



Semecon Oy

Kenkäkangas, yhteisvaikutukset

Tuulivoimapuiston välkeselvitys

24.10.2025

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 101032945-001.

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:

Semecon Oy

Olli Malkamäki

olli.malkamaki@semecon.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Helmi Uusitalo

helmi.uusitalo@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101032945-001

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	03.10.2025/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	03.10.2025/ Riku Suutari, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.10.2025/ Helmi Uusitalo, Technical Consultant	14.10.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Vääräjoen turbiinityypin muutos ja vain yksi voimalasuunnitelma

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN VÄLKE	11
2.1	Välkevaikutus.....	11
2.2	Välkkeen rajoittaminen.....	11
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	11
2.4	Ohjeavot	12
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS	13
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	13
3.2	Todennäköinen välkevaikutus.....	17
3.3	Teoreettinen välkevaikutus	20
3.4	Yhteenveto	21
4	VÄLKEVAIKUTUKSEN LASKENTAMENETELMÄ	22
5	VIITTEET	24

1 JOHDANTO

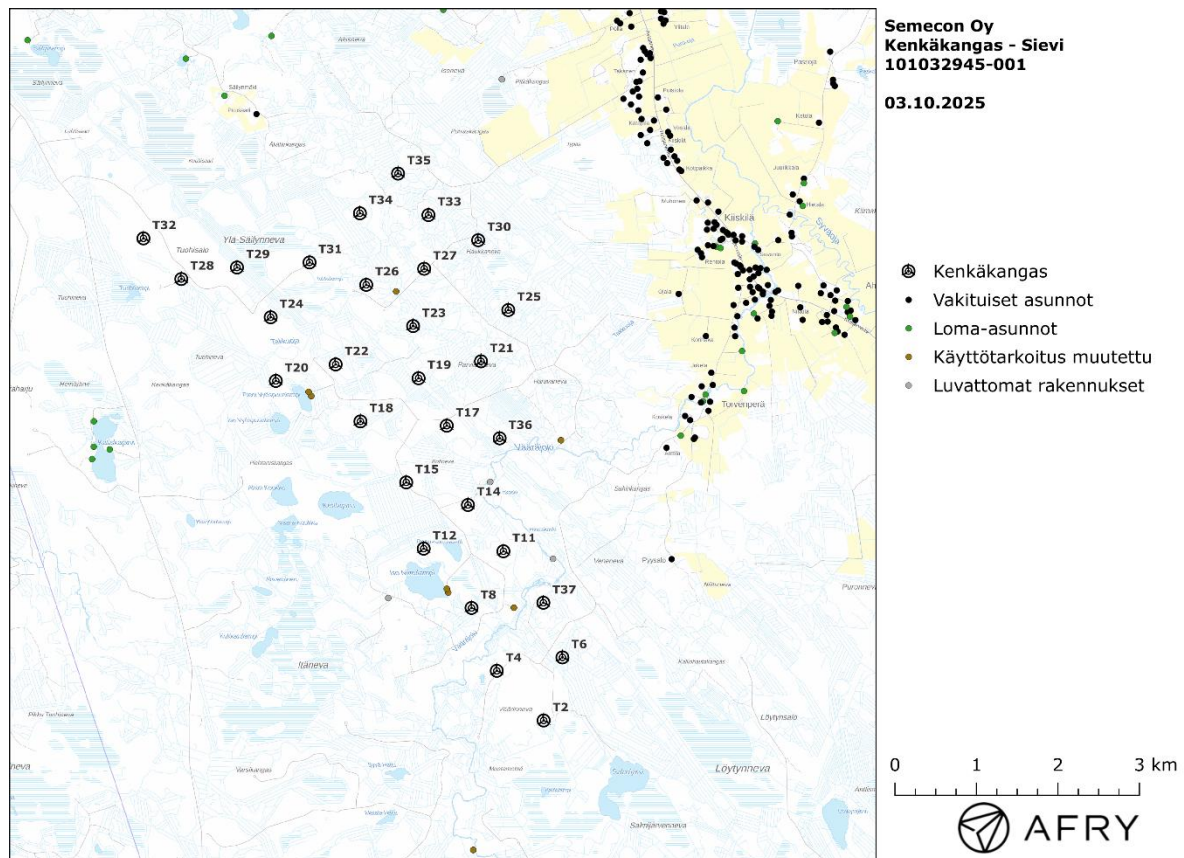
Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston ja läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 29 voimalan suunnitelmalle. Mallinnuksissa on huomioitu Kenkäkankaan lisäksi kolmen tuulivoimapuiston voimalat:

- Vääräjoki, 50 voimalaa (suunnitteilla)
- Toholampi-Lestijärvi, 49 voimalaa (suunnitteilla)
- Tuppuranneva, 4 voimalaa (suunnitteilla)

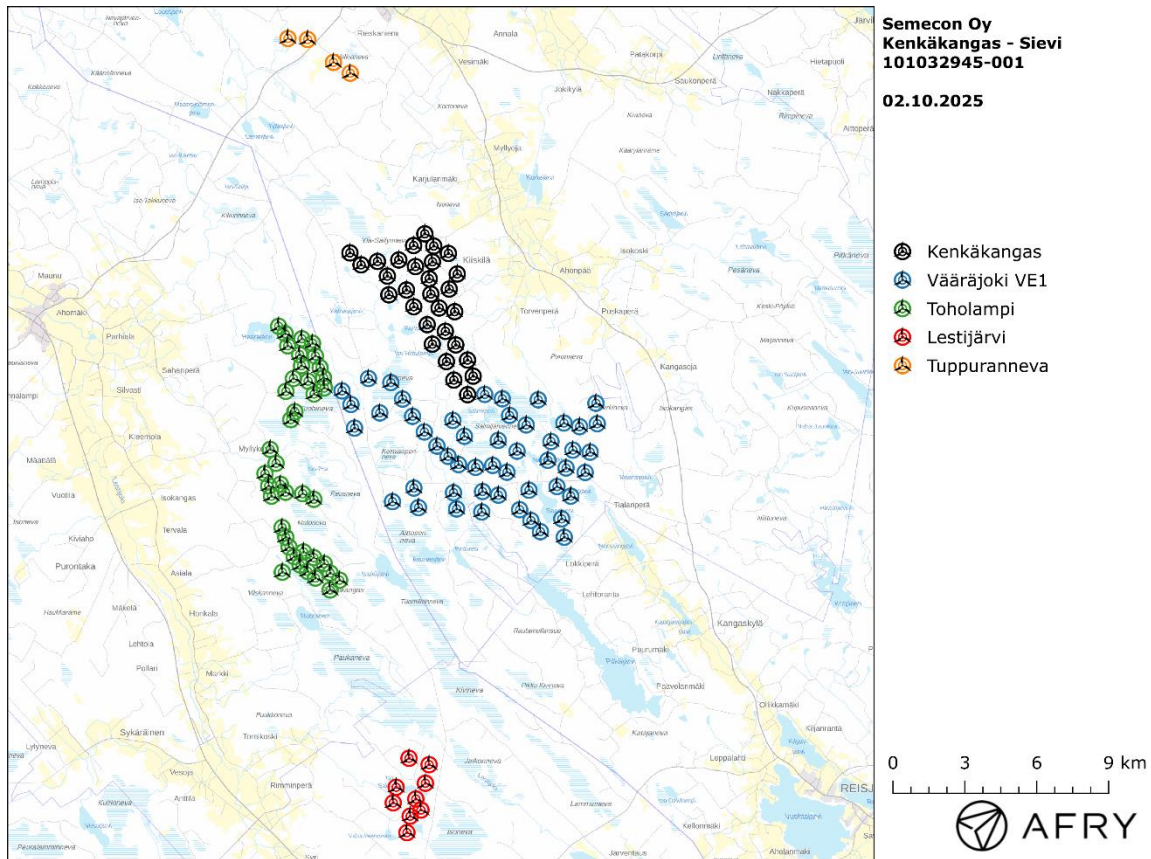
Kenkäkankaan voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1). Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 1-2-Taulukko 1-4) ja niiden sijainti suhteessa Kenkäkankaaseen kuvassa (Kuva 1-2).

Mallinnuksissa Kenkäkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m.

Naapurituulipuistojen voimalamitat on esitetty kappaleessa 3.1.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kenkäkankaan hankealueella.



Kuva 1-2: Tuulivoimaloiden sijainnit Kenkäkankaan ja naapurituulipuistojen hankealueilla.

Taulukko 1-1: Kenkäkankaan tuulivoimaloiden (29 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T2	382419	7071441	125
T4	381844	7072050	125
T6	382650	7072215	124
T8	381534	7072822	124
T11	381926	7073517	119
T12	380947	7073549	124
T14	381490	7074085	117
T15	380733	7074362	124
T17	381230	7075058	124
T18	380171	7075110	124
T19	380885	7075640	118
T20	379133	7075607	126
T21	381651	7075847	113
T22	379867	7075809	121
T23	380817	7076280	113
T24	379070	7076388	123
T25	381986	7076476	113
T26	380242	7076785	119
T27	380953	7076982	119
T28	377973	7076857	129
T29	378656	7076998	122
T30	381616	7077333	113
T31	379546	7077060	127
T32	377508	7077355	138
T33	381006	7077642	118
T34	380165	7077663	118
T35	380632	7078150	115
T36	381879	7074903	115
T37	382416	7072885	121

Taulukko 1-2: Vääräjoen tuulivoimaloiden (50 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
V1	387772	7071085	119
V2	387829	7070231	127
V3	387532	7069045	130
V4	387325	7068198	130
V5	387090	7070107	126
V6	386810	7069131	129

V7	386527	7068384	132
V8	386149	7067610	131
V9	386722	7067210	135
V10	386345	7066263	131
V11	386452	7065497	131
V12	385456	7065728	130
V13	385061	7066194	131
V14	384591	7066645	135
V15	384978	7067457	133
V16	385768	7068703	132
V17	385898	7069489	128
V18	386438	7070259	125
V19	383697	7069537	132
V20	384482	7069084	128
V21	384058	7068207	133
V22	383703	7067250	130
V23	383010	7066550	132
V24	383041	7067403	131
V25	383465	7068491	133
V26	382752	7068410	129
V27	381960	7066675	131
V28	381830	7067355	132
V29	380178	7067545	134
V30	380369	7066732	131
V31	379283	7066980	129
V32	382041	7068526	129
V33	381601	7068870	129
V34	382285	7069705	126
V35	381803	7070370	127
V36	381138	7069299	131
V37	380614	7069887	133
V38	380120	7070538	131
V39	379706	7071258	128
V40	378755	7070681	131
V41	378283	7072116	129
V42	377178	7071600	131
V43	377552	7071034	125
V44	377702	7070049	125
V45	384863	7070181	126
V46	384170	7070577	126
V47	383865	7071270	125
V48	383134	7071453	126
V49	385364	7071228	126

V50	379215	7071947	127
-----	--------	---------	-----

Taulukko 1-3: Toholampi-Lestijärven (49 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
L_49	379973	7056276	145
L_50	380811	7056009	143
L_51	380658	7055234	146
L_52	379437	7055067	146
L_53	380257	7054577	145
L_54	379315	7054419	144
L_55	380472	7054117	148
L_56	380022	7053861	146
L_57	379887	7053174	146
T_01	374534	7074294	115
T_02	374803	7073990	119
T_03	375504	7073774	119
T_04	375949	7073586	117
T_05	374910	7073480	118
T_06	375411	7073107	120
T_07	376068	7073056	121
T_08	375489	7072649	128
T_09	376265	7072570	125
T_10	376405	7072152	129
T_11	375763	7072004	127
T_12	375151	7072115	124
T_13	376436	7071723	128
T_14	376012	7071469	129
T_15	374835	7071581	129
T_17	375210	7070728	128
T_18	375041	7070400	126
T_20	374180	7069159	123
T_21	374425	7068580	128
T_22	373962	7068150	123
T_23	374820	7067372	125
T_24	374607	7067703	124
T_25	374121	7067637	131
T_26	375535	7067313	127
T_27	374235	7067210	127
T_29	376002	7067076	128
T_30	374678	7065899	134
T_31	374830	7065499	136

T_32	374968	7065086	141
T_33	375574	7064883	136
T_34	375183	7064687	140
T_35	376001	7064643	134
T_36	375430	7064338	140
T_37	376438	7064393	133
T_38	375743	7064070	140
T_39	376686	7064000	135
T_40	374687	7064039	139
T_41	377078	7063705	134
T_47	376067	7063792	141
T_48	376682	7063296	146

Taulukko 1-4: Tuppurannevan (4 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TU1	377374	7085225	120
TU2	374922	7086300	115
TU3	375744	7086256	112
TU4	377522	7084850	110

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 tuuli-voimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

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

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

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

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

2.2 Välkkeen rajoittaminen

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

2.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 135 km.

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

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

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [4]. Tässä selvityksessä mallinnettuja välkeajoja verrataan vakiintuneen käytännön mukaan Ruotsin, Tanskan ja Saksan ohjearvoihin. Välkkeen ohjearvoja sovelletaan asutuksen kohdalla, eikä esimerkiksi eläimiin tai luontoon kohdistuvasta välkevaikutuksesta ole ohjearvoja tai arviointikriteerejä.

Tanskassa on määritetty todennäköisen vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 tuntia. Ruotsissa vastaava todennäköisen välkkeen suositusarvo on 8 tuntia vuodessa ja korkeintaan 30 minuuttia päivässä [2]. Saksassa teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ovat korkeintaan 30 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä. Saksassa todellinen vuotuisen välkevaikutus ohjeistetaan rajoittamaan 8 tuntiin, jos voimalaan asennetaan välkkeen hallintatyökalu.

3 TUULIVOIMAKOHTTEEN VÄLKEMALLINNUS

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

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

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

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

Yleensä 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. Tässä selvityksessä välkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu tuulivoimalan muuttuva lapaprofiili.

Välkelaskennassa Kenkäkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Välkemallinnuksissa voimaloiden lavan muoto on skaalattu voimalatyyppistä V162 (roottorin halkaisija 162 m). Samalla kun lavan pituus on skaalattu 86 metriin, lapaa on skaalattu 2 % leveämmäksi kuin voimalatyyppissä V162. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 4.

Välkemallinnuksessa Vääräjoen voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja roottorin halkaisijaa 172 m. Toholampi-Lestijärven voimaloille on käytetty napakorkeutta 189 m ja roottorin halkaisijaa 162 m. Tuppurannevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 137 m ja roottorin halkaisijaa 126 m. Vääräjoen voimaloiden lavan muoto on skaalattu voimalatyyppistä V162. Toholampi-Lestijärven voimaloiden lapaprofiileihin on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa. Tuppurannevan voimaloiden lapaprofiilit on arvioitu voimalatyyppin Vestas V150 valmistajan ilmoittamalla lavan profiilitiedolla, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan 126 metrin roottorin halkaisijaa.

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 ajallisuudella. 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 varjostusaikoja 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	0,158	0,185	0,186	0,126	0,124	0,153

Taulukko 3-2: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

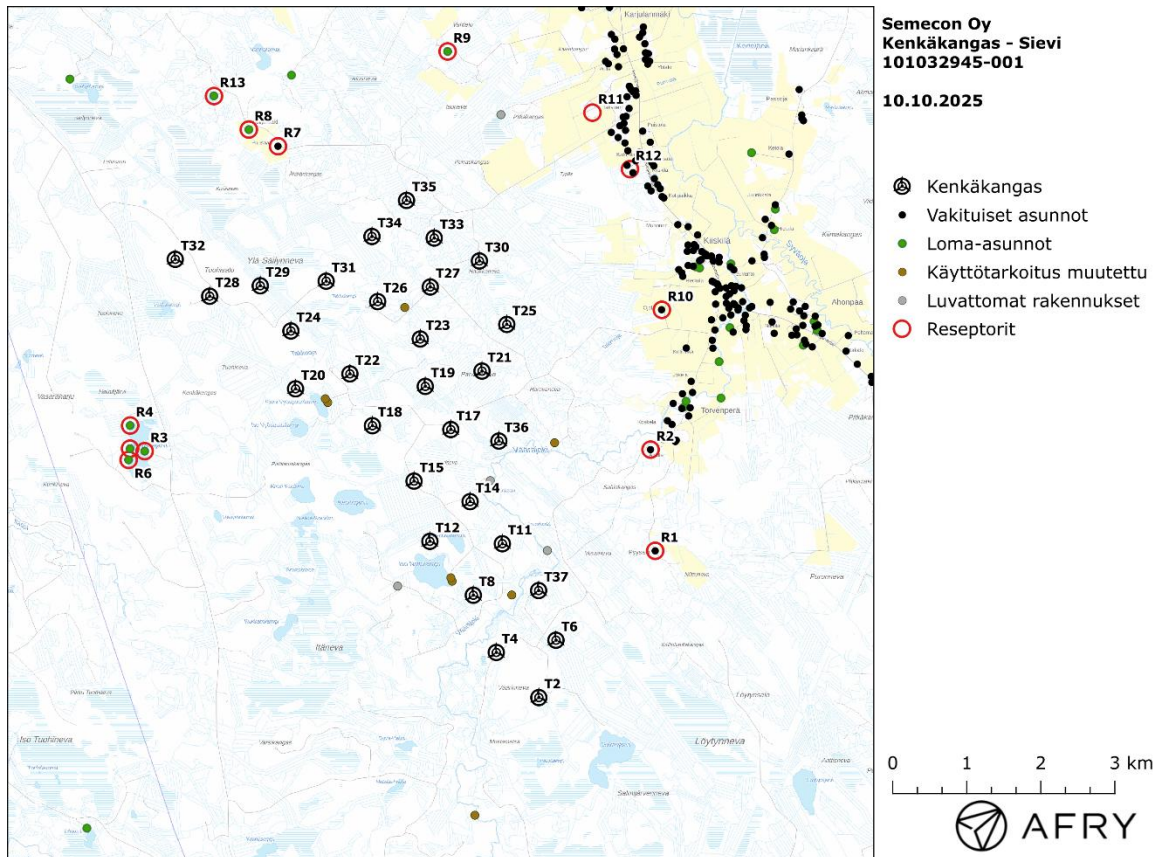
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 3-3) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 pistettä, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin välkevaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1-Kuva 3-2). Reseptorit sijaitsevat noin 1,6–2,6 km etäisyydellä voimaloista.

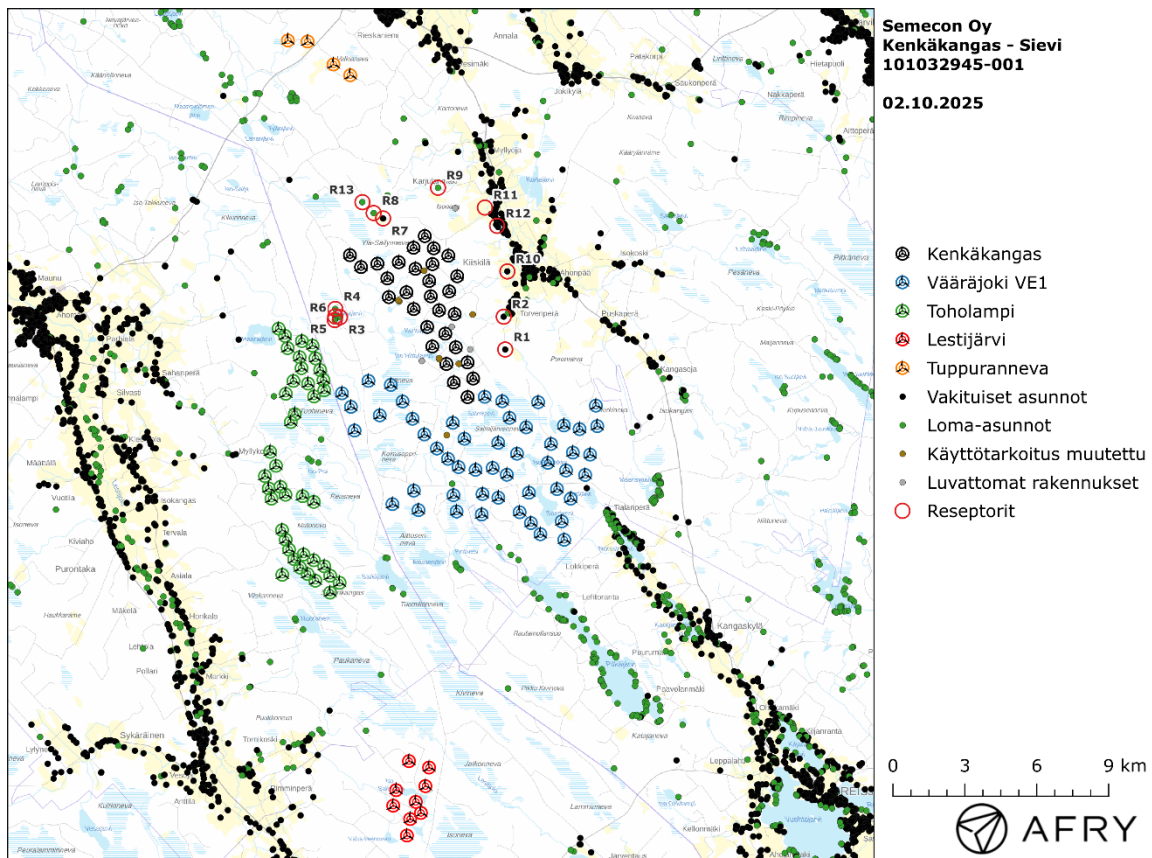
Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan Kenkäkankaan hankealueella on useita loma- ja asuinrakennuksiksi merkittyjä rakennuksia. Asiakkaalta saadun tiedon mukaan näistä asunnoista osa on luvattomia rakennuksia ja osassa käyttötarkoitus on muutettu muuksi rakennukseksi. Välkkeen ohjearvot koskevat pelkästään asuin- ja lomarakennuksia. Luvattomat rakennukset on merkitty karttakuviin harmaalla ja asunnot, joissa käyttötarkoitus on muutettu, on merkitty karttoihin ruskealla.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	383992	7073419	120	vakituinen asuinrakennus
R2	383929	7074785	110	vakituinen asuinrakennus
R3	377096	7074764	135	lomarakennus
R4	376900	7075110	133	lomarakennus
R5	376899	7074798	135	lomarakennus
R6	376880	7074646	133	lomarakennus
R7	378897	7078879	123	vakituinen asuinrakennus
R8	378503	7079104	129	lomarakennus
R9	381188	7080158	106	lomarakennus
R10	384082	7076671	102	vakituinen asuinrakennus
R11	383144	7079332	105	muu rakennus
R12	383651	7078570	101	vakituinen asuinrakennus
R13	378033	7079556	127	lomarakennus



Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kenkäkankaan tuulivoimapuiston läheisyydessä.



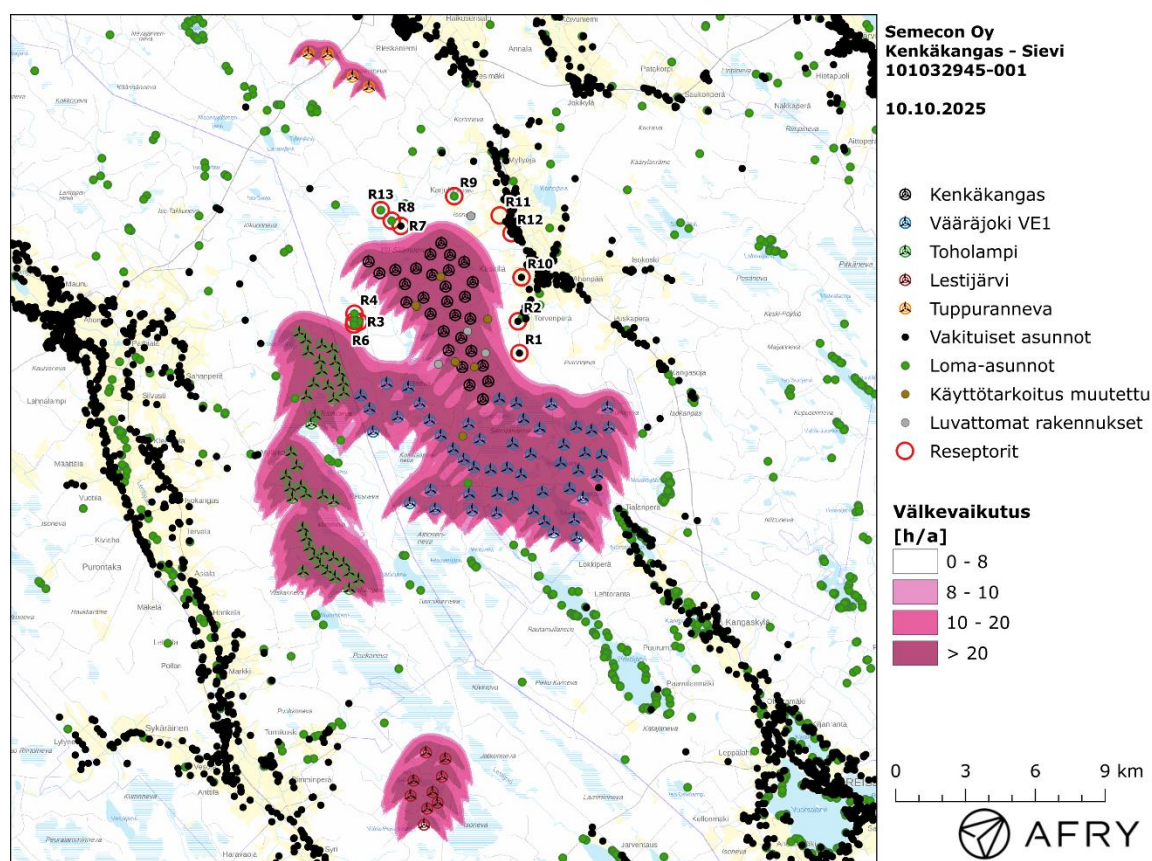
Kuva 3-2: Reseptorien paikat Kenkäkankaan ja naapurituulipuistojen läheisyydessä.

3.2 Todennäköinen välkevaikutus

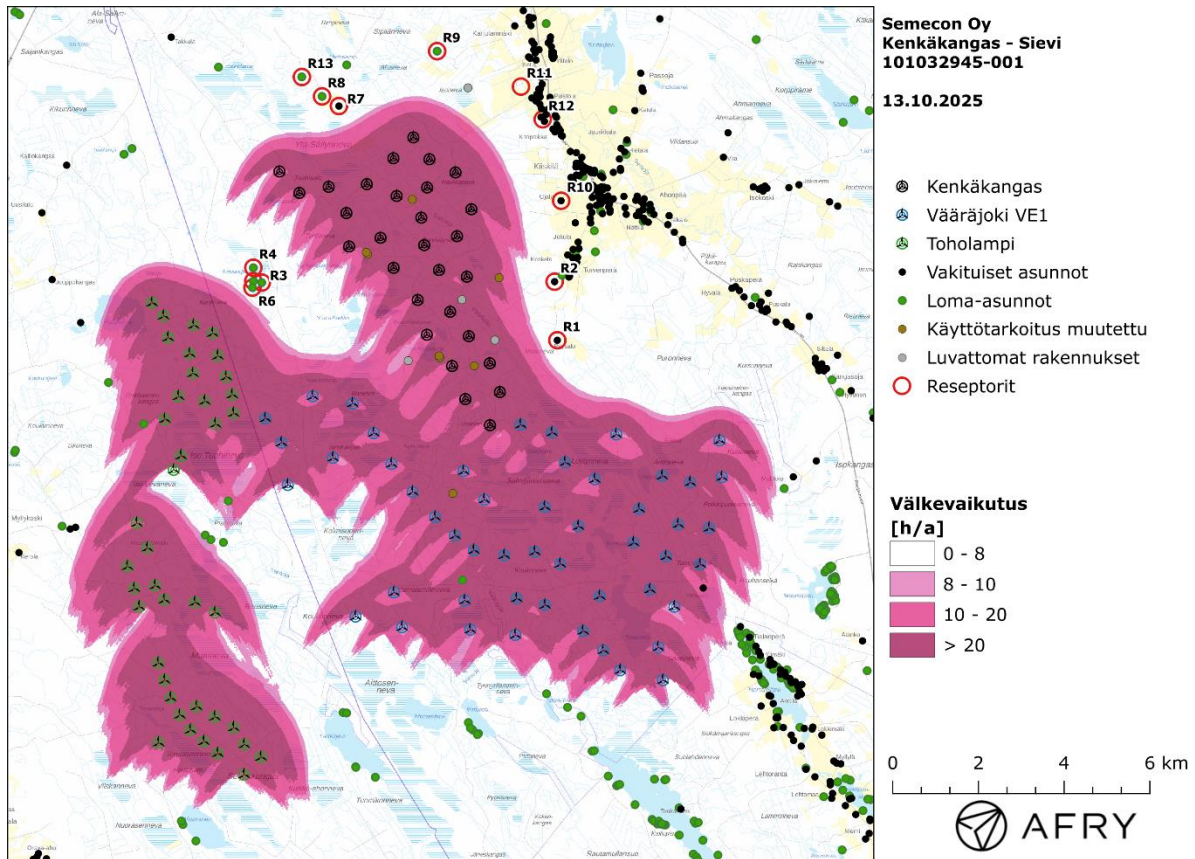
Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvana kuvissa (Kuva 3-3 ja Kuva 3-4). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta tuulivoimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Mallinnusten perusteella vuotuiset todennäköiset välkkeen yhteisvaikutukset jäävät alle 8 tunnin ohjearvon kaikkein tarkasteltujen reseptorien kohdalla. Myös päiväkohtainen todennäköinen välkeaika alittaa 30 minuutin ohjearvon alueen loma- ja asuinrakennusten kohdalla. Kenkäkankaan voimaloilla on välkkeen yhteisvaikutuksia Vääräjoen sekä Toholampi-Lestijärven voimaloiden kanssa, mutta mallinnusten perusteella niistä ei aiheudu ohjearvon ylityksiä. Tuppurannevan voimaloiden kanssa välkkeen yhteisvaikutuksia ei ole, sillä puistot sijaitsevat lähes 8 km etäisyydellä toisistaan. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutusajat ja suurimmat päiväkohtaiset maksimivälkkeet reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4).

Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin R6 kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 3-5). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).



Kuva 3-3: Kenkäkankaan ja naapurituulivoimaloiden aiheuttama todennäköisen välkkeen määrä ilman puuston vaikutusta.



Kuva 3-4: Todennäköinen välkevaikutus Kenkäkankaan tuulivoimapuiston läheisyydessä, kun mallinnuksissa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki, Toholampi-Lestijärvi sekä Tuppuranneva. Karttakuvassa ei näy Tuppurannevan voimaloita eikä Toholampi-Lestijärven Lestijärven puoleisia tuulivoimaloita.

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

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välkeaika	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	3:17	0:06
R2	1:23	0:03
R3	3:20	0:04
R4	2:28	0:04
R5	3:38	0:05
R6	4:39	0:05
R7	3:19	0:03
R8	1:38	0:04
R9	0:30	0:01
R10	0:39	0:03
R11	0:08	0:01
R12	0:10	0:01
R13	0:15	0:01

Taulukko 3-5: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 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	0:10	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:08	0:26	0:00	0:00	0:00	1:34
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24	0:00	0:00	0:00	0:24
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	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09
Kesäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Heinäkuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Elokuu	0:00	0:00	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:06
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:06	0:07	0:00	0:00	0:00	1:13
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:25	0:13	0:00	0:00	0:00	0:00	0:38
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	0:17	0:00	0:00	0:00	0:35	2:44	1:03	0:00	0:00	0:00	4:39

3.3 Teoreettinen välkevaikutus

Teoreettisen maksimivälkkeen vuotuiset ja suurimmat päiväkohtaiset välkevaikutusajat reseptoreiden kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-6). Mallinnusten perusteella teoreettinen vuotuinen maksimivälke ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon reseptorin R6 kohdalla. Saksan 30 minuutin raja-arvo teoreettiselle päiväkohtaiselle maksimivälkkeelle ylittyy reseptorin R7 kohdalla. Ylitykset eivät ole Suomen olosuhteissa merkittäviä, koska ne ovat vähäisiä ja reseptoreiden R6 ja R7 kohdalla teoreettinen maksimivälke ajoittuu pääosin talvikauteen, jolloin auringonpaisteen todennäköisyys on alhainen.

Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen reseptorin R6 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 kohdalla.

Reseptori	Teoreettinen vuotuinen välkeaika	Teoreettisen välkkeen päiväkohtainen maksimi
R1	19:19	0:24
R2	6:44	0:11
R3	19:41	0:23
R4	16:08	0:22
R5	24:12	0:26
R6	30:24	0:28
R7	25:05	0:31
R8	13:48	0:21
R9	5:03	0:12
R10	2:56	0:11
R11	0:56	0:07
R12	0:59	0:07
R13	2:30	0:10

Taulukko 3-7: Teoreettisen maksimivälkkeen ajoittuminen ja kesto tunteina ja minuutteina [h:min] reseptorin R6 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	1:40	2:41	0:00	0:00	0:00	0:00	4:21
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:09	2:29	0:00	0:00	0:00	8:37
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42	0:00	0:00	0:00	1:42
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	0:31	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31
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	0:32	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:00	0:00	0:00	0:27
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	6:48	0:43	0:00	0:00	0:00	7:32
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	4:26	2:16	0:00	0:00	0:00	0:00	6:42
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	1:03	0:00	0:00	0:00	6:06	17:54	5:21	0:00	0:00	0:00	30:24

Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston sekä läheisten naapurituulipuistojen ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Kenkäkankaan lisäksi Vääräjoen sekä Toholampi-Lestijärven ja Tuppurannevan voimalat.

Yhteisvaikutusten 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 kohdalla. Vuotuinen teoreettinen maksimivälke puolestaan ylittää Saksan 30 tunnin raja-arvon yhden reseptorin kohdalla. Myös teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke ylittää Saksan 30 minuutin raja-arvon yhden rakennuksen kohdalla. Nämä teoreettisen maksimivälkkeen ylitykset eivät kuitenkaan ole Suomen olosuhteissa merkittäviä.

4 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 väketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita tuulivoimalan roottorikehien läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Tuulivoimaloiden yhteisvaikutus saadaan summaamalla tuulivoimalakohtaiset väketunnit 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.

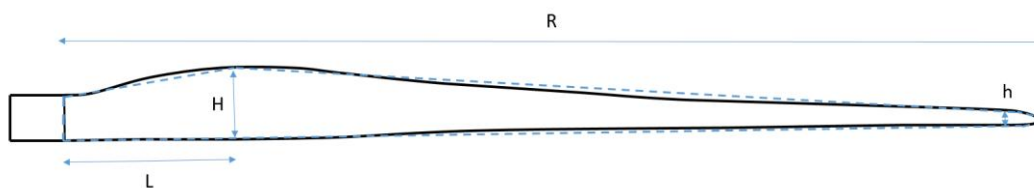
Tuulivoimalan lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle tuulivoimalasta, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu tuulivoimalan lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa 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 4-1) 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 4-1: 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.

5 VIITTEET

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