



Ilmatar Kuortane Oy / Ilmatar Seinäjoki Oy

Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen välkeselvitys

101021368-007, 06.11.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
004

Asiakas
Ilmatar Kuortane Oy
Ilmatar Seinäjoki Oy
Noora Jaakamo

Päivämäärä
06/11/2023

Projektinumero
101021368-007

Raportin tila
VALMIS

Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen välkeselvitys

Raporttihistoria

| Versio | Pvm/Laatija | Pvm/Tarkastaja | Merkinnät/Muutokset |
|--------|---|---|--|
| 001 | 22.03.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant | 22.03.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant | Alkuperäinen (raportti 200_304-008.001) |
| 002 | 27.04.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant | 27.04.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant | Lomarakennuksen käyttötarkoituksen muutos. (raportti 200_304-008.002) |
| 003 | 17.10.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant | 17.10.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant | Tarkennettu kappaletta <i>2.3 Arvioinnin epävarmuudet.</i> Karttakuvat päivitetty. |
| 004 | 06.11.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant | 06.11.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant | Lisätty toteutusvaihtoehto VE2 sekä teoreettinen maksimivälke. |

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen 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>.

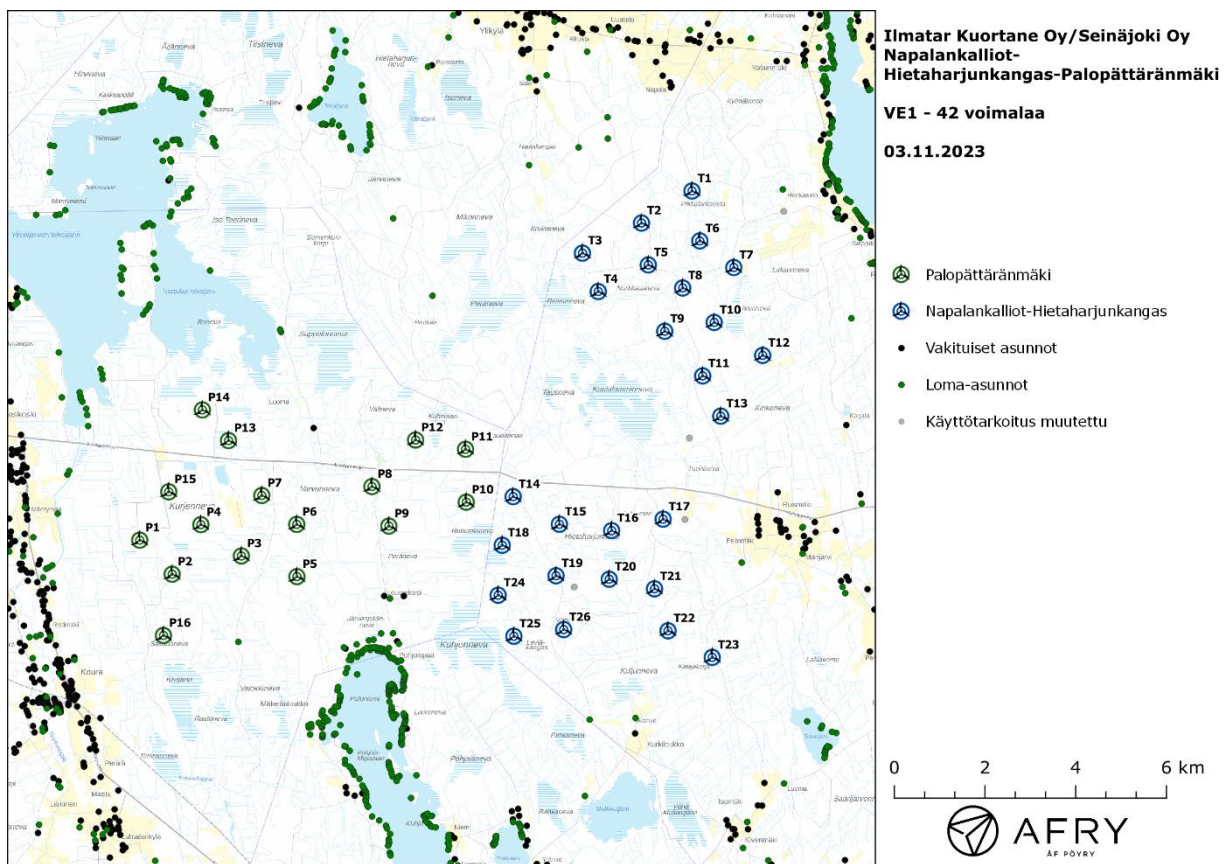
Sisällysluettelo

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 4 |
| 2 | Tuulivoimaloiden välke | 7 |
| 2.1 | Välkevaikutus | 7 |
| 2.2 | Välkkeen rajoittaminen | 7 |
| 2.3 | Arvioinnin epävarmuudet | 7 |
| 2.4 | Ohjearvot | 8 |
| 3 | Tuulivoimakohteen välkemallinnus | 9 |
| 3.1 | Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto | 9 |
| 3.2 | Todennäköinen välkevaikutus | 12 |
| 3.3 | Teoreettinen välkevaikutus | 15 |
| 4 | Yhteenveto | 17 |
| 5 | Välkevaikutuksen laskentamenetelmä | 18 |
| 6 | Viitteet | 20 |

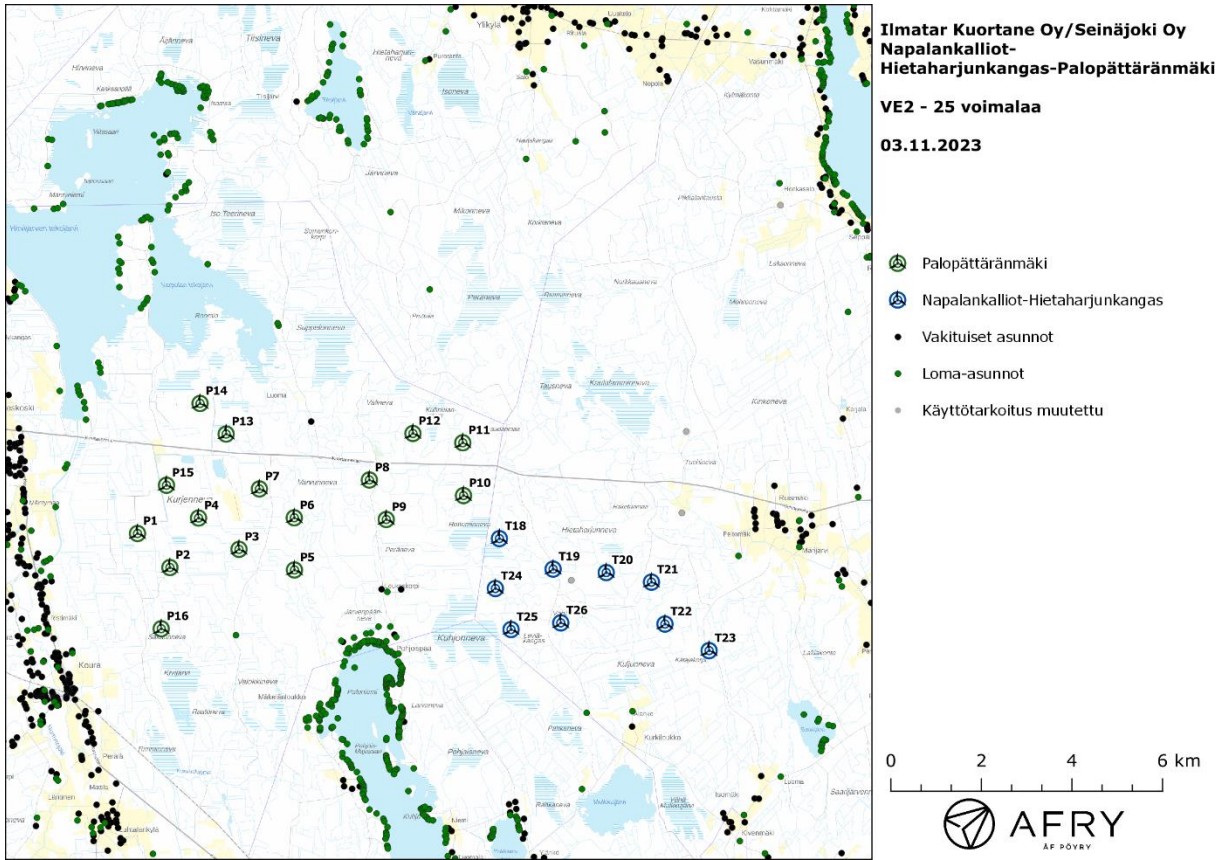
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kuortaneen kuntaan ja Seinäjoen kaupunkiin suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään kahdella toteutusvaihtoehdolla VE1 (42 voimalaa) ja VE2 (25 voimalaa). 42 voimalan toteutusvaihtoehdosta 26 voimalaa sijaitsee Napalankallioiden ja Hietaharjunkankaan puolella Kuortaneella ja 16 voimalaa Palopättäränmäen puolella Seinäjoella. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvissa (Kuva 1-Kuva 2) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 250 m ja napakorkeutta 225 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 125 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 5,0 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella toteutusvaihtoehdolle VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella toteutusvaihtoehdolle VE2.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (VE1 - 42 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Toteutusvaihtoehdosta VE2 on poistettu voimalat T1-T17.

| Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|
| T1 | 314238 | 6971257 | 97 |
| T2 | 313124 | 6970550 | 105 |
| T3 | 311821 | 6969886 | 108 |
| T4 | 312169 | 6969039 | 108 |
| T5 | 313273 | 6969626 | 110 |
| T6 | 314410 | 6970156 | 104 |
| T7 | 315159 | 6969569 | 104 |
| T8 | 314032 | 6969117 | 110 |
| T9 | 313636 | 6968163 | 115 |
| T10 | 314727 | 6968358 | 108 |
| T11 | 314473 | 6967178 | 117 |
| T12 | 315796 | 6967631 | 110 |
| T13 | 314872 | 6966291 | 115 |
| T14 | 310292 | 6964515 | 120 |
| T15 | 311313 | 6963906 | 123 |
| T16 | 312465 | 6963766 | 120 |
| T17 | 313600 | 6964019 | 108 |
| T18 | 310051 | 6963443 | 120 |
| T19 | 311238 | 6962770 | 123 |
| T20 | 312412 | 6962693 | 122 |
| T21 | 313411 | 6962482 | 117 |
| T22 | 313709 | 6961557 | 118 |
| T23 | 314684 | 6960970 | 119 |
| T24 | 309962 | 6962341 | 120 |
| T25 | 310309 | 6961436 | 121 |
| T26 | 311408 | 6961583 | 122 |
| P1 | 302055 | 6963556 | 98 |
| P2 | 302771 | 6962805 | 102 |
| P3 | 304298 | 6963207 | 103 |
| P4 | 303404 | 6963898 | 98 |
| P5 | 305523 | 6962751 | 111 |
| P6 | 305519 | 6963903 | 106 |
| P7 | 304748 | 6964541 | 102 |
| P8 | 307178 | 6964738 | 112 |
| P9 | 307551 | 6963866 | 112 |
| P10 | 309258 | 6964394 | 117 |
| P11 | 309242 | 6965560 | 119 |
| P12 | 308140 | 6965765 | 116 |
| P13 | 304014 | 6965752 | 96 |
| P14 | 303437 | 6966428 | 93 |
| P15 | 302695 | 6964622 | 94 |
| P16 | 302579 | 6961453 | 106 |

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 iltajat). 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 välkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

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

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 38 km.

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

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

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [3]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

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

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

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

Väkelaskennassa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 250 m roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätö (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuille tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntaakohtaisesti 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 | 0,186 | 0,197 | 0,156 | 0,118 | 0,127 | 0,151 |

Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

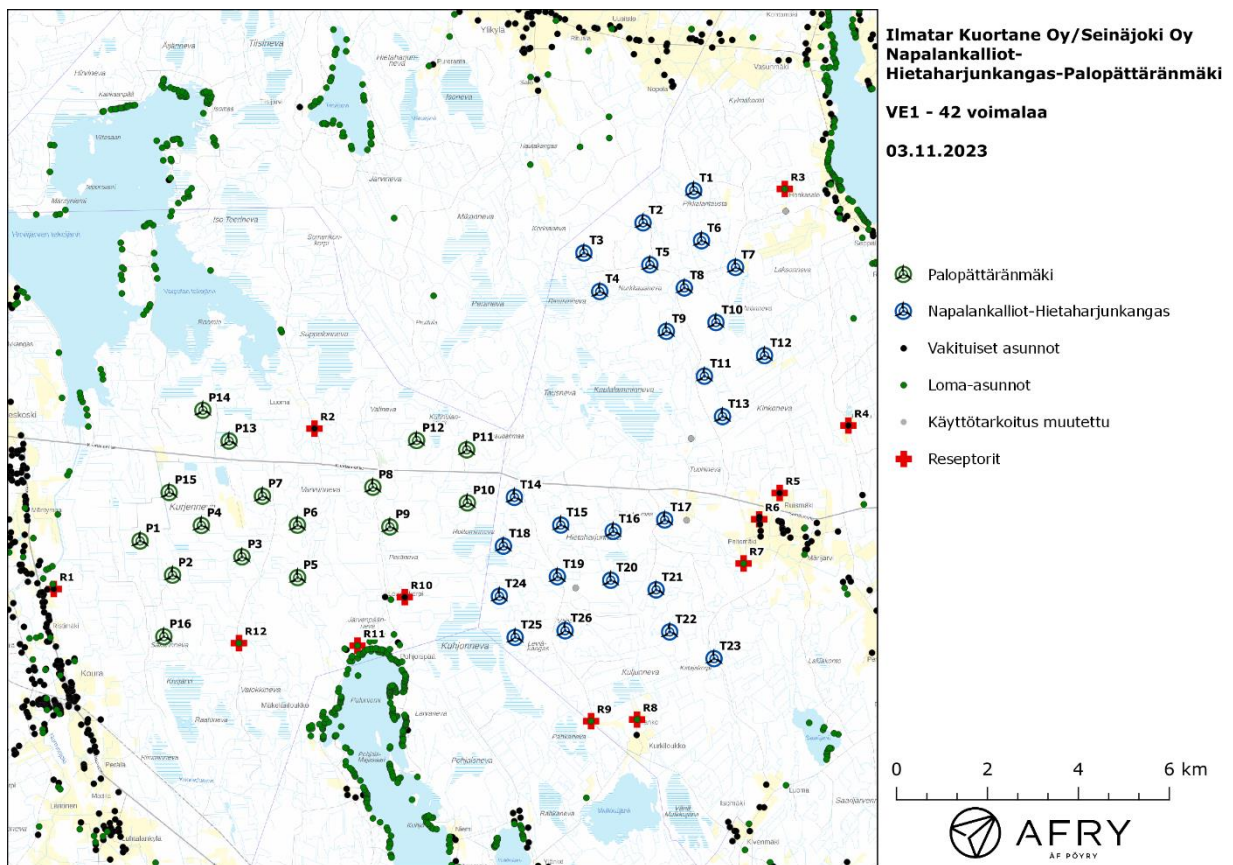
| Kuukausi | Auringonpaisteen todennäköisyys |
|-----------|---------------------------------|
| Tammikuu | 0,162 |
| Helmikuu | 0,291 |
| Maaliskuu | 0,398 |
| Huhtikuu | 0,423 |
| Toukokuu | 0,479 |
| Kesäkuu | 0,459 |
| Heinäkuu | 0,454 |
| Elokuu | 0,414 |
| Syyskuu | 0,358 |
| Lokakuu | 0,260 |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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptoripisteet sijaitsevat noin 1,5–2,5 km etäisyydellä toteutusvaihtoehdon VE1 voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan on merkitty voimalan T19 kaakkoispuolelle noin 450 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T13 lounaispuolelle noin 850 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T7 koillispuolelle noin 1,6 km etäisyydelle lomarakennus sekä voimalan T17 itäpuolelle noin 480 metrin etäisyydelle lomarakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan edellä mainittujen neljän lomarakennuksen käyttötarkoitus on muutettu, minkä vuoksi niitä ei huomioida tämän raportin välketarkasteluissa.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

| Reseptori | E | N | Maaston korkeus [m] | Rakennusluokitus |
|-----------|--------|---------|---------------------|--------------------------|
| R1 | 300159 | 6962498 | 95 | vakituinen asuinrakennus |
| R2 | 305894 | 6966024 | 97 | vakituinen asuinrakennus |
| R3 | 316243 | 6971288 | 97 | lomarakennus |
| R4 | 317644 | 6966090 | 114 | vakituinen asuinrakennus |
| R5 | 316130 | 6964607 | 109 | vakituinen asuinrakennus |
| R6 | 315679 | 6964030 | 107 | vakituinen asuinrakennus |
| R7 | 315336 | 6963059 | 100 | lomarakennus |
| R8 | 312993 | 6959628 | 112 | lomarakennus |
| R9 | 311981 | 6959593 | 116 | lomarakennus |
| R10 | 307883 | 6962318 | 112 | vakituinen asuinrakennus |
| R11 | 306842 | 6961252 | 108 | lomarakennus |
| R12 | 304233 | 6961307 | 111 | lomarakennus |



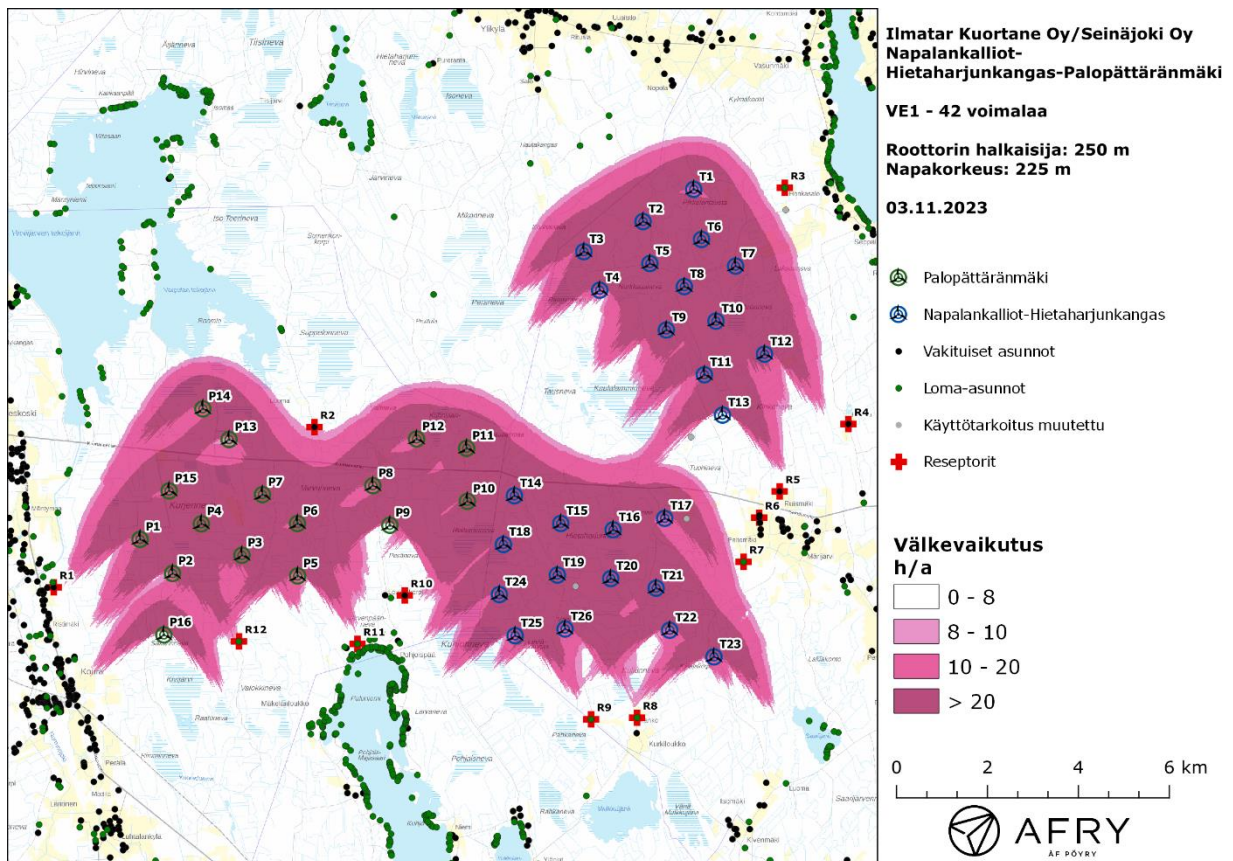
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimaston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

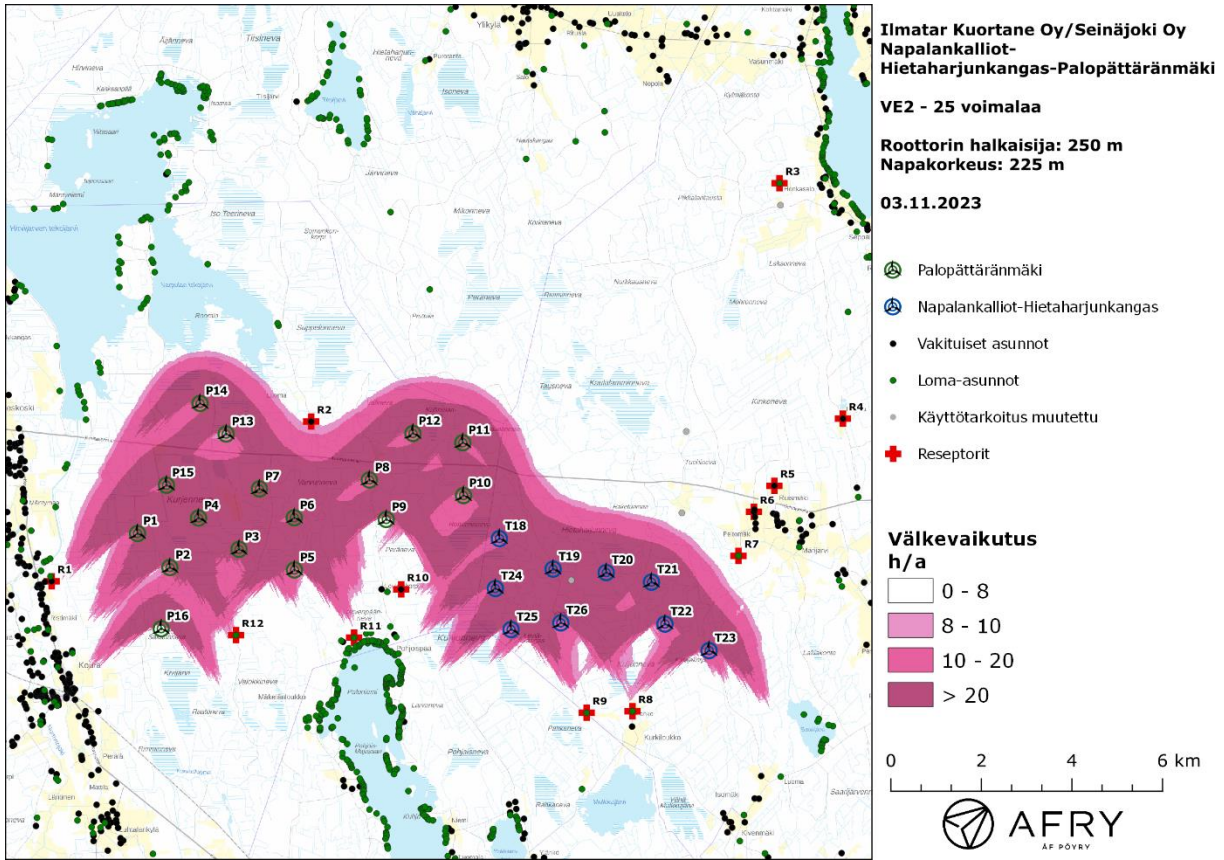
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 4-Kuva 5). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja. Karttaan on lisäksi merkitty lomarakennukset, joiden käyttötarkoitus on asiakkaalta tulleen tiedon mukaan muutettu.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla. Myös todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke aika jää alle 30 minuutin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Suurimmat vuotuiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoripisteisiin R2 ja R12 molemmilla toteutusvaihtoehdoilla. Välkkeen tarkempi ajoittuminen edellä mainittujen reseptorien kohdilla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6-Taulukko 7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta toteutusvaihtoehdolla VE1.



Kuva 5: Tuulivoimaloiden aiheuttama välketuntien määrä ilman puuston vaikutusta toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 5: Vuotuinen todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina sekä todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke aika reseptoreiden kohdilla toteutusvaihtoehdoilla VE1 ja VE2.

| Reseptori | VE1 Todennäköinen vuotuinen välke [h:min] | VE1 Todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke [min] | VE2 Todennäköinen vuotuinen välke [h:min] | VE2 Todennäköinen päiväkohtainen maksimivälke [min] |
|-----------|--|---|--|---|
| R1 | 4:08 | 5 | 4:08 | 5 |
| R2 | 7:31 | 7 | 7:31 | 7 |
| R3 | 3:10 | 5 | 0:00 | 0 |
| R4 | 1:19 | 4 | 0:00 | 0 |
| R5 | 1:07 | 3 | 0:00 | 0 |
| R6 | 1:04 | 4 | 0:00 | 0 |
| R7 | 5:07 | 7 | 3:02 | 5 |
| R8 | 2:49 | 9 | 2:49 | 9 |
| R9 | 2:23 | 4 | 2:23 | 4 |
| R10 | 3:45 | 5 | 3:45 | 5 |
| R11 | 3:37 | 8 | 3:37 | 8 |
| R12 | 7:04 | 7 | 7:04 | 7 |

Taulukko 6: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina reseptorin R2 kohdalla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla.

| 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 | 0:38 | 0:10 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:48 |
| Helmikuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:45 | 0:00 | 0:00 | 0:46 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:31 |
| Maaliskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:17 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:50 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:08 |
| Huhtikuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:26 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:17 | 0:00 | 0:00 | 0:43 |
| Toukokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Kesäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Heinäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Elokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Syyskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:22 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:45 | 0:14 | 0:00 | 0:00 | 1:22 |
| Lokakuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:50 | 0:00 | 0:00 | 0:08 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:58 |
| Marraskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:01 | 0:00 | 0:23 | 0:29 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:52 |
| Joulukuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:09 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:09 |
| Yhteensä | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:48 | 1:53 | 0:00 | 1:10 | 1:33 | 1:36 | 0:31 | 0:00 | 0:00 | 7:31 |

Taulukko 7: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina reseptorin R12 kohdalla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla.

| 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 | 0:14 | 0:00 | 0:00 | 0:14 |
| Huhtikuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:06 | 1:06 | 0:00 | 0:00 | 1:12 |
| Toukokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:54 | 0:00 | 0:54 |
| Kesäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:43 | 0:00 | 1:43 |
| Heinäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:48 | 0:00 | 1:48 |
| Elokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:01 | 0:05 | 0:00 | 0:00 | 0:05 |
| Syyskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:20 | 0:48 | 0:00 | 0:00 | 1:08 |
| 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 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:27 | 2:12 | 4:25 | 0:00 | 7:04 |

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella Saksan 30 tunnin raja-arvo vuotuiselle teoreettiselle välkevaikutukselle ylittyy reseptoripisteessä R2 toteutusvaihtoehdoilla VE1 ja VE2. Saksan 30 minuutin raja-arvo teoreettiselle päiväkohtaiselle maksimivälkkeelle ei ylitä kummallakaan toteutusvaihtoehdolla.

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen. Teoreettisen välkkeen ajoittumistaulukosta (Taulukko 9) reseptorin R2 kohdalla nähdään, että iso osa teoreettisesta välkkeestä ajoittuu loka-helmikuulle, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on Suomessa alhainen.

Taulukko 8: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke aika reseptoreiden kohdilla toteutusvaihtoehdoilla VE1 ja VE2.

| Reseptori | VE1 Teoreettinen vuotuinen välke [h:min] | VE1 Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min] | VE2 Teoreettinen vuotuinen välke [h:min] | VE2 Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke [min] |
|-----------|--|---|--|---|
| R1 | 15:55 | 19 | 15:55 | 19 |
| R2 | 48:41 | 28 | 48:41 | 28 |
| R3 | 20:53 | 22 | 0:00 | 0 |
| R4 | 5:01 | 14 | 0:00 | 0 |
| R5 | 4:54 | 13 | 0:00 | 0 |
| R6 | 5:15 | 19 | 0:00 | 0 |
| R7 | 29:58 | 25 | 21:06 | 21 |
| R8 | 10:21 | 31 | 10:21 | 31 |
| R9 | 8:50 | 15 | 8:50 | 15 |
| R10 | 15:47 | 19 | 15:47 | 19 |
| R11 | 13:36 | 29 | 13:36 | 29 |
| R12 | 28:41 | 30 | 28:41 | 30 |

Taulukko 9: Teoreettisen vuotuisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R2 kohdalla toteutusvaihtoehdoille VE1 ja VE2.

| 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 | 5:57 | 1:42 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 7:39 |
| Helmikuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 4:26 | 0:00 | 0:00 | 4:06 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 8:32 |
| Maaliskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:01 | 1:17 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 3:43 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 5:01 |
| Huhtikuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:52 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:11 | 0:00 | 0:00 | 3:03 |
| Toukokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Kesäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Heinäkuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Elokuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| Syyskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 1:53 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 3:43 | 1:11 | 0:00 | 0:00 | 6:47 |
| Lokakuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 5:35 | 0:00 | 0:00 | 0:50 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 6:25 |
| Marraskuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:08 | 0:00 | 3:58 | 4:58 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 9:04 |
| Joulukuu | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 2:10 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 2:10 |
| Yhteensä | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 3:45 | 11:27 | 0:00 | 12:05 | 11:36 | 7:26 | 2:22 | 0:00 | 0:00 | 48:41 |

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kuortaneen kunnan ja Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty kahdelle toteutusvaihtoehdolle VE1 (42 voimalaa) ja VE2 (25 voimalaa). Voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja roottorin halkaisijaa 250 m.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla. Tämän lisäksi välkevaikutus alittaa 30 minuutin päiväkohtaisen välkeajan ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla molemmilla toteutusvaihtoehdoilla.

Saksan 30 tunnin raja-arvo vuotuiselle teoreettiselle maksimivälkkeelle ylittyy yhdessä asuinrakennuksessa molemmissa toteutusvaihtoehdoissa. Saksan 30 minuutin raja-arvo päiväkohtaiselle teoreettiselle maksimivälkkeelle ei ylity kummallakaan toteutusvaihtoehdolla.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

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

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

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

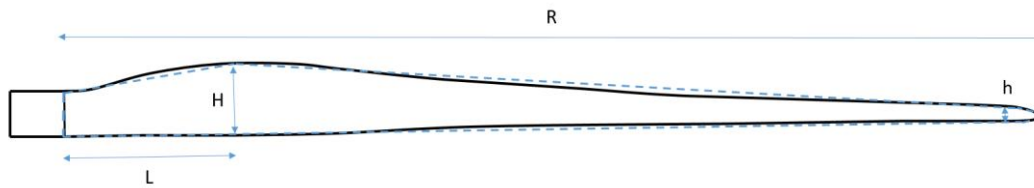
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään,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

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

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

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

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 6) on esitetty malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on H etäisyydellä L lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on R ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on h . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta H arvoon h liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomiotava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.