



Suomen Hyötytuuli Oy

Kokkonevan tuulivoimahankkeen välkeselvitys

101020971-005, 12.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Kalle Auvinen

E-mail
kalle.auvinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Suomen Hyötytuuli Oy
Panu Piirtola

Päivämäärä
12/01/2024

Projektinumero
101020971-005

Raportin tila
VALMIS

Kokkonevan tuulivoimahankkeen välkeseelvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.01.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

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

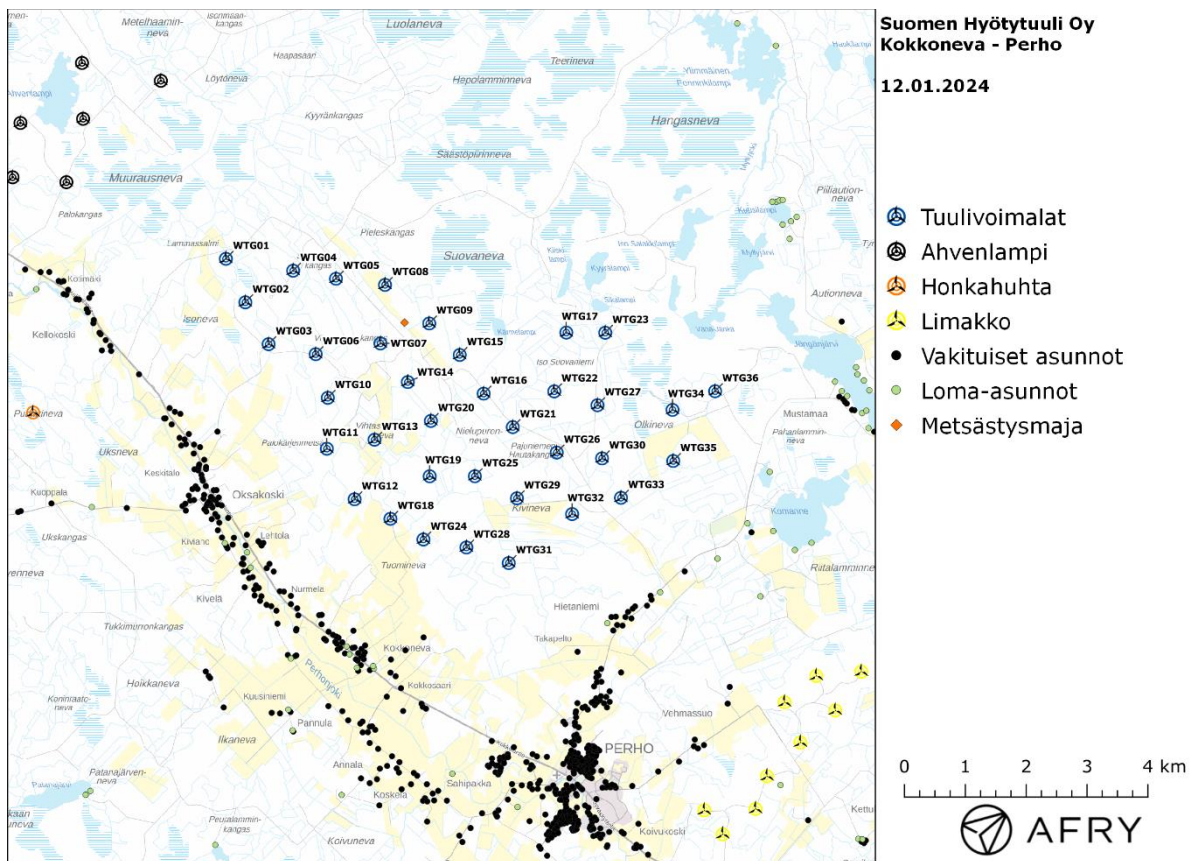
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus.....	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	11
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	14
3.4	Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan yhteisvaikutus	15
4	Yhteenveto	18
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	19
6	Viitteet.....	21

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 36 voimalan sijoitussuunnitelmalle. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 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 (toiminnassa), Ahvenlammen (suunnitteilla) ja Honkahuhdan (suunnitteilla) tuulivoimapuistojen välkkeiden yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kokkonevan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (36 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	364533	7020625	162
WTG02	364852	7019911	162
WTG03	365234	7019224	161
WTG04	365638	7020429	163
WTG05	366341	7020298	166
WTG06	366008	7019060	164
WTG07	367071	7019237	167
WTG08	367146	7020197	163
WTG09	367873	7019564	167
WTG10	366206	7018344	163
WTG11	366191	7017509	164
WTG12	366647	7016681	160
WTG13	366974	7017657	163
WTG15	368373	7019048	168
WTG17	370123	7019414	173
WTG16	368766	7018413	168
WTG14	367520	7018603	167
WTG18	367235	7016360	161
WTG24	367777	7016021	162
WTG19	367880	7017058	167
WTG20	367899	7017966	168
WTG21	369244	7017864	168
WTG22	369926	7018450	172
WTG23	370763	7019412	175
WTG27	370635	7018223	173
WTG30	370710	7017351	173
WTG28	368482	7015890	166
WTG31	369178	7015634	168
WTG29	369312	7016697	166
WTG33	371021	7016705	171
WTG35	371878	7017309	173
WTG34	371867	7018147	175
WTG32	370219	7016438	169
WTG25	368622	7017059	166
WTG26	369966	7017447	170
WTG36	372567	7018452	178

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

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

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

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

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla 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]. 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 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.

Yhteisvaikutusten laskennassa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja Honkahuhdalle napakorkeutta 250 m. Molemmille puistoille on käytetty 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. Limakon voimaloille on käytetty napakorkeutta 144 m sekä voimalatyypin Nordex N131 valmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien 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 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

välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymis-frekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammissa 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 osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

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

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

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,161	0,182	0,186	0,136	0,129	0,144

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

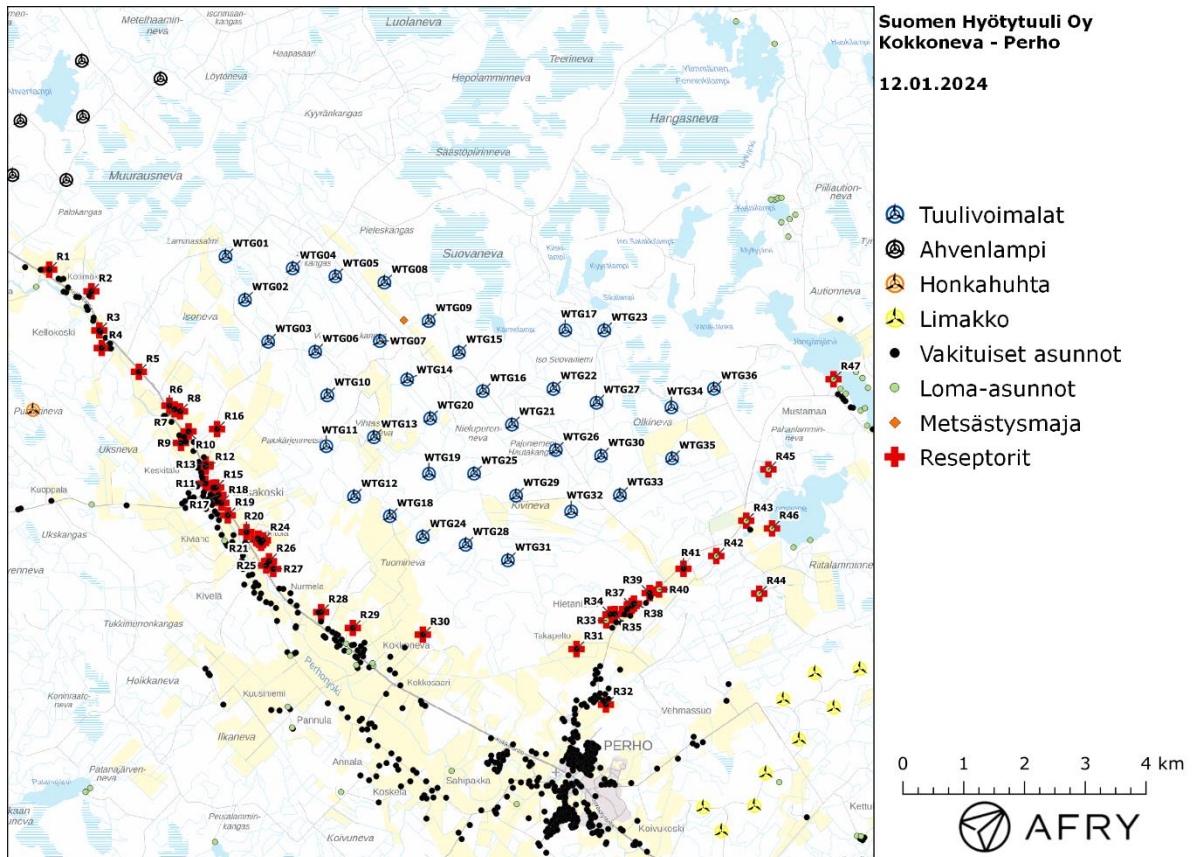
Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 47 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevan noin 1,6–2,9 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueen sisäpuolella, noin 400 m voimalan WTG09 länsipuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan, kyseinen kiinteistö on todellisuudessa metsästysmaja, eikä kiinteistöä ole otettu tästä syystä meluvaikutusten arvioinnissa huomioon.

Taulukko 4: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	361635	7020406	151	vakituinen asunto
R2	362329	7020051	154	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	155	vakituinen asunto
R9	363801	7017560	153	vakituinen asunto
R10	363925	7017749	155	vakituinen asunto
R11	364204	7016895	156	vakituinen asunto
R12	364207	7017174	155	vakituinen asunto
R13	364209	7017209	156	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	156	vakituinen asunto
R19	364571	7016373	154	vakituinen asunto
R20	364879	7016096	156	vakituinen asunto
R21	365068	7015990	157	vakituinen asunto
R22	365090	7015967	157	vakituinen asunto
R23	365120	7015920	157	vakituinen asunto
R24	365150	7015963	158	vakituinen asunto
R25	365204	7015548	156	vakituinen asunto
R26	365250	7015618	156	vakituinen asunto
R27	365319	7015493	158	vakituinen asunto
R28	366108	7014783	155	vakituinen asunto
R29	366629	7014523	156	vakituinen asunto
R30	367781	7014414	158	vakituinen asunto
R31	370309	7014177	161	vakituinen asunto
R32	370792	7013265	159	vakituinen asunto
R33	370798	7014647	165	loma-asunto
R34	370865	7014747	168	vakituinen asunto
R35	370938	7014753	166	vakituinen asunto
R36	371138	7014832	170	vakituinen asunto
R37	371215	7014885	171	vakituinen asunto
R38	371253	7014922	171	vakituinen asunto
R39	371509	7015095	171	vakituinen asunto
R40	371666	7015154	171	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	177	loma-asunto
R46	373523	7016157	173	loma-asunto
R47	374536	7018607	179	loma-asunto



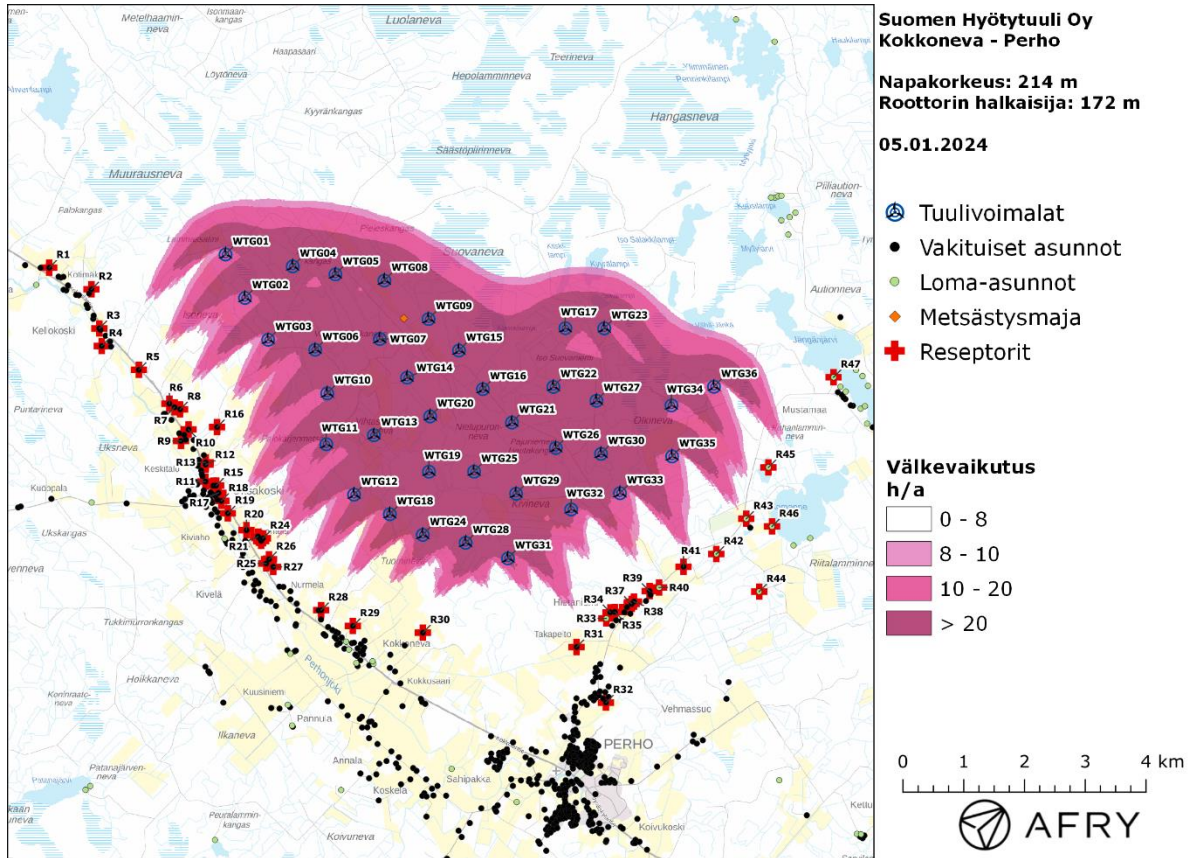
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3). 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.

Mallinnusten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R43 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talvi-aika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	0:00	0
R2	0:22	2
R3	0:43	2
R4	0:15	2
R5	2:03	4
R6	2:33	5
R7	2:48	6
R8	2:03	4
R9	0:12	2
R10	1:02	2
R11	1:27	3
R12	1:24	3
R13	1:24	3
R14	2:17	4
R15	2:20	4
R16	3:11	4
R17	1:35	4

R18	1:48	4
R19	2:58	5
R20	1:26	4
R21	2:29	5
R22	2:41	6
R23	3:03	6
R24	3:17	7
R25	2:05	4
R26	2:35	4
R27	0:48	3
R28	2:02	4
R29	1:17	3
R30	0:00	0
R31	0:24	2
R32	0:00	0
R33	1:04	4
R34	1:26	4
R35	0:47	4
R36	0:29	3
R37	0:25	3
R38	0:24	2
R39	2:37	5
R40	1:49	4
R41	1:06	3
R42	1:20	4
R43	4:58	7
R44	0:00	0
R45	2:36	5
R46	0:57	4
R47	0:31	3

Taulukko 6: 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 7). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen ja päiväkohtainen maksimivälke aika pysyy alle ohjearvojen kaikkien lähialueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla, kun välkeajoja verrataan Saksan raja-arvoihin.

Teoreettisen maksimivälkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R43 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 8). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talvi-aika).

Taulukko 7: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välke aika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	0:00	0
R2	1:27	9
R3	2:36	8
R4	0:56	7
R5	7:24	12
R6	9:03	16
R7	9:52	20
R8	7:34	15
R9	0:55	8
R10	3:59	8
R11	5:23	11
R12	5:23	12
R13	5:24	13
R14	8:19	13
R15	8:32	13
R16	12:01	15
R17	5:56	14
R18	6:38	13
R19	10:32	16
R20	5:19	14
R21	8:57	18
R22	9:39	19
R23	10:54	20
R24	11:48	22
R25	7:24	14
R26	9:10	15
R27	2:51	11
R28	7:02	13
R29	4:31	10
R30	0:00	0
R31	1:32	7
R32	0:00	0
R33	4:20	15
R34	5:46	15

R35	3:12	13
R36	2:03	11
R37	1:45	10
R38	1:38	10
R39	10:01	18
R40	6:57	16
R41	4:41	12
R42	5:21	14
R43	19:02	26
R44	0:00	0
R45	10:54	20
R46	3:44	14
R47	2:19	13

Taulukko 8: 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	3:36	0:00	3:36
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:25	0:00	6:25
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:13	0:00	7:13
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	17:14	0:00	19:02

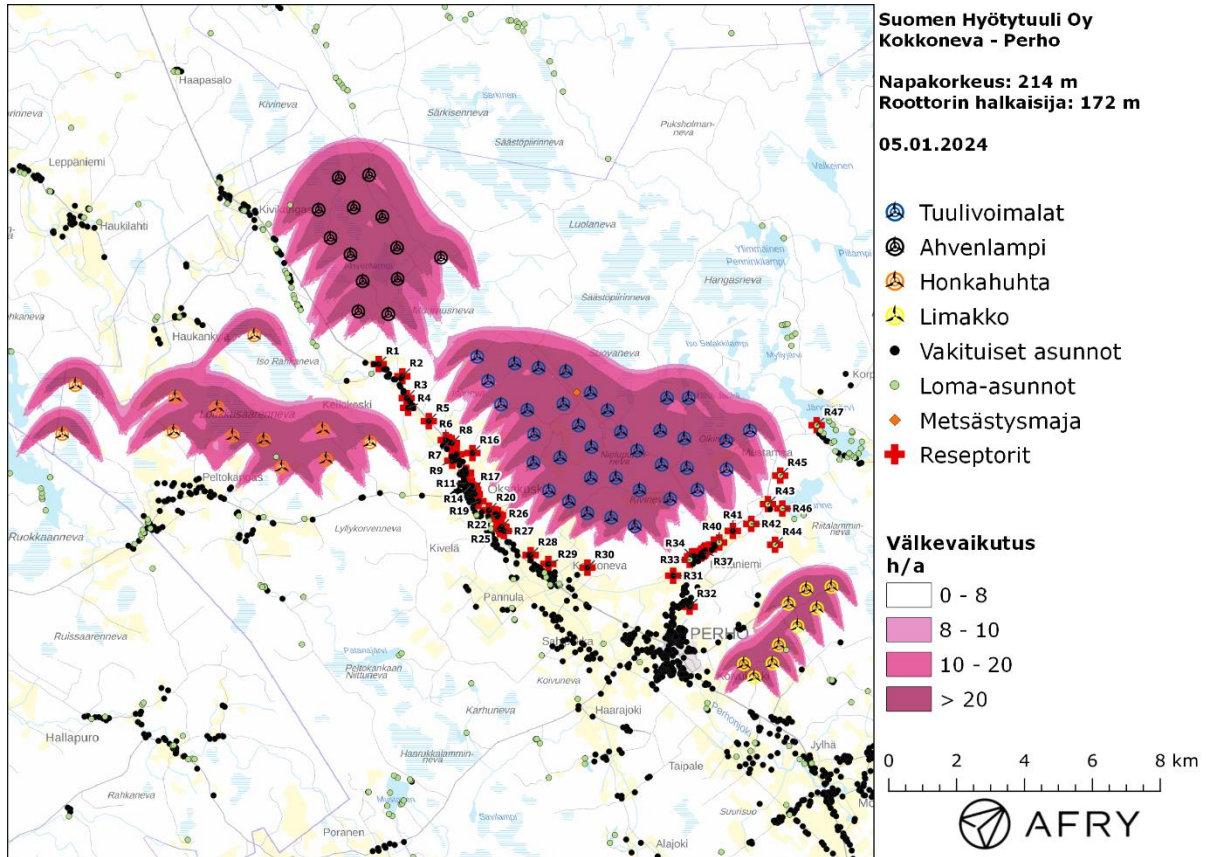
3.4 Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Kokkonevan voimaloiden läheisyyteen suunniteltujen Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen, sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston aiheuttamia yhteisvaikutuksia. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 13 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 3 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Honkahuhdan tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 12 voimalaa, joista lähin on noin 4 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Limakon tuulivoimapuistossa on toiminnassa yhdeksän voimalaa, joista lähimmät ovat noin 4,2 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista.

Välkemallinnuksessa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m sekä roottorin halkaisijaa 200 m Ahvenlammen tuulivoimapuiston YVA-selosteen liitteenä olevan välkeselvityksen mukaisesti. Honkahuhdan YVA-ohjelman perusteella, Honkahuhdan tuulivoimaloiden napakorkeus on enintään 210–260 m ja roottorin halkaisija enintään 200–280 m, voimaloiden kokonaiskorkeuden ollessa kuitenkin enintään 350 m. Välkemallinnuksessa Honkahuhdan tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 250 m sekä roottorin halkaisijaa 200 m. Limakon tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 144 m ja roottorin halkaisijaa 131 m.

Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvan (Kuva 4). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksimivälke reseptoripisteiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 9). Mallinnusten perusteella Kokkonevan

ja naapuripuistojen voimaloista aiheutuu vain vähäisiä välkkeen yhteisvaikutuksia asutukselle. Suurin muutos todennäköisessä välkevaikutuksessa kohdistuu reseptoriin R4, jossa vuotuinen todennäköinen välkevaikutus kasvaa 107 minuutilla. Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan yhteisvaikutuksista ei aiheudu välkkeen ohjearvojen ylityksiä.



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 9: Vuotuinen teoreettinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika [h:min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]	Teoreettinen vuotuinen välke aika [h:min]	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika [min]
R1	0:21	1	3:36	12
R2	0:46	2	5:14	13
R3	2:00	4	10:14	22
R4	2:02	5	10:58	26
R5	3:00	4	11:52	17
R6	2:57	5	10:57	16
R7	3:09	6	11:26	20
R8	2:20	4	8:51	15
R9	0:29	2	2:04	8
R10	1:02	2	3:59	8

R11	1:27	3	5:23	11
R12	1:24	3	5:23	12
R13	1:24	3	5:24	13
R14	2:17	4	8:19	13
R15	2:20	4	8:32	13
R16	3:11	4	12:01	15
R17	1:35	4	5:56	14
R18	1:48	4	6:38	13
R19	2:58	5	10:32	16
R20	1:26	4	5:19	14
R21	2:29	5	8:57	18
R22	2:41	6	9:39	19
R23	3:03	6	10:54	20
R24	3:17	7	11:48	22
R25	2:05	4	7:24	14
R26	2:35	4	9:10	15
R27	0:48	3	2:51	11
R28	2:02	4	7:02	13
R29	1:17	3	4:31	10
R30	0:00	0	0:00	0
R31	0:24	2	1:32	7
R32	0:00	0	0:00	0
R33	1:04	4	4:20	15
R34	1:26	4	5:46	15
R35	0:47	4	3:12	13
R36	0:29	3	2:03	11
R37	0:25	3	1:45	10
R38	0:24	2	1:38	10
R39	2:37	5	10:01	18
R40	1:49	4	6:57	16
R41	1:06	3	4:41	12
R42	1:20	4	5:21	14
R43	4:58	7	19:02	26
R44	0:27	2	3:53	9
R45	2:36	5	10:54	20
R46	0:57	4	3:44	14
R47	0:31	3	2:19	13

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 36 voimalan sijoitussuunnitelmalle, roottorin halkaisijalla 172 m ja napakorkeudella 214 m. Selvityksessä on arvioitu myös Kokkonevan ja läheisten toiminnassa olevan Limakon sekä suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen välkkeen yhteisvaikutuksia.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohje-arvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa 30 minuutin ohje-arvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla.

Välkevarjostusmallinnuksen mukaan vuotuinen teoreettinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälkeaika alittaa 30 minuutin raja-arvon.

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 turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehän 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.

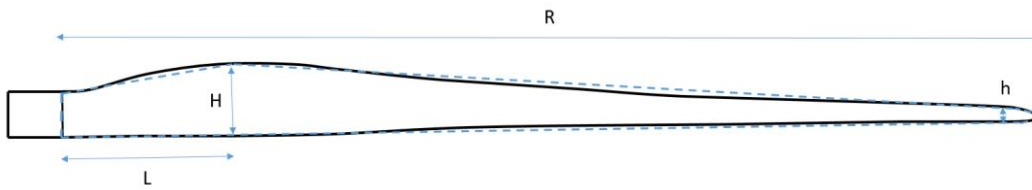
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 5) 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 5: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan 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 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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.

