

# Vindkraftprojektets skuggeffektutredning

KRISTINESTAD - ÅBACK

JUULIANNA LÄHTEINEN

22.04.2022

## Namn och ID för rapporten

Vindkraftprojektets utredning av rörliga skuggor: Kristinestad - Åback  
TV-2022-689-1, 22.04.2022

## Författarna av rapporten

Juulianna Lähteinen, Numerola Oy  
[juulianna.lahteinen@numerola.fi](mailto:juulianna.lahteinen@numerola.fi)

## Kund

Liisa Karhu  
FCG Finnish Consulting Group Oy

## Tillträdesrätt till uppgifter

Det material som används i denna rapport är licensierat enligt Lantmäteriverkets materiallicenser, som är licensierade enligt Creative Commons Attribution 4.0 International-license:  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

## Sammanfattning

I rapporten ingår en bedömning av rörliga skuggor av Åback-vindkraftparken med 23 turbiner som planeras i Kristinestad-området. Bedömningen görs med hjälp av beräkningsmodeller. I bedömningen av rörliga skuggor beaktas också den planerade vindkraftsparken Kristinestad Norr med 20 vindkraftverk. Vindkraftverkens rörliga skuggor kommer att beräknas med en rotordiameter på 162 m och en navhöjd på 149 m för Åback-turbinerna och en rotordiameter på 170 m och en navhöjd på 165 m för Kristiinankaupunki norr-turbinerna.

## Ärendekontroll

Erkki Heikkola och Pasi Tarvainen

## Versionshistorik

Revision	datering	ändringar	Författare till förändring
00	24.02.2022		Juulianna Lähteinen
01	22.04.2022	Kraftverken T5, T7 och T11 borttagna. Turbinmodellen och måtten på grannparken har ändrats.	Juulianna Lähteinen

## Rättigheter till användning och spridning av resultaten

Denna rapport är konfidentiell och har utarbetats enbart för den mottagare som anges i rapporten.

Resultaten av denna rapport kan dock användas av kunden som underlag för ytterligare studier och planeringsarbete (miljörapporter, planläggning etc.) som rör vindkraft på den plats som nämns i rapporten och för valet av projektoperatörer. Det är också tillåtet att sprida resultaten till myndigheter och andra intressenter som arbetar med projektet (t.ex. konsulter som förbereder miljökonsekvensbeskrivningen) på konfidentiell basis, men information om sådan spridning måste lämnas till Numerola Ltd.

I annat fall krävs Numerolas tillstånd för att presentera och distribuera materialet.

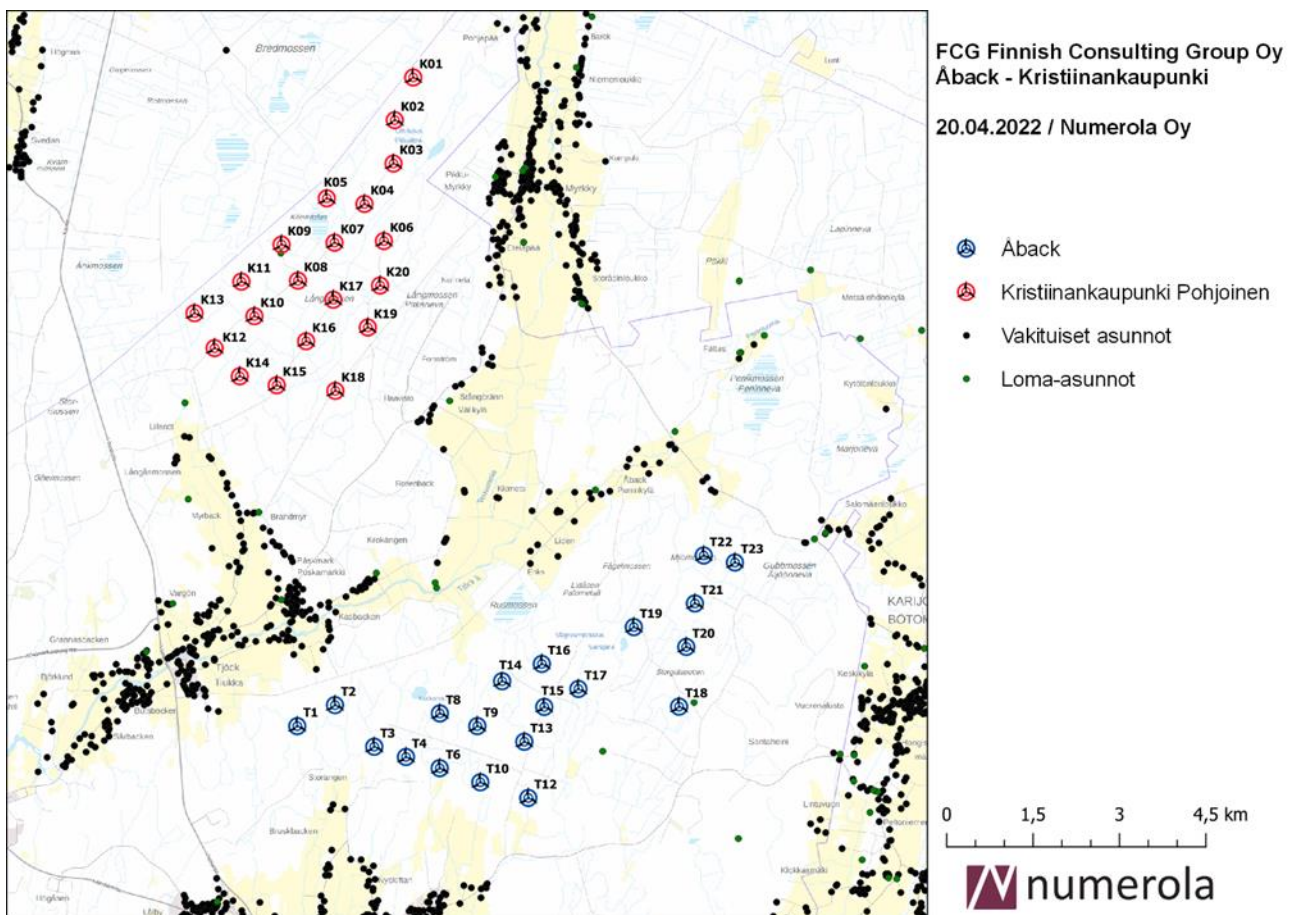
## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
2	Påverkan av rörliga skuggor från vindkraftverk.....	7
2.1	Påverkan av rörliga skuggor .....	7
2.2	Riktvärden.....	7
2.3	Osäkerheter i bedömningen.....	7
3	Modellering av rörliga skuggor för vindkraftsobjekt.....	8
3.1	Modelleringsmetod och utgångsuppgifter.....	8
3.2	Påverkan av rörliga skuggor för Åback .....	13
3.3	Kumulativa effekter av Åback och Kristinestad Norr .....	17
4	Sammanfattning .....	18
5	Beräkningsmetod för förekomsten av rörliga skuggor.....	19
6	Referenser .....	21

# 1 Inledning

I utredningen används beräkningsmodellering för att bedöma rörliga skuggorna av Åback-vindparken med 23 turbiner som planeras i Kristinestad-området. Koordinaterna för Åback vindkraftpark anges i tabellen (tabell 1). Modellering av rörliga skuggor tar hänsyn till de kombinerade effekterna av Åback-turbinerna och den planerade vindkraftparken Kristinestad Norr, vars turbinkoordinater anges i tabellen (tabell 2). Placeringen av turbinerna i de båda vindkraftverken visas på kartan (figur 1).

Åback-turbinerna har en rotordiameter på 162 m, en navhöjd på 149 m och den exakta bladprofil som tillverkaren av turbin typ V162 har angett använts i modelleringen. För kraftverken i Kristinestad Norr har man använt en rotordiameter på 163 m, en stolphöjd på 165,5 m och exakt den bladprofil som tillverkaren har angett för kraftverkstyp 163.



**bild 1: Placering av vindkraftverk i Åback och Kristinestad Norr.**

**Tabell 1: Koordinater för Åback kraftverk i ETRS-TM35FIN och höjden vid turbinplatsen.**

Turbiner	E	N	Terränghöjd [m]
T1	214724	6919011	35,6
T2	215379	6919376	33,7
T3	216061	6918654	28,2
T4	216612	6918476	32,2
T6	217198	6918282	21,2
T8	217201	6919232	30,8
T9	217852	6919012	23,2
T10	217904	6918037	22,5
T12	218737	6917765	21,5
T13	218667	6918741	35,2
T14	218282	6919791	27,3
T15	219014	6919345	40,3
T16	218972	6920091	36,8
T17	219607	6919657	34,8
T18	221356	6919349	52,8
T19	220570	6920730	39,8
T20	221481	6920386	51,0
T21	221631	6921140	50,3
T22	221784	6921973	47,7
T23	222326	6921851	57,6

**Tabell 2: Kristinestads Norr kraftverkens placering i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet och höjden vid turbinplatsen.**

Turbiner	E	N	Terränghöjd [m]
K01	216738	6930269	75,7
K02	216417	6929528	71,2
K03	216395	6928775	69,1
K04	215891	6928074	52,8
K05	215237	6928171	44,9
K06	216229	6927430	55,0
K07	215371	6927402	44,9
K08	214736	6926742	45,6
K09	214451	6927369	49,0
K10	213980	6926126	49,8
K11	213753	6926726	58,8
K12	213288	6925572	45,4
K13	212939	6926178	45,6
K14	213725	6925083	44,4
K15	214367	6924927	40,5
K16	214878	6925691	39,9
K17	215350	6926412	36,9
K18	215385	6924830	42,8
K19	215949	6925930	44,9
K20	216162	6926658	44,6

## 2 Påverkan av rörliga skuggor från vindkraftverk

### 2.1 Påverkan av rörliga skuggor

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 i omgivningen. De rörliga skuggorna kan sträcka sig som längst upp till 1-2 km från kraftverket. Avstånd och varaktighet av de rörliga skuggorna påverkas av vindkraftverkets höjd och rotordiameter, tid på året och dagen, terrängens form och faktorer som begränsar sikten, t.ex. vegetation och molntäcke.

På grund av Finlands läge är det största delen av de rörliga skuggorna från ett enskilt vindkraftverk koncentrerat till vindkraftverkets norra sida (dagtid) och till de sydvästra och sydöstra sidorna (morgon och kväll). Rörliga skuggor på turbinens södra sida uppstår endast om turbinen är placerad på norra sidan av polcirkeln.

Beräkningen av rörliga skuggor kan baseras antingen på modellering av den teoretiska maximala skuggningen eller på den troliga skuggningen:

- Den teoretiska beräkningen av den maximala påverkan av rörliga skuggor förutsätter att solen lyser kontinuerligt under dagen, att vindkraftverkets rotor roterar kontinuerligt och att rotorn alltid är vinkelrät mot solen.
- Beräkningen av den sannolika påverkningen av rörliga skuggor tar hänsyn till lokala statistiska uppgifter om mängden och tidpunkten för solskenet och fördelningen av vindriktningar och vindhastigheter.

I den här rapporten baseras beräkningen av flimmer på modellering av den sannolika situationen.

### 2.2 Riktvärden

I Finland finns inga fastslagna gräns- eller riktvärden för hur ofta det får förekomma rörliga skuggor (blinkande fenomen) från vindkraftverk. I Miljöministeriets publikation rekommenderas att man ska ta hjälp av andra länders rekommendationer för begränsning av rörliga skuggor [4]. I Danmark har man satt riktvärdet till 10 h per år. Sverige är motsvarande rekommenderade värde 8 timmar per år och högst 30 minuter per dag[2]. Användningen av dessa riktvärden kräver en beräkning av den sannolika påverkan av rörliga skuggor. Om man använder sig av de maximiantaltimmar för bedömning av förekomsten av rörliga skuggor kan gränsvärdet 30 timmar som används i Tyskland användas som riktvärde för förekomsten av rörliga skuggor. Den påverkan av rörliga skuggor som analyseras i denna rapport motsvarar det faktiska förväntade antalet timmar som rörliga skuggor förekommer och därför används det vägledande värdet 8 eller 10 timmar.

### 2.3 Osäkerheter i bedömningen

Modellering av rörliga skuggor representerar en sannolik situation baserad på statistiska uppgifter om solsken och vindhastighet. Väderförhållandena under ett visst år kan skilja sig avsevärt från de genomsnittliga förhållandena, och den årliga mängden rörliga skuggor kan skilja sig från det modellerade värdet.

I modelleringen har man inte tagit hänsyn till effekten av det lokala trädbeståndet på synligheten av turbinerna och påverkan av rörliga skuggor. I öppna områden motsvarar modellering av rörliga skuggor den faktiska situationen, men träd kan avsevärt begränsa vindkraftverkens synlighet och minska den årliga



mängden rörliga skuggor. Träddäckets effekt på sikten varierar mellan olika år och årstider, vilket också ökar osäkerheten i bedömningen.

Beräkningen av rörliga skuggor på byggnader bygger på "växthusantagandet", där påverkan av rörliga skuggor på byggnaden beaktas oavsett riktning. I verkligheten påverkar rörliga skuggor inne i byggnaden endast riktningen mot fönster.

### 3 Modellering av rörliga skuggor för vindkraftsobjekt

#### 3.1 Modelleringsmetod och utgångsuppgifter.

De rörliga skuggor (shadow flicker) som orsakas av vindkraftverken uppskattades med hjälp av en geometrisk beräkningsmodell som tar hänsyn till solens position vid olika tider på året, vindkraftparkens och dess omgivnings terräng och vindkraftverkens dimensioner (modellen har implementerats av Numerola Oy). Resultatet av beräkningen är en indikation på hur många timmar per år som de olika platserna i området utsätts för rörliga skuggor. Resultatet illustreras av en jämviktskurva som gör det möjligt att bedöma effekterna av skuggning i det aktuella området.

Höjdskillnaderna på markytan i undersökningsområdena hämtades från Lantmäteriverkets *Höjdmodell 10 m*. Den horisontella upplösningen för höjddata är 10 m och den vertikala noggrannheten är 1,4 m. Vid beräkningen togs hänsyn till höjdskillnaderna så att om linjen som går genom solen, turbinen och undersökningspunkten skär marken, blir det ingen skuggning. Påverkan av rörliga skuggor beräknades på en höjd av 1,5 m. Solens infallsvinkel från horisonten begränsades till tre grader, under vilken strålningen inte beaktas vid skuggning.

Skuggan som orsakas av turbinbladen minskar gradvis när man rör sig längre bort från turbinen, och efter ett visst avstånd är skuggan inte längre synlig för det mänskliga ögat. Detta avstånd beror på turbinbladets bredd. I de svenska riktlinjerna för vindkraftsdesign anges till exempel att påverkan av rörliga skuggor beaktas om bladet täcker minst 20 % av solen. I praktiken innebär detta ett maximalt avstånd för den påverkan som rörliga skuggor som orsakas av en enskild turbin är beroende på bladbredden. Utanför detta avstånd förekommer inga rörliga skuggeffekter.

I allmänhet baseras beräkningen av det maximala avståndet i en beräkning av rörliga skuggor på bladens genomsnittliga bredd, vilket bestämmer det maximala avståndet för skuggbildningen. I praktiken är ett turbinblad inte konstant brett: den bredaste punkten är nära turbinnavet och bladet smalnar av betydligt när det rör sig mot spetsen. På grundval av detta är avståndet för rörliga skuggor betydligt längre vid av bladbasen än bladspetsen (ifall solens täckgrad används som ett kriterium). I den här studien har man vid beräkningen av rörliga skuggor inte använt det konventionella maximala avståndet, utan tagit hänsyn till turbinens varierande bladprofil.

I uträkningen hade Åback-kraftverken en höjd på 149 m och en rotordiameter på 162 m. Kraftverkens bladprofil var exakt den bladprofil som tillverkaren av Vestas V162 har angett. Kraftverken i Kristinestad Norr hade en höjd på 165 m och en rotordiameter på 170 m. Bladprofilen som användes var exakt den bladprofil som tillverkaren, Siemens Gamesa SG170, angav. Detaljer om beräkningsmetoden beskrivs i kapitel 5.

Den faktiska påverkan av rörliga skuggor beror av hur mycket turbinerna används, träddäckningen och de lokala väderförhållandena (molnighet och vind). Om vindriktningen till exempel är vinkelrät mot linjen mellan

solen och iakttagelsepunkten blir det ingen skuggningseffekt. För uträkning av skuggning kan turbinens riktning definieras genom att anta att rotorn är ett cirkulärt plan i en viss riktning. Beräkningen har utförts för sex olika turbinriktningar. Detta motsvarar skuggningsresultaten för sektorer med 12 vindriktningar, eftersom motsatta vindriktningar i praktiken resulterar i samma rotororientering när det gäller rörliga skuggor. Antalet timmar det förekommer rörliga skuggor som beräknats för varje vindriktning har skalats med frekvensen av förekomsten av riktningssektorn från den finska vindatlasen [1] och den tidsmässiga fraktionen av turbinhastigheterna som bestämts från riktningshastighetsfördelningen. Vid vindar som är lägre än starthastigheten eller högre än stopphastigheten är turbinerna stillastående och det förekommer inga rörliga skuggor på grund av rotorns rotation. Vindhastighetsuppskattningen från Finlands vindatlas tas från vindkraftsområdets centrum på 150 meters höjd, och de riktningbundna sektorspecifika bidragen till vindarna vid turbinhastighetsintervallet anges i tabellen (tabell 3).

Sannolikheten för solsken har uppskattats utifrån mätningar från väderstationen i Pelma [3]. De månatliga sannolikheterna för solsken som beräknats från väderstationernas mätningar sammanfattas i en tabell (tabell 4). De skuggningstider som beräknats för olika rotorriktningar har skalats med solskenssannolikheten och de orienteringsspecifika skalade timmarna för förekomst av rörliga skuggor har adderats för att få en uppskattning av de faktiska väderrelaterade timmarna för förekomst av rörliga skuggor i undersökningsområdet.

**Tabell 3: Riktningsspecifika sektorspecifika bidrag till vindhastigheter över 3 m/s på basis av Finlands vindatlas.**

Riktningssektor	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Del över 3 m/s	0,201	0,242	0,124	0,095	0,115	0,131

**Tabell 4: Månatliga sannolikheter för solsken vid Pelma väderstation.**

Kuukausi	Sannolikheten av solsken
Januari	0,168
Februari	0,317
Mars	0,359
April	0,441
Maj	0,488
Juni	0,452
Juli	0,466
Augusti	0,424
September	0,361
Oktober	0,254
November	0,171
December	0,119

I tabellen (tabell 5) anges 22 referensfastigheter i närheten av vindkraftverken där påverkan av rörliga skuggor undersöks närmare. Referensfastigheterna har valts ut särskilt i närheten av Åback vindkraftpark. Fastigheternas platser kallas receptorpunkter och deras positioner i förhållande till vindkraftverken visas på en karta (figur 2).

**Tabell 5: Koordinater för referensfastigheterna i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet.**

Receptor	E	N	Höjd [m]
A	224041	6918543	79,4
B	224523	6919504	64,4
C	224701	6920777	68,5
D	223560	6922191	79,6
E	219254	6921953	26,6
F	221916	6923106	40,0
G	218025	6916275	13,9
H	221397	6917130	102,7
I	223360	6919231	130,7
J	215058	6919995	21,6
K	215557	6917569	12,2
L	216049	6916584	12,3
M	217623	6916240	11,4
N	215355	6917654	12,1
O	215312	6917545	11,0
P	218911	6921880	25,0
Q	218788	6921826	25,0
R	220030	6918573	50,1
S	217124	6921498	25,4
T	215175	6920340	22,5
U	215266	6920493	21,8
V	215303	6920548	23,2

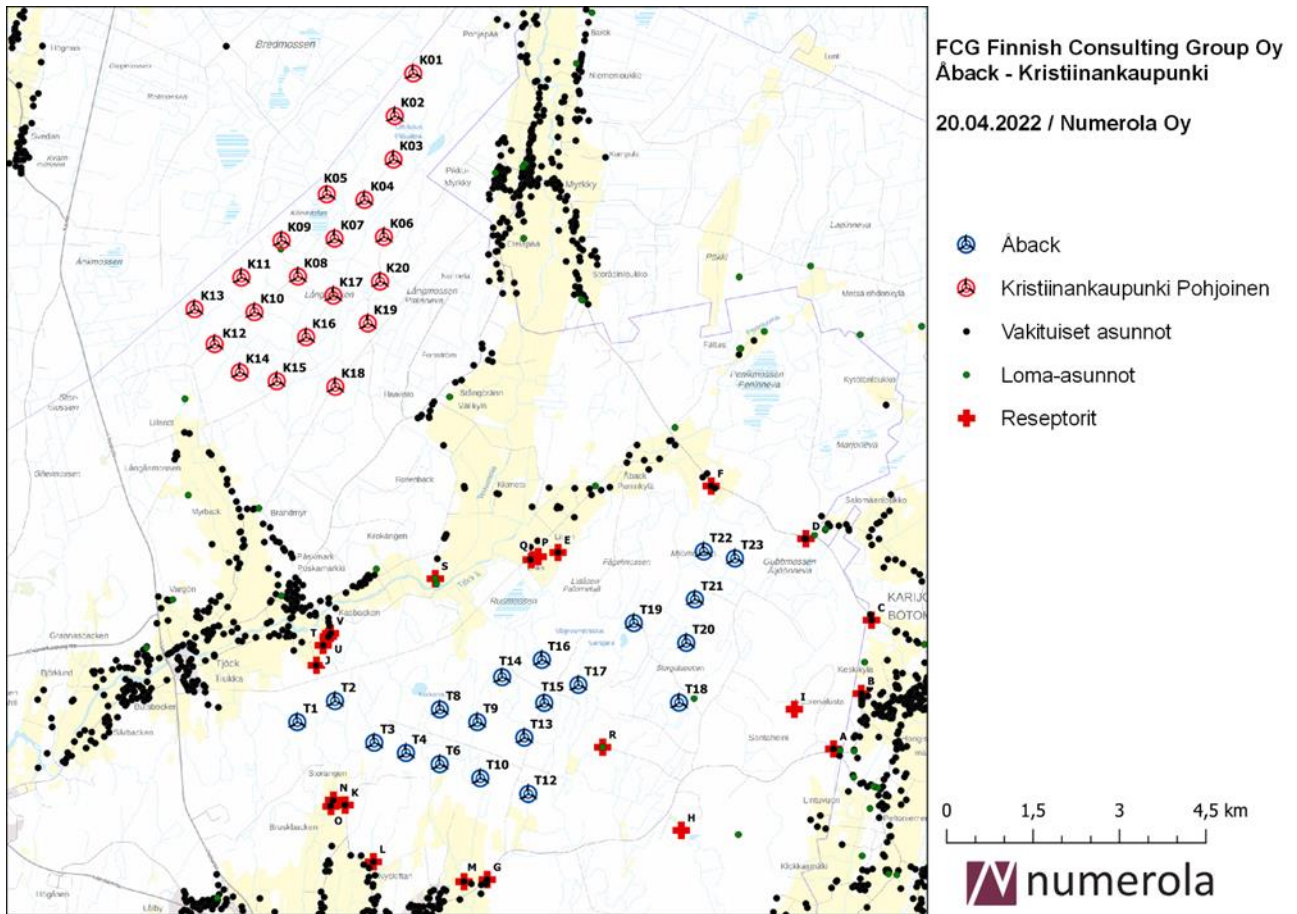


Bild 2: Platser för referensfastigheter i Åback och Kristinestad Norr vindkraftparksområden. Referensfastigheterna har valts ut i synnerhet i närheten av Åback vindkraftpark

### 3.2 Påverkan av rörliga skuggor för Åback

De modellerade uppskattningarna av det troliga årliga antalet av förekomsten av rörliga skuggor utan vindkraftverk i Kristinestad visas på kartan (bild 3). I modelleringen har man inte tagit hänsyn till effekten av det lokala trädbeståndet på synligheten av turbinerna påverkan av rörliga skuggor. Under finländska förhållanden begränsar träden avsevärt vindkraftverkens synlighet och minskar den årliga förekomsten av rörliga skuggor.

Den årliga och maximala dagliga förekomsten av rörliga skuggor vid referensfastigheterna anges i tabellen (tabell 6). Enligt modelleringen överskrider den årliga förekomsten av rörliga skuggor det vägledande 8-timmarsvärdet vid två fastigheter och överskridandena beror enbart på Åback-vindkraftverken. Den maximala dagliga förekomsten av rörliga skuggor ligger under riktvärdet på 30 minuter för alla fastigheter.

Den exakta tidpunkten för de rörliga skuggorna vid receptorerna J, R och T framgår av tabellerna (tabell 7-Tabell 9). De tider som anges i tabellerna är UTC+2 (finsk vintertid).

**Tabell 6: Årligt förekomsten och maximala dagliga förekomsten av rörliga skuggor från vindkraftverk vid receptorerna.**

Receptor	Troliga årliga förekomsten av rörliga skuggor [h:min]	Troliga maximala dagliga förekomsten av rörliga skuggor [min]	Troliga förekomsten av rörliga skuggor utan Kristinestad Norr [h:min]
A	0:00	0	0:00
B	0:00	0	0:00
C	0:00	0	0:00
D	2:15	7	2:15
E	2:04	4	2:04
F	5:52	10	5:52
G	0:00	0	0:00
H	0:00	0	0:00
I	0:02	1	0:02
J	13:11	11	13:10
K	1:51	4	1:49
L	0:51	2	0:51
M	0:00	0	0:00
N	3:34	6	3:34
O	2:12	4	2:12
P	1:53	2	1:53
Q	2:16	3	2:16
R	13:17	10	13:17
S	0:51	2	0:51
T	7:07	12	7:06
U	5:16	7	5:16
V	4:43	6	4:43

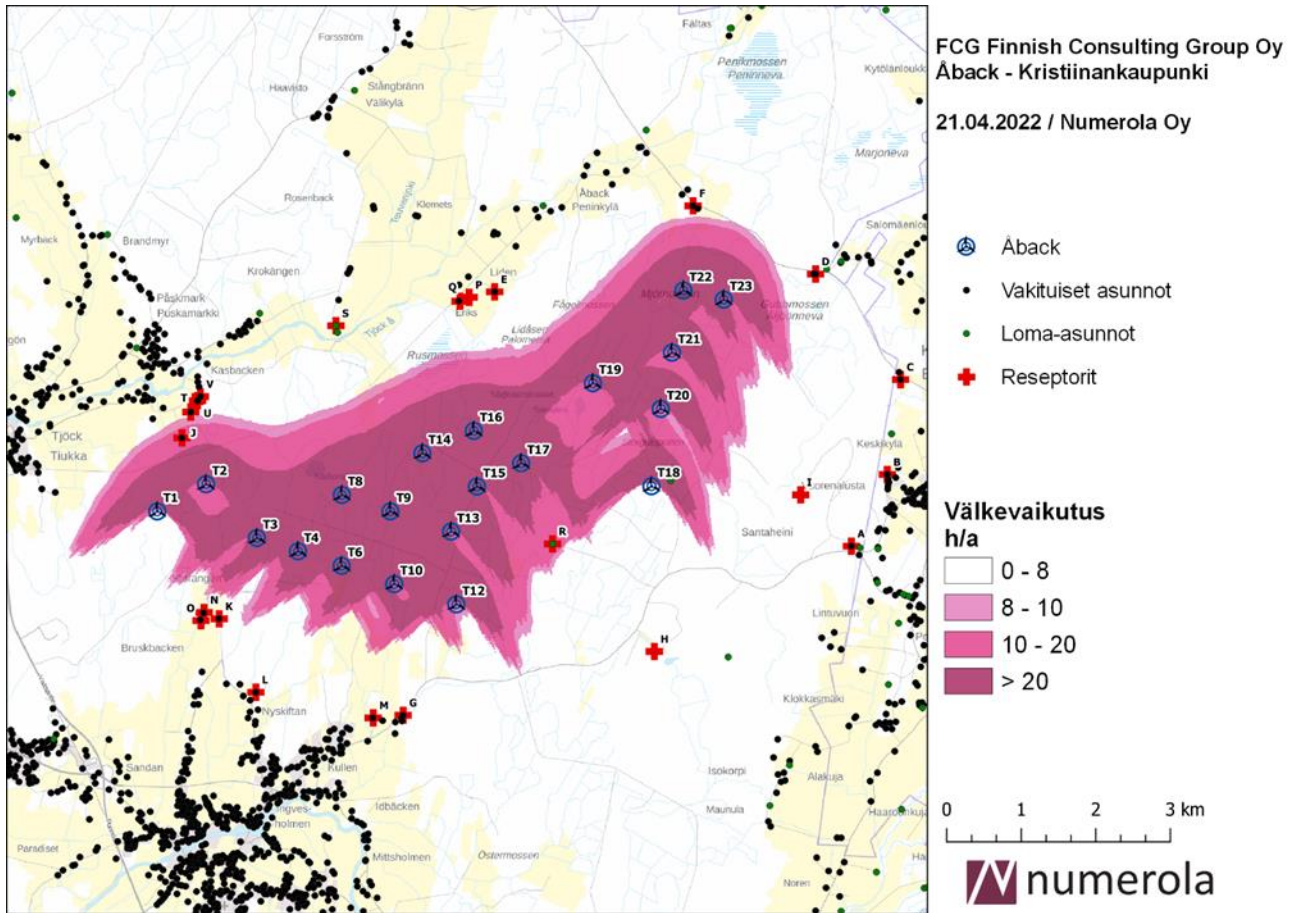


Bild 3: Mängden rörliga skuggor som orsakas av vindkraftverk utan trädäckningens inverkan.

**Tabell 7: Tidpunkt och varaktighet för förekomsten av rörliga skuggor på fastigheten J.**

Tidpunkt	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Januari	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	1:15
Februari	0	0	0	0	37	172	57	0	0	0	0	0	4:26
Mars	0	0	0	6	0	97	0	0	0	0	0	0	1:43
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Juni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Juli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Augusti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
September	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0:07
Oktober	0	0	0	0	147	76	4	0	0	0	0	0	3:48
November	0	0	0	0	8	0	99	0	0	0	0	0	1:47
December	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0:04
Tillsammans	0:00	0:00	0:00	0:12	3:13	5:47	3:59	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	13:10

**Tabell 8: Tidpunkt och varaktighet för förekomsten av rörliga skuggor på fastigheten R.**

Tidpunkt	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Januari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Februari	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0:33
Mars	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20	0	0	0:25
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0:34
Maj	0	0	48	0	0	0	0	0	0	59	74	0	3:01
Juni	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	74	0	3:07
Juli	0	0	108	0	0	0	0	0	0	1	99	0	3:28
Augusti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	55	0	0:55
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0:45
Oktober	0	0	0	0	0	0	0	25	3	0	0	0	0:29
November	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0:01
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Tillsammans	0:00	0:00	4:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	0:41	2:39	5:02	0:00	13:17



**Tabell 9: Tidpunkt och varaktighet för förekomsten av rörliga skuggor på fastigheten T.**

Tidpunkt	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Januari	0	0	0	0	0	50	58	0	0	0	0	0	1:48
Februari	0	0	0	0	7	115	0	0	0	0	0	0	2:01
Mars	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0:05
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Maj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Juni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Juli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Augusti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:00
Oktober	0	0	0	4	2	30	0	0	0	0	0	0	0:36
November	0	0	0	0	14	81	41	0	0	0	0	0	2:16
December	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0:19
Tillsammans	0:00	0:00	0:00	0:04	0:28	4:36	1:58	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	7:06

### 3.3 Kumulativa effekter av Åback och Kristinestad Norr

De modellerade uppskattningarna av den troliga årliga förekomsten av rörliga skuggor i kombination med Kristinestad Norr vindkraftpark visas som en karta (figur 4). Den årliga förekomsten av rörliga skuggor vid referensfastigheterna anges i tabellen (tabell 6). Enligt modelleringen överskrider de kombinerade effekterna det vägledande 8-timmarsvärdet för två fastigheter. För de receptorpunkter som beaktas beror förekomsten av rörliga skuggor enbart på Åback vindkraftverk.

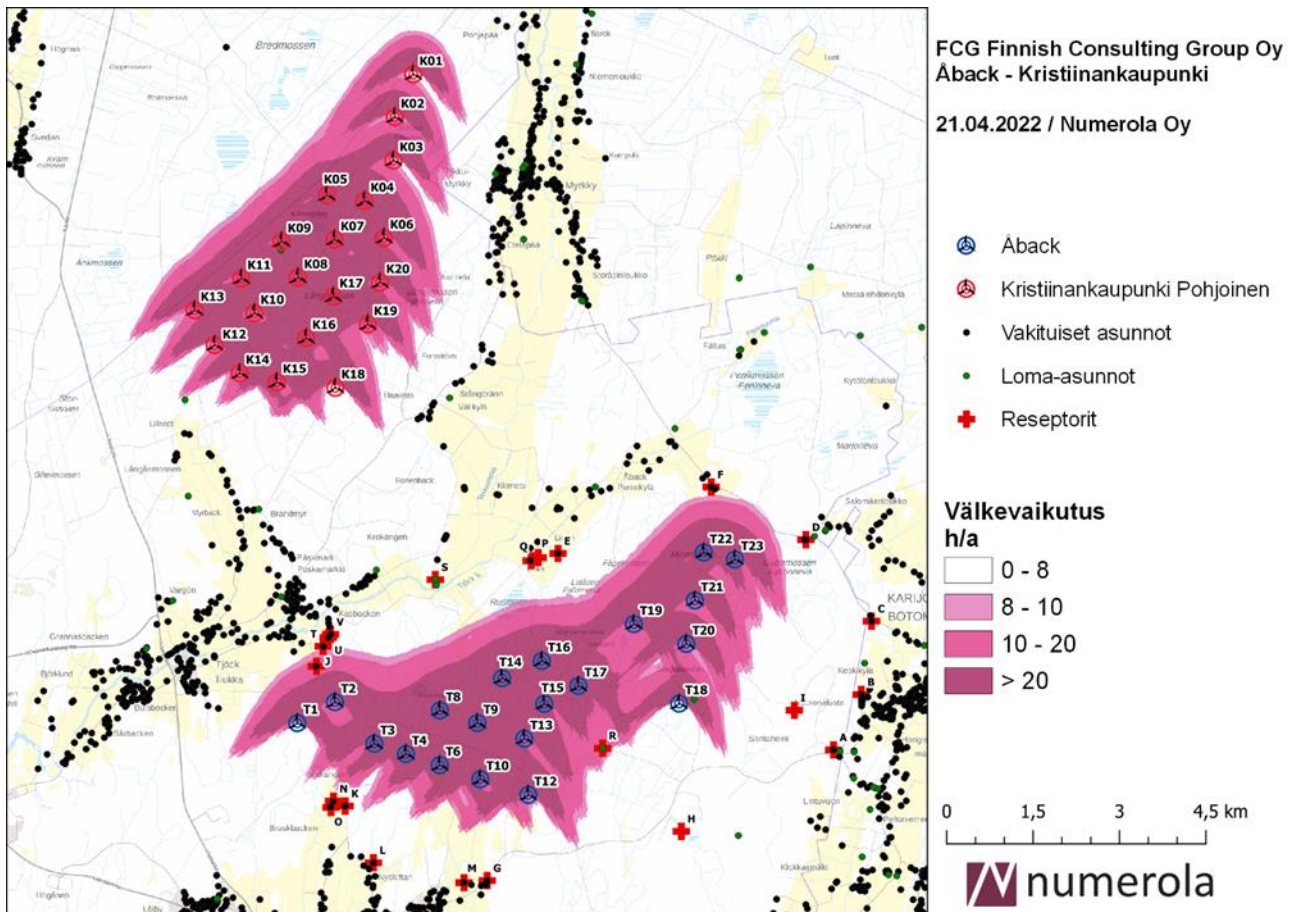


Bild 4: Förekomsten av rörliga skuggor som orsakas av Åback och Kristinestad Norr utan trädäckningens inverkan.

## 4 Sammanfattning

I rapporten presenteras kalkylerade uppskattningar av hur den planerade Åback-vindparken i Kristinestad påverkar omgivningen genom förekomsten av rörliga skuggor. I modelleringen beaktades även den kumulativa effekten med den planerade vindkraftparken Kristinestad Norr.

Enligt modellering av rörliga skuggor överskrider den årliga förekomsten av rörliga skuggor det riktgivande 8-timmarsvärdet vid två närliggande fastigheter. Överskridningarna orsakas av Åback-vindkraftverken. Den dagliga förekomsten av rörliga skuggor ligger under riktvärdet på 30 minuter för alla bostads- och fritidshus.

## 5 Beräkningsmetod för förekomsten av rörliga skuggor.

Vid beräkningen av effekten av rörliga skuggor används begreppet himmelssfär, som är ett tänkt skal som motsvarar jordens geografiska koordinater sett från jorden mot himlen. På samma sätt som positionen för en plats på jorden kan uttryckas i termer av longitud och latitud, kan himlakropparnas positioner på himmelssfären uttryckas i termer av två koordinater (rektascension och deklination). Under året rör sig solen på ett band av himlavalvet mellan cirklarna, och solens frekvens på detta band kan representeras av täthetsfunktionen.

Den årliga förekomsten av rörliga skuggor vid en viss punkt beräknas genom att titta på den del av himmelsbollen som är synlig genom vindkraftverkens rotorblad. Denna synlighet uppskattas med hänsyn till lokala terränghöjdsdata. Om bandet mellan de vändande cirklarna inte är synligt genom rotorringarna påverkas inte iakttagelsepunkten av rörliga skuggor. I annat fall erhålls antalet timmar rörliga skuggor som en enskild turbin orsakar genom att integrera täthetsfunktionen med den del av himlen som är synlig genom turbinens rotorring. Den kombinerade effekten av turbinerna erhålls genom att summa ihop antalet timmar som rörliga skuggor förekommer per turbin, med hänsyn till eventuell överlappning av de områden som täcks av rotorbladen. Beräkningen utförs separat för turbinerna i olika riktningar som sedan skalas av de riktningensbestämda vindhastighetskomponenterna.

För att ta hänsyn till månatliga (eller andra kortvariga) variationer i sannolikheten för solsken delas himmelssfärens band in i motsvarande delar beroende på solens deklination. Täthetsfunktionen definieras separat för dessa delar, och integrationsresultaten skalas med de månatliga sannolikheterna.

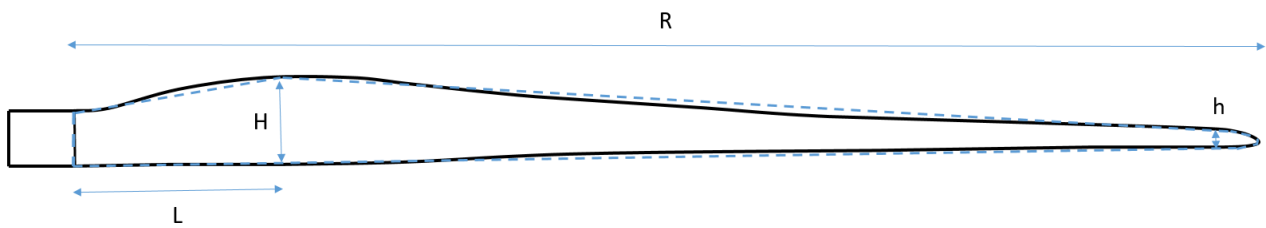
Skuggan från turbinbladen minskar gradvis när man rör sig längre bort från turbinen och efter ett visst avstånd är skuggan inte längre synlig för det mänskliga ögat. Detta avstånd beror på turbinbladets bredd och i de svenska och tyska riktlinjerna för vindkraftsbyggnation anges till exempel att effekten av rörliga skuggor beaktas om bladet täcker minst 20 % av solen. I praktiken innebär detta att det maximala avståndet för rörliga skuggor för en enskild turbin är beroende på bladbredden och det finns ingen förekomst av rörliga skuggor utanför detta avstånd.

För ett rotorblad på  $w$  meter kan formeln för att bestämma det maximala avståndet för rörliga skuggor baserad på en soltäckning på 20 % härledas enligt följande

$$\text{maximalt avstånd} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

där  $d$  är avståndet till solen (150 000 000 000 km). I allmänhet baseras beräkningen av det maximala avståndet för förekomsten av rörliga skuggor på bladets genomsnittliga bredd som bestämmer det maximala avståndet. I praktiken är ett turbinblad inte konstant brett: den bredaste punkten är nära turbinnavet och bladet smalnar av betydligt när det rör sig mot spetsen. På denna grund sträcker sig rörliga skuggorn vid bladets bas betydligt längre än vid bladets spets om kriteriet för solinstrålning används.

Följande diagram visar en förenklad modell av en typisk profil med en maximal bladbredd på  $H$  på ett avstånd  $L$  från bladspetsen. Bladens totala längd är  $R$  och bladens bredd vid 90 % av basen är  $h$ . Bladen antas smalna av linjärt från  $H$  till  $h$  när den rör sig från basen till toppen. I konventionella beräkningar för rörliga skuggor bestäms turbinens genomsnittliga bredd som genomsnittet av  $H$  och  $h$  (t.ex. WindPRO Shadow).



**Bild 5: Förenklad turbinbladsprofil.**

Beräkningen för rörliga skuggor i denna rapport använder den profil som tillverkaren av kraftverkstyp N163 har angett och den har förlängts och breddats. Den rotorradi som ska beaktas i beräkningen varierar mellan  $[0, R]$  beroende på avståndet från iakttagelsepunkten till turbinerna, bladbredden och motsvarande solinstrålning. På detta sätt tar beräkningen av rörliga skuggor hänsyn till turbinens varierande bladprofil och ger mer realistiska resultat än om man utgår från en given genomsnittlig bladbredd och motsvarande fast maximalt avstånd.

## 6 Referenser

- [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 kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.