



Navettakankaan tuulivoimahanke, Tuotantoalue (Oulu) ja ulkoinen sähkön siirto (Oulu ja Ii)

LIITE 3: Navettakankaan välkeselvitys 2024



VÄLKESELVITYS

Navettakankaan Tuulipuisto

30.05.2024

SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO	2
2	TAUSTA.....	4
3	VARJOVÄLKKEEN MUODOSTUMINEN	4
3.1	Ohje- ja raja-arvot.....	5
3.2	Varjovälkkeen lähtötiedot ja menetelmät	5
4	VÄLKEVAIKUTUKSET	9
4.1	Vaihtoehdon VE1 välkevaikutukset	9
4.2	Vaihtoehdon VE2 välkevaikutukset	11
4.3	Välkevaikutukset puuston suojaava vaikutus huomioiden	13
4.3.1	Vaihtoehdon VE1 Välkevaikutukset	13
4.3.2	Vaihtoehdon VE2 välkevaikutukset.....	15
4.4	Yhteisvaikutusten mallinnus.....	16
4.4.1	Vaihtoehdon VE1 Välkevaikutukset	16
4.4.2	Vaihtoehdon VE2 Välkevaikutukset	18
4.5	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	20
4.6	Haittojen ehkäiseminen ja seuranta	21
5	LÄHTEET	21
	Liite 1: Sijoitussuunnitelma	22

VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Elina Sippola, 2024-05-30	Christian Granlund, 2024-05-30	Christian Granlund, 2024-05-30	Navettakankaan tuulivoimapuiston välkeselvitys.

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Välkeselvitys Navettakankaan tuulivoimapuiston vaikutusalueella. Selvityksessä on otettu huomioon myös viereinen suunnitteilla oleva tuulivoimapuisto Kovasinkangas.

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 annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään vaihtoehdossa VE1 (14 voimalaa) 5 vakituisen tai vapaa-ajan asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ylitetään 8 havainnointipisteessä ja 30 min/pv ylitetään 4 havainnointipisteessä. Vaihtoehdossa VE2 (10 voimalaa) maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään 4 vakituisen asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ylitetään 7 havainnointipisteessä ja 30 min/pv ylitetään 3 havainnointipisteessä.

Puuston suojaava vaikutus huomioiden välkevaikutukset pienenevät. Vaihtoehdossa VE1 maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään yhden vapaa-ajan asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ylitetään 3 havainnointipisteessä ja 30 min/pv ylitetään 2 havainnointipisteessä. Vaihtoehdossa VE2 maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdessäkään havainnointipisteessä, kun huomioidaan puuston suojaava vaikutus. Teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ylitetään 2 havainnointipisteessä ja 30 min/pv ylitetään 1 havainnointipisteessä.

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

Taulukko 1. Yhteenveto vertailuarvojen ylityksistä, mallinnus ilman puustoa. Taulukko kertoo kuinka monessa rakennuksessa (vakituinen tai vapaa-ajan asunto) kyseinen vertailuarvo ylitetään, kun puuston suojaava vaikutusta ei ole huomioitu.

Vertailuarvo	VE1	VE2	VE1 ja Kovasinkangas	VE2 ja Kovasinkangas
> 10 h/v, todellinen tilanne	4	4	4	4
> 8 h/v, todellinen tilanne	5	4	5	4
> 30 h/v, teoreettinen maksimi	8	7	8	7
> 30 min/pv, teoreettinen maksimi	4	3	4	3

Taulukko 2. Yhteenveto vertailuarvojen ylityksistä, mallinnus puusto huomioiden. Taulukko kertoo kuinka monessa rakennuksessa (vakituinen tai vapaa-ajan asunto) kyseinen vertailuarvo ylitetään, kun puuston suojaava vaikutus on huomioitu.

Vertailuarvo	VE1	VE2
> 10 h/v, todellinen tilanne	0	0
> 8 h/v, todellinen tilanne	1	0
> 30 h/v, teoreettinen maksimi	3	2
> 30 min/pv, teoreettinen maksimi	2	1

2 TAUSTA

Tämä valkeselvitys on tehty Navettakankaan tuulivoimapuistolle Oulun kaupungin alueella. Tässä selvityksessä on tarkistettu kaksi eri sijoitussuunnitelman vaihtoehtoa, jotka on muodostettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä ja kaavoitusmenettelyä varten:

- VE1: 14 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.
- VE2: 10 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.

Naapuripuisto Kovasinkangas (6 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 162 metriä ja napakorkeus 199 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 280 metriä.

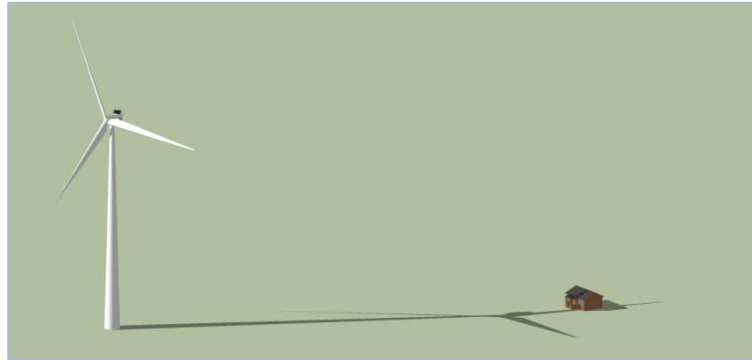
Valkeselvitys on tehty windPRO 4.0 ohjelmiston SHADOW-moduulia käyttäen. Tulosten arvioinnissa on käytetty Saksan ja Ruotsin suositusarvoja (LAI, 2002; Boverket, 2009). Etha Oy on tarkistanut lähtötietojen oikeellisuuden ja vastaa siitä, että laskenta on oikein suoritettu.

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 kesto aika vaihtelevat vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Yhtäjaksoista välkettä esiintyy yleensä 0-30 minuuttia päivässä riippuen havainnointipaikan suhteesta väkelähteeseen.

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 teoreettinen 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 maksimitarkasteluetäisyys voimaloista (LAI 2002). Maksimitarkasteluetäisyys 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 Navettakankaan mallinnoissa 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 Oulun säähavaintoja. Oulun havaintoasema sijaitsee noin 25 kilometrin päässä suunnitellusta tuulivoimapuistoalueesta. Laskelmissa oletetaan, että tuulivoimaloiden roottorit pyörivät vain tuulennopeuden ollessa sopiva. Varjovälkettä tarkasteltiin kahden metrin korkeudelta eli suunnilleen ihmisen havainnointikorkeudelta. Mallinnoissa käytetyt auringonpaisteajat sekä tuulivoimaloiden toiminta-aika on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 3. Mallinnuksessa käytetyt asetukset.

Asetus	Kuvaus
Auringonpaisteajat	Oulun sääaseman havainnot, Ilmatieteen laitos (taulukko 3)
Toiminta-aika	EMD WRF Europe+ datan perusteella (taulukko 4)
Asuntojen asetus	Kasvihuone-asetus
Mallinnus	Välkemmaallinnus vakiintuneen menetelmän mukaisesti (LAI 2002)
Lapaparametrit	Voimala valmistajien 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	0,77
Helmikuu	2,46
Maaliskuu	4,42
Huhtikuu	6,93
Toukokuu	8,81
Kesäkuu	9,87
Heinäkuu	9,13
Elokuu	6,84
Syyskuu	4,43
Lokakuu	2,23
Marraskuu	0,93
Joulukuu	0,26
Keskiarvo	4,76

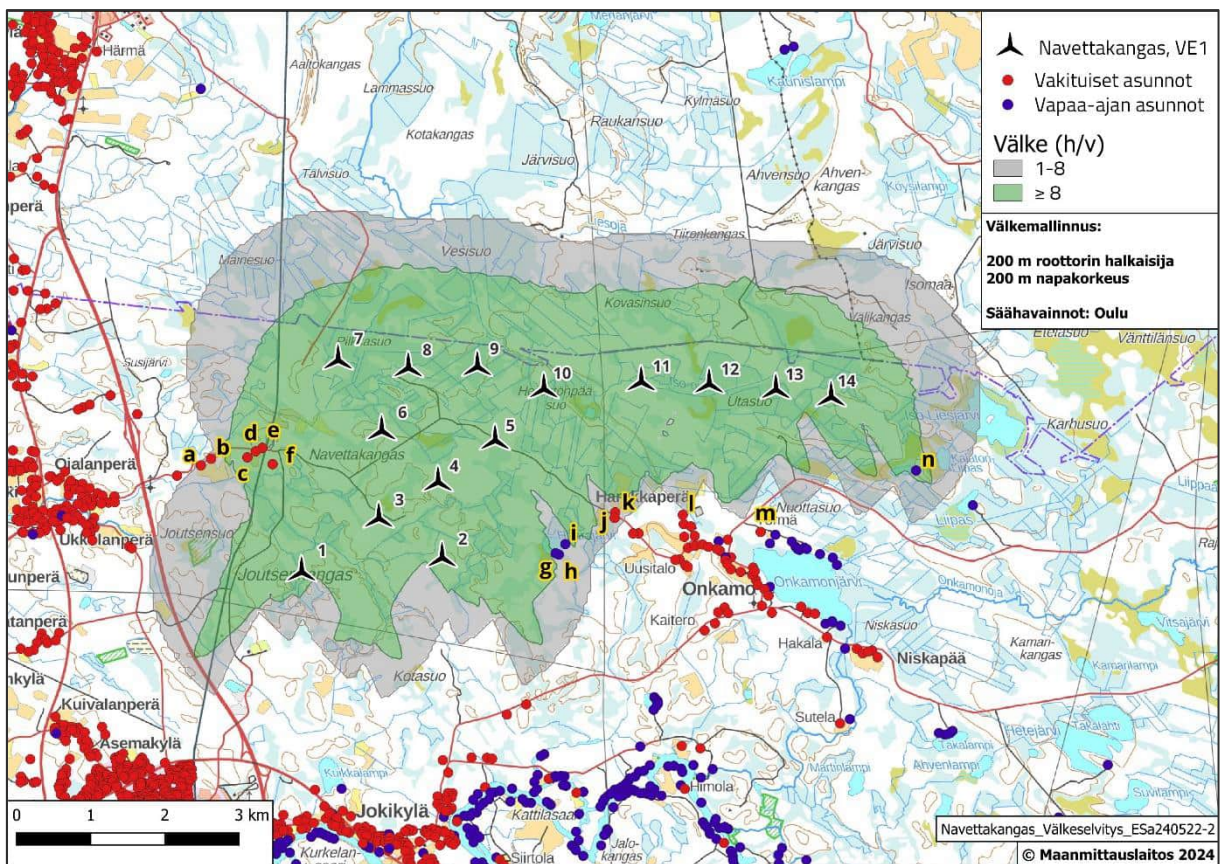
Taulukko 5. Tuulivoimaloiden toiminta-aika.

Tuulensuunta	Toiminta-aika (h/v)
Pohjoinen	511
Pohjoiskoillinen	512
Itäkoillinen	469
Itä	493
Itäkaakko	603
Eteläkaakko	769
Etelä	979
Etelälounas	1097
Länsilounas	917
Länsi	647
Länsiluode	514
Pohjoisluode	455
Summa	7966

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 Navettakankaan alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 6.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään viidessä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään kahdeksassa havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään neljässä havainnointipisteessä.

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

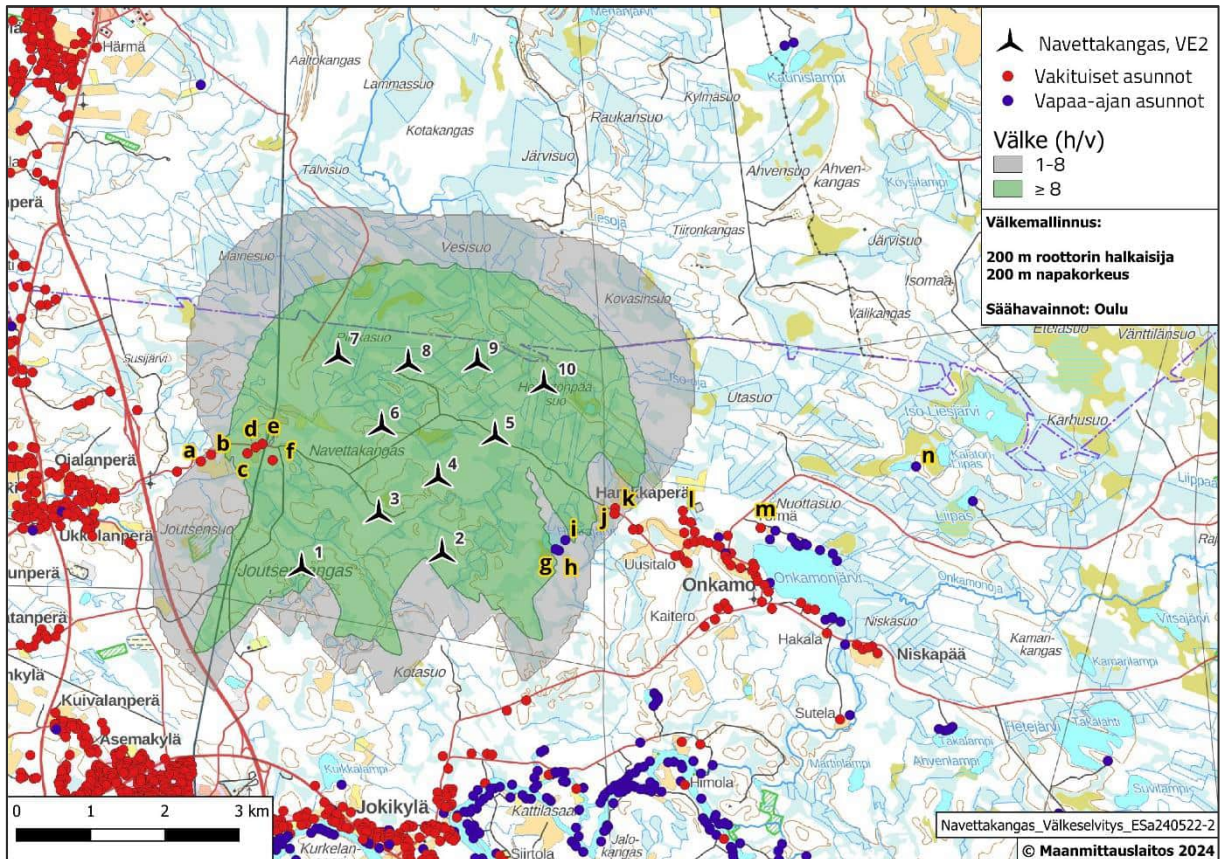
Taulukko 6. Varjoväikelaskennan tulokset, Navettakangas VE1.

Havainnointipiste	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	425516	7235738	1:32	10:30	0:25	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	11:29	56:01	0:29	Kyllä
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	11:04	55:56	0:28	Kyllä
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	10:08	53:31	0:29	Kyllä
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	10:02	56:07	0:33	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	7:30	32:30	0:31	Osittain
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	7:01	30:25	0:30	Osittain
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	6:55	30:29	0:28	Osittain
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:35	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	9:36	37:52	0:34	Kyllä

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 Navettakankaan alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 7.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään neljässä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään seitsemässä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään kolmessa havainnointipisteessä.

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

Taulukko 7. Varjoväkelaskennan tulokset, Navettakangas VE2.

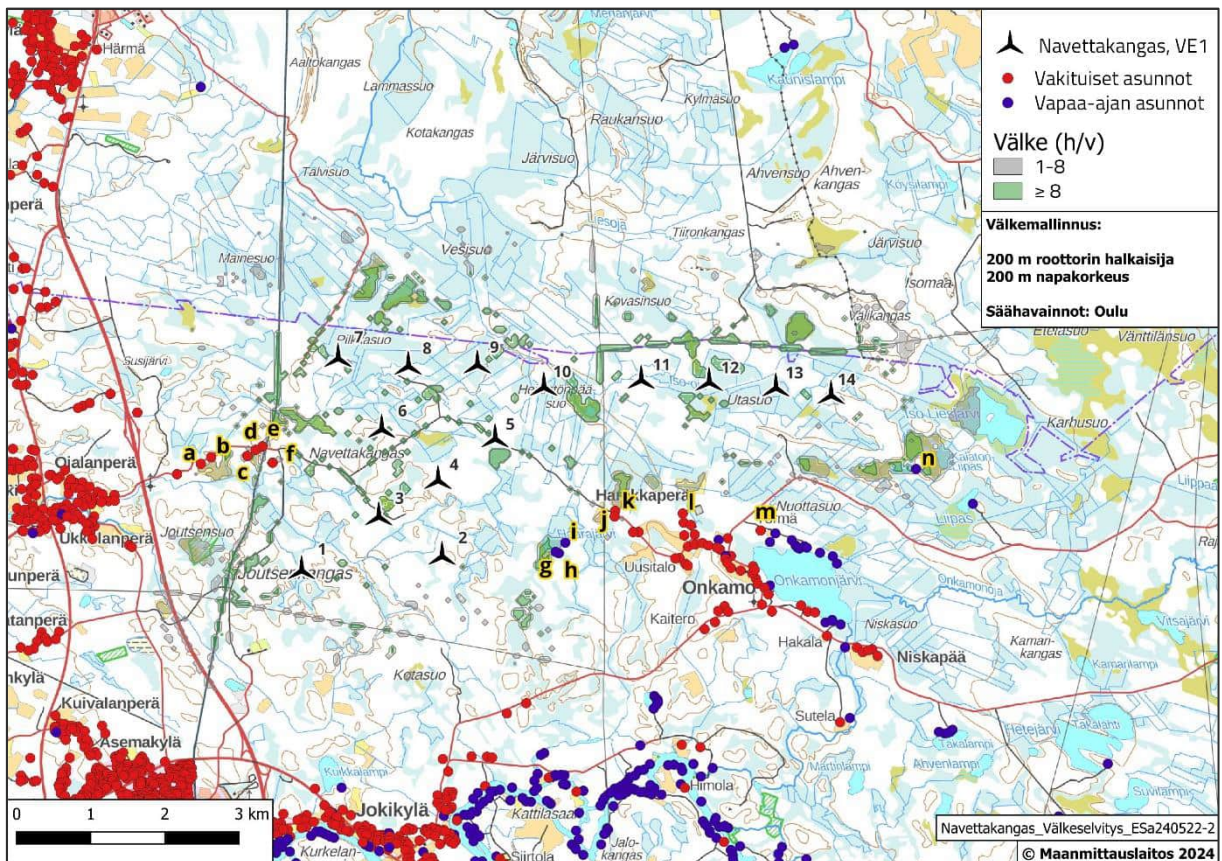
Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositus- arvon ylitys
a	Vakituinen asunto	425516	7235738	1:32	10:30	0:25	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	11:30	56:04	0:29	Kyllä
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	11:04	56:02	0:28	Kyllä
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	10:07	53:30	0:29	Kyllä
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	10:01	56:02	0:33	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	7:30	32:28	0:31	Osittain
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	7:00	30:21	0:30	Osittain
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	6:55	30:26	0:28	Osittain
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:36	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	0:00	0:00	0:00	Ei

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

4.3 VÄLKEVAIKUTUKSET PUUSTON SUOJAAVA VAIKUTUS HUOMIOIDEN

Korkean puuston peittäessä tuulivoimalat, moneen havainnointipisteeseen ei muodostu lainkaan varjovälkettä. Kasvillisuuden peittäessä tietyt tuulivoimalat, havainnointipisteeseen muodostuva varjovälkkeen kokonaismäärä vähenee. Seuraavassa kuvassa on esitetty välkemallinnuksen tulokset kasvillisuuden korkeus huomioon ottaen ja jäljempänä tulokset on kuvailtu sanallisesti. Puuston korkeustiedot on poimittu Luonnonvarakeskuksen latauspalvelusta (Luke, 2021).

4.3.1 VAIHTOEHDON VE1 VÄLKEVAIKUTUKSET



Kuva 4. Varjovälkkeen muodostuminen Navettakankaan alueella puuston suojaava vaikutus huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 8.

Kasvillisuuden suojaava vaikutus huomioitaessa välke aika on pienempi useassa havainnointipisteessä ja näistä kolmeen välkettä ei kohdistu lainkaan. Ruotsissa ja Saksassa annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään yhdessä havainnointipisteessä (vapaa-ajan asunto n). Teoreettisen maksimitilanteen vuotuinen 30 h/v

ylitetään kolmessa havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 minuuttia päivässä ylitetään kahdessa havainnointipisteessä.

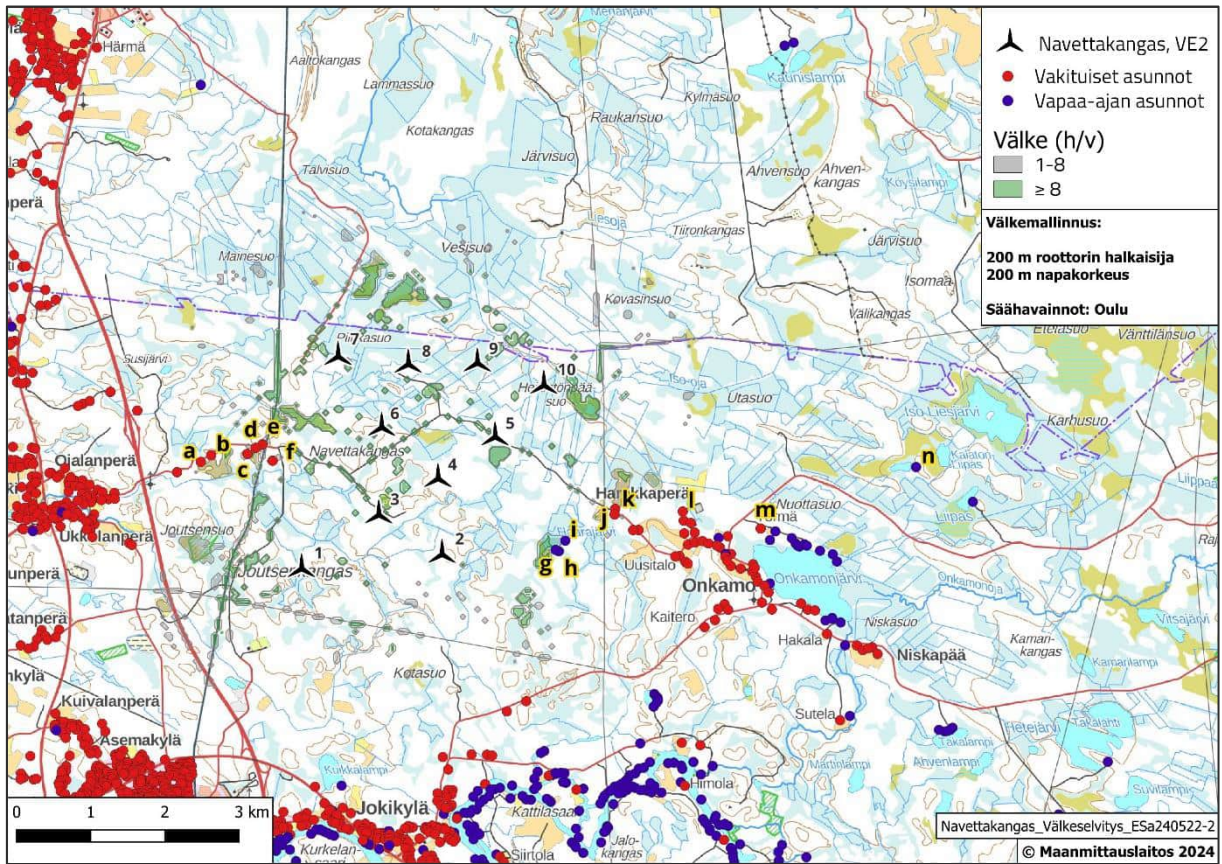
Navettakankaan väkelaskennan tulokset, kun kasvillisuus on otettu huomioon, on raportoitu neljäntoista havainnointipisteen osalta taulukossa 8.

Taulukko 8. Varjoväkelaskennan tulokset, puuston vaikutus huomioiden.

Havainnointipiste	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	425516	7235738	0:00	0:00	0:00	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	4:34	21:49	0:26	Ei
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	7:03	40:39	0:28	Osittain
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	7:24	43:12	0:29	Osittain
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	2:37	22:04	0:33	Osittain
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	0:00	0:00	0:00	Ei
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	5:53	26:31	0:28	Ei
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:35	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	9:36	37:52	0:34	Kyllä

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

4.3.2 VAIHTOEHDON VE2 VÄLKEVAIKUTUKSET



Kuva 5. Varjovälkkeen muodostuminen Navettakankaan alueella puuston suojaava vaikutus huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden väketasot on esitetty taulukossa 9.

Kasvillisuuden suojaava vaikutus huomioitaessa välke aika on pienempi useassa havainnointipisteessä ja näistä kolmeen välkettä ei kohdistu lainkaan. Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä. Teoreettisen maksimitilanteen vuotuinen 30 h/v ylitetään kahdessa havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 minuuttia päivässä ylitetään yhdessä havainnointipisteessä. Navettakankaan välkelaskennan tulokset, kun kasvillisuus on otettu huomioon, on raportoitu neljäntoista havainnointipisteen osalta taulukossa 9.

Taulukko 9. Varjoväkelaskennan tulokset, puuston vaikutus huomioiden.

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	425516	7235738	0:00	0:00	0:00	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	4:34	21:49	0:26	Ei
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	7:04	40:48	0:28	Osittain
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	7:24	43:11	0:29	Osittain
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	2:37	22:01	0:33	Osittain
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	0:00	0:00	0:00	Ei
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	5:52	26:28	0:28	Ei
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:36	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	0:00	0:00	0:00	Ei

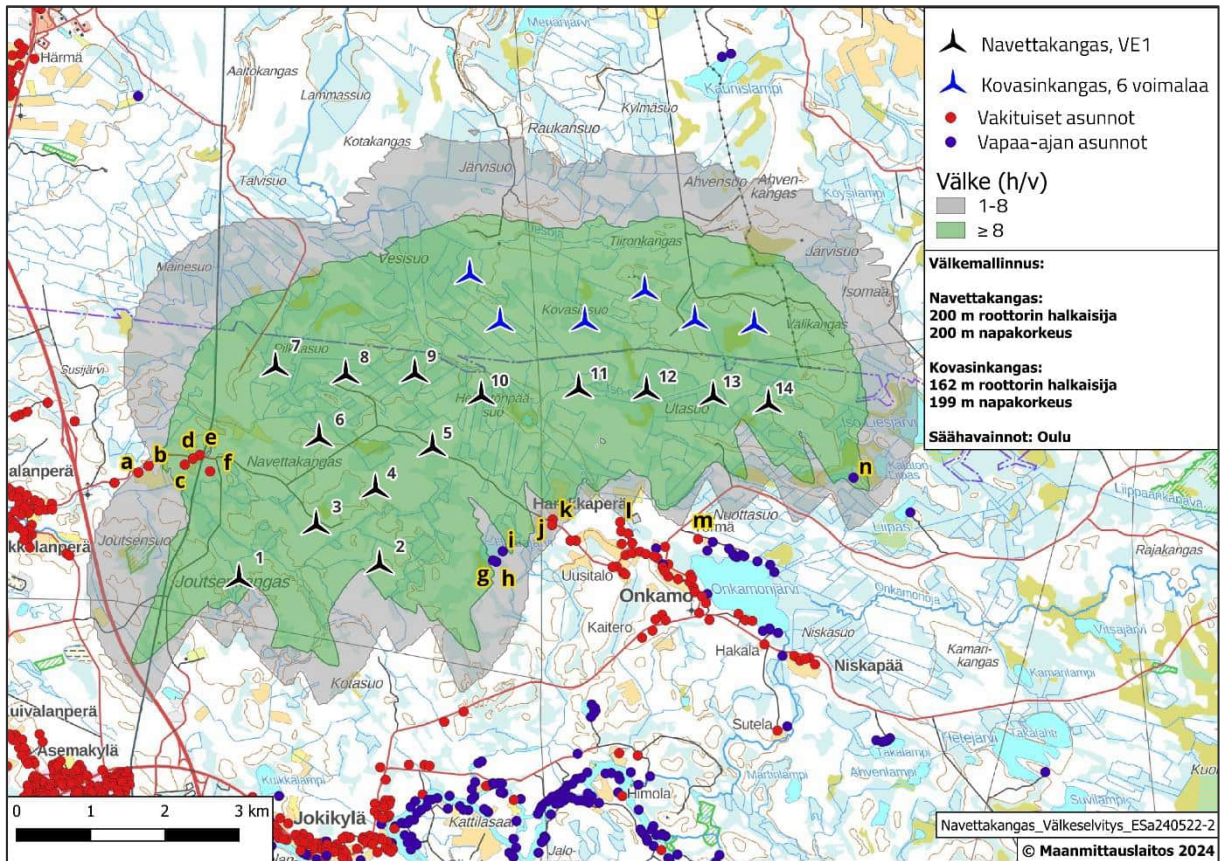
Suositusarvojen ylitys "Osittain" tarkoittaa tilannetta, jossa pelkästään teoreettisen maksimitilanteen vertailuarvoja ylitetään.

4.4 YHTEISVAIKUTUSTEN MALLINNUS

4.4.1 VAIHTOEHDON VE1 VÄLKEVAIKUTUKSET

Seuraavassa kuvassa on esitetty Navettakankaan ja naapuripuiston yhteisvaikutusten tulokset. Välkemallinnuksessa on käytetty Navettakankaan 14 voimalan sijoitus suunnitelmaa (VE1). Navettakankaan mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorinhalkaisija 200 metriä. Naapuripuisto Kivasinkangas (6 voimalaa) on mallinnettu

voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 162 metriä ja napakorkeus on 199 metriä. Naapurihankkeen tiedot löytyvät liitteestä 1.



Kuva 6. Varjovälkkeen muodostuminen Navettakankaan alueella (VE1), naapuripuisto huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden väketasot on esitetty taulukossa 10.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy mallinnuksen mukaan alle kahdeksan tuntia vuodessa ja harmaan viivan ulkopuolella väkettä esiintyy alle tunti vuodessa. Kun naapuripuisto on huomioitu välkemallinnuksessa, välkkeen määrä Navettakankaan alueen havainnointipisteissä pysyy täysin samana kuin mallinnuksessa ilman naapuripuistoa. Ruotsissa ja Saksassa annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään viidessä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään kahdeksassa havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään neljässä havainnointipisteessä.

Varjovälkelaskennan tulokset naapuripuisto huomioiden on raportoitu neljäntoista havainnointipisteen osalta taulukossa 10.

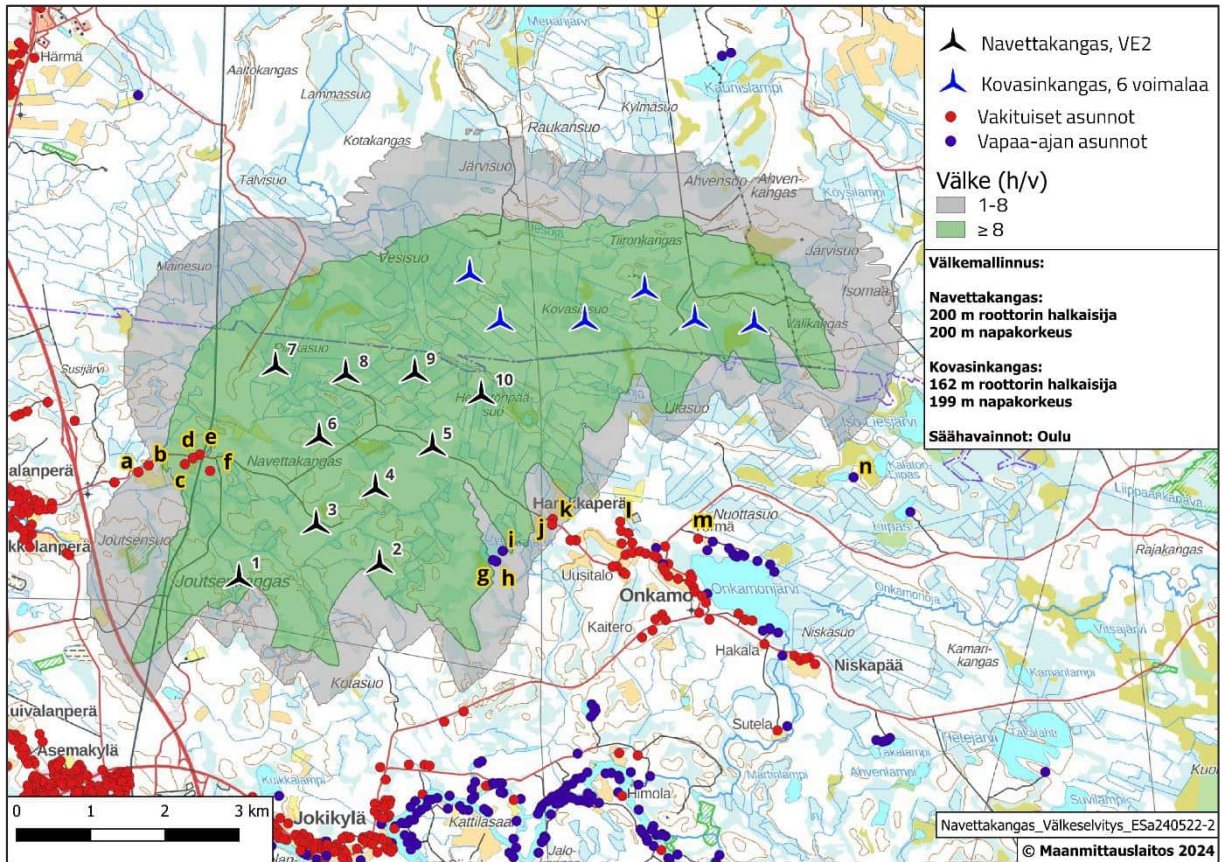
Taulukko 10. Varjoväkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset.

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	425516	7235738	1:32	10:30	0:25	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	11:29	56:01	0:29	Kyllä
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	11:04	55:56	0:28	Kyllä
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	10:08	53:31	0:29	Kyllä
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	10:02	56:07	0:33	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	7:30	32:30	0:31	Osittain
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	7:01	30:25	0:30	Osittain
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	6:55	30:29	0:28	Osittain
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:35	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	9:36	37:52	0:34	Kyllä

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

4.4.2 VAIHTOEHDON VE2 VÄLKEVAIKUTUKSET

Seuraavassa kuvassa on esitetty Navettakankaan ja naapuripuiston yhteisvaikutusten tulokset. Välkemallinnuksessa on käytetty Navettakankaan 10 voimalan sijoitus suunnitelmaa (VE2). Navettakankaan mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorihalkaisija 200 metriä. Naapuripuisto Kivasinkangas (6 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 162 metriä ja napakorkeus on 199 metriä. Naapurihankkeen tiedot löytyvät liitteestä 1.



Kuva 7. Varjovälkkeen muodostuminen Navettakankaan alueella (VE2), naapuripuisto huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden väketasot on esitetty taulukossa 11.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy mallinnuksen mukaan alle kahdeksan tuntia vuodessa ja harmaan viivan ulkopuolella välkettä esiintyy alle tunti vuodessa. Kun naapuripuisto on huomioitu väikemallinnuksessa, välkkeen määrä Navettakankaan alueen havainnointipisteissä pysyy täysin samana kuin mallinnuksessa ilman naapuripuistoa. Ruotsissa ja Saksassa annettu maksimisuositus kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ylitetään neljässä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään seitsemässä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään kolmessa havainnointipisteessä.

Varjovälkelaskennan tulokset naapuripuistot huomioiden on raportoitu neljäntoista havainnointipisteen osalta taulukossa 11.

Taulukko 11. Varjoväkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset.

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	425516	7235738	1:32	10:30	0:25	Ei
b	Vakituinen asunto	425654	7235828	1:37	11:11	0:24	Ei
c	Vakituinen asunto	426143	7235846	11:30	56:04	0:29	Kyllä
d	Vakituinen asunto	426255	7235927	11:04	56:02	0:28	Kyllä
e	Vakituinen asunto	426345	7235975	10:07	53:30	0:29	Kyllä
f	Vakituinen asunto	426484	7235754	10:01	56:02	0:33	Kyllä
g	Vapaa-ajan asunto	430302	7234552	7:30	32:28	0:31	Osittain
h	Vapaa-ajan asunto	430345	7234534	7:00	30:21	0:30	Osittain
i	Vapaa-ajan asunto	430432	7234676	6:55	30:26	0:28	Osittain
j	Vakituinen asunto	431097	7235030	4:11	16:36	0:26	Ei
k	Vakituinen asunto	431105	7235105	4:00	16:04	0:26	Ei
l	Vakituinen asunto	432017	7235070	0:00	0:00	0:00	Ei
m	Vakituinen asunto	433067	7234840	0:00	0:00	0:00	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	435165	7235669	0:00	0:00	0:00	Ei

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

4.5 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 välike yksittäisessä

pisteessä vähentyä. Myös epävarmuus oletetuissa tuulensuunnissa voi vaikuttaa laskentatulokseen.

Yhteisvaikutusten mallinnuksessa (luku 4.4) ei otettu huomioon korkean kasvillisuuden mahdollista suojavaikutusta. Avoimilla alueilla sijaitseville rakennuksille väkემäärät ovat tässä mallinnuksessa samanlaiset, kuin mallinnettaessa kasvillisuuden kanssa. Rakennuksissa, jotka sijaitsevat lähellä metsäalueita, kokevat todellisuudessa vähemmän väkettä, kuin mallinnuksessa, koska metsä rajoittaa väkkeen syntymistä.

4.6 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA

Tuulivoimaloiden varjovälkevaikutuksia pystytään ehkäisemään jo suunnitteluvaiheessa. Voimaloita voidaan sijoittaa siten, että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän väkettä herkälle alueelle. Myös voimalan koko vaikuttaa merkittävästi syntyvän väkkeen määrään, joten valitsemalla matalampia voimaloita tai pienempiä roottoreita, voidaan välkevaikutuksia vähentää.

Kohtuuton haitta varjovälkkeestä pystytään ehkäisemään myös pysäyttämällä väkettä aiheuttavat voimalat kriittiseksi ajaksi. Voimalat voidaan ohjelmoida pysähtymään automaattisesti vallitsevien sääolosuhteiden mukaisesti, kun väkettä muodostuisi herkälle alueelle (flicker control).

5 LÄHTEET

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.

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

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

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

LIITE 1: SJOITUSSUUNNITELMA

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 12. Navettakankaan voimaloiden sijaintitiedot, VE1 (14 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	426871	7234295	200/200/300
2	428766	7234487	200/200/300
3	427912	7235020	200/200/300
4	428712	7235509	200/200/300
5	429482	7236071	200/200/300
6	427952	7236200	200/200/300
7	427363	7237155	200/200/300
8	428311	7237051	200/200/300
9	429242	7237067	200/200/300
10	430139	7236767	200/200/300
11	431453	7236861	200/200/300
12	432369	7236833	200/200/300
13	433269	7236757	200/200/300
14	434014	7236656	200/200/300

Taulukko 13. Navettakankaan voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (10 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	426871	7234295	200/200/300
2	428766	7234487	200/200/300
3	427912	7235020	200/200/300
4	428712	7235509	200/200/300
5	429482	7236071	200/200/300
6	427952	7236200	200/200/300
7	427363	7237155	200/200/300
8	428311	7237051	200/200/300
9	429242	7237067	200/200/300
10	430139	7236767	200/200/300

Taulukko 14. Kivasinkankaan voimaloiden sijaintitiedot (6 voimalaa).

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	429984	7238403	199/162/280
2	430394	7237760	199/162/280
3	431537	7237767	199/162/280
4	432345	7238186	199/162/280
5	433021	7237786	199/162/280
6	433822	7237725	199/162/280