

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

II, OLLINKORPI

MIKA LAITINEN

09.11.2020

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: li, Ollinkorpi
TV-2020-497-4, 09.11.2020

Asiakas

Noora Jaakamo
Ilmatar li Oy

Raportin tekijät

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

Asiatarkastus

Erkki Heikkola

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion lin kunnan alueella sijaitsevan Ollinkorven tuulipuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla layout-suunnitelmille VE1, VE2 ja VE3. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen 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>

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	26.05.2020		Mika Laitinen
01	09.11.2020	Lisätty layout-suunnitelma VE3	Mika Laitinen

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 selvitysten osapuolille (esim. hankekehittäjä, kaavoittaja, viranomaiset) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

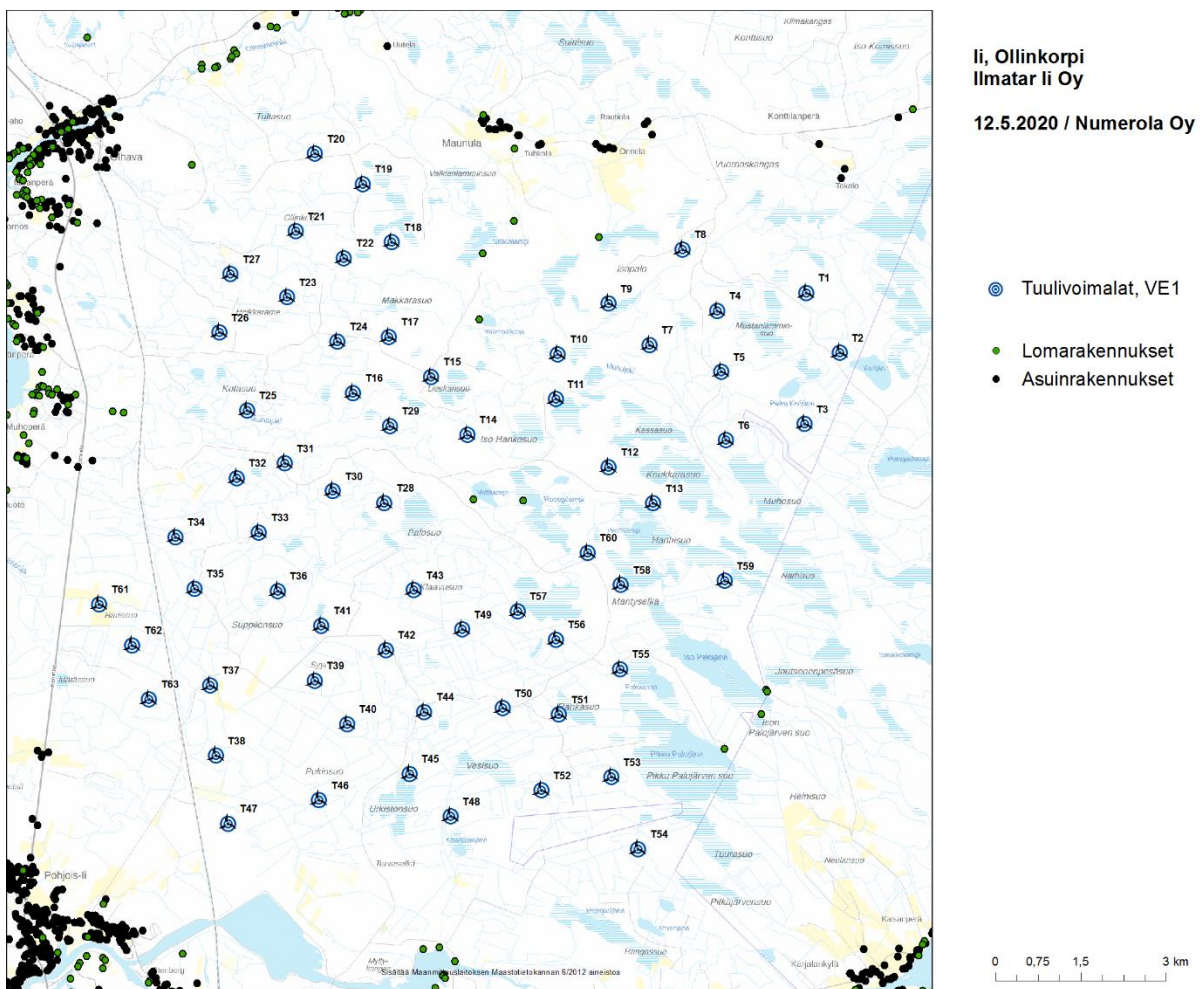
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke.....	10
2.1	Välkevaikutus.....	10
2.2	Ohjeavot.....	10
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	11
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	11
3.2	Välkevaikutus.....	14
4	Yhteenvedo	20
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	21
6	Viitteet.....	23

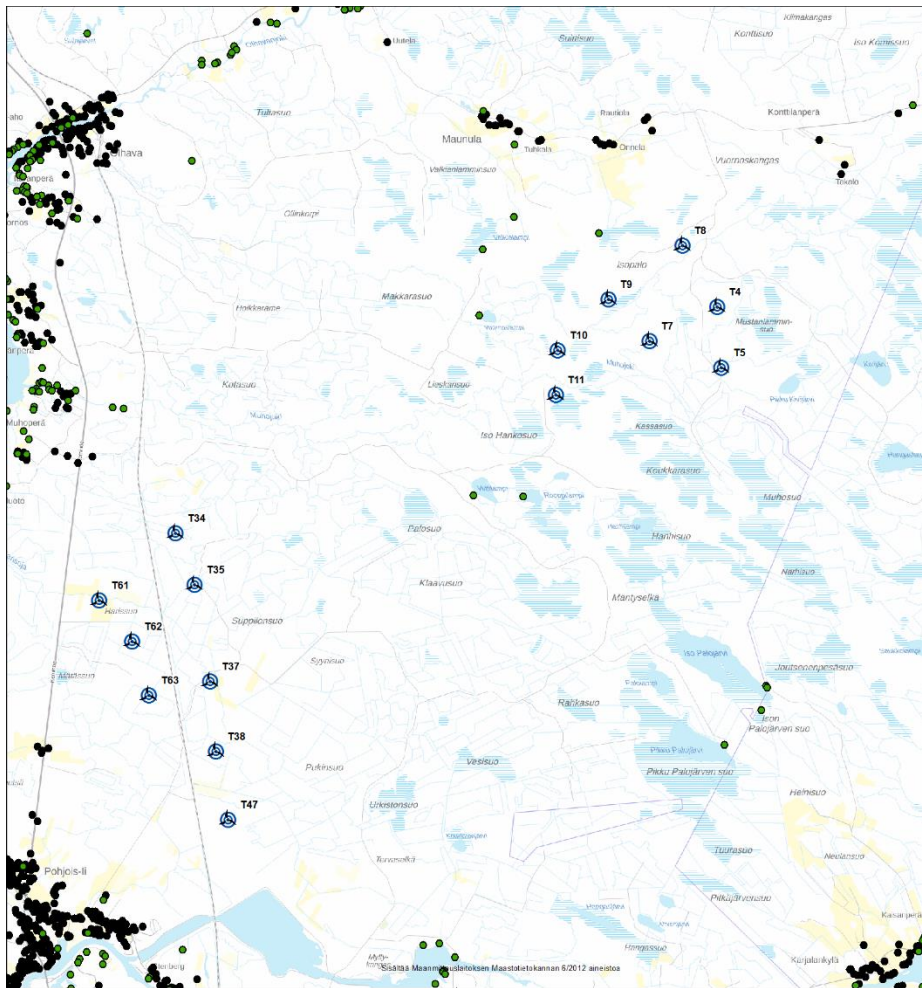
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan lin kunnan alueelle suunnitellun Ollinkorven tuulivoimakohteen aiheuttamaa välke-vaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään layout-suunnitelmille VE1 (63 voimalaa), VE2 (15 voimalaa) ja VE3 (42 voimalaa). Layout-suunnitelmat on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1–Kuva 3) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1–Taulukko 3).

Layout VE1:n mallinuksissa on voimaloille T15, T18 ja T28 on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Muille VE1:n voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 250 m. Kaikille VE2:n ja VE3:n voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m ja roottorin halkaisijaa 250 m.



Kuva 1: Ollinkorven tuulipuiston voimalat, layout-suunnitelma VE1.

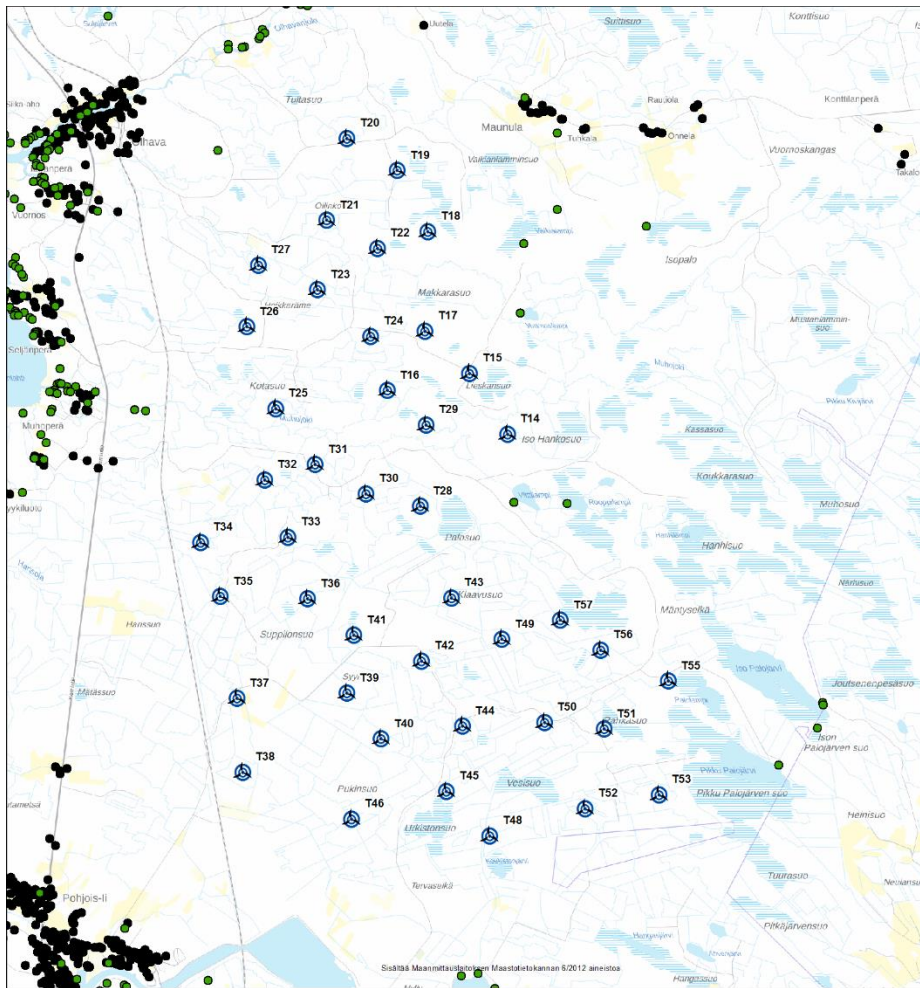


**li, Ollinkorpi
Ilmatar li Oy**

12.5.2020 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimat, VE2
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

Kuva 2: Ollinkorven tuulipuiston voimat, layout-suunnitelma VE2.



li, Ollinkorpi
Ilmatar li Oy

5.11.2020 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat, VE3
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset



Kuva 3: Ollinkorven tuulipuiston voimalat, layout-suunnitelma VE3.

Taulukko 1: Ollinkorven layout-suunnitelma VE1: voimaloiden sijaintikoordinaatit (ETRS-TM35FIN) ja maaston korkeudet turbiinipaikoilla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	437789,1	7258386,9	80,9
T2	438374,4	7257335,5	75,4
T3	437754,1	7256088,6	61,5
T4	436217,4	7258076,2	72,2
T5	436293,6	7257003,1	59,8
T6	436369,8	7255802,9	55,5
T7	435030,0	7257473,0	56,6
T8	435607,8	7259149,4	61,4
T9	434306,1	7258203,2	50,5
T10	433420,0	7257315,0	49,2
T11	433380,0	7256525,0	49,7
T12	434313,0	7255331,0	59,7

T13	435097,2	7254692,7	62,3
T14	431827,0	7255900,0	43,2
T15	431194,2	7256915,4	41,8
T16	429818,1	7256631,1	29,6
T17	430450,0	7257620,0	35,1
T18	430500,0	7259280,0	29,6
T19	429986,4	7260300,9	24,8
T20	429147,4	7260835,1	23,4
T21	428806,2	7259470,8	16,2
T22	429655,5	7258998,5	18,4
T23	428655,4	7258311,9	17,5
T24	429544,4	7257534,1	24,7
T25	427952,9	7256327,6	17,7
T26	427468,7	7257692,8	18,8
T27	427663,2	7258720,7	14,8
T28	430370,0	7254700,0	35,8
T29	430465,4	7256054,5	30,1
T30	429465,0	7254906,8	26,7
T31	428615,7	7255394,9	23,0
T32	427770,3	7255136,9	13,4
T33	428163,2	7254180,5	20,7
T34	426697,4	7254098,1	13,0
T35	427030,7	7253193,2	15,4
T36	428491,3	7253153,6	18,9
T37	427304,6	7251494,6	15,6
T38	427403,8	7250264,3	16,6
T39	429142,1	7251578,0	19,2
T40	429713,6	7250816,0	20,7
T41	429261,2	7252546,3	20,0
T42	430392,3	7252117,7	31,5
T43	430888,4	7253169,4	30,4
T44	431070,9	7251030,3	32,9
T45	430809,0	7249942,8	29,7
T46	429221,1	7249481,7	24,3
T47	427622,1	7249065,7	23,2
T48	431531,3	7249196,7	30,6
T49	431733,7	7252478,9	31,7
T50	432445,4	7251094,4	38,0
T51	433440,3	7250982,6	45,4
T52	433126,8	7249653,1	37,7
T53	434357,1	7249887,3	46,9
T54	434829,4	7248621,2	47,1
T55	434510,0	7251782,7	50,9
T56	433380,8	7252300,3	42,9

T57	432709,6	7252798,3	43,3
T58	434526,3	7253262,2	61,3
T59	436349,5	7253331,5	65,8
T60	433940,4	7253824,3	55,3
T61	425355,9	7252919,4	10,7
T62	425935,4	7252201,1	13,2
T63	426233,0	7251252,5	14,9

Taulukko 2: Ollinkorven layout-suunnitelma VE2: voimaloiden sijaintikoordinaatit (ETRS-TM35FIN) ja maaston korkeudet turbiinipaikoilla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T4	436217,4	7258076,2	72,2
T5	436293,6	7257003,1	59,8
T7	435030,0	7257473,0	56,6
T8	435607,8	7259149,4	61,4
T9	434306,1	7258203,2	50,5
T10	433420,0	7257315,0	49,2
T11	433380,0	7256525,0	49,7
T34	426697,4	7254098,1	13,0
T35	427030,7	7253193,2	15,4
T37	427304,6	7251494,6	15,6
T38	427403,8	7250264,3	16,6
T47	427622,1	7249065,7	23,2
T61	425355,9	7252919,4	10,7
T62	425935,4	7252201,1	13,2
T63	426233,0	7251252,5	14,9

Taulukko 3: Ollinkorven layout-suunnitelma VE3: voimaloiden sijaintikoordinaatit (ETRS-TM35FIN) ja maaston korkeudet turbiinipaikoilla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T14	431827,0	7255900,0	43,2
T15	431194,2	7256915,4	41,8
T16	429818,1	7256631,1	29,6
T17	430450,0	7257620,0	35,1
T18	430500,0	7259280,0	29,6
T19	429986,4	7260300,9	24,8
T20	429147,4	7260835,1	23,4
T21	428806,2	7259470,8	16,2
T22	429655,5	7258998,5	18,4
T23	428655,4	7258311,9	17,5
T24	429544,4	7257534,1	24,7
T25	427952,9	7256327,6	17,7

T26	427468,7	7257692,8	18,8
T27	427663,2	7258720,7	14,8
T28	430370,0	7254700,0	35,8
T29	430465,4	7256054,5	30,1
T30	429465,0	7254906,8	26,7
T31	428615,7	7255394,9	23,0
T32	427770,3	7255136,9	13,4
T33	428163,2	7254180,5	20,7
T34	426697,4	7254098,1	13,0
T35	427030,7	7253193,2	15,4
T36	428491,3	7253153,6	18,9
T37	427304,6	7251494,6	15,6
T38	427403,8	7250264,3	16,6
T39	429142,1	7251578,0	19,2
T40	429713,6	7250816,0	20,7
T41	429261,2	7252546,3	20,0
T42	430392,3	7252117,7	31,5
T43	430888,4	7253169,4	30,4
T44	431070,9	7251030,3	32,9
T45	430809,0	7249942,8	29,7
T46	429221,1	7249481,7	24,3
T48	431531,3	7249196,7	30,6
T49	431733,7	7252478,9	31,7
T50	432445,4	7251094,4	38,0
T51	433440,3	7250982,6	45,4
T52	433126,8	7249653,1	37,7
T53	434357,1	7249887,3	46,9
T55	434510,0	7251782,7	50,9
T56	433380,8	7252300,3	42,9
T57	432709,6	7252798,3	43,3

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 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 välkevaikutuksien 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.

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.

Mallinnuksissa Layout VE1:n voimaloille T15, T18 ja T28 on käytetty napakorkeutta 200 m, roottorin halkaisijaa 200 m ja lapaprofiilia, jonka maksimileveys on 4,2 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 1,4 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Muille VE1:n voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m, roottorin halkaisijaa 250 m ja lapaprofiilia, jonka maksimileveys on 5,0 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 1,4 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä.

Kaikille VE2:n ja VE3:n voimaloille on käytetty napakorkeutta 175 m, roottorin halkaisijaa 250 m ja lapaprofiilia, jonka maksimileveys on 5,0 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 1,4 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 korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuva 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 4).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 5). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 4: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulenopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,148	0,183	0,182	0,139	0,123	0,130

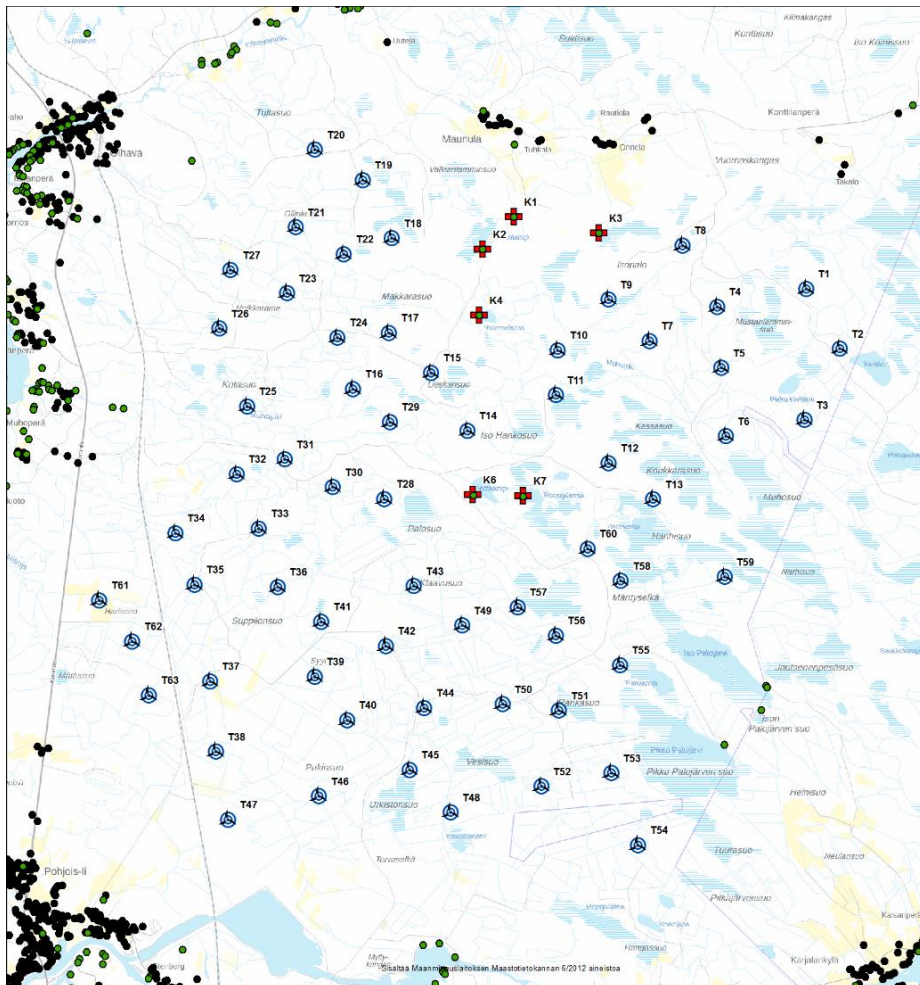
Taulukko 5: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 6) on määritelty tuulipuistoalueella sijaitsevat kuusi vertailukiinteistöä, joiden kohdilla kokonaismelun ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 4). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään noin 1100 m etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 6: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]	Rakennusluokitus
K1	432644	7259660	34,2	lomarakennus
K2	432089	7259091	32,9	lomarakennus
K3	434137	7259377	45,1	lomarakennus
K4	432035	7257929	32,7	lomarakennus
K6	431922	7254775	45,2	lomarakennus
K7	432805	7254758	44,7	lomarakennus



li, Ollinkorpi
Ilmatar li Oy
12.5.2020 / Numerola Oy

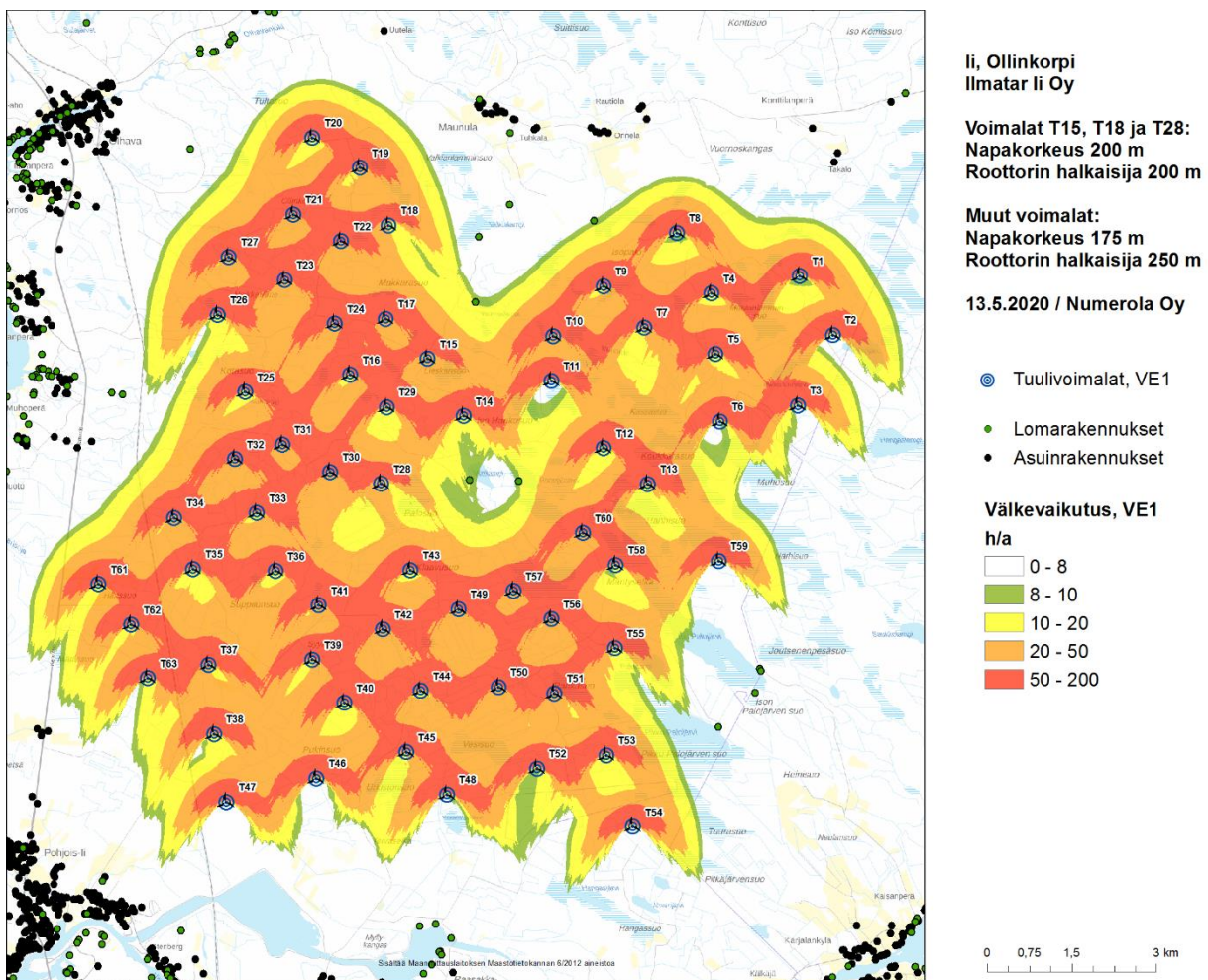
- ⊙ Tuulivoimat, VE1
- ⊕ Reseptorit
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

Kuva 4: Layout VE1 ja vertailukiinteistöjen paikat tuulipuiston alueella.

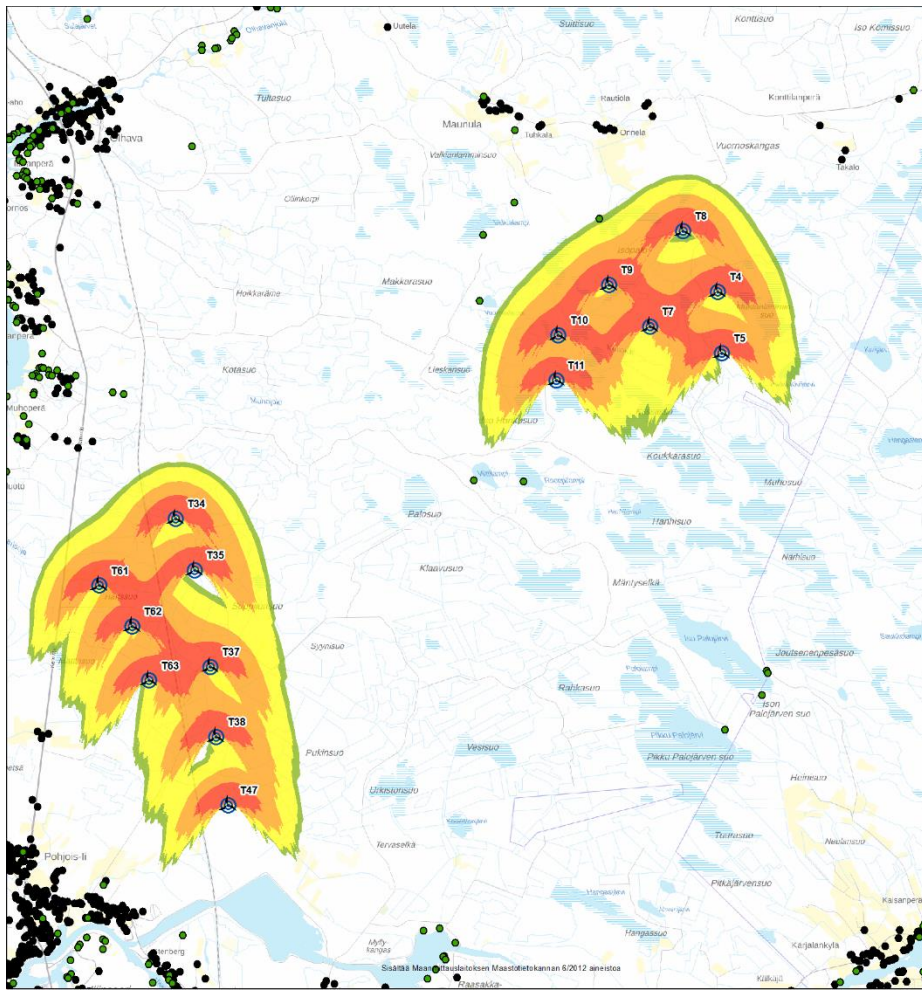
3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 5–Kuva 7). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Suomen olosuhteissa puusto rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuisia välkevaikutusta. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Vuotuiset välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 7). Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ei ylitä 10 tunnin ohjearvoa lähikiinteistöjen kohdilla layout-suunnitelmilla VE1, VE2 ja VE3. Layout-suunnitelmalla VE1 8 tunnin ohjearvo ylittyy vertailukiinteistöjen K3, K4, K6 ja K7 kohdilla. Layout-suunnitelmalla VE2 8 tunnin ohjearvo ylittyy kiinteistön K3 kohdalla. Layout-suunnitelmalla VE3 8 tunnin ohjearvo ylittyy kiinteistön K4 kohdalla. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kiinteistöjen kohdilla joissa 8 tunnin ohjearvo ylittyy on esitetty taulukoissa (Taulukko 9–Taulukko 13). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika). Suurimmat päiväkohtaiset välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 8). Päiväkohtainen välkeajaa jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen rakennusten kohdalla kaikilla kolmella layout-suunnitelmalla.



Kuva 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE1 ilman puuston vaikutusta.



**li, Ollinkorpi
Ilmatar li Oy**

**Napakorkeus 175 m
Roottorin halkaisija 250 m**

13.5.2020 / Numerola Oy

☉ Tuulivoimat, VE2

- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

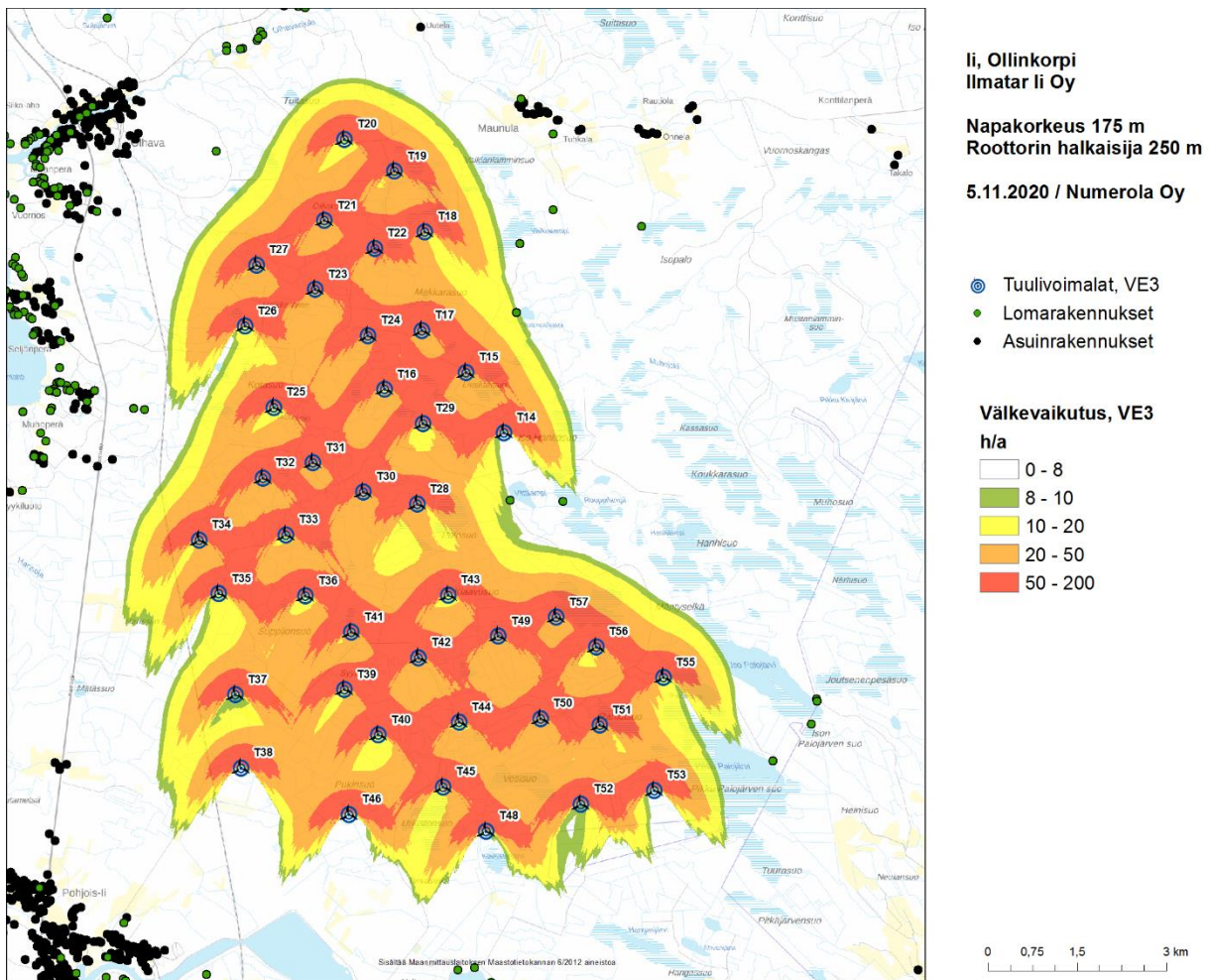
Välkevaikutus, VE2

h/a

- 0 - 8
- 8 - 10
- 10 - 20
- 20 - 50
- 50 - 200

0 0,75 1,5 3 km

Kuva 6: Tuulivoimaloiden aiheuttama väketuntien määrä layout-suunnitelmalla VE2 ilman puuston vaikutusta.



Kuva 7: Tuulivoimaloiden aiheuttama väkjetuntien määrä layout-suunnitelmalla VE3 ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 7: Vuotuinen välkeaika reseptoreiden kohdilla.

Kiinteistö	VE1 [h:min]	VE2 [h:min]	VE3 [h:min]
K1	0:53	0:40	0:34
K2	3:33	0:44	4:08
K3	8:08	8:08	0:00
K4	9:40	3:25	8:54
K6	9:52	2:25	7:42
K7	9:34	0:00	3:46

Taulukko 8: Suurin päiväkohtainen välke aika reseptoreiden kohdilla.

Kiinteistö	VE1 [min]	VE2 [min]	VE3 [min]
K1	3	3	3
K2	6	3	7
K3	13	13	0
K4	7	6	7
K6	10	5	10
K7	8	0	7

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön K3 kohdalla layout-suunnitelmilla VE1 ja VE2. Tähän kiinteistöön kohdistuu molemmilla layout-suunnitelmalla sama välkevaikutus.

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	29	18	2	0	0	0	0	0:49
Helmikuu	0	0	0	0	7	87	51	0	0	0	0	0	2:25
Maaliskuu	0	0	0	68	1	0	0	0	0	0	0	0	1:09
Huhtikuu	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0:13
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	71	0	0	0	0	0	0	0	0	1:11
Lokakuu	0	0	0	0	6	30	16	0	0	0	0	0	0:51
Marraskuu	0	0	0	0	0	56	32	2	0	0	0	0	1:30
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	2:32	0:13	3:22	1:57	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	8:08

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön K4 kohdalla, layout 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	18	0	0	0	0	0	0:18
Helmikuu	0	0	0	0	27	0	1	54	0	0	0	0	1:22
Maaliskuu	0	0	0	19	53	0	0	25	54	0	0	0	2:31
Huhtikuu	0	0	0	18	0	0	0	0	11	0	0	0	0:29
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0:17
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0:23
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0:39
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	21	20	0	0	0	57	0	0	0	1:37
Lokakuu	0	0	0	7	40	0	0	58	0	0	0	0	1:45
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0:19
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	1:05	2:20	0:00	0:38	3:36	2:01	0:00	0:00	0:00	9:40

Taulukko 11: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön K6 kohdalla, layout 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	12	11	0	0	0	0	0	0:23
Helmikuu	0	0	0	0	0	3	0	34	0	0	0	0	0:37
Maaliskuu	0	0	0	4	12	0	0	0	0	0	0	0	0:16
Huhtikuu	0	0	0	13	0	0	0	0	16	40	0	0	1:10
Toukokuu	0	0	0	0	23	0	0	58	0	0	0	0	1:21
Kesäkuu	0	0	0	0	60	0	0	41	0	0	0	0	1:41
Heinäkuu	0	0	0	0	61	0	0	93	0	0	0	0	2:34
Elokuu	0	0	0	7	0	0	0	0	0	2	0	0	0:08
Syyskuu	0	0	0	4	0	0	0	0	14	28	0	0	0:46
Lokakuu	0	0	0	2	7	0	0	12	0	0	0	0	0:21
Marraskuu	0	0	0	0	0	14	11	10	0	0	0	0	0:34
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:30	2:44	0:29	0:22	4:08	0:31	1:10	0:00	0:00	9:52

Taulukko 12: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina sekä tunteina kiinteistön K7 kohdalla, layout 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	20	0	0	0	0	0	0:20
Helmikuu	0	0	0	0	59	0	0	6	1	0	0	0	1:07
Maaliskuu	0	0	0	14	26	0	0	0	0	0	0	0	0:39
Huhtikuu	0	0	0	73	0	0	0	0	0	3	0	0	1:17
Toukokuu	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0:25
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	0	0	1:48
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0:45
Elokuu	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	1:28
Syyskuu	0	0	0	12	0	0	0	0	0	3	0	0	0:15
Lokakuu	0	0	0	0	63	0	0	4	2	0	0	0	1:08
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0:20
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	3:33	2:28	0:00	0:41	2:43	0:04	0:06	0:00	0:00	9:34

Taulukko 13: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön K4 kohdalla, layout VE3.

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	18	0	0	0	0	0	0:18
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	1	98	0	0	0	0	1:39
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	27	52	0	0	0	1:20
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0:11
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0:49
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0:29
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	0	1:17
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0	0	0	0:56
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	1:35
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0:19
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	0:38	6:16	2:00	0:00	0:00	0:00	8:54

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty lin kunnan alueelle suunnitellun Ollinkorven tuulivoimapuiston ympäristölleen välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Arvio on tehty layout-suunnitelmille VE1, VE2 ja VE3. Mallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 10 tunnin ohjearvon lähikiinteistöillä kaikilla kolmella layout-suunnitelmalla. Vuotuisen välkevaikutuksen 8 tunnin ohjearvo ylittyy suunnitelmalla VE1 neljän kiinteistön kohdalla, suunnitelmalla VE2 yhden kiinteistön kohdalla ja suunnitelmalla VE3 yhden kiinteistön kohdalla. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten kohdalla kaikilla kolmella layout-suunnitelmalla.

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.

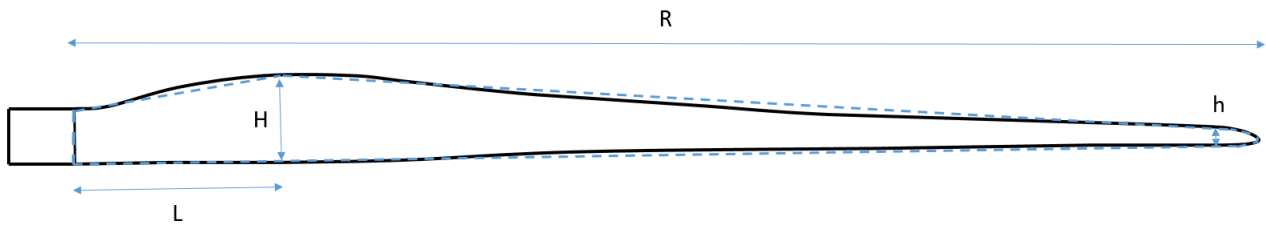
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 määritetään parametrien H ja h keskiarvona (esim. WindPRO Shadow).



Kuva 8: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa tarkkaa lapaprofiilitietoa. 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, Ympäristöhallinnon ohjeita 4|2012. Ympäristöministeriö, 2012.