

Mottagare
Ilmatar Loviisa Oy

Dokumenttyp
Rapport

Datum
15.4.2019

Referens
1510014407

TETOM VINDKRAFTSPARK, LOVISA

MODELLERING AV RÖR- LIGA SKUGGOR

TETOM VINDKRAFTSPARK, LOVISA MODELLERING AV RÖRLIGA SKUGGOR

Datum **15.4.2019**
Skriven av **Arttu Ruhanen**
Granskare **Ville Virtanen**

Modellering av rörliga skuggor från vindkraftsprojekt

Innehåller material från Lantmäteriverkets Terrängdatabas 03/2019.

Referens 1510014407

INNEHÅLL

1.	ALLMÄNT	1
2.	Referensvärden	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	3
4.4	Terrängmodell	3
4.5	Uppgifter om vindkraftverken	3
5.	MODELLERINGRESULTAT	4
6.	SAMMANDRAG OCH SLUTSATSER	5
BILAGOR		5
KÄLLOR		5

1. ALLMÄNT

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

Avsikten med det här arbetet har varit att utreda påverkan av rörliga skuggor (Shadow flicker) från de planerade vindkraftverken i deras omgivning som en del av arbetet med planläggningen. I miljöministeriets guide "Planering av vindkraftsutbyggnad" (Miljöförvaltningens anvisningar 5/2016) kallas de rörliga skuggorna blinkeffekter.

Arbetet utfördes på uppdrag av Ilmatar Loviisa Oy vars kontaktperson har varit Pentti Itkonen. Vid Ramboll svarar projektchef Pirjo Pellikka för utarbetningen av delgeneralplanen. Modelleringen av rörliga skuggor och rapporteringen har gjorts av ing. (YH) Arttu Ruhanen.

2. REFERENSVÄRDEN

I Finland finns inga fastställda gräns- eller riktvärden för förekomsten av rörliga skuggor från vindkraftverk. I miljöministeriets guide Planering av vindkraftsutbyggnad (Miljöförvaltningens anvisningar 5/2016), rekommenderas att man ska ta hjälp av andra länders rekommendationer för begränsning av rörliga skuggor. ^[1]

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 ^[2]. I planeringsanvisningarna i Sverige hänvisas till de tyska anvisningarna, och rekommendationerna är till stor del baserade på de tyska anvisningarna ^[3]. I Danmark har det getts som anvisning att den verkliga årliga mängden rörliga skuggor ska begränsas till tio timmar per år ^[4].

Tabell 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 30 min/dag
Sverige	8 timmar/år 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, årstiden och tiden på dygnet. Vid en viss iakttagelsepunkt kan rörliga skuggor observeras endast vid vissa belysningsförhållanden och vid vissa tidpunkter på dygnet och året. Inga rörliga skuggor förekommer då solen är i moln eller då vindkraftverket inte är i gång eller om solens läge är ogynnsamt för uppkomst av rörliga skuggor. Vindriktningen påverkar också uppkomsten av rörliga skuggor. Ett kraftverk som står på tvären i förhållande till solen ger upphov till en annorlunda skugga än ett kraftverk som står vinkelrätt mot solen.

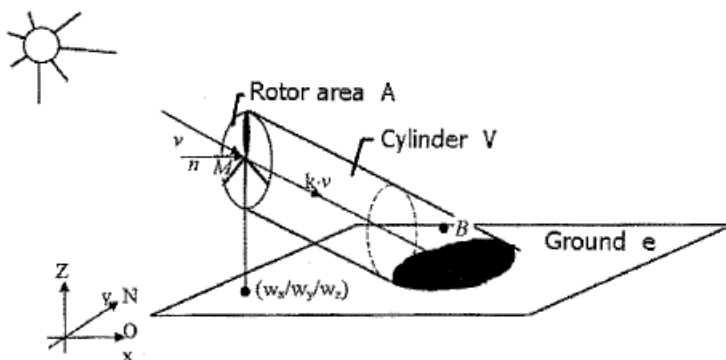
Skuggan når längst då solen står lågt. Då solen går tillräckligt lågt ned uppkommer å andra sidan inte mera någon enhetlig skugga. Det här beror på att solstrålarna då måste färdas en längre sträcka genom atmosfären, varvid strålningen sprids. Influensområdets storlek beror på vindkraftverksmodellens dimensioner och rotorbladens form, väderförhållandena i området samt terrängförhållandena (skog, backar m.m.).

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 3.0, 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 adressen <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 zoner med rörliga skuggor kan man med hjälp av programmet också beräkna de rörliga skuggorna vid enskilda receptorpunkter.



Figur 1. Område där rörliga skuggor från ett vindkraftverk förekommer [5]

4.2 Beräkning av rörliga skuggor

Som avstånd mellan beräkningspunkterna valdes 10 meter. Beräkningen gjordes för 1,5 meters höjd. 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 gjordes med 1 minuts noggrannhet.

I modelleringen beaktas inte att träd och byggnader skymmer och avsevärt kan begränsa förekomsten av rörliga skuggor på marknivån.

Beräkningen av Worst Case ger en teoretisk maximal mängd rörliga skuggor. I beräkningen antas att det är solsken hela tiden (från soluppgång till solnedgång) och att vindkraftverken snurrar hela tiden samt att vindriktningen följer solen så att det alltid uppstår maximal mängd rörliga skuggor vid iakttagelsepunkten. Årsvärdena i beräkningen av Worst Case motsvarar därför inte den kommande verkliga, årliga förekomsten av rörliga skuggor i vindkraftverkens omgivning.

I beräkningarna av Real Case beaktas områdets vindförhållanden och uppgifter om solsken genom att det görs avdrag från Worst case-resultaten utgående från uppgifterna om solsken och drifttimmar (vindriktning per sektor). 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 2. 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 3. 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 enskilda receptorpunkter i projektområdets omgivning. Punkternas lägen framgår av bifogade karta över zoner med rörliga skuggor (bilaga 1).

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.

I modelleringen av Real Case används genomsnittliga uppgifter om solsken och tiderna för olika vindriktningar enligt vindatlasen. Resultaten enligt modelleringen i Real Case 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. I modellen beaktas dock inte att byggnader och träd skymmer sikten. 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 8 vindkraftverk med den placering som framgår av layouten daterad 15.3.2019. Modelleringen gjordes för en vindkraftverksmodell med en navhöjd på 180 meter och rotorns diameter 200 meter, alltså en totalhöjd på 280 meter. Utöver rotorstorleken och navhöj-

den påverkar rotorbladens form och bredd också det maximala avståndet för rörliga skuggor. Uppgifterna om rotorbladens bredd är baserade på uppgifter från den projektansvariga:

- Max blade width = 4,2 m
- Blade width for 90 % radius = 1,4 m

Enligt kraftverksmodellens dimensioner beräknar modelleringsprogrammet det maximala avståndet för rörliga skuggor till 1 899 m.

Tabell 4. Vindkraftverkens koordinater (ETRS-TM35FIN)

Nummer	E / lon	N / lat
T1	446080	6710444
T2	444740	6709757
T3	444899	6709171
T4	445398	6708765
T5	445778	6709404
T6	446409	6709226
T7	446031	6708611
T8	446985	6708476

5. MODELLERINGSRESULTAT

En karta över förekomsten av rörliga skuggor enligt beräkningen för Real Case presenteras i bilaga 1. Mängden rörliga skuggor blir i alla riktningar mindre än 8 h/år vid alla bostads- och fritidshus.

Förutom beräkningen av zoner med rörliga skuggor gjordes också beräkningar för receptorpunkter vilkas lägen anges på kartan över zoner med rörliga skuggor. Mängden rörliga skuggor vid de olika receptorpunkterna i Real Case anges i tabell 5.

Tabell 5. Resultat av beräkningen per receptorpunkt (punkternas läge framgår av kartan över rörliga skuggor)

Receptorpunkt	Real Case	Worst Case	
	Timmar per år	Timmar per år	Timmar per dag (maximalt)
R01	0:00	0:00	0:00
R02	0:00	0:00	0:00
R03	0:00	0:00	0:00
R04	0:00	0:00	0:00
R05	0:00	0:00	0:00
R06	0:00	0:00	0:00
R07	0:00	0:00	0:00
R08	0:00	0:00	0:00
R09	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00
R11	2:22	27:03	0:30
R12	2:48	17:41	0:31

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.

6. SAMMANDRAG OCH SLUTSATSER

Genom modellering undersöktes rörliga skuggor i området kring åtta vindkraftverk som planeras på Tetomområdet i Lovisa. Modelleringen gjordes för en vindkraftverksmodell med en navhöjd på 180 meter och rotorns diameter 200 meter.

I finländska författningar anges inga bindande rikt- eller gränsvärden för rörliga skuggor från vindkraftverk. Enligt modelleringen blir den årliga mängden rörliga skuggor vid bostads- och fritidshusen i projektområdets omgivning mindre än 8 h (den gräns som används i Tyskland och Sverige).

Modelleringen ger ett kalkylmässigt resultat av påverkan av rörliga skuggor i omgivningen. Den årliga verkliga mängden rörliga skuggor påverkas av hur noggrant vindkraftverkens årliga drift och väderförhållandena motsvarar de värden som använts i modelleringen samt bland annat om kraftverken syns eller om sikten är skymd till exempel på grund av träd eller byggnader. Träd eller bostads- och fritidshus i omgivningen har inte beaktats i modellen. Träden måste dock vara tillräckligt täta och höga samt skydda den utsatta platsen helt. Årstidsvariationerna ska också beaktas beträffande trädens förmåga att begränsa vindkraftverkens synlighet. Om vindkraftverken inte syns till en viss plats, uppkommer inte heller några rörliga skuggor där.

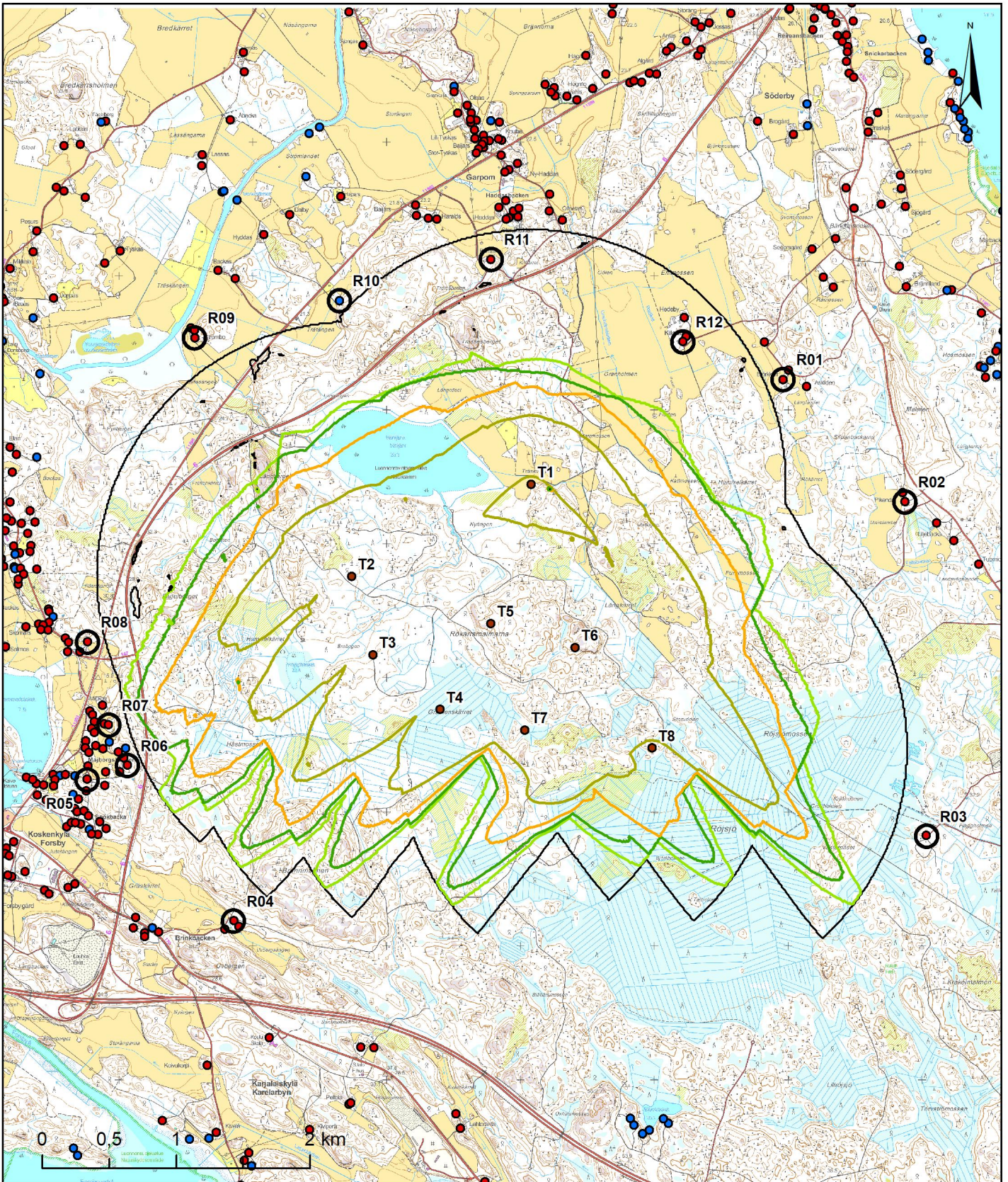
Uppkomsten av rörliga skuggor kan påverkas genom att vindkraftverken utrustas med teknisk styrning så att vindkraftverken kan stoppas vid behov. Med systemet övervakas uppkomsten av rörliga skuggor vid en viss punkt med hjälp av ljussensorer som fästs ovanpå kraftverkets nasell eller på tornet. De här sensorerna beräknar möjligheten för rörliga skuggor i en viss riktning utgående från ljusheten och rotorns position.

BILAGOR

- Bilaga 1 Beräknade zoner med rörliga skuggor i Real Case samt receptorpunkternas lägen
- Bilaga 2 Kalendrar över tidpunkter då rörliga skuggor eventuellt kan förekomma vid receptorpunkterna

KÄLLOR

1. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016
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, Boverket 2009
4. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2015
5. WindPRO 3.0 User Manual
6. Ilmatieteen laitos, Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja 2012:1
7. Suomen Tuuliatlas



Real Case -mallinnus/modellering

Liite/Bilaga 1

Tetom, Loviisa/Lovisa

Välkemallinnus/Skuggeffektberäkning
(WindPro 3.0)

A.Ruhanen 15.4.2019

**Välketuntia vuodessa
Timmar med rörliga skuggor per år**



-layout 15.3.2019

-napakorkeus/navhöjd 180 m

-roottorin halkaisija/rotordiameter 200 m

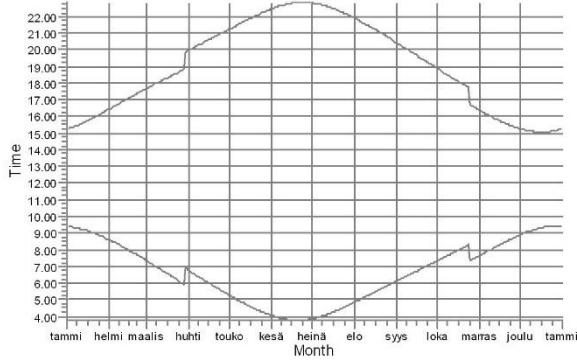
- Reseptori/Receptor
- Tuulivoimala/Vindkraftverk
- Asuinrakennus/Bostadshus
- Lomarakennus/Fritidshus

BILAGA 2 (1/2), DIAGRAM ÖVER TIDPUNKTER

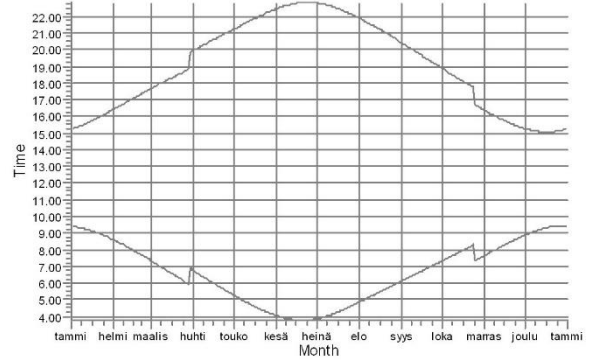
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res 2019-03-15 H180 D200 - blade 4,2 m

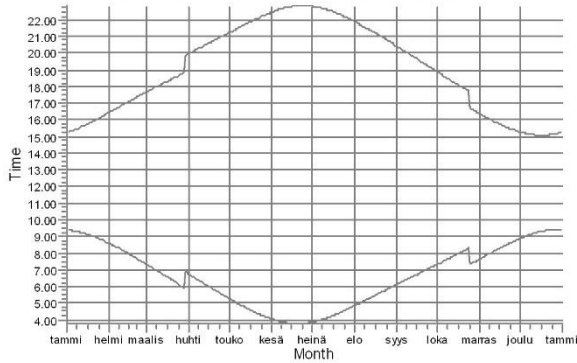
R01: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (2)



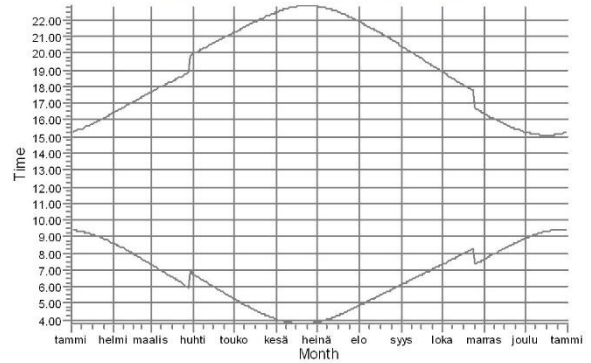
R02: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (3)



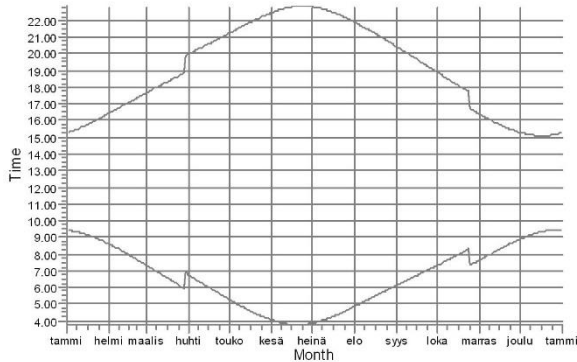
R03: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (4)



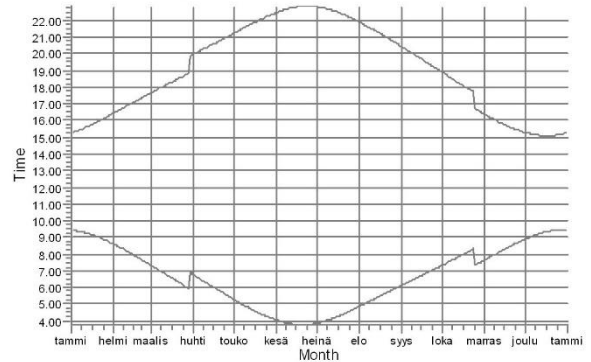
R04: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (5)



R05: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (6)



R06: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (7)



WTGs

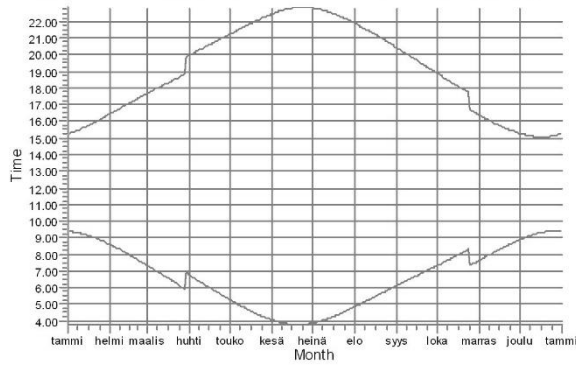
Årstider och klockslag då rörliga skuggor teoretiskt kan förekomma vid vissa receptorpunkter. Vindstilla eller mulna dagar har inte beaktats i diagrammen. De kraftverk som ger upphov till rörliga skuggor är angivna med annan färg.

BILAGA 2 (2/2), DIAGRAM ÖVER TIDPUNKTER

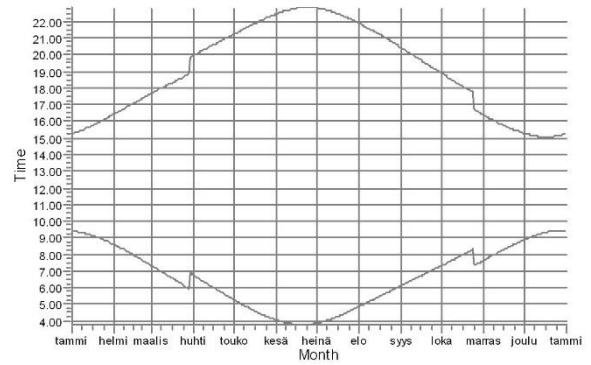
SHADOW - Calendar, graphical

Calculation: Res 2019-03-15 H180 D200 - blade 4,2 m

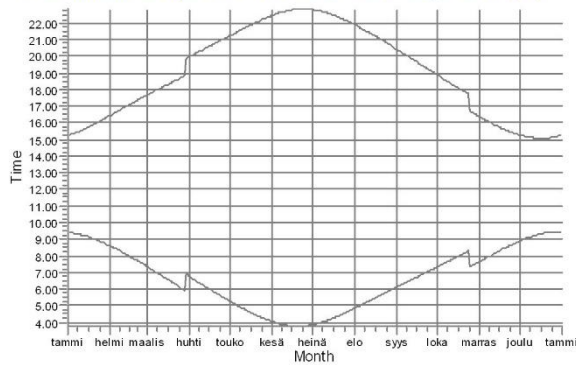
R07: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (9)



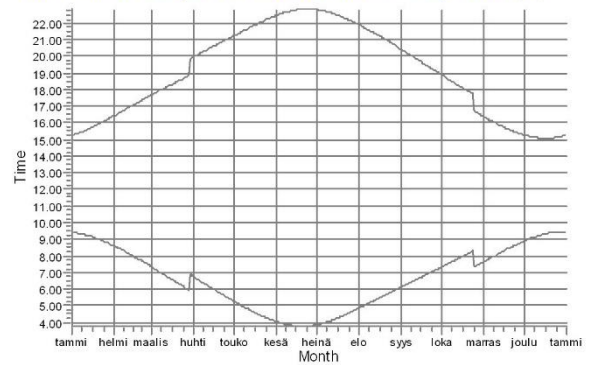
R08: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (10)



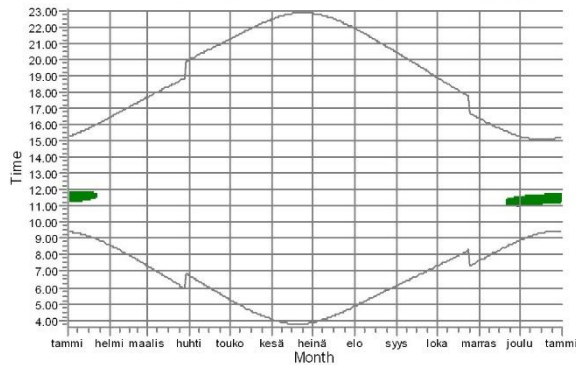
R09: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (11)



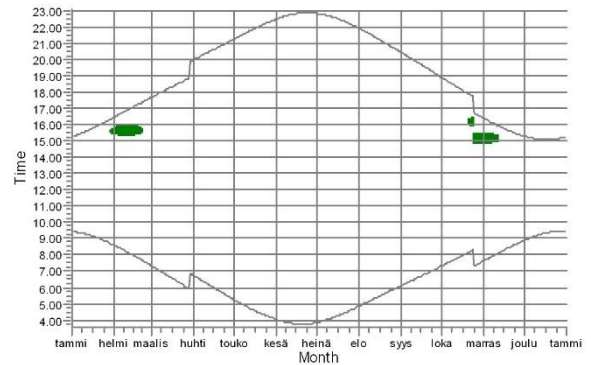
R10: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (12)



R11: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (13)



R12: Shadow Receptor: 1,0 × 1,0 Azimuth: 0,0° Slope: 90,0° (14)



WTGs

T1: D200 - blade 5000 200,0 !O! hub: 180,0 m (TOT: 280,0 m) (35)

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 annan färg.