



wpd Suomi Oy

Kurvilanmäki

Tuulivoimapuiston välkesselvitys

15.11.2024

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 101025805-001.

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:

wpd Suomi Oy

Samuel Peltoniemi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Pinja Tikka

pinja.tikka@afry.com

Wind and Solar Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101025805-001

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	18.06.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	18.06.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen, kaksi layout-vaihtoehtoa
002	15.11.2024/ Pinja Tikka, Technical Consultant	15.11.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Päivitetty 23 voimalan layout

SISÄLLYS

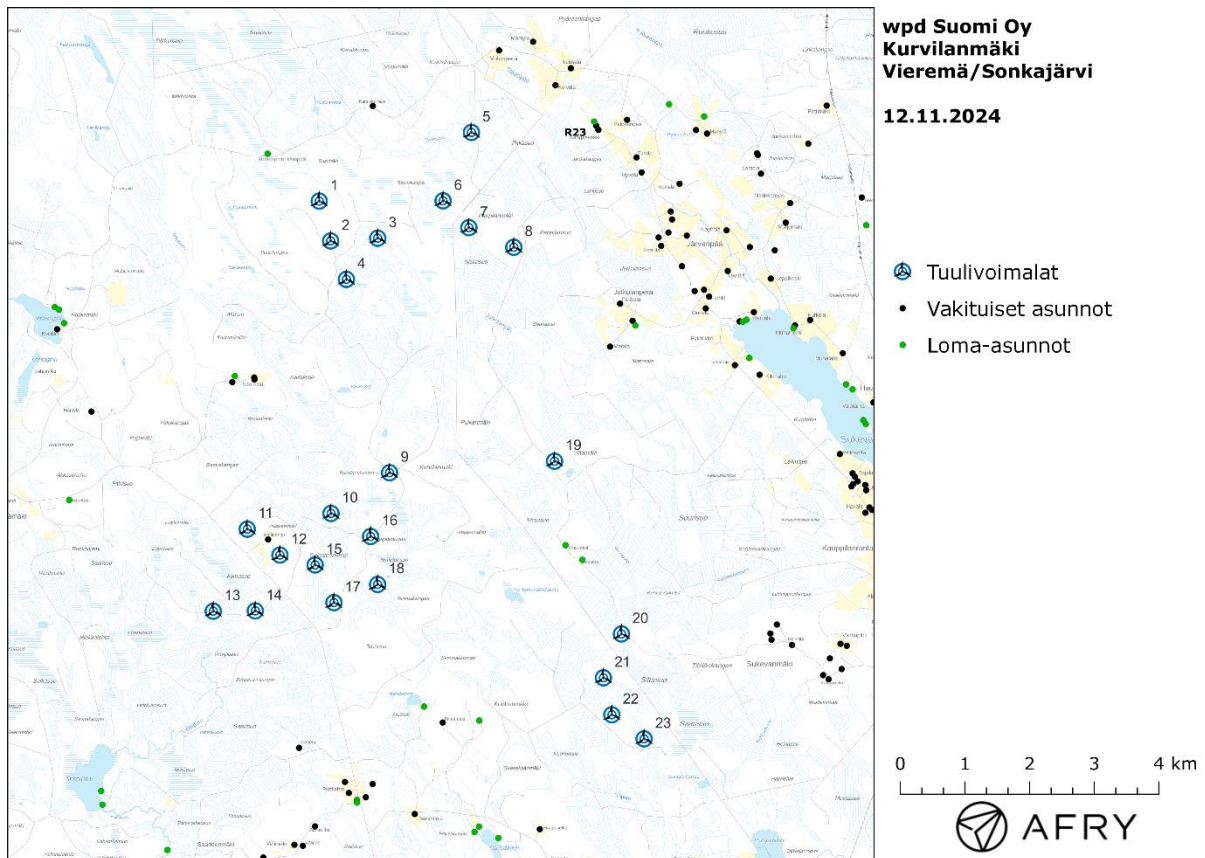
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjeavot	8
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	16
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	18
4	YHTEENVETO.....	21
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	22
6	VIITTEET	24

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Vieremän ja Sonkajärven kuntien alueelle suunnitellun Kurvilanmäen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty kaavaluonnoksen mukaiselle 23 voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 100 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Kurvilanmäen välkkeen yhteisvaikutuksia Myllykankaan ja Metsärinteen tuulivoimapuistojen kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4. Karttakuvissa on esitetty voimaloiden lähellä sijaitsevien asuntojen sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti. Alueen rakennukset käsitellään tarkemmin luvussa 3.1.



Kuva 1-1: Kaavaluonnoksen mukaiset tuulivoimaloiden sijainnit Kurvilanmäen hankealueella.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (23 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatissa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	510460	7088310	203
T2	510637	7087694	186
T3	511365	7087736	174
T4	510881	7087099	171
T5	512814	7089370	167
T6	512375	7088314	172
T7	512775	7087899	166
T8	513469	7087596	167
T9	511548	7084111	195
T10	510643	7083481	184
T11	509348	7083239	190
T12	509853	7082838	190
T13	508822	7081970	167
T14	509472	7081976	175
T15	510397	7082685	180
T16	511255	7083126	187
T17	510688	7082103	179
T18	511363	7082384	181
T19	514100	7084289	181
T20	515134	7081619	156
T21	514855	7080941	171
T22	514986	7080370	171
T23	515484	7079997	164

2 TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE

2.1 Välkevaikutus

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

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

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

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina 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 Siilinjärven 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]. Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia 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 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 Kurvilanmäen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 200 metrin roottorin halkaisijaa. 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 ajalliseksi 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 käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjotusaikoja Siilinjärven 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	0,192	0,173	0,153	0,142	0,131	0,148

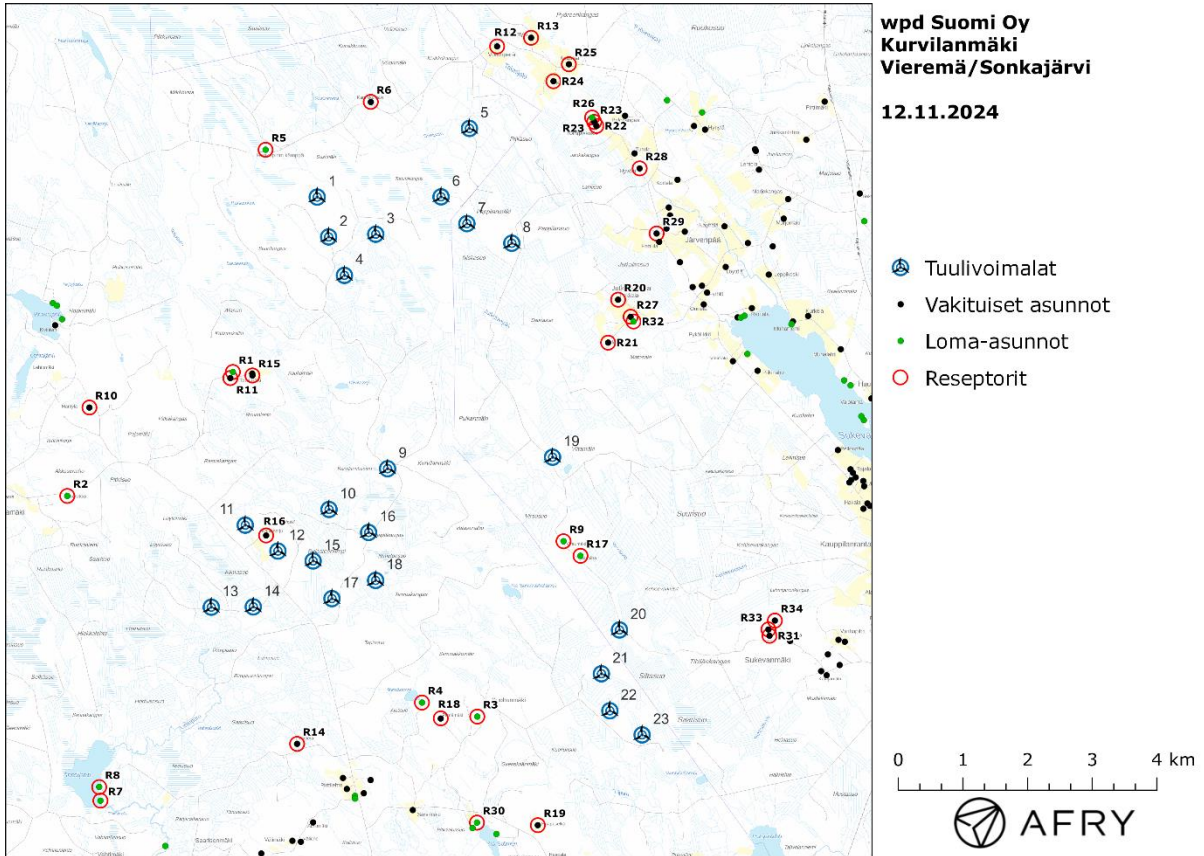
Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Siilinjärven sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,154
Helmikuu	0,262
Maaliskuu	0,332
Huhtikuu	0,432
Toukokuu	0,454
Kesäkuu	0,424
Heinäkuu	0,456
Elokuu	0,406
Syyskuu	0,299
Lokakuu	0,186
Marraskuu	0,108
Joulukuu	0,082

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 34 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 1,3-3,5 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R16, joka sijaitsee vain 300 metrin etäisyydellä voimalasta T12. Hankekehittäjältä tulleen tiedon mukaan kyseiseen rakennukseen tullaan tekemään käyttötarkoituksen muutos. Välkkeen ohjearovot koskevat ainoastaan asuin- ja lomarakennuksia.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	509157	7085603	195	lomarakennus
R2	506597	7083687	197	lomarakennus
R3	512937	7080277	235	lomarakennus
R4	512082	7080494	197	lomarakennus
R5	509663	7089038	204	lomarakennus
R6	511290	7089779	196	vakituinen asuinrakennus
R7	507110	7078978	153	lomarakennus
R8	507091	7079187	152	lomarakennus
R9	514271	7082987	188	lomarakennus
R10	506940	7085054	200	vakituinen asuinrakennus
R11	509118	7085510	196	vakituinen asuinrakennus
R12	513244	7090636	156	vakituinen asuinrakennus
R13	513769	7090769	151	vakituinen asuinrakennus
R14	510151	7079855	180	vakituinen asuinrakennus
R15	509460	7085549	206	vakituinen asuinrakennus
R16	509672	7083077	203	vakituinen asuinrakennus
R17	514533	7082762	176	lomarakennus
R18	512372	7080250	231	vakituinen asuinrakennus
R19	513873	7078598	209	vakituinen asuinrakennus
R20	515115	7086721	150	vakituinen asuinrakennus
R21	514960	7086057	151	vakituinen asuinrakennus
R22	514779	7089407	144	vakituinen asuinrakennus
R23	514745	7089469	146	vakituinen asuinrakennus
R24	514114	7090098	146	vakituinen asuinrakennus
R25	514353	7090360	144	vakituinen asuinrakennus
R26	514713	7089536	144	lomarakennus
R27	515308	7086457	145	vakituinen asuinrakennus
R28	515448	7088750	137	vakituinen asuinrakennus
R29	515710	7087744	141	vakituinen asuinrakennus
R30	512932	7078638	188	lomarakennus
R31	517456	7081526	191	vakituinen asuinrakennus
R32	515353	7086384	145	lomarakennus
R33	517439	7081624	191	vakituinen asuinrakennus
R34	517539	7081761	185	vakituinen asuinrakennus



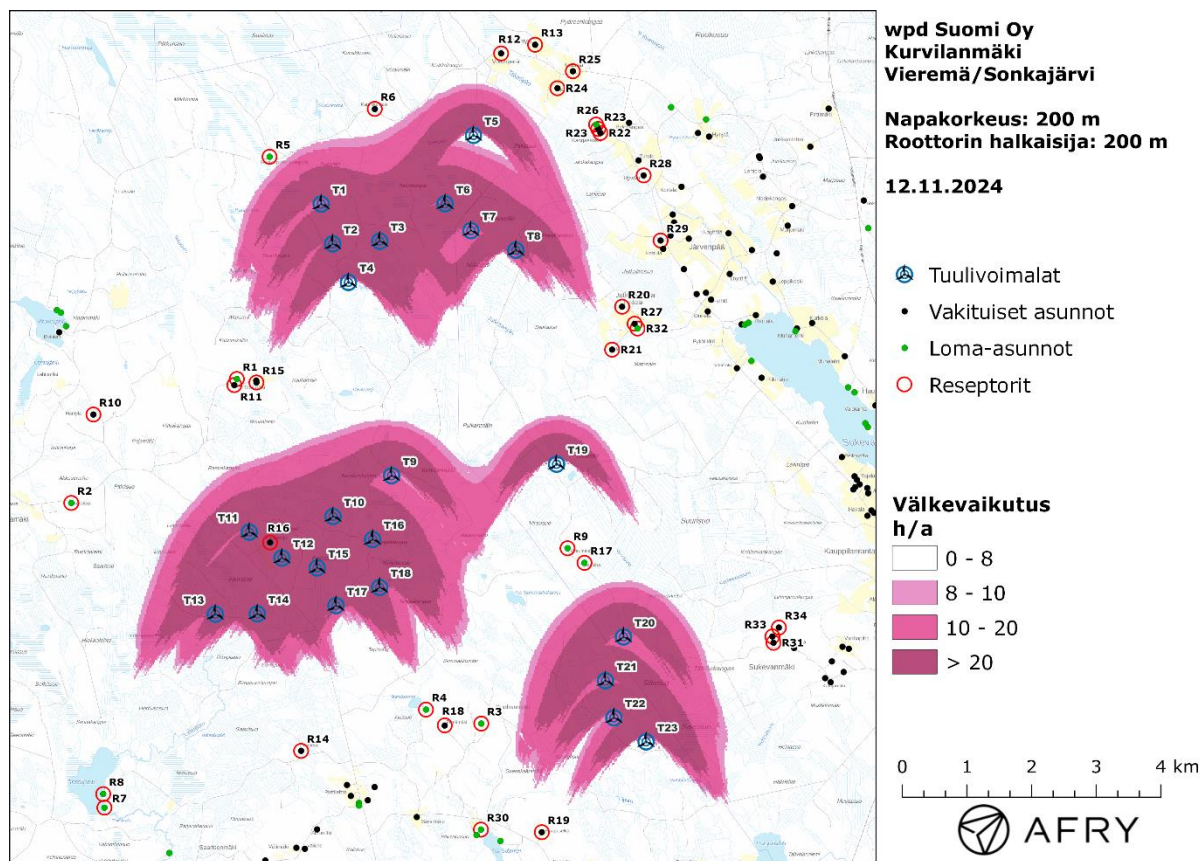
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kurvilanmäen tuulivoimapuiston hankealueen läheisyydessä.

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 ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon reseptorin R16 kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kyseisen rakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset vuotuiset sekä päiväkohtaiset välkevaikutukset pysyvät alle ohjearvojen. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R5 ja R16 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 3-5 ja Taulukko 3-6). Taulukoissa 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	0:53	0:03
R2	0:00	0:00
R3	1:11	0:04
R4	1:03	0:03
R5	5:19	0:08
R6	4:23	0:08
R7	0:00	0:00
R8	0:00	0:00
R9	1:35	0:04
R10	0:00	0:00
R11	1:21	0:03
R12	2:27	0:06
R13	1:04	0:03
R14	0:00	0:00
R15	2:54	0:05
R16	102:04	0:47
R17	3:24	0:06
R18	0:00	0:00
R19	1:27	0:04
R20	1:46	0:05
R21	1:49	0:03
R22	1:03	0:04
R23	1:03	0:04
R24	1:47	0:05
R25	0:44	0:04
R26	1:03	0:04
R27	1:12	0:03
R28	0:16	0:02
R29	0:21	0:02
R30	0:00	0:00
R31	0:29	0:02
R32	1:06	0:03
R33	0:18	0:02
R34	0:14	0:02

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	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:27	0:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:46
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26
Huhtikuu	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
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:14
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	0:00	0:00	0:00	4:55	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:19

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R16 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	0:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	1:29	1:17	0:00	0:00	0:00	0:00	3:47
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:28	6:06	4:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	10:55
Huhtikuu	0:00	0:00	0:19	0:58	6:40	9:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	17:17
Toukokuu	0:00	0:00	5:43	0:00	4:27	6:50	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	17:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:52	0:00	1:27	1:08	0:00	0:00	0:00	2:50	0:00	0:00	6:17
Heinäkuu	0:00	0:00	4:07	0:00	2:12	4:51	0:00	0:00	0:00	0:50	0:00	0:00	12:01
Elokuu	0:00	0:00	2:32	0:07	4:59	9:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	17:24
Syyskuu	0:00	0:00	0:06	1:18	7:01	4:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	12:35
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:29	1:15	0:05	0:22	0:36	0:00	0:00	0:00	0:00	2:48
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
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	0:00	13:39	3:20	35:08	40:32	3:41	2:04	0:00	3:40	0:00	0:00	102:04

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-7). Mallinuksissa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän reseptorin kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen välke aika ylittää Saksan 30 minuutin päiväkohtaisen raja-arvon viiden reseptorin kohdalla.

Teoreettisen välkevaikutuksen laskentaperiaate on käyty läpi kappaleessa 2.1. 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 viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittumistaulukosta reseptorin R5 (Taulukko 3-8) kohdalla nähdään, että välkettä esiintyy erityisesti loka-helmikuussa, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa hyvinkin alhainen. Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

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

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimi	Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimi
R1	5:52	0:11	R18	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	R19	5:12	0:14
R3	5:13	0:15	R20	7:09	0:19
R4	4:08	0:13	R21	10:12	0:17
R5	39:26	0:43	R22	6:14	0:15
R6	30:33	0:48	R23	6:21	0:16
R7	0:00	0:00	R24	11:07	0:27
R8	0:00	0:00	R25	4:53	0:18
R9	16:08	0:27	R26	6:25	0:16
R10	0:00	0:00	R27	5:45	0:13
R11	8:00	0:13	R28	1:49	0:11
R12	21:22	0:36	R29	1:55	0:11
R13	8:02	0:22	R30	0:00	0:00
R14	0:00	0:00	R31	2:49	0:10
R15	15:30	0:21	R32	5:18	0:13
R16	459:25	3:32	R33	1:38	0:11
R17	33:31	0:39	R34	1:18	0:09

Taulukko 3-8: 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	0:56	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:56
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	9:21	2:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:31
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	7:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:17
Huhtikuu	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
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:00	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	15:31	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	15:31
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	3:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:47
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	0:00	0:00	0:00	36:22	3:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	39:26

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kurvilanmäen ja läheisten suunnitteilla olevien Metsärinteen ja Myllykankaan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Metsärinteeseen on suunnitteilla kolme voimalaa ja lähin niistä sijaitsee noin kuuden kilometrin etäisyydellä Kurvilanmäen voimaloista. Myllykankaaseen on suunnitteilla 12 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin 2,5-3,5 km etäisyydellä Kurvilanmäen voimaloista.

Välkemallinnuksessa Metsärinteen voimaloille on käytetty napakorkeutta 165 m ja roottorin halkaisijaa 170 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty Siemens Gamesa SG170 valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lavan profiilitietoa, jonka levein kohta on 4,5 m. Myllykankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiilina on käytetty samaa lavan profiilitietoa kuin Kurvilanmäen voimaloille.

Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-9-Taulukko 3-10).

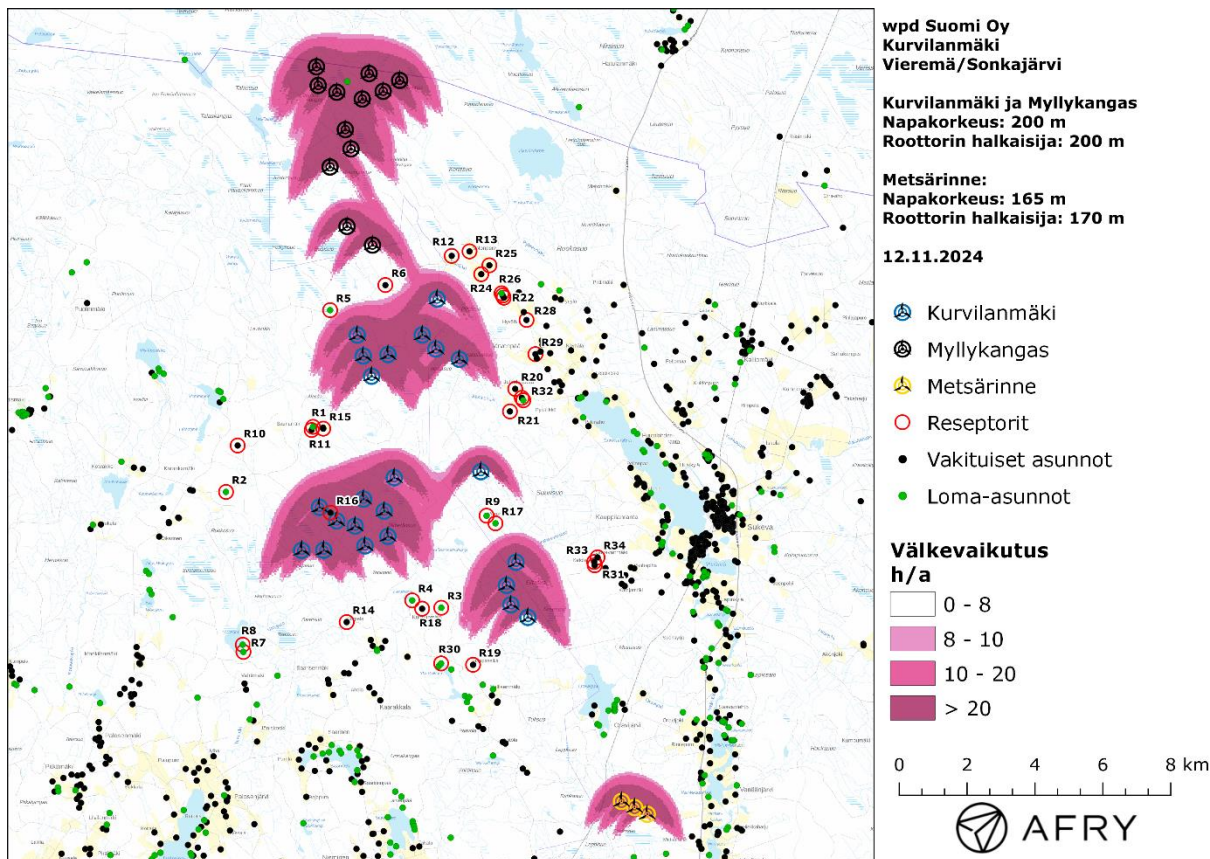
Taulukko 3-9: Metsärinteen (3 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
MR1	519002	7074202	161
MR2	518627	7074400	181
MR3	518242	7074580	183

Taulukko 3-10: Myllykankaan (12 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	509258	7096210	199
M2	509308	7095660	192
M3	509858	7095460	184
M4	510608	7095260	184
M5	510808	7096010	179
M6	511708	7095810	169
M7	511223	7095488	172
M8	510108	7094360	187
M9	510275	7093792	179
M10	509658	7093260	185
M11	510158	7091510	197
M12	510908	7090960	192

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-3). Todennäköiset väleajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on lisätty taulukossa (Taulukko 3-11). Mallinnusten perusteella välkkeen yhteisvaikutuksia esiintyy reseptorin R12 kohdalla. Myllykankaan voimalat nostavat vuotuista todennäköistä välevaikutusta 22 minuuttia ja teoreettista välevaikutusta 1 h 35 min. Muiden reseptorien kohdalla Kurvilanmäen, Metsärinteen ja Myllykankaan voimaloista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.



Kuva 3-3: Kurvilanmäen, Myllykankaan ja Metsärinteen tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-11: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kurvilanmäen tuulivoimapuiston sekä naapuripuistojen voimat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:53	0:03	5:52	0:11
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	1:11	0:04	5:13	0:15
R4	1:03	0:03	4:08	0:13
R5	5:19	0:08	39:26	0:43
R6	4:23	0:08	30:33	0:48
R7	0:00	0:00	0:00	0:00
R8	0:00	0:00	0:00	0:00
R9	1:35	0:04	16:08	0:27
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	1:21	0:03	8:00	0:13
R12	2:49	0:06	22:57	0:36

R13	1:04	0:03	8:02	0:22
R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	2:54	0:05	15:30	0:21
R16	102:04	0:47	459:25	3:32
R17	3:24	0:06	33:31	0:39
R18	0:00	0:00	0:00	0:00
R19	1:27	0:04	5:12	0:14
R20	1:46	0:05	7:09	0:19
R21	1:49	0:03	10:12	0:17
R22	1:03	0:04	6:14	0:15
R23	1:03	0:04	6:21	0:16
R24	1:47	0:05	11:07	0:27
R25	0:44	0:04	4:53	0:18
R26	1:03	0:04	6:25	0:16
R27	1:12	0:03	5:45	0:13
R28	0:16	0:02	1:49	0:11
R29	0:21	0:02	1:55	0:11
R30	0:00	0:00	0:00	0:00
R31	0:29	0:02	2:49	0:10
R32	1:06	0:03	5:18	0:13
R33	0:18	0:02	1:38	0:11
R34	0:14	0:02	1:18	0:09

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Vieremän ja Sonkajärven kuntien alueelle suunnitellun Kurvilanmäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty kaavaluonnoksen mukaiselle 23 voimalan suunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Kurvilanmäen ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnusten mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon yhden reseptorin (R16) kohdalla. Myös päiväkohtainen maksimivälkeaja ylittää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kyseisen reseptorin kohdalla. Hankehittäjältä tulleen tiedon mukaan tälle rakennukselle tullaan tekemään käyttötarkoituksen muutos, jolloin sitä ei koske välkkeen ohjearvot. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla todennäköiset välkeajat pysyvät alle ohjearvojen.

Teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon neljän reseptorin kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon viiden reseptorin kohdalla.

Välkkeen yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella Kurvilanmäen, Metsärinteen ja Myllykankaan voimaloista aiheutuu vain vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta eikä niistä aiheudu välkkeen raja-arvojen ylityksiä.

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.

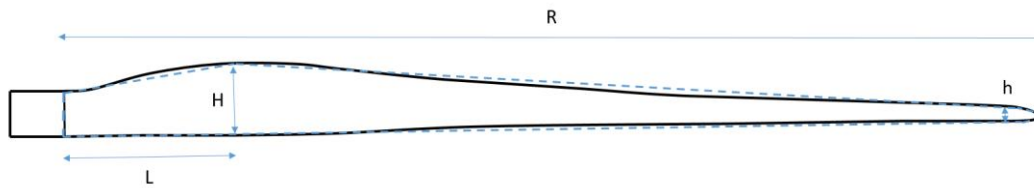
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.