

Kolmihaaran tuuli- ja aurinkovoimahanke, Isojoki

LIITE 12: KOLMIHAARAN TUULIVOIMAPUISTON VÄLKESELVITYS,
HANKEVAIHTOEHTO VE1, AFRY FINLAND OY



Neoen Renewables Finland Oy

Kolmihaaran tuulivoimapuiston väikeselvitys, hankevaihtoehto VE1

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 VE1

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>.

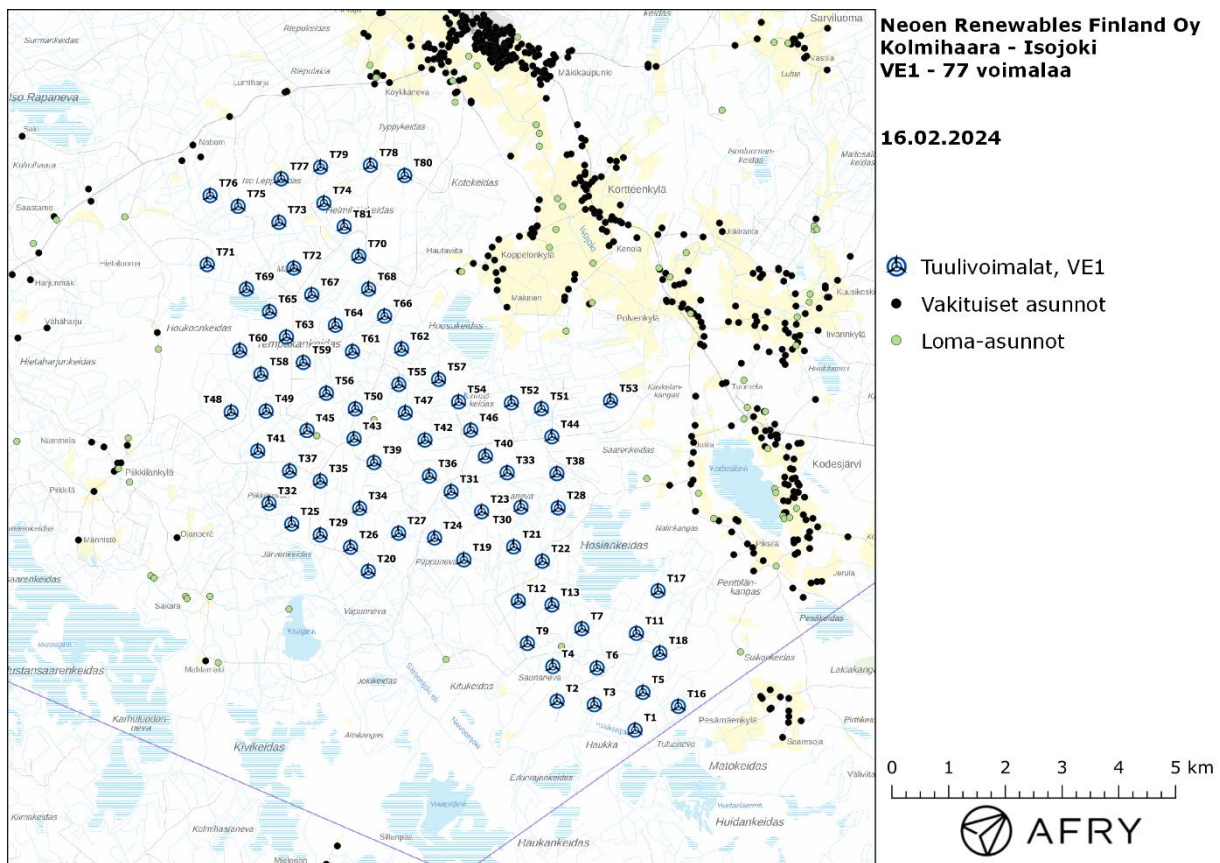
Sisällysluettelo

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 77 voimalan hankevaihtoehdolle VE1. 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 levin kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levin 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 VE1.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (77 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	239901	6884705	96
T2	238525	6885215	88
T3	239182	6885153	93
T4	238451	6885827	89
T5	240041	6885371	98
T6	239231	6885801	94
T7	238963	6886493	98
T9	238002	6886232	90
T11	239927	6886411	100
T12	237841	6886980	94
T13	238435	6886912	96
T16	240666	6885123	95
T17	240308	6887159	101
T18	240340	6886066	98
T19	236882	6887706	95
T20	235194	6887504	83
T21	237760	6887935	96
T22	238266	6887683	96
T23	237195	6888555	98
T24	236364	6888092	94
T25	233844	6888339	86
T26	234881	6887928	86
T27	235730	6888176	87
T28	238544	6888622	100
T29	234345	6888144	86
T30	237889	6888635	99
T31	236656	6888909	98
T32	233442	6888701	83
T33	237645	6889241	102
T34	235041	6888614	88
T35	234346	6889096	88
T36	236273	6889183	98
T37	233804	6889272	86
T38	238523	6889226	102
T39	235295	6889421	91
T40	237262	6889535	101
T41	233245	6889623	84
T42	236194	6889817	97
T43	234943	6889842	92
T44	238433	6889875	106
T45	234113	6889985	90

T46	237001	6889992	106
T47	235848	6890297	98
T48	232774	6890309	86
T49	233390	6890327	91
T50	234965	6890367	96
T51	238250	6890369	105
T52	237720	6890473	106
T53	239469	6890510	106
T54	236788	6890491	107
T55	235733	6890798	99
T56	234454	6890643	94
T57	236436	6890887	103
T58	233300	6890978	89
T59	234048	6891185	92
T60	232927	6891396	92
T61	234915	6891379	95
T62	235781	6891424	101
T63	233749	6891633	92
T64	234614	6891841	96
T65	233451	6892081	92
T66	235482	6892003	101
T67	234197	6892379	96
T68	235200	6892478	99
T69	233044	6892478	93
T70	235026	6893057	100
T71	232352	6892910	93
T72	233881	6892849	98
T73	233617	6893654	96
T74	234410	6893994	99
T75	232897	6893936	95
T76	232403	6894127	92
T77	233658	6894421	98
T78	235232	6894662	106
T79	234352	6894628	103
T80	235838	6894480	103
T81	234769	6893579	98

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 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 pilvisyys on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja 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	0,173	0,212	0,159	0,114	0,137	0,140

Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

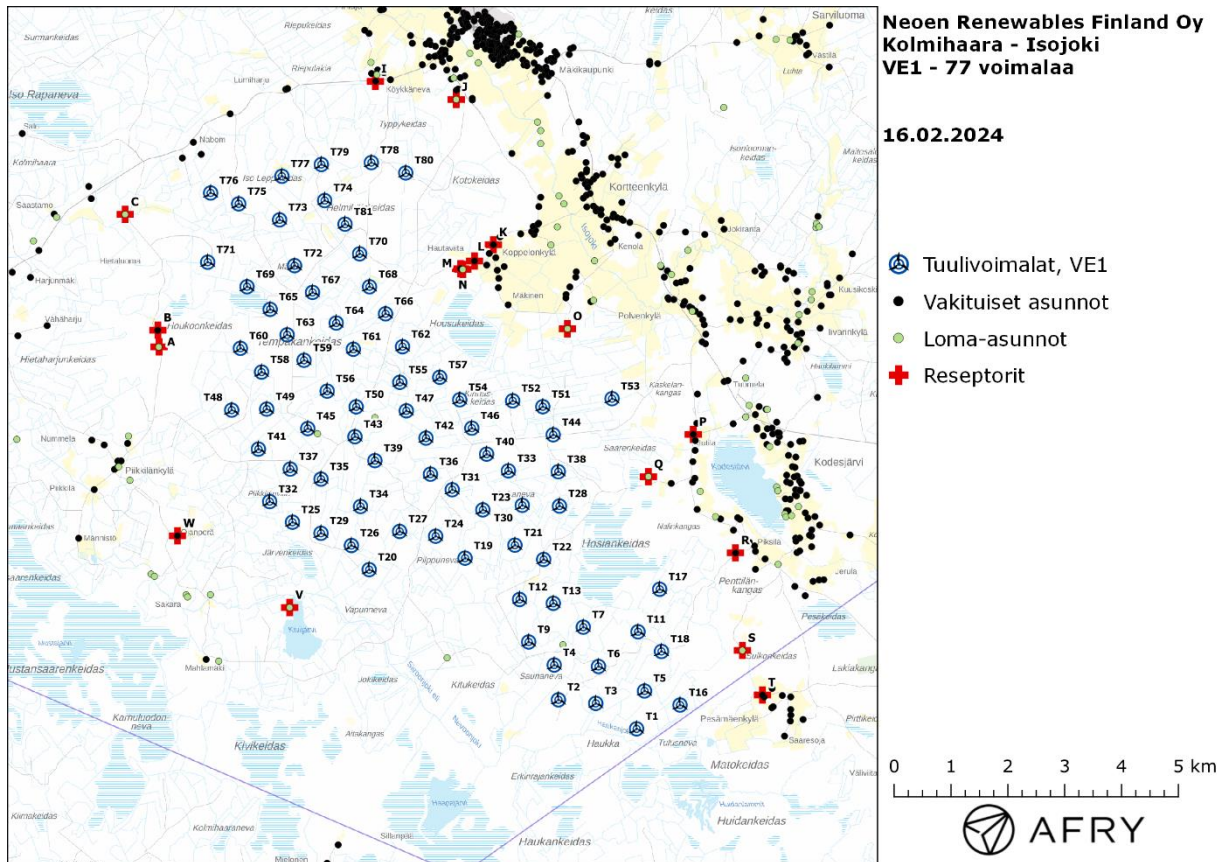
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

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



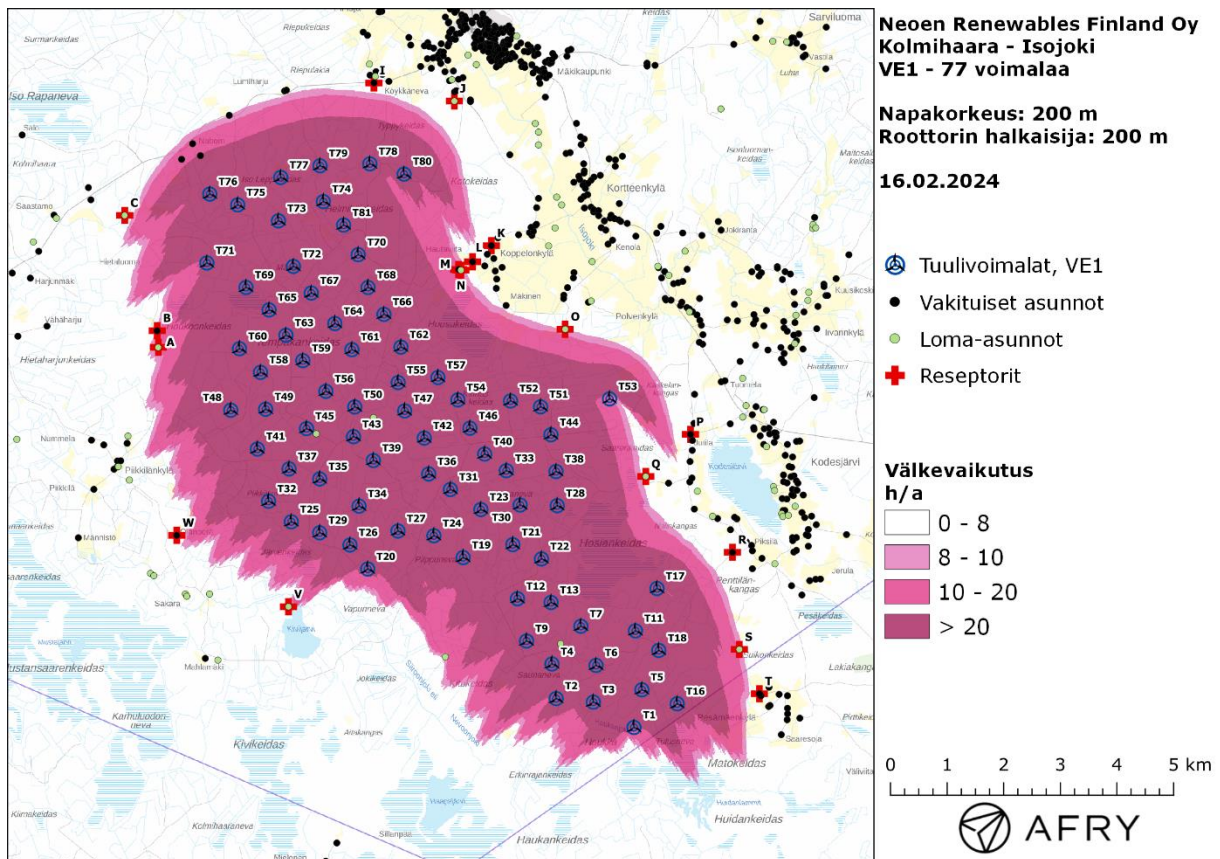
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueella.

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 6 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 M 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	9:57	10
B	8:56	7
C	5:33	8
I	5:11	11
J	2:28	5
K	2:59	4
L	5:05	4
M	10:07	6
N	9:45	6
O	7:56	10
P	2:58	6
Q	7:00	8
R	2:48	7
S	8:59	7
T	4:29	8
V	8:33	10
W	4:42	7

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	0:29	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Huhtikuu	0:00	0:00	0:11	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:40
Toukokuu	0:00	0:00	0:45	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45
Kesäkuu	0:00	0:00	1:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:59
Heinäkuu	0:00	0:00	1:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:02
Elokuu	0:00	0:00	0:38	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:49
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:43	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:43
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	4:35	4:02	1:21	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	9:57

Taulukko 7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin M 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	0:06	0:39	0:31	0:00	0:00	0:00	0:00	1:17
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	0:56	0:00	0:00	0:00	1:26
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:00	0:00	0:00	0:00	1:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54	0:00	0:00	0:54
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	0:52	0:00	0:52
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:26
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18	0:00	0:00	0:18
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38	0:31	0:00	0:00	1:08
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52	0:12	0:00	0:00	0:00	1:05
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07	0:23	0:29	0:00	0:00	0:00	0:00	1:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:21	1:37	2:22	2:46	1:43	1:18	0:00	10:07

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 10 reseptoripisteen kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika ylittää 30 min raja-arvon 9 reseptoripisteen kohdalla.

Teoreettisen välkevaikutuksen tarkempi ajoittuminen reseptoreiden A ja O kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 9) ja (Taulukko 10). 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	43:17	40
B	39:00	29
C	23:52	28
I	35:34	49
J	18:25	26
K	14:19	17
L	35:40	23
M	62:23	34
N	59:52	34
O	66:40	56
P	13:06	26
Q	39:52	33
R	17:31	27
S	44:30	36
T	20:44	33
V	30:31	36
W	17:33	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	2:12	1:52	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:05
Huhtikuu	0:00	0:00	0:42	6:27	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:09
Toukokuu	0:00	0:00	2:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:39
Kesäkuu	0:00	0:00	6:58	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:58
Heinäkuu	0:00	0:00	3:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:42
Elokuu	0:00	0:00	2:36	5:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:45
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	3:41	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:41
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	16:37	18:36	8:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	43:17

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

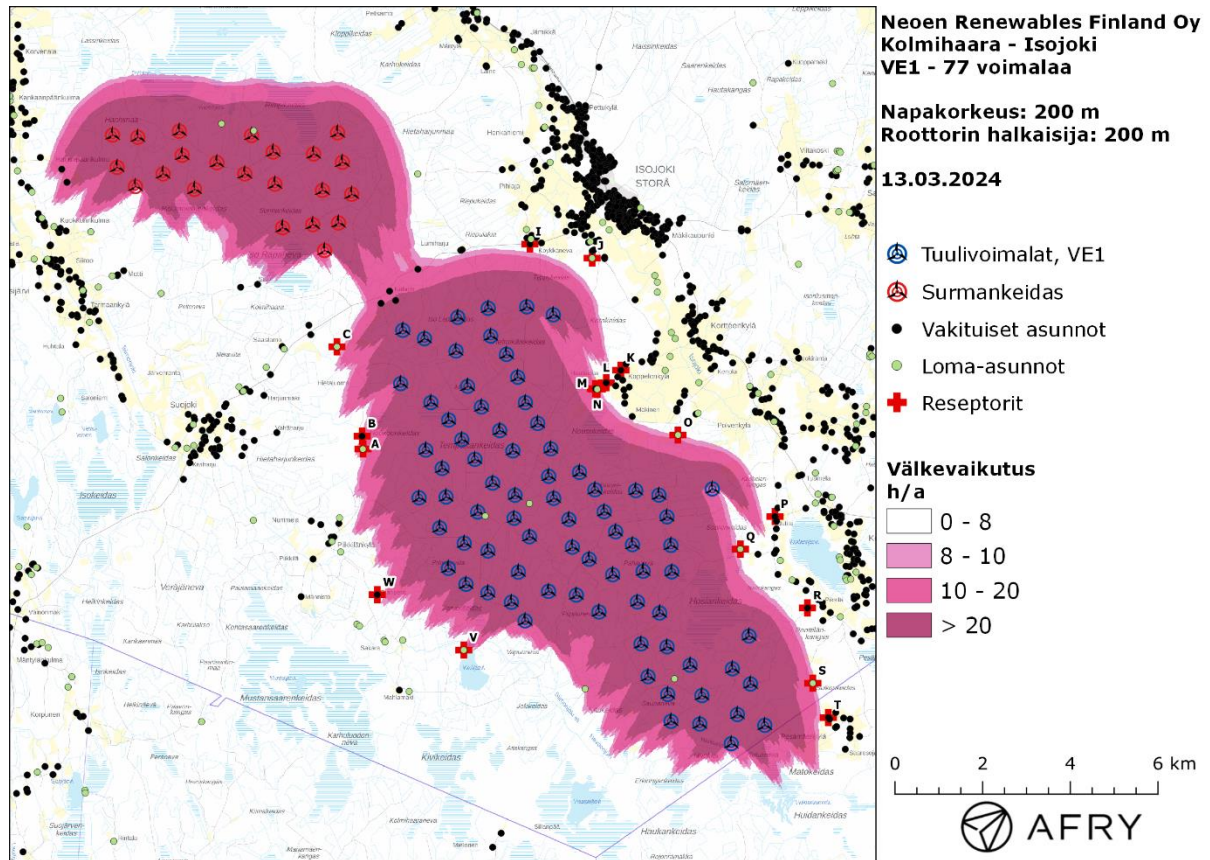
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	15:17	2:28	0:00	0:00	0:00	0:00	17:45
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:32	5:06	1:15	4:22	1:22	0:00	0:00	0:00	13:36
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:27
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	1:39	0:43	0:00	0:00	0:00	7:08
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:50	0:00	12:48	6:18	0:00	0:00	0:00	0:00	20:56
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:47
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	8:10	5:06	36:06	14:47	2:31	0:00	0:00	0:00	66:40

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 välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 11). Mallinnusten perusteella Kolmihaaran ja Surmankeitaan voimaloista aiheutuu vain vähäisiä välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Surmankeitaan voimaloista ei aiheudu välkevaikutuksia tässä selvityksessä tarkasteltuihin reseptoripisteisiin.



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

Taulukko 11: Välkeajat reseptoripisteissä, kun mallinuksissa huomioidaan Kolmihaaran sekä Surmankeitaan suunnitellut voimat. 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	9:57	10	43:17	40
B	8:56	7	39:00	29
C	5:33	8	23:52	28
I	5:11	11	35:34	49
J	2:28	5	18:25	26
K	2:59	4	14:19	17
L	5:05	4	35:40	23
M	10:07	6	62:23	34
N	9:45	6	59:52	34
O	7:56	10	66:40	56
P	2:58	6	13:06	26
Q	7:00	8	39:52	33
R	2:48	7	17:31	27
S	8:59	7	44:30	36
T	4:29	8	20:44	33
V	8:33	10	30:31	36
W	4:42	7	17:33	24

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Isojoen kunnan alueelle suunnitellun Kolmihaaran tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 77 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1, 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 6 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 10 reseptoripisteen kohdalla. Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika ylittää 30 minuutin raja-arvon 9 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 suuntakohtaisilla 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.

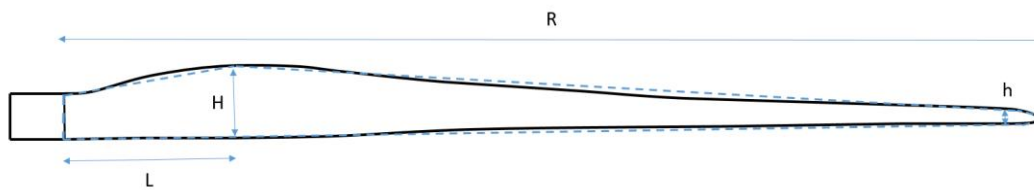
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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