



ETHA WIND



VÄLKESELVITYS

Kirvesvuoren Tuulipuisto

1.3.2024

SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO	2
2	TAUSTA.....	3
3	VARJOVÄLKKEEN MUODOSTUMINEN	3
3.1	Ohje- ja raja-arvot.....	4
3.2	Varjovälkkeen lähtötiedot ja menetelmät	5
4	VÄLKEVAIKUTUKSET	7
4.1	Vaihtoehdon VE1 välkevaikutukset	7
4.2	Vaihtoehdon VE2 välkevaikutukset	10
4.3	Yhteisvaikutusten Mallinnus.....	12
4.3.1	Vaihtoehdon VE1 Välkevaikutukset	12
4.3.2	Vaihtoehdon VE2 Välkevaikutukset	15
4.4	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	17
4.5	Haittojen ehkäiseminen käyttäen välkehallintajärjestelmä	18
5	LÄHTEET	22
	Liite 1: Sijoitussuunnitelma	23

VERSIOHISTORIA

Versio, Päivämäärä	Tekijä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1, 2024-03-01	Arina Makarova	Christian Granlund	Christian Granlund	Kirvesvuoren tuulivoimapuiston välkeselvitys.

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Välkeselvitys Kirvesvuoren tuulivoimapuiston vaikutusalueella. Selvityksessä on otettu huomioon myös viereinen suunnitteluvaiheessa oleva tuulipuisto Kämpäkangas.

Työmenetelmät:

Välkeselvitykseen on kerätty ajantasaista tietoa tuulivoimaloiden varjon välkkeen ominaispiirteistä, välkkeen ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty windPRO Ver4.0 ohjelmiston SHADOW-moduulia. Mallinnuksessa ja raportoinnissa on käytetty ympäristöministeriön vuonna 2016 julkaisemia ohjeita raportista Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöministeriö, 2016). Vaikutusten arvioinnissa käytetyt laskentaparametrit on taulukoitu tässä raportissa.

Tulokset:

Suomen lainsäädännössä ei ole määritelty välkevaikutukselle raja-arvoja tai suosituksia. Ympäristöhallinnon ohjeen OH 5/2016 mukaan Suomessa vaikutuksia arvioitaessa on suositeltavaa käyttää apuna muiden maiden ohjearvoja. Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään 26 vakituisen tai vapaa-ajan asunnon kohdalla VE1:ssä ja 5 vakituisen tai vapaa-ajan asunnon kohdalla VE2:ssä. Teoreettisen maksimitilanteen suosituksia (30 h/v ja 30 min/p) ylitetään myös usean lähellä sijaitsevan asunnon kohdalla.

Kohtuuton haitta varjovälkkeestä pystytään ehkäisemään pysäyttämällä välkettä aiheuttavat voimalat kriittiseksi ajaksi. Voimalat voidaan ohjelmoida pysähtymään automaattisesti vallitsevien sääolosuhteiden mukaisesti, kun välkettä muodostuisi herkälle alueelle. Laskennat, joissa välkehallintajärjestelmä on huomioitu, löytyvät kappaleessa 4.5. Sijoitussuunnitelmassa VE1 suosittelemme välkkeenhallintajärjestelmän käyttöä kaikille suunnitelluille voimaloille paitsi voimaloille 4, 7, 11, 14 ja 16. Sijoitussuunnitelmassa VE2 suosittelemme välkkeenhallintajärjestelmän käyttöä kaikille suunnitelluille voimaloille paitsi voimaloille numero 3, 5, 6, 8 ja 10.

Taulukko 1. Yhteenveto vertailuarvojen ylityksistä (mallinnus ilman puuston suojaavaa vaikutusta). Taulukko kertoo kuinka monessa asunnossa (vakituinen tai vapaa-ajan asunto) kyseinen vertailuarvo ylitetään.

Vertailuarvo	VE1	VE2
> 10 h/v, todellinen tilanne	14	0
> 8 h/v, todellinen tilanne	26	5
> 30 h/v, teoreettinen maksimi	29	8
> 30 min/pv, teoreettinen maksimi	23	6

Taulukko 2. Yhteenveto vertailuarvojen ylityksistä, käyttäen välkehallintajärjestelmää.

Vertailuarvo	VE1	VE2
> 10 h/v, todellinen tilanne	0	0
> 8 h/v, todellinen tilanne	0	0
> 30 h/v, teoreettinen maksimi	0	0
> 30 min/pv, teoreettinen maksimi	0	0

2 TAUSTA

Tämä välkeselvitys on tehty Kirvesvuoren tuulivoimapuistolle Kyyjärven ja Perhon kuntien alueella. Tässä selvityksessä on tarkistettu kaksi eri sijoitussuunnitelman vaihtoehtoa, jotka on muodostettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä ja kaavoitusmenettelyä varten:

- VE1: 20 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.
- VE2: 13 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.

Naapuripuisto Kämpäkangas (12 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 200 metriä ja napakorkeus on 200 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 300 metriä.

Välkeselvitys on tehty windPRO 4.0 ohjelmiston SHADOW-moduulia käyttäen. Tulosten arvioinnissa on käytetty Saksan ja Ruotsin suositusarvoja (LAI, 2002; Boverket, 2009). Etha Wind Oy on tarkistanut lähtötietojen oikeellisuuden ja vastaa siitä, että laskenta on oikein suoritettu.

3 VARJOVÄLKKEEN MUODOSTUMINEN

Tuulivoimaloiden roottorin pyörimisestä aiheutuu säännöllisesti välkkyvää varjovaikutusta, kun voimala pyörii tarkastelupisteen ja auringon välissä. Välkkeen määrä riippuu sääolosuhteista siten, että esimerkiksi pilvisellä säällä välkettä ei esiinny. Kesällä välkevaikutukset ovat laajimmillaan

aamuisin ja iltaisin, kun aurinko on matalalla. Talvisin välkettä voidaan havaita laajemmalla alueella myös päivällä. Etäisyyden kasvaessa tuulivoimalan ja tarkastelupisteen välissä, välkkeen vaikutus pienenee. Kun tuulivoimala ei pyöri, välkettä ei esiinny. Välkevaikutus riippuu myös tuulen suunnasta eli roottorin kulmasta havainnointipisteeseen nähden.

Havaintopaikkaan kohdistuva varjovälke ei ole jatkuvaa, vaan välkkeen ajankohta ja kestoaika vaihtelevat vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Yhtäjaksoista välkettä esiintyy yleensä 0-30 minuuttia päivässä riippuen havainnointipaikan suhteesta välkelähteeseen.

Ihmiset kokevat välkevaikutukset, kuten muutkin vaikutukset, hyvin eri tavoin. Suositusarvot ylittävä määrä varjovälkettä asuinalueella voi vaikuttaa asukkaiden viihtyvyyteen. Se havaitaanko varjovälkettä asuinalueella, loma-asunnolla tai työmaa-alueella, vaikuttaa ilmiön häiritsevyyteen. Myös eri hankkeiden varjovälkkeen kumuloituminen voi vaikuttaa lähialueen asuinvihtyvyyteen sekä virkistyskäyttöön.



Kuva 1. Varjovälkettä muodostuu, kun tuulivoimala pyörii tarkastelupisteen ja auringon välissä, aurinkoisella ja pilvettömällä säällä.

3.1 OHJE- JA RAJA-ARVOT

Suomen lainsäädännössä ei ole määritelty välkevaikutukselle raja-arvoja tai suosituksia. Ympäristöhallinnon ohjeen OH 5/2016 mukaan Suomessa vaikutuksia arvioitaessa on suositeltavaa käyttää apuna muiden maiden ohjearvoja. Saksassa ja Ruotsissa on tuulivoimapuistojen viereiselle asutukselle annettu suositusarvo maksimissaan kahdeksan tuntia välkettä vuodessa (nk. "real case" eli todellinen tilanne, jossa huomioidaan auringonpaisteajat ja tuuliolosuhteet). Lisäksi Saksassa ja Ruotsissa on annettu suositusarvo 30 minuuttia päivässä sekä 30 tuntia vuodessa niin kutsutussa "worst-case" -eli teoreettisessa maksimitilanteessa. Tanskassa sovelletaan yleensä kymmenen tunnin vuotuisen välkkeen raja-arvoa todellisessa tilanteessa.

Teoreettinen maksimitilanne tarkoittaa tilannetta, jossa kaikkien voimaloiden oletetaan olevan toiminnassa keskeytyksettä, ja taivaan oletetaan aina olevan pilvetön. Aurinkoisina ajanjaksoina teoreettisen maksimitilanne voi toteutua päivätasolla, mutta käytännössä ei vuositasolla. Tämän raportin välkemallinnustuloksia on verrattu edellä mainittuihin suositusarvoihin.

3.2 VARJOVÄLKKEEN LÄHTÖTIEDOT JA MENETELMÄT

Välkkeen muodostumiseen vaikuttavat oleellisesti sääolosuhteiden lisäksi voimaloiden käyttöaika, korkeus ja roottorin halkaisija. Myös kasvillisuus ja puusto vaikuttavat oleellisesti välkevaikutuksen muodostumiseen. Välkemallinnus on tehty sekä ilman puuston suojaavan vaikutuksen huomiointia että suojavaikutus huomioiden.

Tuulivoimaloiden aiheuttaman varjovälkkeen vaikutusalue ja -määrä mallinnetaan tuulivoimamallinnukseen käytettävällä windPRO-ohjelmalla, jossa pohjatietona käytettiin paikallisia olosuhteita vastaavia tilastollisia tietoja. Ohjelmalla voidaan laskea sekä tiettyyn pisteeseen kohdistuva varjovälke, että koko tuulivoima-alueen varjovälkkeen muodostuminen. Laskennat tehdään todellisten olosuhteiden mukaisesti, jolloin otetaan huomioon tuulivoimaloiden korkeus, sijainti ja roottorin halkaisija sekä paikalliset, tilastolliset sääolosuhteet. Käyttöaste ja tuulensuunnat lasketaan käyttäen alueella EMD-WRF Europe+ MesoScale tuulisuustietoja.

Välkemallinnukset on suoritettu alalla vakiintuneen käytännön mukaisesti, ottaen huomioon voimalan lapojen keskimääräiset leveydet, joiden avulla lasketaan maksimitarkasteluetaisyys voimaloista (LAI 2002). Maksimitarkasteluetaisyys määritetään siten, että havainnointipisteessä voimalan lapa peittää vähintään 20 % auringosta. Mikäli voimala on niin kaukana havainnointipisteestä, että sen lavat peittävät alle 20 % auringon pinta-alasta, ei havainnointipisteeseen muodostu häiritsevään voimakkaita liikkuvia varjoja. Maksimivaikutusten arvioimiseksi Kirvesvuoren mallinuksissa on käytetty nykyistä suurempaa voimalamallia, jonka lapojen paksuus on arvioitu nykyisten voimalamallien perusteella.

Välkemallinnuksessa on käytetty nk. kasvihuoneasetusta, eli välkettä lasketaan havaittavaksi aina, kun välkealue osuu rakennuksen kohdalle.

Maastotietokantana käytettiin Maanmittauslaitoksen kymmenen metrin korkeusmallia ja säähavaintotietoina käytettiin Jyväskylän säähavaintoja. Jyväskylän havaintoasema sijaitsee noin 97 kilometrin päässä suunnitellusta tuulivoimapuistoalueesta. Laskelmissa oletetaan, että

tuulivoimaloiden roottorit pyörivät vain tuulennopeuden ollessa sopiva. Varjovälkettä tarkasteltiin kahden metrin korkeudelta eli suunnilleen ihmisen havainnointikorkeudelta. Mallinnuksessa käytetyt auringonpaisteajat sekä tuulivoimaloiden toiminta-aika on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 3. Mallinnuksessa käytetyt asetukset.

Asetus	Kuvaus
Auringonpaisteajat	Jyväskylän sääaseman havainnot, Ilmatieteen laitos (taulukko 3)
Toiminta-aika	EMD WRF Europe+ datan perusteella (taulukko 4)
Asuntojen asetus	Kasvihuone-asetus
Mallinnus	Välkemallinnus vakiintuneen menetelmän mukaisesti (LAI 2002)
Lapaparametrit	Voimalavalmistajien lapaparametrejä käytössä
Vertailuarvot	10 h/v todellinen tilanne
	8 h/v todellinen tilanne
	30 h/v teoreettinen tilanne
	30 min/pv teoreettinen tilanne

Taulukko 4. Mallinnuksessa käytetyt auringonpaisteajat.

Kuukausi	Keskimääräinen auringonpaisteen tuntimäärä päivässä
Tammikuu	0,97
Helmikuu	2,54
Maaliskuu	4,68
Huhtikuu	6,30
Toukokuu	8,61
Kesäkuu	9,20
Heinäkuu	8,65
Elokuu	6,68
Syyskuu	4,67
Lokakuu	2,58
Marraskuu	1,03
Joulukuu	0,55
Keskiarvo	4,71

Taulukko 5. Tuulivoimaloiden toiminta-aika.

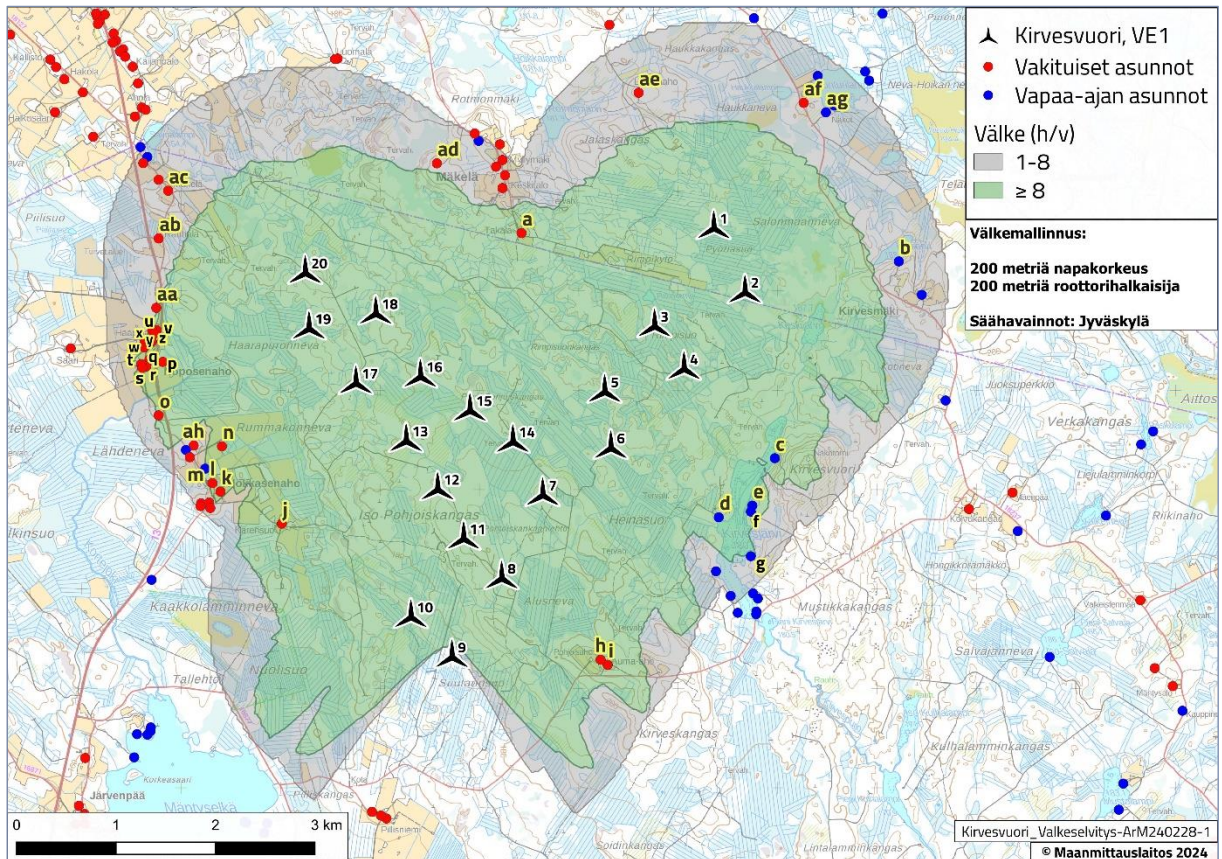
Tuulensuunta	Toiminta-aika (h/v)
Pohjoinen	530
Pohjoiskoillinen	416
Itäkoillinen	383

Itä	443
Itäkaakko	514
Eteläkaakko	715
Etelä	885
Etelälounas	1078
Länsilounas	956
Länsi	848
Länsiluode	694
Pohjoisluode	601
Summa	8063

4 VÄLKEVAIKUTUKSET

4.1 VAIHTOEHDON VE1 VÄLKEVAIKUTUKSET

Välkemallinnuksen tuloksia kuvataan visuaalisesti kartoilla, ja lisäksi tuloksia on kuvattu yksityiskohtaisesti sanallisesti. Kartalla tulokset on esitetty soveltaen todellisen tilanteen vertailuarvoa 8 h/v. Tässä mallinnuksessa puuston suojaavaa vaikutusta ei ole huomioitu.



Kuva 2. Varjovälkkeen muodostuminen Kirvesvuoren alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-ah) ja niiden väketasot on esitetty taulukossa 5.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annetut maksimisuositukset kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon väлкеestä ylitetään 26 havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen mallinnuksessa suositukset (30 h/v ja 30 min/pv) ylitetään myös useassa havainnointipisteessä. Ylitykset ovat merkittäviä ja vertailuarvo 8 h/v ylitetään 0:06 – 10:57 tunnin verran 26 mainitussa havainnointipisteessä. Varjovälkettä esiintyy yli 10 h/v neljäntoista asunnon kohdalla.

Laskennassa on tarkasteltu väkettä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 6. Varjovälkelaskennan tulokset, Kirvesvuori (VE1).

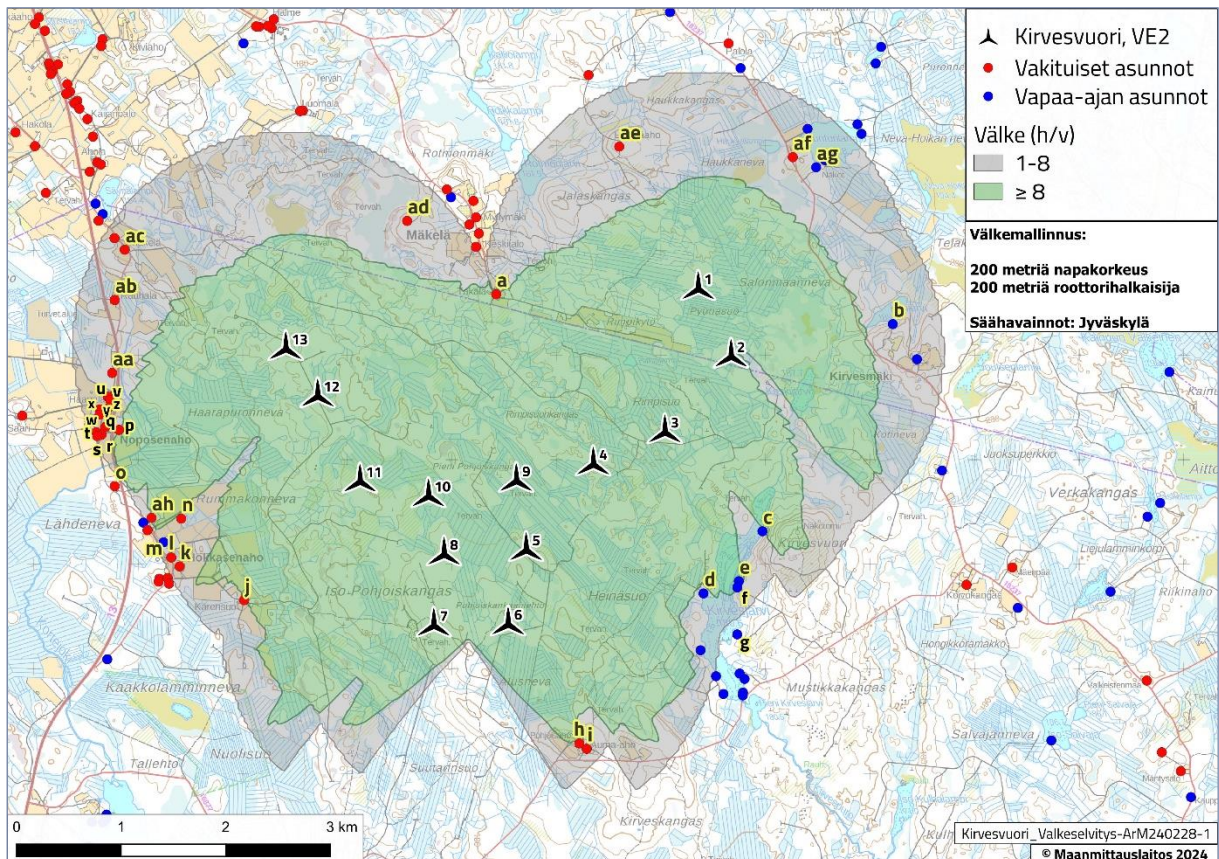
Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	13:24	93:16	1:11	Kyllä
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	5:38	25:25	0:30	Osittain
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	12:43	51:13	0:41	Kyllä
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	18:57	72:53	1:00	Kyllä
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	13:11	50:38	0:38	Kyllä
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	13:23	51:07	0:41	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	8:21	31:27	0:28	Kyllä
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	17:22	69:27	0:43	Kyllä
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	14:50	58:23	0:41	Kyllä
j	Vakituinen asunto	377015	7001657	18:20	76:46	0:34	Kyllä
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	9:05	35:13	0:29	Kyllä
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	10:43	41:07	0:29	Kyllä
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	8:23	31:00	0:29	Kyllä
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	13:01	50:02	0:33	Kyllä
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	10:44	40:58	0:29	Kyllä

p	Vakituinen asunto	375818	7003284	16:11	63:53	0:32	Kyllä
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	10:39	41:19	0:30	Kyllä
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	10:52	42:02	0:29	Kyllä
s	Vakituinen asunto	375610	7003226	9:41	37:35	0:28	Kyllä
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	9:08	35:33	0:28	Kyllä
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	8:55	35:57	0:30	Kyllä
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	9:39	38:43	0:31	Kyllä
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	8:41	34:11	0:29	Kyllä
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	8:28	33:37	0:28	Kyllä
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	9:37	37:52	0:30	Kyllä
z	Vakituinen asunto	375733	7003569	9:31	38:00	0:31	Kyllä
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	8:06	34:57	0:31	Kyllä
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	5:38	27:55	0:31	Osittain
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	4:27	25:20	0:30	Osittain
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	4:37	37:39	0:31	Osittain
ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	2:40	21:12	0:32	Osittain
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	4:33	39:39	0:34	Osittain
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	4:10	33:01	0:30	Osittain
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	06:00	23:04	0:28	Ei

Suositusarvojen ylitys "Osittain" tarkoittaa tilannetta, jossa pelkästään teoreettisen maksimitilanteen vertailuarvoja ylitetään.

4.2 VAIHTOEHDON VE2 VÄLKEVAIKUTUKSET

Välkemallinnuksen tuloksia kuvataan visuaalisesti kartoilla, ja lisäksi tuloksia on kuvattu yksityiskohtaisesti sanallisesti. Kartalla tulokset on esitetty soveltaen todellisen tilanteen vertailuarvoa 8 h/v. Tässä mallinnuksessa puuston suojaavaa vaikutusta ei ole huomioitu.



Kuva 3. Varjovälkkeen muodostuminen Kirvesvuoren alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-ah) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 6.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annetut maksimisuositukset kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään 5 havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään kahdeksassa havainnointipisteessä ja myös teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään kuudessa havainnointipisteessä. Vertailuarvo 8 h/v ylitetään 0:09 – 1:57 tunnin verran 5 mainitussa havainnointipisteessä.

Laskennassa on tarkasteltu välkettä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 7. Varjoväkelaskennan tulokset, Kirvesvuori (VE2).

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositus-arvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	9:57	80:31	1:06	Kyllä
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	5:38	25:25	0:30	Osittain
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	7:13	28:28	0:28	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	6:51	29:29	0:27	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	8:09	30:46	0:28	Kyllä
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	7:32	28:36	0:28	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	0:00	0:00	0:00	Ei
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	8:10	30:51	0:28	Kyllä
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	7:34	28:34	0:27	Ei
j	Vakituinen asunto	377015	7001657	5:09	22:33	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	4:27	16:39	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	3:36	13:57	0:25	Ei
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	2:58	12:08	0:25	Ei
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	7:08	28:22	0:28	Ei
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	0:00	0:00	0:00	Ei
p	Vakituinen asunto	375818	7003284	8:17	32:10	0:28	Kyllä
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	4:11	15:54	0:26	Ei
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	4:07	15:30	0:25	Ei
s	Vakituinen asunto	375610	7003226	3:53	14:39	0:25	Ei
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	3:45	14:17	0:25	Ei
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	5:46	24:22	0:27	Ei
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	6:08	25:49	0:28	Ei
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	3:32	14:03	0:26	Ei
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	3:26	13:51	0:26	Ei
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	6:08	25:10	0:27	Ei
z	Vakituinen asunto	375733	7003569	6:04	25:22	0:28	Ei

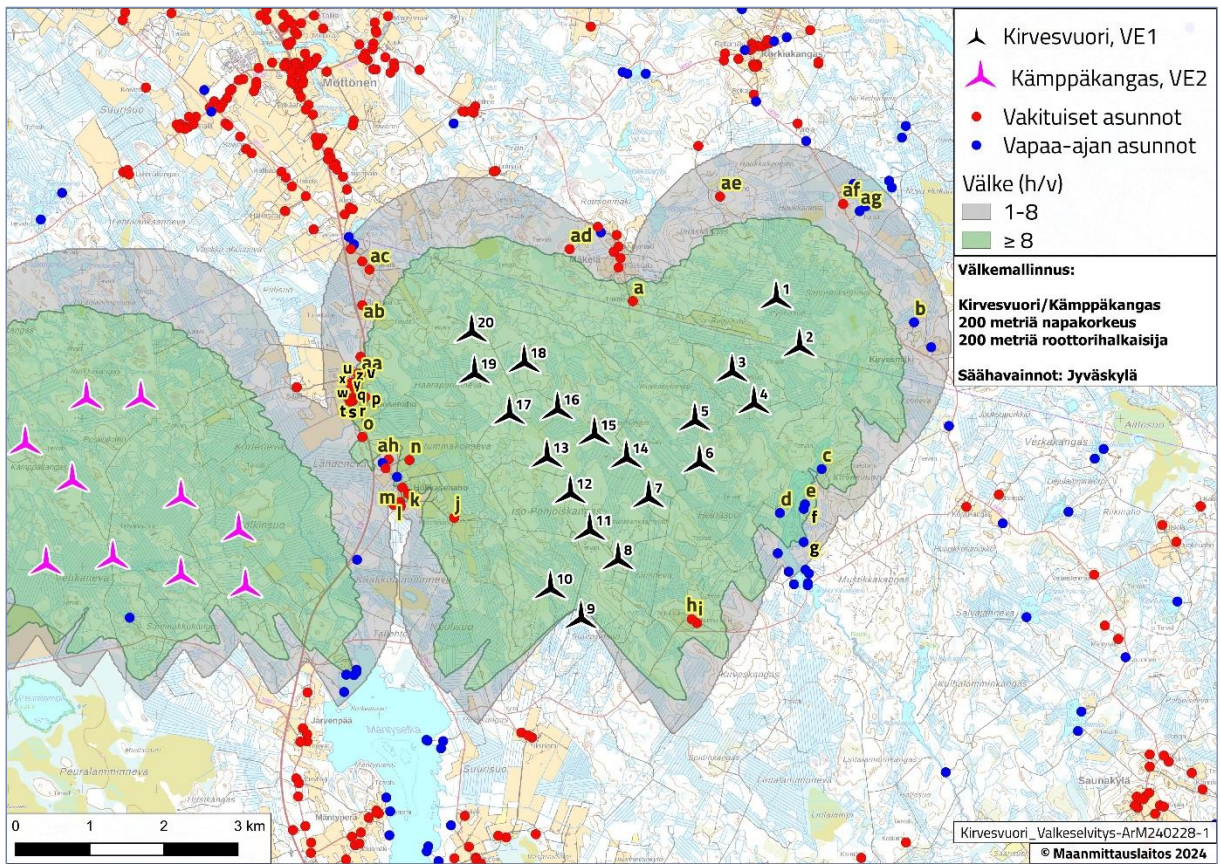
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	5:36	24:17	0:29	Ei
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	2:37	12:30	0:28	Ei
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	2:06	11:29	0:26	Ei
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	3:56	31:48	0:35	Osittain
ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	2:40	21:12	0:32	Osittain
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	4:33	39:39	0:34	Osittain
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	4:10	33:01	0:30	Osittain
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	9:31	36:31	0:26	Kyllä

Suositusarvojen ylitys "Osittain" tarkoittaa tilannetta, jossa pelkästään teoreettisen maksimitilanteen vertailuarvoja ylitetään.

4.3 YHTEISVAIKUTUSTEN MALLINNUS

4.3.1 VAIHTOEHDON VE1 VÄLKEVAIKUTUKSET

Seuraavassa kuvassa on esitetty Kirvesvuoren ja naapuripuiston yhteisvaikutusten tulokset. Välkemallinnuksessa on käytetty Kirvesvuoren 20 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE1). Kirvesvuoren mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorinhalkaisija 200 metriä. Myös naapuripuisto Kämppekangas (12 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 200 metriä ja napakorkeus on 200 metriä.



Kuva 4. Varjovälkkeen muodostuminen Kirvesvuoren alueella (VE1), naapuripiistot huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-ah) ja niiden väketasot on esitetty taulukossa 7.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annetut maksimisuositukset kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon väлкеestä ylitetään 26 havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen mallinnuksessa suositukset (30 h/v ja 30 min/p) ylitetään myös useassa havainnointipisteessä. Ylitykset ovat merkittäviä ja vertailuarvo 8 h/v ylitetään 0:05 – 10:57 tunnin verran 26 mainitussa havainnointipisteessä. Varjovälkettä esiintyy yli 10 h/v neljäntoista asunnon kohdalla.

Laskennassa on tarkasteltu väлкеä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 8. Varjovälkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset, Kirvesvuori (VE1).

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	13:24	93:16	1:11	Kyllä

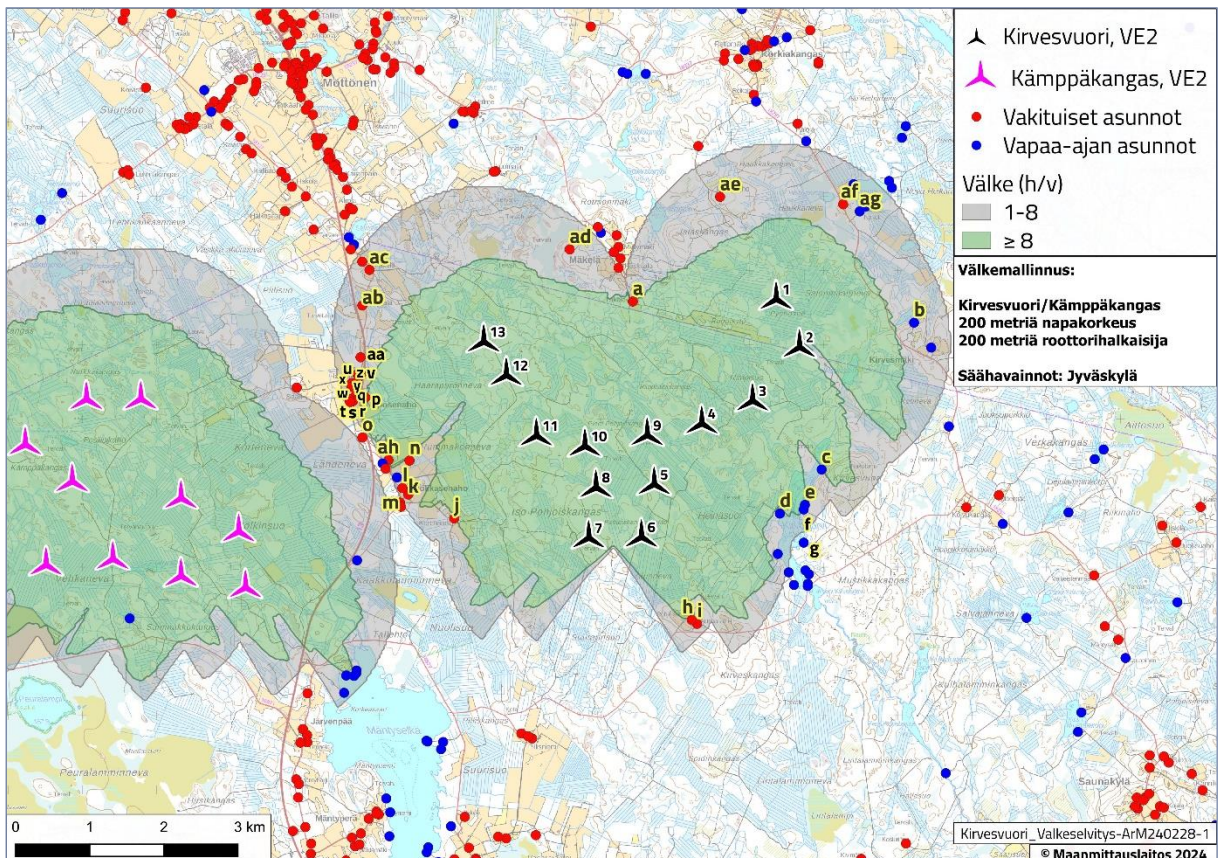
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	5:37	25:25	0:30	Osittain
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	12:42	51:13	0:41	Kyllä
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	18:57	72:53	1:00	Kyllä
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	13:11	50:38	0:38	Kyllä
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	13:23	51:07	0:41	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	8:21	31:27	0:28	Kyllä
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	17:22	69:27	0:43	Kyllä
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	14:50	58:23	0:41	Kyllä
j	Vakituinen asunto	377015	7001657	18:20	76:46	0:34	Kyllä
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	9:05	35:13	0:29	Kyllä
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	10:43	41:07	0:29	Kyllä
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	8:23	31:00	0:29	Kyllä
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	13:01	50:02	0:33	Kyllä
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	10:44	40:58	0:29	Kyllä
p	Vakituinen asunto	375818	7003284	16:11	63:53	0:32	Kyllä
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	10:39	41:19	0:30	Kyllä
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	10:52	42:02	0:29	Kyllä
s	Vakituinen asunto	375610	7003226	9:41	37:35	0:28	Kyllä
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	9:08	35:33	0:28	Kyllä
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	8:55	35:57	0:30	Kyllä
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	9:39	38:43	0:31	Kyllä
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	8:40	34:11	0:29	Kyllä
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	8:28	33:37	0:28	Kyllä
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	9:36	37:52	0:30	Kyllä
z	Vakituinen asunto	375733	7003569	9:31	38:00	0:31	Kyllä
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	8:05	34:57	0:31	Kyllä
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	5:38	27:55	0:31	Osittain
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	4:27	25:20	0:30	Osittain
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	4:37	37:39	0:31	Osittain

ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	2:40	21:12	0:32	Osittain
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	4:33	39:39	0:34	Osittain
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	4:10	33:01	0:30	Osittain
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	06:00	23:04	0:28	Ei

Suositusarvojen ylitys "Osittain" tarkoittaa tilannetta, jossa pelkästään teoreettisen maksimitilanteen vertailuarvoja ylitetään.

4.3.2 VAIHTOEHDON VE2 VÄLKEVAIKUTUKSET

Seuraavassa kuvassa on esitetty Kirvesvuoren ja naapuripuiston yhteisvaikutusten tulokset. Välkemallinnuksessa on käytetty Kirvesvuoren 13 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE2). Kirvesvuoren mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorihalkaisija 200 metriä. Myös naapuripuisto Kämpäkangas (12 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 200 metriä ja napakorkeus on 200 metriä.



Kuva 5. Varjovälkkeen muodostuminen Kirvesvuoren alueella (VE2), naapuripuisto huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-ah) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 8.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annetut maksimisuositukset kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään 5 havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään yhdeksässä havainnointipisteessä ja myös teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään seitsemässä havainnointipisteessä. Vertailuarvo 8 h/v ylitetään 0:08 – 1:57 tunnin verran 5 mainitussa havainnointipisteessä.

Laskennassa on tarkasteltu välkettä myös yksittäisissä havainnointipisteissä. Seuraavassa taulukossa on laskennasta saadut tulokset havainnointipisteille.

Taulukko 9. Varjovälkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset, Kirvesvuori (VE2).

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	9:57	80:31	1:06	Kyllä
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	5:37	25:25	0:30	Osittain
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	7:12	28:28	0:28	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	6:50	29:29	0:27	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	8:08	30:46	0:28	Kyllä
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	7:31	28:36	0:28	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	0:00	0:00	0:00	Ei
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	8:10	30:51	0:28	Kyllä
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	7:34	28:34	0:27	Ei
j	Vakituinen asunto	377015	7001657	5:09	22:33	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	4:26	16:39	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	3:36	13:57	0:25	Ei
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	2:58	12:08	0:25	Ei
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	7:07	28:22	0:28	Ei
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	0:00	0:00	0:00	Ei
p	Vakituinen asunto	375818	7003284	8:16	32:10	0:28	Kyllä
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	4:11	15:54	0:26	Ei
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	4:07	15:30	0:25	Ei

s	Vakituinen asunto	375610	7003226	3:53	14:39	0:25	Ei
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	3:45	14:17	0:25	Ei
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	5:45	24:22	0:27	Ei
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	6:07	25:49	0:28	Ei
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	3:32	14:03	0:26	Ei
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	3:26	13:51	0:26	Ei
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	6:07	25:10	0:27	Ei
z	Vakituinen asunto	375733	7003569	6:03	25:22	0:28	Ei
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	5:35	24:17	0:29	Ei
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	2:36	12:30	0:28	Ei
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	2:06	11:29	0:26	Ei
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	3:56	31:48	0:35	Osittain
ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	2:40	21:12	0:32	Osittain
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	4:33	39:39	0:34	Osittain
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	4:10	33:01	0:30	Osittain
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	9:31	36:31	0:26	Kyllä

Suositusarvojen ylitys "Osittain" tarkoittaa tilannetta, jossa pelkästään teoreettisen maksimitilanteen vertailuarvoja ylitetään.

4.4 VAIKUTUSTEN ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Välkemallinnus edustaa keskimääräistä varjostustilannetta, jossa pohjana on käytetty pitkän ajan tilastollisia sääarvoja. Mikäli sääolosuhteet poikkeavat merkittävästi tilastoiduista arvoista, saattaa myös välkkeen määrä poiketa.

Tuulivoimaloiden käyttöaste, eli aika jolloin voimalat pyörivät ja tuottavat sähköä, vaikuttaa merkittävästi välkkeen syntymiseen. Käyttöasteen pienentyessä saattaa välke yksittäisessä pisteessä vähentyä. Myös epävarmuus oletetuissa tuulensuunnissa voi vaikuttaa laskentatulokseen.

Yhteisvaikutusten mallinnuksessa (luku 4.3) ei otettu huomioon korkean kasvillisuuden mahdollista suojavaikutusta. Avoimilla alueilla sijaitseville rakennuksille välkemäärät ovat tässä mallinnuksessa samanlaiset, kuin mallinnettaessa kasvillisuuden kanssa. Rakennuksissa, jotka sijaitsevat lähellä

metsäalueita, kokevat todellisuudessa vähemmän välkettä, kuin mallinnuksessa, koska metsä rajoittaa välkkeen syntymistä.

4.5 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN KÄYTTÄEN VÄLKEHALLINTAJÄRJESTELMÄÄ

Kohtuuton haitta varjovälkkeestä pystytään ehkäisemään pysäyttämällä välkettä aiheuttavat voimat kriittiseksi ajaksi. Voimat voidaan ohjelmoida pysähtymään automaattisesti vallitsevien sääolosuhteiden mukaisesti, kun välkettä muodostuisi herkälle alueelle (varjotunnistin / flicker control).

Varjovälkemallinnuksen mukaan, Kirvesvuoren alueella vertailuarvot ylitetään muutamassa lähellä sijaitsevien asuntojen kohdissa. Siksi välkevaikutuksen hallintajärjestelmän käyttöä suositellaan varmistamaan, että välkettä pysyy alle suositusarvojen. Laskentatulokset mallinnuksesta, jossa käytettiin välkkeenhallintajärjestelmää kaikille voimaloille paitsi voimaloille numero 4, 7, 11, 14 ja 16 VE1:lle ja kaikille voimaloille paitsi voimaloille numero 3, 5, 6, 8 ja 10 VE2:lle esitetään alla olevassa taulukossa. Mallinnus tehtiin ilman puuston suojaava vaikutusta, jolla varmistettiin, että hallintajärjestelmän vaikutus on riittävä metsän hakkuun tapauksessa. Välkkeenhallintastrategia määriteltiin siten, että kaikki maksimisuositusarvot alitetaan.

Taulukko 10. Tulokset varjovälkemallinnuksesta, jossa käytössä oli välkkeenhallintajärjestelmä, yhteisvaikutukset, Kirvesvuori (VE1).

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	4:24	26:28	0:29	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	2:31	10:59	0:25	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	6:56	28:26	0:28	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	6:06	24:44	0:27	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	7:44	29:06	0:27	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	7:31	28:26	0:27	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	5:35	21:03	0:18	Ei
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	7:31	28:37	0:28	Ei
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	7:04	26:52	0:26	Ei

j	Vakituinen asunto	377015	7001657	2:29	11:08	0:25	Ei
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	0:42	2:40	0:05	Ei
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	6:03	23:14	0:19	Ei
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	5:58	22:07	0:17	Ei
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	2:36	11:14	0:25	Ei
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	2:26	10:17	0:24	Ei
p	Vakituinen asunto	375818	7003284	2:06	9:38	0:24	Ei
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	4:00	15:18	0:22	Ei
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	1:35	6:00	0:18	Ei
s	Vakituinen asunto	375610	7003226	1:54	7:11	0:19	Ei
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	3:08	11:56	0:22	Ei
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	2:37	11:17	0:26	Ei
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	2:33	11:02	0:26	Ei
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	3:58	15:13	0:18	Ei
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	1:54	7:16	0:10	Ei
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	3:03	11:25	0:18	Ei
z	Vakituinen asunto	375733	7003569	2:34	10:43	0:20	Ei
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	0:00	0:00	0:00	Ei
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	2:15	12:06	0:27	Ei
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	1:41	10:52	0:25	Ei
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	2:09	13:24	0:29	Ei
ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	0:00	0:00	0:00	Ei
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	1:46	19:32	0:26	Ei
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	1:38	16:28	0:26	Ei
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	4:29	17:19	0:26	Ei

Taulukko 11. Tulokset varjovälkemallinnuksesta, jossa käytössä oli välkkeenhallintajärjestelmä, yhteisvaikutukset, Kirvesvuori (VE2).

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vakituinen asunto	379425	7004580	3:18	27:34	0:25	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	2:31	10:59	0:25	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	7:12	28:28	0:28	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	6:50	29:29	0:27	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	381745	7001838	0:00	0:00	0:00	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	381730	7001778	1:59	7:33	0:08	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	381730	7001330	0:00	0:00	0:00	Ei
h	Vakituinen asunto	380220	7000288	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	380291	7000236	0:04	0:16	0:03	Ei
j	Vakituinen asunto	377015	7001657	5:09	22:33	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	376397	7001979	4:26	16:39	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	376317	7002064	3:36	13:57	0:25	Ei
m	Vapaa-ajan asunto	376244	7002210	2:58	12:08	0:25	Ei
n	Vakituinen asunto	376412	7002435	5:35	21:50	0:26	Ei
o	Vakituinen asunto	375776	7002746	0:00	0:00	0:00	Ei
p	Vakituinen asunto	375818	7003284	5:37	20:54	0:28	Ei
q	Vakituinen asunto	375684	7003310	4:11	15:54	0:26	Ei
r	Vakituinen asunto	375650	7003237	4:07	15:30	0:25	Ei
s	Vakituinen asunto	375610	7003226	3:53	14:39	0:25	Ei
t	Vakituinen asunto	375601	7003261	3:45	14:17	0:25	Ei
u	Vakituinen asunto	375711	7003599	5:45	24:22	0:27	Ei
v	Vakituinen asunto	375756	7003603	6:07	25:49	0:28	Ei
w	Vakituinen asunto	375632	7003429	3:32	14:03	0:26	Ei
x	Vakituinen asunto	375635	7003480	3:26	13:51	0:26	Ei
y	Vakituinen asunto	375709	7003487	6:07	25:10	0:27	Ei

z	Vakituinen asunto	375733	7003569	6:03	25:22	0:28	Ei
aa	Vakituinen asunto	375752	7003828	5:35	24:17	0:29	Ei
ab	Vakituinen asunto	375776	7004525	2:36	12:30	0:28	Ei
ac	Vakituinen asunto	375872	7005005	2:06	11:29	0:26	Ei
ad	Vakituinen asunto	378573	7005281	1:40	16:26	0:27	Ei
ae	Vakituinen asunto	380602	7005991	0:00	0:00	0:00	Ei
af	Vakituinen asunto	382262	7005889	1:46	19:32	0:26	Ei
ag	Vapaa-ajan asunto	382485	7005794	1:38	16:28	0:26	Ei
ah	Vakituinen asunto	376128	7002443	7:05	26:17	0:26	Ei

5 LÄHTEET

Miljøministeriet Naturstyrelsen (2015). *Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller.*

Ympäristöministeriö (2016). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu / OH 5/2016. Helsinki.*

LAI (2002). *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), Länderausschuss für Immissionsschutz-Arbeitsgruppe Schattenwurf.*

Boverket (2009). *Vindkraftshandboken – planering och prövning av vindkraft på land och i kustnära vattenområden.*

Etha Wind (2022). *02_Flicker_Checklist_ArM220711-1.* Internal work description.

FCG (2023). *Kämpäkankaan tuulivoimahanke MELU- JA VARJOSTUSMALLINNUSRAPORTTI.*

30.05.2023. Myrsky Energia Oy. Saatavilla:

<https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Liite%204.%20Melu->

[%20ja%20varjostusmallinnusraportti.pdf](https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Liite%204.%20Melu-%20ja%20varjostusmallinnusraportti.pdf)

LIITE 1: SJOITUSSUUNNITELMA

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 12. Kirvesvuoren voimaloiden sijaintitiedot, VE1 (20 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	381356	7004669	200/200/300
2	381670	7004023	200/200/300
3	380761	7003682	200/200/300
4	381057	7003254	200/200/300
5	380259	7003023	200/200/300
6	380321	7002458	200/200/300
7	379636	7001985	200/200/300
8	379223	7001147	200/200/300
9	378724	7000355	200/200/300
10	378311	7000758	200/200/300
11	378841	7001546	200/200/300
12	378580	7002042	200/200/300
13	378263	7002528	200/200/300
14	379336	7002520	200/200/300
15	378904	7002834	200/200/300
16	378406	7003176	200/200/300
17	377758	7003110	200/200/300
18	377957	7003809	200/200/300
19	377286	7003659	200/200/300
20	377248	7004219	200/200/300

Taulukko 13. Kirvesvuoren voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (13 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	381356	7004669	200/200/300
2	381670	7004023	200/200/300
3	381037	7003300	200/200/300
4	380352	7002993	200/200/300
5	379710	7002174	200/200/300
6	379538	7001464	200/200/300
7	378827	7001453	200/200/300
8	378925	7002132	200/200/300
9	379616	7002835	200/200/300
10	378776	7002689	200/200/300
11	378121	7002829	200/200/300

12	377716	7003644	200/200/300
13	377411	7004095	200/200/300

Taulukko 14. Kämpäkankaan voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (12 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	372788	7003262	200/200/300
2	372055	7003257	200/200/300
3	371230	7002647	200/200/300
4	370500	7002372	200/200/300
5	371863	7002149	200/200/300
6	373330	7001925	200/200/300
7	374109	7001475	200/200/300
8	370288	7001462	200/200/300
9	372411	7001104	200/200/300
10	371511	7001025	200/200/300
11	373330	7000875	200/200/300
12	374200	7000720	200/200/300