



Bilaga 5:

FCG Finnish Consulting Group Oy

Skuggeffektsutredning för Poikel vindkraftspark

101027016-001, 25.09.2024

Författare
AFRY Finland Oy
Veera Hatulainen

E-post
veera.hatulainen@afry.com

Avdelning
Wind and Solar Finland

Rapportversion
001

Kund
FCG Finnish Consulting Group Oy
Liisa Karhu

Datum
25.09.2024

Projektnummer
101027016-001

Rapportens status
KLAR

Skuggeffektsutredning för Poikel vindkraftspark

Rapportshistorik

Version	Datum/Skriven av	Datum/Kontrollerad av	Anteckningar/Ändringar
001	25.09.2024/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	25.09.2024/ Mika Laitinen, Technical Consultant	Ursprunglig

Tillträdesrätt till uppgifter

Vid utredningen användes öppna material från Lantmäteriverket, Finlands miljöcentral och Meteorologiska institutet som kräver användningstillstånd. Materialen är licensierade enligt licensen Creative Commons Erkännande 4.0 Internationell:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
2	Rörliga skuggor från vindkraftverk	6
2.1	Effekt av rörliga skuggor	6
2.2	Begränsning av rörliga skuggor	6
2.3	Bedömningens osäkerhetsfaktorer	6
2.4	Riktvärden	7
3	Skuggeffektsmodellering för vindkraftsobjektet	8
3.1	Modelleringsmetod och utgångsdata	8
3.2	Sannolik effekt av rörliga skuggor	12
3.3	Trädbeståndets dämpande effekt på rörliga skuggor	16
3.4	Sammantagna effekter av vindkraftverken i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström	18
4	Sammanfattning	26
5	Beräkningsmodell för effekten av rörliga skuggor	27
6	Referenser	29

1 Inledning

I utredningen bedöms de effekter av rörliga skuggor som orsakas av Poikel vindkraftspark i Korsnäs med hjälp av kalkylmässiga modeller. Bedömningen har gjorts för planerna på placering av åtta vindkraftverk i två genomförandealternativ med olika navhöjder. I genomförandealternativet VE1 är navhöjden 180 m och i alternativ VE2 är navhöjden 200 m. I båda alternativen är koordinaterna för kraftverken desamma och rotordiametern är 180 m. Platserna för vindkraftverken framgår av bilden (Bild 1) och koordinaterna anges i tabellen (Tabell 1).

Vid modelleringarna av kraftverken användes en rotordiameter på 180 meter. Vindkraftverkens bladprofil fastställdes med hjälp av en bladprofil av typen N163/6.X, som meddelats av tillverkaren, vars längd ökades till 90 meter. Profilen har samtidigt breddats så att den bredaste delen av bladet är 4,35 m (den bredaste delen av N163-rotorbladet är 4,15 m).

I utredningen bedöms också de sammantagna effekterna av rörliga skuggor av vindkraftsparker som byggts eller planeras att byggas i närheten av Poikel.

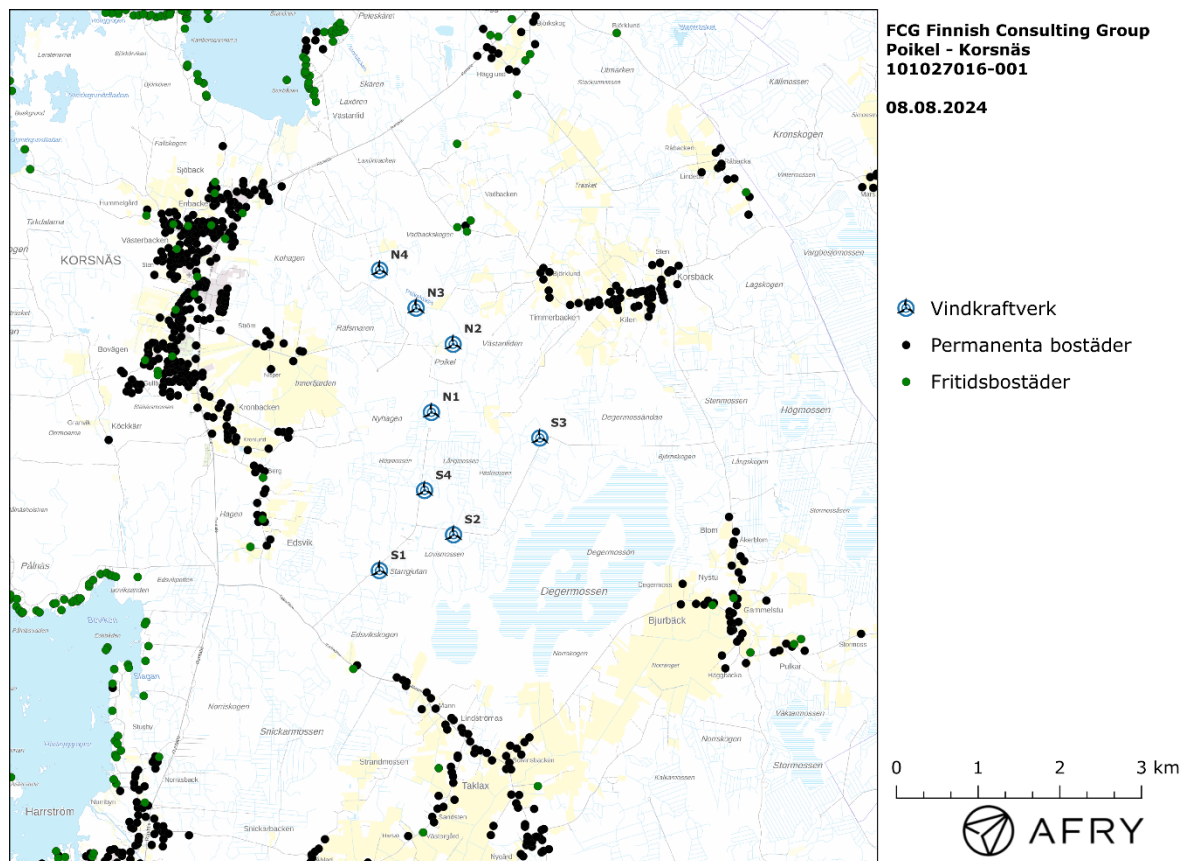


Bild 1: Läget för vindkraftverken i Poikel projektområde.

Tabell 1: Lägeskoordinaterna för vindkraftverken (8 st.) i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet och terrängens höjd vid vindkraftverksplatsen.

Vindkraftverk	E	N	Terrängens höjd [m.ö.h]
N1	206522	6973513	9
N2	206788	6974347	7
N3	206334	6974789	8
N4	205887	6975255	5
S1	205885	6971577	16
S2	206793	6972015	16
S3	207850	6973199	14
S4	206438	6972558	11

2 Rörliga skuggor från vindkraftverk

2.1 Effekt av rörliga skuggor

Med effekten av rörliga skuggor avses en situation där bladen på ett vindkraftverk som står mellan solens strålar och iakttagelsepunkt orsakar en blinkande skugga. De rörliga skuggorna kan som längst sträcka sig till 1–3 kilometers avstånd från ett vindkraftverk. De rörliga skuggornas avstånd och varaktighet påverkas av vindkraftverkets höjd och rotordiameter, tid på året och dagen, terrängens former och faktorer som begränsar sikten, såsom vegetation och molntäcke.

På grund av Finlands läge koncentreras effekterna av rörliga skuggor från ett enskilt vindkraftverk för det mesta till vindkraftverkets norra sida (dagtid) och till de sydvästra och sydöstra sidorna (morgon och kväll). I Finland orsakar ett vindkraftverk effekter av rörliga skuggor på turbinens södra sida endast norr om polcirkeln.

Beräkningen av effekterna av rörliga skuggor kan baseras antingen på modellering av den teoretiska maximala skuggningen eller den sannolika situationen:

- Vid beräkningen av den teoretiska maximala effekten av rörliga skuggor antas att solen skiner hela tiden under dagen, att vindkraftverkets rotor roterar kontinuerligt och att rotorn alltid står vinkelrätt mot solen.
- I modelleringen av den sannolika situationen beaktas lokala statistiska data om mängden solsken och solskenstiderna samt fördelningen av vindens riktningar och hastigheter.

I den här utredningen har beräkningen av rörliga skuggor gjorts genom modellering av den sannolika skuggningstiden och den sannolika skuggningstiden med beaktande av trädbeståndets inverkan.

2.2 Begränsning av rörliga skuggor

Effekterna av rörliga skuggor kan minskas genom ett vindkraftverksspecifikt kontrollverktyg för rörliga skuggor (shadow flicker protection system) som består av en ljussensor och en applikation för kontroll av rörliga skuggor. Genom verktyget kan vindkraftverket stoppas endera baserat på det observerade solskenet och/eller under önskade tider på året och dygnet. Ett stillastående vindkraftverk orsakar inga rörliga skuggor.

2.3 Bedömningens osäkerhetsfaktorer

Den modellerade effekten av rörliga skuggor representerar den sannolika situationen baserat på statistiskt material för solsken och vindförhållanden. Väderförhållandena under ett enskilt år kan avvika märkbart från genomsnittliga förhållanden, vilket innebär att de årliga effekterna av rörliga skuggor kan avvika från det modellerade värdet. Materialet för solskenet har erhållits från Pelma väderstation, som ligger cirka 80 km från projektområdet.

I modelleringen har det lokala trädbeståndets inverkan på vindkraftverkens synlighet och uppkomsten av rörliga skuggor inte beaktats. Trädbeståndet kan begränsa sikten betydligt mot turbinerna och minska den årliga förekomsten av rörliga skuggor. Trädbeståndets skymmande effekt varierar emellertid beroende på år och årstid, varvid det inte går att exakt bedöma trädbeståndets minskande inverkan på de rörliga skuggorna.

Vid beräkningen av effekterna av rörliga skuggor som riktas till byggnader används ett så kallat växthusantagande, vilket innebär att de rörliga skuggor som riktas till byggnader beaktas oberoende av riktning. Den kalkylmässiga uppskattningen av effekterna av rörliga skuggor beskriver alltså

skuggeffekterna utomhus. I byggnaders inomhusmiljöer är effekterna av rörliga skuggor i allmänhet mindre, eftersom de riktas mot byggnadens inomhusmiljö endast från fönsterriktningen.

2.4 Riktvärden

I Finland finns inga fastslagna riktvärden för effekter av rörliga skuggor från vindkraftverk. I miljöministeriets anvisningar för planering av vindkraftsparker rekommenderas att övriga länders rekommendationer ska användas i fråga om mängderna rörliga skuggor [4]. I Danmark har man fastställt det rekommenderade värdet för skuggtimmar till tio timmar. I Sverige är det motsvarande rekommenderade värdet åtta timmar per år och högst 30 minuter per dag [2]. Användningen av dessa riktvärden förutsätter en beräkning av de sannolika skuggeffektssituationen. Om det kalkylerade maximala timantalet används vid bedömningen av antalet timmar rörliga skuggor kan det tyska gränsvärdet på 30 timmar användas som riktvärde för de årliga effekterna av rörliga skuggor. Vid bedömningen av de modellerade skuggeffektsnivåerna i denna rapport används de riktvärden som fastställts för sannolika skuggeffekter i planeringsanvisningarna i Sverige. Vid bedömningen av den teoretiska maximala skuggeffekten används Tysklands gränsvärde på 30 timmar per år och 30 minuter per dag.

3 Skuggeffektsmodellering för vindkraftsobjektet

3.1 Modelleringsmetod och utgångsdata

De effekter av rörliga skuggor (shadow flicker) som orsakas av vindkraftverken uppskattades med hjälp av AFRY Numerolas modelleringsprogram, som beaktar solens position vid olika tider på året, terrängformerna i vindkraftsområdet och dess omgivning samt vindkraftverkens dimensioner. Resultatet av beräkningen visar hur många timmar per år olika platser på området utsätts för rörliga skuggor. Resultatet illustreras av en jämviktskurva som gör det möjligt att bedöma effekten av rörliga skuggor i undersökningsområdet.

Höjdskillnaderna i terrängen i de undersökta områdena hämtades från Lantmäteriverkets material *Höjdmodell 10 m*. Den horisontella upplösningen för höjddata är tio meter och den vertikala noggrannheten är 1,4 meter. Vid beräkningen beaktades höjdskillnaderna så att ingen skuggning uppstår om linjen över solen, vindkraftverket och undersökningspunkten skär marken. Effekten av rörliga skuggor beräknades på en höjd på två meter. Solens infallsvinkel från horisonten begränsades till tre grader, och den solstrålning som låg under den vinkeln beaktades inte.

Den skugga som vindkraftsverkets turbinblad orsakar minskar gradvis när man rör sig längre bort från vindkraftverket, och efter ett visst avstånd är den rörliga skuggan inte längre synlig för det mänskliga ögat. Detta avstånd beror på vindkraftverkets bladbredd, och till exempel i de svenska riktlinjerna för vindkraftsbyggande fastställs att effekterna av rörliga skuggor beaktas om bladet täcker minst 20 procent av solen. I praktiken innebär detta att det maximala avståndet för rörliga skuggor för ett enskilt vindkraftverk beror på bladbredden och att det inte förekommer några rörliga skuggor utanför detta avstånd.

I allmänhet baseras beräkningen av det maximala avståndet på bladens genomsnittliga bredd, vilket bestämmer det maximala avståndet. I praktiken har vindkraftsverkets blad ingen standardbredd: Den bredaste punkten ligger nära vindkraftverkets nav och bladet smalnar av betydligt mot spetsen. På basis av detta sträcker sig de rörliga skuggorna från bladets bas betydligt längre än den från bladets spets, om solens täckningsgrad används som beräkningsgrund. Vid beräkningen av rörliga skuggor i den här utredningen har man inte använt det konventionella maximala avståndet utan beaktat vindkraftverkets varierande bladprofil.

Vid beräkningen av rörliga skuggor användes genomförandeanternativ VE1 med navhöjden 180 meter och VE2 med navhöjden 200 meter. För båda användes en rotordiameter på 180 meter. Vindkraftverkens bladprofil uppskattades baserat på profilinformation av tillverkaren Nordex N163, där bladprofilen är skalbar i förhållande till bladets längd och bredd och motsvarar en rotordiameter på 180 meter. Detaljerna för beräkningsmetoden beskrivs i kapitel 5.

Den verkliga effekten av rörliga skuggor påverkas av vindkraftsverkets driftgrad, trädbeståndet och det lokala vädret (molnighet och vindförhållanden). Om till exempel vindens riktning är vertikal mot linjen mellan solen och iakttagelsepunkten uppstår inga rörliga skuggor. Vid beräkning av skuggbildningen kan vindkraftverkets riktning definieras, varvid rotern antas utgöra ett cirkulärt plan i en viss riktning. Beräkningen av den sannolika effekten av rörliga skuggor har gjorts med sex olika vindkraftverksriktningar. Detta motsvarar skuggningsresultaten för sektorer med tolv vindriktningar, eftersom motsatta vindriktningar resulterar i samma rotorriktning när det gäller rörliga skuggor. Antalet timmar med rörliga skuggor som beräknats för varje vindriktning har skalats med frekvensen av förekomsten av riktningsspektorn från Finlands vindatlas [1] och den tidsmässiga fraktionen av vindkraftverkets hastigheter som bestämts från den riktningsspecifika hastighetsfördelningen. Vid vindar som är svagare än starthastigheten eller starkare än stopphastigheten är vindkraftverken

stillastående och det förekommer inga rörliga skuggor på grund av rotorns rotation. Vindestimatet enligt Finlands vindatlas har tagits mitt på vindkraftsområdet på 200 meters höjd, och de beräknade andelarna per riktningssektor för vindar som ligger mellan vindkraftverkets hastighetsgränser anges i tabellen nedan (Tabell 2).

Den lokala molnigheten har beaktats genom att skala skuggningstider, som beräknats med olika rotorriktningar, med den relativa andelen solskenstimmar som uppmätts vid Pelma väderstation av den teoretiska maximala mängden solskenstimmar [3]. De månatliga sannolikheterna för solsken som beräknats från väderstationens mätningar sammanfattas i tabellen nedan (Tabell 3). Genom att addera det riktnings specifika skalade antalet timmar med rörliga skuggor fås en uppskattning av de faktiska väderrelaterade timmarna för förekomsten av rörliga skuggor i undersökningsområdet.

Tabell 2: Riktningsbundna sektorspecifika andelar med vindhastigheter över 3 m/s baserat på Finlands vindatlas.

Riktningssektor	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Andel över 3 m/s	0,194	0,269	0,141	0,110	0,104	0,114

Tabell 3: Sannolikheten för solsken per månad vid Pelma väderstation.

Månad	Sannolikhet för solsken
Januari	0,162
Februari	0,291
Mars	0,398
April	0,423
Maj	0,479
Juni	0,459
Juli	0,454
Augusti	0,414
September	0,358
Oktober	0,260
November	0,150
December	0,110

I tabellen nedan (Tabell 4) anges 27 referensbyggnader i närheten av vindkraftverken där effekten av rörliga skuggor undersöks närmare. Platserna kallas receptorpunkter och deras positioner i förhållande till vindkraftverken visas på en baskarta (Bild 2). Byggnaderna ligger cirka 1–2,5 km från vindkraftverken.

Tabell 4: Koordinater för receptorer i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet.

Receptor	E	N	Terrängens höjd [m.ö.h]	Byggnadsklassificering
R1	206840	6975777	9	fritidshus
R2	206942	6975797	8	permanent bostadshus
R3	206958	6975724	8	fritidshus
R4	207859	6975221	9	permanent bostadshus
R5	207895	6975138	10	permanent bostadshus
R6	207960	6975002	9	permanent bostadshus
R7	207969	6974915	10	permanent bostadshus
R8	208222	6974826	12	permanent bostadshus
R9	210169	6972231	19	permanent bostadshus
R10	209601	6971413	14	permanent bostadshus
R11	206100	6970268	19	permanent bostadshus
R12	205613	6970415	19	permanent bostadshus
R13	204506	6971881	12	permanent bostadshus
R14	204549	6971956	11	permanent bostadshus
R15	204482	6972169	12	permanent bostadshus
R16	204456	6972204	12	fritidshus
R17	204454	6972247	12	permanent bostadshus
R18	204471	6972522	15	permanent bostadshus
R19	204490	6972569	15	permanent bostadshus
R20	204460	6972712	13	fritidshus
R21	204769	6973203	10	permanent bostadshus
R22	204781	6973281	7	permanent bostadshus
R23	204948	6974254	6	permanent bostadshus
R24	204911	6974262	6	permanent bostadshus
R25	204713	6974355	6	permanent bostadshus
R26	204551	6974454	6	permanent bostadshus
R27	204502	6974507	7	permanent bostadshus

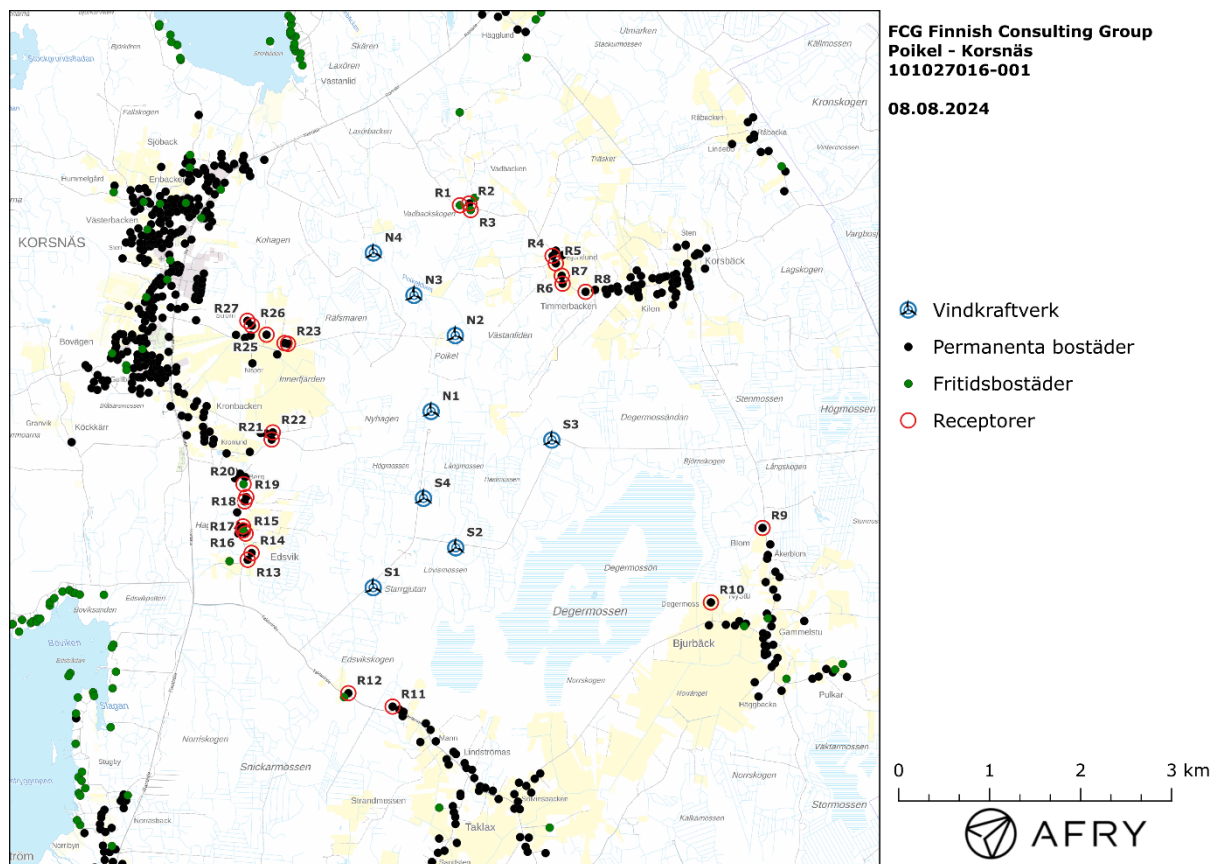


Bild 2: Receptorernas lägen i närheten av vindkraftsparkens projektområde.

3.2 Sannolik effekt av rörliga skuggor

De modellerade uppskattningarna av det sannolika antalet timmar förekomst av rörliga skuggor per år visas på kartan nedan (Bild 3 och Bild 4). I modelleringen beaktas inte effekten av det lokala trädbeståndet på synligheten av vindkraftverken och effekten av rörliga skuggor, varvid de presenterade resultaten är avsevärt större än för den faktiska situationen. På kartorna har de fritids- och bostadshus som finns i omgivningen märkts ut utifrån uppgifterna i Lantmäteriverkets terrängdatabas.

På basis av modelleringarna stannar den årliga sannolika effekten av rörliga skuggor under riktvärdet på åtta timmar vid alla bostads- och fritidshus i närområdet i båda genomförandealternativen. Även den dagliga sannolika förekomsten av rörliga skuggor underskrider riktvärdet 30 minuter vid alla bostäder i området. Tiderna för den årliga sannolika förekomsten av rörliga skuggor och de största dagliga rörliga skuggorna vid receptorerna anges i tabellen nedan (Tabell 5).

Den största effekten av rörliga skuggor riktas mot receptor R1. Noggrannare tidpunkter för den sannolika förekomsten av rörliga skuggor vid receptorn R1 framgår av tabellerna nedan (Tabell 6 och Tabell 7). Tiderna som anges i tabellerna är enligt tidszonen UTC+2 (finländsk vintertid).

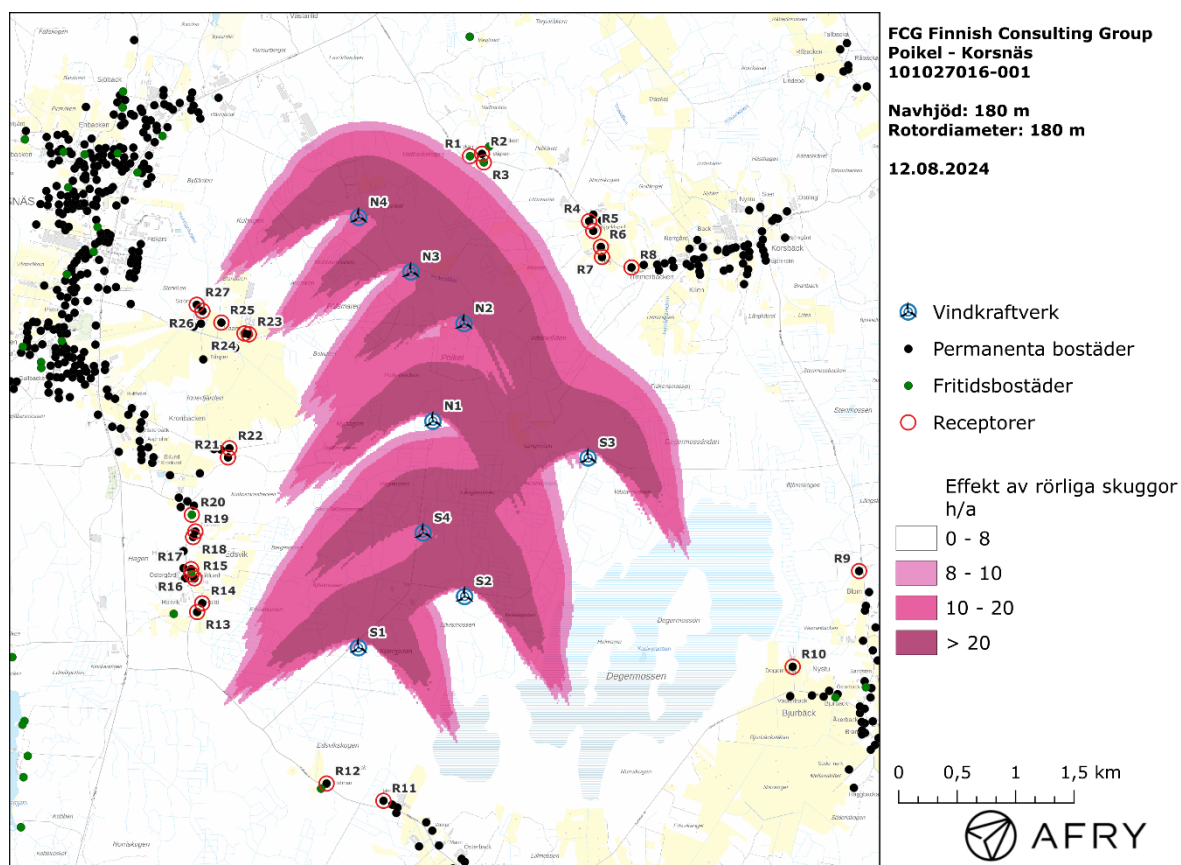


Bild 3: Mängden sannolika rörliga skuggor som vindkraftverken orsakar utan trädbeståndets inverkan med genomförandealternativet VE1.

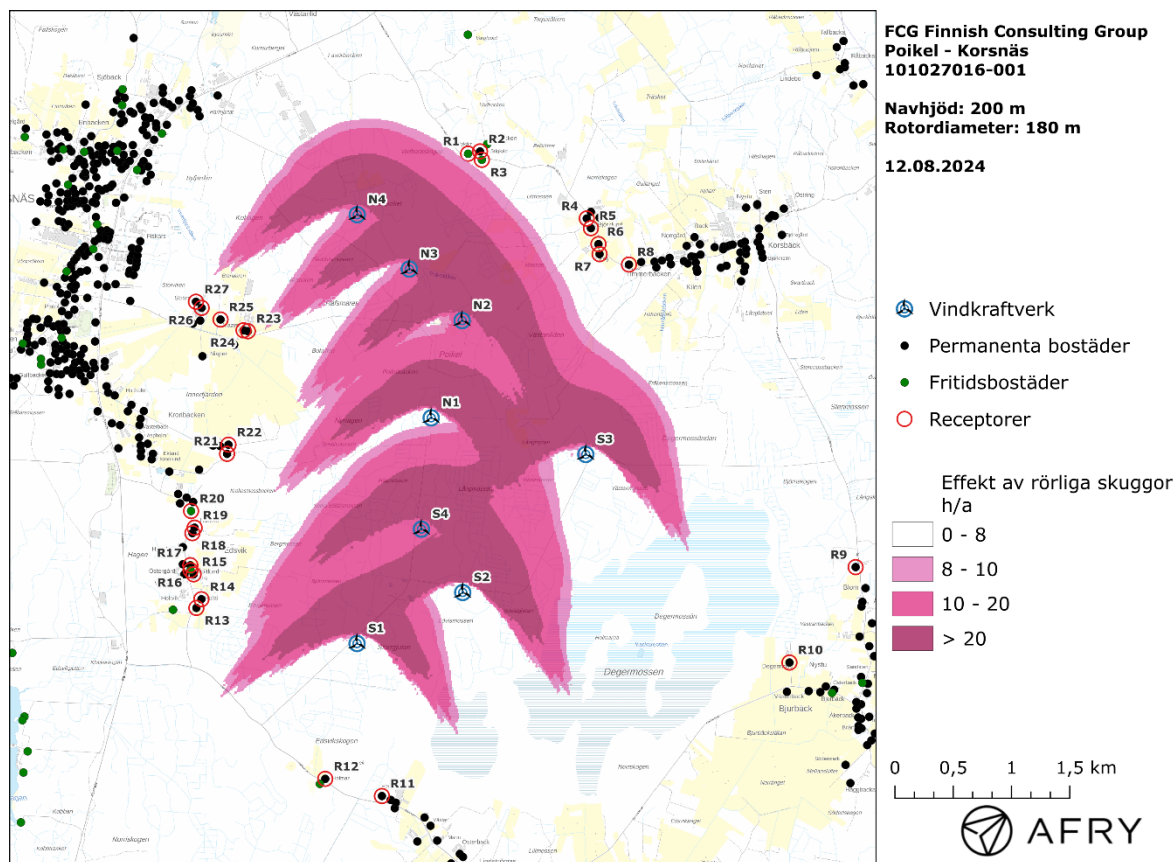


Bild 4: Mängden sannolika rörliga skuggor som vindkraftverken orsakar utan trädbeståndets inverkan med genomförandealternativet VE2.

Tabell 5: Sannolik effekt av rörliga skuggor per dag i timmar och minuter [h:min] vid receptorerna.

Receptor	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2
R1	6:53	0:09	6:46	0:09
R2	5:54	0:07	5:46	0:07
R3	6:40	0:08	6:34	0:07
R4	3:00	0:05	2:56	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:10	0:04	3:07	0:05
R7	3:27	0:05	3:24	0:06
R8	2:28	0:04	2:23	0:05
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00
R12	0:00	0:00	0:00	0:00
R13	1:58	0:05	2:00	0:05
R14	2:04	0:05	2:06	0:05
R15	1:54	0:04	2:06	0:04
R16	1:41	0:03	1:47	0:04
R17	1:37	0:03	1:41	0:03
R18	1:21	0:03	1:23	0:03
R19	1:22	0:03	1:24	0:03
R20	1:09	0:03	1:10	0:02
R21	2:03	0:03	2:07	0:04
R22	1:58	0:03	2:02	0:03
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

Tabell 6: Tidpunkt och varaktighet av den sannolika årliga effekten av rörliga skuggor i timmar och minuter [h:min] vid receptor R1 med genomförandealternativet VE1.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	1:03	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	1:10
Februari	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48	0:21	0:41	0:00	0:00	0:00	1:50
Mars	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:08	0:44	0:00	0:00	0:00	0:52
April	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maj	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Juni	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Juli	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Augusti	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
September	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Oktober	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:13	1:13	0:00	0:00	0:00	0:00	1:26
November	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:29	0:55	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:24
December	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10
Totalt	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31	3:08	1:49	1:25	0:00	0:00	0:00	6:53

Tabell 7: Tidpunkt och varaktighet av den sannolika årliga effekten av rörliga skuggor i timmar och minuter [h:min] vid receptor R1 med genomförandealternativet VE2.

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	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:47	0:03	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50
Februari	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:05	0:24	0:26	0:00	0:00	0:00	1:55
Mars	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16	0:53	0:00	0:00	0:00	1:09
April	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maj	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Juni	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Juli	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Augusti	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
September	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Oktober	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:26	1:11	0:00	0:00	0:00	0:00	1:37
November	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	0:44	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:11
December	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04
Totalt	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:27	3:06	1:54	1:19	0:00	0:00	0:00	6:46

3.3 Trädbeståndets dämpande effekt på rörliga skuggor

På kartbilderna nedan (Bild 5 och Bild 6) visas modelleringar av de sannolika rörliga skuggorna när trädbeståndets dämpande inverkan på skuggorna beaktas. Tiderna för den årliga förekomsten av rörliga skuggor och de största dagliga rörliga skuggorna med beaktande av trädbeståndet vid referensfastigheterna anges i tabellen nedan (Tabell 8). Enligt modelleringarna begränsar trädbeståndet märkbart synligheten för vindkraftverken i Poikel och dämpar därmed effekten av rörliga skuggor. Vid beräkningen har man som trädbeståndsdata använt material med flera källor om trädhöjder från 2021 som Naturresursinstitutet producerat för inventeringen av skogarna i landet (© Naturresursinstitutet, 2023).

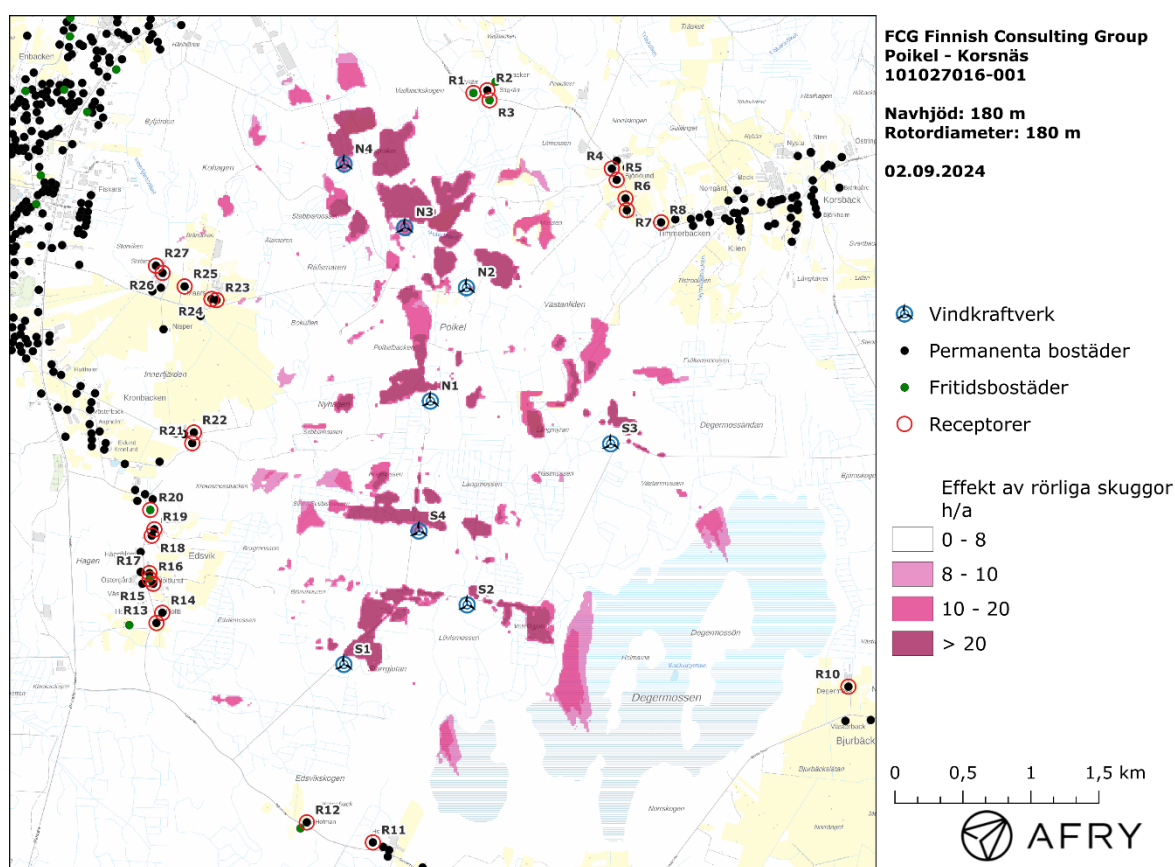


Bild 5: Sannolik effekt av rörliga skuggor för VE1 för Poikel när trädbeståndet beaktas.

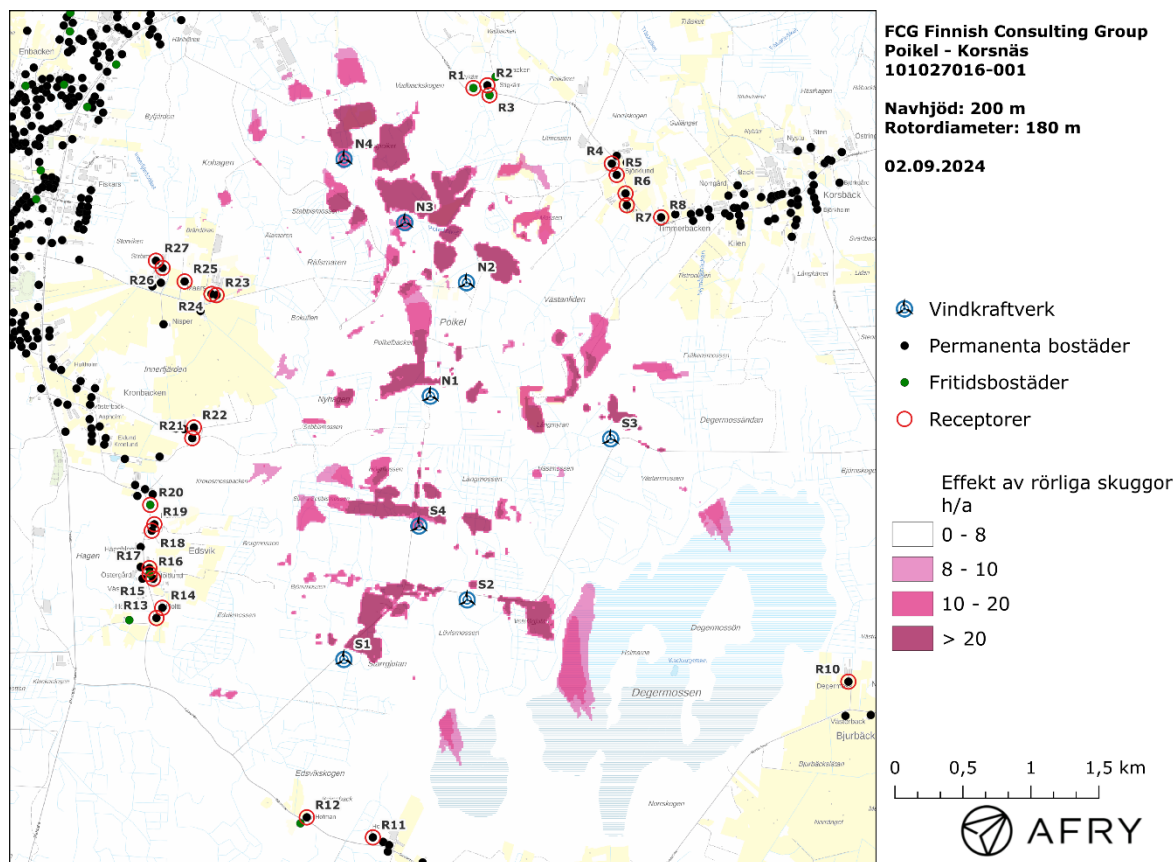


Bild 6: Sannolik effekt av rörliga skuggor för VE2 för Poikel när trädbeståndet beaktas.

Tabell 8: Sannolik effekt av rörliga skuggor per dag i timmar och minuter [h:min] vid receptorerna, när skogens inverkan beaktas.

Receptor	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2
R1	0:21	0:02	0:57	0:04
R2	3:49	0:06	4:30	0:07
R3	2:27	0:08	3:14	0:07
R4	2:46	0:05	2:48	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:05	0:04	3:06	0:05
R7	2:33	0:05	2:54	0:06
R8	0:55	0:04	1:06	0:05
R9	0:00	0:00	0:00	0:00
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00
R12	0:00	0:00	0:00	0:00
R13	0:00	0:00	0:10	0:02
R14	0:00	0:00	0:00	0:00

R15	1:33	0:04	2:01	0:04
R16	1:34	0:03	1:40	0:04
R17	1:35	0:03	1:41	0:03
R18	0:30	0:02	0:40	0:02
R19	0:54	0:02	1:07	0:03
R20	0:28	0:03	0:28	0:02
R21	0:00	0:00	0:00	0:00
R22	0:00	0:00	0:00	0:00
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

3.4 Sammantagna effekter av vindkraftverken i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström

I det här avsnittet bedöms de sammantagna effekterna av vindkraftverken i Poikel och de närliggande planerade vindkraftverken i Molpe, Korsbäck och Harrström. I Molpe planeras fem vindkraftverk och de närmaste ligger cirka fem kilometer nordost om vindkraftverken i Poikel. Sex vindkraftverk planeras i Korsbäck och de närmaste ligger cirka tre kilometer öster om vindkraftverken i Poikel. Fyra vindkraftverk planeras i Harrström och de närmaste ligger cirka sju kilometer sydväst om vindkraftverken i Poikel. De närliggande vindkraftverksparkernas koordinater anges i tabellerna 9–11.

Tabell 9: Lägeskoordinaterna för vindkraftverken i Molpe (5 st.) i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet och terrängens höjd vid vindkraftverksplatsen.

Turbin	E	N	Terrängens höjd [m]
M1	209157	6979922	10
M2	210029	6980204	10
M3	210068	6979386	11
M4	210664	6978919	12
M5	210003	6978294	13

Tabell 10: Lägeskoordinaterna för vindkraftverken i Korsbäck (6 st.) i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet och terrängens höjd vid vindkraftverksplatsen.

Turbin	E	N	Terrängens höjd [m]
K1	210951	6974462	19
K2	211382	6973961	23
K3	210653	6973717	22
K4	212499	6973082	26

K5	212365	6972289	23
K6	212905	6971907	25

Tabell 11: Lägeskoordinaterna för vindkraftverken i Harrström (4 st.) i ETRS-TM35FIN-koordinatsystemet och terrängens höjd vid vindkraftverksplatsen.

Turbin	E	N	Terrängens höjd [m]
H1	201764	6965081	19
H3	202308	6965112	11
H2	202489	6965487	16
H4	202028	6964689	18

I modelleringarna för vindkraftverken i Molpe har navhöjden 190 meter och rotordiametern 200 meter använts. För vindkraftverken i Korsbäck har navhöjden 200 meter och rotordiametern 200 meter använts, och för vindkraftverken i Harrström har navhöjden 125 meter och rotordiametern 150 meter använts. Modelleringar av sammantagna effekter av de sannolika rörliga skuggorna i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström visas på kartbilden nedan (Bild 7 och Bild 8). De sannolika tiderna för de rörliga skuggorna vid receptorerna anges i tabell 12. Den sannolika effekten av rörliga skuggor med beaktande av trädbeståndets minskade effekt på skuggorna visas på kartbilderna nedan (Bild 9 och Bild 10) och tiderna för de rörliga skuggorna vid receptorerna visas i tabell 13.

Enligt modelleringarna medför vindkraftverken i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström inte betydande sammantagna effekter av rörliga skuggor. I modelleringarna av sammantagna effekter medför Korsbäcks vindkraftverk en liten effekt av rörliga skuggor vid receptor R9, men vindkraftverken i Poikel medför ingen effekt av rörliga skuggor vid denna receptor.

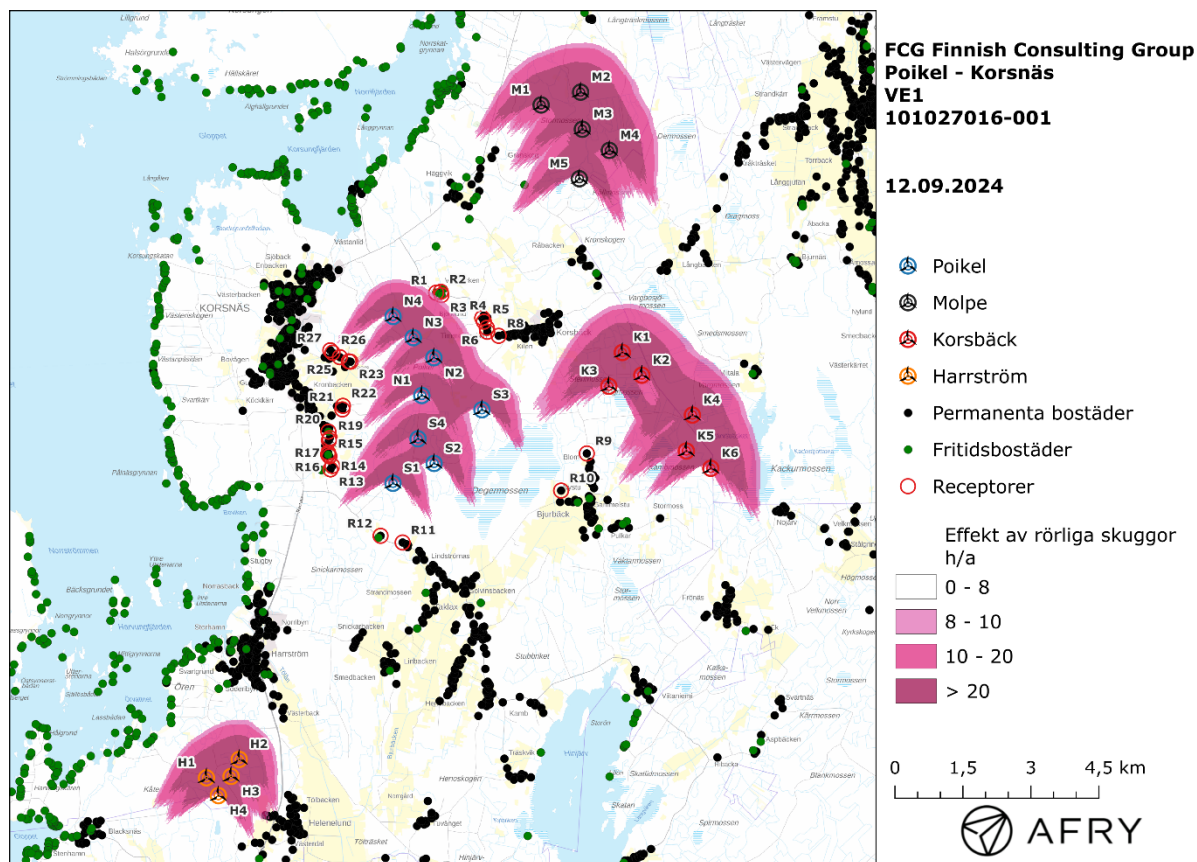


Bild 7: Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor, när vindkraftverken i Poikel VE1, Molpe, Korsbäck och Harrström beaktas i modelleringarna.

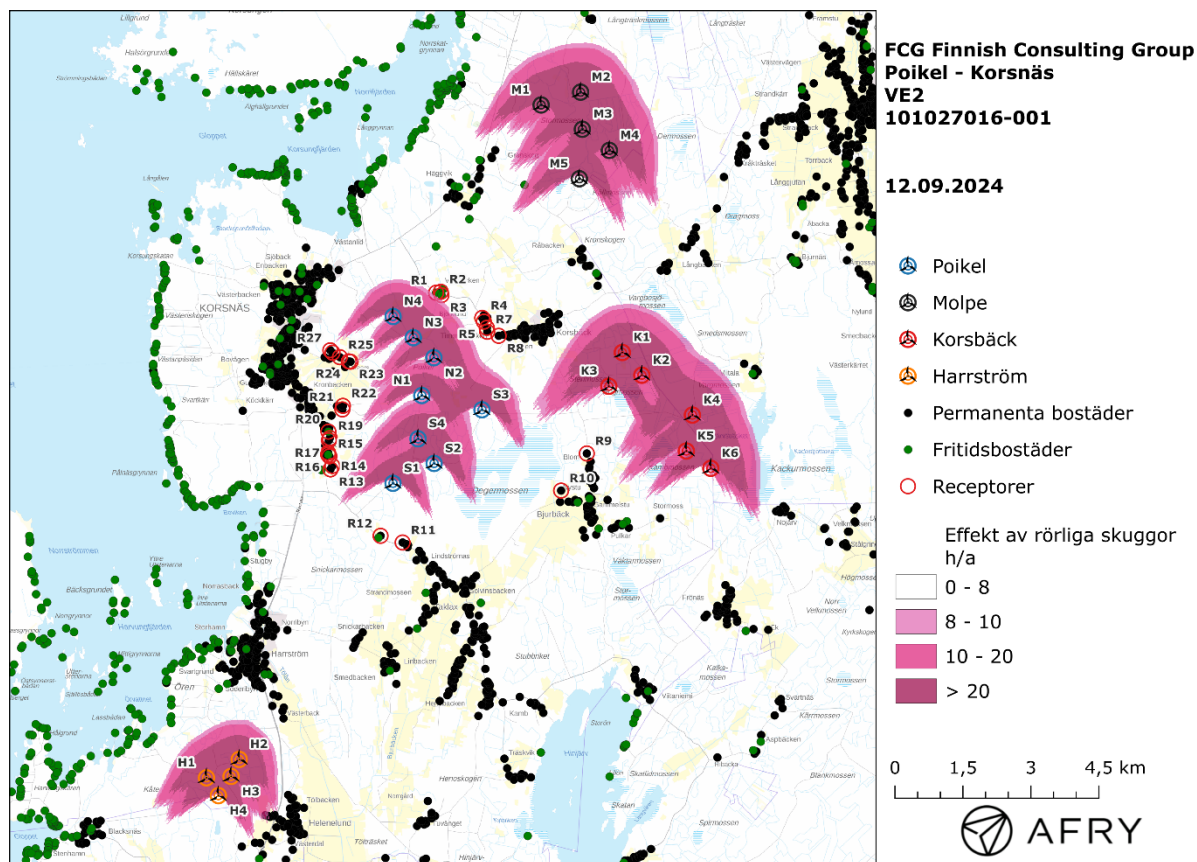


Bild 8: Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor, när vindkraftverken i Poikel VE2, Molpe, Korsbäck och Harrström beaktas i modelleringarna.

Tabell 12: Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor i timmar och minuter [h:min] vid receptorer, när vindkraftverken i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström beaktas i modelleringarna.

Receptor	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2
R1	6:53	0:09	6:46	0:09
R2	5:54	0:07	5:46	0:07
R3	6:40	0:08	6:34	0:07
R4	3:00	0:05	2:56	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:10	0:04	3:07	0:05
R7	3:27	0:05	3:24	0:06
R8	2:28	0:04	2:23	0:05
R9	1:12	0:03	1:12	0:03
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00
R12	0:00	0:00	0:00	0:00
R13	1:58	0:05	2:00	0:05
R14	2:04	0:05	2:06	0:05
R15	1:54	0:04	2:06	0:04
R16	1:41	0:03	1:47	0:04
R17	1:37	0:03	1:41	0:03
R18	1:21	0:03	1:23	0:03
R19	1:22	0:03	1:24	0:03
R20	1:09	0:03	1:10	0:02
R21	2:03	0:03	2:07	0:04
R22	1:58	0:03	2:02	0:03
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

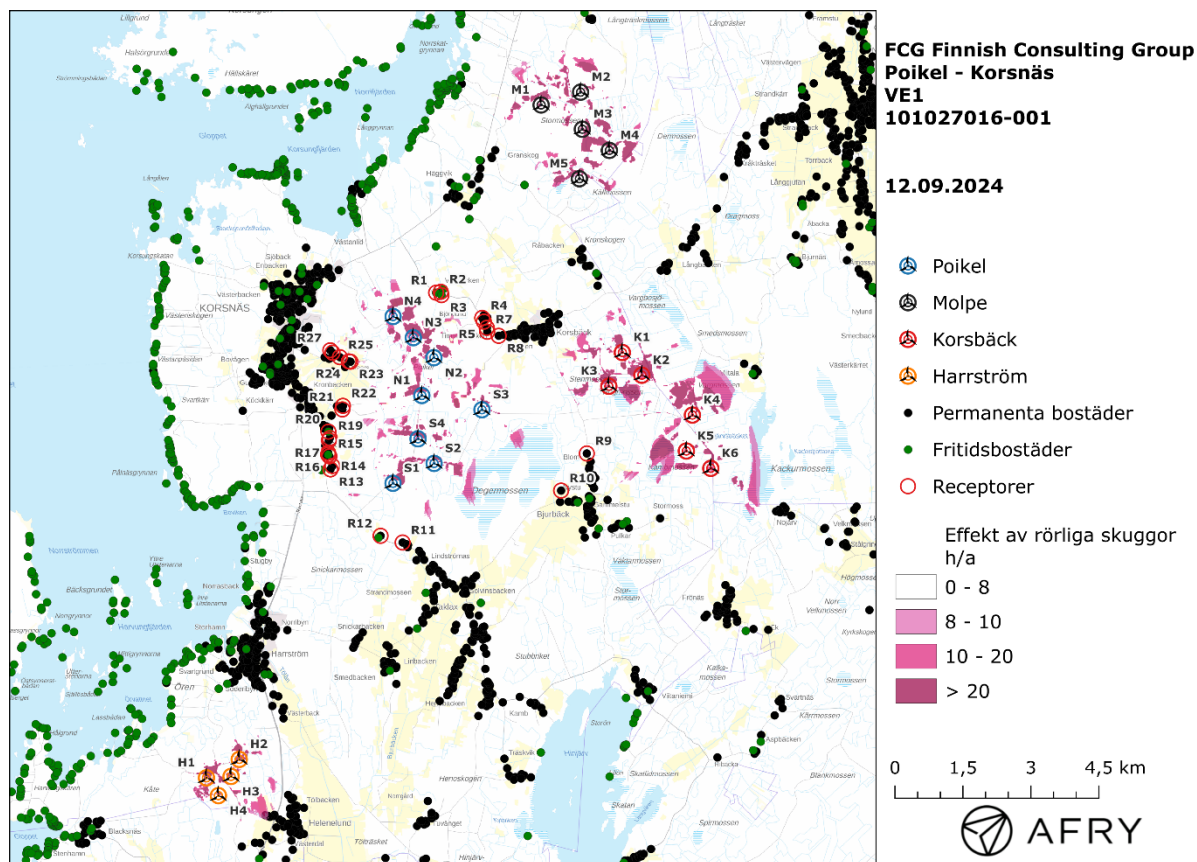


Bild 9: De sannolika effekterna av rörliga skuggor för VE1 i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström när trädbeståndets inverkan beaktas.

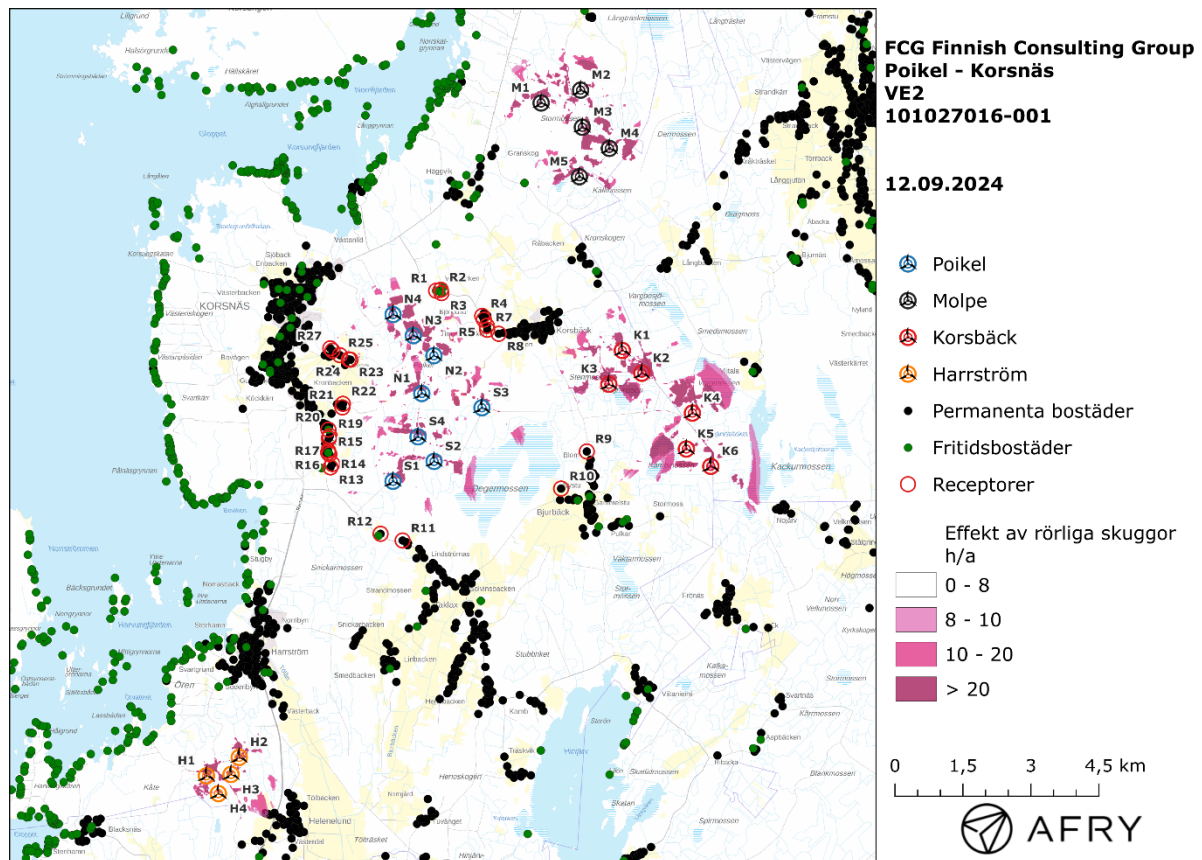


Bild 10. De sannolika effekterna av rörliga skuggor för VE2 i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström när trädbeståndets inverkan beaktas.

Tabell 13: Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor i timmar och minuter [h:min] vid receptorerna, när vindkraftverken i Poikel, Molpe och Korsbäck och trädbeståndets minskande effekt på skuggorna beaktas i modelleringarna.

Receptor	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE1	Sannolik årlig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2	Sannolik maximal daglig förekomst av rörliga skuggor [h:min] VE2
R1	0:21	0:02	0:57	0:04
R2	3:49	0:06	4:30	0:07
R3	2:27	0:08	3:14	0:07
R4	2:46	0:05	2:48	0:04
R5	3:04	0:04	2:59	0:05
R6	3:05	0:04	3:06	0:05
R7	2:33	0:05	2:54	0:06
R8	0:55	0:04	1:06	0:05
R9	0:12	0:02	0:12	0:02
R10	0:00	0:00	0:00	0:00
R11	0:00	0:00	0:00	0:00
R12	0:00	0:00	0:00	0:00
R13	0:00	0:00	0:10	0:02

R14	0:00	0:00	0:00	0:00
R15	1:33	0:04	2:01	0:04
R16	1:34	0:03	1:40	0:04
R17	1:35	0:03	1:41	0:03
R18	0:30	0:02	0:40	0:02
R19	0:54	0:02	1:07	0:03
R20	0:28	0:03	0:28	0:02
R21	0:00	0:00	0:00	0:00
R22	0:00	0:00	0:00	0:00
R23	4:23	0:07	4:59	0:06
R24	3:47	0:06	4:07	0:06
R25	1:52	0:05	1:56	0:05
R26	3:33	0:06	2:33	0:04
R27	4:29	0:07	3:47	0:07

4 Sammanfattning

I rapporten presenteras kalkylerade uppskattningar av hur den planerade vindkraftsparken Poikel i Korsnäs kommun påverkar omgivningen genom effekterna av rörliga skuggor. Konsekvensbedömningen har gjorts för placeringsplanerna VE1 och VE2 för åtta vindkraftverk. I VE1 är rotordiametern 180 meter och navhöjden 180 meter. I VE2 är rotordiametern 180 meter och navhöjden 200 meter.

På basis av modelleringen för rörliga skuggor stannar den årliga sannolika effekten av skuggorna under riktvärdet på åtta timmar vid alla bostads- och fritidshus. Även den sannolika tiden per dag underskrider riktvärdet på 30 minuter vid alla fritids- och bostadshus. När trädbeståndets inverkan beaktas minskar effekten av rörliga skuggor avsevärt.

Kraftverken i Poikel, Molpe, Korsbäck och Harrström medför inte betydande sammantagna effekter av rörliga skuggor.

5 Beräkningsmodell för effekten av rörliga skuggor

Vid beräkningen av effekten av rörliga skuggor används begreppet himmelssfär, som är ett fiktivt skal som motsvarar jordens geografiska koordinater sett från jordklotet 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 anges genom två koordinater (rektascension och deklination). Under året rör sig solen längs ett band på himmelssfären mellan vändkretsarna, och solens frekvens på detta band kan presenteras som täthetsfunktion.

När man räknar ut förekomsten av rörliga skuggor per år i en viss punkt granskar man den del av himlen som syns genom vindkraftverkets rotorcirkel från den aktuella punkten. I beräkningen av synligheten beaktas höjddata för den lokala terrängen. Om bandet mellan vändkretsarna inte syns genom rotorcirkeln förekommer inga rörliga skuggor på betraktelsepunkten. I annat fall fås antalet timmar med rörliga skuggor från ett enskilt vindkraft genom att man integrerar täthetsfunktionen med den andel av himmelssfären som syns genom vindkraftverkets rotorcirkel. Vindkraftverkens sammantagna effekt får man genom att summera det vindkraftverksspecifika antalet timmar med rörliga skuggor, dock med beaktande av eventuella överlappningar i de områden som täcks av rotorcirkeln. Beräkningen utförs separat för vindkraftsverkens olika riktningar som sedan skalas med de riktningsspecifika vindandelarna.

Vid beaktande av månatliga (eller andra kortvariga) variationer i sannolikheten för solsken delas himmelssfärens band in i motsvarande delar enligt solens deklination. Täthetsfunktionen definieras separat för dessa delar, och integrationsresultaten skalas med de månatliga sannolikheterna.

Skuggan av vindkraftsverkets turbinblad minskar gradvis när man rör sig längre bort från vindkraftverket, och efter ett visst avstånd är den rörliga skuggan inte längre synlig för det mänskliga ögat. Detta avstånd beror på vindkraftsverkets bladbredd, och till exempel i de svenska och tyska riktlinjerna för utbyggnad av vindkraft anges att effekterna av rörliga skuggor beaktas om bladet täcker minst 20 procent av solen. I praktiken innebär detta att det maximala avståndet för rörliga skuggor för ett enskilt vindkraftverk beror på bladbredden och att det inte förekommer några rörliga skuggor utanför detta avstånd.

När bladets bredd är w meter kan man använda följande formel för att beräkna maximivståndet för uppkomst av rörliga skuggor utgående från att solen ska täckas till 20 procent:

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

där d är avståndet till solen (150'000'000 km). I allmänhet baseras beräkningen av det maximala avståndet på bladens genomsnittliga bredd, vilket bestämmer det maximala avståndet. I praktiken har vindkraftsverkets blad ingen standardbredd: Den bredaste punkten ligger nära vindkraftverkets nav och bladet smalnar av betydligt mot spetsen. På basis av detta sträcker sig de rörliga skuggorna från bladets bas betydligt längre än den från bladets spets, om solens täckningsgrad används som beräkningsgrund.

Följande diagram (Bild 11) visar en modell av en typisk profil med en maximal bladbredd H på ett avstånd L från bladets bas. Bladets totala längd är R och bladets bredd vid 90 procents avstånd från basen är h . Bladet antas avsmalna lineärt från värdet H till värdet h från den maximala bredden ut mot spetsen. I konventionella beräkningar för rörliga skuggor bestäms vindkraftverkets genomsnittliga bredd som genomsnittet av parametrarna H och h .

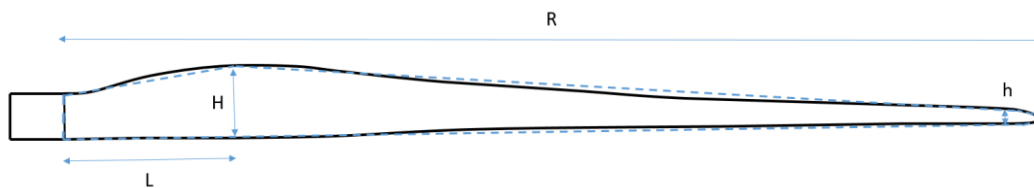


Bild 11. Modellprofil för vindkraftverkets blad.

Beräkningen av rörliga skuggor i denna rapport baserar sig på de profiluppgifter för bladet som meddelats av vindkraftverkets tillverkare. Rotorradien att beakta i beräkningen varierar mellan $[0, R]$ beroende på avståndet från observationspunkten till turbinerna, bladbredden och motsvarande soltäckningsgrad. På detta sätt tar beräkningen av rörliga skuggor hänsyn till vindkraftsverkets 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 m.fl.: 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. Jokinen m.fl.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Meteorologiska institutet, Rapporter 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Datum 2016. Miljöförvaltningens anvisningar 5|2016.