

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

KOLSA-JUVANSUO – LAITILA JA MYNÄMÄKI

MIKA LAITINEN

12.04.2022

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kolsa-Juvansuo – Laitila ja Mynämäki
TV-2022-607-2, 12.04.2022

Asiakas

Mika Manninen
Sweco Finland Oy

Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy
mika.laitinen@numerola.fi

Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen avoimien aineistojen käyttölupien 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 Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueelle suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille. Tuulivoimaloiden aiheuttamat välkevaikutukset lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 200 m ja napakorkeutta 200 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	12.04.2022		Mika Laitinen

Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on laadittu raportissa mainitun vastaanottajan (Asiakas) käyttöön.

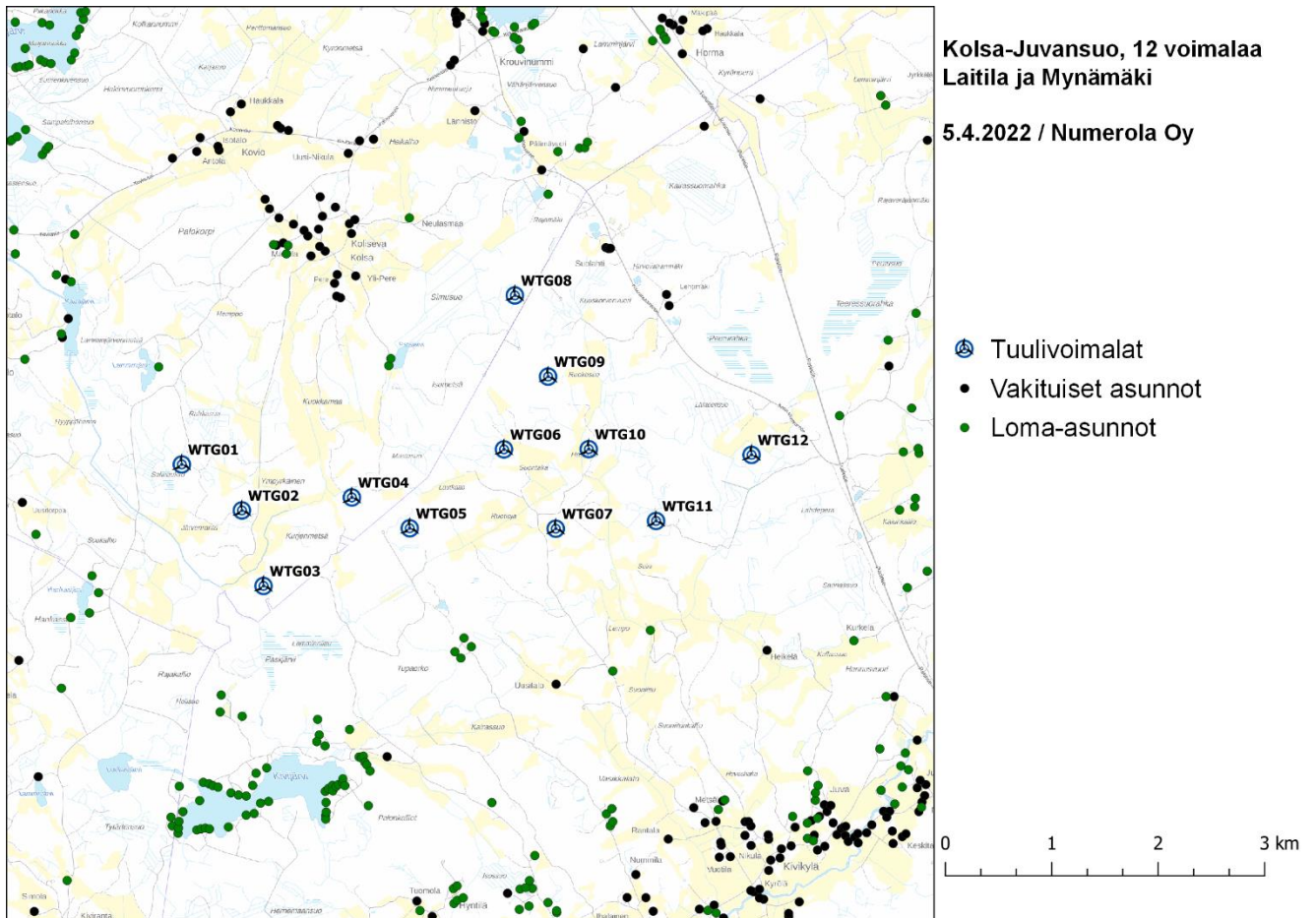
Asiakas voi käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit ja maanomistajat) on myös sallittu.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Välkevaikutus	11
3.3	Puuston väkettä vähentävä vaikutus	17
4	Yhteenveto	20
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	21
6	Viitteet	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueille suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille. Molemmissa sijoitussuunnitelmissa voimaloiden koordinaatit ovat samat lukuun ottamatta voimalaa WTG08, jota ei ole 11 voimalan suunnitelmassa. 12 voimalan sijoitussuunnitelma on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m ja napakorkeutta 200 m.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston 12 voimalan sijoitussuunnitelmalla. 11 voimalan sijoitussuunnitelmasta puuttuu voimala WTG08 ja muiden voimaloiden koordinaatit ovat samat molemmissa suunnitelmissa.

Taulukko 1: Kolsa-Juvansuon 12 voimalan sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. 11 voimalan sijoitusuunnitelma ei sisällä voimalaa WTG08.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	216270	6746640	23
WTG02	216835	6746208	31
WTG03	217038	6745498	25
WTG04	217869	6746330	37
WTG05	218413	6746040	36
WTG06	219299	6746782	33
WTG07	219786	6746036	31
WTG08	219401	6748229	38
WTG09	219714	6747466	39
WTG10	220096	6746784	30
WTG11	220729	6746109	35
WTG12	221627	6746730	45

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

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

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

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

Tämän selvityksen väkelaskenta perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

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 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.

Välkemallinnukset on tehty sekä ilman puuston vaikutusta että huomioiden paikallisen puuston vaikutus turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, mikä lisää arvioinnin epävarmuutta. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa myös käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistyksiä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen.

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

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välke-tilanteen 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.

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 väkelaskennan 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 väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin SG170 6,6 MW lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Lapaprofiilia on skaalattu pidemmäksi että leveämmäksi. Skaalatun lavan maksimisileveys on 4,7 m. Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. 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. Todennäköisen välkevaikutuksen 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 välkymistä 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).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Turun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). 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	0,182	0,176	0,151	0,126	0,129	0,174

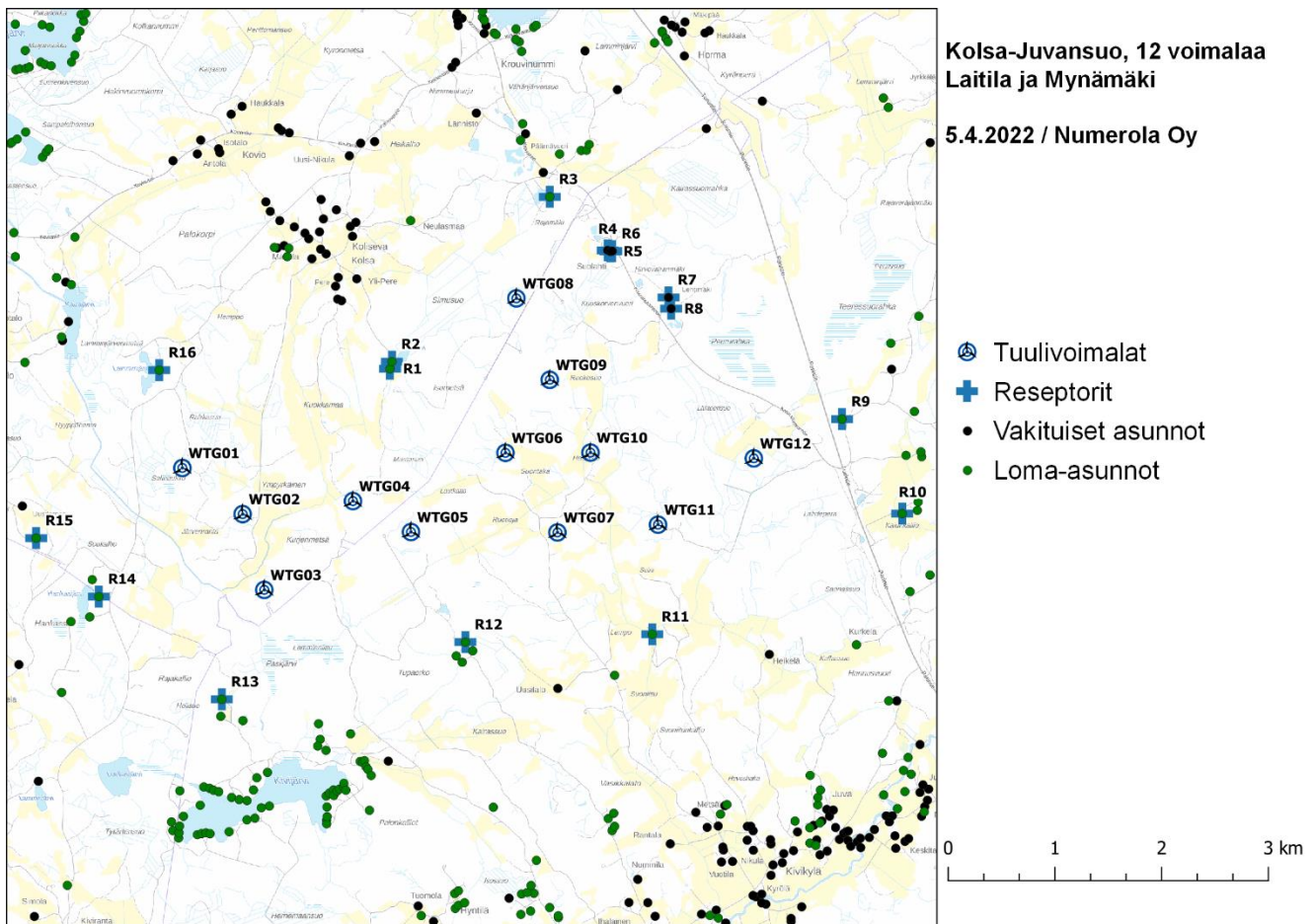
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Turun sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,195
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,366
Huhtikuu	0,464
Toukokuu	0,529
Kesäkuu	0,484
Heinäkuu	0,510
Elokuu	0,474
Syyskuu	0,402
Lokakuu	0,284
Marraskuu	0,172
Joulukuu	0,151

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 16 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Pisteet sijaitsevat lähimmillään noin 0,9–1,5 km etäisyydellä voimaloista. Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	218217	6747568	31	loma-asunto
R2	218236	6747634	32	loma-asunto
R3	219715	6749179	39	loma-asunto
R4	220258	6748677	42	vakituinen asuinrakennus
R5	220283	6748668	43	vakituinen asuinrakennus
R6	220301	6748670	43	vakituinen asuinrakennus
R7	220828	6748236	43	vakituinen asuinrakennus
R8	220853	6748131	43	vakituinen asuinrakennus
R9	222455	6747096	40	loma-asunto
R10	223019	6746211	36	loma-asunto
R11	220676	6745080	27	loma-asunto
R12	218924	6745007	33	loma-asunto
R13	216641	6744471	33	loma-asunto
R14	215488	6745433	31	loma-asunto
R15	214900	6745981	31	loma-asunto
R16	216054	6747555	30	loma-asunto



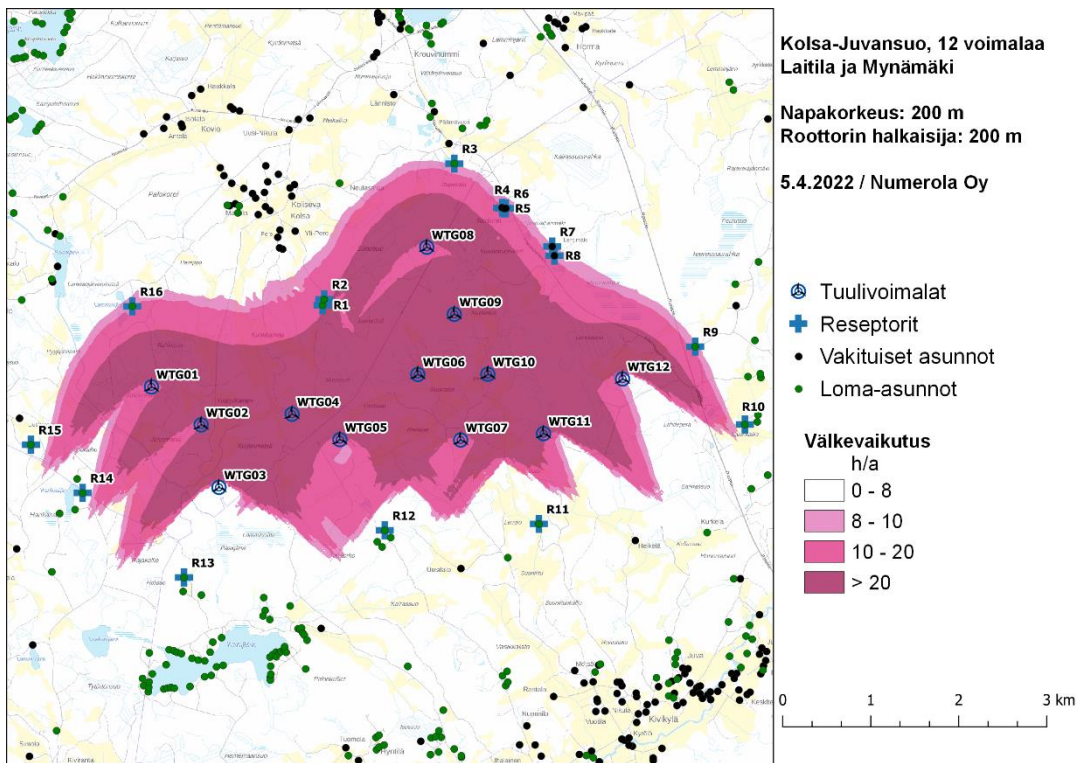
Kuva 2: Reseptoreiden paikat Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston alueella.

3.2 Välkevaikutus

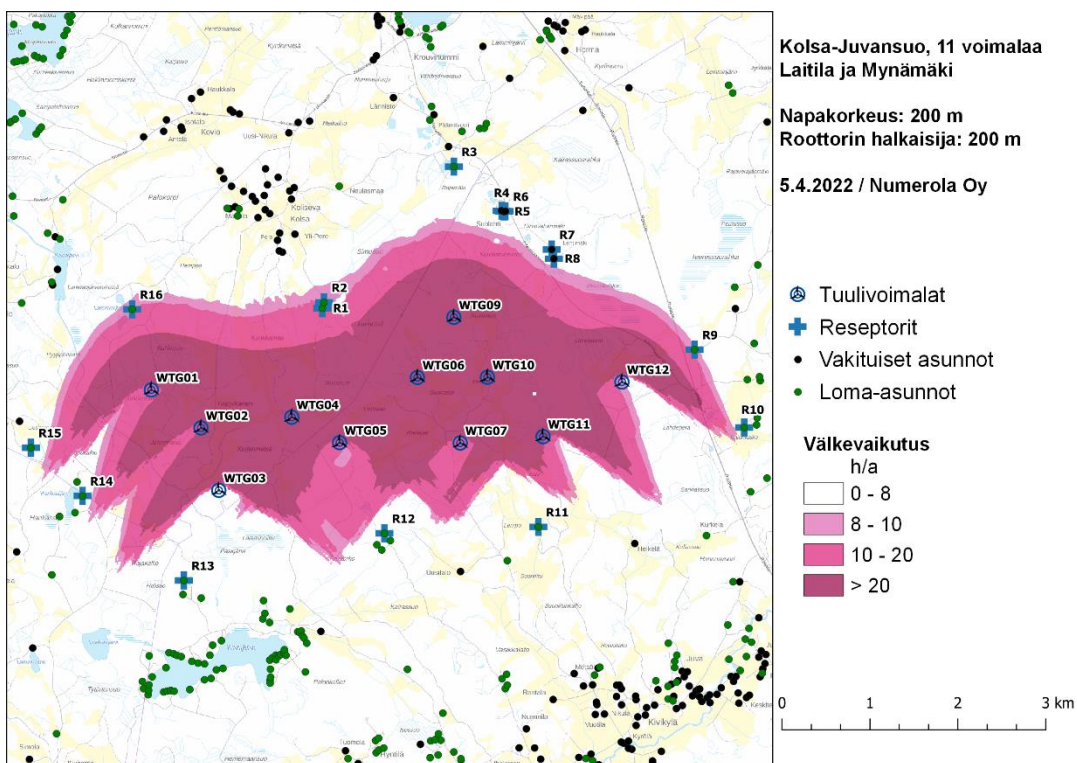
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 3 ja Kuva 4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Vuotuiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). 12 voimalan sijoitussuunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon 9 asunnon kohdalla (reseptorit R1–R2, R4–R9 ja R16). Näistä asunnoista viiden kohdalla (R1–R2 ja R4–R6) myös 10 tunnin ohjearvo ylittyy. 11 voimalan sijoitussuunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon neljän asunnon kohdalla (reseptorit R1–R2, R9 ja R16). Näistä asunnoista kahden kohdalla (R1–R2) myös 10 tunnin ohjearvo ylittyy.

Suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 6). Molemmilla sijoitussuunnitelmissa päiväkohtainen välke aika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla.



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä 12 voimalan suunnitelmalle ilman puuston vaikutusta.



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä 11 voimalan suunnitelmalle ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	12 voimalaa [h:min]	11 voimalaa [h:min]
R1	17:50	11:24
R2	16:53	10:17
R3	6:30	0:33
R4	10:44	4:24
R5	10:32	4:25
R6	10:13	4:20
R7	8:21	5:51
R8	9:19	6:46
R9	8:45	8:45
R10	4:43	4:43
R11	0:00	0:00
R12	2:58	2:58
R13	1:17	1:17
R14	5:12	5:12
R15	4:19	4:19
R16	9:43	9:43

Taulukko 6: Suurin päiväkohtainen välke minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	12 voimalaa [min]	11 voimalaa [min]
R1	12	7
R2	11	7
R3	10	2
R4	13	7
R5	13	6
R6	13	6
R7	7	7
R8	7	7
R9	16	16
R10	9	9
R11	0	0
R12	4	4
R13	4	4
R14	9	9
R15	9	9
R16	12	12

Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden R1, R4, R9 ja R16 on esitetty taulukoissa (Taulukko 7–Taulukko 10). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina 12 voimalan suunnitelmalla reseptorin R1 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	1	0	66	66	0	0	0	0	2:13
Helmikuu	0	0	0	0	77	0	1	36	21	0	0	0	2:14
Maaliskuu	0	0	0	36	20	0	0	0	14	0	0	0	1:10
Huhtikuu	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0:14
Toukokuu	0	0	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3:05
Kesäkuu	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:12
Heinäkuu	0	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2:32
Elokuu	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:36
Syyskuu	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0:52
Lokakuu	0	0	0	0	77	0	0	20	11	0	0	0	1:49
Marraskuu	0	0	0	0	9	1	106	9	0	0	0	0	2:05
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0:48
Yhteensä	0:00	0:00	6:26	1:42	3:05	0:01	3:41	2:10	0:45	0:00	0:00	0:00	17:50

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina 12 voimalan suunnitelmalla reseptorin R4 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	10	20	50	0	0	0	0	1:21
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0:52
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	185	0	0	0	3:05
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0:02
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	167	0	0	0	2:47
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	8	26	0	0	0	0:34
Marraskuu	0	0	0	0	0	9	3	70	0	0	0	0	1:22
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0:40
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	1:04	3:00	6:20	0:00	0:00	0:00	10:44

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin R9 kohdalla. Välkevaikutus on sama 11 ja 12 voimalan suunnitelmille.

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	1	0	0	0	0:01
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	179	9	0	0	3:08
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	1:12
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	239	10	0	0	4:09
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0:15
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	8:27	0:19	0:00	0:00	8:45

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin R16 kohdalla. Välkevaikutus on sama 11 ja 12 voimalan suunnitelmille.

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	88	89	0	0	0	0	0	2:57
Helmikuu	0	0	0	0	12	26	106	0	0	0	0	0	2:25
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	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	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	12	48	0	0	0	0	0	0	1:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	173	4	0	0	0	0	0	2:58
Joulukuu	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0:24
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	6:00	3:19	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:43

3.3 Puuston välkettä vähentävä vaikutus

Karttakuvissa (Kuva 5 ja Kuva 6) on esitetty todennäköisen vuotuisen välkkeen mallinnus, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan. Laskennassa puustodatana on käytetty Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2019 (© Luonnonvarakeskus, 2021). Mallinnusten perusteella puusto rajoittaa merkittävästi Kolsa-Juvansuon voimaloiden näkyvyyttä ja siten vähentää välkevaikutusta.

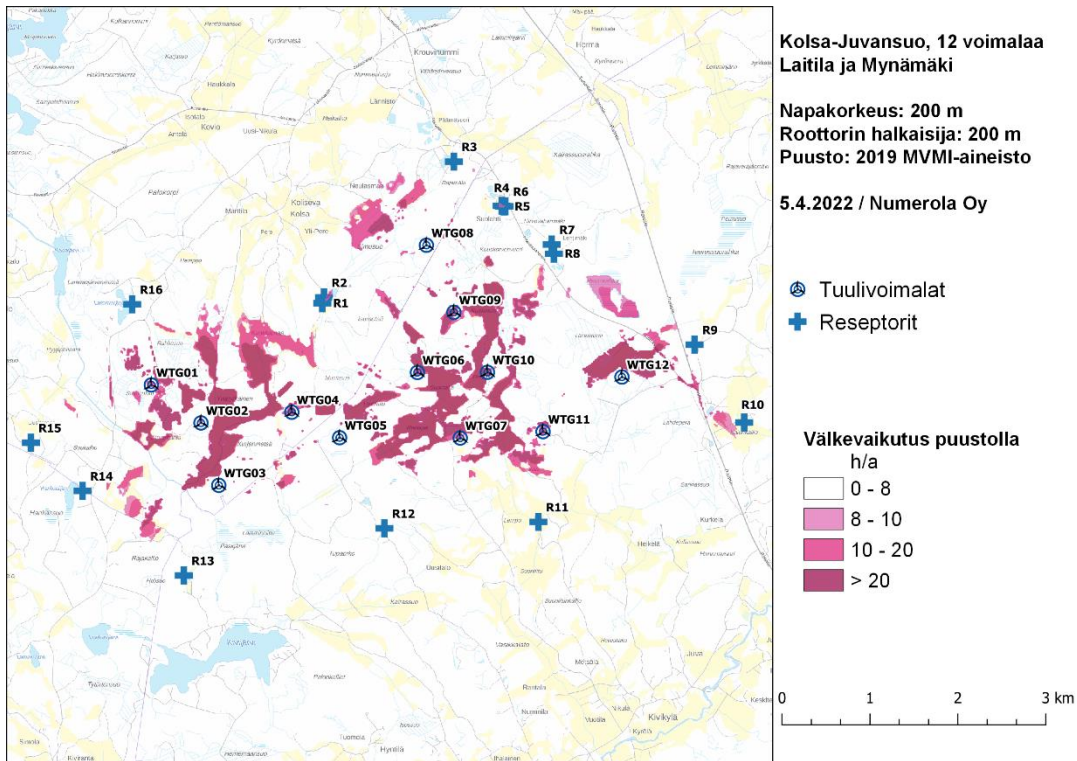
Puuston huomioivat vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 11 ja Taulukko 12). Kun puusto huomioidaan, 12 voimalan suunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus jää alle 10 tunnin kaikkien asuntojen kohdilla, mutta 8 tunnin välkevaikutus ylittyy vielä kahden asunnon kohdalla. 11 voimalan suunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus jää kaikkien asuntojen kohdilla jää alle 8 tunnin, kun puusto huomioidaan.

Taulukko 11: Vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla, kun puusto huomioidaan.

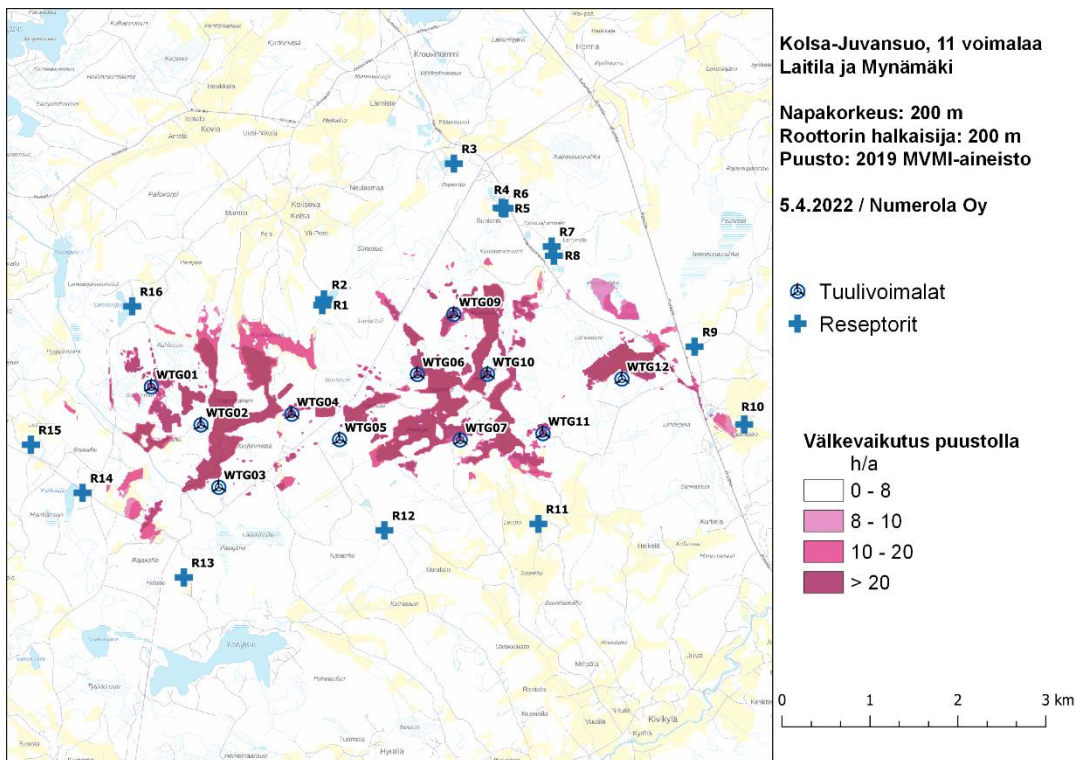
Reseptori	12 voimalaa [h:min]	11 voimalaa [h:min]
R1	0:46	0:46
R2	1:45	1:45
R3	0:00	0:00
R4	8:31	2:11
R5	8:15	2:09
R6	7:54	2:02
R7	1:15	1:15
R8	1:19	0:16
R9	0:00	0:00
R10	0:00	0:00
R11	0:00	0:00
R12	0:00	0:00
R13	0:00	0:00
R14	0:00	0:00
R15	0:00	0:00
R16	0:00	0:00

Taulukko 12: Suurin päiväkohtainen välke minuutteina reseptoreiden kohdilla, kun puusto huomioidaan.

Reseptori	12 voimalaa [min]	11 voimalaa [min]
R1	5	5
R2	6	6
R3	0	0
R4	13	7
R5	13	6
R6	13	6
R7	3	3
R8	5	2
R9	0	0
R10	0	0
R11	0	0
R12	0	0
R13	0	0
R14	0	0
R15	0	0
R16	0	0



Kuva 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä 12 voimalan suunnitelmalla, kun puusto huomioidaan.



Kuva 6: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä 11 voimalan suunnitelmalla, kun puusto huomioidaan.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueelle suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arvio. Vaikutusten arvio on tehty 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m.

12 voimalan sijoitussuunnitelmalla vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon 9 vakituisen tai vapaa-ajan asunnon kohdalla. 11 voimalan ssuunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon neljän asunnon kohdalla. Päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien asuntojen kohdilla. Puuston huomioivan välkemallinnuksen perusteella puusto rajoittaa Rajavuoren voimaloiden välkevaikutusta merkittävästi. Kun puusto huomioidaan, 12 voimalan suunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon kahden asunnon kohdalla. 11 voimalan suunnitelmalla vuotuinen välkevaikutus jää kaikkien asuntojen kohdilla alle 8 tunnin, kun puusto huomioidaan.

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 peittämissä 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.

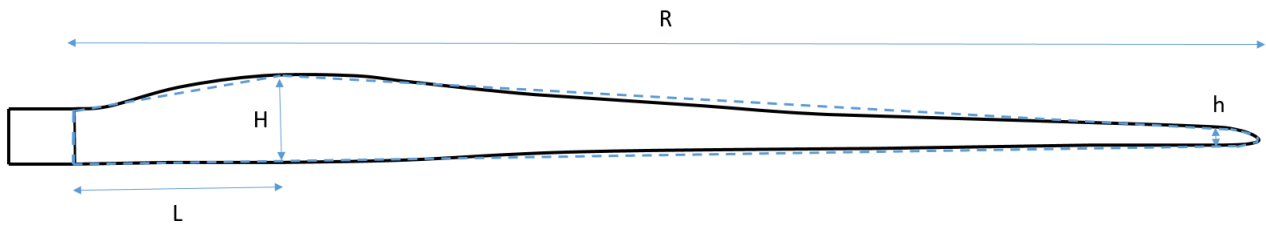
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 (Kuva 7) 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 7: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajalta saatua profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan 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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016.