



Finnish
Consulting
Group

Kolmihaaran tuuli- ja aurinkovoimahanke, Isojoki

LIITE 13: KOLMIHAARAN TUULIVOIMAPUISTON VÄLKESELVITYS,
HANKEVAIHTOEHTO VE2, AFRY FINLAND OY



Neoen Renewables Finland Oy

Kolmihaaran tuulivoimapuiston välkeselvitys, hankevaihtoehto VE2

101020564-010, 14.03.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Kalle Auvinen

E-mail
kalle.auvinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Neoen Renewables Finland Oy
Arto Hirvonen

Päivämäärä
14/03/2024

Projektinumero
101020564-010

Raportin tila
VALMIS

Kolmihaaran tuulivoimapuiston välkeselvitys, hankevaihtoehto VE2

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.02.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	16.02.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.03.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	14.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Lisätty yhteisvaikutusten tarkastelu Surmankeitaan tuulipuiston kanssa

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen 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>.

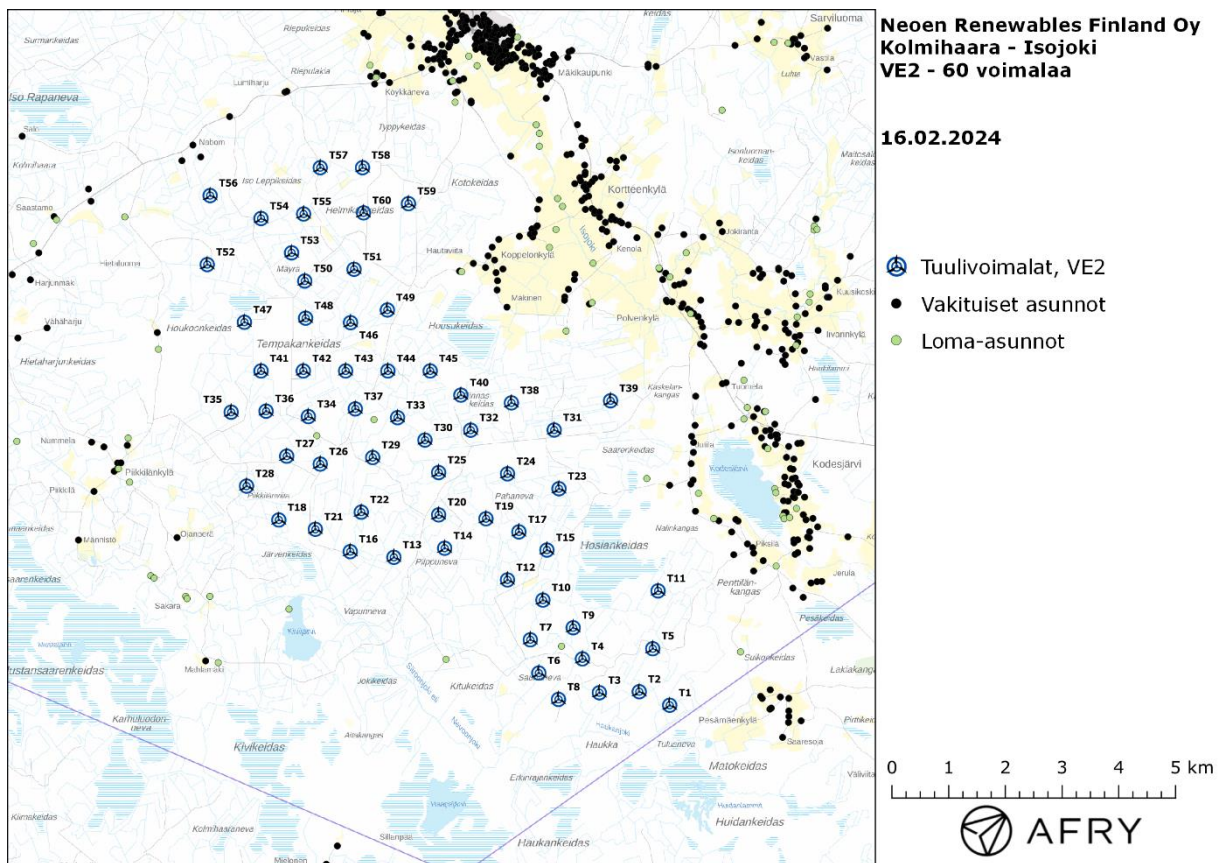
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	7
2.4	Ohjeavot	8
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	12
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	14
3.4	Kolmihaaran ja Surmankeitaan yhteisvaikutus.....	16
4	Yhteenveto	19
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	20
6	Viitteet.....	22

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Isojoen kunnan alueelle suunnitellun Kolmihaaran tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 60 voimalan hankevaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 100 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Selvityksessä arvioidaan myös Kolmihaaran voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia puiston luoteispuolelle suunnitellun Surmankeitaan tuulivoimapuiston kanssa.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kolmihaaran hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (60 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	240513	6885144	98
T2	239976	6885382	98
T3	239272	6885364	93
T4	238973	6885961	94
T5	240214	6886140	100
T6	238203	6885711	88
T7	238053	6886297	91
T8	238551	6885247	88
T9	238810	6886510	94
T10	238276	6886997	96
T11	240308	6887159	101
T12	237650	6887353	97
T13	235646	6887751	88
T14	236542	6887911	97
T15	238346	6887879	97
T16	234876	6887851	86
T17	237852	6888199	99
T18	233615	6888409	84
T19	237271	6888431	101
T20	236436	6888499	95
T21	234260	6888245	86
T22	235070	6888547	88
T23	238559	6888960	100
T24	237651	6889222	102
T25	236436	6889245	101
T26	234346	6889394	88
T27	233754	6889534	87
T28	233046	6889007	82
T29	235272	6889510	91
T30	236194	6889817	97
T31	238475	6889995	106
T32	237001	6889992	106
T33	235711	6890212	98
T34	234137	6890231	92
T35	232774	6890309	86
T36	233390	6890327	91
T37	234965	6890367	96
T38	237720	6890473	106
T39	239469	6890510	106
T40	236828	6890610	105
T41	233302	6891036	89

T42	234048	6891036	92
T43	234794	6891036	98
T44	235540	6891036	98
T45	236287	6891036	101
T46	234881	6891887	98
T47	233008	6891894	94
T48	234088	6891966	93
T49	235531	6892110	101
T50	234073	6892621	98
T51	234943	6892827	102
T52	232352	6892910	93
T53	233841	6893118	97
T54	233302	6893723	96
T55	234053	6893802	97
T56	232403	6894127	92
T57	234346	6894618	103
T58	235093	6894618	103
T59	235903	6893984	104
T60	235110	6893822	100

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). 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 on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 100 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa Kolmihaaran voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 200 metrin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää 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 aiheutuvaa 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 Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistatuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistatuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntaakohtaisesti 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	0,173	0,212	0,159	0,114	0,137	0,140

Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

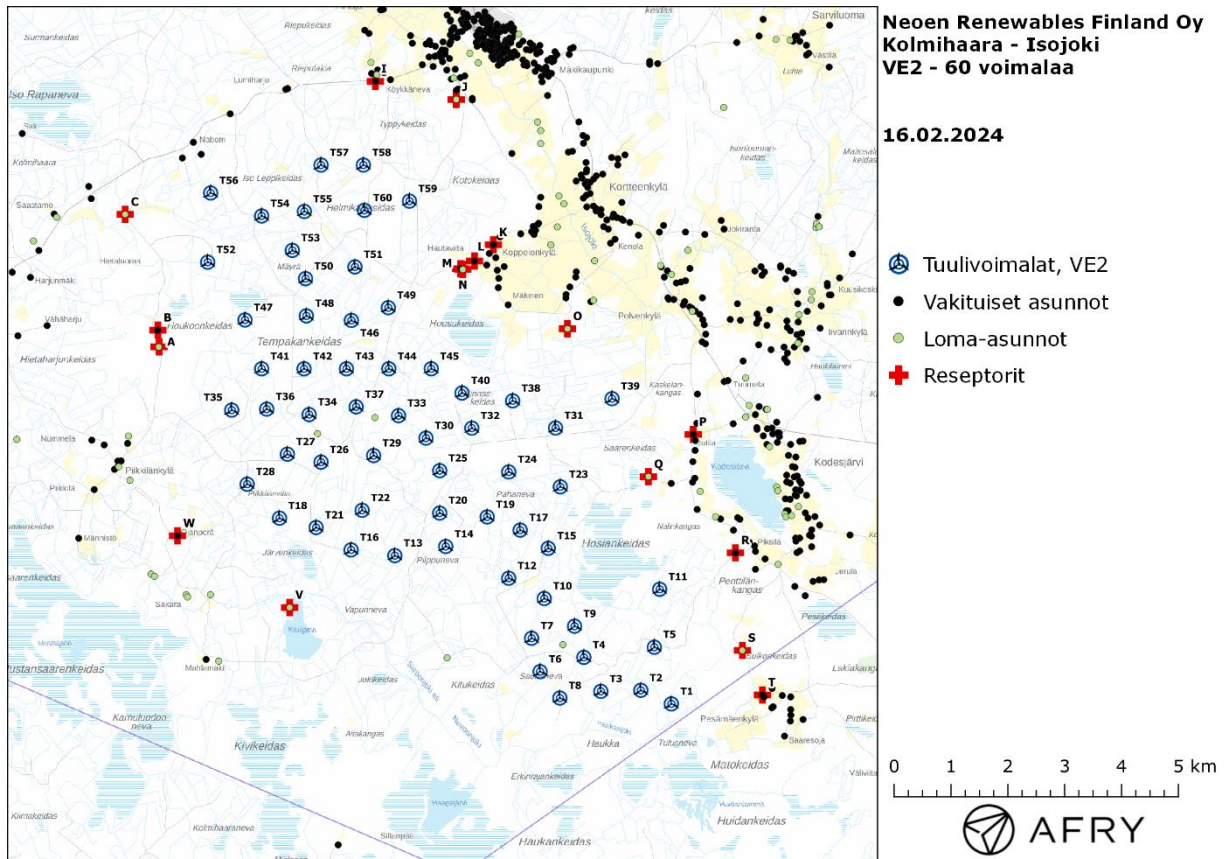
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 17 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevan noin 1,4–2,0 km etäisyydellä voimaloista.

Karttaan on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja. Hankealueen sisäpuolella olevat asunnot sekä osa alueen lähelle sijoittuvista asunnoista on jätetty huomioimatta reseptoripisteinä asiakkaalta saatujen tietojen perusteella.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
A	231497	6891419	97	lomarakennus
B	231476	6891712	90	vakituinen asuinrakennus
C	230901	6893748	81	lomarakennus
I	235305	6896087	104	vakituinen asuinrakennus
J	236728	6895768	104	lomarakennus
K	237382	6893214	102	vakituinen asuinrakennus
L	237050	6892929	102	vakituinen asuinrakennus
M	236803	6892793	103	vakituinen asuinrakennus
N	236844	6892780	103	lomarakennus
O	238686	6891737	100	lomarakennus
P	240901	6889880	101	vakituinen asuinrakennus
Q	240111	6889136	105	lomarakennus
R	241643	6887797	106	vakituinen asuinrakennus
S	241765	6886081	103	lomarakennus
T	242119	6885298	101	vakituinen asuinrakennus
V	233796	6886836	80	lomarakennus
W	231821	6888097	81	vakituinen asuinrakennus



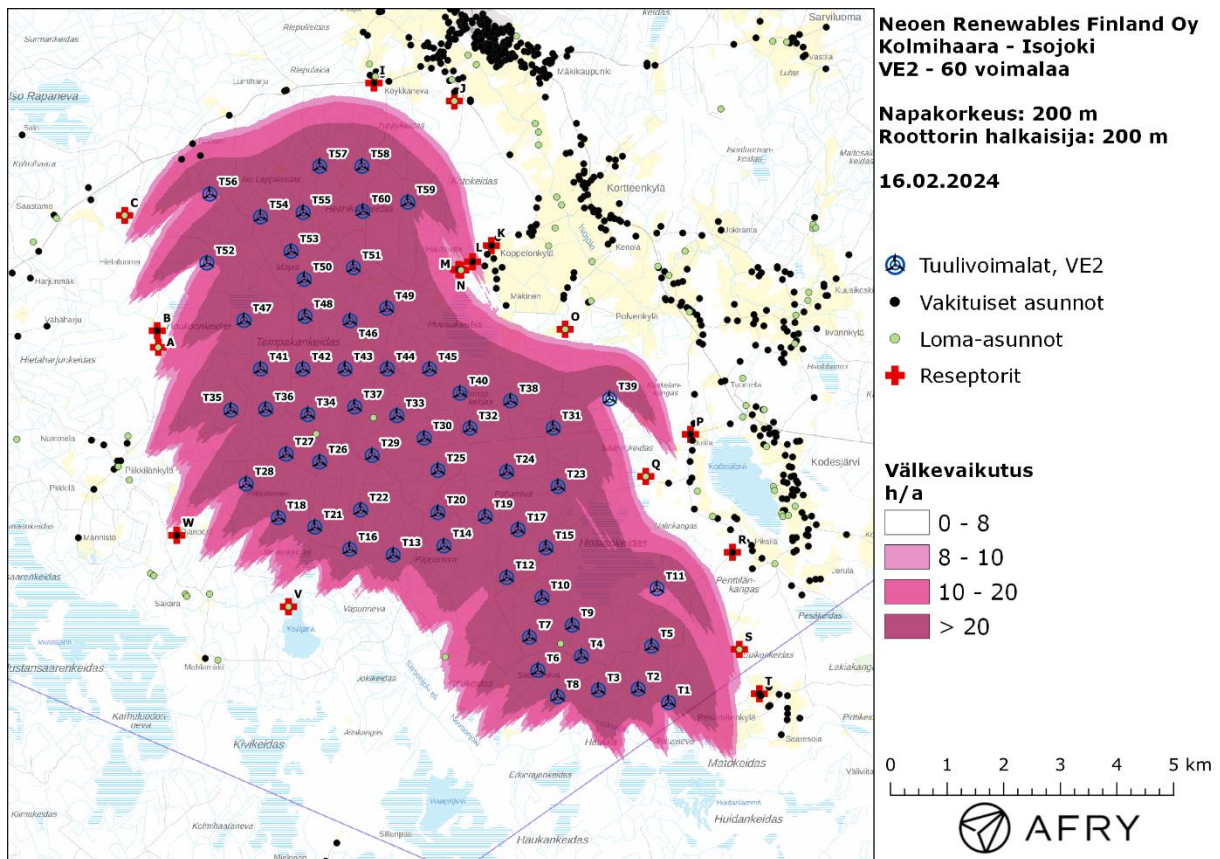
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohjearvon 2 lähialueen asuin- ja lomarakennuksen kohdalla. Päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien A ja L kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6) ja (Taulukko 7). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
A	5:49	8
B	4:17	7
C	4:47	8
I	4:19	6
J	1:29	3
K	3:32	6
L	9:53	8
M	8:00	8
N	6:47	8
O	5:55	8
P	2:46	6
Q	5:08	6
R	2:21	7
S	6:32	6
T	2:50	7
V	1:39	4
W	4:10	8

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin A kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:26	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
Toukokuu	0:00	0:00	1:46	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:46
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:34	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34
Elokuu	0:00	0:00	1:01	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:09	0:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:39
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	3:22	1:07	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:49

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin L kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:44
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:36	0:00	0:00	0:00	0:36
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:23	0:01	0:00	0:00	0:25
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:00	0:00	0:20
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:01	0:00	1:01
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:32	0:00	2:32
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:15	0:00	2:15
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:00	0:00	0:20
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:00	0:00	0:00	0:15
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:21	0:00	0:00	0:00	0:37
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:22
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17	0:30	1:35	0:42	5:49	0:00	9:53

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälke aika ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon 7 reseptoripisteen kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää 30 min raja-arvon 5 reseptoripisteen kohdalla.

Teoreettisen välkevaikutuksen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden A, L ja O kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 9) – (Taulukko 11). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Saksan ohjearvot teoreettiselle maksimivälkkeelle eivät sovellu hyvin Suomen olosuhteisiin, sillä Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa pimeimpään vuodenaikaan aurinko paistaa matalalta, mikä voi synnyttää paikoitellen suurta teoreettista maksimivälkettä, vaikka talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen. Toisinaan myös Suomen kesä- ja heinäkuun auringonnousut – ja laskut voivat aiheuttaa joinakin päivinä teoreettisesti suuria päiväkohtaisia välkeajoja. Todennäköisyys sille, että juuri kyseisinä päivinä voimalat aiheuttavat maksimaalisen välkkeen on alhainen. Lisäksi auringonnousun ja -laskun aikaan paiste on hyvin viistoa, jolloin puusto voi vähentää välkevaikutusta merkittävästi. Esimerkiksi reseptoripisteessä O teoreettinen maksimivälke ajoittuu kokonaan talvi-kuukausille (loka-maaliskuu), jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on suhteellisen matala ja Aurinko paistaa matalalta. Teoreettinen maksimivälke tässä tapauksessa yliarvioi todellista välkevaikutusta, mikä ilmenee todennäköisen välkkeen mallinnetusta tasosta, joka pysyy ohjearvossa.

Taulukko 8: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
A	26:12	25
B	20:29	28
C	20:28	28
I	44:47	54
J	12:22	19
K	18:10	23
L	52:20	34
M	48:08	40
N	42:45	37
O	47:27	43
P	12:01	26
Q	30:53	28
R	14:10	27
S	31:31	28
T	13:04	29
V	5:53	15
W	12:11	24

Taulukko 9: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin A kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	2:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:43
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	1:55	1:52	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:47
Huhtikuu	0:00	0:00	0:03	0:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:25
Toukokuu	0:00	0:00	6:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:11
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	2:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:08
Elokuu	0:00	0:00	4:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:06
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	2:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:16
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	1:08	3:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:36
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	0:00	12:28	5:40	8:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	26:12

Taulukko 10: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin L kohdalla.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:51	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	7:01
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:26	0:00	0:00	0:00	3:26
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:40	0:10	0:00	0:00	1:49
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:29	0:00	0:00	1:29
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:48	0:00	3:48
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:31	0:00	9:31
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:42	0:00	8:42
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:29	0:00	0:00	1:29
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17	0:00	0:00	0:00	1:17
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:43	2:16	0:00	0:00	0:00	3:58
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:35	1:10	0:00	0:00	0:00	0:00	3:45
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:05
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	14:31	4:02	8:38	3:09	22:00	0:00	52:20

Taulukko 11: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin O kohdalla.

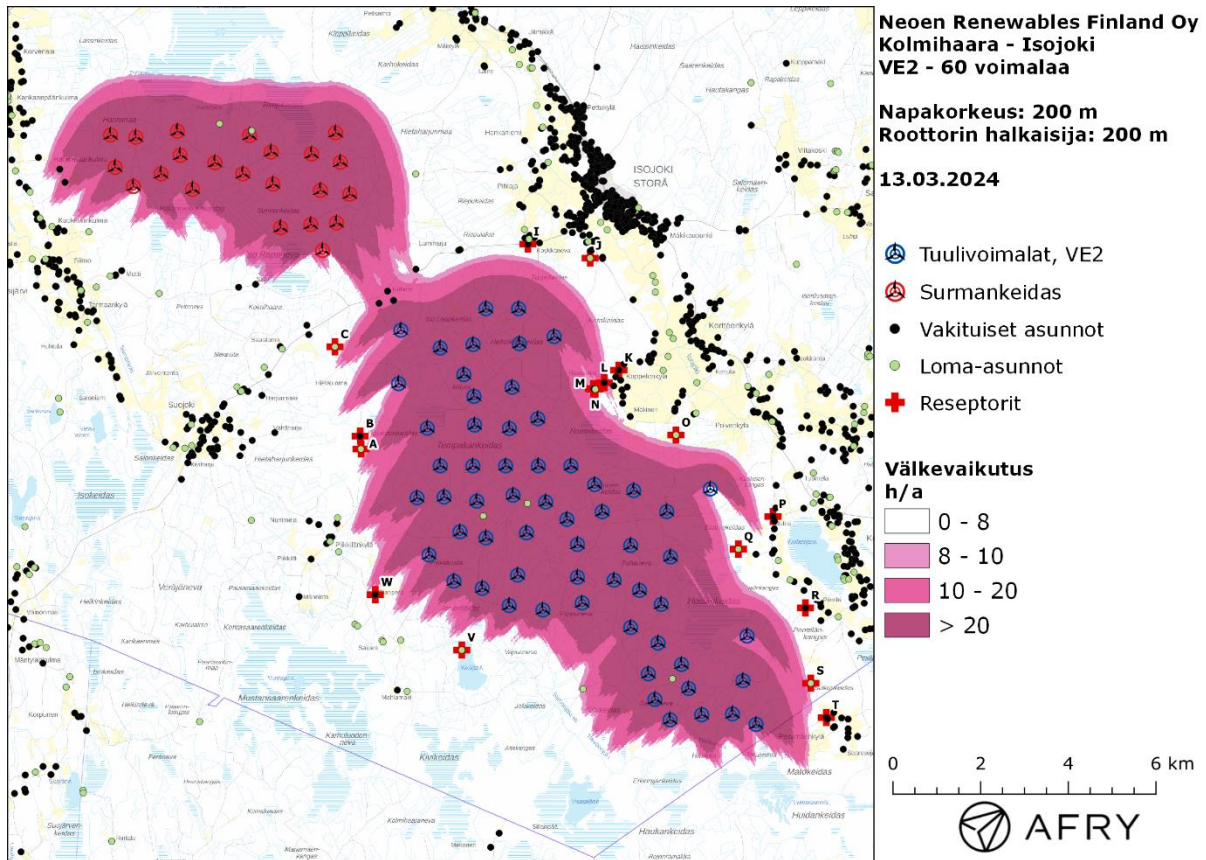
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:58	2:28	0:00	0:00	0:00	0:00	9:26
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:32	5:06	0:00	4:22	1:19	0:00	0:00	0:00	12:19
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:33	0:00	0:00	0:00	0:33
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	4:47	0:00	0:00	1:52	0:33	0:00	0:00	0:00	7:12
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:50	0:00	4:13	6:18	0:00	0:00	0:00	0:00	12:21
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:36	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:36
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	8:10	5:06	16:46	15:00	2:26	0:00	0:00	0:00	47:27

3.4 Kolmihaaran ja Surmankeitaan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Kolmihaaran voimaloiden ja läheisyyteen suunnitellun Surmankeitaan tuulivoimapuiston yhteisvaikutuksia. Surmankeitaan tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 22 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 2,5 km etäisyydellä Kolmihaaran voimaloista.

Surmankeitaan ympäristövaikutusten arviointiselosteessa voimaloiden kokonaiskorkeudeksi ilmoitetaan enintään 280 m. Välkemallinnuksessa Surmankeitaan voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 200 m ja napakorkeutta 180 m (kokonaiskorkeus 280 m). Surmankeitaan voimaloilla on käytetty samaa lapaprofiilia ja roottorin halkaisijaa kuin Kolmihaaran voimaloilla.

Kolmihaaran ja Surmankeitaan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 4). Todennäköiset väleajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdalla on listattu taulukossa (Taulukko 12). Mallinnusten perusteella Kolmihaaran ja Surmankeitaan voimaloista aiheutuu vain vähäisiä välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Surmankeitaan voimaloista ei aiheudu välevaikutuksia tässä selvityksessä tarkasteltuihin reseptoripisteisiin.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Kolmihaaran sekä Surmankeitaan suunnitellut voimalat.

Taulukko 12: Välkeajat reseptoripisteissä, kun mallinuksissa huomioidaan Kolmihaaran sekä Surmankeitaan suunnitellut voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo reseptoripisteissä sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaja [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]	Teoreettinen vuotuinen maksimivälkeaja [h:min]	Teoreettinen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
A	5:49	8	26:12	25
B	4:17	7	20:29	28
C	4:47	8	20:28	28
I	4:19	6	44:47	54
J	1:29	3	12:22	19
K	3:32	6	18:10	23
L	9:53	8	52:20	34
M	8:00	8	48:08	40
N	6:47	8	42:45	37
O	5:55	8	47:27	43
P	2:46	6	12:01	26
Q	5:08	6	30:53	28
R	2:21	7	14:10	27
S	6:32	6	31:31	28
T	2:50	7	13:04	29
V	1:39	4	5:53	15
W	4:10	8	12:11	24

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Isojoen kunnan alueelle suunnitellun Kolmihaaran tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 60 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2, roottorin halkaisijalla 200 m ja napakorkeudella 200 m. Selvityksessä on arvioitu myös Kolmihaaran sekä suunnitteilla olevan Surmankeitaan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus ylittää 8 tunnin ohje-arvon 2 lähialueen asuin- ja lomarakennuksen kohdalla. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohje-arvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon 7 reseptoripisteen kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää 30 minuutin raja-arvon 5 reseptoripisteen kohdalla.

Surmankeitaan voimaloista ei aiheudu välkevaikutuksia tässä selvityksessä tarkasteltuihin reseptoripisteisiin.

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 läpinäkyvällä 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.

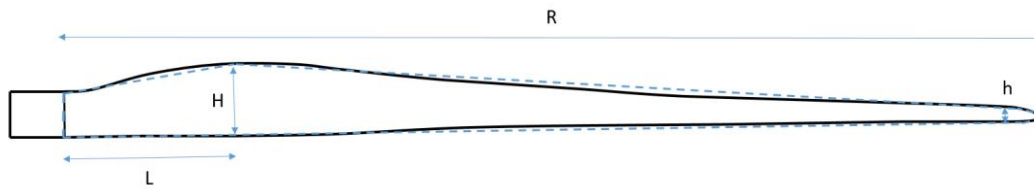
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 5) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 200 metrin roottorin halkaisijaa. Laskennassa huomiotava 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. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.