



VÄLKESELVITYS

Kaukasen Tuulipuiston laajennus

07.01.2025

SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO	2
2	TAUSTA	4
3	VARJOVÄLKKEEN MUODOSTUMINEN	4
3.1	Ohje- ja raja-arvot.....	5
3.2	Varjovälkkeen lähtötiedot ja menetelmät.....	6
4	VÄLKEVAIKUTUKSET.....	8
4.1	Operoinnissa olevien voimaloiden välkevaikutukset (Nykytilanne).....	8
4.2	Vaihtoehdon VE1 välkevaikutukset	11
4.3	Vaihtoehdon VE2 välkevaikutukset	13
4.4	Yhteisvaikutusten Mallinnus.....	15
4.4.1	Vaihtoehdon VE1 Välkevaikutukset	15
4.4.2	Vaihtoehdon VE2 Välkevaikutukset	17
4.5	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät.....	19
4.6	Haittojen ehkäiseminen ja seuranta.....	20
5	LÄHTEET	21
	Liite 1: Sijoitussuunnitelma.....	22

VERSIOHISTORIA

Versio, Päivämäärä	Tekijä,	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Elina Sippola, 2025-01-07	Ilmari Katajamäki, 2025-01-08	Ilmari Katajamäki, 2025-01-08	Kaukasen tuulivoimapuiston laajennuksen välkeselvitys.

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Välkeselvitys Kaukasen laajennukselle Kaukasennevan tuulivoimapuiston vaikutusalueella. Selvityksessä on otettu huomioon myös viereiset operoinnissa olevat tuulivoimapuistot Kaukasenneva ja Mutkalampi sekä suunniteltavat tuulivoimapuistot Malakakangas ja Tuohiräme-Linnanharju.

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 ei ylitetä yhdenkään asunnon kohdalla kummassakaan sijoitussuunnitelmavaihtoehdossa. Teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ja 30 min/pv ylittyvät 0–3 havainnointipisteessä. Kun otetaan huomioon myös

suunniteltavat naapuripuistot Malakakangas ja Tuohiräme-Linnanharju, teoreettisen maksimitilanteen suositukset 30 h/v ja 30 min/pv ylittyvät 1–4 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, kun huomioidaan nykytilanne (Kaukasenneva ja Mutkalampi), sekä Kaukasen laajennuksen vaihtoehdot VE1 ja VE2. Taulukko kertoo kuinka monessa rakennuksessa (vakituinen tai vapaa-ajan asunto) kyseinen vertailuarvo ylitetään.

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

Taulukko 2. Yhteenveto vertailuarvojen ylityksistä, kun huomioidaan nykytilanne (Kaukasenneva ja Mutkalampi), suunniteltavat naapuripuistot sekä Kaukasen laajennuksen vaihtoehdot VE1 ja VE2. Taulukko kertoo kuinka monessa rakennuksessa (vakituinen tai vapaa-ajan asunto) kyseinen vertailuarvo ylitetään.

Vertailuarvo	Nykytilanne + VE1 + Naapuripuistot	Nykytilanne + VE2 + Naapuripuistot
> 10 h/v, todellinen tilanne	0	0
> 8 h/v, todellinen tilanne	0	0
> 30 h/v, teoreettinen maksimi	1	1
> 30 min/pv, teoreettinen maksimi	4	4

2 TAUSTA

Tämä välkeselvitys on tehty Kaukasen tuulivoimapuiston laajennukselle Kannuksen kaupungin alueella. Tässä selvityksessä on tarkistettu kaksi eri sijoitussuunnitelman vaihtoehtoa, jotka on muodostettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä ja kaavoitusmenettelyä varten:

- VE1: 16 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.
- VE2: 9 voimalaa. Roottorihalkaisija 200 m ja napakorkeus 200 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.

Mallinnuksessa on huomioitu operoinnissa olevien voimaloiden (Kaukasenneva ja Mutkalampi) tilanne yhtenä vaihtoehtona, ja sitä on verrattu suunniteltaviin puistoihin, joita ovat Kaukasen laajennus sekä naapuripuistot Malakakangas ja Tuohiräme-Linnanharju.

Välkeselvitys 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.

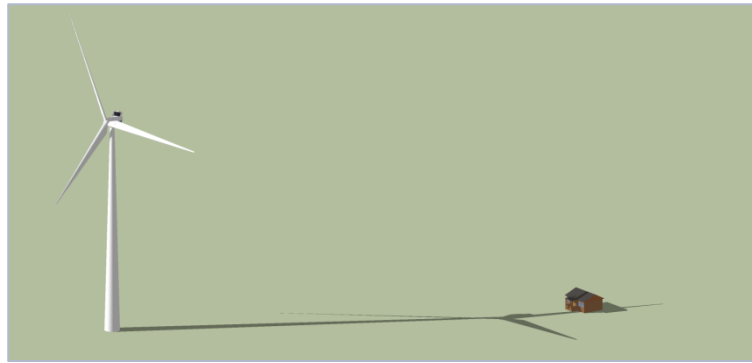
3 VARJOVÄLKKEEN MUODOSTUMINEN

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 kestoaika 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 asuinviihtyvyyteen 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, mutta niitä ei ole laskennassa otettu huomioon eli todellisuudessa välkettä on paikoittain vähemmän kuin mallinnuksessa.

Tuulivoimaloiden aiheuttaman varjovälkkeen vaikutusalue ja -määrä mallinetaan 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. Puustoa ja muuta kasvillisuutta ei kuitenkaan huomioida, mistä johtuen paikoittain raportoidaan liian korkeat välkearvot. 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 havainnointi pisteeseen muodostu häiritsevään voimakkaita liikkuvia varjoja. Maksimivaikutusten arvioimiseksi Kaukasen laajennuksen 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.

Rakennustiedot perustuvat Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan. Maastotietokannan mukaan hankealueelle sijoittuu kolme vapaa-ajan rakennusta, jotka on merkitty selvityksessä muuksi rakennukseksi. Näiden kolmen rakennuksen tarkemmat tiedot on selvitetty kunnalta ja rakennusten omistajien kanssa on tehty tarvittaessa käyttötarkoituksen muutos. Näin ollen rakennuksia ei ole huomioitu välkkeen havaintopisteinä.

Maastotietokantana käytettiin Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallia ja säähavaintotietoina käytettiin Oulun säähavaintoja. Oulun havaintoasema sijaitsee noin 130 kilometrin päässä suunnitellusta tuulivoimapuistoalueesta. Laskelmissa oletetaan, että tuulivoimaloiden roottorit pyörivät vain tuulennopeuden ollessa sopiva. Varjovälkettä tarkasteltiin 2 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	Oulun 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	0,77
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

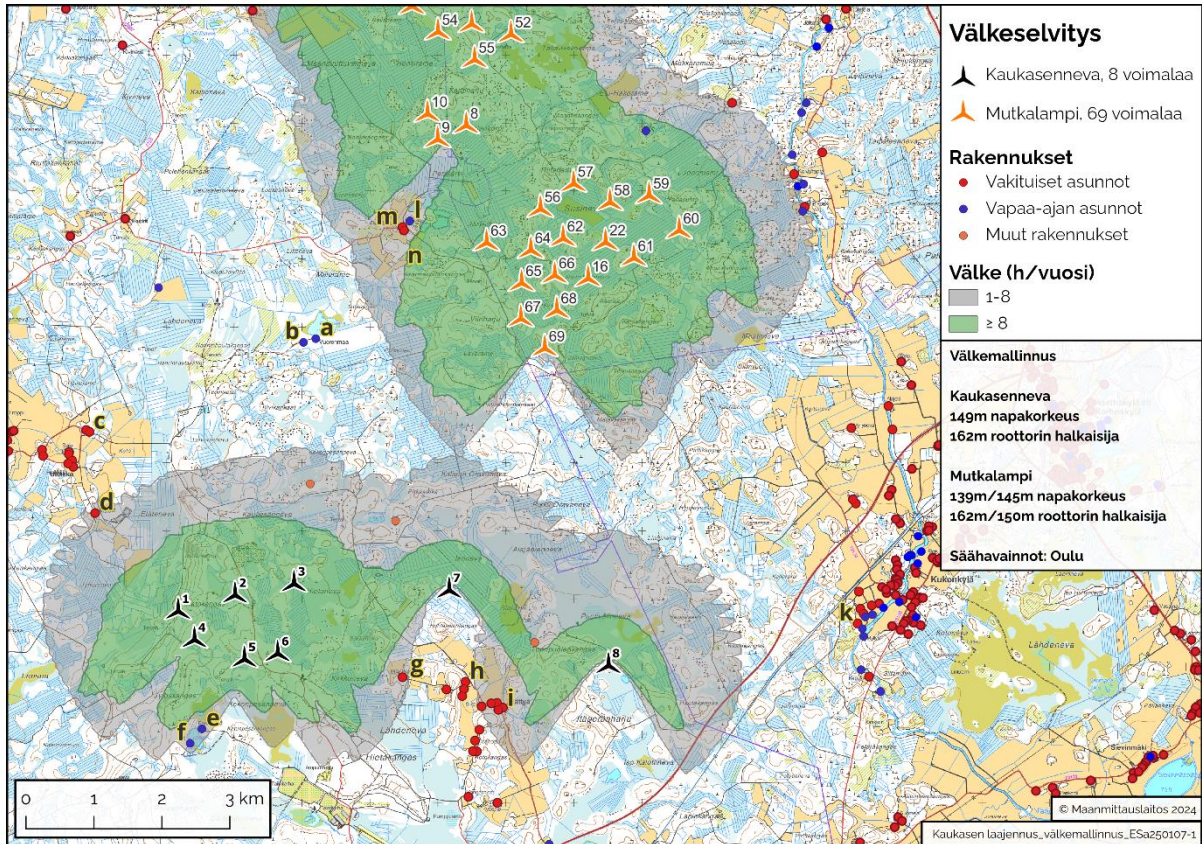
Tuulensuunta	Toiminta-aika (h/v)
Pohjoinen	553
Pohjoiskoillinen	443
Itäkoillinen	389
Itä	423
Itäkaakko	507
Eteläkaakko	666
Etelä	873
Etelälounas	1142
Länsilounas	1004
Länsi	800
Länsiluode	577
Pohjoisluode	556
Summa	7933

4 VÄLKEVAIKUTUKSET

4.1 OPEROINNISSA OLEVIENT VOIMALOIDEN VÄLKEVAIKUTUKSET (NYKYTILANNE)

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.

Alla olevassa kartassa on kuvattuna operoinnissa olevien Kaukasennevan ja Mutkalammen tuulipuiston välkevaikutukset. Kaukasenneva (8 voimalaa) on mallinnettu V162 5,6 MW -voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 162 metriä ja napakorkeus on 149 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 230 metriä. Mutkalammi (69 voimalaa) on mallinnettu 63 kappaleella V162 6,0 MW -voimalatyyppejä, jonka roottorihalkaisija on 162 metriä ja napakorkeus on 139 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 220 metriä, ja 6 kappaleella V150 4,3 MW -voimalatyyppejä, jonka roottorihalkaisija on 150 metriä ja napakorkeus on 145 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 220 metriä.



Kuva 2. Varjovälkkeen muodostuminen Kaukasennevan ja Mutkalammen 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 annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdenkään asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositusta 30 h/v ei ylitetä yhdessäkään 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 6. Varjoväkelaskennan tulokset, Kaukasenneva ja Mutkalampi

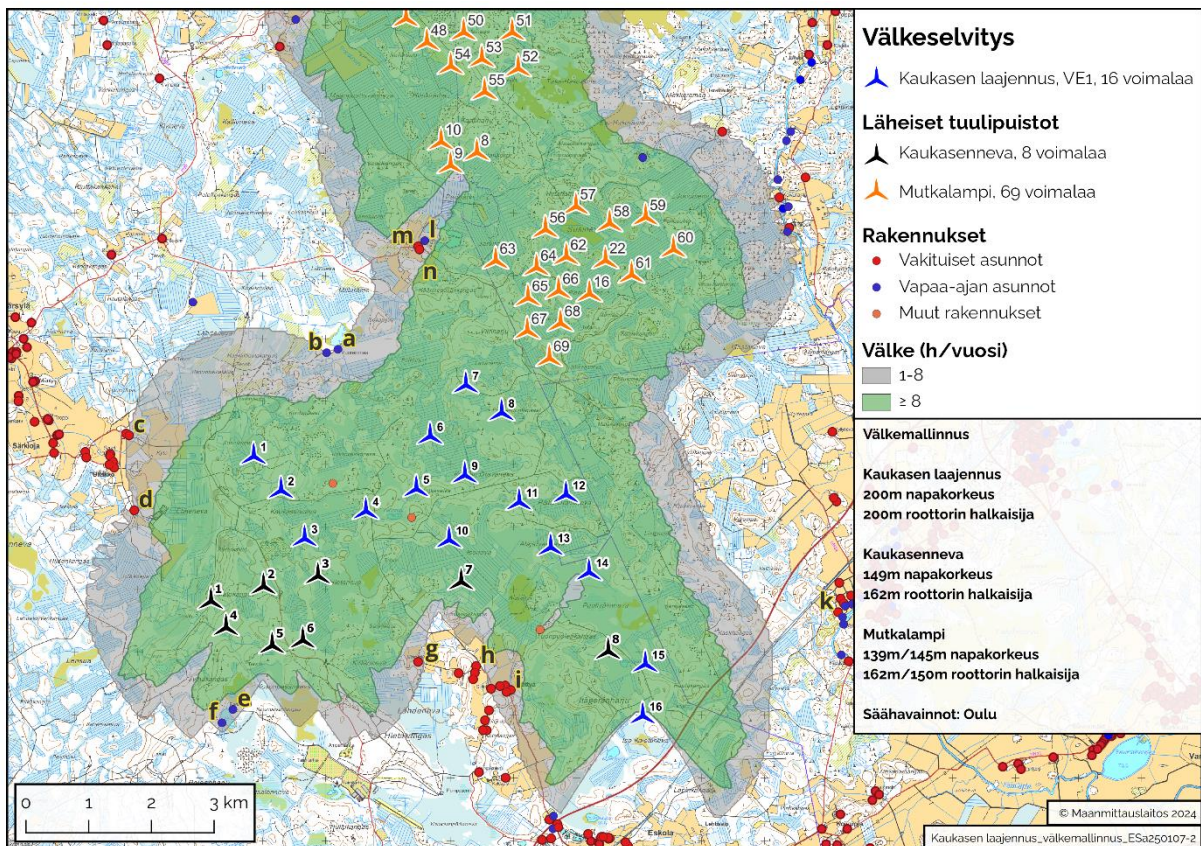
Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	356199	7098830	0:00	0:00	0:00	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	356018	7098776	0:00	0:00	0:00	Ei
c	Vakituinen asunto	352869	7097459	0:00	0:00	0:00	Ei
d	Vakituinen asunto	352952	7096265	1:04	8:05	0:21	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	354524	7093093	4:18	15:34	0:25	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	354350	7092879	3:30	12:37	0:22	Ei
g	Vakituinen asunto	357476	7093851	1:30	6:43	0:20	Ei
h	Vakituinen asunto	358402	7093784	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	358953	7093402	2:49	11:07	0:24	Ei
k	Vakituinen asunto	364172	7094642	0:00	0:00	0:00	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	357583	7100560	5:37	29:35	0:39	Osittain
m	Vakituinen asunto	357477	7100469	3:41	19:42	0:30	Osittain
n	Vakituinen asunto	357498	7100421	3:56	20:36	0:31	Osittain

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

4.2 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.

Alla olevassa kartassa on kuvattuna vaihtoehdon Kaukasen laajennuksen vaihtoehdon VE1 välkevaikutukset, ja lisäksi huomioidaan nykytilanne eli operoinnissa olevien Kaukasennevan ja Mutkalammen tuulipuiston välkevaikutukset. Kaukasen laajennuksen mallinnus on tehty voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorin halkaisija 200 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 300 metriä.



Kuva 3. Varjovälkkeen muodostuminen Kaukasen laajennuksen 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 maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdenkään asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositusta 30 h/v ei ylitetä

yhdessä 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. Varjovälkelaskennan tulokset, Kaukasen laajennus VE1, Kaukasenneva ja Mutkalampi.

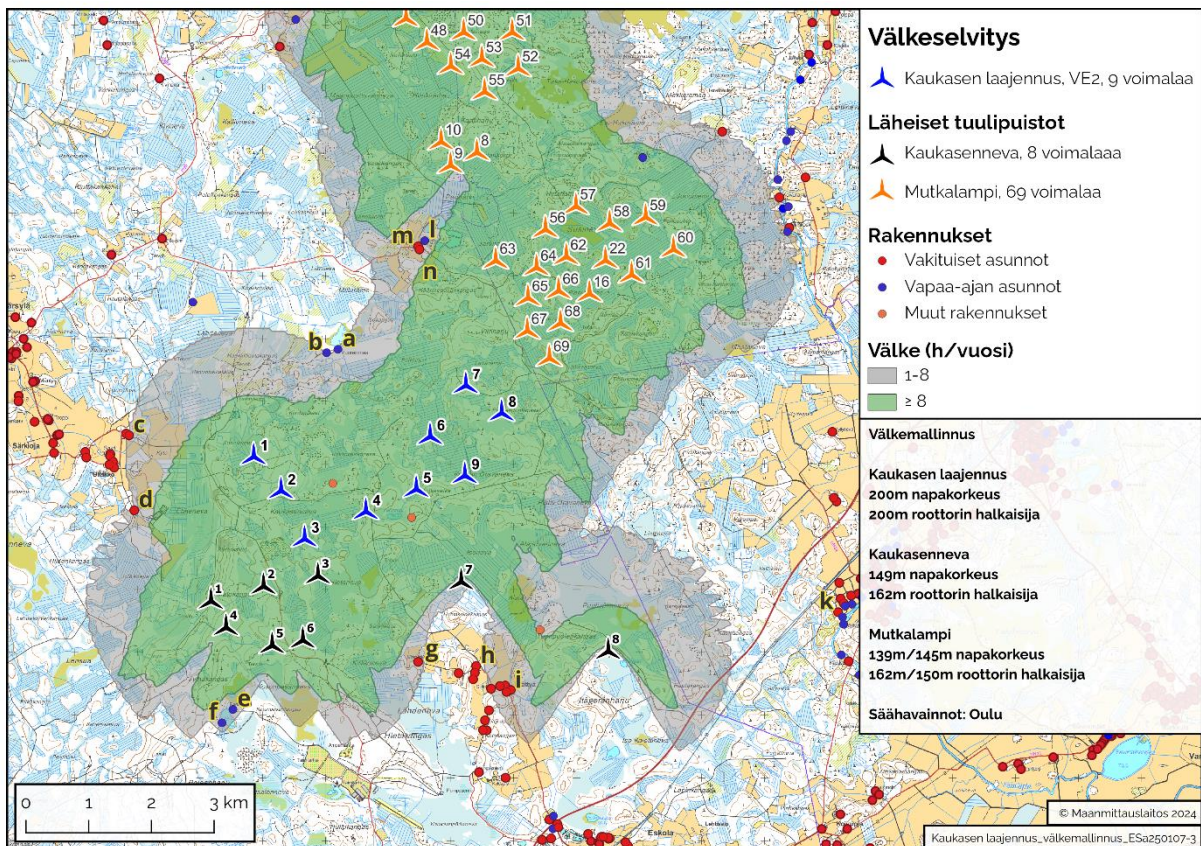
Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	356199	7098830	1:24	9:58	0:24	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	356018	7098776	1:26	12:06	0:25	Ei
c	Vakituinen asunto	352869	7097459	1:48	9:00	0:24	Ei
d	Vakituinen asunto	352952	7096265	1:04	8:05	0:21	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	354524	7093093	4:18	15:34	0:25	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	354350	7092879	3:30	12:37	0:22	Ei
g	Vakituinen asunto	357476	7093851	1:30	6:43	0:20	Ei
h	Vakituinen asunto	358402	7093784	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	358953	7093402	2:50	11:07	0:24	Ei
k	Vakituinen asunto	364172	7094642	0:00	0:00	0:00	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	357583	7100560	5:37	29:35	0:39	Osittain
m	Vakituinen asunto	357477	7100469	3:42	19:42	0:30	Osittain
n	Vakituinen asunto	357498	7100421	3:56	20:36	0:31	Osittain

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

4.3 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.

Alla olevassa kartassa on kuvattuna vaihtoehdon Kaukasen laajennuksen vaihtoehdon VE2 välkevaikutukset, ja lisäksi huomioidaan nykytilanne eli operoinnissa olevien Kaukasennevan ja Mutkalammen tuulipuiston välkevaikutukset. Kaukasen laajennuksen mallinnus on tehty voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorin halkaisija 200 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 300 metriä.



Kuva 4. Varjovälkkeen muodostuminen Kaukasen laajennuksen alueella. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 8.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy vuodessa alle kahdeksan tuntia. Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdessäkään havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositusta 30 h/v ei

ylitetä yhdessäkään 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 8. Varjovälkelaskennan tulokset, Kaukasen laajennus VE2, Kaukasenneva ja Mutkalampi.

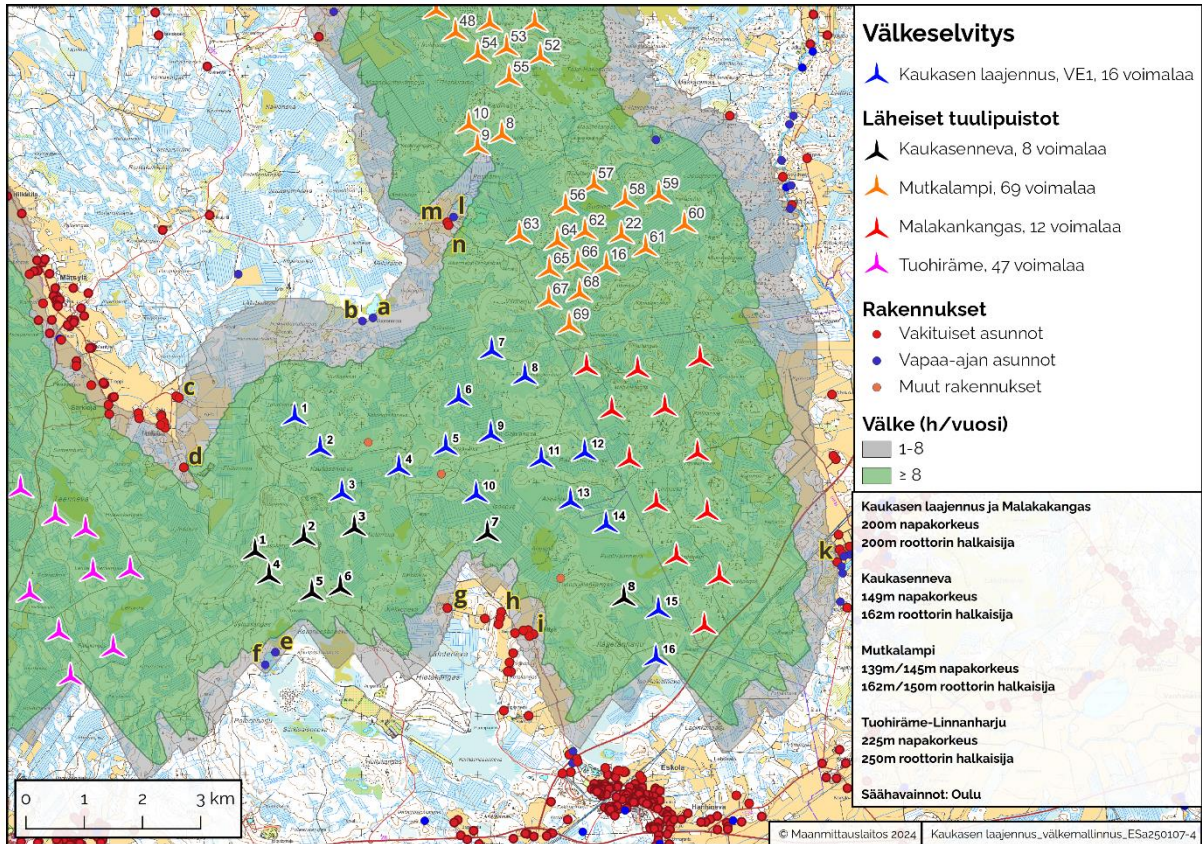
Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS TM35FIN)	Vilkkumisen määrä (todellinen tilanne, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/v)	Vilkkumisen määrä (teoreettinen maksimi, h/pv)	Suositusarvon ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	356199	7098830	1:24	9:58	0:24	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	356018	7098776	1:26	12:06	0:25	Ei
c	Vakituinen asunto	352869	7097459	1:48	9:00	0:24	Ei
d	Vakituinen asunto	352952	7096265	1:04	8:05	0:21	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	354524	7093093	4:18	15:34	0:25	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	354350	7092879	3:30	12:37	0:22	Ei
g	Vakituinen asunto	357476	7093851	1:30	6:43	0:20	Ei
h	Vakituinen asunto	358402	7093784	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	358953	7093402	2:50	11:07	0:24	Ei
k	Vakituinen asunto	364172	7094642	0:00	0:00	0:00	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	357583	7100560	5:37	29:35	0:39	Osittain
m	Vakituinen asunto	357477	7100469	3:42	19:42	0:30	Osittain
n	Vakituinen asunto	357498	7100421	3:56	20:36	0:31	Osittain

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 Kaukasen laajennuksen ja kaikkien naapuripuistojen yhteisvaikutusten tulokset. Mallinnuksessa on huomioitu operoinnissa olevat Kaukasenneva ja Mutkalampi, sekä suunniteltavat puistot Malakakangas ja Tuohiräme-Linnanharju. Välkemallinnuksessa on käytetty Kaukasen laajennuksen 16 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE1), ja sen mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorihalkaisija 200 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 300 metriä. Malakakangas (12 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 200 metriä ja napakorkeus on 200 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 300 metriä. Tuohiräme-Linnanharju (47 voimalaa) on mallinnettu voimalalla, jonka roottorihalkaisija on 250 metriä ja napakorkeus on 225 metriä, jolloin kokonaiskorkeus on 350 metriä. Tuohirämeen mallinnuksessa käytettiin 47 voimalan sijoitussuunnitelmaa, joka on YVA:n arviointiselostuksen ja osayleiskaavaaluonnoksen suunniteltu voimalamäärä. Malakakankaan 12 voimalan sijoitussuunnitelma on YVA:n arviointiohjelman voimalasuunnitelma. Molemmat edellä mainitut voimalavaihtoehdot ovat hankkeiden enimmäisvoimalamääriä.



Kuva 5. Kaukasen laajennuksen (VE1) välkevaikutukset, kaikki naapuripuistot huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 9.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy mallinnuksen mukaan alle kahdeksan tuntia vuodessa ja harmaan viivan ulkopuolella välkettä esiintyy alle tunti vuodessa. Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdenkään asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään yhdessä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään neljässä havainnointipisteessä.

Varjovälkelaskennan tulokset naapuripuistot huomioiden on raportoitu 13 havainnointipisteiden osalta taulukossa 9.

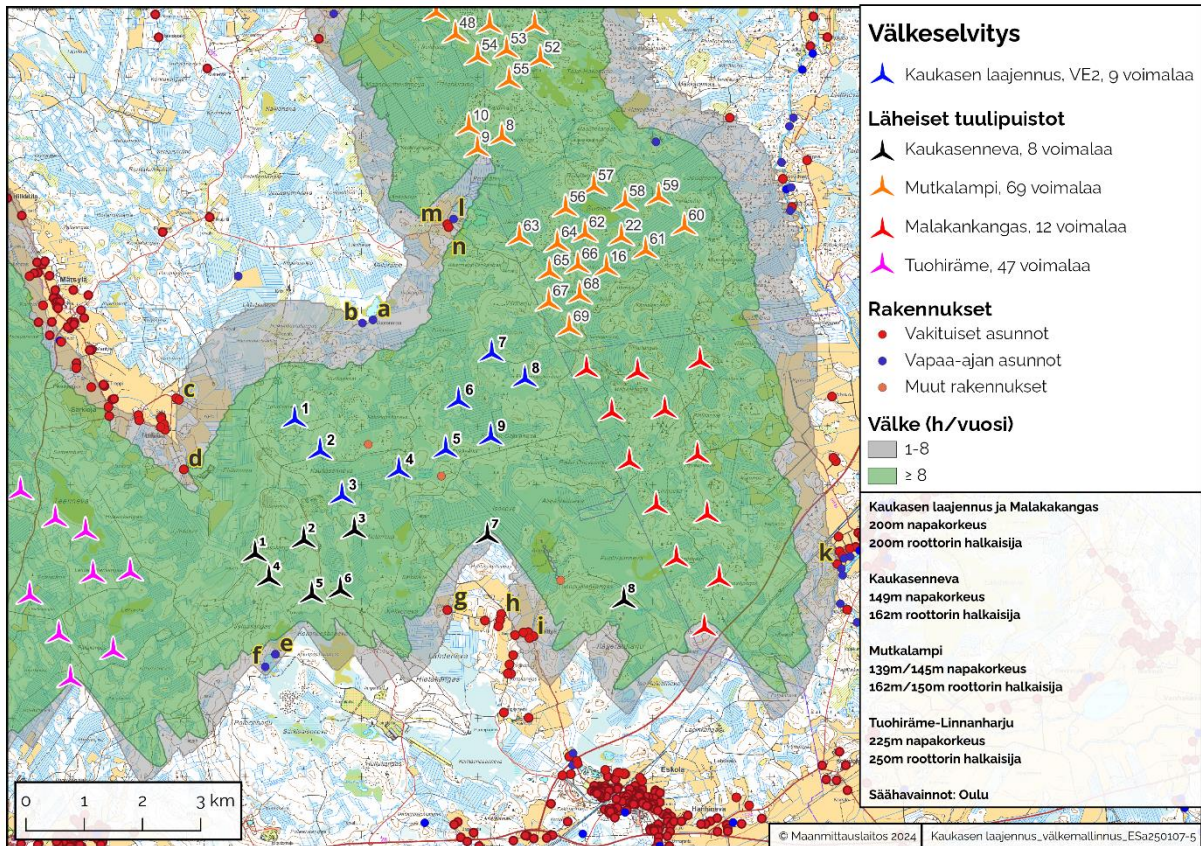
Taulukko 9. Varjovälkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset (VE1)

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	Vapaa-ajan asunto	356199	7098830	1:25	9:58	0:24	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	356018	7098776	1:27	12:06	0:25	Ei
c	Vakituinen asunto	352869	7097459	1:47	9:00	0:24	Ei
d	Vakituinen asunto	352952	7096265	5:41	43:25	0:41	Osittain
e	Vapaa-ajan asunto	354524	7093093	4:20	15:34	0:25	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	354350	7092879	3:31	12:37	0:22	Ei
g	Vakituinen asunto	357476	7093851	1:30	6:43	0:20	Ei
h	Vakituinen asunto	358402	7093784	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	358953	7093402	2:50	11:07	0:24	Ei
k	Vakituinen asunto	364172	7094642	0:00	0:00	0:00	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	357583	7100560	5:36	29:35	0:39	Osittain
m	Vakituinen asunto	357477	7100469	3:41	19:42	0:30	Osittain
n	Vakituinen asunto	357498	7100421	3:55	20:36	0:31	Osittain

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

4.4.2 VAIHTOEHDON VE2 VÄLKEVAIKUTUKSET

Seuraavassa kuvassa on esitetty Kaukasen laajennuksen ja kaikkien naapuripuistojen yhteisvaikutusten tulokset. Mallinnuksessa on huomioitu operoinnissa olevat Kaukasenneva ja Mutkalampi, sekä suunniteltavat puistot Malakakangas ja Tuohiräme-Linnanharju. Välkemallinnuksessa on käytetty Kaukasen laajennuksen 9 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE2), ja sen mallinnus on toteutettu voimalalla, jonka napakorkeus on 200 metriä ja roottorinhalkaisija 200 metriä.



Kuva 6. Kaukasen laajennuksen (VE2) välkevaikutukset, naapuripuistot huomioiden. Havainnointipisteet on merkitty kuvaan (a-n) ja niiden välketasot on esitetty taulukossa 10.

Vihreän alueen ulkopuolella varjovälkettä esiintyy mallinnuksen mukaan alle kahdeksan tuntia vuodessa ja harmaan viivan ulkopuolella välkettä esiintyy alle tunti vuodessa. Ruotsissa ja Saksassa annettua maksimisuositusta kahdeksan tunnin vuotuisesta varjon välkkeestä ei ylitetä yhdenkään asunnon kohdalla. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 h/v ylitetään yhdessä havainnointipisteessä. Teoreettisen maksimitilanteen suositus 30 min/pv ylitetään neljässä havainnointipisteessä.

Varjovälkelaskennan tulokset naapuripuistot huomioiden on raportoitu 13 havainnointipisteiden osalta taulukossa 10.

Taulukko 10. Varjovälkelaskennan tulokset, yhteisvaikutukset (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	Vapaa-ajan asunto	356199	7098830	1:24	9:58	0:24	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	356018	7098776	1:27	12:06	0:25	Ei
c	Vakituinen asunto	352869	7097459	1:47	9:00	0:24	Ei
d	Vakituinen asunto	352952	7096265	5:41	43:25	0:41	Osittain
e	Vapaa-ajan asunto	354524	7093093	4:20	15:34	0:25	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	354350	7092879	3:31	12:37	0:22	Ei
g	Vakituinen asunto	357476	7093851	1:30	6:43	0:20	Ei
h	Vakituinen asunto	358402	7093784	0:00	0:00	0:00	Ei
i	Vakituinen asunto	358953	7093402	2:50	11:07	0:24	Ei
k	Vakituinen asunto	364172	7094642	0:00	0:00	0:00	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	357583	7100560	5:36	29:35	0:39	Osittain
m	Vakituinen asunto	357477	7100469	3:41	19:42	0:30	Osittain
n	Vakituinen asunto	357498	7100421	3:55	20:36	0:31	Osittain

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 välke yksittäisessä pisteessä vähentyä. Myös epävarmuus oletetuissa tuulensuunnissa voi vaikuttaa laskentatulokseen.

Välkemallinnuksessa 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.

4.6 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA

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

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

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.

LIITE 1: SJOITUSSUUNNITELMA

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 11. Kaukasen laajennuksen voimaloiden sijaintitiedot, VE1 (16 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	354853	7097134	200/200/300
2	355289	7096590	200/200/300
3	355664	7095824	200/200/300
4	356641	7096260	200/200/300
5	357445	7096615	200/200/300
6	357666	7097455	200/200/300
7	358235	7098268	200/200/300
8	358805	7097829	200/200/300
9	358219	7096833	200/200/300
10	357968	7095802	200/200/300
11	359085	7096404	200/200/300
12	359831	7096523	200/200/300
13	359587	7095684	200/200/300
14	360199	7095286	200/200/300
15	361096	7093821	200/200/300
16	361055	7092999	200/200/300

Taulukko 12. Kaukasen laajennuksen voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (9 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	354853	7097134	200/200/300
2	355289	7096590	200/200/300
3	355664	7095824	200/200/300
4	356641	7096260	200/200/300
5	357445	7096615	200/200/300
6	357666	7097455	200/200/300
7	358235	7098268	200/200/300
8	358805	7097829	200/200/300
9	358219	7096833	200/200/300

Taulukko 13. Kaukasennevan voimaloiden sijaintitiedot (8 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	354172	7094870	149/162/230
2	355009	7095107	149/162/230
3	355877	7095274	149/162/230
4	354412	7094451	149/162/230
5	355147	7094164	149/162/230
6	355636	7094247	149/162/230
7	358161	7095179	149/162/230
8	360505	7094071	149/162/230

Taulukko 14. Mutkalammen voimaloiden sijaintitiedot (69 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	354278	7110449	139/162/220
2	351753	7107598	145/150/220
3	356921	7107319	139/162/220
4	359072	7103298	139/162/220
5	352290	7107930	139/162/220
6	359364	7100127	139/162/220
7	357998	7103337	139/162/220
8	351884	7108222	145/150/220
9	350922	7107655	145/150/220
10	357410	7107428	139/162/220
11	350494	7107232	145/150/220
12	356956	7107805	139/162/220
13	354803	7110837	139/162/220
14	355055	7110420	139/162/220
15	357466	7106144	139/162/220
16	361104	7100930	139/162/220
17	359993	7101103	139/162/220
18	356167	7108274	139/162/220
19	353757	7107576	139/162/220
20	355902	7107698	139/162/220
21	356270	7107310	139/162/220
22	356094	7106652	139/162/220

23	357583	7105600	139/162/220
24	353535	7108055	139/162/220
25	355816	7107084	139/162/220
26	358713	7100236	139/162/220
27	354902	7106976	139/162/220
28	356637	7106853	139/162/220
29	360529	7100831	139/162/220
30	353280	7107433	139/162/220
31	354187	7106994	139/162/220
32	354968	7106309	139/162/220
33	357191	7106757	139/162/220
34	354176	7109514	139/162/220
35	356413	7107814	139/162/220
36	358493	7103449	139/162/220
37	358211	7104423	139/162/220
38	356988	7104494	139/162/220
39	357283	7104093	139/162/220
40	358202	7103875	139/162/220
41	357616	7103714	139/162/220
42	357878	7106595	139/162/220
43	358533	7102931	139/162/220
44	357843	7102130	139/162/220
45	357993	7101756	139/162/220
46	358281	7108163	139/162/220
47	354560	7109846	139/162/220
48	359228	7099643	139/162/220
49	359217	7099119	139/162/220
50	359569	7098683	139/162/220
51	355140	7109301	139/162/220
52	359746	7099241	139/162/220
53	359715	7099759	139/162/220
54	359839	7100299	139/162/220
55	360463	7100241	139/162/220
56	359506	7100732	139/162/220
57	355721	7108438	139/162/220
58	360880	7100011	139/162/220
59	361547	7100416	139/162/220
60	354400	7111115	139/162/220
61	356111	7106177	139/162/220
62	356460	7105920	145/150/220
63	354605	7107420	139/162/220

64	358413	7101960	139/162/220
65	358877	7104562	145/150/220
66	360207	7099710	139/162/220
67	358170	7107635	139/162/220
68	358082	7107087	139/162/220
69	350122	7106975	139/162/220

Taulukko 15. Malakakankaan voimaloiden sijaintitiedot (12 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	359863	7098032	200/200/300
2	360297	7097295	200/200/300
3	360598	7096450	200/200/300
4	361060	7095695	200/200/300
5	361405	7094785	200/200/300
6	361886	7093595	200/200/300
7	360740	7097990	200/200/300
8	361207	7097335	200/200/300
9	361768	7096560	200/200/300
10	361933	7095542	200/200/300
11	362143	7094438	200/200/300
12	361811	7098177	200/200/300

Taulukko 16. Tuohiräme-Linnanharjun voimaloiden sijaintitiedot (47 voimalaa)

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Napakorkeus / Roottorin halkaisija / Kokonaiskorkeus (m)
1	352031	7094490	225/250/350
2	351394	7094452	225/250/350
3	351265	7095190	225/250/350
4	350746	7095407	225/250/350
5	350149	7095883	225/250/350
6	349571	7095990	225/250/350
7	349514	7096796	225/250/350
8	348443	7097029	225/250/350
9	351740	7093139	225/250/350
10	351007	7092658	225/250/350
11	350807	7093421	225/250/350
12	350305	7094090	225/250/350
13	349756	7094462	225/250/350
14	349190	7094620	225/250/350

15	348851	7095119	225/250/350
16	348575	7096300	225/250/350
17	347810	7096127	225/250/350
18	347212	7096922	225/250/350
19	346662	7097078	225/250/350
20	345610	7097444	225/250/350
21	345213	7097860	225/250/350
22	345762	7099206	225/250/350
23	345081	7099467	225/250/350
24	344601	7099986	225/250/350
25	343831	7099766	225/250/350
26	343569	7100359	225/250/350
27	343312	7100955	225/250/350
28	347928	7097244	225/250/350
29	347772	7097952	225/250/350
30	346393	7098126	225/250/350
31	346040	7098631	225/250/350
32	345817	7100098	225/250/350
33	345337	7100451	225/250/350
34	344298	7100782	225/250/350
35	347298	7098254	225/250/350
36	346777	7099201	225/250/350
37	346607	7100036	225/250/350
38	345022	7100993	225/250/350
39	349133	7097263	225/250/350
40	348507	7098192	225/250/350
41	348394	7098984	225/250/350
42	348261	7099725	225/250/350
43	347591	7099621	225/250/350
44	347285	7100188	225/250/350
45	346843	7101285	225/250/350
46	346422	7101663	225/250/350
47	346037	7102151	225/250/350