



Suomen Hyötytuuli Oy

Kokkoneva

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

05.09.2024

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 101020971-005.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Suomen Hyötytuuli Oy

Panu Piirtola

panu.piirtola@hyotytuuli.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Juulianna Lähteinen

juulianna.lahteinen@afry.com

Wind and Solar Finland

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101020971-005

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.01.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	05.09.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	05.09.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	Kokkonevan, Ahvenlammen sekä Honkahuhdan voimala- sijaintien muutokset.

SISÄLLYS

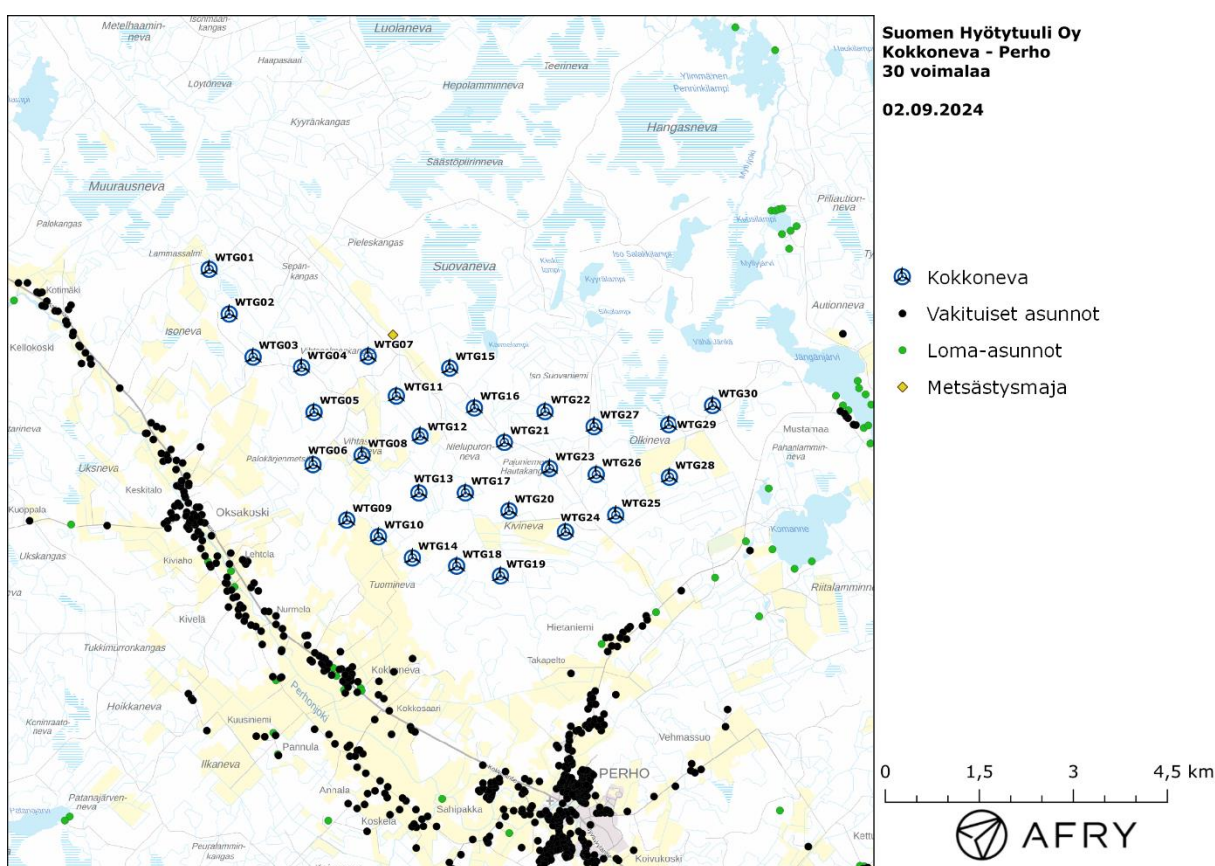
1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	7
2.1	Välkevaikutus.....	7
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	7
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	7
2.4	Ohjeavot	8
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	9
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	9
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	13
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	15
3.4	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	17
4	YHTEENVETO.....	21
5	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	22
6	VIITTEET	24

1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapaiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 30 voimalan suunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyypin V162 valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 86 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,4 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m).

Selvityksessä arvioidaan myös Kokkonevan sekä läheisten Limakon (toinnassa), Ahvenlammen (suunnitteilla) ja Honkahuhdan (suunnitteilla) tuulivoimapaistojen välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.4.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kokkonevan hankealueella.

Taulukko 1-1: Kokkonevan tuulivoimaloiden (30 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	364533	7020625	161
WTG02	364852	7019911	161
WTG03	365234	7019224	160
WTG04	366008	7019060	165
WTG05	366206	7018344	164
WTG06	366191	7017509	165
WTG07	367071	7019237	167
WTG08	366974	7017657	164
WTG09	366729	7016625	160
WTG10	367235	7016360	161
WTG11	367520	7018603	167
WTG12	367900	7017966	168
WTG13	367880	7017058	166
WTG14	367776	7016021	161
WTG15	368373	7019048	168
WTG16	368766	7018413	167
WTG17	368622	7017059	165
WTG18	368482	7015890	166
WTG19	369182	7015734	168
WTG20	369317	7016773	166
WTG21	369244	7017864	168
WTG22	369893	7018355	171
WTG23	369966	7017447	170
WTG24	370219	7016438	168
WTG25	371021	7016705	171
WTG26	370710	7017351	173
WTG27	370676	7018116	173
WTG28	371878	7017309	173
WTG29	371867	7018146	175
WTG30	372567	7018452	177

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 kestoon 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 kaakkoispuolelle (aamu- ja ilta-ajat). 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 kohdittuorassa 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 Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 100 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 tietoa 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 välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä tuulivoimalan lapa ei ole vakioleveyinen: 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 välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Välkelaskennassa Kokkonevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 172 metrin roottorin halkaisijaa. 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 välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisen osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa tuulissa tuulivoimalat 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 tuulivoimalan käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-1).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjotusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (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	0,161	0,182	0,186	0,136	0,129	0,144

Taulukko 3-2: 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

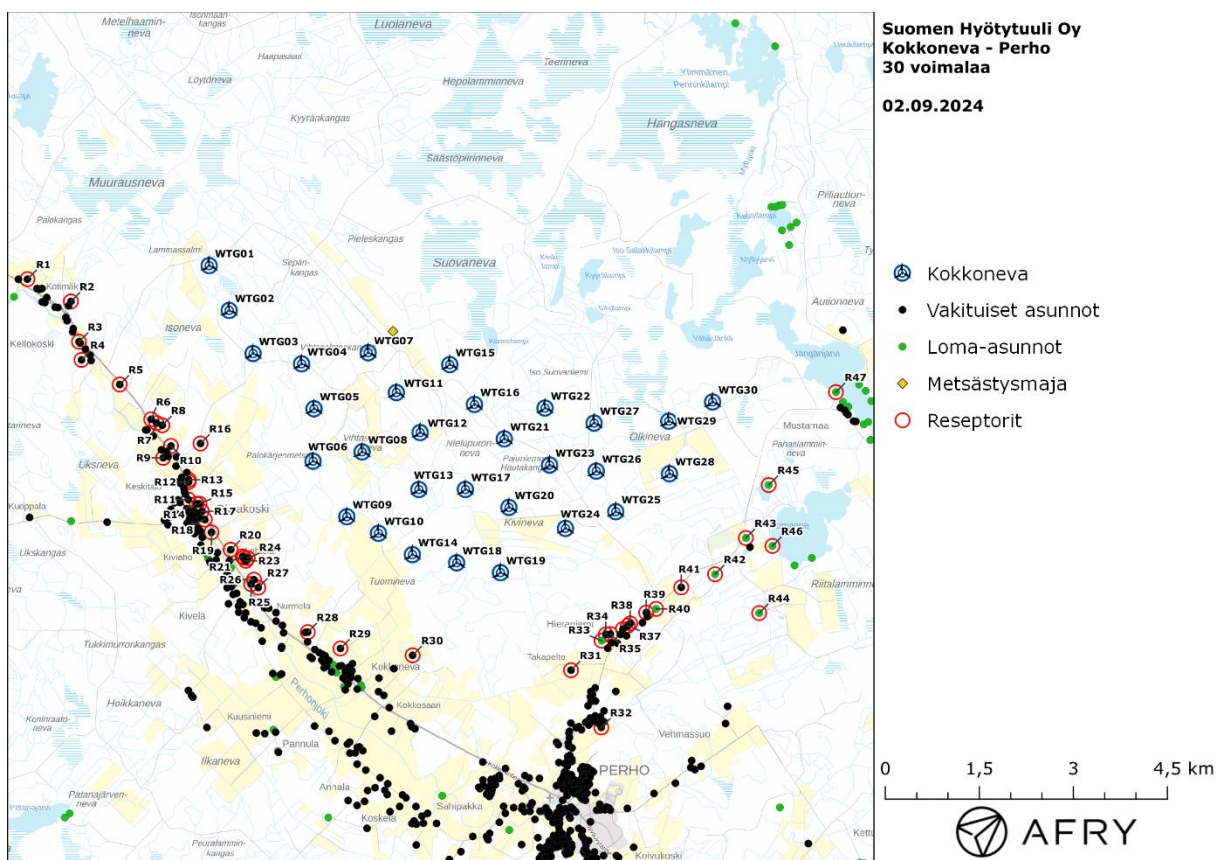
Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 47 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pistet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,6-2,9 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueen sisäpuolella, noin 520 metriä voimalan WTG07 koillispuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu rakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan, kyseinen rakennus on todellisuudessa metsästysmaja, minkä vuoksi sitä ei ole otettu huomioon välkevaikutusten arvioinnissa.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	361635	7020406	151	vakituinen asunto
R2	362329	7020051	155	vakituinen asunto
R3	362458	7019409	154	vakituinen asunto
R4	362498	7019120	154	vakituinen asunto
R5	363108	7018728	157	vakituinen asunto
R6	363610	7018174	155	vakituinen asunto
R7	363696	7018114	155	vakituinen asunto
R8	363787	7018079	154	vakituinen asunto
R9	363801	7017560	154	vakituinen asunto
R10	363925	7017749	156	vakituinen asunto
R11	364204	7016895	157	vakituinen asunto
R12	364207	7017174	156	vakituinen asunto
R13	364209	7017209	157	vakituinen asunto
R14	364334	7016827	157	vakituinen asunto
R15	364380	7016828	157	vakituinen asunto
R16	364396	7017788	155	vakituinen asunto
R17	364418	7016708	156	vakituinen asunto
R18	364465	7016577	157	vakituinen asunto
R19	364571	7016373	155	vakituinen asunto
R20	364879	7016096	156	vakituinen asunto
R21	365068	7015990	157	vakituinen asunto
R22	365090	7015967	156	vakituinen asunto
R23	365120	7015920	156	vakituinen asunto
R24	365150	7015963	158	vakituinen asunto
R25	365204	7015548	156	vakituinen asunto
R26	365250	7015618	157	vakituinen asunto
R27	365319	7015493	159	vakituinen asunto
R28	366108	7014783	157	vakituinen asunto
R29	366629	7014523	158	vakituinen asunto
R30	367781	7014414	158	vakituinen asunto
R31	370309	7014177	161	vakituinen asunto
R32	370792	7013265	160	vakituinen asunto
R33	370798	7014647	166	loma-asunto
R34	370865	7014747	168	vakituinen asunto
R35	370938	7014753	167	vakituinen asunto
R36	371138	7014832	171	vakituinen asunto
R37	371215	7014885	173	vakituinen asunto
R38	371253	7014922	173	vakituinen asunto
R39	371509	7015095	172	vakituinen asunto

R40	371666	7015154	172	loma-asunto
R41	372068	7015496	173	vakituinen asunto
R42	372608	7015705	180	loma-asunto
R43	373099	7016283	178	loma-asunto
R44	373312	7015087	175	loma-asunto
R45	373464	7017127	178	loma-asunto
R46	373523	7016157	175	loma-asunto
R47	374536	7018607	179	loma-asunto



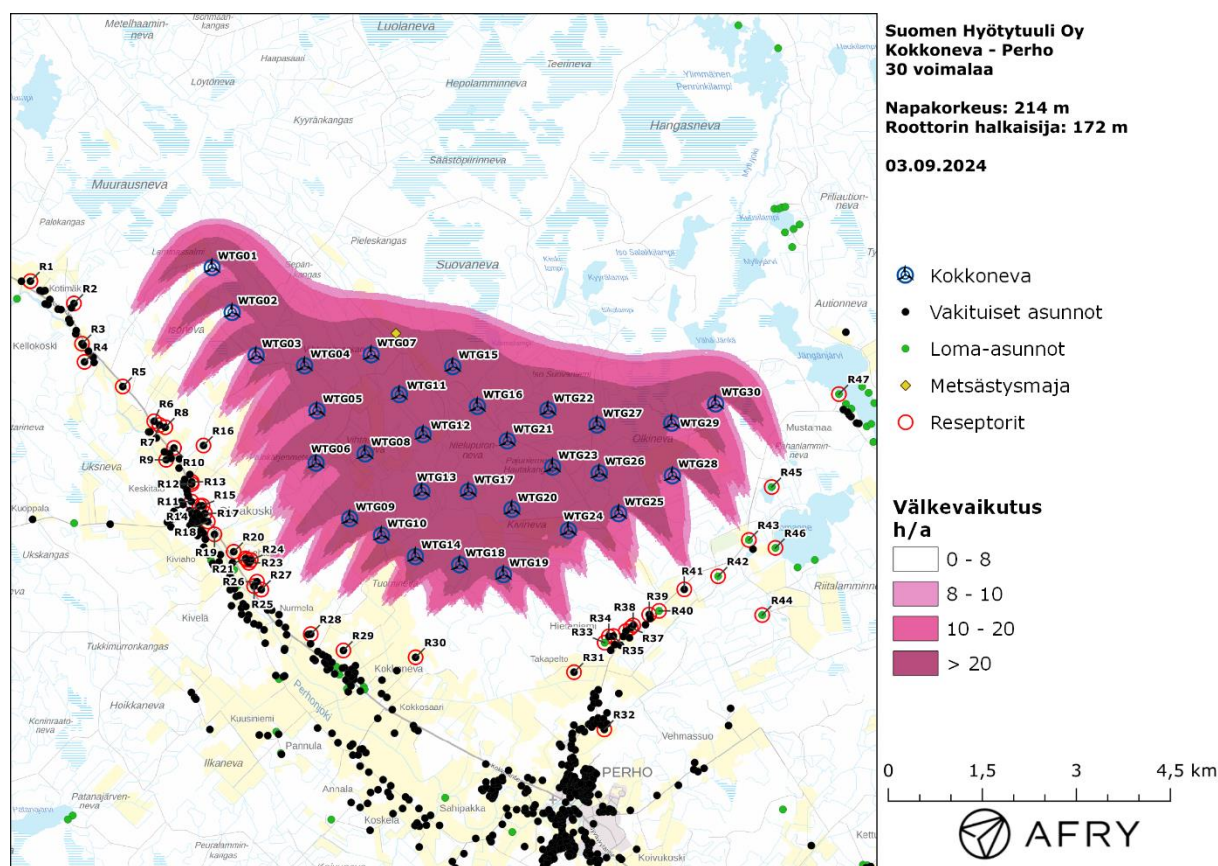
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kokkonevan tuulivoimapaiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttaku- vana (Kuva 3-2). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoi- maloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitse- vat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotieto- kannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkevaikutus jää Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimi- välkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R43 kohdalla on esitetty taulu- kossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-2: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vai- kutusta.

Taulukko 3-4: Todennäköinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Toden. vuotuinen välke aika	Toden. välkkeen päiväkohtainen maksimi	Reseptori	Toden. vuotuinen välke aika	Toden. välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:00	0:00	R25	3:21	0:05
R2	0:22	0:02	R26	3:54	0:06
R3	0:43	0:02	R27	2:05	0:04
R4	0:15	0:02	R28	2:02	0:04
R5	2:03	0:04	R29	1:17	0:03
R6	2:32	0:05	R30	0:00	0:00
R7	2:48	0:06	R31	0:24	0:02
R8	2:03	0:04	R32	0:00	0:00
R9	0:12	0:02	R33	1:04	0:04
R10	1:02	0:02	R34	0:54	0:04
R11	1:17	0:03	R35	0:45	0:03
R12	1:15	0:03	R36	0:28	0:02
R13	1:15	0:03	R37	0:24	0:02
R14	2:14	0:04	R38	0:22	0:02
R15	2:17	0:04	R39	2:37	0:05
R16	3:11	0:04	R40	1:49	0:04
R17	1:32	0:04	R41	1:06	0:03
R18	1:44	0:04	R42	1:20	0:04
R19	2:52	0:04	R43	4:58	0:07
R20	1:11	0:04	R44	0:00	0:00
R21	1:59	0:05	R45	2:36	0:05
R22	2:08	0:05	R46	0:57	0:04
R23	2:22	0:05	R47	0:31	0:03
R24	2:33	0:06			

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R43 kohdalla.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	0:00	0:00	0:13
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59	0:00	0:59
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:41	0:00	1:41
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:53	0:00	1:53
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	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	0:00	0:07	0:00	0:00	0:07
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	0:00	0:25	4:33	0:00	4:58

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälkeäika pysyy alle raja-arvojen kaikkien rakennusten kohdalla, kun välkeäikoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R43 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 3-6: Teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Resep-tori	Teoreet. vuotuinen välkeäika	Teoreet. välkkeen päiväkohtai-nen maksimi	Resep-tori	Teoreet. vuotuinen välkeäika	Teoreet. välkkeen päiväkohtai-nen maksimi
R1	0:00	0:00	R25	11:43	0:19
R2	1:27	0:09	R26	13:40	0:21
R3	2:36	0:08	R27	7:24	0:13
R4	0:56	0:07	R28	7:00	0:14
R5	7:22	0:13	R29	4:30	0:10
R6	9:02	0:16	R30	0:00	0:00
R7	9:51	0:19	R31	1:32	0:07
R8	7:35	0:15	R32	0:00	0:00
R9	0:55	0:08	R33	4:12	0:13
R10	3:59	0:08	R34	3:40	0:14
R11	4:37	0:11	R35	3:04	0:13
R12	4:42	0:12	R36	1:58	0:10
R13	4:44	0:13	R37	1:41	0:10
R14	8:06	0:13	R38	1:34	0:09
R15	8:18	0:13	R39	9:58	0:18
R16	12:01	0:15	R40	6:57	0:16
R17	5:41	0:14	R41	4:41	0:12
R18	6:20	0:14	R42	5:21	0:14
R19	10:11	0:16	R43	18:55	0:26
R20	4:31	0:13	R44	0:00	0:00
R21	7:19	0:16	R45	10:54	0:20
R22	7:48	0:18	R46	3:44	0:14
R23	8:33	0:19	R47	2:19	0:13
R24	9:18	0:20			

Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R43 kohdalla.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:54	0:00	0:00	0:54
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:37	0:00	3:37
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:16	0:00	6:16
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:14	0:00	7:14
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19	0:00	0:00	0:19
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:34	0:00	0:00	0:34
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	0:00	1:48	17:07	0:00	18:55

3.4 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kokkonevan voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen, sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston aiheuttamaa melun yhteisvaikutusta.

Ahvenlammen sekä Honkahuhdan tuulivoimahankkeita suunnittelee Pohjan Voima Oy. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunnitteilla seitsemän voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 2,9 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Honkahuhdan tuulivoimapuistoon suunnitellaan puolestaan kymmenen voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 4,1 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista.

Välkemallinnuksessa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 180 m ja roottorin halkaisijaa 180 m. Honkahuhdan voimaloille on käytetty napakorkeutta 250 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Ahvenlammen ja Honkahuhdan voimaloiden lapaprofiilit on arvioitu voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 180 metrin ja 200 metrin roottorin halkaisijoita. Limakon tuulivoimaloille on puolestaan käytetty napakorkeutta 144 m, roottorin halkaisijaa 131 m sekä voimalatyyppin Nordex N131 valmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa.

Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-8-Taulukko 3-10).

Taulukko 3-8: Ahvenlammen (7 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
A1	359771	7025145	151
A2	360296	7024772	154
A3	360672	7023104	155
A4	361160	7022850	158
A5	361028	7021974	154
A6	361922	7021890	159
A7	360382	7023617	154

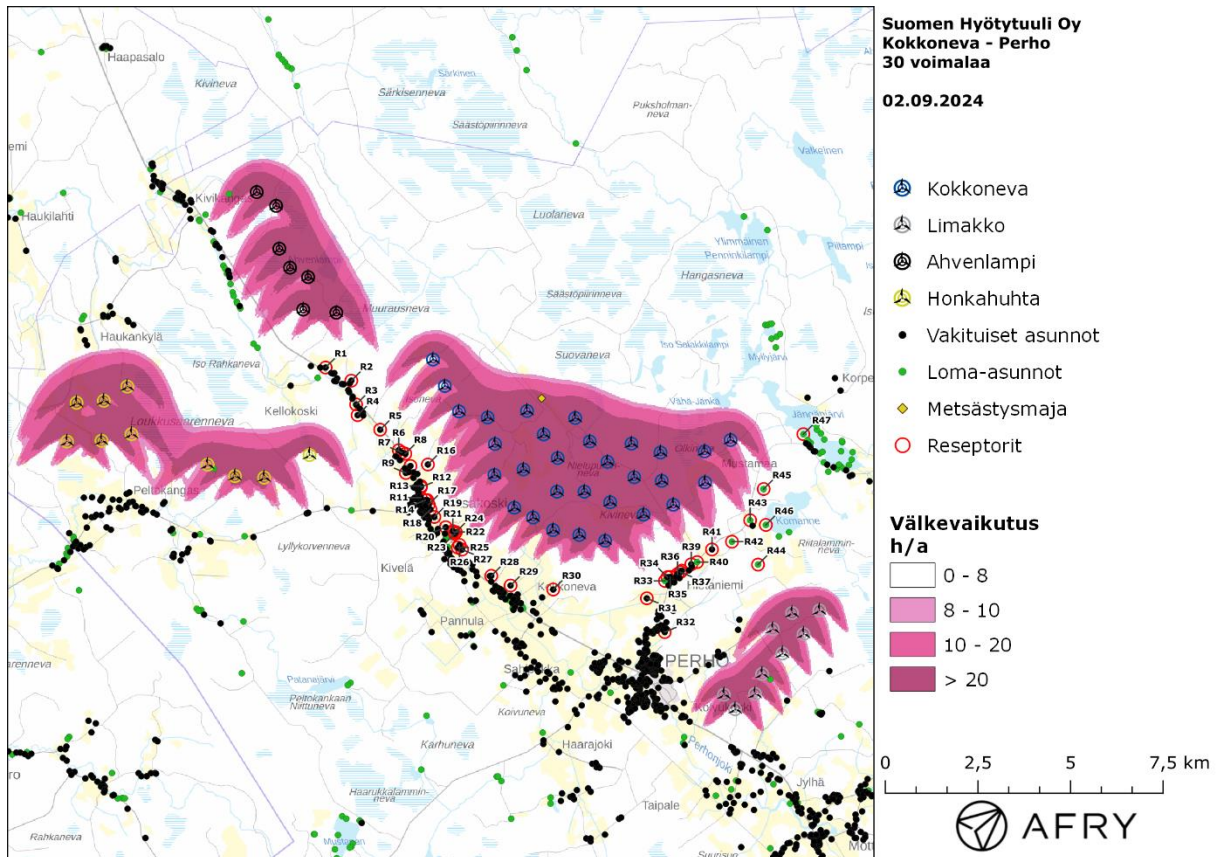
Taulukko 3-9: Honkahuhdan (10 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
H1	361198	7018048	153
H2	359972	7017438	147
H3	359186	7017478	144
H4	358445	7017788	146
H5	356389	7018610	143
H6	356277	7019895	140
H7	355580	7018432	135
H8	355643	7019513	137
H9	354649	7018410	134
H10	354906	7019457	129

Taulukko 3-10: Limakon (9 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
L1	372691	7011187	167
L2	373231	7011601	176
L3	372389	7011579	166
L4	373419	7012138	178
L5	373968	7012691	175
L6	373707	7013351	182
L7	374228	7013784	196
L8	374540	7013217	188
L9	374967	7013853	194

Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 3-3). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 3-11). Mallinnusten perusteella Kokkonevan ja naapuripuistojen voimaloista aiheutuu vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta asutukselle. Suurin muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa tapahtuu reseptoripisteen R4 kohdalla, jossa vuotuinen todennäköinen välkevaikutus kasvaa yhden tunnin ja 14 minuuttia (1 h 14 min). Yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvon ylityksiä minkään asuin- tai lomarakennuksen kohdilla.



Kuva 3-3: Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen sekä Honkahuhtan tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 3-11: Välkeajat tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorien kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Kokkonevan sekä naapuripuistojen voimalat. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	0:18	0:01	3:02	0:10
R2	0:40	0:02	4:13	0:11
R3	1:39	0:03	8:04	0:17
R4	1:29	0:04	7:59	0:21
R5	2:41	0:04	10:27	0:14
R6	2:49	0:05	10:19	0:16
R7	3:02	0:06	10:55	0:19
R8	2:03	0:04	7:35	0:15
R9	0:12	0:02	0:55	0:08
R10	1:02	0:02	3:59	0:08
R11	1:17	0:03	4:37	0:11
R12	1:15	0:03	4:42	0:12
R13	1:15	0:03	4:44	0:13
R14	2:14	0:04	8:06	0:13

R15	2:17	0:04	8:18	0:13
R16	3:11	0:04	12:01	0:15
R17	1:32	0:04	5:41	0:14
R18	1:44	0:04	6:20	0:14
R19	2:52	0:04	10:11	0:16
R20	1:11	0:04	4:31	0:13
R21	1:59	0:05	7:19	0:16
R22	2:08	0:05	7:48	0:18
R23	2:22	0:05	8:33	0:19
R24	2:33	0:06	9:18	0:20
R25	3:21	0:05	11:43	0:19
R26	3:54	0:06	13:40	0:21
R27	2:05	0:04	7:24	0:13
R28	2:02	0:04	7:00	0:14
R29	1:17	0:03	4:30	0:10
R30	0:00	0:00	0:00	0:00
R31	0:24	0:02	1:32	0:07
R32	0:00	0:00	0:00	0:00
R33	1:04	0:04	4:12	0:13
R34	0:54	0:04	3:40	0:14
R35	0:45	0:03	3:04	0:13
R36	0:28	0:02	1:58	0:10
R37	0:24	0:02	1:41	0:10
R38	0:22	0:02	1:34	0:09
R39	2:37	0:05	9:58	0:18
R40	1:49	0:04	6:57	0:16
R41	1:06	0:03	4:41	0:12
R42	1:20	0:04	5:21	0:14
R43	4:58	0:07	18:55	0:26
R44	0:27	0:02	3:53	0:09
R45	2:36	0:05	10:54	0:20
R46	0:57	0:04	3:44	0:14
R47	0:31	0:03	2:19	0:13

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 30 voimalan sijoitussuunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 172 m ja napakorkeudella 214 m. Selvityksessä on lisäksi arvioitu Kokkonevan ja läheisten toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston sekä suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla. Myös vuotuinen teoreettinen maksimivälke sekä teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke alittaa Saksan raja-arvot.

Kokkonevan, Ahvenlammen, Honkahuhdan sekä Limakon voimaloista aiheutuu vain vähäistä välkkeen yhteisvaikutusta, eikä niistä aiheudu ohjearvojen ylityksiä.

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.

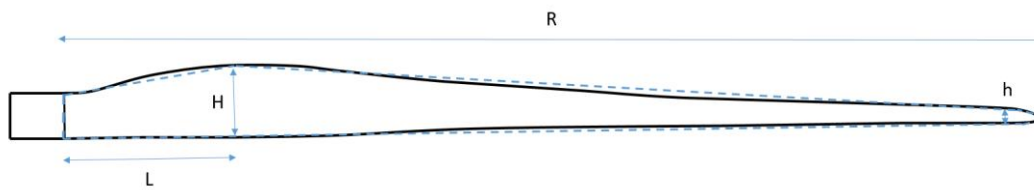
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 väkelaskennassa 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 väkelaskennassa 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 kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990-2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.