





**INFINERGIES FINLAND OY**  
Kestilän tuulivoimahanke

Vilkuntaselvitys

Copyright © Pöyry Finland Oy

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

## Sisäinen tarkistussivu

<b>Asiakas</b>	Infinergies Finland Oy
<b>Otsikko</b>	Vilkuntaselvitys
<b>Projekti</b>	Kestilän tuulivoimahanke
<b>Vaihe</b>	Kaavoitus
<b>Työnumero</b>	101002800-002
<b>Piirustus/arkistointi/sarjanro.</b>	101002800-002
<b>Tiedoston nimi</b>	Infinergies_Kestila_vilkuntaselvitys_30052017.doc x
<b>Järjestelmä</b>	Microsoft Word 14.0
<b>Laatijat</b>	Ilona Välimaa
<b>Vastaava yksikkö</b>	Energia / Tuulivoima ja aurinkoenergia
<b>Alkuperäinen raportti</b>	
Dokumentin pvm	30.5.2017
Laatija/asema/allekirj.	Ilona Välimaa / Vilkunta-asiantuntija
	
Dokumentin pvm	11.5.2017
Tarkistaja/asema/allekirj.	Iida Sointu / Vilkunta-asiantuntija
	

## Esipuhe

Tämä raportti on Pöyryn laatima Kestilän tuulivoimahankkeen vilkuntaselvitys, jossa on selvitetty Kestilän tuulivoimahankkeen aiheuttaman varjon vilkunnan vaikutukset puiston lähiympäristöön. Raportissa arvioidaan ilmiötä, jossa tuulivoimalan takaa paistaa aurinko, ja voimala aiheuttaa vilkkuvan varjon. Ilmiöstä käytetään tässä raportissa nimitystä varjostus tai varjon vilkunta. Muissa lähteissä näkyy näiden termien lisäksi käytössä termiä välke. Selvityksen on tilannut Infinergies Finland Oy.

Yhteystiedot

Ilona Välimaa

PL 4 (Jaakonkatu 3)  
FI-01621 Vantaa  
Finland  
Kotipaikka Vantaa  
Y-tunnus 0625905-6  
Puh. +358 10 3311  
Faksi +358 10 33 21845  
[www.poyry.fi](http://www.poyry.fi)

Pöyry Finland Oy

## Sisältö

### Esipuhe

<b>1</b>	<b>YLEISTÄ</b>	<b>3</b>
1.1	Varjon vilkkuminen	3
1.2	Sovellettavat raja- ja ohjearvot	4
<b>2</b>	<b>ARVIOINTIMENETELMÄT JA EPÄVARMUUDET</b>	<b>5</b>
2.1	Arvioinnin epävarmuudet	6
<b>3</b>	<b>VAIKUTUSTEN ARVIOINTI</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>LOPPUPÄÄTELMÄT</b>	<b>9</b>
	<b>KIRJALLISUUSVIITTEET</b>	<b>9</b>

## 1 YLEISTÄ

Infinergies Finland Oy suunnittelee 9 voimalan Kestilän tuulipuistoa. Oheisessa taulukossa on esitetty tässä mallinnuksessa käytetyt tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit (Taulukko 1-1).

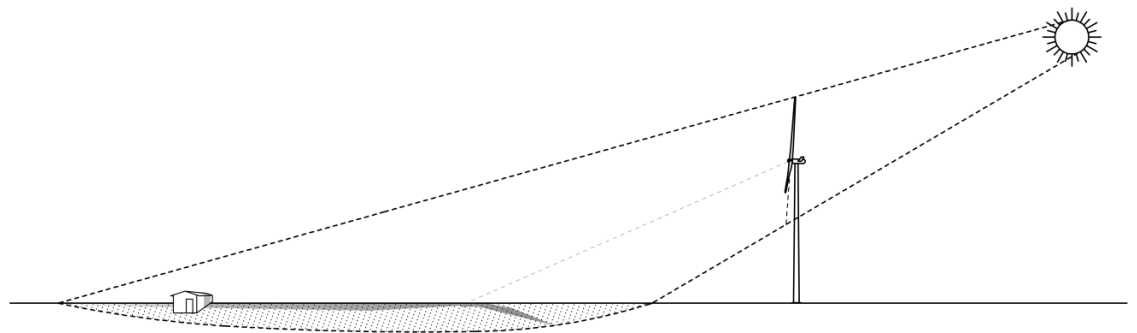
Hankealueen läheisyydessä sijaitsee asuin- ja lomarakennuksia, joihin tuulivoimalat mahdollisesti aiheuttavat varjon vilkuntaa. Tämän selvityksen tarkoituksena on selvittää tuulipuiston varjonvilkuntavaikutus lähimpiin asuin- ja lomarakennuksiin.

**Taulukko 1-1. Mallinnuksessa käytetyt Kestilän tuulipuiston voimaloiden sijainnit (ETRS-TM35FIN koordinaatistossa).**

Voimala	Itäkoordinaatti	Pohjoiskoordinaatti
	(m)	(m)
1	473793.45	7128162.31
2	474208.43	7127430.45
3	473065.18	7127817.15
4	474615.23	7128023.03
5	473397.25	7127192.69
6	471996.22	7126884.43
7	472762.53	7126659.33
8	473508.75	7126331.72
9	472060.53	7126167.52

### 1.1 Varjon vilkkuminen

Varjon vilkkumisesta käytetään yleisesti myös termejä varjostus tai välke. Tuulivoimala voi aiheuttaa lähiympäristöönsä varjon vilkuntaa, kun auringon valo osuu käynnissä olevan tuulivoimalan pyöriviin lapoihin. Tällöin lapojen pyöriminen aiheuttaa liikkuvan varjon, joka voi ulottua jopa 1–3 kilometrin päähän. Vilkkunnan kantama ja kesto riippuvat siitä, missä kulmassa auringon valo osuu lapoihin, lapojen pituudesta ja paksuudesta, tornin korkeudesta, maaston muodoista, ajankohdasta sekä näkyvyyttä vähentävistä tekijöistä kuten kasvillisuudesta ja pilvisyydestä. Tuulipuistojen lähiympäristöön leviävä varjon vilkunta tapahtuu usein juuri auringonnousun jälkeen tai auringonlaskua ennen, jolloin voimaloiden varjot ylettyvät pisimmälle. Muulloin varjot jäävät lyhyiksi voimaloiden läheisyyteen. Tuulivoimalan aiheuttama varjon vilkunta saattaa aiheuttaa häiriötä esimerkiksi voimaloiden läheisyydessä asuville ihmisille. Ilmiötä on havainnollistettu seuraavassa kuvassa (Kuva 1-1).



**Kuva 1-1. Havainnollistus varjon vilkkunnasta. Tuulivoimala voi aiheuttaa lähiympäristöönsä varjon vilkuntaa, kun auringon valo paistaa tuulivoimalan takaa ja osuu käynnissä olevan tuulivoimalan pyöriviin lapoihin.**

Vilkuntamallinnus voidaan tehdä niin kutsutulla konservatiivisella laskentamenetelmällä, jossa voimalan roottorin oletetaan pyörivän jatkuvasti ja olevan kohtisuorassa auringonsäteitä vastaan. Laskentamenetelmä ei huomioi varjon vilkuntaa vähentäviä tekijöitä, kuten pilvisyyttä. Tätä kutsutaan **teoreettiseksi vilkunnaksi**. Jotta saataisiin realistisempi kuva odotettavissa olevasta vilkunnan määrästä, voidaan mallinnus suorittaa myös huomioiden pitkän aikavälin auringonpaistetilat ja alueen tuulusuusjakauma. Tätä puolestaan kutsutaan **realistiseksi vilkunnaksi**.

## 1.2 Sovellettavat raja- ja ohjearvot

Suomessa ei ole raja-arvoja koskien tuulivoimaloista aiheutuvaa vilkkumisvaikutusta tai olemassa olevia suosituksia sen mallintamisesta. Ympäristöhallinnon ohjeen (*Ympäristöministeriö 2012*) mukaan Suomessa vilkunnan vaikutusten arvioinnissa on suositeltavaa käyttää apuna muiden maiden suosituksia. Vilkkumisvaikutusten arvioinnin taustaksi esitellään seuraavassa Saksassa, Ruotsissa ja Tanskassa käytössä olevia raja-arvoja, ohjeita ja suosituksia.

### Ohjeistus Saksassa

Saksassa on annettu yksityiskohtaiset ohjeet vilkkumisvaikutuksen raja-arvoista ja mallinnuksesta (*WEA-Shcattenwurf-Hinweise 2002*). Saksan ohjeistuksessa annetaan kolme erilaista raja-arvoa suurimmalle sallitulle tuulipuistosta syntyvälle vilkuntavaikutukselle:

- korkeintaan 30 tuntia vuodessa niin sanotussa teoreettisessa maksimitilanteessa
- korkeintaan 30 minuuttia päivässä niin sanotussa teoreettisessa maksimitilanteessa
- mikäli voimalan automaattinen säätely on käytössä, niin sanottu realistinen vilkkumisvaikutus tulee rajoittaa korkeintaan kahdeksaan tuntiin vuodessa.

### Ohjeistus Ruotsissa

Ruotsissa ei ole virallisia raja-arvoja vilkkumisvaikutukselle, vaan ainoastaan suositukset (*Boverket 2009*), jotka perustuvat Tanskassa olevaan ohjeistukseen. Näiden mukaan niin sanotussa teoreettisessa maksimitilanteessa vilkkumisvaikutusta saa syntyä korkeintaan 30 tuntia vuodessa. Niin sanottu realistinen vilkkumisvaikutus saa suositusten mukaan olla korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

### Ohjeistus Tanskassa

Tanskassa on suositus (*Danish Wind Industry Association*), että niin sanotussa realistisessa tilanteessa vilkkumisvaikutusta saa syntyä korkeintaan 10 tuntia vuodessa.

## 2 ARVIOINTIMENETELMÄT JA EPÄVARMUUKSET

Tuulipuiston aiheuttaman varjon vilkunnan vaikutuksia arvioitiin laskennallisin menetelmin käyttäen tähän tarkoitukseen kehitettyä WindPRO-ohjelmiston SHADOW-mallinnusmoduulia. Tuulipuistoa ja sovellettua tuulivoimalamallia koskevat parametrit olivat:

- Yksi hankkeen toteutusvaihtoehto: 9 voimalaa
- Tuulivoimaloiden napakorkeus on 170 metriä
- Tuulivoimaloiden roottorin halkaisija 160 metriä (voimaloiden kokonaiskorkeus tällöin 250 metriä)<sup>1</sup>

Laskentamalli huomioi hankealueen sijainnin (auringonpaistekulma ja päivittäinen valoisa aika), tuulivoimaloiden sijoitussuunnitelman, voimaloiden aiheuttaman vilkunnan yhteisvaikutuksen, tuulivoimaloiden mittasuhteet (napakorkeus, roottorin halkaisija ja lapaprofiili), maaston korkeuskäyrät sekä valitut laskentaparametrit (Taulukko 2-1)

Määritellyillä laskentaparametreilla sekä oletuksella, että voimalan roottorin oletetaan pyörivän jatkuvasti ja olevan kohtisuorassa auringonsäteitä vastaan, saadaan arvio aiheutuvasta vilkunnan teoreettisesta maksimimäärästä.

**Taulukko 2-1. WindPRO-ohjelmiston SHADOW-mallinnuksessa sovelletut laskentaparametrit.**

Laskennan aikaresoluutio	<b>1 minuutti</b>
Laskentasäde tuulivoimalan ympärillä	Etäisyys, jolla vähintään 20 prosenttia auringosta on tuulivoimalan lavan peittämä huomioidulla minimikulmalla. Laskentasäde tarkasteltavilla voimaloilla on <b>2297 metriä</b> .
Auringon korkeus merenpinnasta – huomioitu minimikulma	<b>3 astetta</b> (Mikäli auringonpaistekulma on alle 3 astetta, auringon valon oletetaan siroavan ilmakehässä niin paljon, ettei se aiheuta havaittavia varjoja.)
Maaston korkeusvaihteluiden vaikutus näkemiseen	<b>Huomioitu</b> eli vilkuntaa voi aiheutua havaintopisteeseen ainoastaan, mikäli maaston korkeusvaihtelut eivät estä näköyhteyttä tuulivoimalaan.
Puuston vaikutus näkemiseen	<b>Ei huomioitu</b>
Havaintokorkeus	<b>1,5 metriä</b>

Laskentamenetelmä ei automaattisesti huomioi varjon vilkuntaan vaikuttavia ylimääräisiä tekijöitä, kuten pilvisyyttä. Jotta saataisiin parempi kuva odotettavissa olevasta vilkunnan todellisesta määrästä, on laskettu myös **realistinen arvio vilkunnan määrästä**. Realistinen arvio ottaa huomioon paikallisen tuulijakauman sekä auringonpaistehavainnot (verrannollinen alueen leveyspiiriin ja pilvisyyshavaintoihin). Tuulennopeusjakaumasta saadaan laskettua osuus ajasta, jolloin voimala ei pyöri, koska tuulennopeus on joko liian alhainen tai liian korkea suhteessa voimalatyypin käyntiväliin. Paikallinen tuulensuuntajakauma vaikuttaa roottorin suuntaukseen ja edelleen mallinnuksen laskentasäteeseen valittujen laskentaparametrien mukaisesti (Taulukko 2-1). Tuulensuuntajakauma on saatu Suomen Tuuliatlakselta (*Ilmatieteen laitos 2009*). Mallinnuksessa käytetyt auringonpaistetilat on saatu Oulunsalosta,

<sup>1</sup> Mallinnuksessa sovellettu Gamesa G128 -voimalan lapaprofiilia skaalattuna 160 metrin roottoriseksi.



Oulun lentoaseman sääaseman auringonpaistehavainnoista (kuukausitason keskiarvot) vuosilta 1981–2010 (*Pirinen ym. 2012*).

Tulosten havainnollistamista varten määritettiin niin kutsuttuja reseptoripisteitä (lähellä tuulivoimaloita sijaitsevia asuinkehteitä), joille laskettiin yksityiskohtaisemmat tulokset. Reseptoripisteiden oletettiin olevan ”kasvihuonetyyppisiä”, jolloin joka suunnasta tuleva vilkunta otetaan huomioon. Reseptoripisteiden (voidaan kuvitella havainnollistavan talon ikkunaa) leveys on yksi metri, korkeus yksi metri ja etäisyys maanpinnasta kaksi metriä. Reseptoripisteitä valittiin hankealueen ympäriltä 4 kappaletta (nimetty A–D) ja ne ovat läheisiä asutuskehteitä hankealueen ympärillä.

Vilkuntamallinnuksen tuloksena saadaan varjon vilkunnan esiintymisen määrä ja ajankohta tarkastellulle tuulipuiston toteutusvaihtoehdolle. Mallinnuksen tulokset saadaan karttakuvina ja numeerisina arvoina reseptoripisteille.

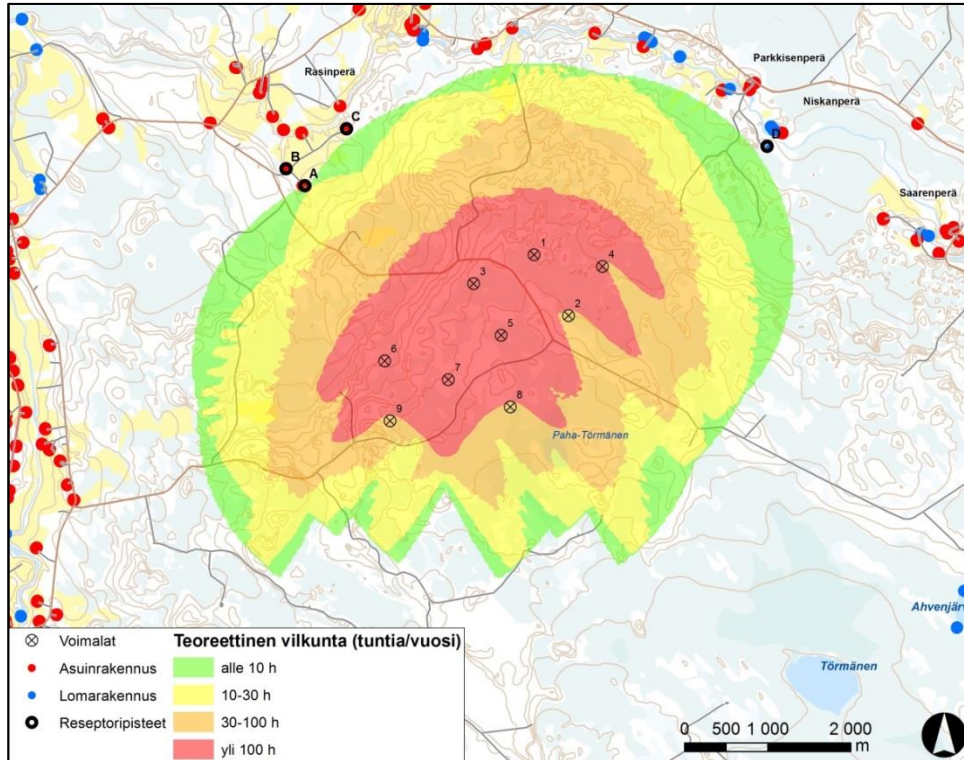
## 2.1 Arvioinnin epävarmuudet

Varjon vilkunnan teoreettista maksimimäärää mallinnettaessa lapojen oletetaan pyöriävän jatkuvasti ja roottorin olevan kohtisuorassa aurinkoon nähden aiheuttaen maksimaalisen varjon. Todellisuudessa tuuliturbiineilla on tuulenopeudesta riippuvainen käyntiväli, jolloin liian alhaisilla tai korkeilla tuulenopeuksilla lavat eivät pyöri. Lisäksi todellisuudessa roottorin suuntaus määräytyy havaitun tuulensuunnan perusteella, eikä varjon muodostuminen ole näin ollen aina taattua (lavan on havaitusajasta nähden peitettävä auringosta yli 20 prosenttia, jotta havaittava varjo syntyy). Teoreettinen maksimimäärä edustaa siis selkeästi konservatiivista arviota tuulivoimaloiden aiheuttamasta vilkunnan määrästä.

Tuuliatlaksen mallinnustarkkuus aiheuttaa epävarmuutta realistiseen arvioon tuulenopeus- ja -suuntajakauden käytön kautta. Myös auringonpaistehavaintojen käyttö lisää hieman epävarmuutta, sillä hankealueen etäisyys Oulun lentoasemalle on noin 90 kilometriä. Mallinuksissa ei ole huomioitu kasvillisuuden vähentävää vaikutusta vilkunnan havaitsemiseen, jolloin etenkin kesäaikainen vilkunnan määrä yliarvioidaan.

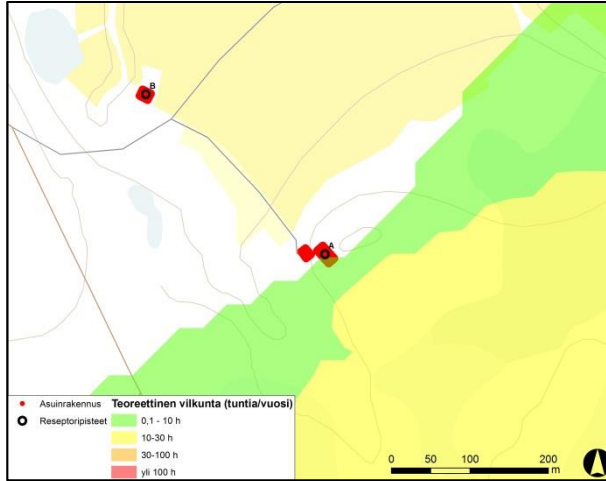
### 3 VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Mallinnuksen tuloksena saatu vilkunnan vuosittainen **teoreettinen määrä** tarkastellulle tuulipuistolle on esitetty alempana (**Kuva 3-1**). Kuvasta nähdään, että varjon vilkunnan määrä on suurta tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä, mutta se vähenee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa.



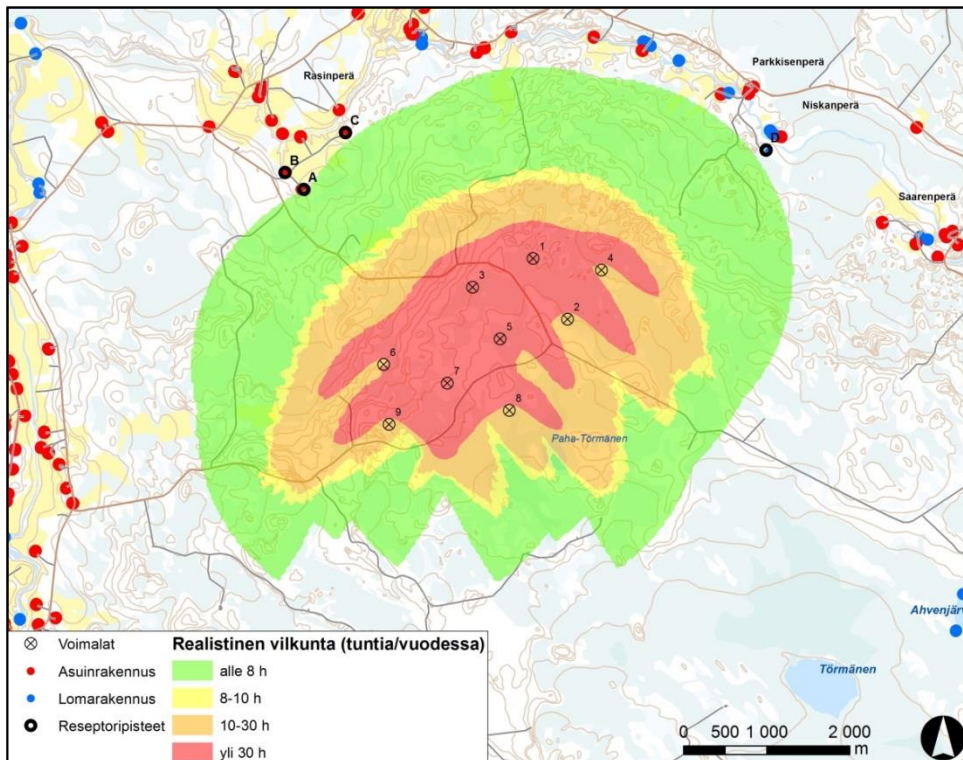
**Kuva 3-1. Varjon vilkunnan teoreettinen maksimimäärä tunteina vuodessa, kun auringonpaistetilastoja ja tuulisuusjakaumaa ei ole huomioitu. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 170 metriä ja roottorin halkaisija 160 metriä.**

Käytettyjen mallinnusparametrien puitteissa varjon vilkunta ylettyy aiemmin esitellyn realistisen mallinnuksen tapaan yhteen asutuskohteeseen (reseptoripiste A). Reseptoripisteessä A olevan asuinrakennus on varjostuksen laskennallisen laskentasäteen reunalla ja kohteen keskipisteeseen asetetussa reseptoripisteessä on vilkunta 0 minuuttia vuodessa. Vuosittaisen vilkunnan 10–30 tunnin raja kulkee lähellä kohdetta mutta vilkunnan määrä on joka tapauksessa vähäistä eikä ylitä ohjearvoja. Lähikuva reseptoripisteestä A löytyy alta (Kuva 2).



**Kuva 2. Lähikuva reseptoripisteestä A. Kohteessa oleva asuinrakennus on varjostuksen laskennallisen laskentasäteen reunalla ja kohteen keskipisteeseen asetetussa reseptoripisteessä on vilkunta teoreettisessa mallinnuksessa 0 minuuttia vuodessa.**

Mallinnuksen tuloksena saatu vilkunnan vuosittainen **realistinen määrä** tarkastellulle tuulipuistolle on esitetty alempana (Kuva 3-3). Kuvasta nähdään, että varjon vilkunnan määrä on suurta tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä, mutta se vähenee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa.



**Kuva 3-3. Varjon vilkunnan realistinen määrä tunteina vuodessa, kun auringonpaistetilastot on huomioitu. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 170 metriä ja roottorin halkaisija 160 metriä.**

Käytettyjen mallinnusparametrien puitteissa varjon vilkunta ylettyy yhteen asutuskohteeseen (reseptoripiste A), joka on aivan käytetyn voimalamallin mukaisen laskentasäteen (2297 m) ulkoreunalla. Etäisyys muihin asutuskohteisiin on siis yli 2297 metriä. Reseptoripisteessä A sijaitsevan rakennuksen keskipisteessä olevassa reseptoripisteessä on vilkunnan määrä 0 minuuttia vuodessa. Laskentaepävarmuudet huomioiden varjon vilkunta voi ylettyä kohteeseen. Vilkunnan määrä on joka tapauksessa vähäistä eikä ylitä ohjearvoja.

**Kestilän hankkeen ympäristöön aiheuttamat vilkuntamäärät eivät teoreettisen tai realistisen mallinnuksen mukaan ylitä sovellettavia vertailuarvoja missään asutuskohteessa ja vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä.**

#### 4

### LOPPUPÄÄTELMÄT

Tarkastellulla sijoitusvaihtoehdolla ja voimalamitoilla reseptoripisteissä (lähimmissä asutuskohteissa) havaittu vilkuntamäärä ei ylittänyt aiemmin esiteltyjä muiden maiden raja-arvoja. Varjon vilkuntamallinnuksen tulosten perusteella hankealueen läheisyydessä varjon vilkunta on vähäistä tarkastellulla sijoitussuunnitelmalla, voimalatyypillä ja napakorkeudella. Hankkeesta syntyvän varjon vilkunnan vaikutukset lähialueen asutuskohteissa arvioidaan vähäisiksi mallinnusepävarmuuksien puitteissa.

### KIRJALLISUUSVIITTEET

**Boverket 2009.** Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden.

**Danish Wind Industry Association.** Planning and regulation: shadow flicker. [[http://www.windpower.org/en/policy/planning\\_and\\_regulation.html](http://www.windpower.org/en/policy/planning_and_regulation.html)] (4.4.2014).

**Ilmatieteen laitos 2009.** Suomen Tuuliatlas.

**Pirinen ym. 2012.** Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja No. 2012:1, Ilmatieteen laitos.

**Ympäristöministeriö 2012.** Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriön ohjeita 4/2012.

**WEA-Schattenwurf-Hinweise 2002.** Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen.