



Ilmatar Kotaselkä Oy

Kotaselän tuulivoimapuiston välkeselvitys

101020883-007, 03.02.2025

Tekijä
AFRY Finland Oy
Mika Laitinen

E-mail
mika.laitinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Kotaselkä Oy

Päivämäärä
03/02/2025

Projektinumero
101020883-007

Raportin tila
VALMIS

Kotaselän tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	03.02.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	03.02.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Ilmatieteen laitoksen avoimien aineistojen käyttöluvien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen - lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

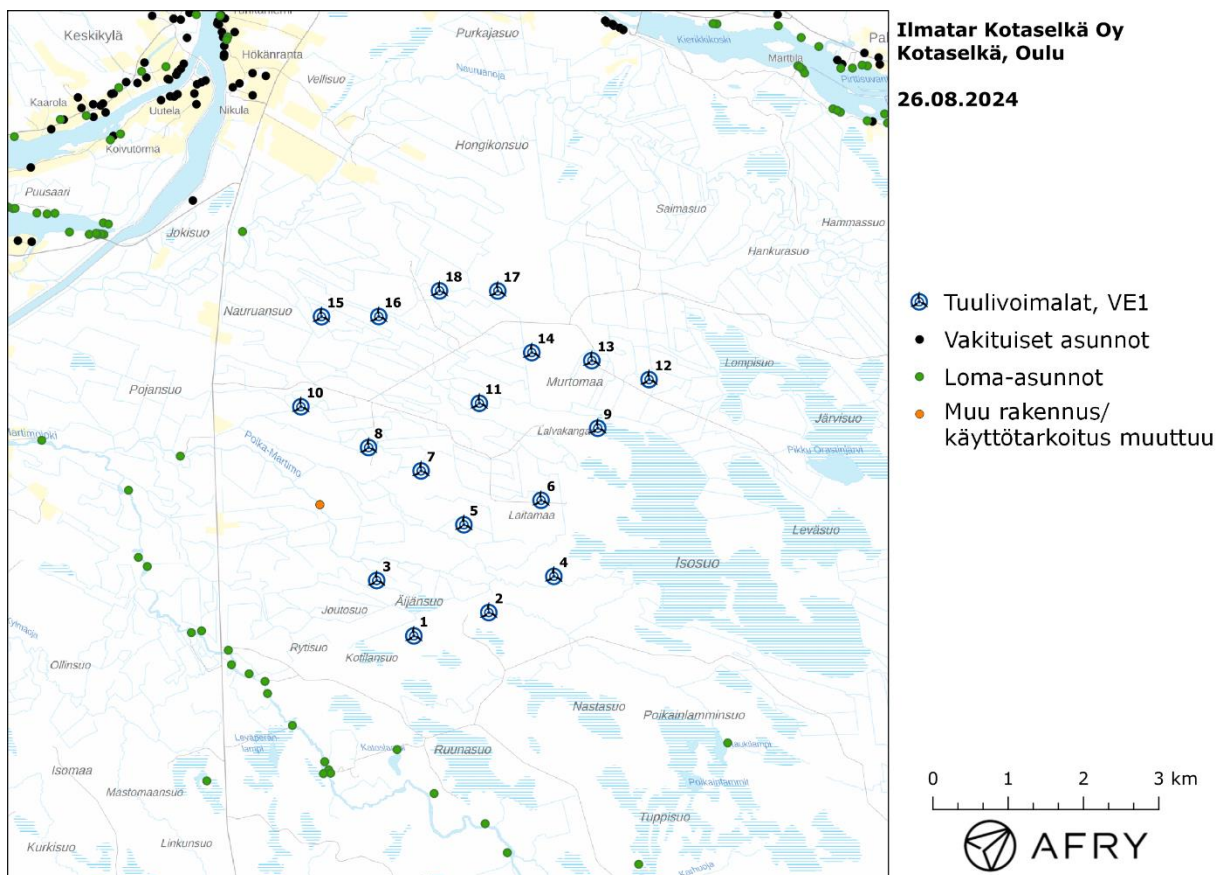
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	7
2.1	Välkevaikutus	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjearovot	8
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Välkevaikutus	12
3.3	Välkkeen yhteisvaikutukset	14
4	Yhteenveto	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	17
6	Viitteet	19

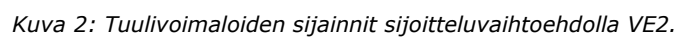
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Oulun kaupungin alueelle suunnitellun Kotaselän tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään sijoitteluvaihtoehdoille VE1 (18 voimalaa) ja VE2 (14 voimalaa). Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvissa (Kuva 1 ja Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Selvityksessä arvioidaan myös välkkeen yhteisvaikutuksia Kotaselän lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.

Välkemallinnuksissa Kotaselän voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m (kokonaiskorkeus 350 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit sijoitteluvaihtoehdolla VE1.



Taulukko 1: Vaihtoehdon VE1 voimaloiden (18 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla. Vaihtoehdosta VE2 on poistettu voimalat 2, 4, 6 ja 9 muiden voimaloiden pysyessä samana kuin vaihtoehdossa VE1.

Voimala	E	N	Maaston korkeus [m]
1	446427	7240879	56
2	447423	7241188	60
3	445934	7241614	53
4	448287	7241668	62
5	447092	7242353	58
6	448117	7242677	68
7	446524	7243067	57
8	445826	7243377	50
9	448871	7243633	69
10	444927	7243918	46
11	447298	7243964	59
12	449552	7244278	76
13	448792	7244530	75
14	447994	7244636	66
15	445201	7245112	43
16	445961	7245114	48
17	447542	7245453	63
18	446769	7245455	54

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja iltatimet). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla todennäköinen välkeaika.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

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

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Oulun lentoaseman sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 50 km.

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

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

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [1]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuinen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, voimalan ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2,0 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

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

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

Välkemallinnuksissa Kotaselän voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m. Voimaloiden lavan muodolle on käytetty profiilia, jonka maksimileveys on 5,0 m 10 % etäisyydellä lavan tyvestä ja joka kapenee lineaarisesti arvoon 2,0 m 90 % etäisyydellä lavan tyvestä. Välkevaikutuksen laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätäjä (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa voimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri voimaloiden orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välikkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väiketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksista [3] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn voimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa voimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny.

Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet voimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun lentoaseman sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä (Taulukko 3). Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,161	0,161	0,199	0,138	0,123	0,131

Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

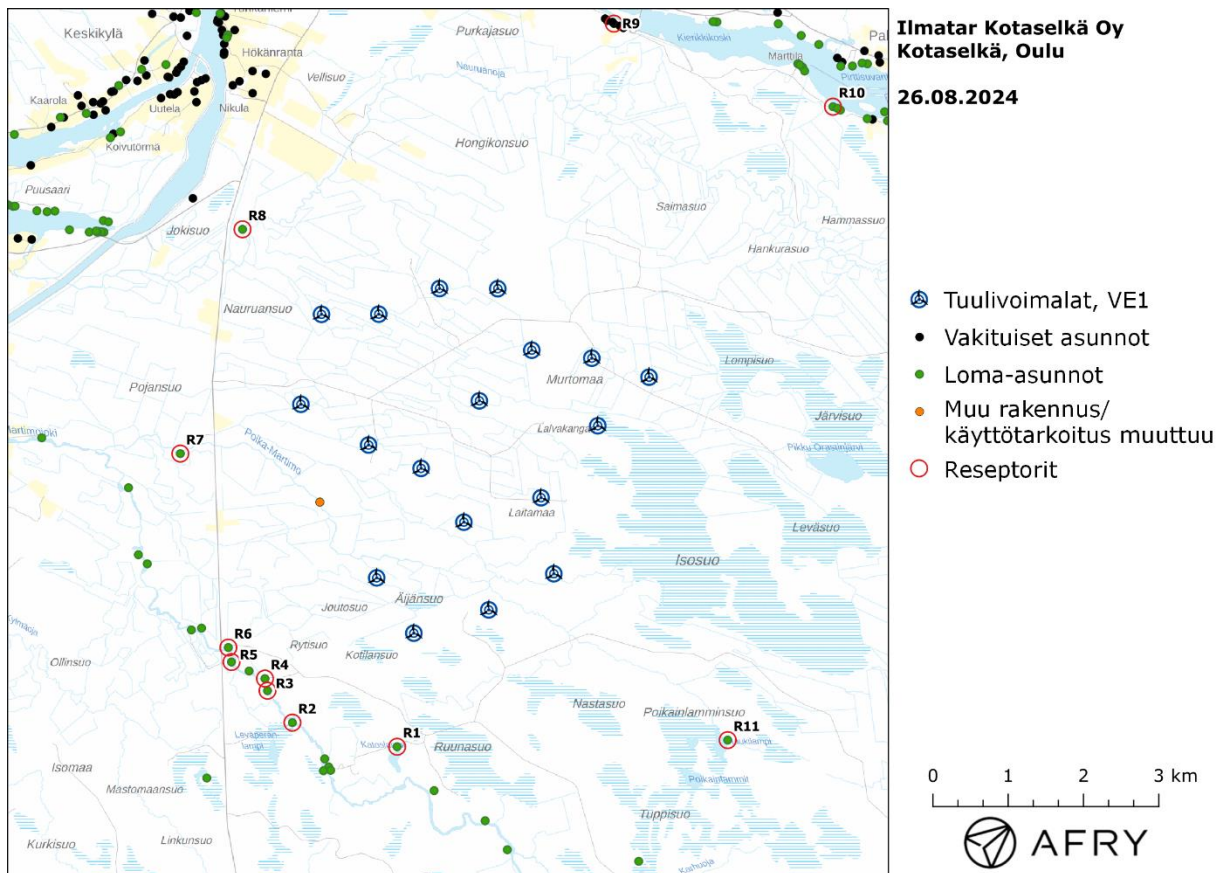
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 rakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat 1,5–4,3 km etäisyydellä lähimmästä voimalasta.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta. Hankealueen länsiosaan sijoittuu vapaa-ajan rakennus (lomarakennus), jonka käyttötarkoituksen muutoksesta muuhun käyttöön hanketoimija neuvottelee kiinteistönomistajien kanssa. Mikäli käyttötarkoituksen muutos kyseiselle rakennukselle toteutuu hankesuunnittelun edetessä, rakennuksen muuttuvat tiedot tullaan päivittämään kaavaehdotus-vaiheessa. Tätä rakennusta ei ole valittu reseptoriksi ja se on merkitty karttoihin tunnisteella ”Muu rakennus/käyttötarkoitus muuttuu”.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	446207	7239369	59	loma-asunto
R2	444816	7239689	53	loma-asunto
R3	444485	7240113	49	loma-asunto
R4	444451	7240274	51	loma-asunto
R5	444007	7240494	48	loma-asunto
R6	443965	7240686	45	loma-asunto
R7	443327	7243261	38	loma-asunto
R8	444153	7246239	40	loma-asunto
R9	449086	7248970	53	vakituinen asuinrakennus
R10	451996	7247867	61	loma-asunto
R11	450598	7239457	69	loma-asunto



Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston ympäristössä.

3.2 Välkevaikutus

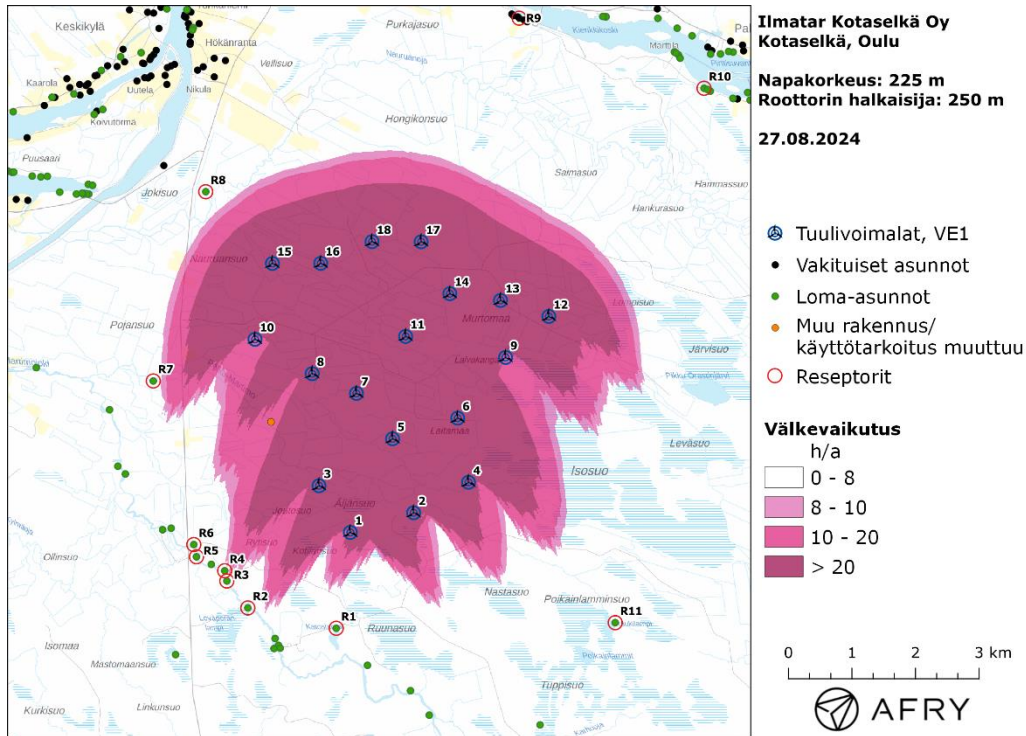
Mallinnetut arviot sijoitteluvaihtoehtojen VE1 ja VE2 todennäköisten välnketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 4 ja Kuva 5). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Taulukossa (Taulukko 5) on esitetty todennäköinen välkevaikutus reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana. Suunnitelman VE1 välkevaikutus ulottuu laajemmalle kuin suunnitelman VE2, mutta asutuksen kohdalla molempien suunnitelmien välkevaikutus on sama. Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Tanskan 10 tunnin ohjearvon ja Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdalla kummallakin sijoitteluvaihtoehdolla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välke aika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdalla. Suurin todennäköinen välkevaikutus kohdistuu reseptorin R4 kohdalla olevaan asuntoon. Todennäköisen välnkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6).

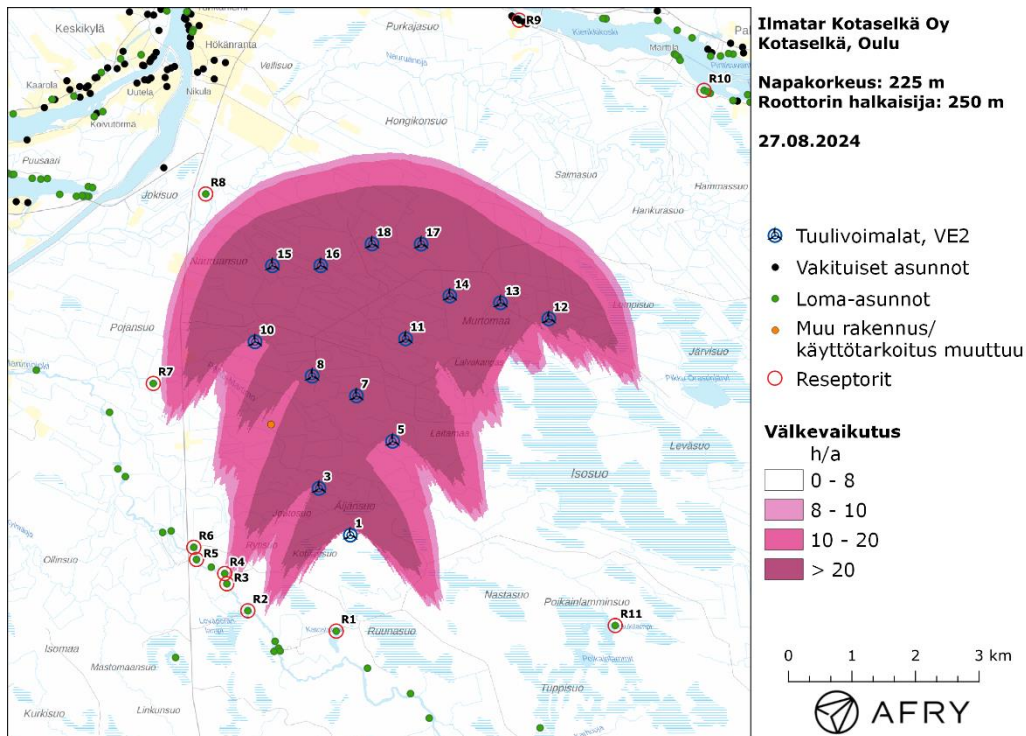
Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin ja Tanskan ohjearvot hankealueella olevan vapaa-ajan rakennuksen kohdalla, josta hanketoimija neuvottelee kiinteistönomistajien kanssa.

Taulukko 5: Mallinnusten mukaiset todennäköiset välnkemäärät ([h:min]) reseptoripisteittäin sijoitteluvaihtoehtoilla VE1 ja VE2. Taulukossa on esitetty vuotuinen välnketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d).

Reseptori	Todennäköinen välke VE1		Todennäköinen välke VE2	
	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	3:30	0:07	3:30	0:07
R3	6:04	0:07	6:04	0:07
R4	7:07	0:08	7:07	0:08
R5	2:12	0:05	2:12	0:05
R6	2:07	0:05	2:07	0:05
R7	5:34	0:09	5:34	0:09
R8	4:00	0:09	4:00	0:09
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00
R12	0:00	0:00	0:00	0:00



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE1.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus sijoitteluvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R4 kohdalla. Välkevaikutus on sama suunnitelmilla VE1 ja VE2. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

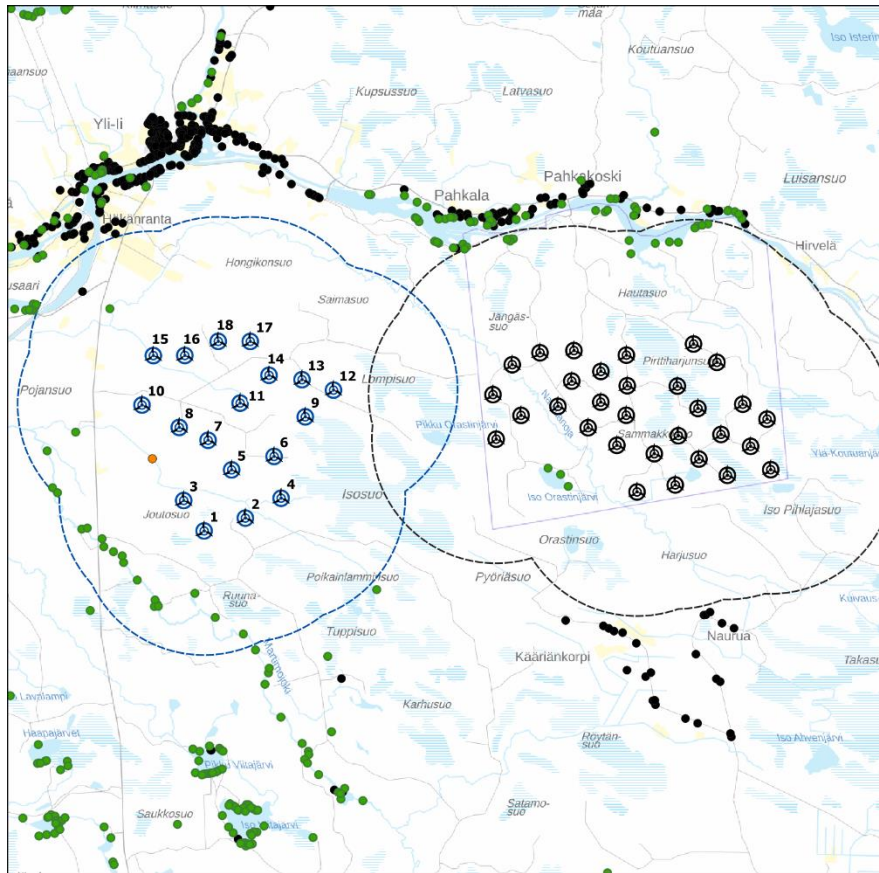
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Toukokuu	0:00	1:12	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:18
Kesäkuu	0:00	1:22	0:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:51
Heinäkuu	0:00	0:54	1:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:18
Elokuu	0:00	0:00	0:48	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	3:28	3:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:07

3.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kotaselän voimaloiden ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulipuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [1][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutuksia voi siis esiintyä, kun eri puistojen voimaloiden etäisyys on alle 6 km. Tällä etäisyydellä Kotaselän voimaloista sijaitsee vain Kotaselän itäpuolelle rakenteilla oleva Pahkakosken tuulivoimapuisto. Pahkakosken Koillispuolelle on suunnitteilla Iso Pihlajasuon tuulivoimapuisto, joiden voimaloista on yli 8 km Kotaselän voimaloihin.

Kotaselän ja Pahkakosken tuulivoimaloiden sijainnit on esitetty karttakuvassa (Kuva 6). Karttaan on piirretty myös voimaloiden 3 km etäisyysvyöhykkeet. Kartan perusteella Kotaselän ja Pahkakosken tuulivoimapuistojen välissä on pieni alue, jossa voimaloiden etäisyys on alle 6 km. Tällä etäisyysvyöhykkeiden leikkausalueella alueella ei ole asuntoja, joten Kotaselän ja Pahkakosken tuulivoimaloista ei voi aiheutua välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle.

Johtopäätös on, että Kotaselän tuulivoimapuistolla ja lähelle rakennetuilla tai suunnitelluilla tuulivoimapuistoilla ei ole välkkeen yhteisvaikutuksia asutuksen kohdalla.



Ilmatar Kotaselkä Oy
Kotaselkä, Oulu

27.08.2024

-  Kotaselkä VE1
-  Pahkakoski
-  Vakituiset asunnot
-  Loma-asunnot
-  Muu rakennus/
käyttötarkoitus muuttuu
-  3 km voimaloista



Kuva 6: Kotaselän ja Pahkakosken voimaloiden sijainnit. Karttaan on merkitty molempien puistojen etäisyysvyöhykkeet 3 km etäisyydelle voimaloista.

4 Yhteenveto

Selvityksessä on esitetty Oulun kaupungin alueelle suunnitellun Kotaselän tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 18 voimalan vaihtoehdolle VE1 ja 14 voimalan vaihtoehdolle VE2. Selvityksessä on arvioitu myös Kotaselän ja lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Välkemallinnusten mukaan vaihtoehdon VE1 välkevaikutus ulottuu laajemmalle kuin vaihtoehdon VE2, mutta asutuksen kohdalla molempien suunnitelmien välkevaikutus on sama.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin ja Tanskan ohjearvot hankealueella olevan vapaa-ajan rakennuksen kohdalla, josta hanketoimija neuvottelee kiinteistönomistajan kanssa. Kyseistä rakennusta ei ole valittu välkevaikutuksen reseptoriksi, mutta tämän rakennuksen osalta välkevaikutus on suuri, jos käyttötarkoitusta ei saada muutettua. Alueen kaikkien muiden vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdilla todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin ja Tanskan ohjearvojen.

Kotaselän voimaloista ja se läheisyyteen suunnitelluista tai rakennetuista tuulivoimapuistoista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia asutuksen kohdalla. Kokonaisuutena Kotaselän tuulivoimapuiston vaihtoehtojen VE1 ja VE2 välkevaikutus on kohtalainen.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapallolta taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen voimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota voimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Voimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla voimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen voimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulusuusuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

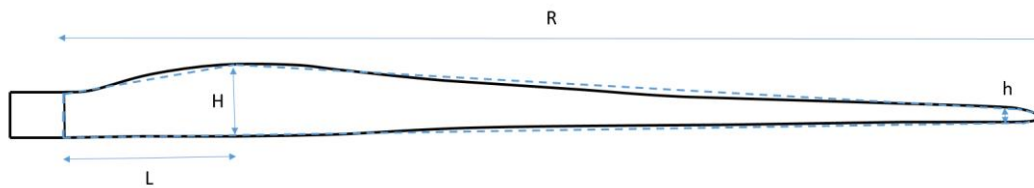
Voimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle voimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu voimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

Kun lavan leveys on w metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä d on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä voimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä voimalan napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 7) on esitetty yksinkertaistettu malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa voimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 7: Voimalan lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa lavan leveys on mallinnettu kahteen leveysarvoon H ja h perustuvalla lineaarisella approksimaatiolla. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan lavan muuttuva leveysprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [4] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.