



Tuulialfa Oy

Tynnyrikorven tuulivoima-alueen osayleiskaava

Tuulivoimapuiston välkeselvitys kaavaluonnosta varten

26.8.2026

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101034934-001.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Tuulialfa Oy

Sonja Oksman

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Mika Laitinen

mika.laitinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101034934-001

Raporttiversio: 003

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	02.03.2026/ Mika Laitinen Senior Consultant	02.03.2026/ Erkki Heikkola Senior Consultant	Alkuperäinen
002	22.5.2026/ Mika Laitinen Senior Consultant	22.5.2026/ Erkki Heikkola Senior Consultant	Muutoksia Mustasuon voimaloiden määrässä ja koordinaateissa. Selvitys tehty Mustasuon kaavoitusta varten.
003	26.8.2026/ Mika Laitinen Senior Consultant	26.8.2026/ Erkki Heikkola Senior Consultant	Muutoksia Tynnyrikorven voimaloiden määrässä ja koordinaateissa. Tynnyrikorven ja Mustasuo-Tynnyrikorven välkkeet mallinnettu erikseen. Selvitys tehty Tynnyrikorven kaavoitusta varten.

SISÄLLYS

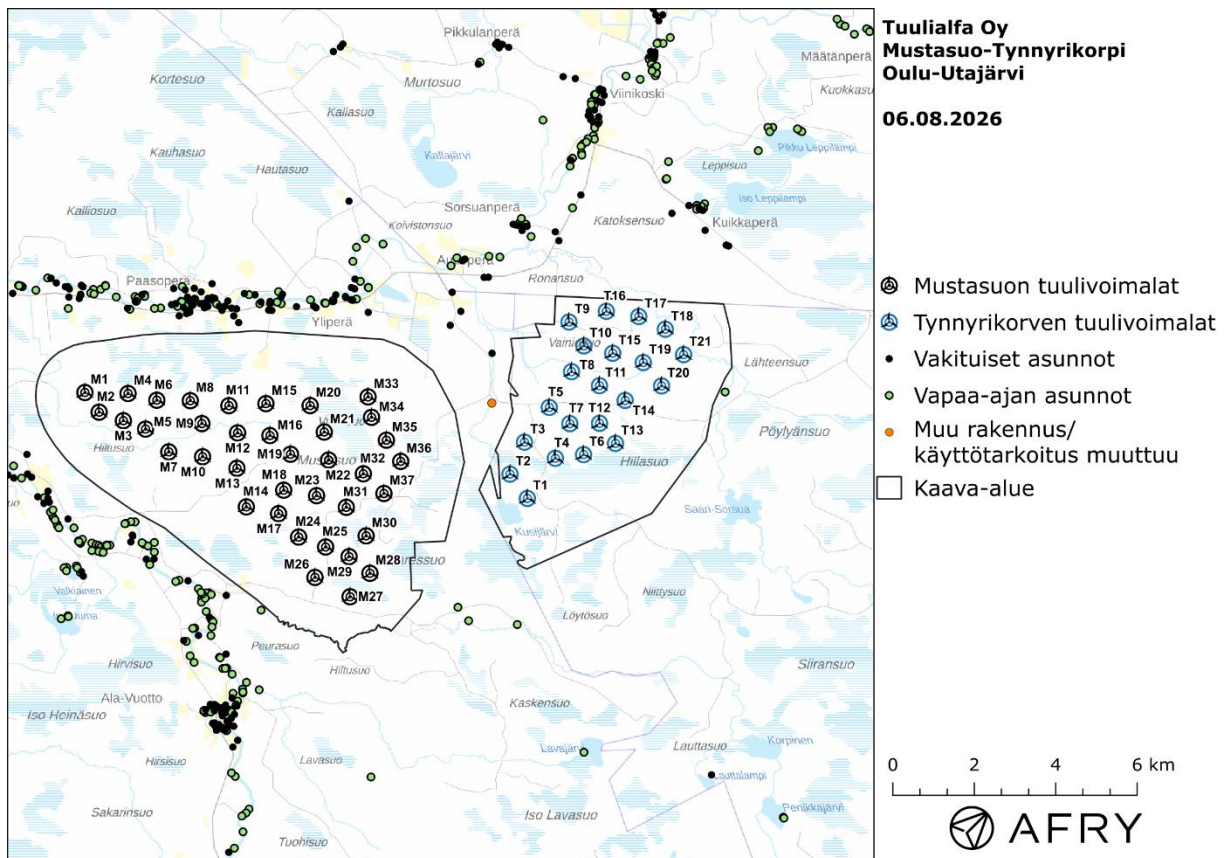
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	8
2.1	Välkevaikutus.....	8
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	8
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	8
2.4	Ohjeavot	9
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	10
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	10
3.2	Välkevaikutus.....	13
3.3	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	17
4	YHTEENVETO.....	18
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	19
6	VIITTEET	21

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Oulun kaupungin ja Utajärven kunnan alueelle suunnitellun Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Välkevaikutusten arviointi tehdään Tynnyrikorven kaavaluonnosta varten Tynnyrikorven 21 tuulivoimalan suunnitelmalle ja lisäksi Mustasuon 15.6.2026 päivätyn kaavaluonnoksen mukaisten voimalapaikkojen (37 voimalaa) välkkeen yhteisvaikutuksille. Tuulivoimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 100 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan myös Mustasuo-Tynnyrikorven sekä läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Oulussa Mustasuon ja Utajärvellä Tynnyrikorven osayleiskaavaluonnoksissa.

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (37 Mustasuon voimalaa ja 21 Tynnyrikorven voimalaa) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla. Voimalat M1–M37 ovat Oulun puolella (Mustasuo) ja voimalat T1–T21 Utajärven puolella (Tynnyrikorpi).

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	471991	7216915	89
M2	472341	7216432	86
M3	472936	7216223	85
M4	473051	7216890	92
M5	473481	7216017	89
M6	473757	7216726	91
M7	474051	7215458	90
M8	474579	7216714	90
M9	474864	7216152	89
M10	474881	7215338	91
M11	475527	7216592	92
M12	475740	7215924	92
M13	475724	7215056	101
M14	475954	7214108	96
M15	476436	7216641	95
M16	476534	7215858	95
M17	476746	7213942	98
M18	476872	7214518	100
M19	477039	7215400	98
M20	477521	7216594	99
M21	477868	7215945	100
M22	477974	7215258	102
M23	477679	7214384	103
M24	477239	7213368	100
M25	477901	7213124	109
M26	477640	7212378	97
M27	478501	7211903	98
M28	478989	7212479	101
M29	478477	7212887	106
M30	478896	7213397	112
M31	478409	7214098	111
M32	478827	7214920	102
M33	478944	7216807	108
M34	479029	7216306	102
M35	479393	7215745	105
M36	479745	7215225	110
M37	479333	7214437	112
T1	482854	7214316	111
T2	482428	7214912	110
T3	482783	7215696	110
T4	483541	7215300	113
T5	483392	7216549	107
T6	484234	7215391	116

T7	483897	7216150	111
T8	483939	7217426	102
T9	483876	7218643	103
T10	484241	7218057	99
T11	484624	7217082	105
T12	484626	7216159	115
T13	485017	7215665	117
T14	485255	7216720	110
T15	484950	7217878	100
T16	484792	7218907	104
T17	485590	7218779	99
T18	486241	7218467	99
T19	485700	7217650	103
T20	486149	7217076	107
T21	486690	7217844	105

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 väkelaskenta 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 Oulun sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 60 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 [4]. 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 vuotuisen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

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 tuulivoimaloiden 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, tuulivoimalan 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.

Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan 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 tuulivoimalan aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan 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 tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa Mustasuon ja Tynnyrikorven voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 200 metrin roottorin halkaisijaa. Profiilia on samalla levennetty 7 % siten, että lavan levein kohta on 4,6 m. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat tuulivoimaloiden käyttöaste, puusto ja paikallinen säätila (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa tuulivoimalan orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri tuulivoimalan 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 tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa

tuulissa tuulivoimalat ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun lentoaseman sääasemalta [3] mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukoon (Taulukko 3-2). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3-1: 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	0,170	0,169	0,175	0,158	0,121	0,130

Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.

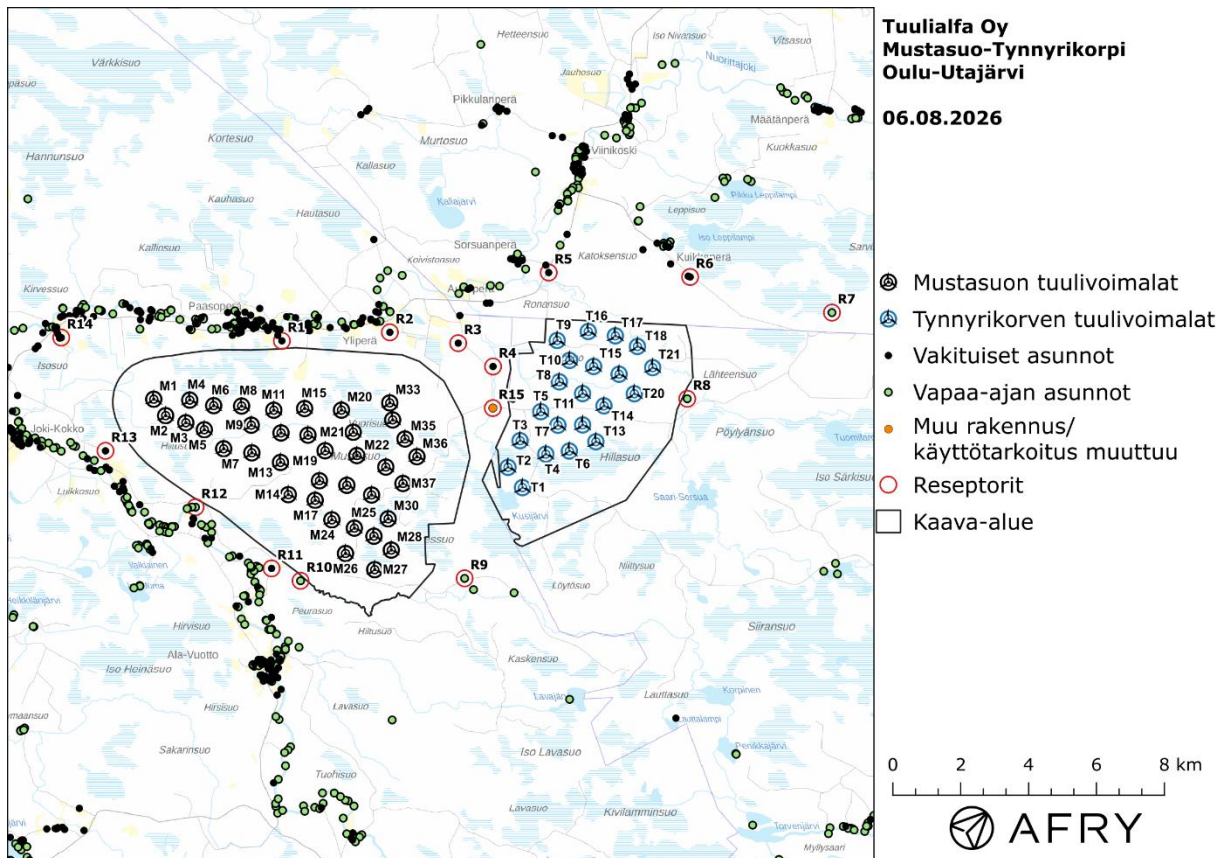
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,2–5,5 km etäisyydellä lähimmistä Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloista.

Kartoissa näkyvät vakituiset ja vapaa-ajan asuinrakennukset on ladattu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta syyskuussa 2025. Reseptorin R15 kohdalla on vapaa-ajan kiinteistö, jonka käyttötarkoituksen muutoksesta hankekehittäjä neuvottelee, mutta jota käsitellään tässä selvityksessä vielä asuntona. Tämä rakennus on merkitty karttoihin tunnistella ”Muu rakennus/käyttötarkoitus muuttuu”.

Taulukko 3-3: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	475769	7218626	95	vakituinen asunto
R2	478950	7218877	97	vakituinen asunto
R3	480963	7218558	100	vakituinen asunto
R4	481990	7217872	100	vakituinen asunto
R5	483630	7220635	99	vakituinen asunto
R6	487796	7220505	113	vakituinen asunto
R7	491974	7219457	131	vapaa-ajan asunto
R8	487711	7216923	111	vapaa-ajan asunto
R9	481152	7211642	104	vapaa-ajan asunto
R10	476319	7211570	87	vapaa-ajan asunto
R11	475465	7211934	84	vakituinen asunto
R12	473225	7213735	82	vapaa-ajan asunto
R13	470572	7215392	86	vakituinen asunto
R14	469268	7218723	88	vakituinen asunto
R15	481984	7216650	105	vapaa-ajan kiinteistö, käyttö- tarkoituksen muutoksesta neuvotellaan



Kuva 3-1: Reseptorien paikat Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston ympäristössä.

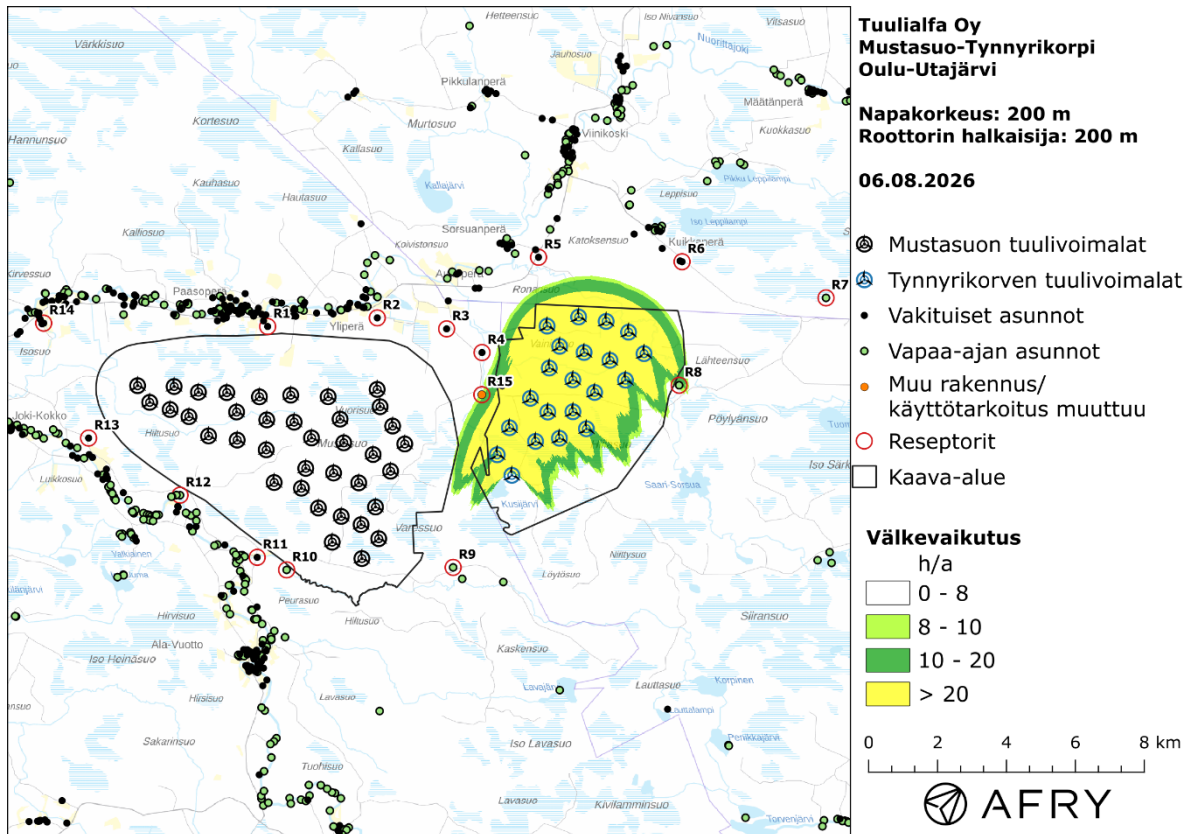
3.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 3-2 ja Kuva 3-3). 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. Taulukoissa (Taulukko 3-4 ja Taulukko 3-5) on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdalla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana.

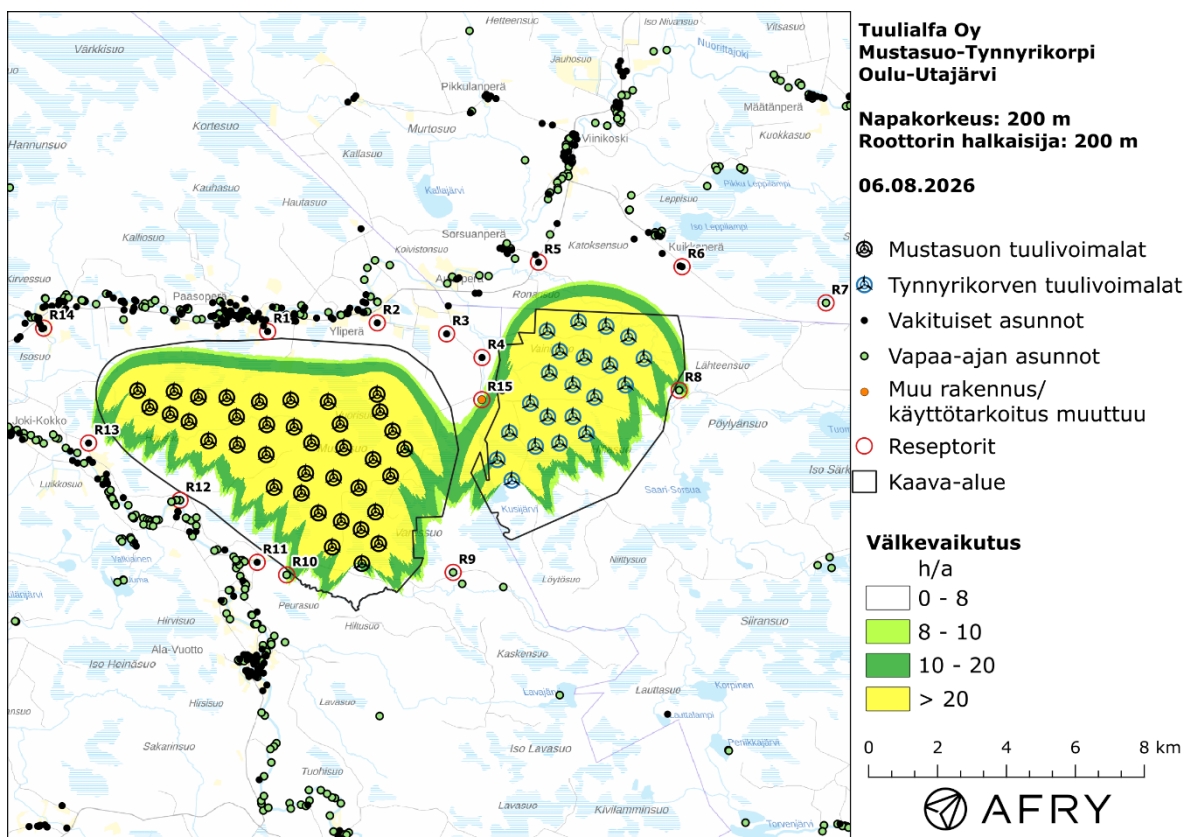
Mallinnusten mukaan Tynnyrikorven voimaloiden todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden vapaa-ajan asunnon kohdalla (reseptorit R8 ja R15). Toisen asunnon kohdalla (reseptori R8) myös Tanskan 10 tunnin ohjearvo ylittyy hieman. Kaikkien muiden asuntojen kohdalla todennäköinen vuotuinen välkevaikutus alittaa Ruotsin 8 tunnin ohjearvon. Todennäköinen päiväkohtainen välkeaika jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuinrakennusten kohdalla. Mallinnusten mukaan myös teoreettinen maksimivälke ylittää Saksan raja-arvot reseptorien R8 ja R15 kohdalla. Muiden asuntojen kohdalla teoreettinen maksimivälke ei ylitä raja-arvoja.

Kun mallinnuksissa huomioidaan Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloiden välkkeen yhteisvaikutus, todennäköinen vuotuinen välkeaika ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kolmen asunnon kohdalla (reseptorit R8, R10 ja R15). Reseptorin R10 kohdalla välkevaikutus aiheutuu pelkästään Mustasuon voimaloista ja reseptorien R8 ja R15 kohdalla pelkästään Tynnyrikorven voimaloista. Hankekehittäjä käy neuvotteluja reseptorin R15 kohdalla olevasta vapaa-ajan asunnosta ja jos asunnon käyttötarkoitus voidaan muuttaa muuksi rakennukseksi, niin välkevaikutuksen ohjearvoja ei sovelleta tähän kiinteistöön. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorien R8 ja R15 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 3-6 ja Taulukko 3-7).

Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvoihin 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 laskennallisesti suuren ja kauas ulottuvan teoreettisen maksimivälkkeen. Reseptorin R15 kohdalla teoreettinen maksimivälke ajoittuu pääosin lokakuun ja helmikuun väliseen aikaan, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen. Tämän vuoksi teoreettinen maksimivälke yliarvioi välkevaikutusta reseptorin R15 kohdalla. Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R15 kohdalla on lisätty taulukossa (Taulukko 3-8).



Kuva 3-2: Tynnyrikorven voimaloiden todennäköinen vuotuinen välkevaikutus.



Kuva 3-3: Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloiden todennäköinen vuotuinen välkevaikutus.

Taulukko 3-4: Tynnyrikorven tuulivoimaloiden välkemäärät [h:min] reseptoripisteittäin. Taulukossa on esitetty vuotuinen väketuntien määrä (h/a) ja suurin päiväkohtainen arvo (h/d) sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna. Ruotsin ja Saksan raja-arvojen ylitykset on taulukossa merkitty punaisella värillä.

Reseptori	Todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	0:00	0:00	0:00	0:00
R2	0:00	0:00	0:00	0:00
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:24	0:05	18:09	0:18
R5	1:08	0:02	10:36	0:17
R6	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	0:00	0:00	0:00	0:00
R8	11:12	0:13	44:37	0:47
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
R13	0:00	0:00	0:00	0:00
R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	8:49	0:08	52:33	0:51

Taulukko 3-5: Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimaloiden välkemäärät [h:min] reseptoripisteittäin. Ruotsin ja Saksan raja-arvojen ylitykset on taulukossa merkitty punaisella värillä.

Reseptori	Todennäköinen välke		Teoreettinen maksimi	
	h/a	h/d	h/a	h/d
R1	1:28	0:03	14:18	0:28
R2	0:23	0:01	0:11	0:01
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	3:24	0:05	18:09	0:18
R5	1:08	0:02	10:36	0:17
R6	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	0:00	0:00	0:00	0:00
R8	11:12	0:13	44:37	0:47
R9	0:35	0:03	2:21	0:12
R10	8:14	0:09	29:36	0:30
R11	1:55	0:04	6:53	0:13
R12	1:43	0:04	6:00	0:14
R13	4:06	0:06	14:39	0:23
R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	8:49	0:08	52:33	0:51

Taulukko 3-6: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R8 kohdalla. Välkevaikutus aiheutuu pelkästään Tynnyrikorven voimaloista. 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	0:09	0:00	0:00	0:00	0:09
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:39	0:00	0:00	1:39
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:51	0:00	0:51
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:59	0:00	3:59
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:58	0:00	2:58
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:09	0:00	0:00	1:09
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:17	0:00	0:00	0:26
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	0:17	3:06	7:49	0:00	11:12

Taulukko 3-7: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R15 kohdalla. Välkevaikutus aiheutuu pelkästään Tynnyrikorven voimaloista. Kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

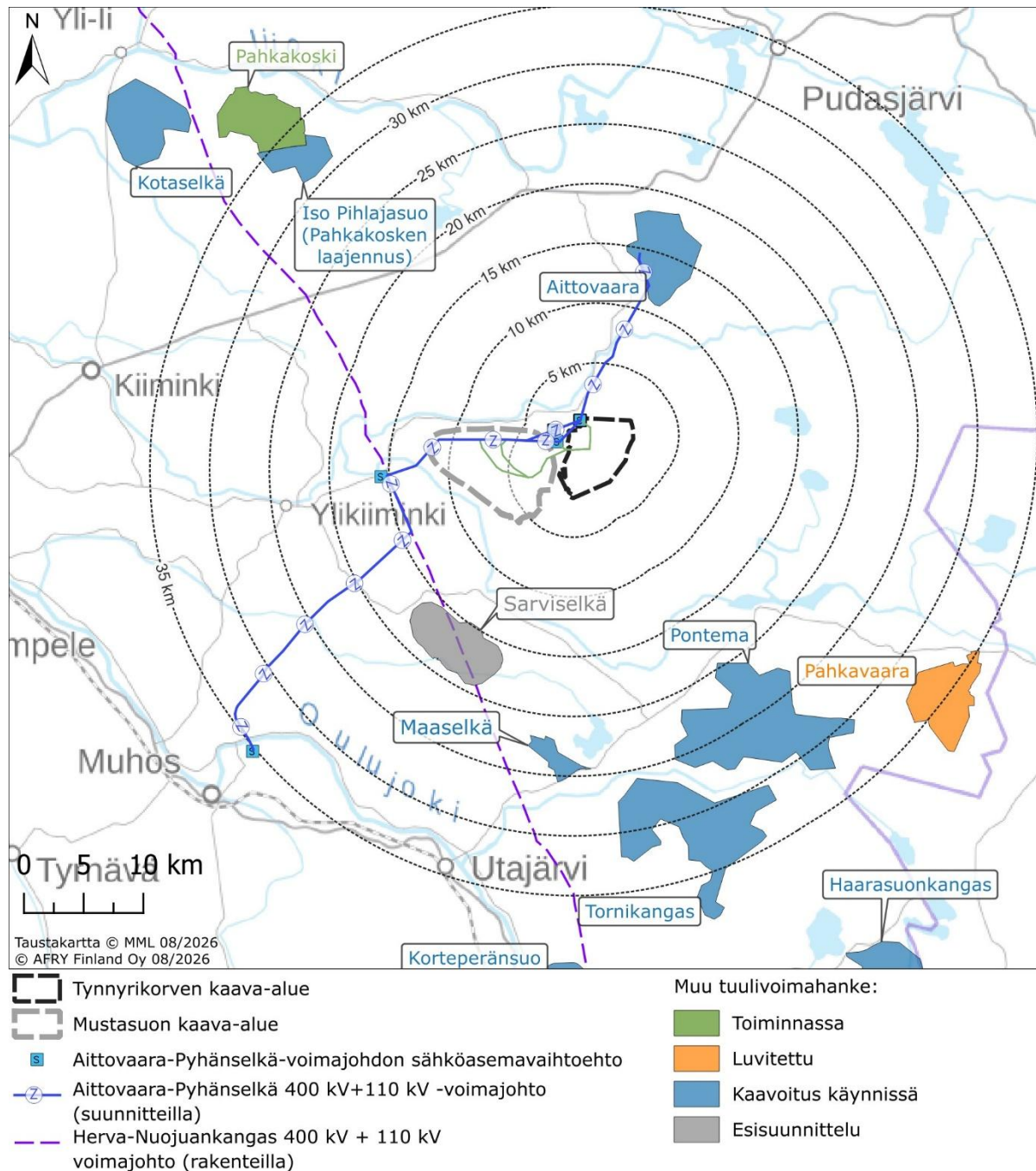
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:20
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:25	0:23	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:48
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:41	0:25	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:06
Huhtikuu	0:00	0:00	0:28	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:39
Toukokuu	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02
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	0:28	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:30
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	1:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:29
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29
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	0:59	3:23	3:16	1:12	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	8:49

Taulukko 3-8: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R15 kohdalla. Välkevaikutus aiheutuu pelkästään Tynnyrikorven voimaloista. 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	3:42	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:42
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	8:13	2:47	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	3:14	1:56	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:13
Huhtikuu	0:00	0:00	1:42	4:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:12
Toukokuu	0:00	0:00	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09
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	1:51	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:01
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	7:35	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:35
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	11:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	11:10
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	5:32
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	3:41	15:29	21:18	12:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	52:33

3.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Suomen ja Ruotsin mallinnusohjeiden [4][2] mukaan välkevaikutus ulottuu enintään 3 km etäisyydelle voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutuksia voi siis esiintyä, kun eri puistojen voimaloiden etäisyys on alle 6 km. Mustasuo-Tynnyrikorven läheisyyteen rakennetut tai suunnitellut tuulivoimapaistot on esitetty karttakuvassa (Kuva 3-4). Kartasta nähdään, että muut lähialueen tuulivoimahankkeet ovat yli 6 km etäisyydellä Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloista. Tällä perusteella Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapaistolla ja lähelle rakennetuilla tai suunnitelluilla tuulivoimapaistoilla ei ole välkkeen yhteisvaikutuksia.



Kuva 3-4: Tynnyrikorven lähelle rakennetut tai suunnitellut tuulivoimapaistot. Karttaan on piirretty myös etäisyysvyöhykkeet Tynnyrikorven kaava-alueesta.

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Oulun kaupungin ja Utajärven kunnan alueille suunnitellun Mustasuo-Tynnyrikorven tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on Tynnyrikorven kaavaluonnosta varten Tynnyrikorven 21 voimalan suunnitelmalle ja Mustasuon 37 voimalan suunnitelmalle. Välke on mallinnettu ensin pelkästään Tynnyrikorven voimaloille ja sitten Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloiden välkkeen yhteisvaikutukselle. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Mustasuo-Tynnyrikorven ja läheisten tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin.

Tynnyrikorven voimaloiden mallinnettu todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kahden vapaa-ajan asunnon kohdalla (reseptorit R8 ja R15). Toisen asunnon kohdalla myös Tanskan 10 tunnin ohjearvo ylittyy hieman. Hankekehittäjä käy neuvotteluja reseptorin R15 kohdalla olevasta kiinteistöstä. Kun tarkastellaan Mustasuo-Tynnyrikorven välkkeen yhteisvaikutusta, Ruotsin 8 tunnin ohjearvo todennäköiselle vuotuiselle välkkeelle ylittyy vielä kolmannen asunnon kohdalla (reseptori R10), mutta ylitys on hyvin vähäinen. Kaikkien muiden asuntojen kohdilla todennäköiset välkeajat alittavat Ruotsin ja Tanskan ohjearvot.

Reseptoreiden R8 ja R15 kohdilla ylittyy myös Saksan 30 tunnin raja-arvo vuotuiselle teoreettiselle maksimivälkkeelle ja 30 minuutin raja-arvo teoreettiselle päiväkohtaiselle maksimivälkkeelle. Reseptorin R15 kohdalla olevan asunnon kohdalla teoreettinen maksimivälke ajoittuu kuitenkin pääosin syksyyn ja talveen, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen. Mustasuon voimaloista ei aiheudu teoreettinen maksimivälkkeen raja-arvojen ylityksiä.

Mustasuo-Tynnyrikorven voimaloista ja se läheisyyteen suunnitelluista tuulivoimapuistoista ei aiheudu välkkeen yhteisvaikutuksia.

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 tuulivoimalan aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktiota tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden 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.

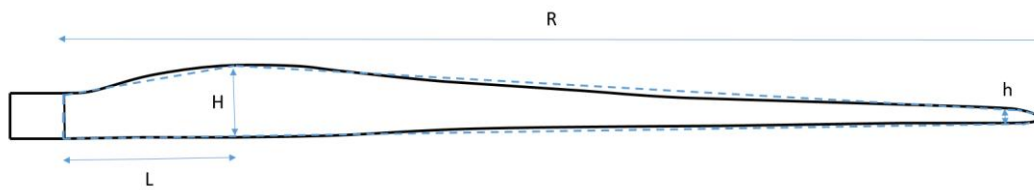
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen tuulivoimalan 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 tuulivoimalan lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä tuulivoimalan 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 5-1) 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 tuulivoimalan keskimääräinen leveys on määritetty parametrien H ja h keskiarvona.



Kuva 5-1: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin välkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin välkelaskennassa huomioidaan tuulivoimalan 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 kust-nära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.