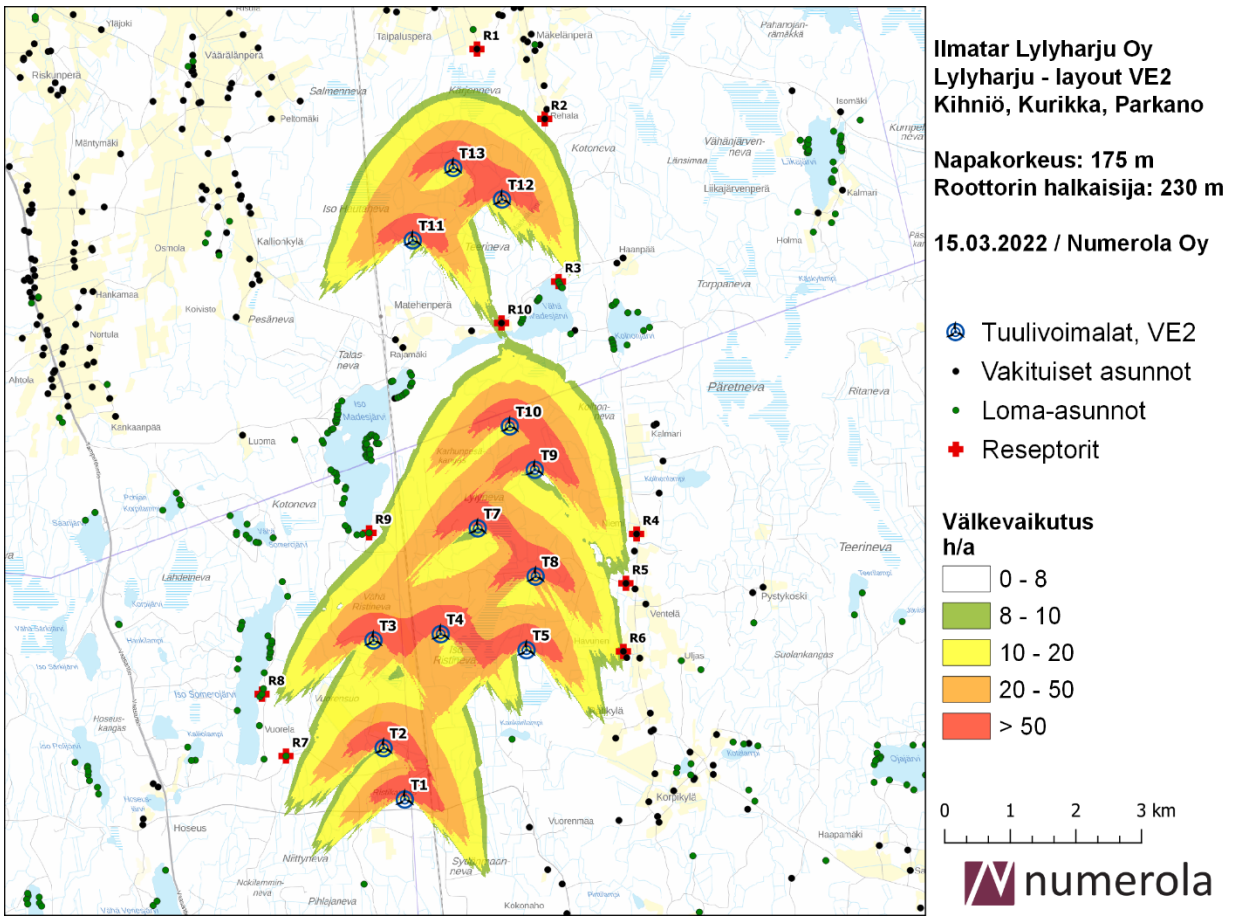
Mallinnetut arviot todellisten välketuntien määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Karttaan on merkitty reseptoripisteiden paikat. Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkeaika jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien tarkasteltavien loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

Korkeimmat vaikutusajat kohdistuvat vertailukiinteistöihin R5, R6 ja R10. Välkkeen tarkempi ajoittuminen vuoden- ja vuorokaudenaikojen suhteen näiden kiinteistöjen kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6- Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
R1	2:28	5
R2	5:44	8
R3	3:04	5
R4	4:42	7
R5	7:01	9
R6	7:53	8
R7	4:40	9
R8	2:30	6
R9	5:43	7
R10	7:35	8



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston näkyvyyttä rajoittavaa vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	5	39	0	0	0	0:43
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0:19
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	16	101	0	0	1:57
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	1:03
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0:23
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	4	27	0	0	0:31
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	29	61	0	0	1:29
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0:35
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39	1:28	3:28	1:26	0:00	7:01

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	17	23	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	36	14	0	0	0:50
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	1:46
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0:50
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	2:26
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	77	4	0	0	1:21
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:09	0:42	5:02	0:00	7:53

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R10 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	0	0	0	0	83	8	0	0	0	0	0	1:31
Helmikuu	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0:07
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	1:27
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0:48
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	0	2:07
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	0	0	1:14
Joulukuu	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0:20
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:04	0:09	0:00	0:00	0:00	4:23	0:00	7:35

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kurikan ja Parkanon kaupunkien sekä Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevarjostusvaikutuksen laskennallinen arvio. Arvio on tehty 12 voimalan layout-suunnitelmalle VE2. Voimaloiden välkevaikutusten arvio tehtiin napakorkeudella 175 m ja roottorin halkaisijalla 230 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Päivittäinen maksimivälkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien kiinteistöjen 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusosuuksilla.

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.

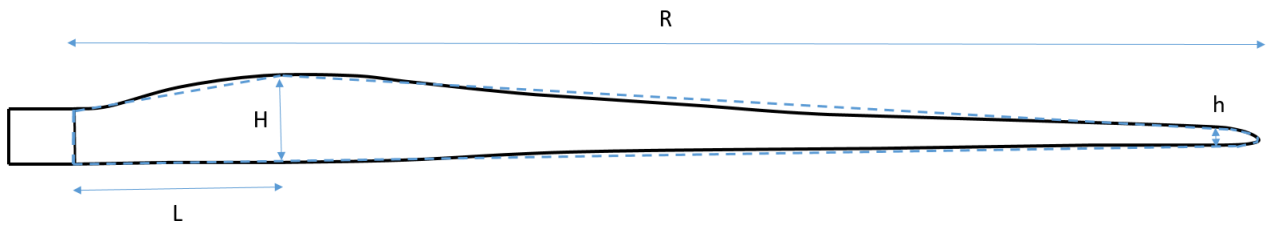
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin 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 turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 on esitetty yksinkertaistettu 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 turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind Atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Ympäristöministeriö, 2016.

Tuulivoimakohteen välkeselvitys

KIHNIÖ, PARKANO – LYLHARJU, LAYOUT VE3

JUULIANNA LÄHTEINEN

23.03.2022

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimakohteen välkeselvitys: Kihniö, Parkano – Lylyharju, layout VE3
TV-2022-600-3, 23.03.2022

Raportin tekijät

Juulianna Lähteinen, Numerola Oy
juulianna.lahteinen@numerola.fi

Asiakas

Lauri Vierto
Ilmatar Lylyharju Oy

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Parkanon kaupungin ja Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulipuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla layout-suunnitelmalle VE3. Tuulivoimaloiden aiheuttamat välkevaikutukset lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 230 m ja napakorkeutta 175 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	23.03.2022		Juulianna Lähteinen

Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on luottamuksellinen ja laadittu yksinomaan raportissa mainitun vastaanottajan käyttöön.

Asiakas voi kuitenkin käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä (ympäristöselvitykset, kaavoitus jne.) sekä hankkeiden toimijoiden valinnassa. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

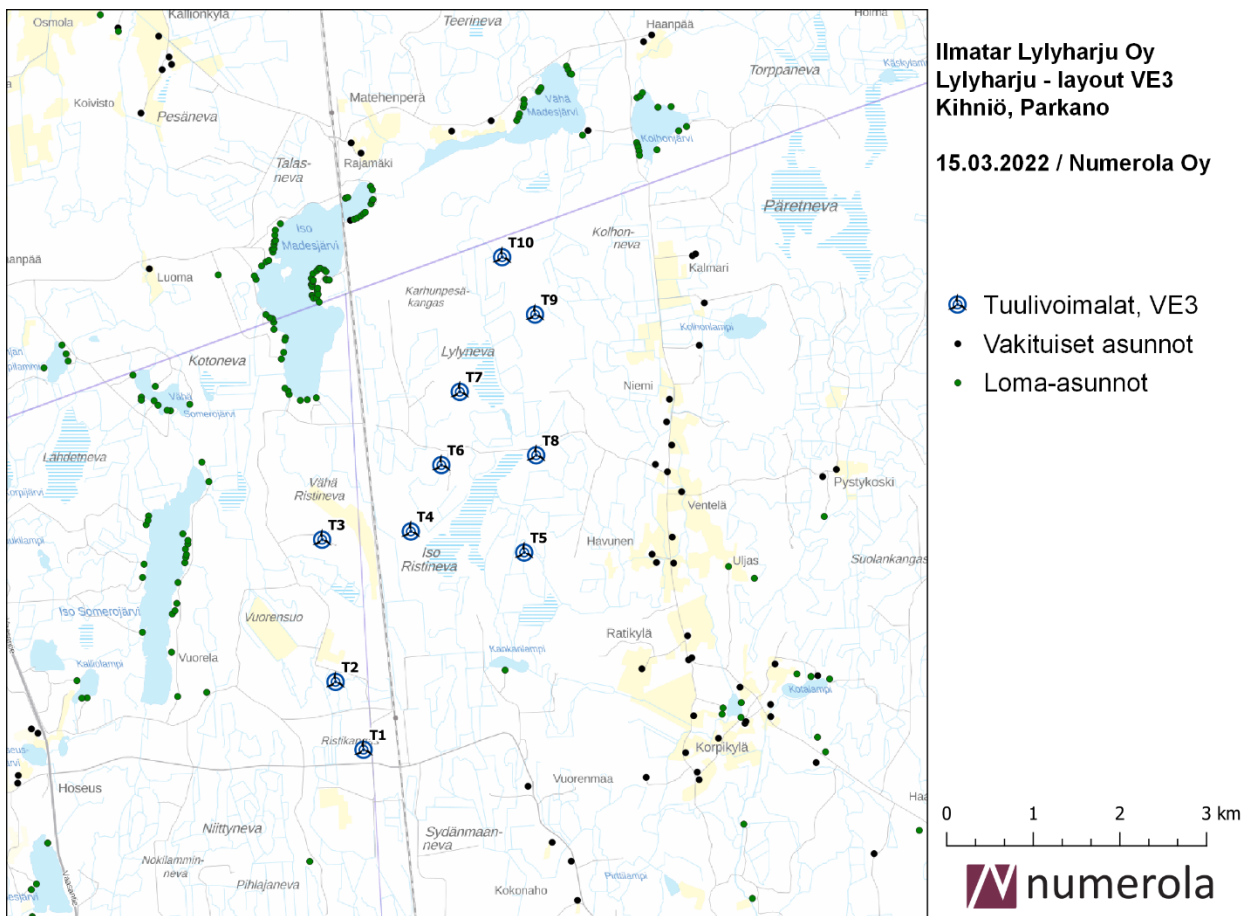
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Ohjeavot	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	7
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	7
3.2	Välkevaikutus	10
4	Yhteenveto	13
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	14
6	Viitteet	16

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Parkanon kaupungin ja Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 10 voimalan layout-suunnitelmalle VE3. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 230 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin SG170 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin mukaan niin, että sen pituus on kasvatettu 115 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,9 m (SG170:n lapaprofiilin levein kohta on 4,5 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Lylyharjun tuulipuiston alueella.

Taulukko 1: Lylyharjun voimaloiden (10 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maastonkorkeus [m]
T1	292486	6907540	172
T2	292163	6908323	166
T3	292008	6909964	171
T4	293033	6910059	166
T5	294342	6909816	161
T6	293385	6910825	165
T7	293598	6911670	162
T8	294480	6910938	160
T9	294467	6912562	172
T10	294087	6913224	172

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 1–2 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 iltajat). Voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain, jos voimala sijaitsee pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevarjostuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen välkevaikutuksen mallinnukseen:

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

Tässä selvityksessä väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

2.2 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia väkemäärien 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 välke-tilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan välkevaikutusten ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa analysoitu välkevaikutus vastaa todellista odotettavissa olevaa välketuntimäärää, ja näin ollen suunnitteluohjearvona käytetään 8 tai 10 tuntia.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu välkevaikutus edustaa todennäköistä tilannetta perustuen auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta.

Avoimilla alueilla mallinnettu välkevaikutus ilman puustoa vastaa todellista tilannetta, mutta puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä myös lisää arvioinnin epävarmuutta.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Todellisuudessa välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin geometrisella laskentamallilla, joka huomioi Auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot (Numerola Oy:n implementoitu malli). 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, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 1,5 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin 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 turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Laskennassa voimaloiden napakorkeus oli 175 m ja roottorin halkaisija 230 m. Voimalan lapaprofiilia on arvioitu voimalatyyppin Siemens Gamesa SG170 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden puolesta vastaamaan 230 m roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien 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 turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien 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 turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit 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 turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Auringonpaisteen todennäköisyyttä on arvioitu Jokioisten sääaseman mittausten [3] perusteella. Sääaseman mittauksista lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja on skaalattu auringonpaisteen todennäköisyydellä ja suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: 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	0,186	0,184	0,169	0,118	0,121	0,149

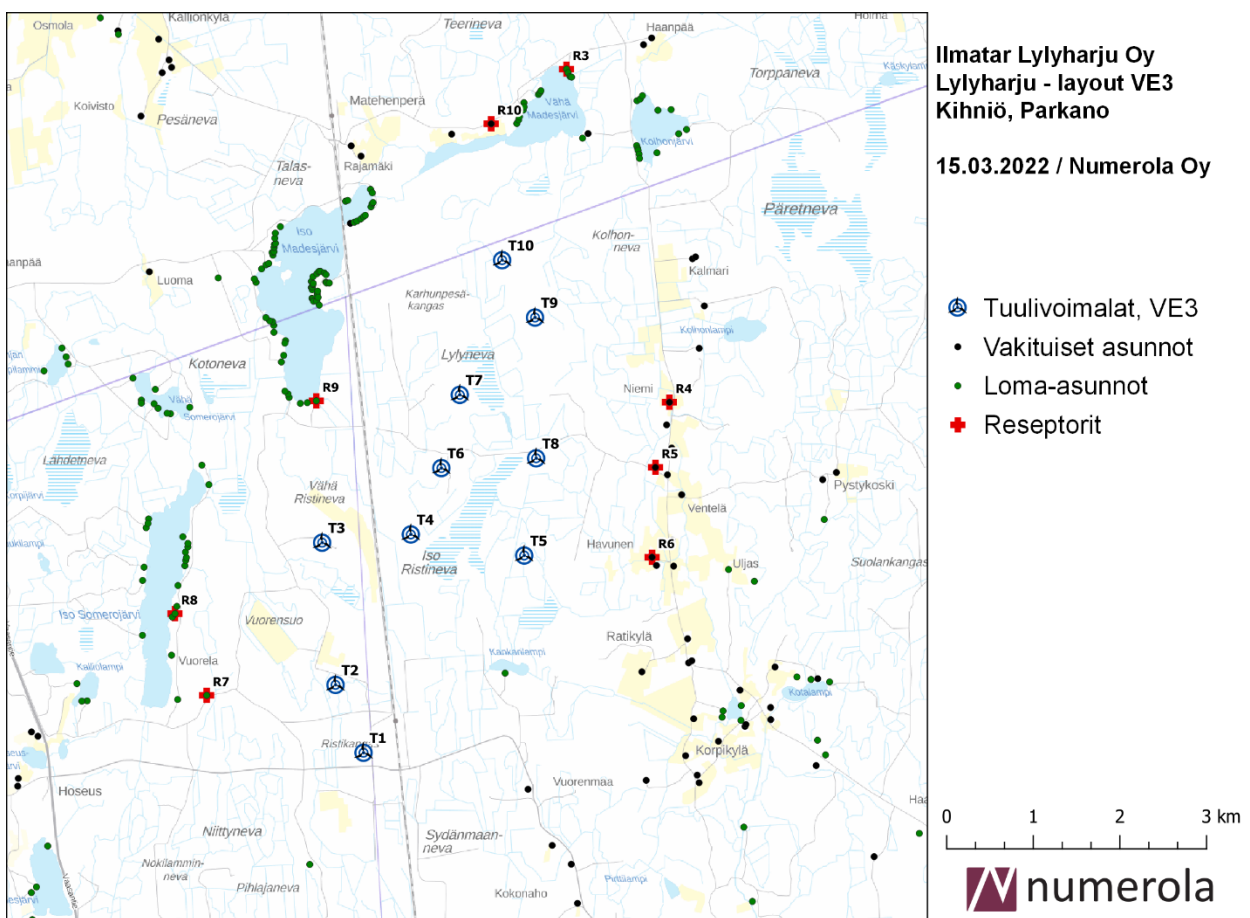
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,168
Helmikuu	0,317
Maaliskuu	0,359
Huhtikuu	0,441
Toukokuu	0,488
Kesäkuu	0,452
Heinäkuu	0,466
Elokuu	0,424
Syyskuu	0,361
Lokakuu	0,254
Marraskuu	0,171
Joulukuu	0,119

Taulukossa (Taulukko 4) on määritetty tuulivoimaloiden ympäristöstä kahdeksan vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2).

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R3	294832	6915427	144
R4	296021	6911583	146
R5	295859	6910831	146
R6	295820	6909794	142
R7	290676	6908200	173
R8	290310	6909143	153
R9	291942	6911599	146
R10	293962	6914796	147



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Lylyharjun tuulipuiston alueella.

3.2 Välkevaikutus

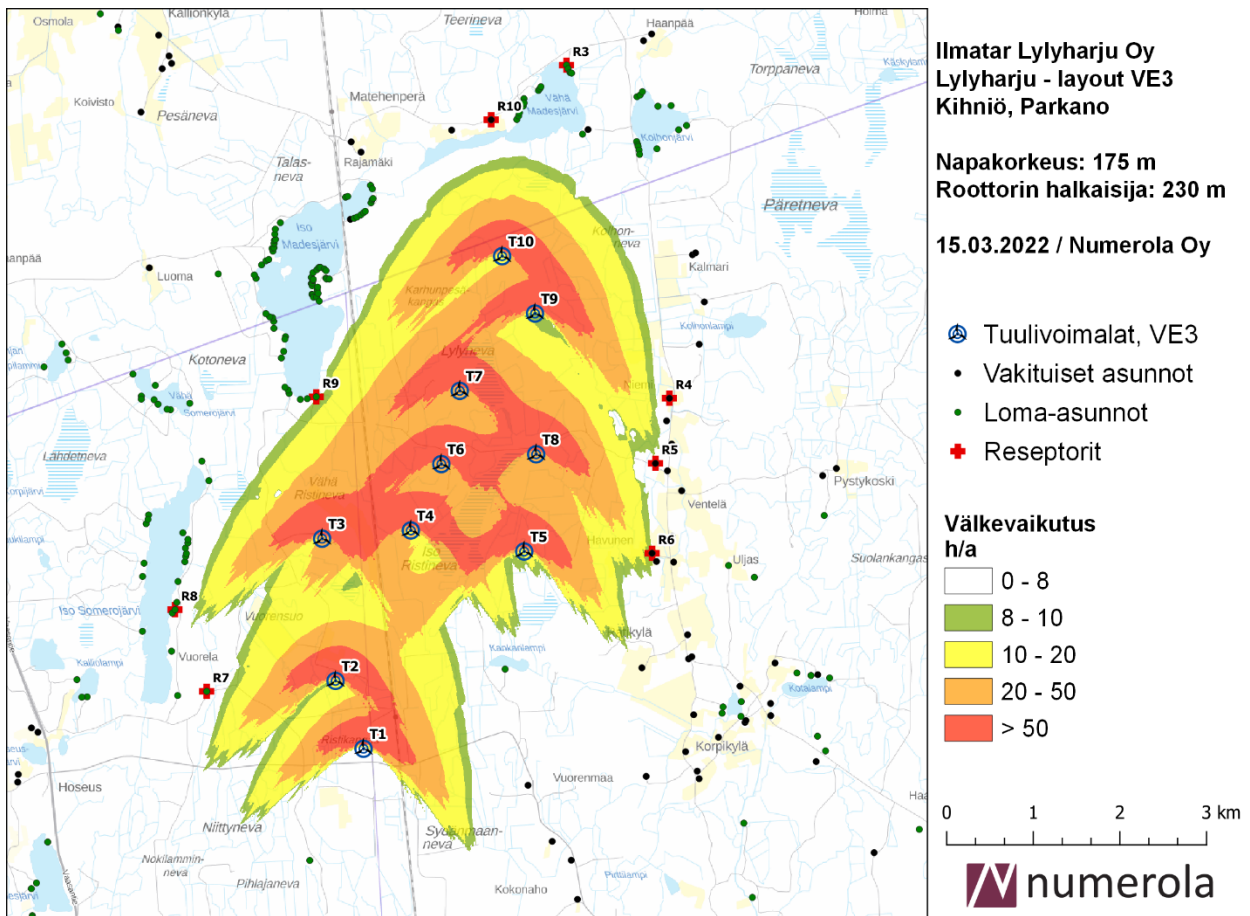
Mallinnetut arviot todellisten välketuntien määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Karttaan on merkitty reseptoripisteiden paikat. Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkeaika jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien tarkasteltavien loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

Korkeimmat vaikutusajat kohdistuvat vertailukiinteistöihin R5, R6 ja R9. Välkkeen tarkempi ajoittuminen vuoden- ja vuorokaudenaikojen suhteen näiden kiinteistöjen kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6- Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama vuotuinen välkevaikutus ja päiväkohtainen maksimivälke reseptoreiden kohdalla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi [min]
R3	0:43	1
R4	4:42	7
R5	7:14	9
R6	7:53	8
R7	4:39	8
R8	2:29	6
R9	7:24	7
R10	3:12	5



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston näkyvyyttä rajoittavaa vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	4	39	0	0	0	0:43
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26	0	0	0:27
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	15	103	0	0	1:58
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	1:01
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0:22
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	4	27	0	0	0:31
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	35	62	0	0	1:37
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0:35
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39	1:34	3:39	1:23	0:00	7:14

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	17	23	0	0	0:40
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	36	14	0	0	0:50
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	1:46
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0:49
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	0	2:26
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	77	4	0	0	1:21
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:10	0:42	5:01	0:00	7:53

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	25	36	0	0	0	0	0	1:01
Helmikuu	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0:41
Maaliskuu	0	0	0	3	53	0	0	0	0	0	0	0	0:56
Huhtikuu	0	0	3	72	0	0	0	0	0	0	0	0	1:14
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Elokuu	0	0	1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	1:01
Syyskuu	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0:34
Lokakuu	0	0	0	22	17	0	0	0	0	0	0	0	0:39
Marraskuu	0	0	0	0	10	45	0	0	0	0	0	0	0:55
Joulukuu	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0:23
Yhteensä	0:00	0:00	0:04	3:10	2:01	1:32	0:37	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:24

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Parkanon kaupungin ja Kihniön kunnan alueille suunnitellun Lylyharjun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevarjostusvaikutuksen laskennallinen arvio. Arvio on tehty 10 voimalan layout-suunnitelmalle VE3. Voimaloiden välkevaikutusten arvio tehtiin napakorkeudella 175 m ja roottorin halkaisijalla 230 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Päivittäinen maksimivälke aika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien kiinteistöjen 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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulusuusosuuksilla.

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.

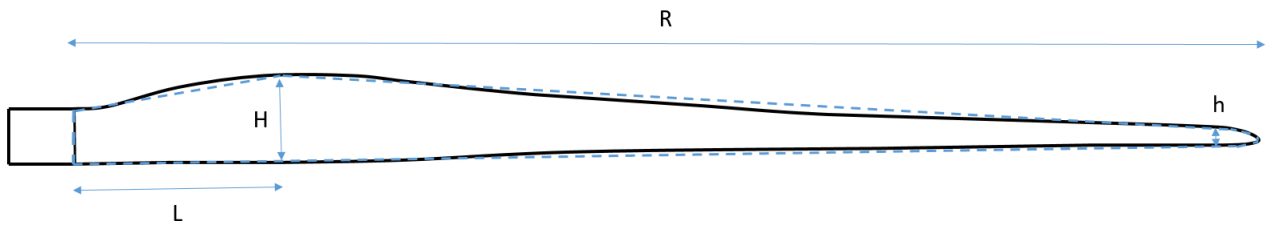
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin 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 turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin 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 on esitetty yksinkertaistettu 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 turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Laskennassa huomiotava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind Atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Ympäristöministeriö, 2016.