

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

MULTIA – NIKARA

MIKA LAITINEN

11.01.2021

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Multia – Nikara
TV-2020-549-2, 11.01.2021

Raportin tekijät

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

Vastaanottaja

Heini Passoja
Sitowise Oy

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Multian kunnan Nikaran alueelle suunnitellun tuulivoimahankkeen tuulivoimaloiden aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Välkevaikutuksia arvioidaan 29 voimalan layout-suunnitelmalle VE1 ja 20 voimalan layout-suunnitelmalle VE2. Tuulivoimaloiden välkevaikutus lasketaan käyttäen roottorin halkaisijaa 180 m ja napakorkeutta 160 m. Välkevaikutus lasketaan sekä ilman puustoa että puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Erkki Heikkola

Versiohistoria

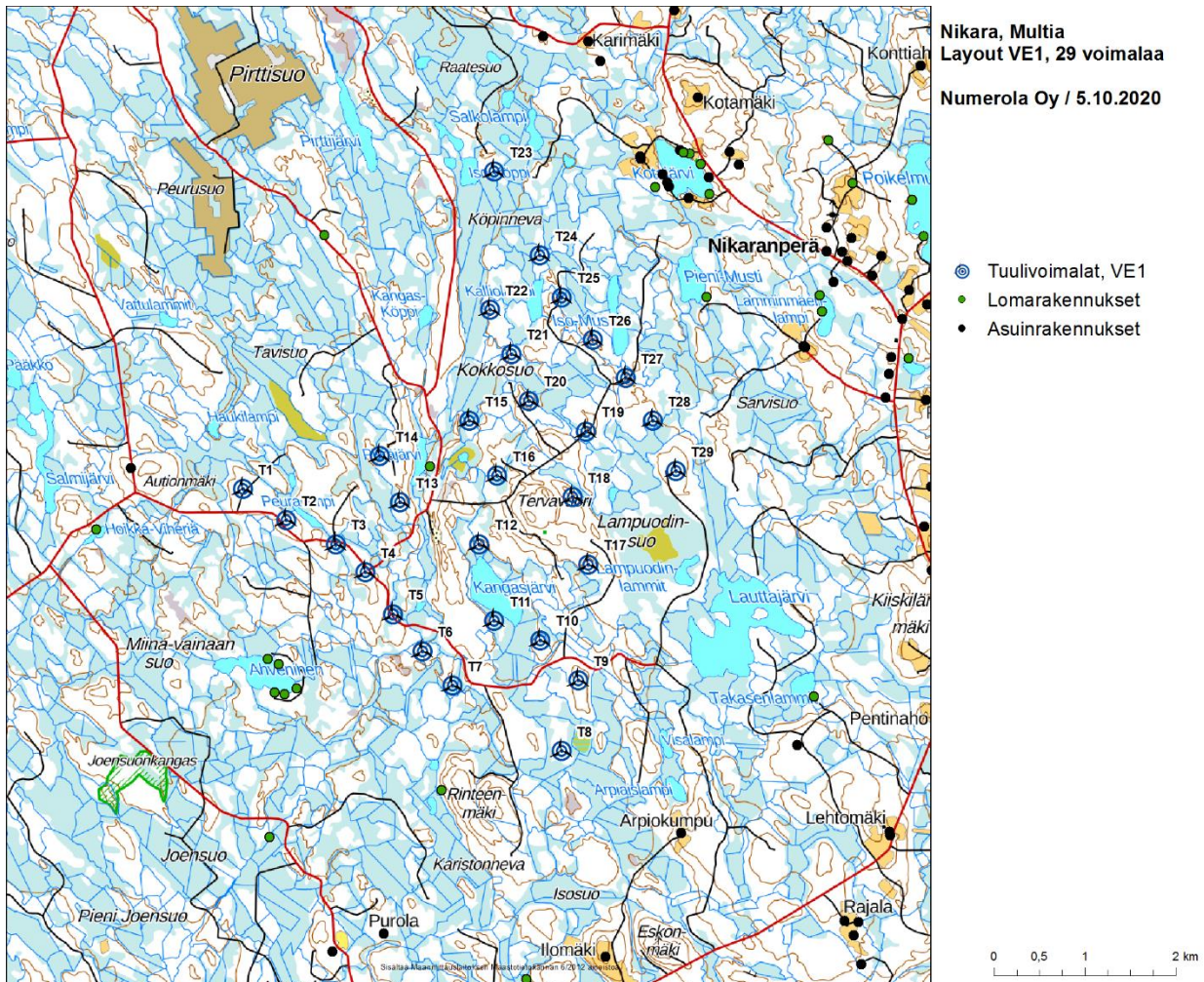
Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	22.10.2020		Mika Laitinen
01	11.01.2021	Lisätty välkemallinnus puustolla	Mika Laitinen

Sisällysluettelo

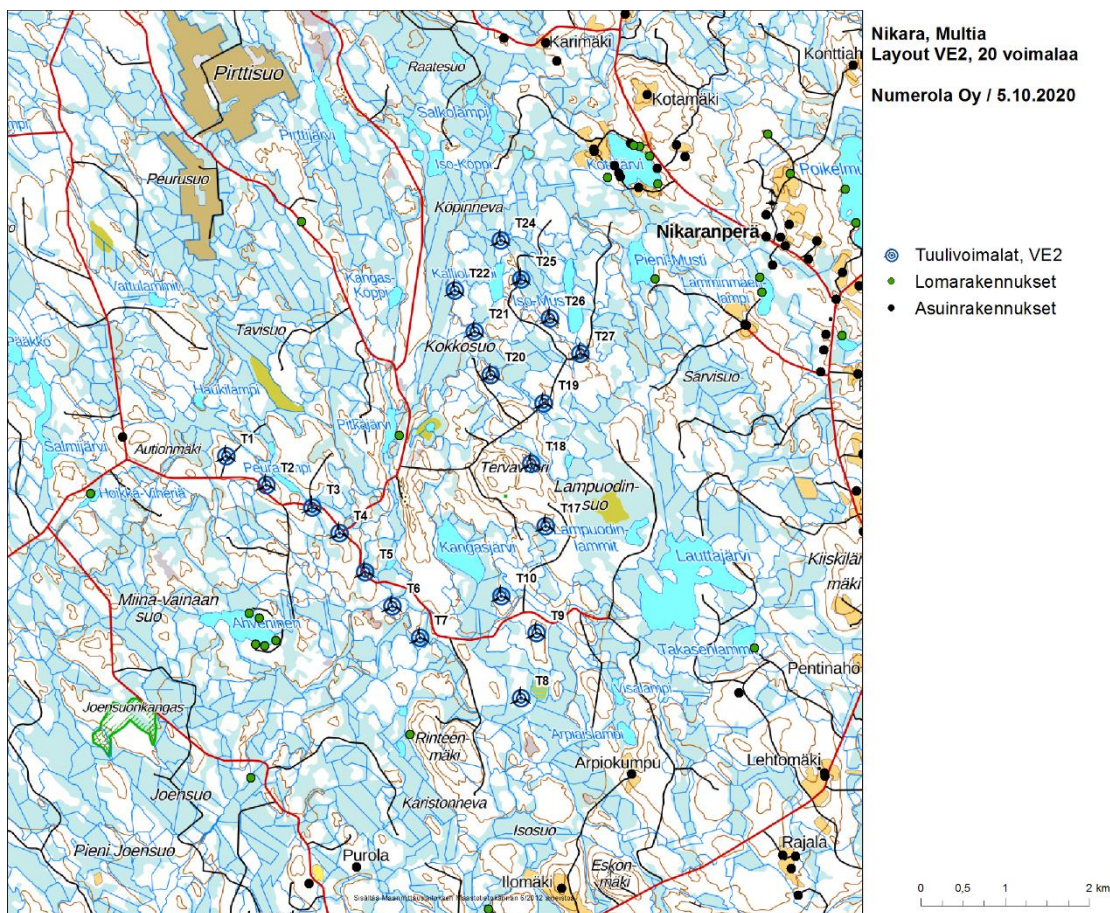
1	Johdanto	3
2	Tuulivoimaloiden välke.....	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Ohjearvot.....	6
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	7
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	7
3.2	Välkevaikutus.....	10
3.3	Välkevaikutus puusto huomioiden	14
4	Yhteenveto	17
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	18
6	Viitteet	20

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Multian kunnan alueelle suunnitellun Nikaran tuulivoimahankkeen tuulivoimaloiden aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään kahdelle eri layout-suunnitelmalle. Layout VE1:n 29 voimalaa on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Layout VE2 sisältää 20 voimalaa suunnitelmasta VE1. Suunnitelma VE2 on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 2). Mallinuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 180 m ja napakorkeutta 160 m.



Kuva 1: Nikaran tuulivoimahankkeen voimalat, layout-suunnitelma VE1.



Kuva 2: Nikaran tuulivoimahankkeen voimalat, layout-suunnitelma VE2.

Taulukko 1: Nikaran layout-suunnitelma VE1: voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	397323	6932742	249
T2	397800	6932398	249
T3	398343	6932136	238
T4	398666	6931825	234
T5	398973	6931368	215
T6	399297	6930961	211
T7	399627	6930583	208
T8	400826	6929864	220
T9	401011	6930640	226
T10	400594	6931081	213
T11	400087	6931293	210
T12	399922	6932134	212
T13	399049	6932595	230

T14	398829	6933102	226
T15	399814	6933493	220
T16	400118	6932887	227
T17	401120	6931913	241
T18	400948	6932652	265
T19	401096	6933373	240
T20	400464	6933712	241
T21	400274	6934224	221
T22	400038	6934712	225
T23	400086	6936230	222
T24	400584	6935308	230
T25	400828	6934849	230
T26	401172	6934382	231
T27	401530	6933963	230
T28	401829	6933492	236
T29	402085	6932938	250

Taulukko 2: Nikaran layout-suunnitelma VE2: voimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	397323	6932742	249
T2	397800	6932398	249
T3	398343	6932136	238
T4	398666	6931825	234
T5	398973	6931368	215
T6	399297	6930961	211
T7	399627	6930583	208
T8	400826	6929864	220
T9	401011	6930640	226
T10	400594	6931081	213
T17	401120	6931913	241
T18	400948	6932652	265
T19	401096	6933373	240
T20	400464	6933712	241
T21	400274	6934224	221
T22	400038	6934712	225
T24	400584	6935308	230
T25	400828	6934849	230
T26	401172	6934382	231
T27	401530	6933963	230

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 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia väkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen väketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välke-tilanteen laskentaa. Mikäli väketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan välkevaikutuksien ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa analysoitu välkevaikutus vastaa todellista odotettavissa olevaa väketuntimäärää, ja näin ollen suunnitteluohjearvona käytetään 8 tai 10 tuntia.

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 voimaloille on käytetty napakorkeutta 160 m, roottorin halkaisijaa 180 m ja lapaprofiilia, jonka maksimileveys on 4,3 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 1,57 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Välkevaikutuksen 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 korkeammissa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuva valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 150 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3).

Paikallinen pilvisyys on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Jyväskylän sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 4). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3: 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	0,170	0,196	0,166	0,132	0,117	0,146

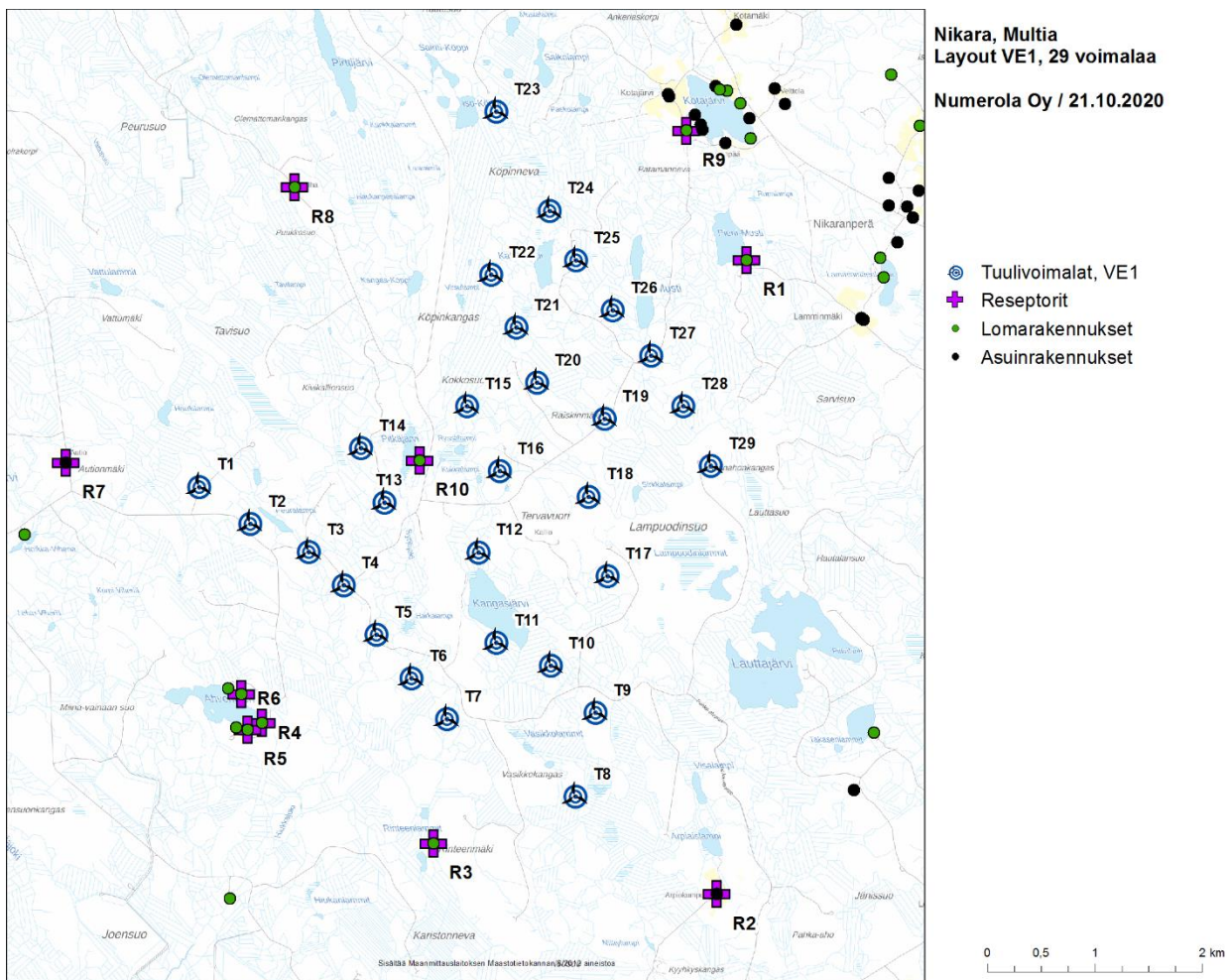
Taulukko 4: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Jyväskylän sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,290
Maaliskuu	0,345
Huhtikuu	0,419
Toukokuu	0,464
Kesäkuu	0,416
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,402
Syyskuu	0,310
Lokakuu	0,191
Marraskuu	0,119
Joulukuu	0,088

Taulukossa (Taulukko 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 10 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptori R10 sijaitsee noin 500 m etäisyydellä lähimmästä voimalasta ja reseptorit R1–R9 sijaitsevat lähimmillään noin 1,2–2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 5: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	402416	6934854	218	lomarakennus
R2	402135	6928961	242	vakituinen asuinrakennus
R3	399498	6929432	210	lomarakennus
R4	397905	6930554	202	lomarakennus
R5	397769	6930490	206	lomarakennus
R6	397711	6930821	203	lomarakennus
R7	396081	6932970	246	vakituinen asuinrakennus
R8	398210	6935530	236	lomarakennus
R9	401851	6936056	224	lomarakennus
R10	399370	6932992	214	lomarakennus

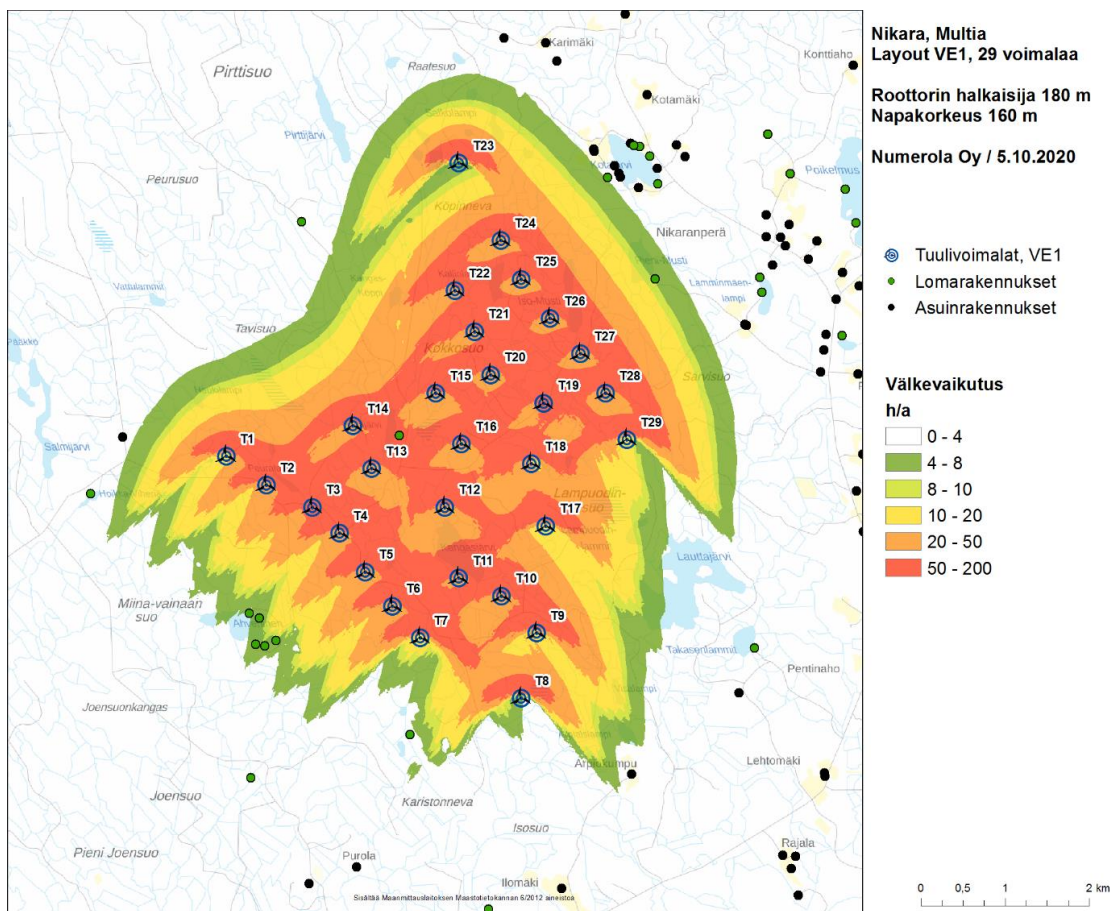


Kuva 3: Reseptoreiden paikat Nikaran tuulivoimahankkeen alueella.

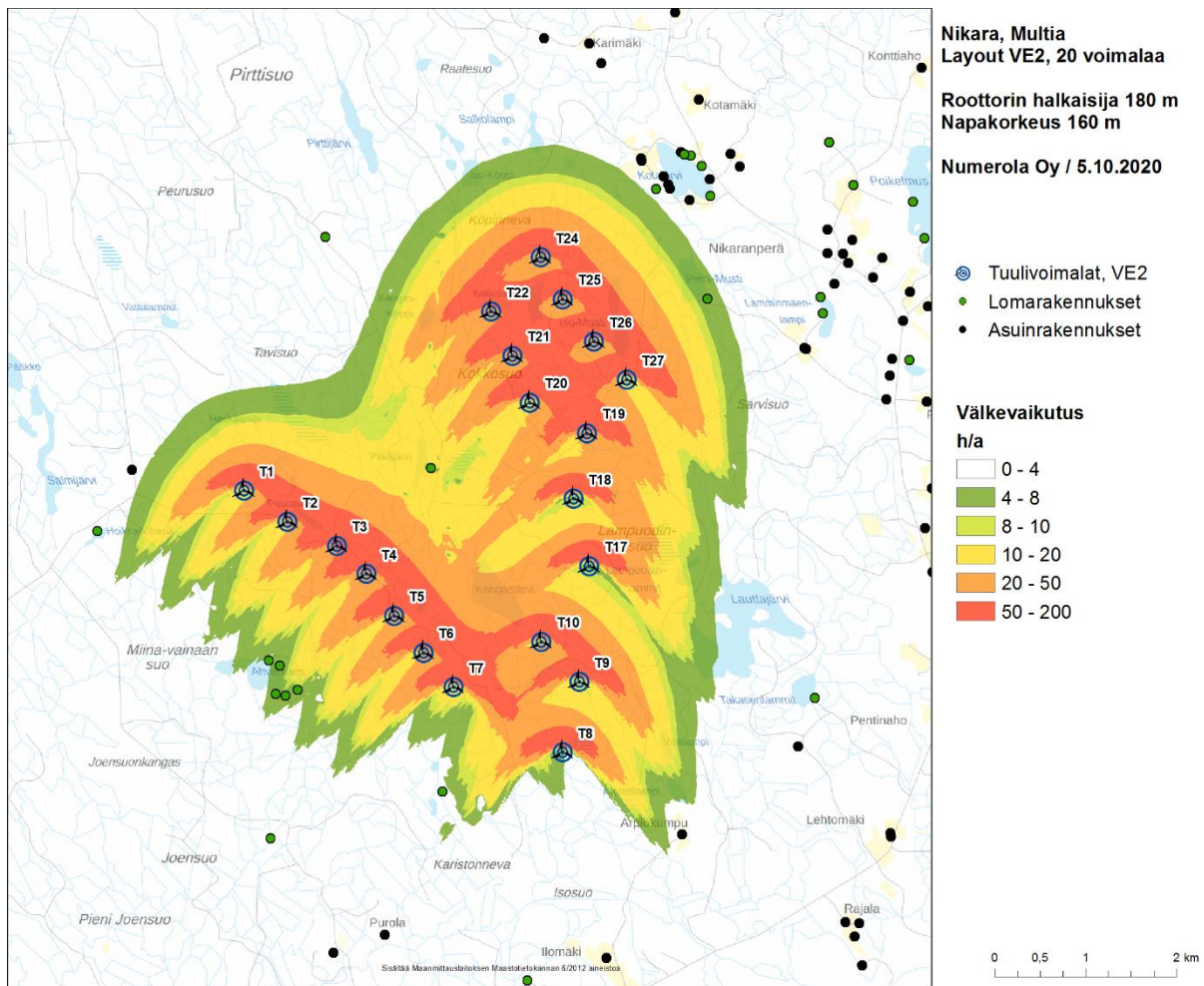
3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 4 ja Kuva 5). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja. Maastotietokantaan lomarakennuksena merkittyä Tervavuoren alueella sijaitsevaa rakennusta ei ole tarkasteltu mallinnuksessa, koska se on metsästyskäyttöä tukeva tukkilaiskämpä.

Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ylittää 10 tunnin ohjearvon kiinteistön R10 kohdalla molemmilla layout-suunnitelmilla. Alueen muiden asuinrakennusten ja loma-asuntojen kohdilla vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon molemmilla layout-suunnitelmilla. Layout-suunnitelmalla VE1 suurin päiväkohtainen välkeaika ylittää 30 minuutin ohjearvon vain kiinteistön R10 kohdalla. Layout-suunnitelmalla VE2 päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen rakennusten kohdalla. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kiinteistöjen R1, R4 ja R10 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 7–Taulukko 12). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE1 ilman puuston vaikutusta.



Kuva 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE2 ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutus reseptoreiden kohdilla.

Kiinteistö	Vuotuinen välke aika VE1 [h:min]	Suurin päiväkohtainen välke aika VE1 [min]	Vuotuinen välke aika VE2 [h:min]	Suurin päiväkohtainen välke aika VE2 [min]
R1	7:32	6	5:58	6
R2	1:59	5	1:59	5
R3	0:00	0	0:00	0
R4	7:16	9	7:02	9
R5	6:54	8	6:46	9
R6	5:40	8	5:33	8
R7	2:44	6	2:44	6
R8	0:57	3	0:24	2
R9	3:48	4	3:09	4
R10	73:49	32	13:12	12

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R1 kohdalla, layout-suunnitelma VE1.

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	47	1	0	0	0	0	0:48
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	8	93	3	0	0	0	1:44
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	77	6	0	0	1:24
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	26	7	0	0	0:33
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	12	4	0	0	0:16
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	38	10	0	0	0:48
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	43	27	0	0	0	1:11
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	33	11	0	0	0	0	0:45
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0:05
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:33	2:29	3:04	0:27	0:00	0:00	7:32

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R1 kohdalla, layout-suunnitelma VE2.

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	93	3	0	0	0	1:36
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	77	6	0	0	1:24
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	26	7	0	0	0:33
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	12	4	0	0	0:16
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	38	10	0	0	0:48
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	43	27	0	0	0	1:11
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0:10
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	2:27	3:05	0:27	0:00	0:00	5:58

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R4 kohdalla, layout-suunnitelma VE1.

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	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	1:04
Toukokuu	0	0	0	43	11	0	0	0	0	0	0	0	0:54
Kesäkuu	0	0	0	0	143	0	0	0	0	0	0	0	2:23
Heinäkuu	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	0	0	1:22
Elokuu	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	1:15
Syyskuu	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0:17
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	3:19	3:57	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:16

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R4 kohdalla, layout-suunnitelma VE2.

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	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0:57
Toukokuu	0	0	0	43	11	0	0	0	0	0	0	0	0:54
Kesäkuu	0	0	0	0	143	0	0	0	0	0	0	0	2:23
Heinäkuu	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	0	0	1:22
Elokuu	0	0	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	1:09
Syyskuu	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0:17
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	3:06	3:56	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:02

Taulukko 11: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R10 kohdalla, layout-suunnitelma VE1.

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	4	16	38	13	0	0	0	0	1:12
Helmikuu	0	0	0	1	101	29	7	200	0	0	0	0	5:39
Maaliskuu	0	0	0	28	6	0	12	416	33	0	0	0	8:14
Huhtikuu	0	0	0	327	0	0	0	6	24	103	0	0	7:40
Toukokuu	0	0	0	6	44	0	0	0	170	412	0	0	10:32
Kesäkuu	0	0	0	8	155	0	0	0	110	232	0	0	8:26
Heinäkuu	0	0	0	2	125	0	0	0	178	365	0	0	11:10
Elokuu	0	0	0	217	0	0	0	0	78	233	0	0	8:49
Syyskuu	0	0	0	103	0	0	7	211	10	0	0	0	5:31
Lokakuu	0	0	0	1	47	15	4	213	12	0	0	0	4:52
Marraskuu	0	0	0	0	17	14	16	24	0	0	0	0	1:12
Joulukuu	0	0	0	0	0	7	26	0	0	0	0	0	0:33
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	11:35	8:19	1:21	1:50	18:04	10:16	22:25	0:00	0:00	73:49

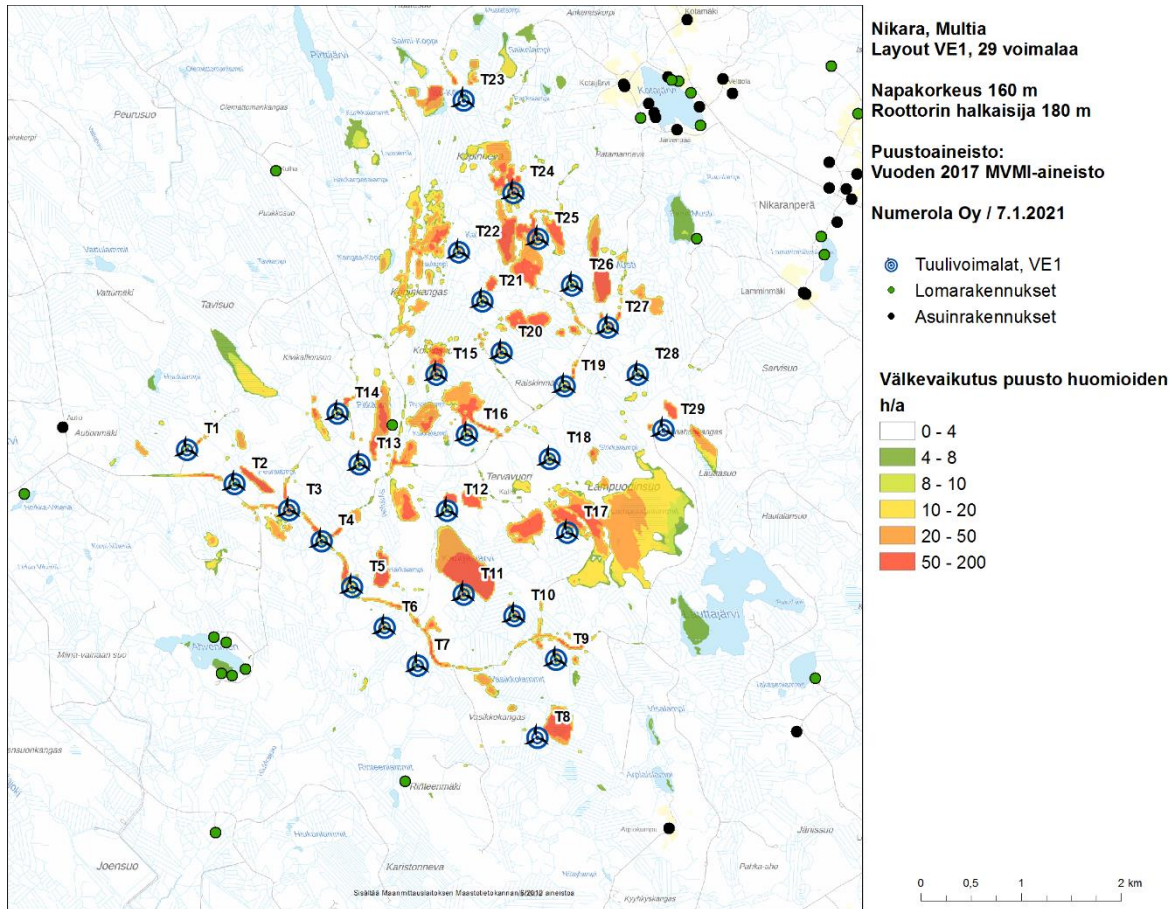
Taulukko 12: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön R10 kohdalla, layout-suunnitelma VE2.

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	3	2	38	13	0	0	0	0	0:57
Helmikuu	0	0	0	1	1	0	5	97	0	0	0	0	1:45
Maaliskuu	0	0	0	24	6	0	0	0	33	0	0	0	1:03
Huhtikuu	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0:32
Toukokuu	0	0	0	2	44	0	0	0	0	0	0	0	0:46
Kesäkuu	0	0	0	6	158	0	0	0	0	0	0	0	2:44
Heinäkuu	0	0	0	3	125	0	0	0	0	0	0	0	2:07
Elokuu	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0:29
Syyskuu	0	0	0	24	0	0	0	0	10	0	0	0	0:33
Lokakuu	0	0	0	1	4	0	0	42	12	0	0	0	0:60
Marraskuu	0	0	0	0	2	0	16	24	0	0	0	0	0:43
Joulukuu	0	0	0	0	0	7	26	0	0	0	0	0	0:33
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	2:01	5:43	0:09	1:26	2:58	0:55	0:00	0:00	0:00	13:12

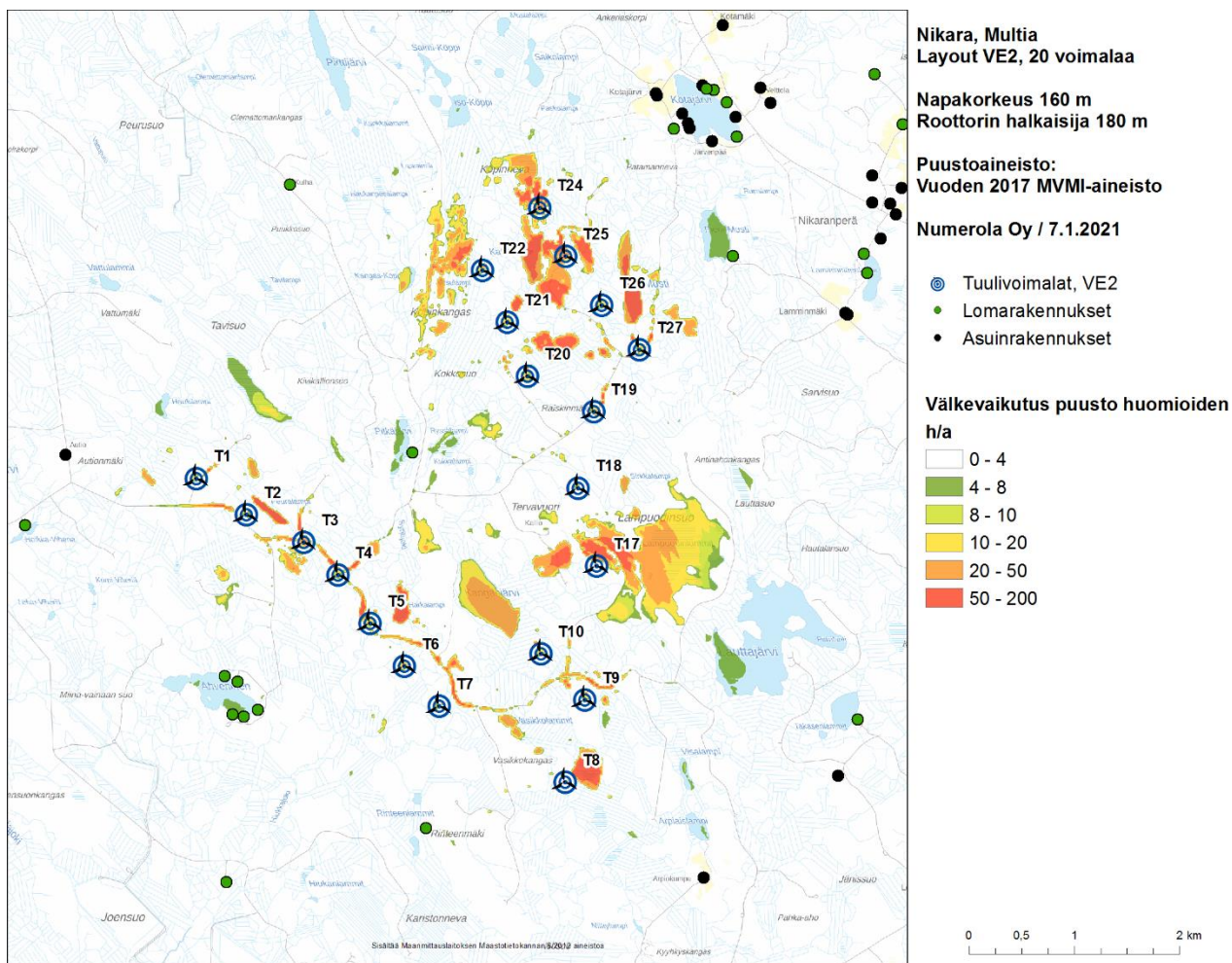
3.3 Välkevaikutus puusto huomioiden

Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Karttakuvissa (Kuva 6 ja Kuva 7) on esitetty todennäköinen vuotuinen välkevarjostusaika, kun mallinuksissa huomioidaan myös puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus. Puuston huomioivat välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 13). Puuston lähtötietona käytettiin Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2017 (© Luonnonvarakeskus, 2019).

Mallinnusten perusteella puusto alentaa merkittävästi kiinteistöihin kohdistuvia välkevarjostusaikoja.



Kuva 6: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE1 puusto huomioiden.



Kuva 7: Tuulivoimaloiden aiheuttama väketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE2 puusto huomioiden.

Taulukko 13: Välkevaikutus reseptoreiden kohdilla puusto huomioiden.

Kiinteistö	Vuotuinen välkeika VE1 [h:min]	Suurin päiväkohtainen välkeika VE1 [min]	Vuotuinen välkeika VE2 [h:min]	Suurin päiväkohtainen välkeika VE2 [min]
R1	0:00	0	0:00	0
R2	1:59	5	1:59	5
R3	0:00	0	0:00	0
R4	0:00	0	0:00	0
R5	0:00	0	0:00	0
R6	0:00	0	0:00	0
R7	0:00	0	0:00	0
R8	0:00	0	0:00	0
R9	0:00	0	0:00	0
R10	36:28	27	0:00	0

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Multian kunnan Nikaran alueelle suunnitellun tuulivoimahankkeen ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Arviointi tehtiin 29 voimalan layout-suunnitelmalle VE1 ja 20 voimalan layout-suunnitelmalle VE2.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus ylittää 10 tunnin ohjearvon yhden loma-asunnon kohdalla molemmilla layout-suunnitelmilla. Muiden asuinrakennusten ja loma-asuntojen kohdalla vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon. Layout-suunnitelmalla VE1 suurin päiväkohtainen välkeaika ylittää 30 minuutin ohjearvon loma-asunnon kohdalla jossa 10 tunnin ohjearvo ylittyy. Layout-suunnitelmalla VE2 päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten kohdalla. Ympäristöministeriön ohjeistukset eivät huomioi puustoa, mutta mallinnusten perusteella puusto alentaa merkittävästi välkevaikutusta asuntojen kohdalla.

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 suuntaakohtaisilla 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.

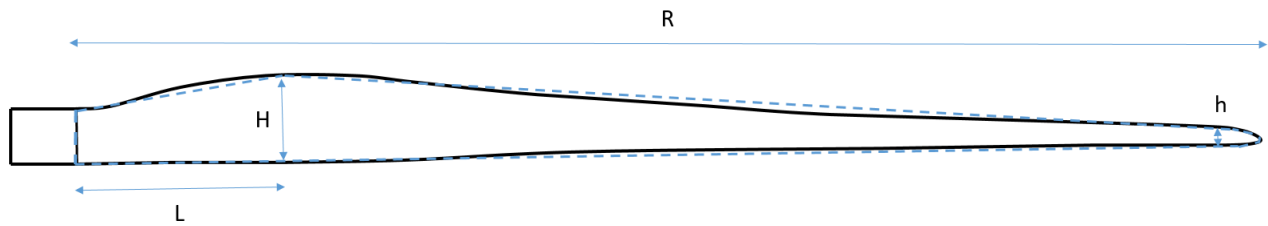
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

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 väkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys määritetään parametrien H ja h keskiarvona (esim. WindPRO Shadow).



Kuva 8: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään kuvan (Kuva 8) mukaista yksinkertaistettua profiilia, ja valmistajan antamia tietoja mitoista H ja h . 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. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Ympäristöministeriö, 2016.