

Mottagare  
Ilmatar Windpower Oy

Dokumenttyp  
Rapport

Datum  
12.5.2015

Referens  
1510014407

# TETOM VINDKRAFTSPARK, LOVISA MODELLERING AV RÖR- LIGA SKUGGOR

# TETOM VINDKRAFTSPARK, LOVISA MODELLERING AV RÖRLIGA SKUGGOR

Datum 12.5.2015  
Skriven av Arttu Ruhanen  
Granskad av Niina Ahlfors

Modellering av rörliga skuggor från vindkraftsprojekt

Innehåller material från Lantmäteriverkets Terrängdatabas  
04/2015.

[http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata\\_lisenssi\\_versio1\\_20120501](http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata_lisenssi_versio1_20120501)

Referens 1510014407

## INNEHÅLL

|         |   |   |
|---------|---|---|
| 1.      | ALLMÄNT   | 1 |
| 2.      | Planeringsriktvärden  | 1 |
| 3.      | Påverkningsmekanismer                                       | 2 |
| 4.      | MODELLERINGSMETOD OCH UTGÅNGSINFORMATION                    | 2 |
| 4.1     | Modelleringsprogram och beräkningsmodell                    | 2 |
| 4.2     | Beräkning av rörliga skuggor                                | 2 |
| 4.3     | Osäkerhet i beräkningarna                                   | 4 |
| 4.4     | Terrängmodell   | 4 |
| 4.5     | Uppgifter om vindkraftverken                                | 4 |
| 5.      | MODELLERINGSRESULTAT OCH TOLKNING AV<br>RESULTATEN          | 5 |
| 6.      | METODER OCH BEHOV ATT MINSKA PÅVERKAN AV<br>RÖRLIGA SKUGGOR | 5 |
| BILAGOR |   | 5 |
| KÄLLOR  |   | 5 |

## 1. ALLMÄNT

Ilmatar Windpower Oy planerar bygga en vindkraftspark på Tetomområdet i Lovisa.

Avsikten med det här arbetet har varit att utreda påverkan av rörliga skuggor från de planerade vindkraftverken i deras omgivning som en del av arbetet med planläggningen. I miljöministeriets guide "Planering av vindkraftsutbyggnad" (Miljöförvaltningens anvisningar 4/2012) kallas de rörliga skuggorna blinkeffekter.

Arbetet har utförts på uppdrag av Ilmatar Windpower Oy. Vid Ramboll svarar arkitekt Niina Ahlfors för utarbetningen av delgeneralplanen. Modelleringen av rörliga skuggor och rapporteringen har gjorts av ing. (YH) Arttu Ruhanen vid Ramboll Finland Oy.

## 2. PLANERINGSRIKTVÄRDEN

I Finland finns inga fastställda gräns- eller riktvärden för förekomsten av rörliga skuggor från vindkraftverk. I miljöministeriets guide Planering av vindkraftsutbyggnad (Miljöförvaltningens anvisningar 4/2012), rekommenderas att man ska ta hjälp av andra länders rekommendationer för begränsning av rörliga skuggor. <sup>[1]</sup>

I olika länder finns planeringsvärden eller gränsvärden för mängden rörliga skuggor vid bostäder eller andra platser som utsätts för skuggorna. I Tyskland har anvisningar (WEA-Schattenwurf-Hinweise) getts för modelleringen samt gränsvärden för en situation med maximal mängd rörliga skuggor och för den verkliga situationen <sup>[2]</sup>. I planeringsanvisningarna i Sverige hänvisas till de tyska anvisningarna, och rekommendationerna är till stor del baserade på de tyska anvisningarna <sup>[3]</sup>. I Danmark har det som anvisning getts att den årliga mängden rörliga skuggor ska begränsas till tio timmar per år <sup>[4]</sup>.

Tabell 2.1. Exempel på andra länders rekommendationer och gränsvärden för förekomst av rörliga skuggor

| Land     | Real Case                 | Worst Case                 |
|----------|---------------------------|----------------------------|
| Tyskland | 8 timmar/år               | 30 timmar/år<br>30 min/dag |
| Sverige  | 8 timmar/år<br>30 min/dag | -                          |
| Danmark  | 10 timmar/år              | -                          |

### 3. PÅVERKNINGSMEKANISMER

Vindkraftverk som är i drift kan ge upphov till rörliga skuggor i sin omgivning, då solen lyser bakom ett vindkraftverks rotorblad mot en viss iakttagelsepunkt. Rotorbladens rotationsrörelse ger då upphov till rörliga skuggor. Skuggornas rörelsehastighet beror på rotorns rotationshastighet.

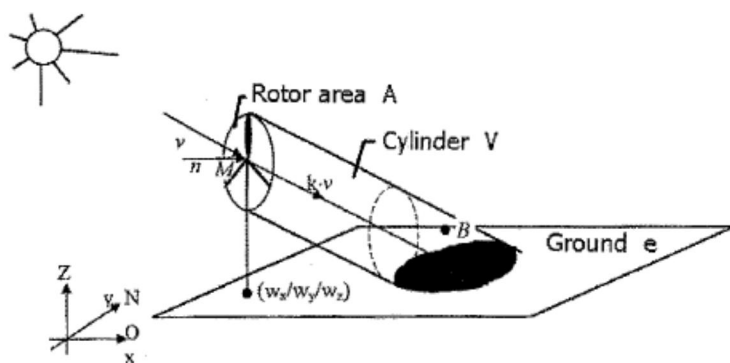
Rörliga skuggor uppkommer beroende på väderförhållandena. Vid en viss iakttagelsepunkt kan rörliga skuggor observeras endast vid vissa belysningsförhållanden och vid vissa tidpunkter på dygnet. Inga rörliga skuggor förekommer när det är mulet eller då vindkraftverket står stilla. Skuggan når längst då solen står lågt. Då solen går tillräckligt lågt ned uppkommer å andra sidan inte mera någon enhetlig skugga. Det här beror på att solstrålarna då måste färdas en längre sträcka genom atmosfären, varvid strålningen sprids. Influensområdet beror på vindkraftverksmodellens dimensioner och rotorbladens form samt väderförhållandena i området.

### 4. MODELLERINGSMETOD OCH UTGÅNGSINFORMATION

#### 4.1 Modelleringsprogram och beräkningsmodell

Området där rörliga skuggor från vindkraftverken förekommer och förekomstfrekvensen beräknades med modulen Shadow i programmet EMD WindPRO 2.9, som beräknar hur ofta och under hurudana perioder en viss plats utsätts för rörliga skuggor från vindkraftverken. Det här programmet används allmänt för modellering av rörliga skuggor från vindkraftverk. Mera information om programmet och en beskrivning av beräkningsmodellen finns i programmets bruksanvisning på <http://www.emd.dk/> [5].

Programmet kan göra två typer av beräkningar, den s.k. Värsta situationen (Worst Case) och den Verkliga situationen (Real Case). Utöver kartan som visar området med rörliga skuggor kan man också beräkna de rörliga skuggorna vid enskilda receptorpunkter.



Figur 4.1.1. Område där rörliga skuggor från ett vindkraftverk förekommer [5]

#### 4.2 Beräkning av rörliga skuggor

Som avstånd mellan beräkningspunkterna valdes 20 meter. Beräkningen gjordes för 1,5 meters höjd, dvs. en människas ungefärliga ögonhöjd. Enligt de tyska anvisningar som användes i beräkningen (och som är det beräknings sätt som allmänt används) är gränsen för solstrålarnas vinkel från horisonten vid beräkning av rörliga skuggor tre grader. Solstrålar som ligger under den gränsen beaktas inte och rotorbladen ska täcka minst 20 % av solen i beräkningen [2].

Beräkningen enligt Worst Case ger den teoretiska maximala mängden rörliga skuggor. I beräkningen antas att solen skiner hela tiden som solen står ovanför horisonten och att vindkraftverket snurrar hela tiden samt att vindriktningen följer solen så att det alltid uppstår maximal mängd rörliga skuggor vid iakttagelsepunkten. Resultatet är teoretiskt, eftersom inga rörliga skuggor uppkommer i omgivningen då det är mulet eller då vindkraftverken står stilla. Rotorns position kan också i hög grad begränsa storleken av det område där rörliga skuggor uppkommer bakom kraftverket. Om vindens riktning får rotorns plan att vrida sig så att det står parallellt

med sträckan mellan solen och iakttagelsepunkten, ger vindkraftverket inte upphov till några rörliga skuggor.

I beräkningarna enligt Real Case beaktas uppgifter om områdets vind- och solförhållanden. Från Worst Case-resultatet görs avdrag på basis av uppgifterna om solförhållanden och driftstimmar (per vindriktningssektor), varvid man får resultatet för Real Case. Som uppgifter om solförhållandena användes uppgifter om medeltal från Meteorologiska institutets väderstation på Kotka Rankö från den klimatologiska jämförelseperioden 1981–2010 [6]. Vindkraftverkens årliga drifttid 95 % baseras på Finlands Vindatlas uppgifter om projektområdet. Vid beräkning av drifttiden har det antagits att vindkraftverken snurrar då vindhastigheten vid navhöjden är minst 3 m/s [7].

Tabell 4.2.1. Genomsnittligt antal soltimmar som använts i beräkningen enligt Real Case under olika månader

| Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | Maj  | Juni | Juli  | Aug  | Sep  | Okt  | Nov  | Dec  |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 1,16 | 2,64 | 4,32 | 6,67 | 9,45 | 9,50 | 10,23 | 7,84 | 5,20 | 2,81 | 1,10 | 0,71 |

Tabell 4.2.2. Årlig drifttid (timmar per år) som använts i beräkningen enligt Real Case per vindriktningssektor

| N   | NNE | ENE | E   | ESE | SSE | S   | SSW  | WSW  | W   | WNW | NNW | Sum  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|
| 554 | 464 | 399 | 351 | 510 | 534 | 732 | 1223 | 1325 | 818 | 768 | 685 | 8363 |

Utöver beräkningen av zoner där rörliga skuggor förekommer i Real Case beräknades också situationen vid en enskild receptorpunkt i projektområdets omgivning.



Figur 4.2.3. Receptorpunkternas lägen

### 4.3 Osäkerhet i beräkningarna

Eftersom beräkningen av Worst Case är baserad på solens position i förhållande till vindkraftverket och iakttagelsepunkten kan beräkningens exakthet anses vara mycket tillförlitlig, då man beräknar de tidpunkter då rörliga skuggor eventuellt kan förekomma. Då avsikten är att förutspå den verkliga förekomsten av rörliga skuggor på området under ett år motsvarar modelleringen enligt Worst Case inte verkligheten. Resultaten för Real Case påverkas av de uppgifter om solförhållandena som använts i modelleringen och den tid som vinden blåser i olika riktningar. Om kraftverkets rotor rör sig färre timmar och solen lyser mindre, minskar detta förekomsten av rörliga skuggor från det som beräknats ovan, och om antalet timmar ökar innebär det att möjligheterna för förekomst av rörliga skuggor ökar i resultaten för Real Case.

Resultaten enligt Real Case i modelleringen beskriver situationen under ett vanligt år. Den verkliga situationen i fråga om rörliga skuggor varierar alltså under olika år, eftersom förekomst av rörliga skuggor vid en viss iakttagelsepunkt vid ett visst ögonblick förutsätter att

- solen lyser bakom vindkraftverkets rotor mot iakttagelsepunkten
- vindkraftverket snurrar och rotorns position möjliggör uppkomst av rörliga skuggor vid den bakomliggande iakttagelsepunkten
- luftens klarhet möjliggör uppkomsten av rörliga skuggor

Modelleringen av Real Case ger bästa möjliga prognos för den kommande situationen i fråga om rörliga skuggor på området. Enligt modelleringsprinciperna ger beräkningen relativt konservativa värden, eftersom modelleringen inte beaktar exempelvis den skymmande effekten av träd och byggnader. Om vindkraftverken inte syns orsakar de inte heller några rörliga skuggor.

### 4.4 Terrängmodell

Terrängmodellen har utarbetats utgående från materialet om höjdnivåerna i Lantmäteriverkets terrängdatabas, där det finns höjdkurvor med 2,5 meters mellanrum. I terrängmodellen beaktades inte träd eller byggnader.

### 4.5 Uppgifter om vindkraftverken

I beräkningarna beaktades 9 vindkraftverk med den placering som framgår av layouten daterad 7.3.2015. Modelleringen gjordes för en vindkraftverksmodell med en navhöjd på 150 meter och rotorns diameter 126 meter. Som maximiaavstånd där rörliga skuggor förekommer användes 1714 m från vindkraftverket, vilket bestäms enligt modelleringsprogrammets uppgifter om kraftverksmodellen Vestas V126-3.3MW.

Tabell 4.5.1. Vindkraftverkens koordinater (ETRS-TM35FIN)

| Nummer | E / lon | N / lat |
|--------|---------|---------|
| 1      | 445015  | 6709071 |
| 2      | 445541  | 6709302 |
| 3      | 445895  | 6709004 |
| 4      | 446112  | 6709690 |
| 5      | 446261  | 6708568 |
| 6      | 446457  | 6709304 |
| 7      | 446772  | 6708864 |
| 8      | 447146  | 6708436 |
| 9      | 447021  | 6709785 |

## 5. MODELLERINGSRESULTAT OCH TOLKNING AV RESULTATEN

En karta över förekomsten av rörliga skuggor enligt beräkningen för Real Case presenteras i bilaga 1. Antalet timmar med rörliga skuggor per år understiger 8 h/år vid alla bostadshus och fritidshus i omgivningen. Enligt modelleringen kan rörliga skuggor förekomma endast vid ett bostadshus.

Utöver beräkningen av zoner där rörliga skuggor förekommer gjordes också beräkningar vid en viss receptorpunkt som ligger vid den enda bostadsbyggnad som finns inom området där rörliga skuggor förekommer. Rörliga skuggor förorsakas av kraftverk 9.

Tabell 5.1. Resultat av beräkningen vid receptorpunkten

| Receptorpunkt | Real Case     | Worst Case    |                           |
|---------------|---------------|---------------|---------------------------|
|               | Timmar per år | Timmar per år | Timmar per dag (maximalt) |
| R1            | 0:55          | 8:59          | 0:18                      |

Den tidpunkt då rörliga skuggor kan förekomma vid receptorpunkten presenteras i kalenderform i bilaga 2. I kalendern anges tidpunkterna som teoretiska tider för maximala rörliga skuggor. Vid bostadshuset i nordost (Björkkärr) kan rörliga skuggor förekomma i januari på eftermiddagen mellan halv tre och tre samt i november efter klockan två under en knapp timme.

## 6. METODER OCH BEHOV ATT MINSKA PÅVERKAN AV RÖRLIGA SKUGGOR

Påverkan av rörliga skuggor från vindkraftverk kan minskas genom tekniska metoder så att rörliga skuggor inte förekommer vid en viss punkt under en längre tid än vad som på förhand har fastslagits. Det här sker genom att vindkraftverken styrs att stanna vid vissa tidpunkter och under vissa förhållanden. Uppkomsten av rörliga skuggor i vindkraftverkens omgivning följs med hjälp av ljussensorer som fästs ovanpå nasellen eller på kraftverkstornet. Dessa beräknar möjligheten för rörliga skuggor i en viss riktning utgående från ljusheten och rotorns position. Systemet stoppar kraftverket vid behov, om mängden rörliga skuggor vid en utsatt plats annars överskrids.

Om 8 eller 10 timmar per år används som gräns för den verkliga mängden rörliga skuggor per år behöver vindkraftverkens drift enligt modelleringen inte begränsas på grund av rörliga skuggor.

De trädbevuxna zonerna begränsar påverkan av rörliga skuggor, men trädbeståndet måste vara tillräckligt tätt och högt samt skydda den utsatta platsen helt. Årstidsvariationerna ska också beaktas beträffande trädbeståndets förmåga att begränsa vindkraftverkens synlighet. Om vindkraftverken inte syns till en viss plats, uppkommer inte heller några rörliga skuggor där.

## BILAGOR

- Bilaga 1 Zoner där rörliga skuggor förekommer enligt en beräkning för Real Case
- Bilaga 2 Kalender över tidpunkter då rörliga skuggor eventuellt kan förekomma vid receptorpunkten

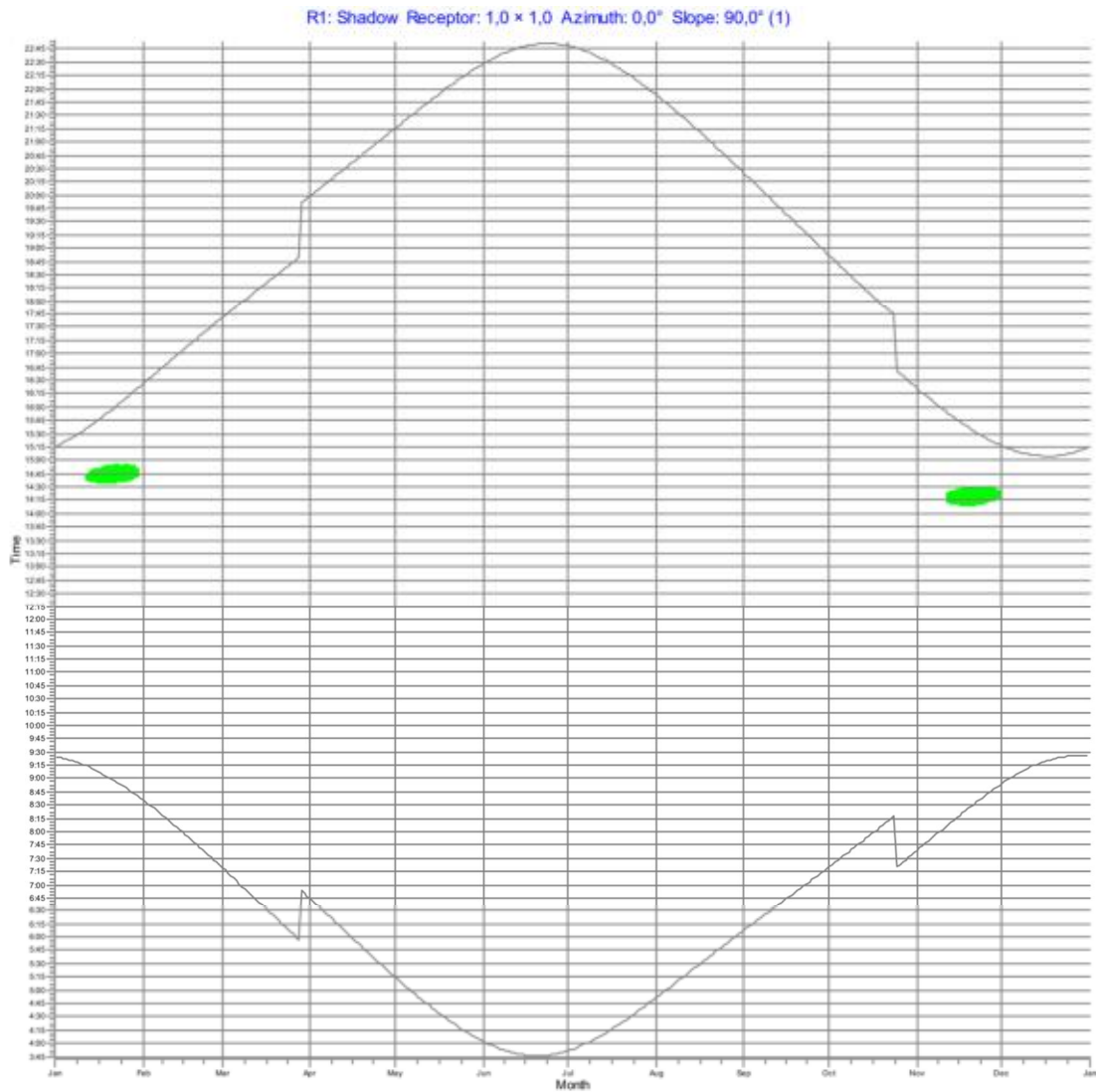
## KÄLLOR

1. Planering av vindkraftsutbyggnad, Miljöförvaltningens anvisningar 4/2012
2. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, WEA-Shattenwurf-Hinweise



3. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden
4. Danish Wind Industry Association
5. WindPRO 2.9 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012: 1
7. Finlands vindatlas

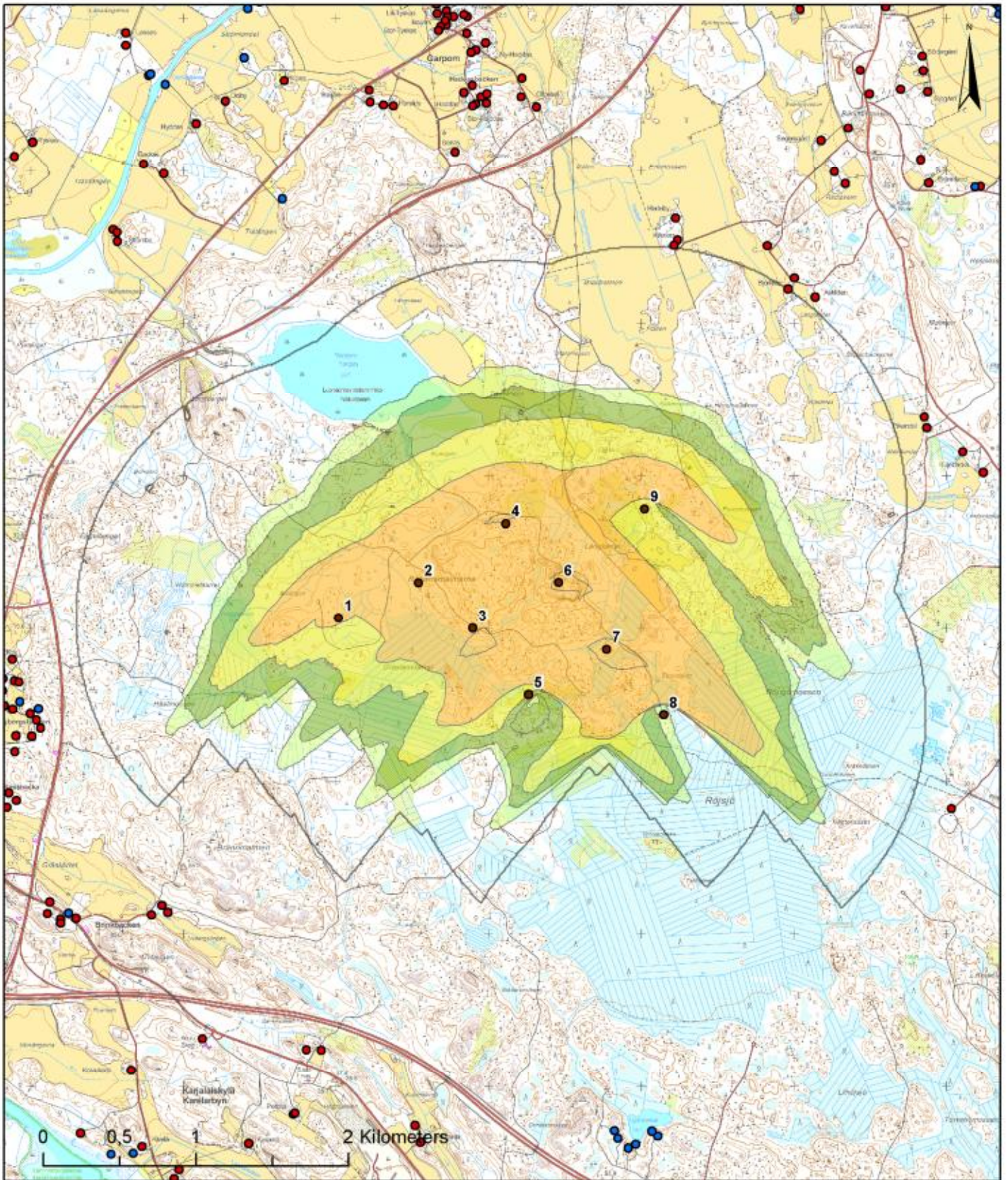
BILAGA 2, DIAGRAM ÖVER TIDPUNKTER



WTGs

9: VESTAS V126-3.3 GridStream 3300 126.0 10f hub: 150,0 m (TOT: 213,0 m) (10)

Årstider och klockslag då rörliga skuggor teoretiskt kan förekomma vid vissa receptorpunkter. Vindstilla eller mulna dagar har inte beaktats i diagrammen. De kraftverk som ger upphov till rörliga skuggor är angivna med olika färg.

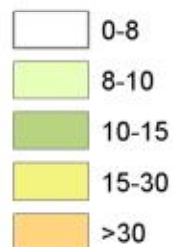


Tetom vindkraftspark, Lovisa  
Modellering av rörliga skuggor (WindPro 2.9)

-preliminär layout 7.3.2015  
-navhöjd 150 m  
-rotordiameter 126 m

A.Ruhanen 23.4.2015

**Real Case-modellering**  
**Timmar med rörliga skuggor per år**



**Teckenbeskrivningar**

- Vindkraftverk
- Bostadshus
- Fritidshus