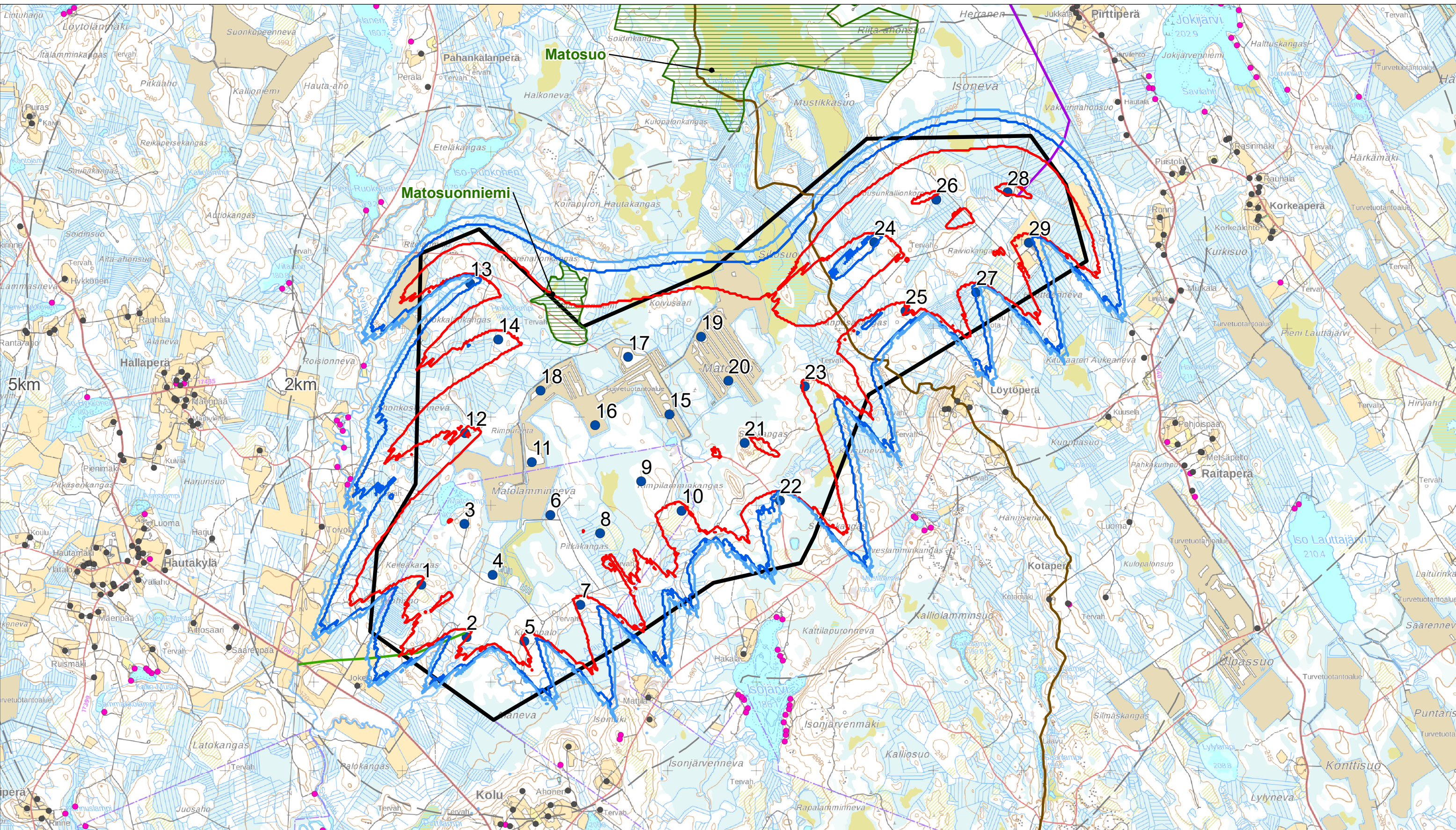
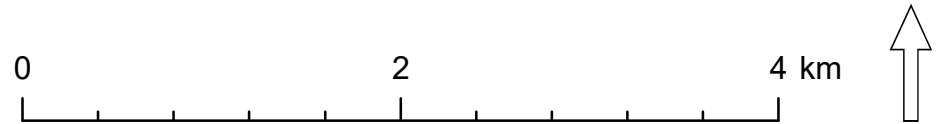


Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke
 Välkevaikutus VE1, voimalanpaikat VE1 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot

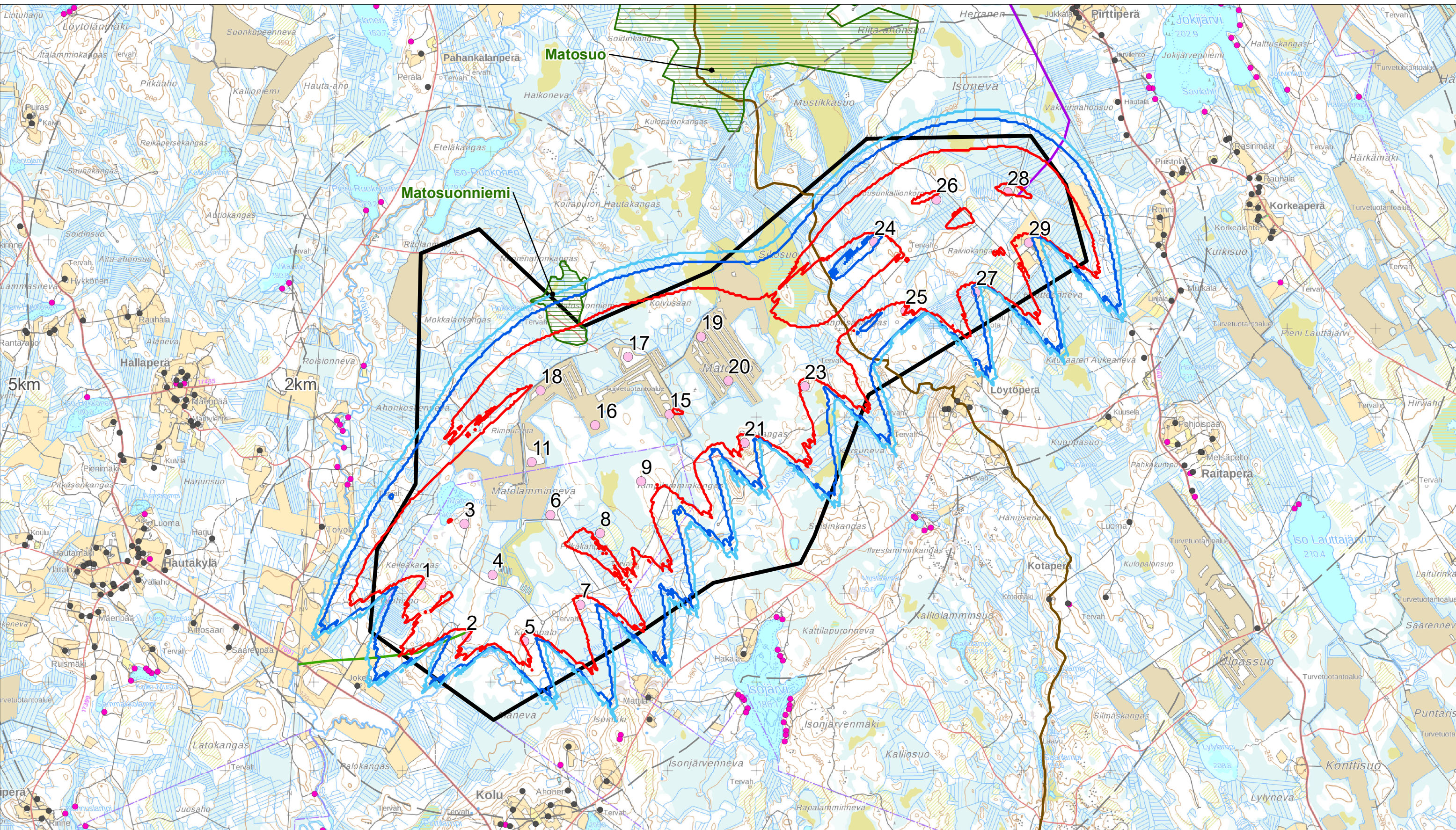


Välkevaikutus, VE1
Turbiini V162, Napakorkeus 200m

- 8 h/a
- 10 h/a
- 20 h/a
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE1
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus

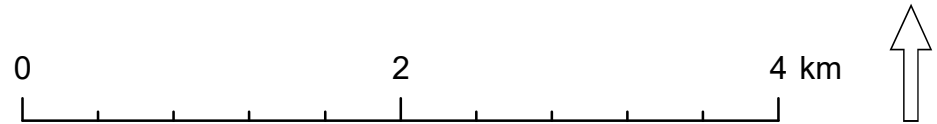


Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke
 Välkevaikutus VE2, voimalanpaikat VE2 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot



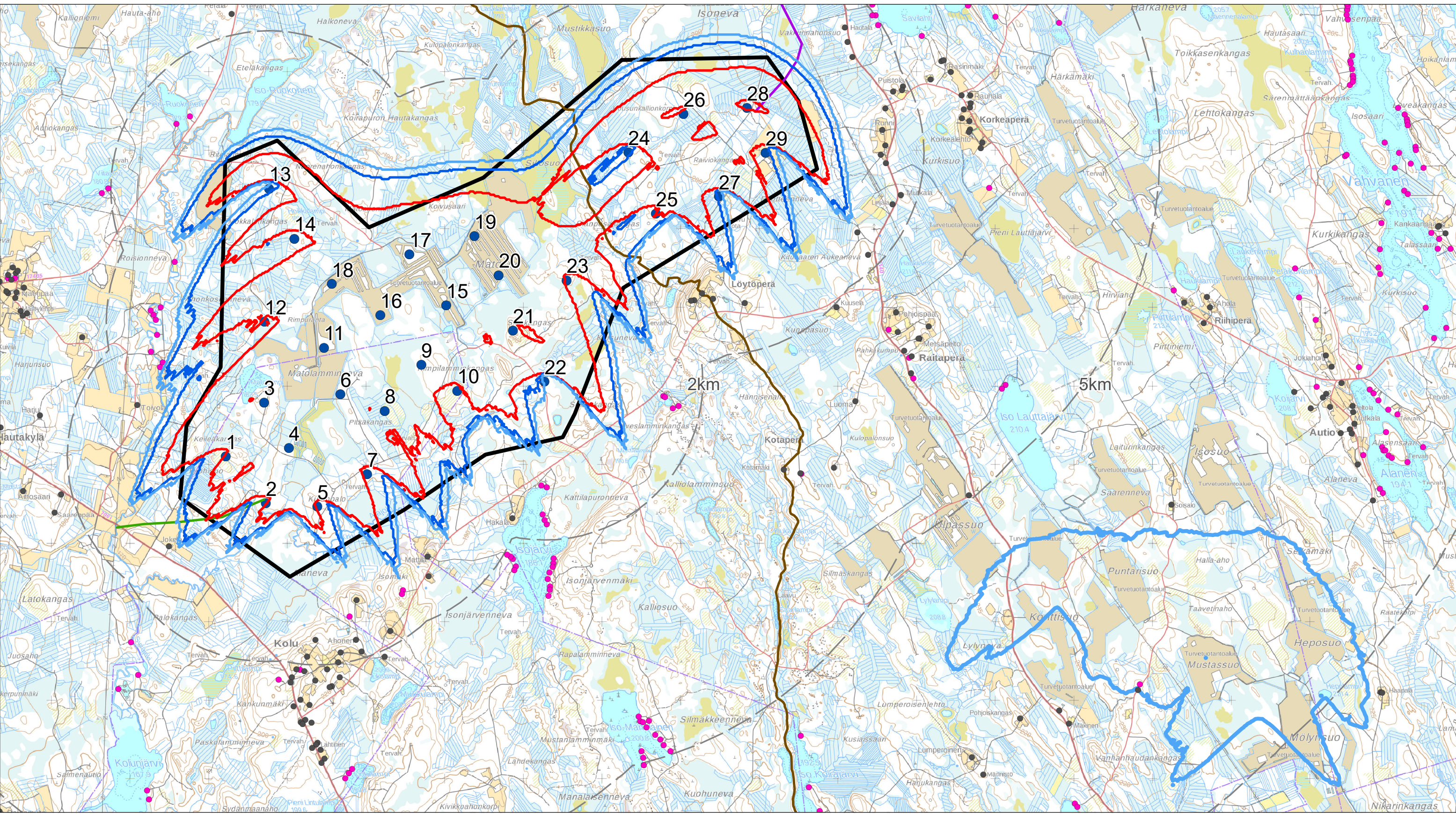
Välkevaikutus, VE2
Turbiini V162, Napakorkeus 200m

- 8 h/a
- 10 h/a
- 20 h/a
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE2
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke

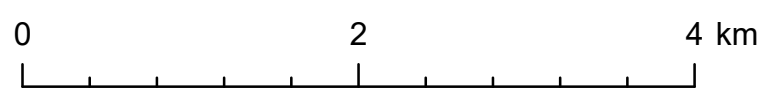
Välkemallinnus VE1 sekä yhteisvaikutusten tarkastelu Konttisuon tuulivoimahankkeen kanssa



Kimpilamminkankaan välkemallinnus, VE1

Turbiini V162, Napakorkeus 200m

- 8 h/a
- 10 h/a
- 20 h/a
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE1
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE1

MIKA LAITINEN

21.01.2020

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE1, Soini-Ähtäri
TV-2020-535-1, 21.01.2019

Raportin tekijät

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

Vastaanottaja

Heini Passoja
Sitowise Oy

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>

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtäriin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 29 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden välkevaikutus lasketaan käyttäen turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lapaprofiilia, roottorin halkaisijaa 162 m ja napakorkeutta 200 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	21.01.2020		Mika Laitinen

Sisällysluettelo

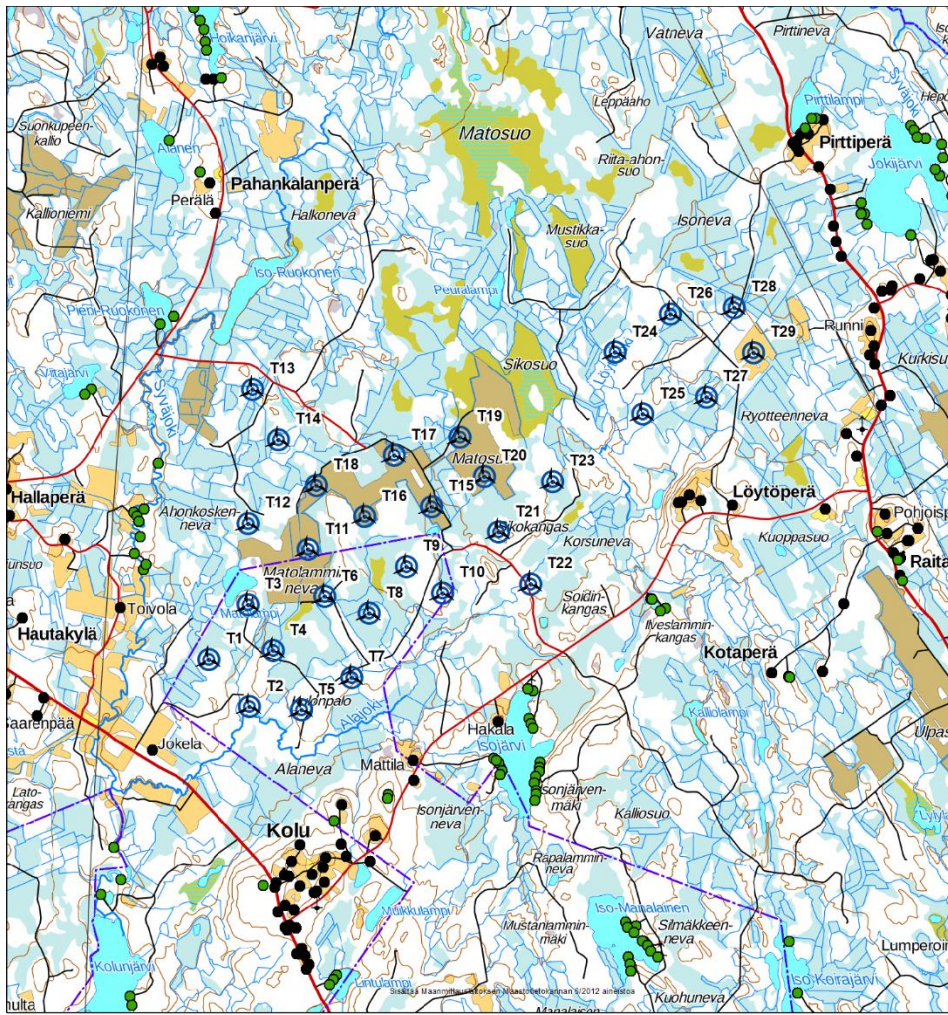
1	Johdanto	3
2	Tuulivoimaloiden välke.....	5
2.1	Välkevaikutus.....	5
2.2	Ohjeavot.....	5
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	6
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	6
3.2	Välkevaikutus.....	9
4	Yhteenvedo	12
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	13
6	Viitteet.....	15

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 29 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinnuksissa on käytetty turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lapaprofilia, roottorin halkaisijaa 162 m ja napakorkeutta 200 m.

Taulukko 1: Turbiinien sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T10	361158	6960939	193
T11	359465	6961486	185
T12	358708	6961815	188
T13	358765	6963508	190
T14	359086	6962874	188
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T22	362269	6961052	185
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri
Layout VE1, 29 voimalaa**

4.11.2019 / Numerola Oy

- Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan alueella.

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 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.

Laskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m, roottorin halkaisijaa 162 m ja turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lineaarista lapaprofiilia. 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 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen 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	0,172	0,184	0,171	0,132	0,128	0,150

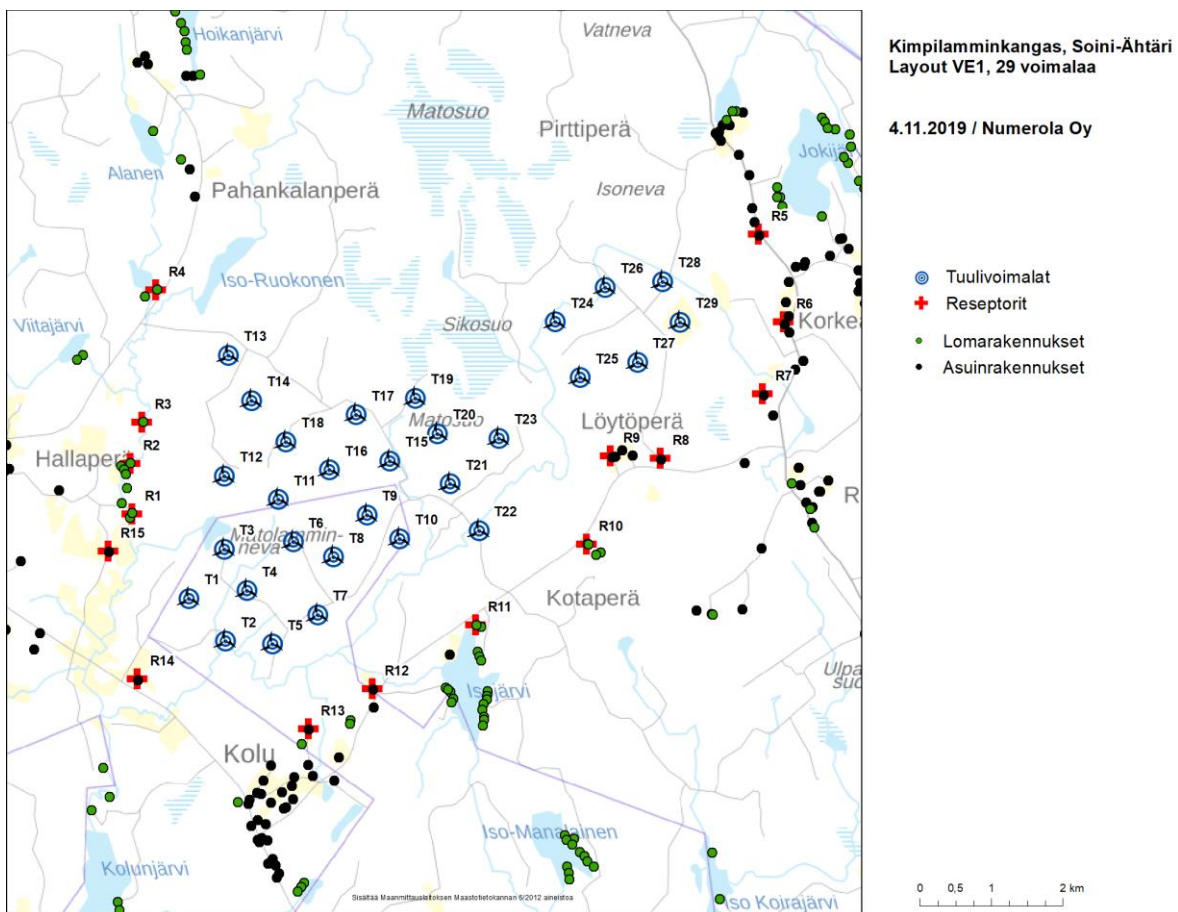
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.

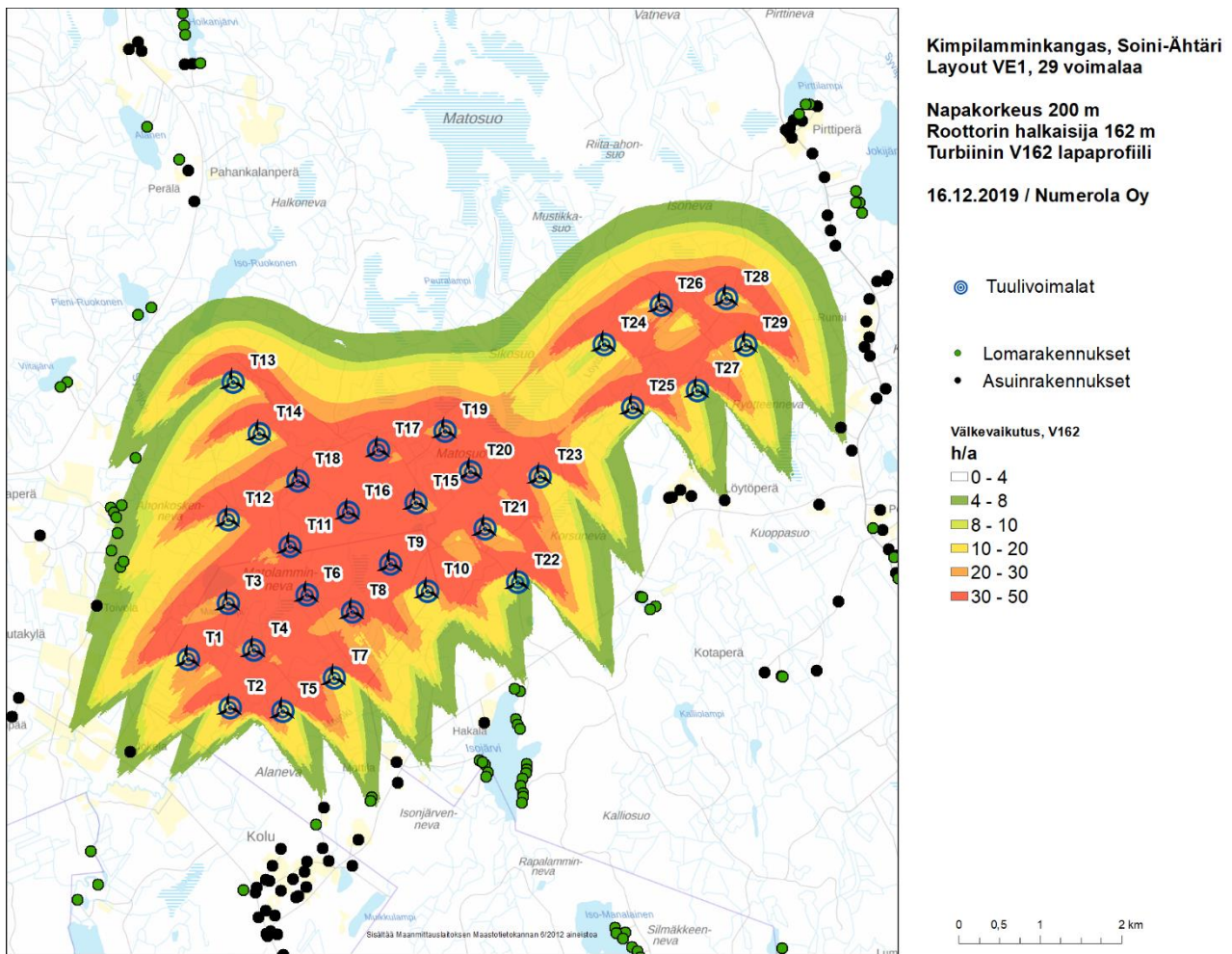
3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). 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.

Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ei ylitä 8 tunnin ohjearvoa Kimpilamminkankaan lähikiinteistöillä. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen rakennusten kohdalla. Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 5). Suurin välkevaikutus kohdistuu vertailukiinteistöön R1, jonka kohdalla vuotuinen välkeaika on 7 tuntia 22 minuuttia. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kiinteistöjen R1, R7 ja R14 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6–Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 5: Välkevaikutus reseptoreiden kohdilla.

Kiinteistö	Vuotuinen välkeaika [h:min]	Suurin päiväkohtainen välkeaika [min]
R1	7:22	8
R2	3:59	6
R3	3:18	6
R4	1:31	5
R5	1:56	6
R6	2:05	6
R7	5:53	8
R8	4:08	8
R9	1:24	5
R10	1:33	5
R11	1:38	3
R12	2:08	6
R13	2:54	7
R14	5:42	9
R15	4:28	6



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama väkjetuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	44	1	0	0	0	0	0	0	0:45
Maaliskuu	0	0	0	43	10	0	0	0	0	0	0	0	0:54
Huhtikuu	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0:10
Toukokuu	0	0	0	103	16	0	0	0	0	0	0	0	1:59
Kesäkuu	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0:04
Heinäkuu	0	0	0	96	8	0	0	0	0	0	0	0	1:44
Elokuu	0	0	0	16	5	0	0	0	0	0	0	0	0:21
Syyskuu	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0:44
Lokakuu	0	0	0	0	39	1	0	0	0	0	0	0	0:40
Marraskuu	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0:02
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	5:16	2:04	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:22

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R7 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	8	11	0	0	0:19
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0:52
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	39	96	0	0	0	2:15
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	19	109	0	0	0	2:08
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11	0	0	0:17
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0:01
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58	4:32	0:22	0:00	0:00	5:53

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R14 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0:12
Toukokuu	0	0	0	102	25	0	0	0	0	0	0	0	2:07
Kesäkuu	0	0	0	18	28	0	0	0	0	0	0	0	0:47
Heinäkuu	0	0	0	110	26	0	0	0	0	0	0	0	2:16
Elokuu	0	0	0	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0:21
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	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	4:21	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:42

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilammin alueelle suunnitellun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon lähikiinteistöillä. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten 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 roottorikehien 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 tuulusuhteilla.

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.

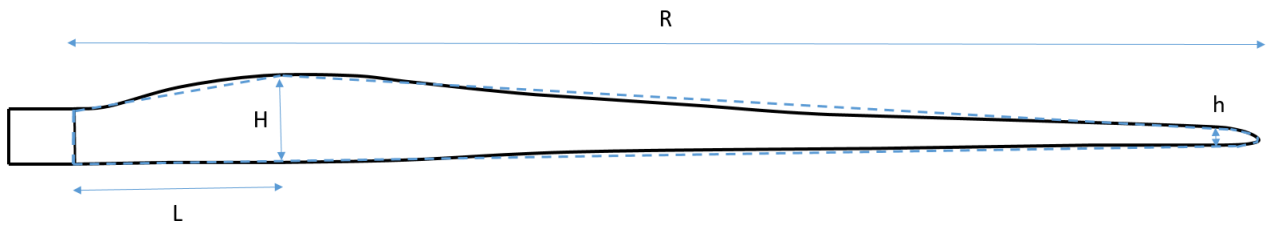
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään kuvan (Kuva 4) 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, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE2

MIKA LAITINEN

21.01.2020

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen välkeselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE2, Soini-Ähtäri
TV-2020-535-5, 21.01.2019

Raportin tekijät

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

Vastaanottaja

Heini Passoja
Sitowise Oy

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>

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtäriin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 24 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista välkevaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden välkevaikutus lasketaan käyttäen turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lapaprofiilia, roottorin halkaisijaa 162 m ja napakorkeutta 200 m. Tulosten arvioinnissa käytetään ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	21.01.2020		Mika Laitinen

Sisällysluettelo

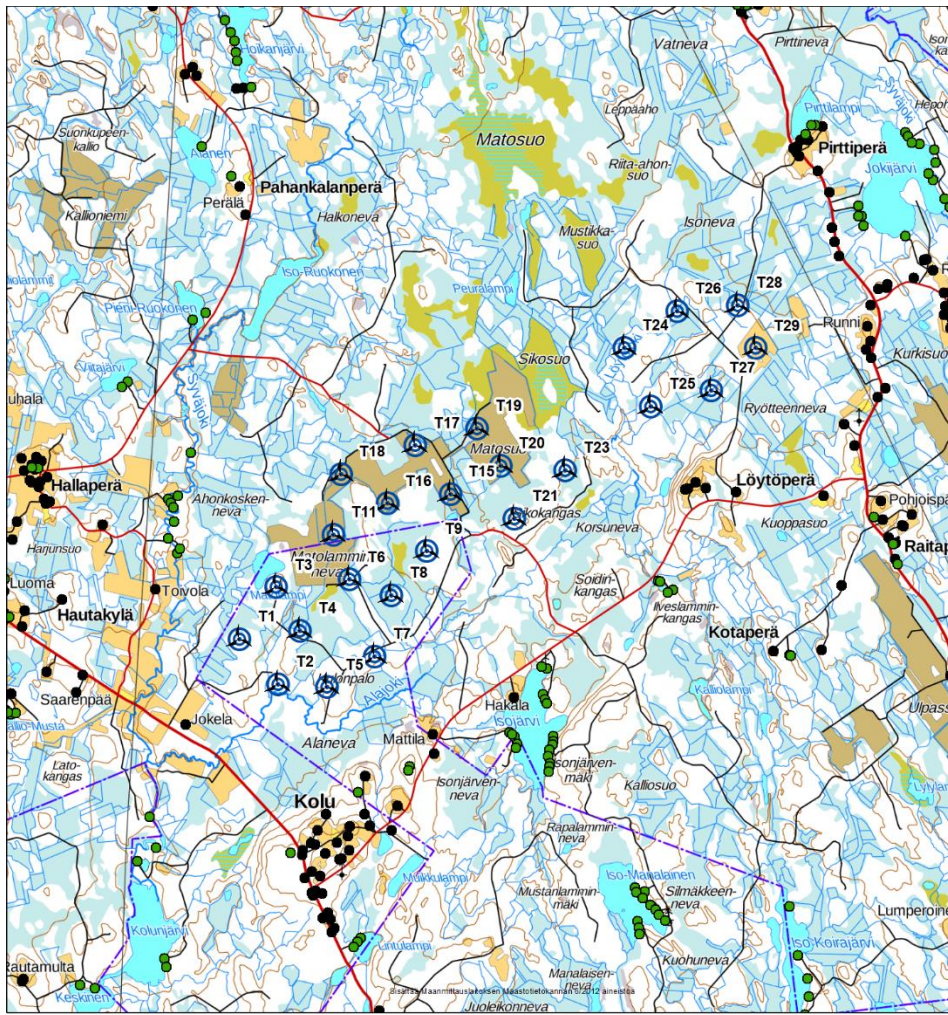
1	Johdanto	3
2	Tuulivoimaloiden välke.....	5
2.1	Välkevaikutus.....	5
2.2	Ohjeavot.....	5
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	6
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto.....	6
3.2	Välkevaikutus.....	9
4	Yhteenvedo	12
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä.....	13
6	Viitteet.....	15

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 24 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa on käytetty turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lapaprofilia, roottorin halkaisijaa 162 m ja napakorkeutta 200 m.

Taulukko 1: Turbiinien sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T11	359465	6961486	185
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri
Layout VE2, 24 voimalaa**

08.01.2020 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

0 0,75 1,5 3 km

Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan alueella.

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 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.

Laskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m, roottorin halkaisijaa 162 m ja turbiinityypin V162 5,6 MW yksinkertaistettua lineaarista lapaprofiilia. 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 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Seinäjoen Pelmaan 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	0,172	0,184	0,171	0,132	0,128	0,150

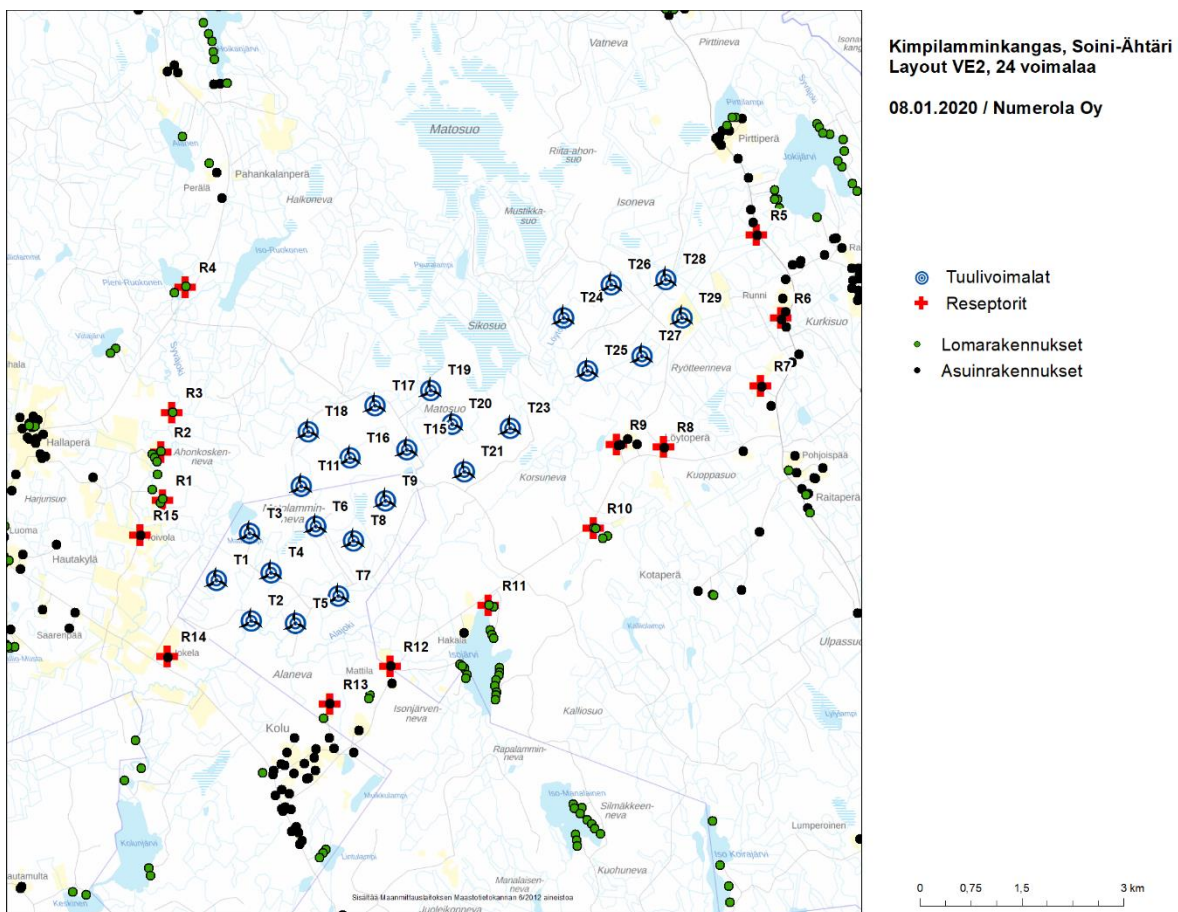
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182 </td



Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.

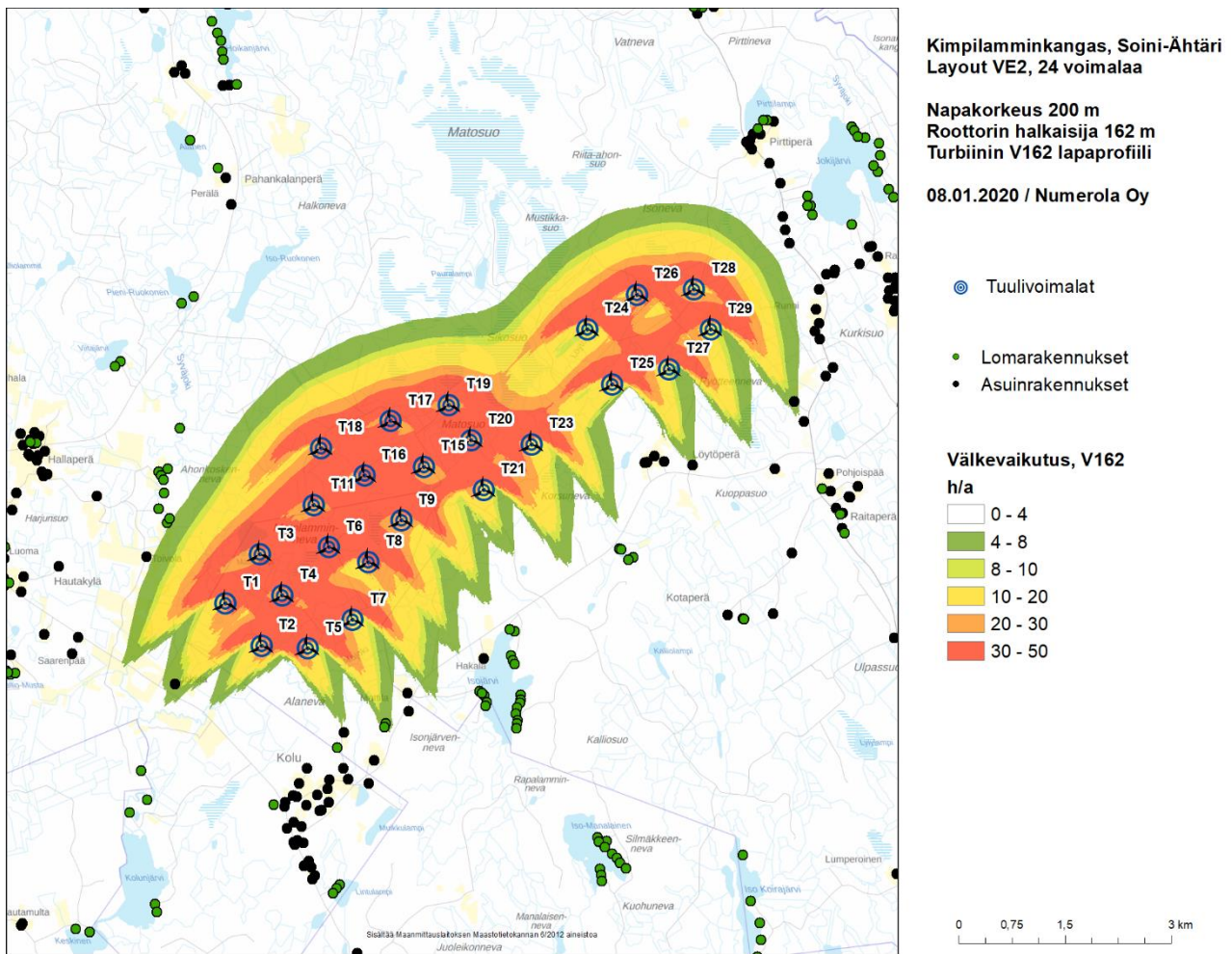
3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todellisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). 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.

Mallinnusten perusteella vuotuinen välkevaikutus ei ylitä 8 tunnin ohjearvoa Kimpilamminkankaan lähikiinteistöillä. Myös päiväkohtainen välkeaika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen rakennusten kohdalla. Vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevarjostusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 5). Suurin välkevaikutus kohdistuu vertailukiinteistöön R7, jonka kohdalla vuotuinen välkeaika on 5 tuntia 53 minuuttia. Välkkeen tarkempi ajoittuminen kiinteistöjen R1, R7 ja R14 kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6–Taulukko 8). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 5: Välkevaikutus reseptoreiden kohdilla.

Kiinteistö	Vuotuinen välkeaika [h:min]	Suurin päiväkohtainen välkeaika [min]
R1	3:36	5
R2	1:09	3
R3	0:37	3
R4	0:00	0
R5	1:56	6
R6	2:05	6
R7	5:53	8
R8	4:08	8
R9	1:13	5
R10	0:23	3
R11	1:12	3
R12	2:08	6
R13	2:54	7
R14	5:42	9
R15	2:59	6



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama väkjetuntien määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minutteina kiinteistön 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	44	1	0	0	0	0	0	0	0:45
Maaliskuu	0	0	0	43	10	0	0	0	0	0	0	0	0:54
Huhtikuu	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0:10
Toukokuu	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0:06
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Heinäkuu	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0:01
Elokuu	0	0	0	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0:14
Syyskuu	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0:44
Lokakuu	0	0	0	0	39	1	0	0	0	0	0	0	0:40
Marraskuu	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0:02
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	1:51	1:42	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:36

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R7 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	8	11	0	0	0:19
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0:52
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	0	39	96	0	0	0	2:15
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	0	19	109	0	0	0	2:08
Elokuu	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11	0	0	0:17
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0:01
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58	4:32	0:22	0:00	0:00	5:53

Taulukko 8: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina kiinteistön R14 kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Huhtikuu	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0:12
Toukokuu	0	0	0	102	25	0	0	0	0	0	0	0	2:07
Kesäkuu	0	0	0	18	28	0	0	0	0	0	0	0	0:47
Heinäkuu	0	0	0	110	26	0	0	0	0	0	0	0	2:16
Elokuu	0	0	0	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0:21
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Marraskuu	0	0	0	0	0	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	4:21	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:42

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilammin alueelle suunnitellun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Välkemallinnuksen mukaan vuotuinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon lähikiinteistöillä. Päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen kaikkien rakennusten 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 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.

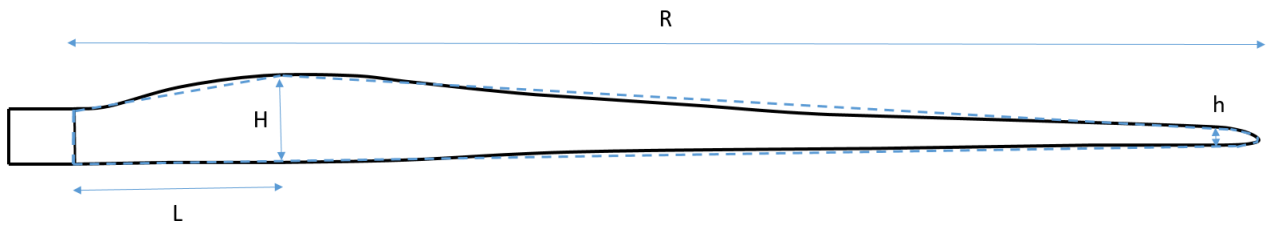
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 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 4: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään kuvan (Kuva 4) 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, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.

Kimpilamminkangas, Layout VE1 (vastaa välkeraporttia 21.1.2020). Vuotuiset välkeajat kahdella eri napakorkeudella.

Kiinteistö	Napakorkeus 200 m Vuotuinen välkeaja [h:min]	Napakorkeus 219 m Vuotuinen välkeaja [h:min]
R1	7:22	7:50
R2	3:59	4:05
R3	3:18	3:18
R4	1:31	1:29
R5	1:56	1:55
R6	2:05	2:07
R7	5:53	5:21
R8	4:08	3:17
R9	1:24	1:25
R10	1:33	1:31
R11	1:38	1:28
R12	2:08	2:12
R13	2:54	2:24
R14	5:42	6:16
R15	4:28	4:53