



FCG Finnish Consulting Group Oy

Poikelin tuulivoimapuiston välkeselvitys

101027016-001, 25.09.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Veera Hatulainen

E-mail
veera.hatulainen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
FCG Finnish Consulting Group Oy
Liisa Karhu

Päivämäärä
25/09/2024

Projektinumero
101027016-001

Raportin tila
VALMIS

Poikelin tuulivoimapuiston välkeselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	25.09.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	25.09.2024/ Mika Laitinen, 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

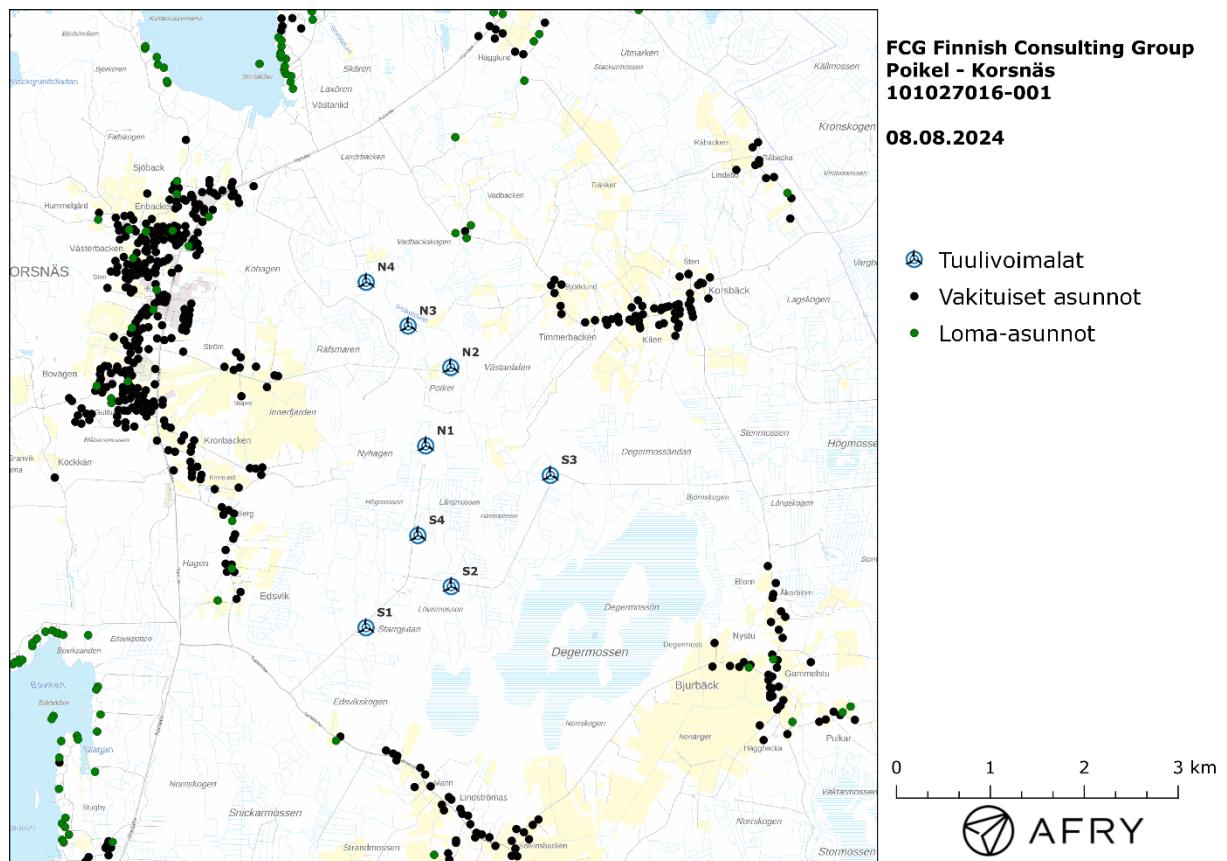
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	6
2.4	Ohjearovot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Todennäköinen välkevaikutus	12
3.3	Puuston välkettä vähentävä vaikutus	16
3.4	Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	26
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	27
6	Viitteet	29

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Korsnäsän kunnan alueelle suunnitellun Poikelin tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 8 voimalan sijoittelusuunnitelmalle kahdella eri napakorkeudella. Toteutusvaihtoehdossa VE1 napakorkeus on 180 m ja vaihtoehdossa VE2 napakorkeus on 200 m. Molemmissa vaihtoehdoissa voimaloiden koordinaatit ovat samat ja roottorin halkaisija 180 m. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty roottorin halkaisijaa 180 m. Voimaloiden lapaprofiili on määritetty voimalatyyppin N163/6.X valmistajan ilmoittaman lapaprofiilin avulla, jonka pituus on kasvatettu 90 metriin. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,35 m (N163:n lapaprofiilin levein kohta on 4,15 m).

Selvityksessä arvioidaan myös välkkeen yhteisvaikutuksia Poikelin lähelle rakennettujen tai suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Poikelin hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
N1	206522	6973513	9
N2	206788	6974347	7
N3	206334	6974789	8
N4	205887	6975255	5
S1	205885	6971577	16
S2	206793	6972015	16
S3	207850	6973199	14
S4	206438	6972558	11

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 Välkevaikutus

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

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

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

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

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla todennäköinen välkeaika ja todennäköinen välkeaika puuston vaikutus huomioiden.

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 80 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 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 ihmissilmän 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 voimaloille on käytetty toteutusvaihtoehdolla VE1 napakorkeutta 180 m ja VE2 napakorkeutta 200 m. Molemmille on käytetty roottorin halkaisijaa 180 m. Voimaloiden lapaprofiili on arvioitu voimalatyypin Nordex N163 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 180 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 väketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn tuulivoimalan käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa 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 käyntinopeusväliille 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 mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 3). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 2: Suuntasektori-kohtaiset 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	0,194	0,269	0,141	0,110	0,104	0,114

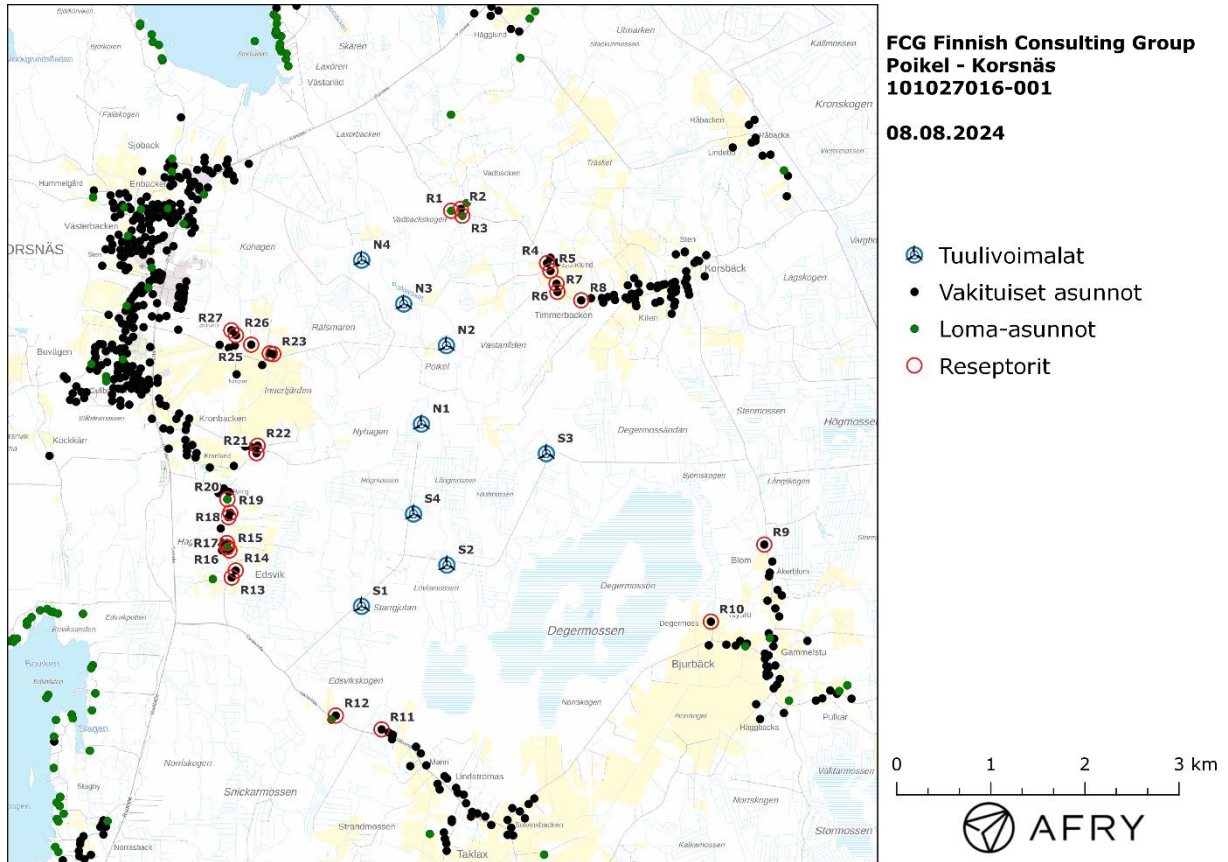
Taulukko 3: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

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 27 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Rakennukset sijaitsevan noin 1-2,5 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	206840	6975777	9	lomarakennus
R2	206942	6975797	8	vakituinen asuinrakennus
R3	206958	6975724	8	lomarakennus
R4	207859	6975221	9	vakituinen asuinrakennus
R5	207895	6975138	10	vakituinen asuinrakennus
R6	207960	6975002	9	vakituinen asuinrakennus
R7	207969	6974915	10	vakituinen asuinrakennus
R8	208222	6974826	12	vakituinen asuinrakennus
R9	210169	6972231	19	vakituinen asuinrakennus
R10	209601	6971413	14	vakituinen asuinrakennus
R11	206100	6970268	19	vakituinen asuinrakennus
R12	205613	6970415	19	vakituinen asuinrakennus
R13	204506	6971881	12	vakituinen asuinrakennus
R14	204549	6971956	11	vakituinen asuinrakennus
R15	204482	6972169	12	vakituinen asuinrakennus
R16	204456	6972204	12	lomarakennus
R17	204454	6972247	12	vakituinen asuinrakennus
R18	204471	6972522	15	vakituinen asuinrakennus
R19	204490	6972569	15	vakituinen asuinrakennus
R20	204460	6972712	13	lomarakennus
R21	204769	6973203	10	vakituinen asuinrakennus
R22	204781	6973281	7	vakituinen asuinrakennus
R23	204948	6974254	6	vakituinen asuinrakennus
R24	204911	6974262	6	vakituinen asuinrakennus
R25	204713	6974355	6	vakituinen asuinrakennus
R26	204551	6974454	6	vakituinen asuinrakennus
R27	204502	6974507	7	vakituinen asuinrakennus



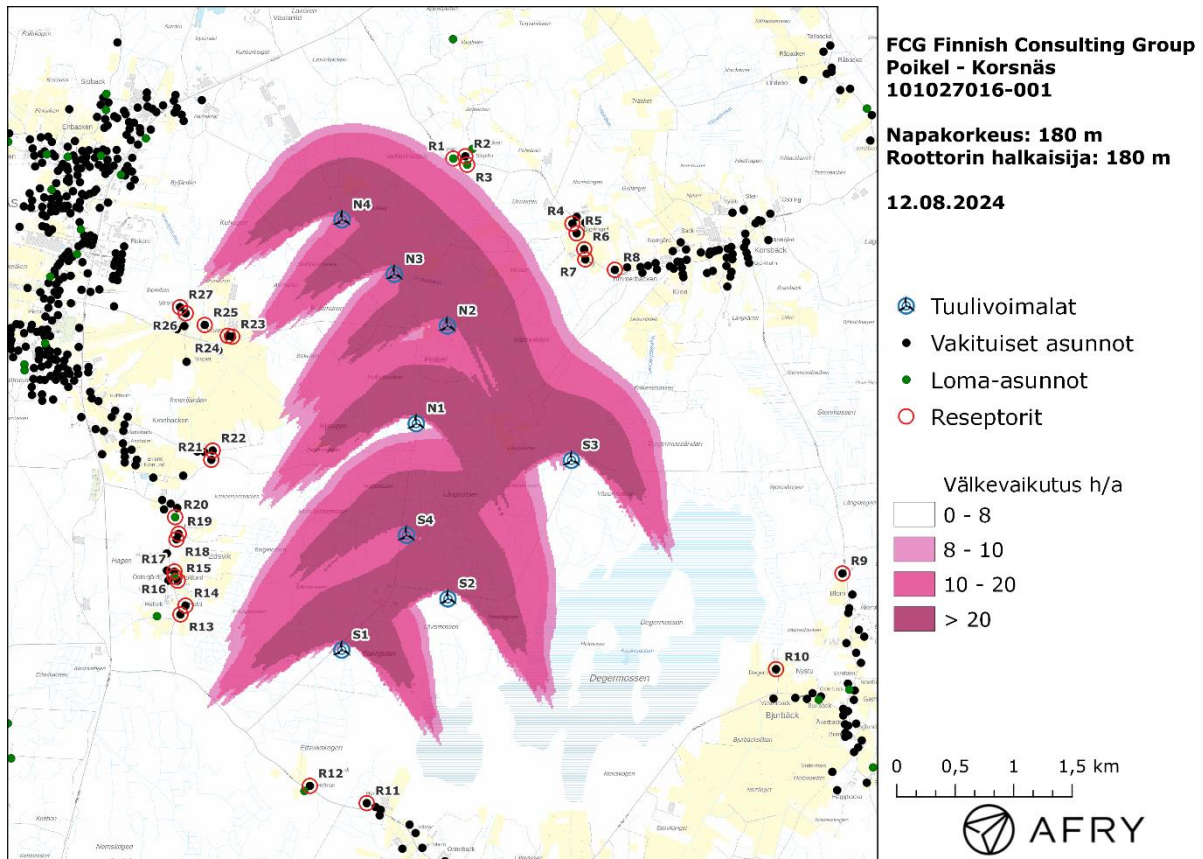
Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapaiston hankealueen läheisyydessä.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

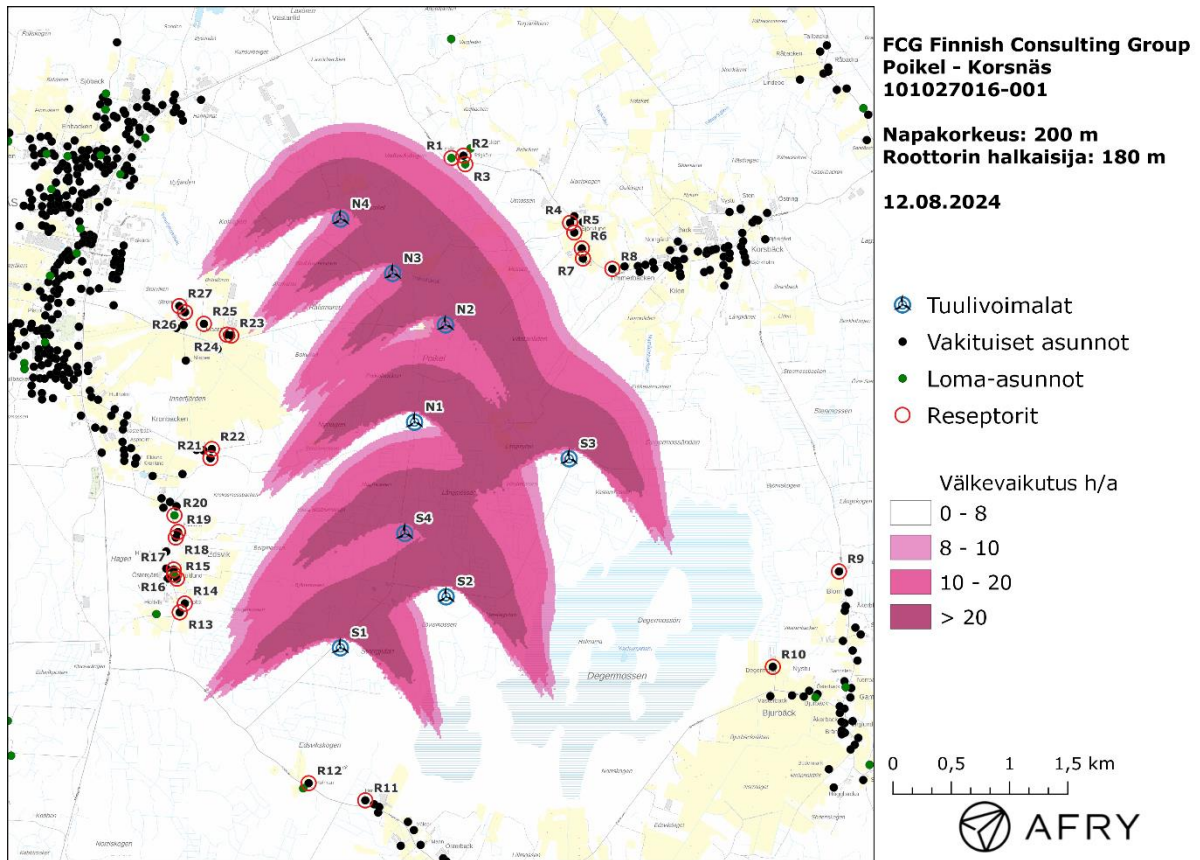
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana (Kuva 3 ja Kuva 4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen, näin ollen esitetyt tulokset yliarvioivat todellista tilannetta huomattavasti. 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 kummallakin toteutusvaihtoehdolla. 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).

Suurin välkevaikutus kohdistuu reseptoriin R1. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R1 kohdalla on esitetty taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 7). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta toteutusvaihtoehdolla VE1.



Kuva 4: Tuulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE1	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika VE1	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE2	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika VE2
R1	6:53	0:09	6:46	0:09
R2	5:54	0:07	5:46	0:07
R3	6:40	0:08	6:34	0:07
R4	3:00	0:05	2:56	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:10	0:04	3:07	0:05
R7	3:27	0:05	3:24	0:06
R8	2:28	0:04	2:23	0:05
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	1:58	0:05	2:00	0:05
R14	2:04	0:05	2:06	0:05
R15	1:54	0:04	2:06	0:04
R16	1:41	0:03	1:47	0:04
R17	1:37	0:03	1:41	0:03
R18	1:21	0:03	1:23	0:03
R19	1:22	0:03	1:24	0:03
R20	1:09	0:03	1:10	0:02
R21	2:03	0:03	2:07	0:04
R22	1:58	0:03	2:02	0:03
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

Taulukko 6: Todennäköisen vuotuisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R1 kohdalla toteutusvaihtoehdolla VE1.

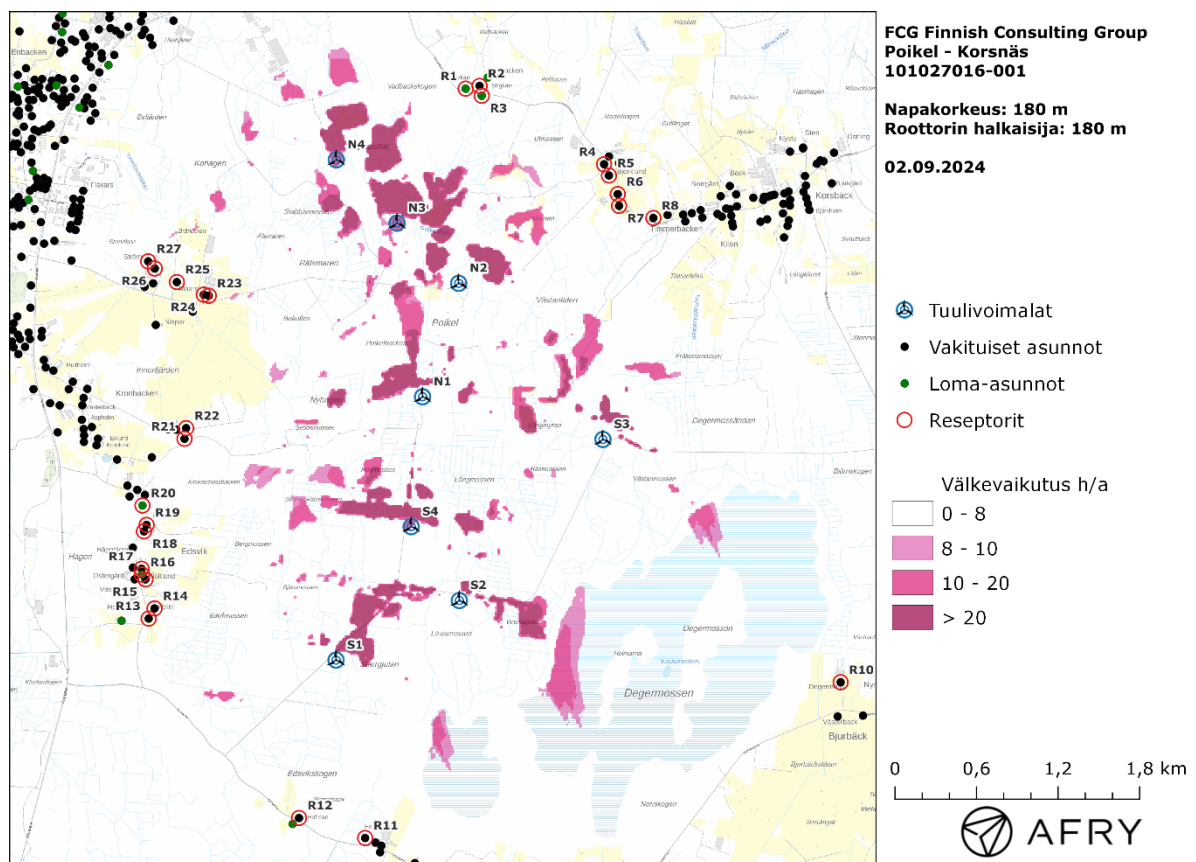
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	1:03	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48	0:21	0:41	0:00	0:00	0:00	1:50
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:44	0:00	0:00	0:00	0:52
Huhtikuu	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
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	1:13	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	0:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31	3:08	1:49	1:25	0:00	0:00	0:00	6:53

Taulukko 7: Todennäköisen vuotuisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R1 kohdalla toteutusvaihtoehdolla VE2.

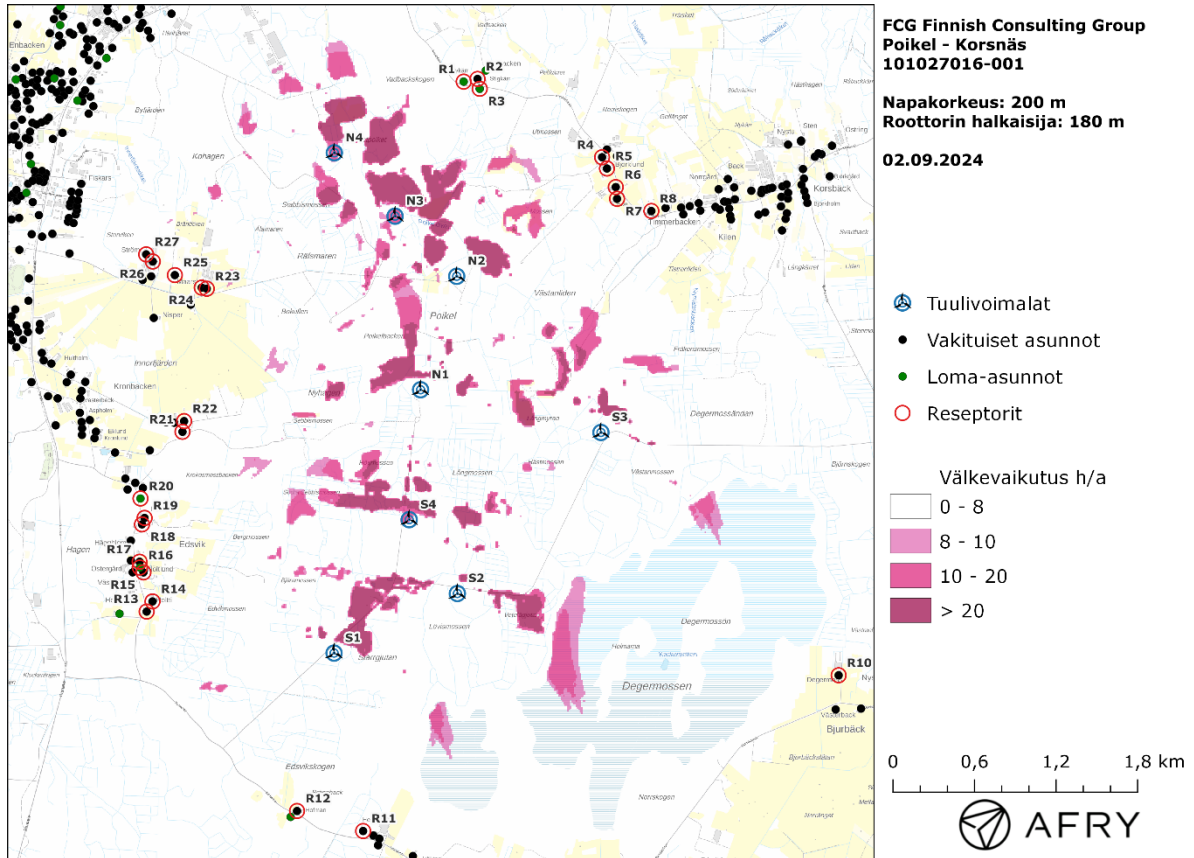
Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:05	0:24	0:26	0:00	0:00	0:00	1:55
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:53	0:00	0:00	0:00	1:09
Huhtikuu	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
Toukokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	1:37
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:11
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	3:06	1:54	1:19	0:00	0:00	0:00	6:46

3.3 Puuston välkettä vähentävä vaikutus

Karttakuvissa (Kuva 5 ja Kuva 6) on esitetty todennäköisen välkkeen mallinnukset, kun puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioidaan. Puuston huomioivat vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnusten perusteella puusto rajoittaa merkittävästi Poikelin voimaloiden näkyvyyttä ja siten vähentää välkevaikutusta. Laskennassa puustodatana on käytetty Luonnonvarakeskuksen tuottamaa monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin puunkorkeus-aineistoa vuodelta 2021 (© Luonnonvarakeskus, 2023)



Kuva 5: Poikelin VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun puusto huomioidaan.



Kuva 6: Poikelin VE2 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun puusto huomioidaan.

Taulukko 8: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun metsän vaikutus huomioidaan.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE1	Todennäköisen välkkeen päivakohtainen maksimivälke aika VE1	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE2	Todennäköisen välkkeen päivakohtainen maksimivälke aika VE2
R1	0:21	0:02	0:57	0:04
R2	3:49	0:06	4:30	0:07
R3	2:27	0:08	3:14	0:07
R4	2:46	0:05	2:48	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:05	0:04	3:06	0:05
R7	2:33	0:05	2:54	0:06
R8	0:55	0:04	1:06	0:05
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	0:10	0:02

R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	1:33	0:04	2:01	0:04
R16	1:34	0:03	1:40	0:04
R17	1:35	0:03	1:41	0:03
R18	0:30	0:02	0:40	0:02
R19	0:54	0:02	1:07	0:03
R20	0:28	0:03	0:28	0:02
R21	0:00	0:00	0:00	0:00
R22	0:00	0:00	0:00	0:00
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

3.4 Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Poikelin voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimaloiden välkkeen yhteisvaikutuksia. Molpeen on suunnitteilla viisi voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin viisi kilometriä koilliseen Poikelin voimaloista. Korsbäckiin on suunnitteilla kuusi voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin kolme kilometriä itään Poikelin voimaloista. Harrströmiin on suunnitteilla neljä voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin seitsemän kilometriä lounaaseen Poikelin voimaloista. Naapuripuistojen koordinaatit on annettu taulukoissa 9-11.

Taulukko 9: Molpen tuulivoimaloiden (5 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
M1	209157	6979922	10
M2	210029	6980204	10
M3	210068	6979386	11
M4	210664	6978919	12
M5	210003	6978294	13

Taulukko 10: Korsbäckin tuulivoimaloiden (6 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
K1	210951	6974462	19
K2	211382	6973961	23
K3	210653	6973717	22
K4	212499	6973082	26

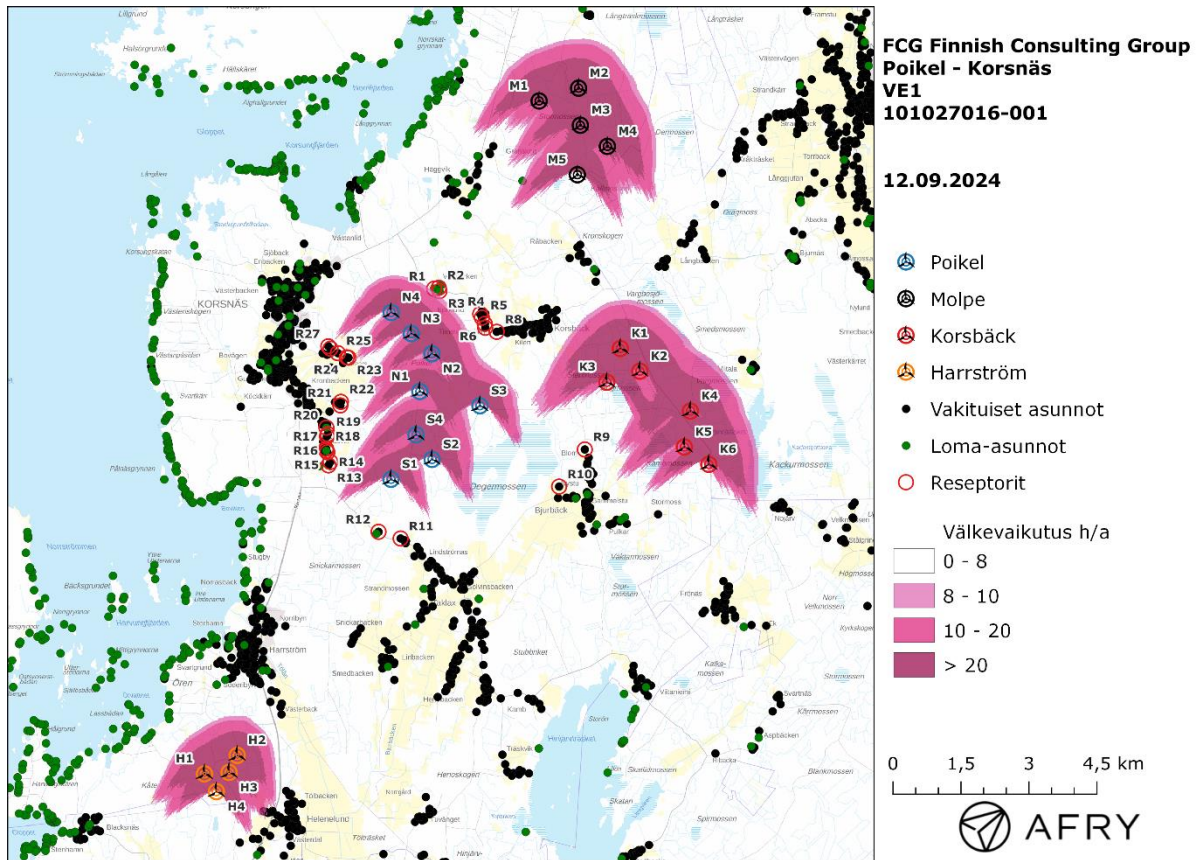
K5	212365	6972289	23
K6	212905	6971907	25

Taulukko 11: Harrströmin tuulivoimaloiden (4 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus voimalapaikalla.

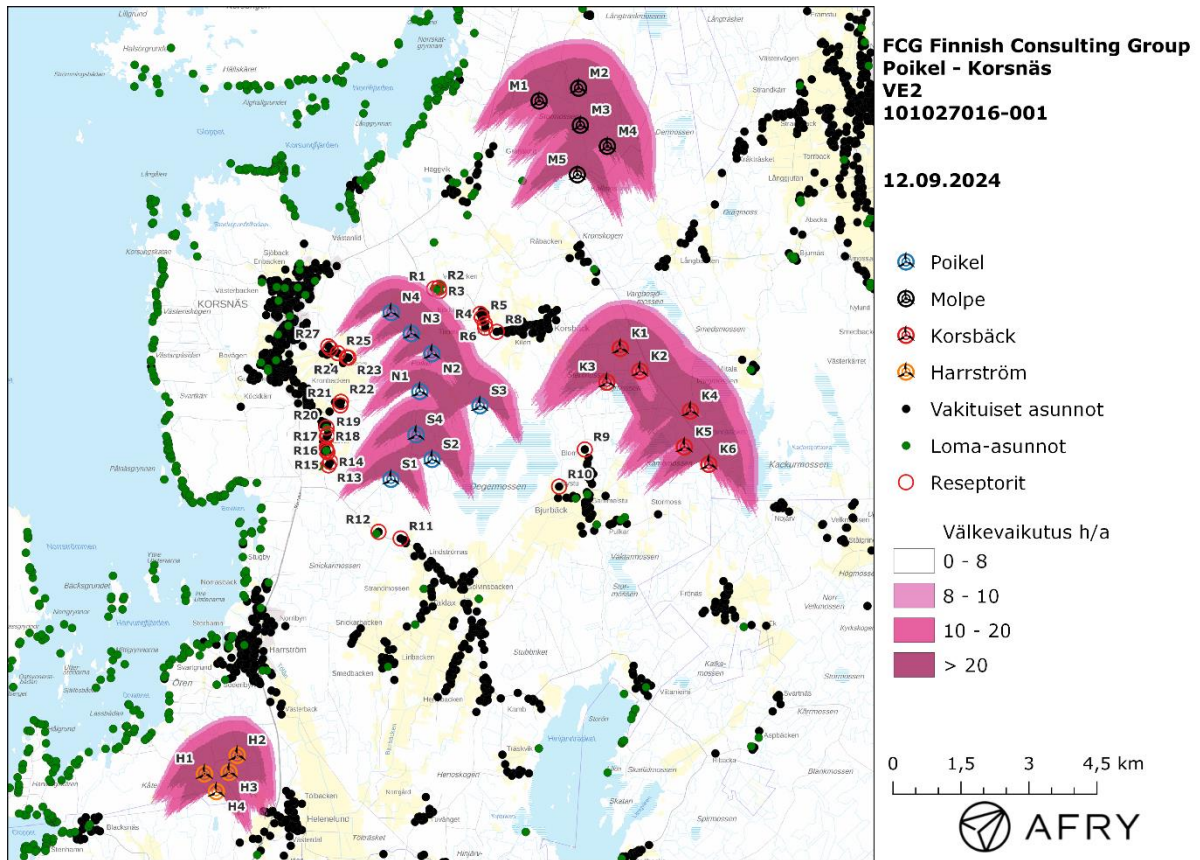
Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
H1	201764	6965081	19
H3	202308	6965112	11
H2	202489	6965487	16
H4	202028	6964689	18

Mallinnuksissa Molpen voimaloille on käytetty napakorkeutta 190 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Korsbäckin voimaloille on puolestaan käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m ja Harrströmin voimaloille on käytetty napakorkeutta 125 m ja roottorin halkaisijaa 150 m. Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnukset on esitetty karttakuvana (Kuva 7 ja Kuva 8). Todennäköiset välkeajat reseptorien kohdilla on listattu taulukossa 12. Todennäköinen välkevaikutus puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden on esitetty karttakuvana (Kuva 9 ja Kuva 10) ja välkeajat reseptorien kohdilla on listattu taulukossa 13.

Mallinnusten perusteella Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimaloilla ei ole merkittäviä välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten mallinnuksissa Korsbäckin voimalat aiheuttavat vähän välkevaikutusta reseptoriin R9, mutta Poikelin voimaloista ei aiheudu välkettä tähän reseptoriin.



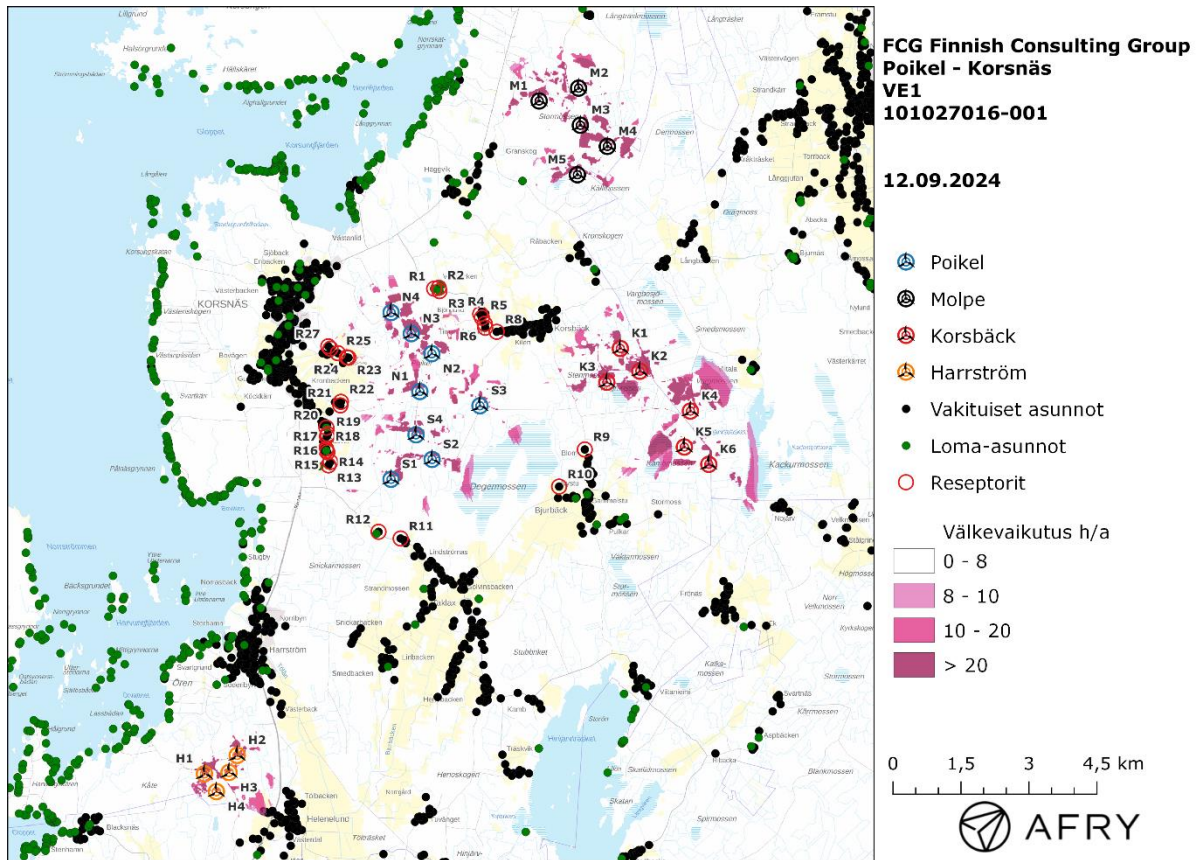
Kuva 7: Todennäköinen vuotuinen välkewaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Poikelin VE1, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimalat.



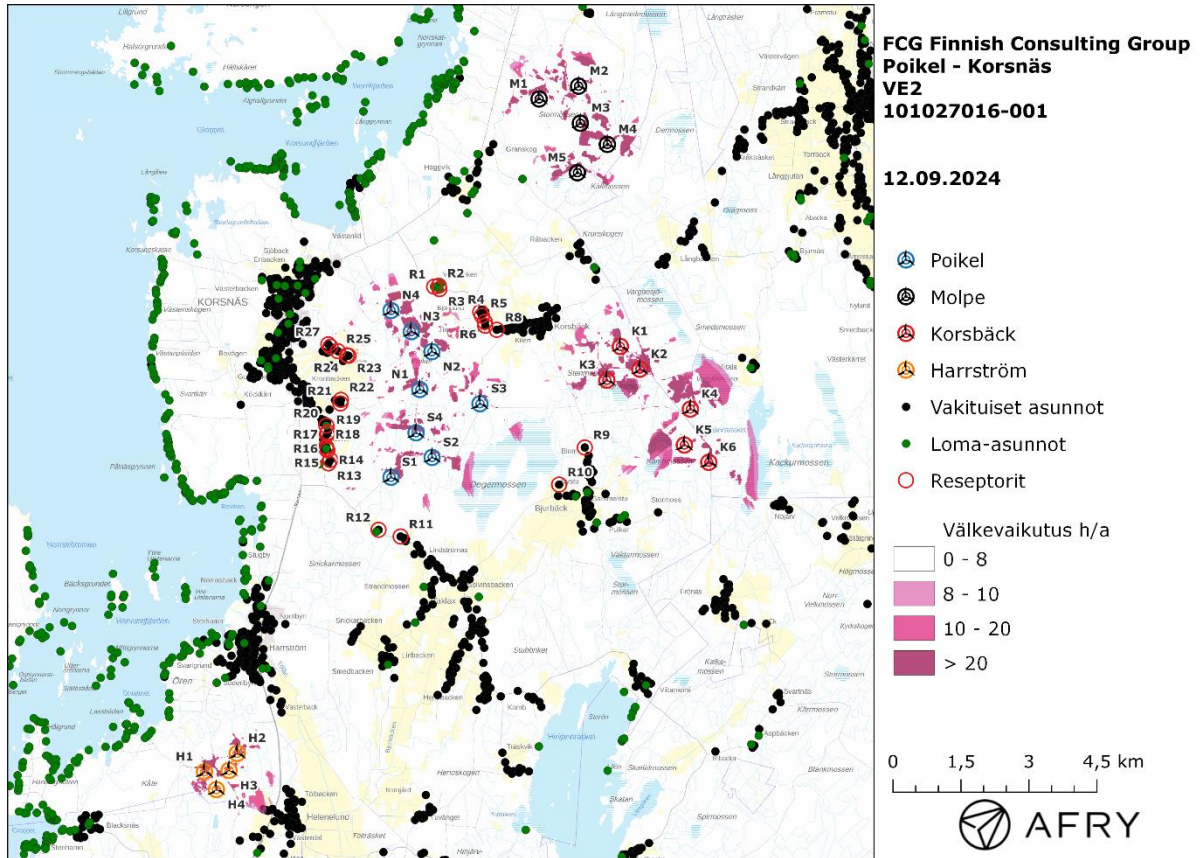
Kuva 8: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksissa huomioidaan Poikelin VE2, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimalat.

Taulukko 12: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimalat.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE1	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika VE1	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE2	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälke aika VE2
R1	6:53	0:09	6:46	0:09
R2	5:54	0:07	5:46	0:07
R3	6:40	0:08	6:34	0:07
R4	3:00	0:05	2:56	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:10	0:04	3:07	0:05
R7	3:27	0:05	3:24	0:06
R8	2:28	0:04	2:23	0:05
R9	1:12	0:03	1:12	0:03
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	1:58	0:05	2:00	0:05
R14	2:04	0:05	2:06	0:05
R15	1:54	0:04	2:06	0:04
R16	1:41	0:03	1:47	0:04
R17	1:37	0:03	1:41	0:03
R18	1:21	0:03	1:23	0:03
R19	1:22	0:03	1:24	0:03
R20	1:09	0:03	1:10	0:02
R21	2:03	0:03	2:07	0:04
R22	1:58	0:03	2:02	0:03
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07



Kuva 9: Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin todennäköinen vuotuinen välkevaikutus VE1, kun puuston vaikutus huomioidaan.



Kuva 10: Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin todennäköinen vuotuinen välkevaikutus VE2, kun puuston vaikutus huomioidaan.

Taulukko 13: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina [h:min] reseptoreiden kohdilla, kun mallinnuksissa huomioidaan Poikelin, Molpen ja Korsbäckin voimat ja puuston välkettä vähentävä vaikutus.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE1	Todennäköisen välkkeen päivakohtainen maksimivälke aika VE1	Todennäköinen vuotuinen välke aika VE2	Todennäköisen välkkeen päivakohtainen maksimivälke aika VE2
R1	0:21	0:02	0:57	0:04
R2	3:49	0:06	4:30	0:07
R3	2:27	0:08	3:14	0:07
R4	2:46	0:05	2:48	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:05	0:04	3:06	0:05
R7	2:33	0:05	2:54	0:06
R8	0:55	0:04	1:06	0:05
R9	0:12	0:02	0:12	0:02
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	0:10	0:02

R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	1:33	0:04	2:01	0:04
R16	1:34	0:03	1:40	0:04
R17	1:35	0:03	1:41	0:03
R18	0:30	0:02	0:40	0:02
R19	0:54	0:02	1:07	0:03
R20	0:28	0:03	0:28	0:02
R21	0:00	0:00	0:00	0:00
R22	0:00	0:00	0:00	0:00
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Korsnäsän kunnan alueelle suunnitellun Poikelin tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arviointi on tehty 8 voimalan sijoitusuunnitelmille VE1 ja VE2. VE1:n roottorin halkaisija on 180 m ja napakorkeus 180 m. VE2:n roottorin halkaisija on 180 m ja napakorkeus 200 m.

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 kohdalla. Puuston vaikutuksen huomioiminen vähentää välkevaikutusta huomattavasti.

Poikelin, Molpen, Korsbäckin ja Harrströmin voimaloilla ei ole merkittäviä 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 tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehän läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämissä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen tuulivoimaloiden eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla tuulisuusosuuksilla.

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.

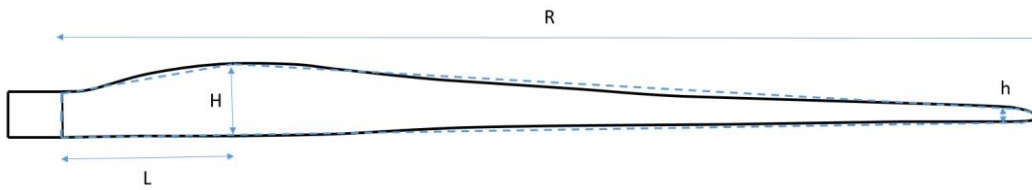
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 11) 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 11: Tuulivoimalan lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään tuulivoimavalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomiotava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan 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.