



Type of document

Muistio

Chapter

Page No.

1

Project, Assignment, Subject

# Jokela ja Mäkikangas Varjostustunnit, WindPro Shadow mallinnus

Addressee

Rev.

1.2

Issuer

Karoliina Joensuu  
wpd Finland Oy

Date

2011 05 31

Date of rev.

2011 07 20

Discipline, Dept

Onshore, Finland

## Johdanto

SHADOW on yksi WindPro-ohjelmiston mallinnusmoduuleista, jolla voidaan mallintaa kuinka usein ja minkälaisin aikavälein tiettyyn pisteeseen, kuten rakennukseen tai asuinalueeseen, osuu yhdestä tai useammasta tuulivoimalasta syntyvä varjo.

Mallinnus voidaan tehdä niin sanotulle pahimmalle mahdolliselle tilanteelle, jolloin laskenta perustuu ainoastaan auringon sijaintiin suhteessa tuulivoimaloihin. Tällöin mallinnuksen tuloksena saadaan teoreettinen suurin mahdollinen varjostusvaikutus, joka tuulivoimaloista voi syntyä. Todellisuudessa tuulivoimalasta ei synny varjoa pilvisellä säällä eikä myöskään silloin, kun voimalan roottori on tuulensuunnasta johtuen suoraan sivuttain auringon ja varjon mahdollisena kohteena olevan pisteen välissä.

Mallinnuksessa on myös mahdollista huomioida mallinnettavan alueen todelliset auringonpaistetunnit (perustuen pitkän aikavälin tilastoihin), jolloin mallinnuksen tulokset vastaavat paremmin todellista tilannetta. Jokelan ja Mäkikankaan tuulipuistojen ympäristövaikutusten arviointia varten mallinnus on tehty sekä ns. pahimmalle mahdolliselle tilanteelle sekä todellisiin auringonpaistetunteihin perustuen. Todellisiin auringonpaistetunteihin perustuvassa mallinnuksessa ei ole huomioitu puuston peittävää vaikutusta, joten myös sen tulokset ovat todellista tilannetta liioittelevia (konservatiivisia).

Mallinnuksen tuloksena saadaan kartta, jolla on esitetty vyöhykkeet, joille kohdistuu tietty määrä varjostustunteja vuodessa. Lisäksi tuulipuiston ympäristöön voidaan määritellä havaintopisteitä (kuten asuinrakennuksia), joihin kohdistuva vaikutus mallinnetaan tarkasti niin, että tuloksena tiedetään milloin (päivämäärä ja kellonaika) ja kuinka pitkään havaintopisteeseen voi kohdistua tuulivoimaloista aiheutuvaa varjostusvaikutusta.

## Mallinnusmenetelmä (Shadow)

Shadow mallintaa auringon sijainnin suhteessa tuulivoimalan roottoriin sekä tästä syntyvän varjon koko kalenterivuodelle minuutin tarkkuudella. Jos tuulivoimalan roottorista syntyvä varjo minään hetkenä osuu määriteltyyn havaintopisteeseen, lasketaan tästä syntyvän vähintään minuutin varjostusvaikutus.

### Havaintopisteet

Havaintopisteet (*Shadow receptors*) ovat kohteita, joihin syntyvää varjostusvaikutusta mallinnetaan.

Havaintopisteille määritellään seuraavat ominaisuudet:

- Havaintopisteen eli ikkunan korkeus maanpinnasta sekä sen koko (korkeus ja leveys)
- Ikkunan kallistus suhteessa vaakasuoraan (valittavana pystysuora, vaakasuora tai ns. kattoikkuna (45°))
- Ikkunan suuntaus suhteessa ilmansuuntiin

On myös mahdollista valita havaintopisteeksi kasvihuone-tyyppinen kohde. Tällöin havaintopisteelle mallinnetaan mistä tahansa suunnasta syntyvä vaikutus.

Jokelan ja Mäkikankaan tuulipuistojen mallinnuksissa havaintopisteet on määritelty kasvihuone-tyyppisiksi, jolloin niiden suuntauksella suhteessa tuulivoimaloihin ei ole merkitystä. Havaintopisteiden korkeus maanpinnasta on 2 metriä ja ne ovat kooltaan 1 metri x 1 metri.

# Jokela ja Mäkikangas Varjostustunnit, WindPro Shadow mallinnus

## Mallinnuksen lähtökohdat

Suomessa ei ole määritelty raja- tai ohje-arvoja tuulivoimaloista syntyvälle vilkkumisvaikutukselle. Näin ollen myöskään mallinnuksesta ei ole ohjeita. Jokelan ja Mäkikankaan tuulipuistojen varjostusvaikutuksen mallinnuksessa onkin soveltuvin osin hyödynnetty Saksassa käytössä olevia mallinnuskäytäntöjä.

Saksalaisten suositusten mukaan vilkkumisvaikutus voi olla merkittävä vain silloin, kun vähintään 20 % auringosta on tuulivoimalan roottorin lavan peittämä. Mallinnuksessa on huomioitu, ettei vilkkumisvaikutusta synny silloin, kun tuulivoimala on niin kaukana havaintopisteestä, ettei tämä ehto täyty (tällöin auringon valo on niin voimakas, ettei havaittavaa varjoa synny).

Mallinnuksessa on oletettu, että auringon on oltava vähintään 3 astetta horisontin yläpuolella, jotta siitä syntyy mallinnettava varjo. Kun aurinko on hyvin matalalla, siitä syntyvä valo on liian hajaantunut synnyttääkseen yhtenäisen varjon.

Mallinnuksen lähtöarvoina käytetään kahta erilaista tilastollista tietoa:

- Tuulivoimaloiden käyntitunnit. Tällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka tuulivoimala on toiminnassa kuhunkin tuulensuuntaan nähden kalenterivuoden aikana.
- Auringonpaistetunnit. Tällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka aurinko paistaa sen noususta laskuun saakka kalenterivuoden kunakin päivänä.

On myös mahdollista huomioida mallinnuksessa tuulivoimaloiden näkyvyyttä estävät metsät, rakennukset yms., jolloin tuulivoimaloista ei voi syntyä varjoa havaintopisteisiin, joihin ne eivät näy.

Jokelan ja Mäkikankaan tuulipuistojen vilkkumisvaikutukset on mallinnettu sekä teoreettiselle pahimmalle mahdolliselle tilanteelle että perustuen realistisiin auringonpaistetunteihin. Auringonpaistetunteina on käytetty pitkän ajan (1971–2000) keskimääräistä tilastoarvoa Kruunupyyn lentokentällä mitatuista auringonpaistetunneista (Taulukko 1). Ohjelmisto arvioi tuulivoimaloiden käyntituntien määrän perustuen Tuuliatlaksen aluetta koskeviin tuulisuustietoihin. Tuulivoimaloiden näkyvyyttä estäviä esteitä ei ole huomioitu kummassakaan mallinnuksessa.

**Taulukko 1. Auringonpaistetunnit Kruunupyyn lentoasemalla, pitkän aikavälin 1971-2000 keskiarvo. Lähde: Drebs, Achim, Nordlund, Anneli, Karlsson, Pirkko, Helminen, Jaakko ja Rissanen, Pauli, 2002. Tilastoja Suomen ilmastosta 1971-2000 - Climatological statistics of Finland 1971-2000**

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Auringonpaistetunteja [h / kk]	27	73	130	196	288	292	273	208	136	76	31	15

## Raja-arvoja ja suosituksia varjon / valon vilkkumisvaikutusten arvioimiseksi

Kuten edellä on mainittu, Suomessa ei ole raja-arvoja tai suosituksia koskien tuulivoimaloista aiheutuvaa vilkkumisvaikutusta tai sen mallinnusta. Vilkkumisvaikutusten arvioinnin taustaksi tässä esitellään Saksassa ja Ruotsissa käytössä olevia raja-arvoja, ohjeita ja suosituksia.

Tietojen lähteenä on käytetty seuraavia:

- "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windnergianlagen" (WEA-Shattenwurf-Hinweise)
- "Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden (Boverket, 2009)"



Type of document

Muistio

Chapter

Page No.

3

Project, Assignment, Subject

# Jokela ja Mäkikangas Varjostustunnit, WindPro Shadow mallinnus

Addressee

Rev.

1.2

Discipline, Dept

Onshore, Finland

Issuer

Karoliina Joensuu  
wpd Finland Oy

Date

2011 05 31

Date of rev.

2011 07 20

## Ohjeistus Saksassa

Saksassa on annettu yksityiskohtaiset ohjeet vilkkumisvaikutuksen raja-arvoista ja mallinnuksesta. Ohjeiden mukaan varjon syntyminen edellyttää seuraavia:

- Auringon kulman suhteessa horisonttiin tulee olla vähintään 3 astetta
- Tuulivoimalan roottorin lavan tulee peittää vähintään 20 % prosenttia auringosta.

Saksan ohjeistuksessa annetaan kolme erilaista raja-arvoa suurimmalle sallitulle tuulipuistosta syntyvälle vilkkumisvaikutukselle:

- Korkeintaan 30 tuntia vuodessa teoreettisessa maksimitilanteessa
- Korkeintaan 30 minuuttia päivässä teoreettisessa maksimitilanteessa
- Mikäli voimalan automaattinen säätely on käytössä, todellinen vilkkumisvaikutus tulee rajoittaa korkeintaan 8 tuntiin vuodessa.

## Ohjeistus Ruotsissa

Ruotsissa ei ole virallisia raja-arvoja vilkkumisvaikutukselle, vaan ainoastaan suositukset, jotka perustuvat Tanskassa olevaan ohjeistukseen. Näiden mukaan teoreettisessa maksimitilanteessa vilkkumisvaikutusta saa syntyä korkeintaan 30 tuntia vuodessa. Todellinen vilkkumisvaikutus saa suositusten mukaan olla korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.