

# Aktivitet av fladdermöss och insekter vid ett vindkraftverk

JOHNNY DE JONG, OLLE HÅSTAD, JONAS VICTORSSON, ANDERS ÖDEEN

RAPPORT 6902 • DECEMBER 2019



# Aktivitet av fladdermöss och insekter vid ett vindkraftverk

Johnny de Jong, Olle Håstad, Jonas Victorsson, Anders Ödeen

NATURVÅRDSVERKET

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00, fax: 010-698 16 00

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6902-5

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2019

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2019

Omslagsfoto: Johnny de Jong



## Förord

Forskningsprogrammet Vindval är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Naturvårdsverket med uppgiften att ta fram och förmedla vetenskapligt baserade fakta om vindkraftens effekter på människa, natur och miljö.

Programmets tre första etapper 2005–2018 omfattade ca 50 forskningsprojekt och fyra syntesrapporter, varav en har uppdaterats. I syntesrapporterna sammanställer och bedömer experter de samlade forskningsresultaten och erfarenheterna av vindkraftens effekter nationellt samt internationellt inom fyra områden: Människors intressen, fåglar och fladdermöss, marint liv och däggdjur på land.

Resultaten från Vindvals forskning har bidragit till underlag för miljökonsekvensbeskrivningar samt planerings- och tillståndsprocesser i samband med etablering av vindkraftsanläggningar. I Vindvals tredje etapp har även ingått att förmedla erfarenheter och ny kunskap från parker som är i drift. Resultat från programmet ska också komma till användning i tillsyn och kontrollprogram samt myndigheters vägledning.

Vindvals fjärde etapp pågår till den 31 december 2021 med fokus på planering och de avvägningar mellan miljö och socio-ekonomiska intressen som måste göras. Programmet ska utveckla metoder och verktyg för att göra sådana avvägningar.

Liksom tidigare ställer Vindval höga krav vid vetenskaplig granskning av forskningsansökningar och forskningsresultat, samt vid beslut om att godkänna rapporter och publicering av projektens resultat. I arbetet med denna rapport har deltagit: Johnny de Jong, Centrum för biologisk mångfald, Olle Håstad, Jonas Victorsson och Anders Ödeen\*, samtliga verksamma vid SLU vid tiden för projektets genomförande.

Författarna svarar för slutsatser och rekommendationer.  
Vindval i november 2019

\*Anders Ödeen avled 2016.



# Innehåll

	<b>FÖRORD</b>	3
1.	<b>SAMMANFATTNING</b>	7
2.	<b>SUMMARY</b>	8
3.	<b>INLEDNING</b>	9
4.	<b>METODIK</b>	13
4.1.	Registrering av fladdermöss	13
4.2.	Fångst av insekter	14
4.3.	Statistisk analys	17
5.	<b>RESULTAT</b>	19
5.1.	Väderdata vid nacellen	19
5.2.	Fladdermusaktivitet	19
5.3.	Artsammansättning	20
5.4.	Insektsfångst	27
5.5.	Korrelation mellan insekter, fladdermöss och väder	28
6.	<b>DISKUSSION</b>	37
7.	<b>TACK</b>	42
8.	<b>KÄLLFÖRTECKNING</b>	43
	<b>BILAGA 1. INSTÄLLNINGAR PÅ AVISOFT OCH D500X</b>	47



# 1. Sammanfattning

Det är väl dokumenterat att fladdermöss kan kollidera med vindkraftverk och det är viktigt att kartlägga de bakomliggande faktorerna för att minska risken för kollisioner. Det finns ett antal hypoteser som kan förklara varför fladdermöss kan förekomma vid vindkraftverkens rotorblad. En av dessa, som testas i den här studien, är att vindkraftverken attraherar insekter, och att fladdermössen nyttjar denna resurs för födosök. För att testa hypotesen placerades en insektsfälla vid nacellen på ett vindkraftverk i Småland, tillsammans med en mikrofon som registrerar fladdermusljud. Insektsfällan var en sugfälla som endast fångade insekter under natten, och utan att attrahera insekterna. Fångst av insekter och registrering av fladdermusljud gjordes under perioden 28 juni till 3 november, 2017. Samtidigt registrerades väderleksvariabler som temperatur, vindhastighet, vindriktning och nederbörd. Registrering av fladdermöss gjordes även under perioden 1 juli till 31 oktober 2018.

Resultatet visar att det finns en korrelation mellan fladdermusaktiviteten och insektsabundansen. Det finns också signifikanta korrelationer mellan fladdermusaktivitet, temperatur och vindhastighet, liksom mellan insektsabundans och vindhastighet. Den negativa korrelationen mellan antal insekter och vindhastighet var ganska stark. Övriga korrelationer är dock ganska svaga och variationen var stor både när det gäller fladdermusaktivitet och insektsabundans. Sambanden mellan fladdermusaktivitet och väderlek tycks inte vara linjära. Fladdermusaktiviteten minskar när temperaturen sjunker under 10 grader och när vindhastigheten är större än 12 m/s. Vi kan också konstatera att det inte fanns någon korrelation mellan fladdermusaktiviteten på marken och aktiviteten uppe vid nacellen. Olika fladdermustaxa hade sin maximala aktivitet vid nacellen under olika tidpunkter, men med ett visst överlapp.

Resultatet från studien ger stöd åt hypotesen att fladdermössen förekommer vid nacellen av vindkraftverken för födosök, men eftersom sambandet är så svagt, och variationen så stor ligger det nära till hands att anta att det finns fler faktorer inblandade, alternativt att fladdermössen är ganska dåliga på att prediktera insektsförekomsten. Ett sätt att minska dödligheten för fladdermöss i ett konfliktområde skulle kunna vara att minska vindkraftverkens attraktion av insekter (ljud, färg, belysning mm). Ett annat sätt kan vara stoppreglering under vissa väderbetingelser, och under vissa tidsperioder. Om man väljer stoppreglering blir det viktigt att så bra som möjligt ringa in under vilka förutsättningar vindkraftverken bör stå stilla. Vår bedömning är att variationen när det gäller fladdermusförekomst och dess respons på väderfaktorer kan vara ganska stor i olika geografiska regioner och det är därför viktigt att upprepa den här typen av försök på flera platser.



## 2. Summary

Bat mortality through collisions with wind turbines is well documented from some sites and it is important to clarify factors that contribute to these collisions in order to mitigate bat mortality. There are several hypotheses that could explain bat mortality at wind turbines. One of these, which we tested in the present study, is that wind turbines attract insects and bat fatalities occur when bats are hunting these insects.

To investigate this we captured insects by using a suction trap placed at the nacelle of a wind turbine in southern Sweden. The suction trap were used from June 28 to November 3 in 2017. In connection with the insect trapping, we recorded bat call at the nacelle and at the base of the wind turbine by using automatic ultrasound detectors. Climate variables such as wind speed, temperature and precipitation were also recorded nightly. During 2018 recording of bats continued at nacelle-height and on the ground from 1 July until 31 October.

We found a positive relation between insect abundance and bat activity at the nacelle. The correlation was, however, weak and both insect abundance and bat activity varied. We found a fairly strong negative correlation between wind speed and insect abundance. There was a significant but weaker negative correlation between bat activity and wind speed and a positive correlation between bat activity and temperature. Both these correlations were nonlinear - bat activity was lower at temperatures below 10°C and at wind speeds above 12 m/s. There was no correlation between bat activity at the nacelle and at the base of the wind turbine. Bat species also had different periods of peak activity during the season.

Our results support the hypothesis that bats occur at the nacelle in order to hunt insects. However, since the correlation between insect abundance and bat activity was weak there might be additional reasons for bat activity around the nacelle. Alternatively, the bats might not be able predict insect abundance at the nacelle with such high precision.

One way to mitigate bat mortality within a conflict area could be to lower insect attraction to wind turbines by adjusting wind turbine coloration or the light regime. Another way is to halt the rotors temporarily at particular meteorological situations (low wind speeds and/or high temperatures) or during parts of the season when bat collisions are most likely. The method of periodically halting the rotors can be costly and its implementation requires detailed knowledge of bat activity at wind turbines. Our study shows that there might be high variation in bat activity is that bat activity and its correlation to environmental factors vary geographically. Therefore, similar surveys should be carried out at more sites in order to draw conclusions on bat mortality mitigation.

### 3. Inledning

Fossila energikällor anses vara en av de främsta orsakerna till klimatförändring och det finns uttalade politiska mål om att ersätta fossil energi med förnybar energi (Europaparlamentet och rådets direktiv 2009/28/EG). En av de mest utvecklade förnybara energikällorna är vindkraft, och i Sverige bidrog vindkraft år 2018 till 11 % av elproduktionen (Energimyndigheten 2019). Vindkraften är dock inte fri från miljöpåverkan. Det är väl dokumenterat att vindkraften kan ha negativ inverkan på t.ex. fåglar, fladdermöss och marina arter. Den orsakar också bullerstörning och habitatförändringar till följd av exploateringen (Dai et al. 2015, Wang & Wang 2015, Barrè et al. 2018). Ett viktigt mål framöver blir därför att minimera negativ påverkan.

Kollisioner mellan vindkraft och fladdermöss har demonstrerats i ett flertal studier i USA och i Europa, och man har visat att tusentals fladdermöss dödas (Arnett & Baerwald 2013, Zimmerling & Francis 2016). Effekter på populationsnivå kan inte heller uteslutas (Frick et al. 2017). I Skandinavien är emellertid antalet studier än så länge relativt begränsat (Rydell et al. 2017). Ett antal hypoteser kring varför fladdermöss kolliderar med vindkraftverk har presenterats (Kunz et al. 2007, Cryan & Barclay 2009), samt förslag på åtgärder för att förhindra eller åtminstone minska dödsfall bland fladdermöss. Hypoteserna kan delas in i två grupper:

1. Vindkraftverken står i vägen för fladdermössen under deras förflyttningar.
2. Vindkraftverken attraherar fladdermössen som aktivt söker sig dit.

Ett starkt stöd för den första hypotesen är att de flesta arter som dör är migrerande arter, och de flesta dödsfallen sker också under migrationstiden, dvs. från mitten av augusti till slutet av september (Arnett & Baerwald 2013, Thompson et al. 2017). Det har dock visat sig att det inte bara är migrerande arter som drabbas. Även relativt stationära arter, t.ex. inom släktena *Eptesicus* och *Pipistrellus* (t.ex. nordfladdermus och dvärgpipistrell) dödas av vindkraftverk (Ahlén 2002, Behr & von Helversen 2006), vilket ger stöd åt den andra hypotesen. Hypotes 2 kan vidare delas in i följande underhypoteser:

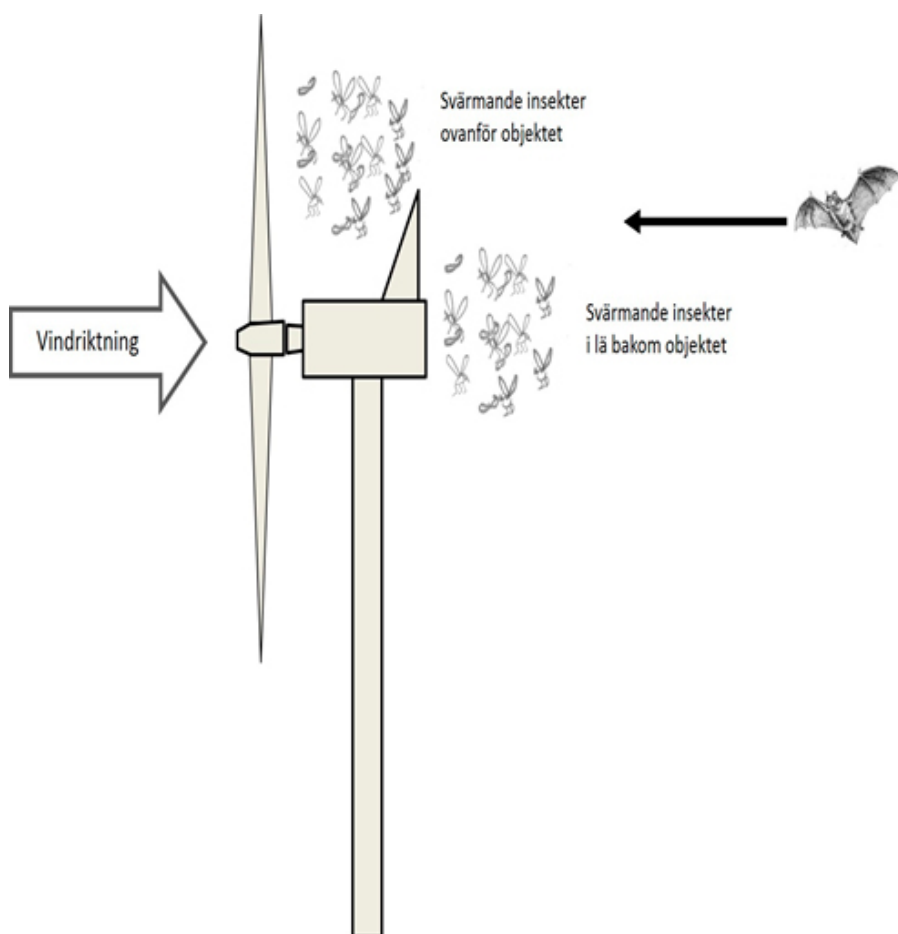
- a) Att fladdermössen söker sig till vindkraftverken för att fånga insekter, dvs. vindkraftverken attraherar insekter och fladdermössen utnyttjar detta fenomen (Rydell et al. 2010, Cryan et al. 2014, Reimer et al. 2018)
- b) Fladdermössen söker sig till vindkraft för att vila (Bennet et al. 2017)
- c) Fladdermössen förväxlar vindkraftverk med träd (Cryan et al. 2014)
- d) Fladdermössen attraheras av vindkraftverkens ljudproduktion (Kunz 2007)
- e) Fladdermössen attraheras av belysningen på vindkraftverken (Bennett & Hale 2014)

Det finns visst stöd för alla dessa hypoteser, och förklaringen kan möjligen vara en kombination av faktorer med varierande betydelse i olika regioner.

I den här studien fokuserar vi på hypotes 2a och undersöker aktiviteten av fladdermöss och tätheten av insekter uppe vid nacellhöjd, och om hypotesen stämmer förväntar vi oss ett positivt samband mellan dessa två variabler. Det finns ett antal studier som undersökt denna hypotes tidigare. Foo et al. (2017) mätte insekts- och fladdermusförekomst vid vindkraftverk i norra Texas, USA, och jämförde fladdermössens maginnehåll med innehållet i fekalier påträffade vid nacellen. Man kunde visa att fladdermössen födosökte och rastade vid nacellen, och att de insektsarter som fanns uppe vid nacellen också var de arter som fladdermössen åt. Även Bennet et al. (2017) kunde ge stöd åt hypotesen genom att med hjälp av fekalieanalys visa att fladdermössen aktivt födosökte uppe i nacellhöjd. Rydell et al. (2016) visade att fladdermöss som hittats döda nedanför vindkraftverk ätit dagaktivaflugor och föreslog att fladdermöss inte bara födosöker i luften vid vindkraftverken utan också söker efter rastande insekter på vindkraftverken.

En metod som föreslagits för att undvika kollisioner med fladdermöss är att vindkraftverken stängs av under perioder med stor risk för kollisioner (s.k. stopp-reglering, Rydell et al. 2017). Detta förslag baseras på observationer av att de flesta kollisioner sker under höstnätter (augusti-september), vid relativt höga temperaturer, vid låga vindhastigheter (Baerwald & Barclay 2011). Avstängningen skulle då ske schablonmässigt när vissa väderlekskriterier har uppnåtts. Förslaget verkar logiskt, särskilt om förklaringen till fladdermössens närvaro vid vindkraftverken är insektstätheten, och insektstätheten är korrelerad med vissa väderleksdata. Schablonmässig avstängning förutsätter dock att kunskapsläget om vad som påverkar insektsabundansen är god, annars finns det risk både för avstängning när fladdermusaktiviteten är låg (blir dyrt) och för att vindkraftverken snurrar när fladdermusaktiviteten är hög (dödade fladdermöss).

En anledning till att insekter finns vid vindkraftverket kan vara att de använder nacellen som föremål att svärma vid. Tvåvingar (ordningen Diptera) och vissa andra insekter har ett svärmsbeteende där individer av båda könen flyger i grupper vid tydliga upprätta föremål i landskapet (Downes 1969). Under svärmsningen sker partnerval och par av honor och hane avviker från svärmen för att para sig i närheten. En svärm kan bli stor och innehålla tusentals individer under rätt förhållanden. Typisk svärmsbeteende för myggor är att individerna i svärmen är vända mot vinden och svärmen håller sig stationär ovanför eller i lä bakom ett lämpligt upprättstående föremål (Downes 1969). Detta beteende kan därför leda till ansamlingar av insekter främst ovanför (om vinden är svag) eller bakom nacellen (Fig. 1). Ansamlingar av insekter vid nacellen är en förklaring till varför fladdermöss uppehåller sig där (Ahlén et al. 2007, Kunz et al. 2007, Rydell et al. 2010). Fladdermöss närmar sig ofta nacellen från läsidan och befinner sig oftare där under nätter med låga vindhastigheter (Cryan et al. 2014). Vid insamlingar i anslutning till vindkraftverk har man funnit bl. a. tvåvingar av familjerna fjädermyggor (Chironomidae), gallmyggor (Cecidomyiidae), stickmyggor



Figur 1. Ansamling av insekter sker mest sannolikt ovanför (om det är svag vind) eller bakom nacellen.

(Culicidae) och harkrankar (Tipulidae) samt fjärilar av familjen nattflyn (Noctuidae) (Ahlén et al. 2007, Rydell et al. 2016). En annan anledning till att insekter finns vid nacellen är om de under spridning befinner sig på den höjd som nacellen har. Dessa djur kan beskrivas som lufthavets plankton (Svensson and Solbreck 2008) och använder vindarna för att kolonisera nya platser. Man har uppskattat att det i luften ovanför 1km<sup>2</sup> av mark kan finnas 14 miljoner insekter (Coad 1931). Bladlöss är en grupp där en ganska stor del av populationen sprider sig på hög höjd (Svensson & Solbreck 2008). Under lämpliga väderförhållanden med stigande varm luft så kan stora mängder insekter röra sig i lufthavet, ofta i stora svärmar (Geerts & Miao 2005b, a). Insekter rör sig också vertikalt i luftmassan för att söka upp höjder med för dem lämplig vindriktning (Reynolds et al. 2005).

Insekternas svärmbeteende vid vindkraftverken påverkas rimligen av vindkraftverkens placering, väderlek (temperatur, vindhastighet, vindriktning, nederbörd), tidpunkt på året, ljus och värme. Det kan också finnas regionala variationer vilket gör det svårt att sätta upp riktlinjer som huvudsakligen baseras på data från t.ex. Centraleuropa eller USA.

I den här studien presenterar vi data på fladdermusaktivitet på ett vindkraftverk under två höstar (juli-oktober, 2017 och 2018) på nacellhöjd

(130 m) och på marken (5 m). Två olika system för fladdermusinspelningar (Avisoft och D500X) har jämförts. Vi har också samlat in meteorologiska data och mätt insektsförekomsten (2017) på nacellhöjd. Syftet var att i) testa hypotesen att fladdermöss söker sig till vindkraftverk för födosök, ii) få fram data som kan användas som underlag vid rekommendationer om stopp-reglering, iii) undersöka hur fladdermusaktivitet och artsammansättning varierar på nacellhöjd under en längre tidsperiod vid ett vindkraftverk i ett skogsdominerat område, iv) jämföra två olika inspelningsmetoder (D500X och Avisoft) av fladdermöss.

## 4. Metodik

Datainsamlingen genomfördes på ett vindkraftverk i södra Sverige på småländska höglandet i en barrskogsdominerad miljö (Fig. 2). Fladdermusaktiviteten mättes både vid basen av vindkraftverket (ca 5 meter över marken), och uppe vid nacellen (ca 130 meter över marken) från 28 juni till 3 november 2017 och från 1 juli till 31 oktober 2018. Under 2017 samlades dessutom data över insektsabundans, vindhastighet och temperatur vid nacellen. Mätning av nederbördsmängden gjordes vid SMHIs väderstation i Målilla, ca 3 mil från vindkraftverket.



Figur 2. Omgivningarna runt vindkraftverket domineras av produktionsinriktad barrskog.

### 4.1. Registrering av fladdermöss

Under 2017 registrerades fladdermusljuden med ultraljudsdetektor av fabrikat AVISOFT 116 hnbm kopplad till mikrofon av fabrikat EP3. Ultraljudsdetektorerna kopplades till en laptop som placerades inne i vindkraftverket. Ljudinspelning från båda enheterna lagrades på en extern hårddisk kopplad till laptop. Under 2018 användes samma utrustning, men kompletterades också med D500X (Pettersson Elektronik). Dataanalys har gjorts med mjukvaruprogrammet Omnibat (Ecomcom AB) som sorterar och identifierar alla inspelade fladdermusljud. Samtliga filer som programmet identifierade som fladdermöss har granskats manuellt, dels med programmet Omnibat, och dels med Batsound (Pettersson Elektronik AB). Inspelningen var koordinerad med insektsfällan och inställd på att starta ungefär vid solnedgången och stoppa vid soluppgång (Tabell 1). Inställningar som använts för AVISOFT-enheterna

följer den standard som anges av Bundesministerium für Umwelt – den tyska motsvarigheten till Naturvårdsverket (svenska riktlinjer saknas). Använda inställningar har en hög känslighet vilket innebär att sannolikheten att en passerande fladdermus ska spelas in är mycket god (Fig. 3, Bilaga 1). Inställningarna för D500X framgår av bilaga 1. En fladdermusregistrering är detsamma som en ljudfil av en individ som passerar mikrofonen.

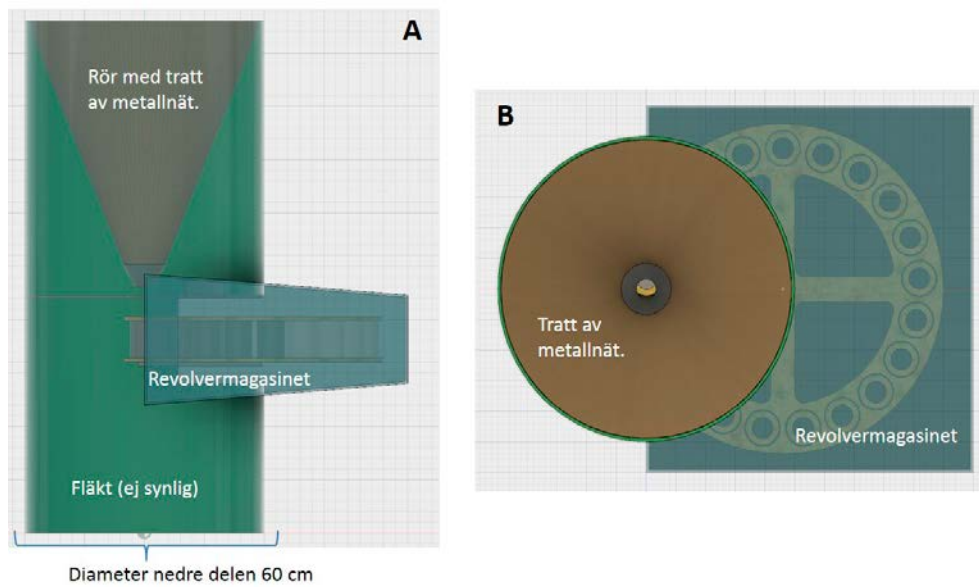


Figur 3. Placering av mikrofoner strax ovanför dörren till vindkraftverket. Mikrofonerna är riktade 90° ut från vindkraftverket. Den ena mikrofonen är ansluten till Avisoft, den andra till D500X.

## 4.2. Fångst av insekter

Insekter insamlades in 2017 med en sugfälla monterad på kraftverkets nacell. Sugfällan är en välkänd fälltyp som fungerar enligt samma princip som en dammsugare (Southwood and Henderson 2000). I botten på fällan finns en fläkt som skapar ett sug genom fällan. Insekterna samlas upp mot ett nät och koncentreras till ett uppsamlingskärl fyllt med glykol. Sugfällor av olika typer används ofta för att uppskatta födotillgången för fladdermöss (Rydell et al. 1996, Park and Cristinacce 2006, Nicholls and Racey 2009).

Det som är nytt med fällan i det här experimentet är att den innehåller ett revolvermagasin där 21 provburkar kan bytas så man får en ny burk varje natt (Fig. 4). Vi tog fram CAD-ritningar (digitalt baserad design) på fällan som sedan byggdes av forskningstekniker vid RISE, Jordbruk och livsmedel (f d JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik). En övervakningskamera placerades inne i revolvermagasinet (Fig. 4, 5). Kameran tog två bilder per dygn på den aktiva provburken. Bilderna laddades upp på en server via GSM-nätet och gjorde det möjligt för oss att se att rätt provburk var aktiv. Normalt sett görs den här typen av fälla av plast men ytterhöljet till vår fälla var av rostfritt stål för att den skulle tåla vindhastigheterna uppe på nacellen (Fig. 6). Fällan är datorstyrd så vi kunde byta tider för när fällan skulle vara aktiv.







Figur 6. Den färdiga insektsfällan. (A) Genom öppningen där revolvermagasinet ska sitta kan man skymta fläkten. (B) Revolvermagasinet med 21 burkar. Den vita lådan till höger innehåller datorer för styrningen av fällan. (C) Nättratten sedd ovanifrån. Insekterna sugts ned i nättratten och hamnar i den aktiva burken längst ned. (D) Kontrollpanelen där tiden för när fällan är aktiv kan ställas in.

Var tredje vecka (efter 21 dagar) gick tekniker upp till fällan, bytte ut burkarna mot nya samt ställde in nya tider för när fällan skulle vara aktiv. Varje natt var fällan aktiv från solens nedgång till dess uppgång. Vi valde de tider för solens upp- och nedgång som gällde för den sista dagen i 21-dagarsperioden (Tabell 1). Fällan monterades uppe på nacellen framför verkets kylflänsar (Fig. 7).



Figur 7. Insektsfällan på plats uppe på nacellen framför kylflänsarna. (A) Fällan från sidan med stödben under revolvermagasinet. (B) Fällan från andra sidan med kontrollpanelen synlig.

Fällan har en axialfläkt med diametern 50 cm som skapar ett luftflöde på 6000 m<sup>3</sup>/h genom fällan (Svensson and Solbreck 2008). Metallduken som bildar struten i fällan har hål som är 0.4x0.4 mm (Svensson and Solbreck 2008).

**Tabell 1.** De tider som insektsfällan var aktiv. Fällan hade 21 burkar och var tredje vecka gick tekniker upp i verket för att byta burkar och ställa in nya tider för när fällan skulle vara aktiv. Under period 2 (dagnummer 22-42) så var fällan aktiv större delen av dygnet. Under övriga perioder så var fällan aktiv endast nattetid från solens nedgång till dess uppgång under 21-dagarsperioden.

Period nummer	Dagnummer	Mätperiod	Fällan aktiv
1	0-20	28 juni - 18 juli	22:30 - 04:00
2	22-42	20 juli - 9 augusti	08:30 - 04:00
3	44-64	11 augusti - 31 augusti	20:00 - 06:00
4	65-85	1 september - 21 september	19:00 - 06:45
5	86-106	22 september - 12 oktober	18:00 - 07:30
6	108-128	14 oktober - 3 november	17:10 - 08:00

### 4.3. Statistisk analys

Sambandet mellan vädervariabler, insektsabundans och antal registreringar av olika fladdermustaxa analyserades med hjälp av multipla poissonregressioner. Abundansdata som t.ex antalet fladdermusregistreringar är nästan aldrig normalfördelade utan man bör använda poissonmodeller som tar hänsyn till att data är just poissonfördelade (Quinn and Keough 2002). Vi mätte tre vädervariabler varje natt: 1) vindhastigheten är medelhastigheten under

natten mätt under den period som insektsfällan var aktiv; 2) temperaturen är på samma sätt medeltemperatur under natten medan; 3) nederbörden är totala regnmängden under natten. För att förklara antalet fladdermusregistreringar användes även insektsabundansen som en förklarande variabel. Korrelationerna mellan de förklarande variablerna låg mellan -0.32 och + 0.08 och var därför inte så höga så att det fanns risk för multikollinearitet (Quinn and Keough 2002). För varje fladdermustaxa med tillräckligt många registreringar för att modellerna skulle konvergera så analyserades 14 modeller som bestod av alla möjliga kombinationer av de fyra förklarande variablerna förutom interaktioner. Vi tog inte med interaktionerna eftersom interaktioner mellan fyra variabler snabbt leder till ett mycket stort och ohanterbart antal modeller. Bland dessa 14 modeller valdes den ut som hade lägst AIC-värde (Akaike information criterion) i kombination med att de variabler som ingick i modellen skulle ha ett p-värde < 0.20. Figurer med regressionslinjer presenteras för alla faktorer i den modell som valdes ut. Modellen för att förklara insektsabundansen hade endast de tre vädervariablerna som förklarande variabler. Alla analyser gjordes med proc GENMOD i statistikprogrammet SAS version 9.4 (SAS, Cary, NC). I de flesta modeller fanns en överspridning och därför använde vi kommandot *dscale* i proc GENMOD för att kompensera för denna överspridning.

## 5. Resultat

### 5.1. Väderdata vid nacellen

Medeltemperaturen var  $12.36 \pm 0.29^\circ\text{C}$  och temperaturen sjönk under mätperioden (Fig. 8A). Vindhastigheten var i genomsnitt  $7.36 \pm 0.22\text{ m/s}$  (Fig. 8B). Under mätperioden fanns en negativ korrelation mellan temperatur och vindhastighet upp vid nacellen (Spearman rank correlation  $r_s = -0.25$ ,  $p < 0.01$ ) vilket innebär att det blåste mindre under varma nätter (Fig. 8C). De flesta nätterna (69 %) var regnfria. De nätter det regnade kom det mellan 0.1 och 20.1 mm regn ( $5.8 \pm 2.2\text{ mm}$ , medel  $\pm$  standardfel).

### 5.2. Fladdermusaktivitet

Under 2017, då endast Avisoft användes, registrerades totalt 35 385 ljud varav 2 980 fladdermöss (Tabell 2). Fladdermössen registrerades från 28 juni till 29 oktober (totalt 124 nätter), men utrustningen fungerade inte alla nätter. Vid marknivå registrerades fladdermöss under 91 nätter, och vid nacellen under 104 nätter. Antalet nätter då båda stationerna fungerade samtidigt var 85. Det som vi framförallt missade var mätningar vid marknivå under juli månad. Under 2018 användes både D500X och Avisoft. Inte heller detta år fungerade utrustningen perfekt. Från D500X fick vi resultat från 101 nätter vid marknivå och 113 från nacellen. Från Avisoft fick vi i stort sett bara data från marknivå, 131 nätter vid marken och 26 vid nacellen, och vid nacellen fick vi endast data från juli månad. Det visade sig vara stor skillnad mellan de två olika typerna av ultraljudsutrustning när det gäller antalet registreringar. Med D500X registrerades totalt 188 570 ljud, medan Avisoft endast registrerade 4019 ljud. När det gäller antalet fladdermusinspelningar var det dock det omvända förhållandet, 1147 fladdermusljud från D500X och 2130 från Avisoft (tabell 2). Detta trots att Avisoft bara fungerade vid marknivå. I genomsnitt registrerade D500X 881 ljud per natt (låg och hög höjd), varav 5.4 innehöll fladdermusregistreringar. Avisoft registrerade 26 ljud per natt varav 13,6 innehöll fladdermusregistreringar. Det vill säga Avisoft hittade 2.5 gånger fler fladdermöss. Orsaken till detta är att Avisoft har ett effektivt filter som möjliggör en känsligare inställning av registreringen.

Antalet registreringar vid nacellhöjd varierade ibland avsevärt från dag till dag (Fig. 9-10). Ett exempel från nacellhöjd var den 11 och 12 augusti, 2017 då antalet registreringar var 717 första natten och 13 andra natten. Ett exempel från marknivå är den 9 september, 2018, då 1 registrering gjordes, och den 10 september då 275 registreringar gjordes. Det är tydligt, både 2017 och 2018, att antalet registreringar är flest vid marknivå i början av mät-säsongen, medan den är störst vid nacellhöjd i mitten av mätperioden. Det finns således inte någon positiv korrelation mellan antalet registreringar vid marken och vid nacellen (Fig. 11).

I analysen av aktiviteten av nordfladdermus, *Eptesicus nilssonii*, gick det inte att kompensera för överspridning om den mest extrema natten var med (550 registreringar den 11 augusti) så analysen gjordes utan den natten. I analysen av alla fladdermusregistreringar så presenterar vi två analyser, med respektive utan den extrema natten (Fig. 9, 12). De tre vanligaste taxa vid nacellhöjd under 2017 var nordfladdermus (*Eptesicus nilssonii*), dvärgpipistrell (*Pipistrellus pygmaeus*) och *Myotis* sp. Det finns ett överlapp mellan dessa tre taxa i aktiviteten, men aktivitetstopparna ser ut att tidsmässigt ligga lite olika under säsongen (Fig. 12).

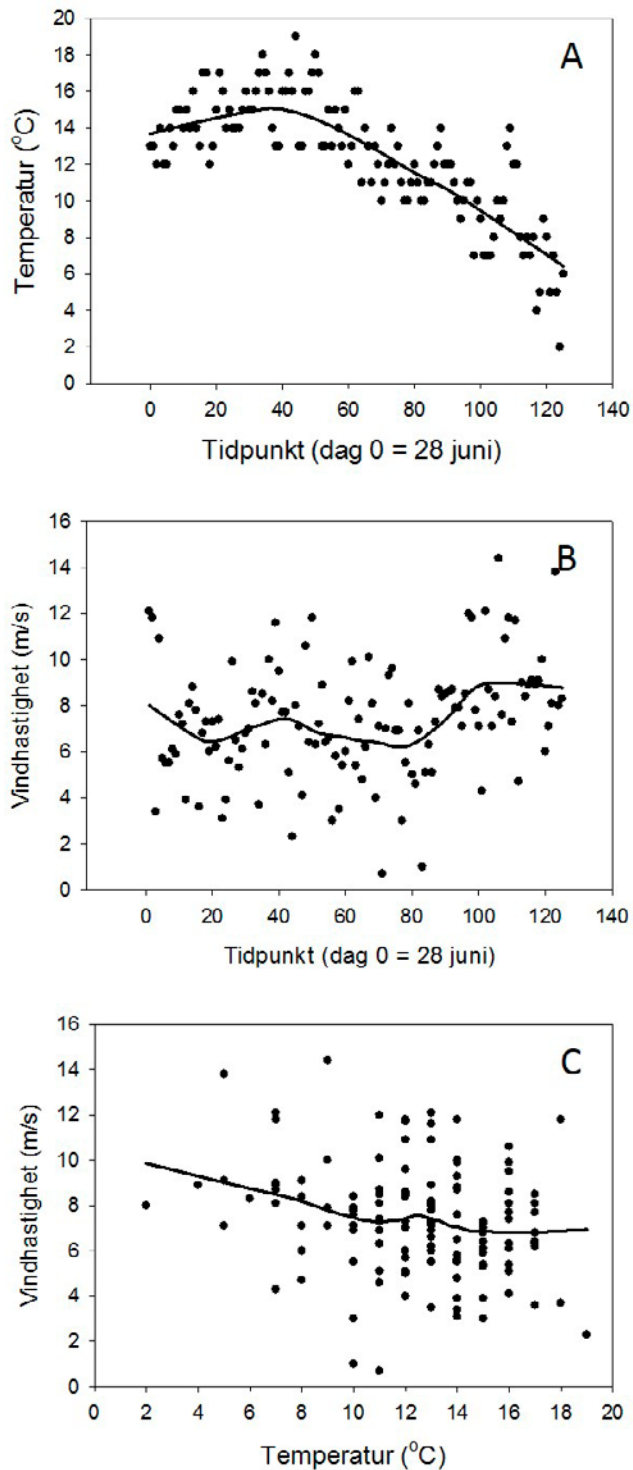
Under 2018 fungerade Avisoft-utrustningen vid nacellen endast under 26 dagar i juli, så det finns inga jämförbara data vid nacellhöjd. Däremot fungerade Avisoft vid marknivå både under 2017 och 2018. Resultatet visar att det finns ett mönster med hög aktivitet i början av mätsäsongen av alla arter, men det visar också på en viss variation mellan åren och att aktivitetstoppar även kan dyka upp vid andra tidpunkter (Fig. 13).

### 5.3. Artsammansättning

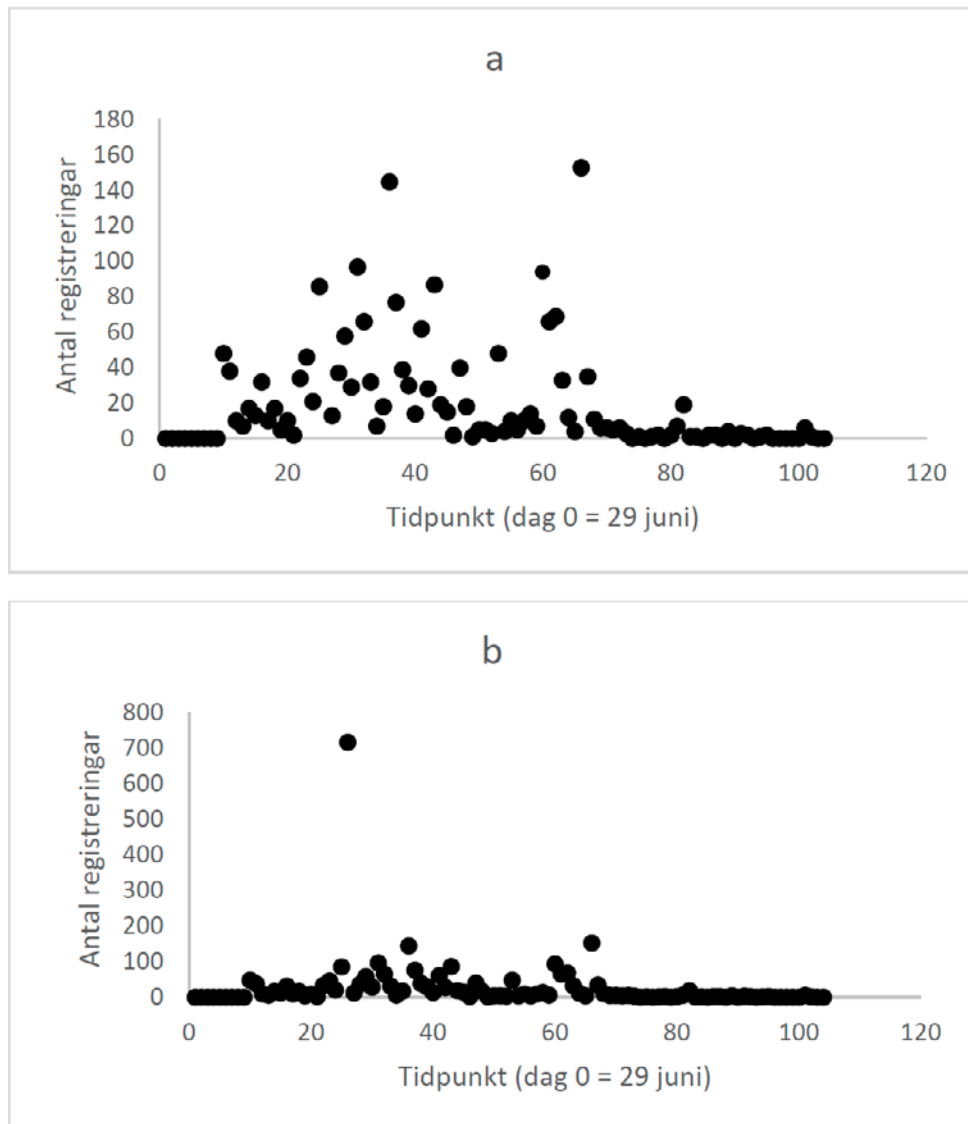
Arterna inom släktet *Myotis* sammanfördes till *Myotis* spp eftersom flera av arterna är svåra att särskilja på lätet. Även andra släkten av fladdermöss kan vara svåra att artbestämma eller till och med bestämma till släkte, och ett antal registreringar fick bli obestämda och noterades då som Chiroptera. Artförekomsten dominerades av nordfladdermus, dvärgpipistrell, *Myotis* spp. Dessa taxa utgör 85 % av alla registreringar. Till de mer sällsynta arterna som noterades hör sydfladdermus, barbastell, och trollfladdermus. Några arter som oftast är ganska vanliga, eller till och med dominerande på hög höjd, nämligen gråskimlig fladdermus och större brunfladdermus, registrerades relativt sällan, vilket säkert förklaras av lokalens placering i ett barrskogsdominerat område, och ganska långt ifrån större sjöar (Tabell 2).

**Tabell. 2. Totala antalet fladdermusregistreringar per art med Avisoft ultraljudsdetektor 2017 och 2018, och från inspelningar med D500X ultraljudsdetektor 2018. Under 2018 fungerade Avisoft-utrustningen på hög höjd endast under perioden 5-30 juli.**

Vetenskapligt artnamn	Artnamn på svenska	Avisoft				D500X	
		2017		2018		2018	
		Mark	Nacell	Mark	Nacell	Mark	Nacell
<i>Obestämd</i>		4	25	104	0	48	0
<i>Myotis spp.</i>		49	827	324	0	262	0
<i>P.pygmaeus</i>	<i>Dvärgpipistrell</i>	56	872	977	1	285	8
<i>P.nathusii</i>	<i>Trollpipistrell</i>	0	0	12	0	4	0
<i>N.noctula</i>	<i>Större brunfladdermus</i>	13	47	295	3	124	29
<i>E.nilssonii</i>	<i>Nordfladdermus</i>	125	846	358	2	319	12
<i>E.serotinus</i>	<i>Sydfladdermus</i>	1	7	0	0	4	0
<i>V.murinus</i>	<i>Gråskimlig fladdermus</i>	14	72	38	0	16	8
<i>B.barbastellus</i>	<i>Barbastell</i>	0	2	0	0	0	0
<i>P.auritus</i>	<i>Brunlångöra</i>	0	20	22	0	28	0
<b>Summa</b>		<b>262</b>	<b>2718</b>	<b>2130</b>	<b>6</b>	<b>1090</b>	<b>57</b>

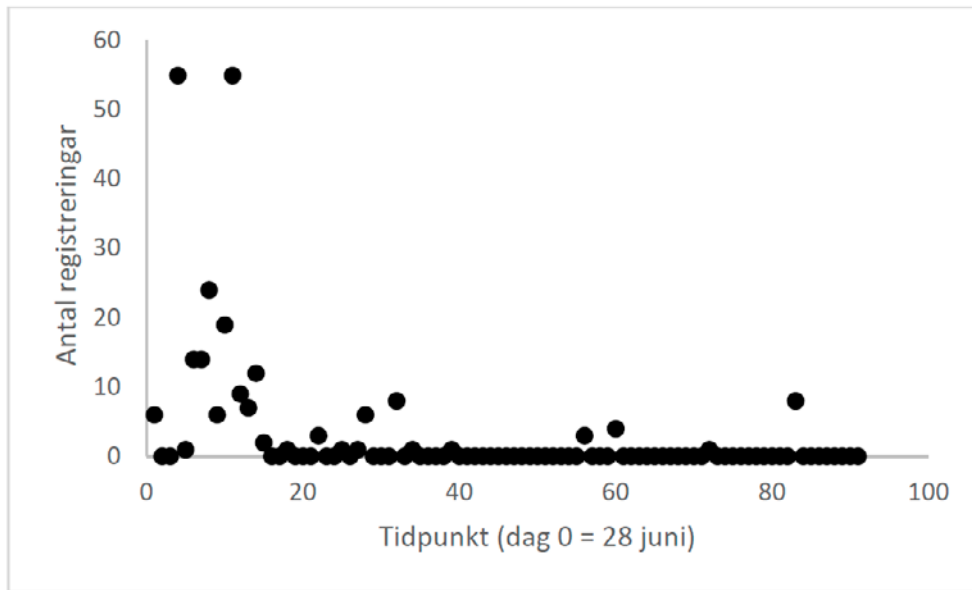


Figur 8. Väderdata under hela mätperioden från 28 juni (dag 0) till 3 november (dag 128) under 2017. A) Temperatur. B) Vindhastighet C) Samband mellan vindhastighet och temperatur (Spearman rank correlation  $r_s = -0.25$ ,  $p < 0.01$ ). Linjen är en lokal regression (Loess smoother, en icke-parametrisk utjämnning) som tydliggör sambandet mellan variablerna.

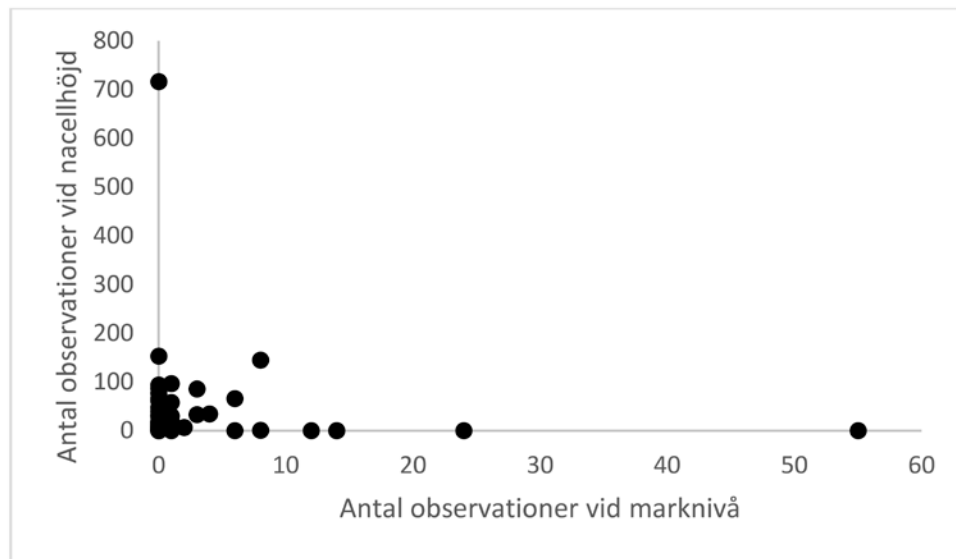


Figur 9. Antal registreringar av fladdermöss på nacellhöjd under perioden 29 juni till 29 oktober, 2017, a) en punkt (den 11 augusti) med extremvärde (717 registreringar) är bortplockad för att tydligare visa spridningen för övriga dagar, b) samtliga data. Antalet registreringar är störst mellan den 10 augusti och den 20 september. Innan den 26 juli är antalet registreringar 0. Efter den 6 oktober är antalet registreringar 0-4.

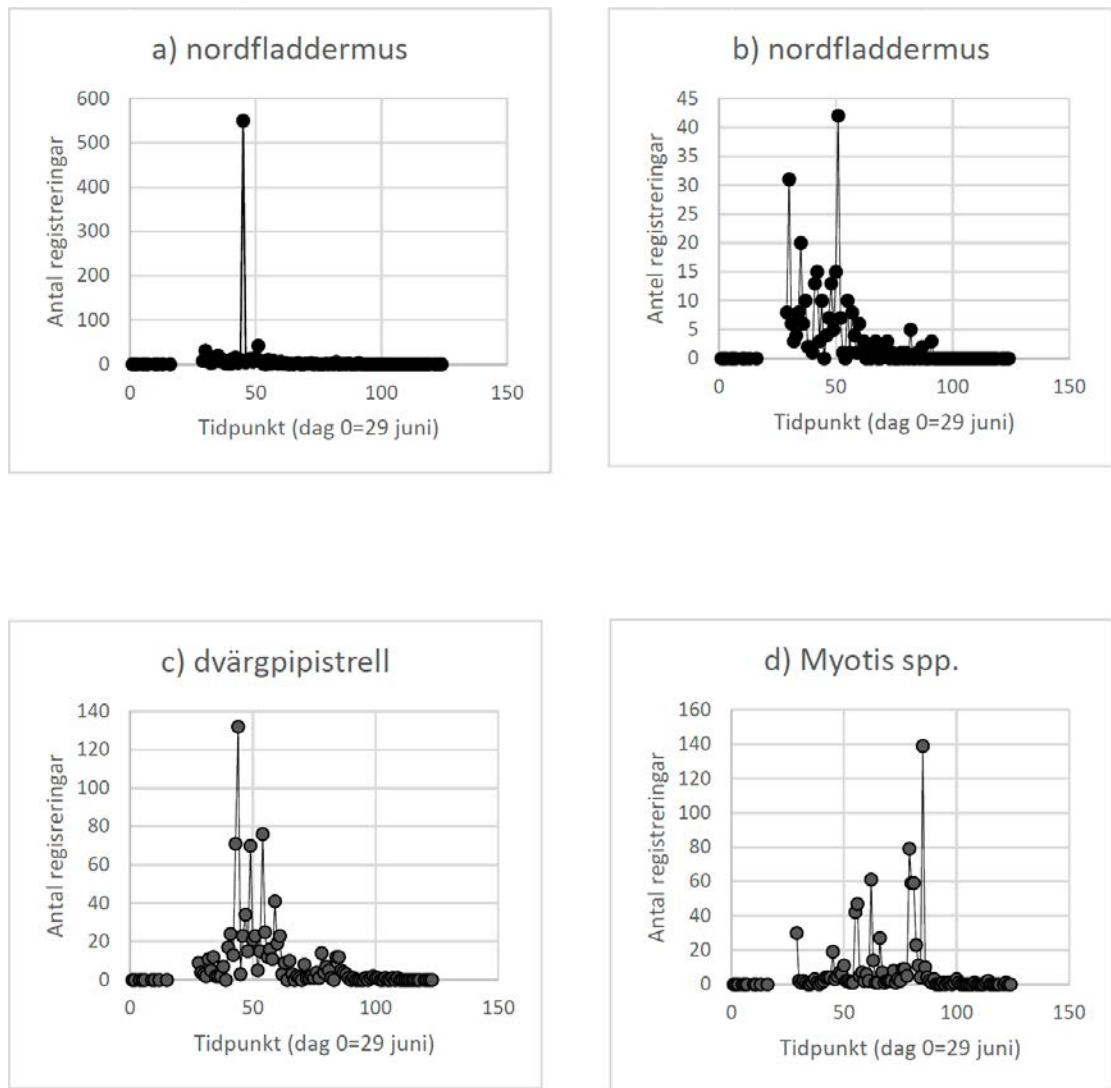




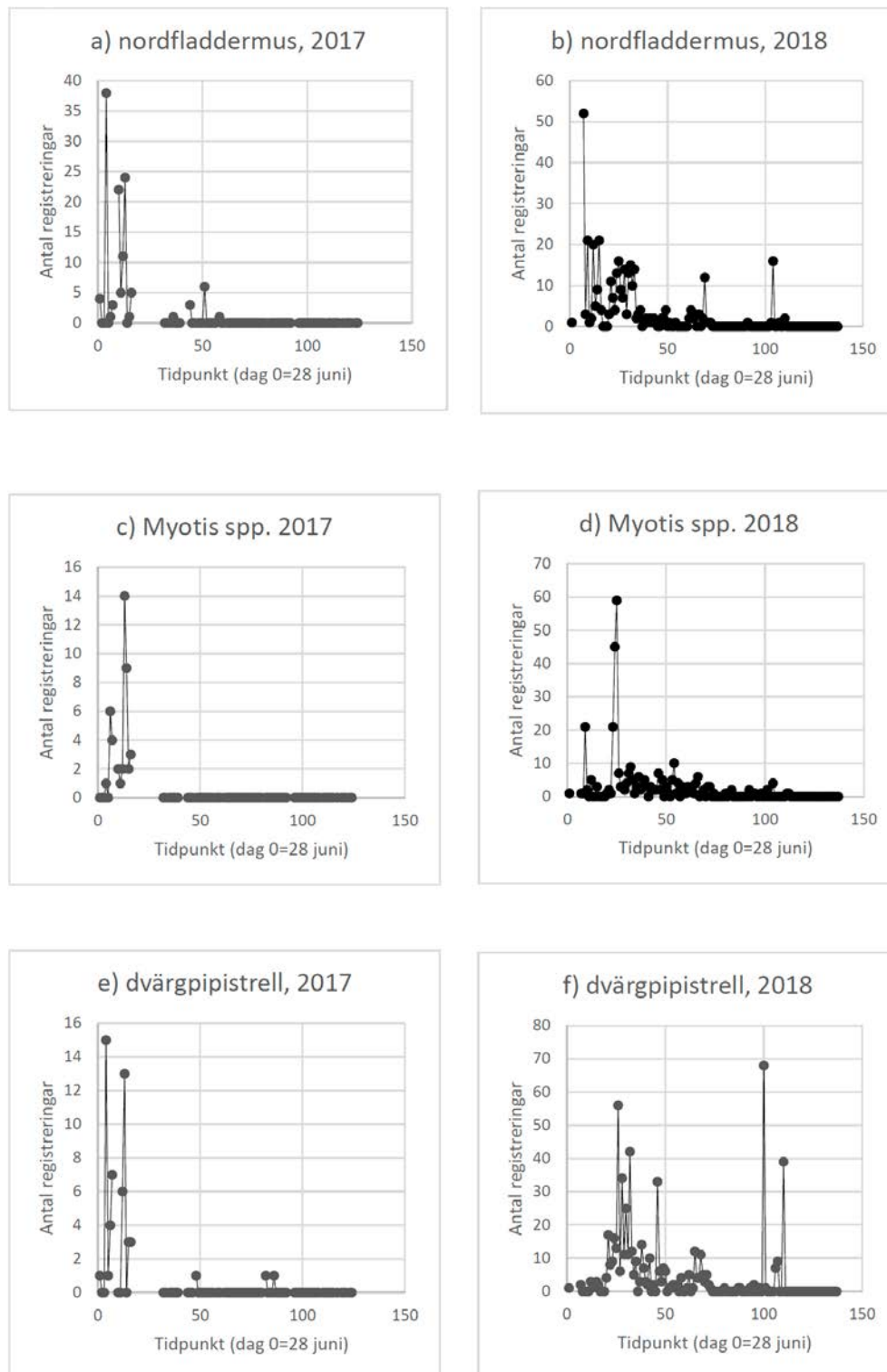
Figur 10. Antal registreringar av fladdermöss på marknivån från den 28 juni till den 29 oktober, 2017. Antalet registreringar är störst i juli månad.



Figur 11. Antalet registreringar av fladdermöss vid marknivå och nacellhöjd. Det finns inte något samband mellan de båda mätstationerna. Spearman  $r_s = 0,008$ ,  $p = 0,944$ .



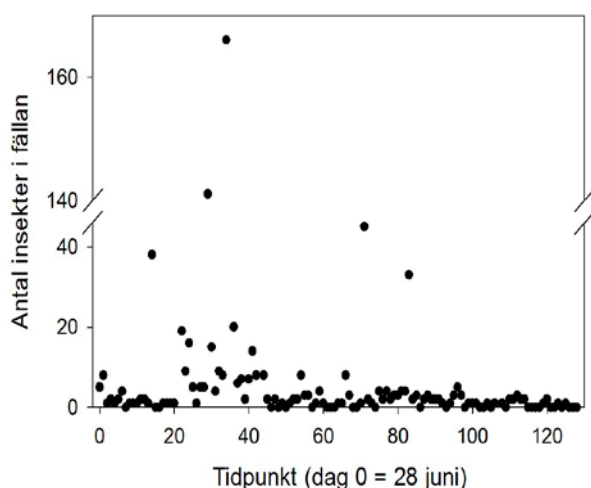
Figur 12. Aktiviteten av fladdermöss vid nacellhöjd under 2017. a) Nordfladdermus, samtliga data, b) Nordfladdermus med en borttagen datapunkt, nämligen den extremt höga aktiviteten med 550 registreringar som registrerades den 11 augusti. Aktivitetstoppen ligger mellan 3 till 21 augusti. c) Dvärgpipistrell. Aktivitetstoppen ligger mellan 7 och 28 augusti. d) Myotis spp. Den största aktivitetstoppen ligger 14-21 september, men aktiviteten är också hög 11 augusti, 21-22 augusti och 28 augusti till 1 september.



Figur 13. Aktiviteten av fladdermöss vid marknivå under 2017 och 2018, registrerad med Avisoft. a) Nordfladdermus 2017, b) Nordfladdermus 2018, c) Myotis spp. 2017 d) Myotis spp. 2018, e) Dvärgpipistrell 2017, f) Dvärgpipistrell 2018. Två extrema värden dag 99 och 100 har plockats bort för att få bättre upplösning.

## 5.4. Insektsfångst

Det totala antalet insekter i fällan varierade avsevärt under den 128 dagar långa fångstperioden (Fig. 14). Under den första 21-dagarsperioden fångades färre insekter än förväntat. För att kontrollera om fällans placering var orsaken till låga fångster så lät vi fällan vara aktiv under större delen av dygnet, mellan 08:30–04:00, varje dag under den andra 21-dagarsperioden. Fångsten per dygn under den perioden var en tiopotens högre än under de dygn vi bara fångade djur på natten (från 2.7 insekter per dygn till 22.2 insekter per dygn, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 30.46$ ,  $p < 0.0001$ ). Vi tolkar detta som att fällans placering på nacellen var bra och fällan fångar de insekter som rör sig ovanför fällan. Fångsterna per natt var generellt lägre än förväntat men eftersom den här typen av insamling inte gjorts tidigare så har vi egentligen inget att jämföra med. I fortsättningen presenteras endast data för insamlingen nattetid.

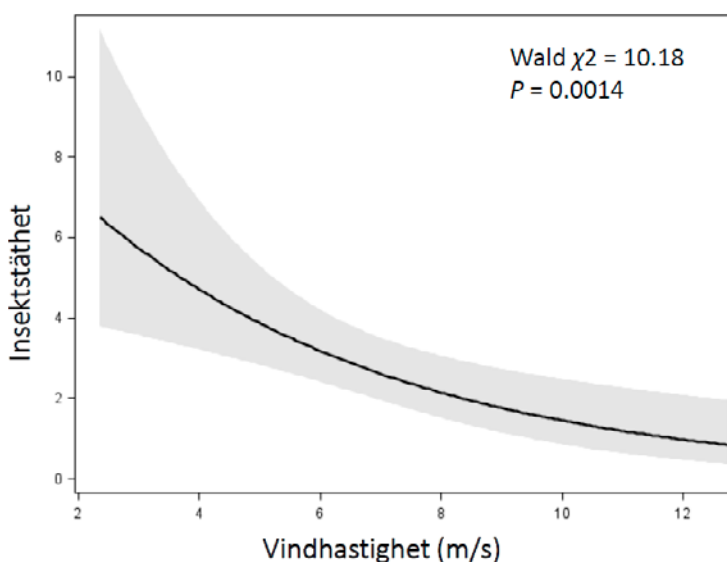


Figur 14. Totalantalet insekter varje dag då fällan var aktiv. Mätperioden startade 28 juni (dag 0) och slutade 3 november (dag 128). Mellan dag 22 och 42 (20 juli till 9 augusti) så var fällan aktiv nästan hela dygnet. Övriga dagar var fällan endast aktiv under natten som planerat.

I genomsnitt fångades  $2.70 \pm 0.63$  (medelvärde  $\pm$  standardfel) insekter per natt. Antalet infångade insekter per natt varierade dock mycket mellan nätterna. De två individrikaste insektsgrupperna var tvåvingar (främst myggor) med  $1.64 \pm 0.55$  individer per natt och bladlöss med  $0.70 \pm 0.14$  individer per natt. Mängden tvåvingar varierade under perioden utan något tydligt mönster. Hos bladlössen syns möjligen ett mönster där antalet minskar efter dag 66 (2 september).

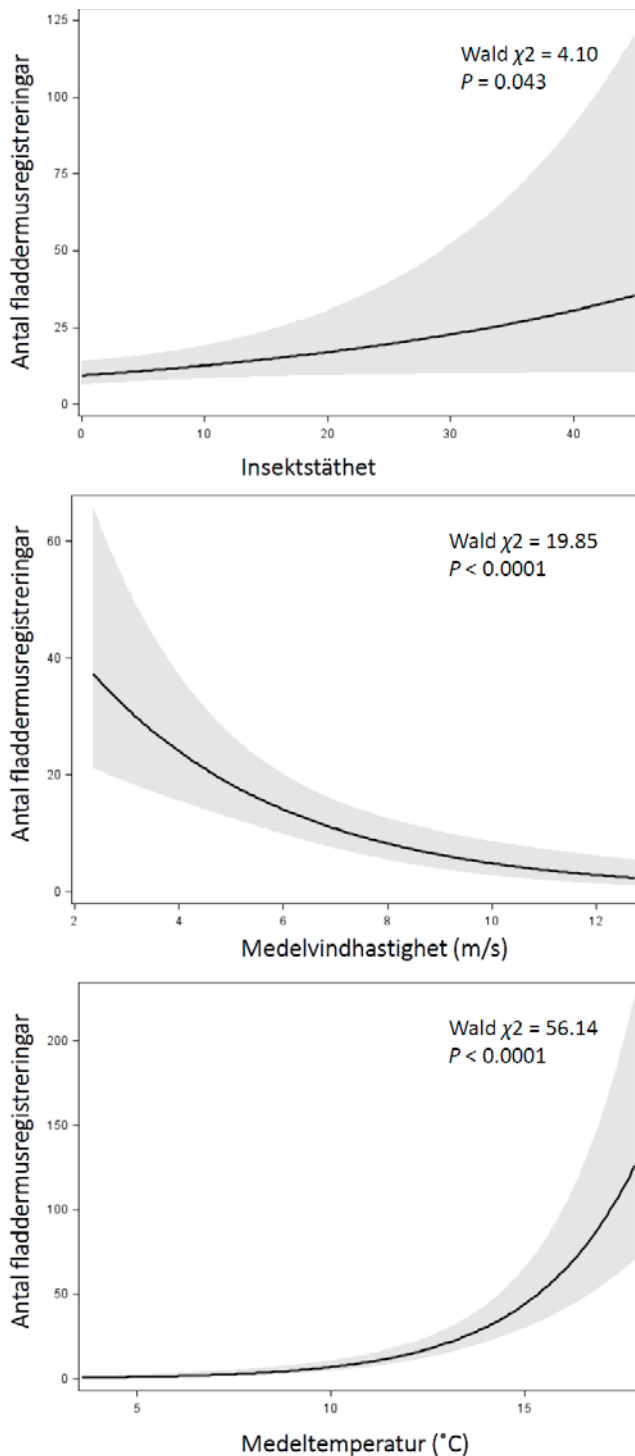
## 5.5. Korrelation mellan insekter, fladdermöss och väder

Antalet infångade insekter var högre då vindhastigheten vid nacellen var lägre (Fig. 15), men temperaturen vid nacellen hade inte någon signifikant påverkan på antalet infångade insekter.

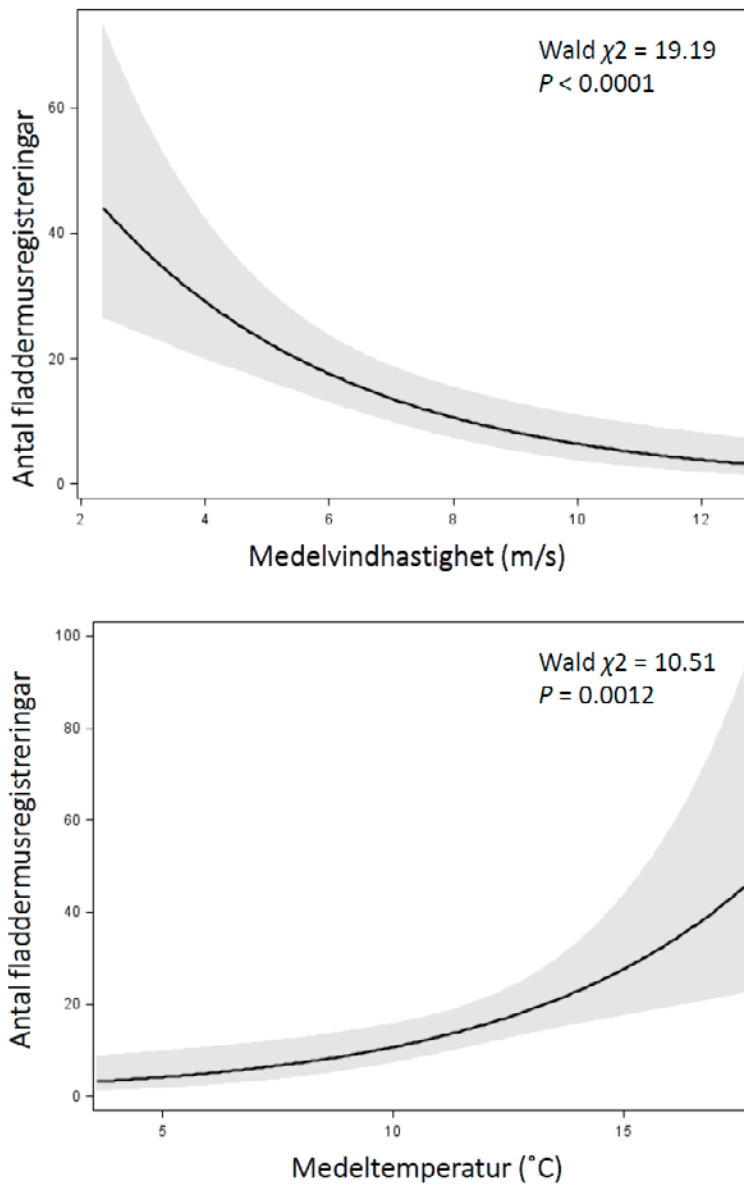


Figur 15. Sambandet mellan insektstäthet (antal individer) och medelvindhastighet. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för vindhastighet som var den enda variabel som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen visar medelvärdet och det skuggade området visar 95 % konfidensintervall. n=105 nätter.

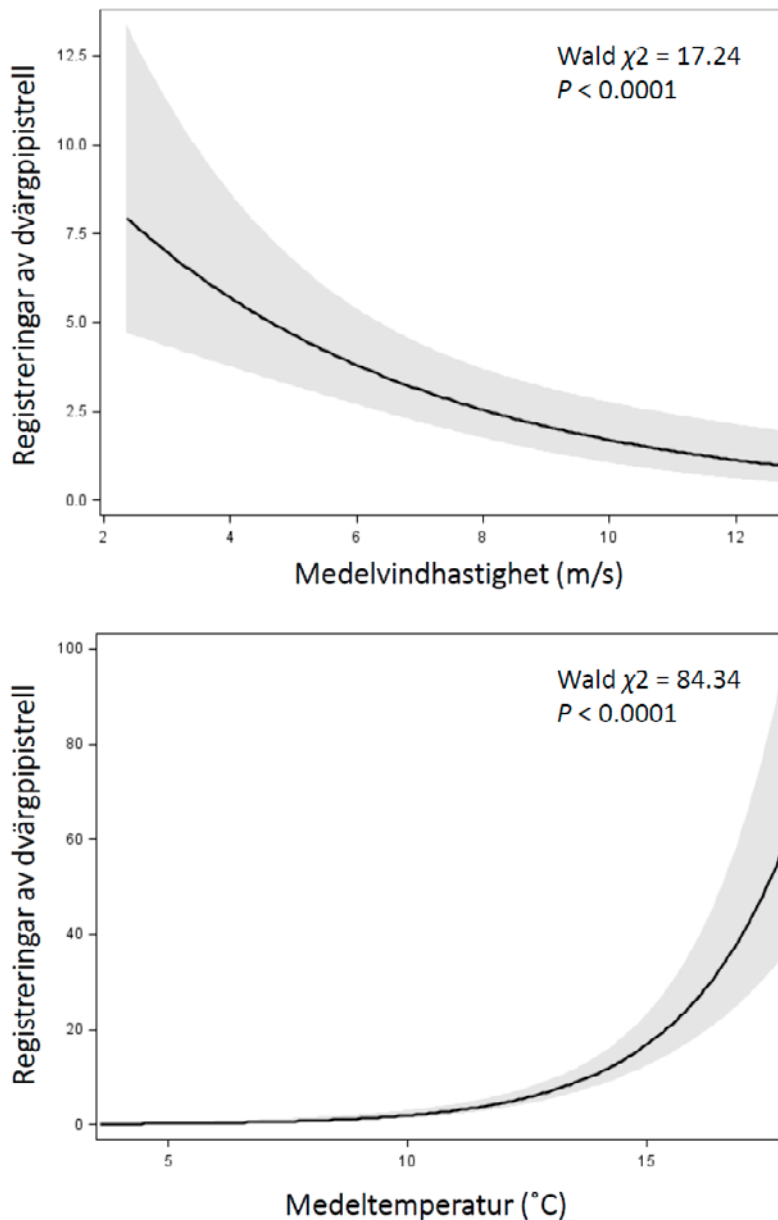
Totala antalet fladdermusregistreringar (alla taxa summerade) ökade med ökande insektsabundans och temperatur men minskade med ökande vindhastighet (Fig. 16). När den extremt höga noteringen den 11 augusti togs bort så var inte sambandet med insektsabundans signifikant längre men vindhastighet och temperatur hade samma inverkan på antalet registreringar (Fig. 17). Antalet registreringar av dvärgpipistrell minskade med ökande vindhastighet men ökade med ökande temperatur (Fig. 18). Antalet registreringar av *Nyctalus noctula* ökade med ökande insektsabundans och minskade med ökande vindhastighet (Fig. 19). Antalet registreringar av nordfladdermus ökade med ökande insektsabundans och temperatur (Fig. 20). Antalet registreringar av gråskimlig fladdermus (*Vespertilio murinus*) ökade med ökande insektsabundans och temperatur (Fig. 21). Antalet registreringar av *Myotis* spp. minskade med ökande vindhastighet (Fig. 22). Resultatet sammanfattas i tabell 3.



Figur 16. Sambandet mellan totala antalet fladdermusregistreringar och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektstäthet (antal individer). Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall. n=87 nätter.

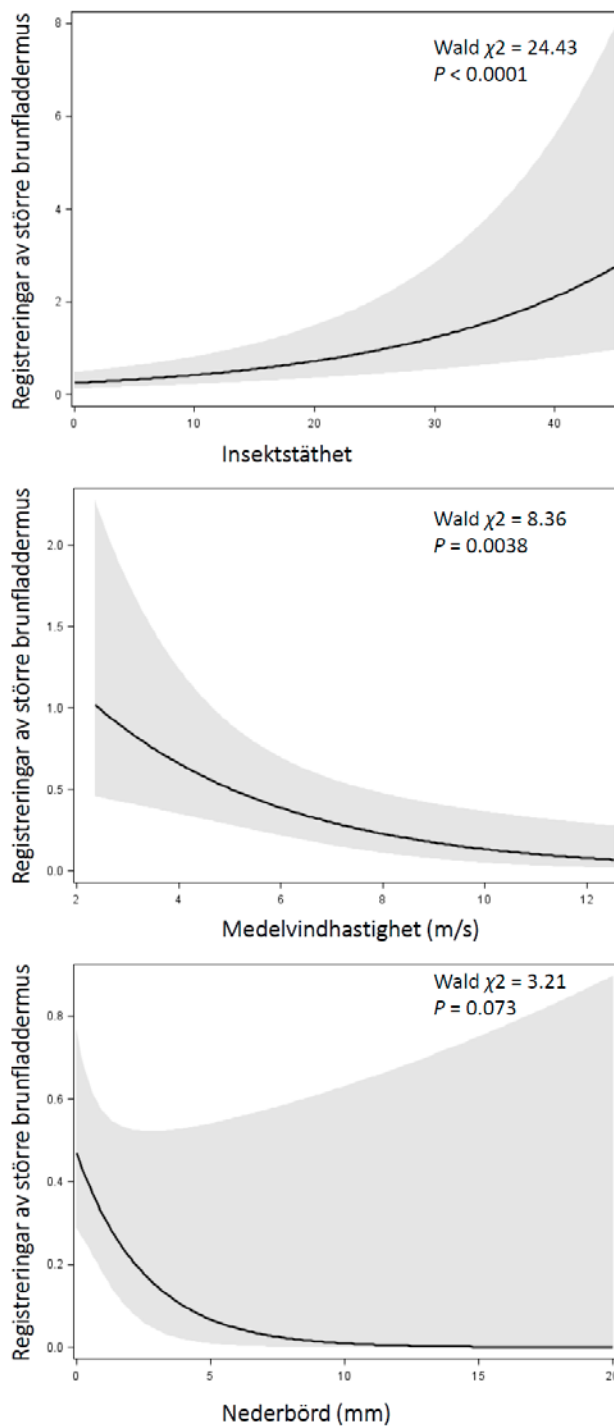


Figur 17. Sambandet mellan totala antalet fladdermusregistreringar och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. En väldigt hög fladdermusregistrering har tagits bort. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall.

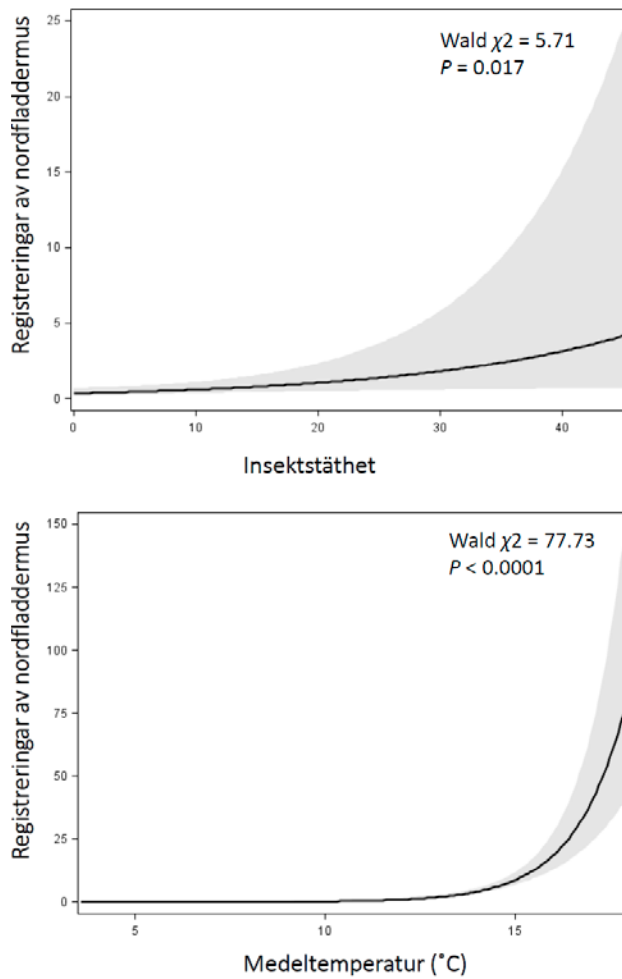


Figur 18. Sambandet mellan registreringar av dvärgpipistrell och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall.

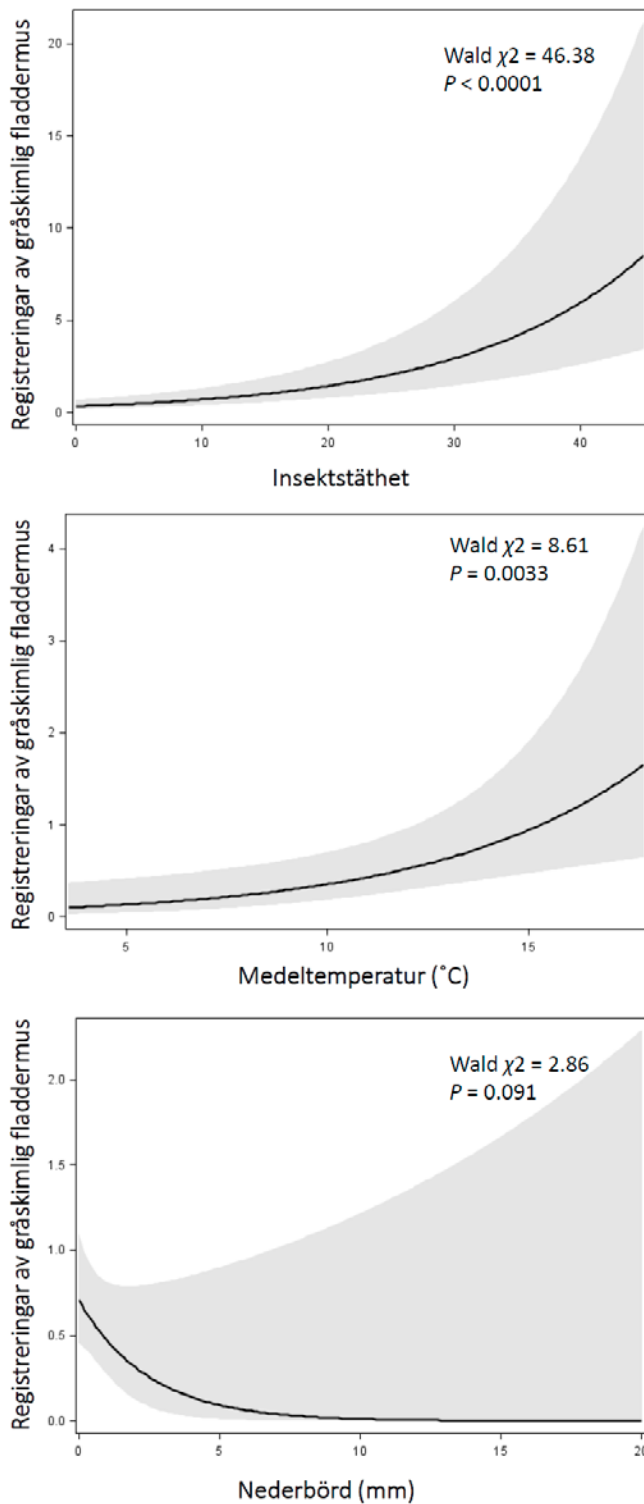




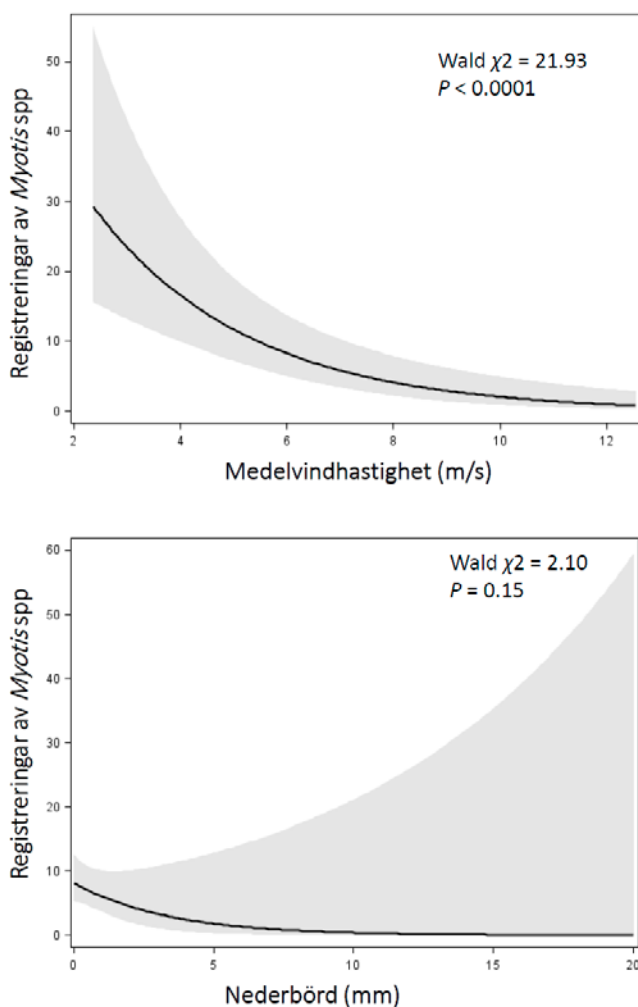
Figur 19. Sambandet mellan registreringar av större brunfladdermus och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall.



Figur 20. Sambandet mellan registreringar av nordfladdermus och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. En väldigt hög fladdermusregistrering har tagits bort. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall.



Figur 21. Sambandet mellan registreringar av gråskimlig fladdermus och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidensintervall.



Figur 22. Sambandet mellan registreringar av Myotis spp. och de förklarande variablerna vindhastighet, temperatur, nederbörd och insektsabundans. Resultat från en multipel poissonregression. Samband, testvariabel och p-värde visas för alla variabler som var med i den modell som hade lägst AIC värde. Linjen i varje figur visar medelvärdet för den variabeln när värdena för de övriga variablerna i modellen hålls konstanta på sitt medelvärde. Det skuggade området visar 95 % konfidenstervall.

**Tabell 3. Sammanställning över resultatet av de modeller som valdes ut.**

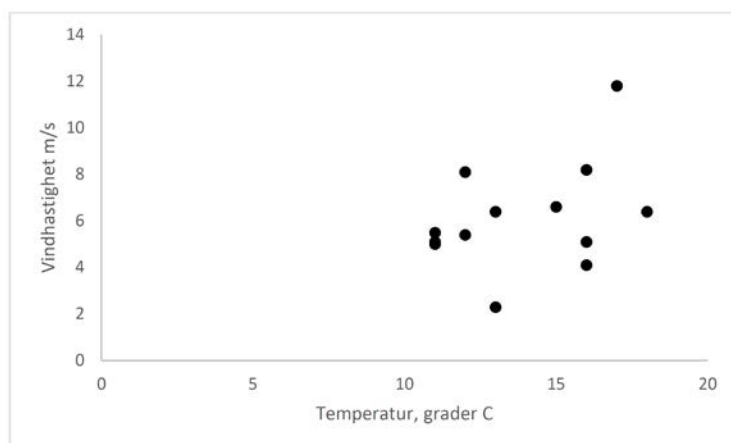
\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ , e.s. = ej signifikant.

Variabel	Alla arter	P. pyg	E. nil	M. spp.	N. noc	V. mur
Vind	***	***		***	**	
Temperatur	***	***	***			**
Nederbörd				e.s.	e.s.	e.s.
Insektabundans	*		*		***	***

Rydell et al. 2017 har föreslagit stopp-reglering av vindkraft när temperaturen är högre än 14 grader och vindstyrkan är lägre än 6 m/s. I vår studie inträffade detta under 7 nätter (av 104 nätter). Resultatet vid dessa nätter framgår av tabell 4. Med stoppreglering enligt det förslag som presenterats hade 76 nätter (94 % av alla nätter med fladdermusregistreringar) missats, varav 11 nätter med mer än 50 registreringar. Hur alla nätter med fler än 50 registreringar fördelar sig i relation till temperatur och vindstyrka visas i figur 23.

**Tabell 4. Antalet fladdermusregistreringar under nätter som uppfyller kriteriet för stoppreglering enligt förslag från Rydell et al.( 2017). Data från 2017.**

Antal fladdermusregistreringar	Vindhastighet	Temperatur
0	5,5	14
0	3,9	14
48	5,3	15
32	3,7	18
58	4,1	16
39	3	14
14	3,5	15



Figur 23. Temperatur och vindstyrka under de nätter då fler än 50 fladdermus registreringar gjordes vid nacellen. Data från 2017.

Från figur 23 skulle man kunna dra slutsatsen att stoppreglering vore lämpligt vid en temperatur på minst 10 grader och en vindstyrka på max. 12 m/s (vi utgår då ifrån att det finns en koppling mellan antalet registreringar av fladdermöss och risken för dödsfall). Om detta skulle ha tillämpats vid vårt vindkraftverk som schablon skulle vi dock ha fått 11 nätter utan fladdermusregistreringar vid nacellen.

## 6. Diskussion

### Artsammansättningen

De arter som var mest aktiva, vid både marken och nacellen, var inte oväntat nordfladdermus (*Eptesicus nilssonii*) och dvärgpipistrell (*Pipistrellus pygmaeus*). Båda är mycket vanliga arter i södra Sverige, och de har tidigare registrerats i stor omfattning på nacell-höjd (Rydell et al. 2017). Den tredje mest aktiva gruppen var arter inom släktet *Myotis*, och förekomsten i nacell-höjd är lite förvånande. Det finns fler studier som registrerat *Myotis*-arter vid nacellhöjd så vår undersökning är emellertid inte unik i det avseendet (Camina 2012, Kerns & Kerlinger 2004). Däremot är det relativt ovanligt att man hittar dödade *Myotis*-arter under vindkraftverk. Detta kan bero på att arterna betydligt mer sällan födosöker på hög höjd, och att vår studie är ett undantag, eller att de födosöker på ett sätt så att de inte är lika utsatta för rotorbladen som andra arter. Vi kan med vår studie alltså bekräfta att arter som betraktas som lågriskarter förekommer vid nacellen, men vi har inga data som visar på ökad dödlighet vid det vindkraftverk som studerats. Detsamma gäller den omdiskuterade barbastellen. Det har diskuterats huruvida barbastellen över huvud taget förekommer på hög höjd eftersom antalet fynd på hög höjd är ytterst få, liksom antalet dödade djur. Mot detta har anförts att det är en sällsynt art och att den därmed sällan registreras, både på låg och hög höjd. I vår studie registrerades den vid ett tillfälle vid nacellhöjd (2017). Några vanliga arter har vi färre registreringar av än väntat. Det gäller i första hand trollpipistrell (*Pipistrellus nathusii*) större brunfladdermus (*Nyctalus noctula*) och gråskimlig fladdermus (*Vespertilio murinus*), som tydligen inte är vanliga i det studerade området på småländska höglandet.

### Aktiviteten av fladdermöss

Vi konstaterar att aktiviteten av fladdermöss kan variera avsevärt både vid marken och vid nacellhöjd. Det innebär att det krävs långtidsstudier för att kunna bedöma fladdermössens förekomst vid nacell-höjd och därmed risken för kollisioner med rotorbladen. Vi kan också visa att vi har en variation mellan år. Aktiviteten är emellertid högre på låg nivå under högsommaren, medan den är högre på nacellhöjd under tidig höst. Detta har också bekräftats av andra studier (Barclay et al. 2016). Den här observationen visar på svårigheter att dra slutsatser om vindkraftverkens påverkan genom att bara inventera från marken. Tyvärr kan vi inte dra några slutsatser om antalet individer som jagar vid vindkraftverken. Det kan vara frågan om några enstaka individer som jagar intensivt under några minuter framför mikrofonen. Vi kan inte heller säga något om födosöksbeteendet och vilken risk som fladdermössen utsätts för.

### Samband mellan insekter och väderlek

Insektsabundansen påverkades endast av vindhastigheten och antalet insekter fångade i fällan minskade när vindhastigheten ökade. Vindhastigheten var mycket viktig för att förklara antalet insekter i sugfällan och den starkaste korrelation vi fann i våra insektsdata var just den negativa korrelationen mellan vindhastighet och antalet insekter. Två av de största fångsterna på 45 respektive 33 insekter gjordes två nätter med låg vindhastighet (strax under 4 m/s).

För att förklara den negativa korrelation mellan vindhastighet och antalet insekter så måste man föra ett resonemang kring hur insekterna rör sig vid nacellen. Detta resonemang blir med nödvändighet spekulativt eftersom vi inte har data på detta. Fällans placering ovanpå nacellen, bakom rotorbladen, gör att rotorbladen alltid befinner sig på vindsidan av fällan. Detta gör att fällan befinner sig i den luft som passerar genom rotorn. Det bildas en viss turbulens bakom rotorbladen även om turbulensen så nära rotorbladen är måttlig jämfört med turbulensen 10-tals meter nedströms nacellen. Fällan står framför kylflänsarna på nacellen och det är troligt att det bildas en "luftkudde" framför kylflänsarna med ännu mindre turbulens. Det är rimligt att anta att vid låga vindhastigheter så kan insekter närma sig nacellen (och fällan) från läsidan. Vid låga vindhastigheter bör därför myggor och andra svärmande insekter kunna bilda stabila svärmar ovanför eller bakom nacellen enligt figur 1. De högsta noteringarna för antal insekter per natt dominerades helt av myggor vilket något stöder detta resonemang. Vid högre vindhastigheter blir det mycket svårare för insekterna att bilda stationära svärmar ovanför nacellen. Vindhastigheten gör att de inte kan hålla sig kvar där. Vid högre vindhastigheter så är det troligt att insekter under spridning i lufthavet driver in över fällan i vindriktningen, d.v.s. genom rotorbladen. Turbulens bakom rotorbladen kan då leda till att insekterna sprids ut över nacellen och jämförelsevis färre insekter passerar rakt över fällan. Vid ökande vindhastigheter så ökar också insekternas hastighet i horisontalplanet vilket gör att färre insekter sugas ned i sugfällan eftersom fällans nedåtriktade "sug" måste övervinna insekternas horisontella hastighet.

Utifrån våra resultat och det ovanstående resonemanget så är antalet insekter i sugfällan ett bra men relativt mått på hur många insekter som befinner sig ovanför nacellen. Det är svårt att tro att fladdermössbesöken ökar om det finns tre insekter istället för en ovanför nacellen under en natt. Fångsterna i sugfällan speglar aktiviteten ovanför nacellen och det är bättre att fokusera på variationen i antalet insekter per natt snarare än absolutantalet insekter. Eftersom insektsabundansen är en signifikant förklarande variabel för flera fladdermustaxa så representerar de bara skillnader i antalet insekter.

Bristen på noctuider och andra fjärilar i fångstdata är förvånande, men kan inte förklaras av att fällan är för svag för att fånga fjärilar. Med liknande, men svagare fällor på låg höjd fångas normalt stora mängder fjärilar.

### **Korrelation mellan fladdermöss, väder och insekter**

Ökande insektsabundans hade en signifikant positiv effekt på antalet fladdermusregistreringar när registreringarna för alla taxa summerades. Antalet registreringar av fladdermöss (alla taxa) tredubblades när insektsabundansen gick från 0 till 45. Men när den extremt höga registreringen den 11 augusti togs bort ur analysen så försvann effekten av insekternas abundans. Ökande insektsabundans hade också en signifikant positiv effekt på antalet registreringar av större brunfladdermus (*Nyctalus noctula*), nordfladdermus (*Eptesicus nilssonii*) samt gråskimlig fladdermus (*Vespertilio murinus*). För större brunfladdermus och gråskimlig fladdermus så var effekten av insektsabundans högre än effekten av vädervariablerna (jämför y-axlarna i figur 19 och 21).

För de flesta taxa av fladdermöss som reagerade positivt på ökande natttemperatur så kan man se att antalet fladdermusregistreringar ökar ganska abrupt när man går över en viss temperatur. Sambandet mellan vindhastighet och insekter respektive fladdermöss är baserade på ett större antal nätter (insekter: 105 nätter, fladdermöss: 95 nätter) än sambandet mellan insekter och fladdermöss (78 nätter då vi har både insektsdata och fladdermusdata under den period fladdermössen uppehåller sig vid nacellen). Den mindre provstorleken kan bidra till att sambandet mellan insekter och fladdermöss blir mindre tydlig. Det faktum att både insekter och fladdermöss reagerar negativt på ökande vindhastighet är därför viktigt och stärker resonemanget att fladdermössen uppehåller sig kring nacellen för att jaga insekter.

### **Hur minskar man risken för kollision mellan fladdermöss och vindkraft?**

Sambandet mellan insektsabundans och fladdermusregistreringar visar att ett sätt att minska dödligheten för fladdermöss skulle kunna vara att minska vindkraftverkens attraktion av insekter (ljud, färg, belysning mm). Ett annat sätt skulle kunna vara att införa stoppreglering under vissa tidpunkter och vid en viss väderlek (Baerwald et al. 2009, Brinkmann et al. 2011, Arnett et al. 2013, Rydell et al. 2017). Det är ingen tvekan om att väderleken har betydelse för aktiviteten av insekter och fladdermöss. Frågan är bara hur gränserna bör sättas och hur tillförlitligt det är. För nordfladdermus så ökar inte antalet fladdermusregistreringar i vår studie förrän man kommer över ca 16 °C men då ökar antalet registreringar kraftigt. Detta antyder att det för vissa arter finns ett tröskelvärde vad gäller temperatur och det är först de nätter när man passerar detta tröskelvärde som man ser en ökning av antalet fladdermusregistreringar. För gråskimlig fladdermus verkar det inte finnas något sådant tröskelvärde men för den arten var effekten av temperatur ganska liten. Vindhastigheten påverkade totala antalet fladdermusregistreringar för tre av de fem taxa som kunde analyseras. För totala antalet fladdermöss så sjunker antalet registreringar till en fjärdedel när man höjer vindhastigheten från 2.5 till 8 m/s. Det finns inga tydliga tröskelvärden för vindhastighet. Nederbördsmängden under natten var med i flera av modellerna men var aldrig signifikant. Nederbördsmängderna under hela säsongen var ganska



låga och det är möjligt att man under en regnigare sommar skulle se en effekt av nederbörds mängden.

Vi vet att det är stor variation mellan år och mellan olika vindkraftverk. Den regel som föreslagits är möjligen snävt tilltagen. Vårt resultat antyder snarare en gräns på 10 grader Celsius för temperaturen (minimivärde) och 12 m/s för vinden (maximivärde), men det är stor risk att vindkraftverket står stilla i onödan under ett antal nätter då fladdermusaktiviteten är noll trots bra väder. Den säkraste lösningen vore sannolikt att följa upp en eventuell stoppreglering med monitoring för att kunna justera eller häva stoppregleringen beroende på uppmätt fladdermusaktivitet.

### **Kommentar till metodiken**

Att mäta insektstäthet och fladdermusaktivitet i nacellhöjd är svårt, och här behövs metodutveckling. Det är uppenbart att daglig tillsyn behövs av utrustningen. Det finns brister och förtjänster med all utrustning och både vilken utrustning som används och vilka inställningar som görs behöver standardiseras för att man ska få jämförbara resultat.

Denna undersökning är genomförd vid ett vindkraftverk. Utifrån denna studie kan man inte dra generella slutsatser t.ex. när det gäller gränser för stoppreglering, eller aktivitetsmönster. Den blir snarare en pusselbit bland flera andra studier som gjorts. Däremot visar studien att aktiviteten kan variera mellan år, och den pekar på svårigheten att bedöma fladdermustillgången på hög höjd genom att inventera på marken. Den visar också att även arter som är bedömda som lågriskarter förekommer uppe vid nacellen, även om vi inte kan dra slutsatser om dödligheten hos dessa arter. Det geografiska område som vi studerat, småländska höglandet, hör inte till de områden i Sverige där man brukar anse risken för kollisioner mellan fladdermöss och vindkraft är som störst. Det är snarare områden längs med kusterna och i anslutning till större sjöar och vattendrag som brukar betraktas som riskområden, och det är troligt att resultatet hade blivit annorlunda i ett sådant område. Utifrån denna studie rekommenderar vi att bedömningar av fladdermusaktivitet i samband med miljökonsekvensbeskrivningar bör genomföras på hög höjd och under lång tid. Eftersom förekomsten av vindkraftverk påverkar fladdermössens beteende är det svårt att göra en bedömning av kollisionsrisk innan vindkraftverken är på plats.

Även om vi fått en del signifikanta resultat vill vi betona att datamängden är relativt begränsad och man bör tolka resultaten med viss försiktighet. Det gäller i synnerhet sambanden mellan enskilda arter och väderlek eller insektstäthet.

### Jämförelser med andra liknande studier i Sverige

Resultatet i den här studien kan jämföras med ett antal andra studier i Sverige. Rydell et al. (2017) presenterar sex sådana studier där inspelningar ägt rum vid nacellhöjd i en liknande miljö, det vill säga ett skogslandskap i södra Sverige. Den största aktiviteten vid nacellhöjd är mellan 15 juli och 15 september då 80 % av inspelningarna är gjorda, vilket stämmer väl överens med vår studie under 2017 (85 % av inspelningarna ligger inom tidsperioden), men lite sämre med 2018 (55 % av inspelningarna ligger inom tidsperioden). En tydlig skillnad mellan vår studie och övriga är att vi har fått relativt få registreringar av arter inom släktena *Nyctalus* och *Vespertilio* (t.ex. större brunfladdermus och gråskimlig fladdermus), som för övrigt verkar vara dominerande på hög höjd. Aktiviteten av dessa var låg både på hög och låg höjd. När det gäller artsammansättningen så är det inte några avgörande skillnader. Arter som betraktas som lågrisk-arter, t. ex. från släktena *Myotis* och *Plecotus* förekommer även i andra studier, liksom den sällsynta barbastellen. En skillnad är dock att vi fick förhållandevis många registreringar av *Myotis* spp. Samtliga övriga studier som genomförts i Sverige är gjorda med D500X. Vårt resultat vid nacellhöjd under 2017 skulle kunna tolkas som att övriga studier har underskattat fladdermusförekomsten vid rotorbladen eftersom de använt en mindre känslig metod, men det kan också vara så att tillfälligheter spelar en stor roll, och att variationen är så stor så att en plötsligt större aktivitet av *Myotis* vid nacellen är svår att upptäcka.

### Slutsatser

De viktigaste slutsatserna i rapporten är följande:

- Vår studie ger stöd för hypotesen att insektsförekomsten är den primära orsaken till fladdermusaktiviteten vid nacellhöjd. Insektsförekomsten (och därmed även fladdermusförekomsten) förklaras framförallt av väderlekssituationen.
- Aktivitetsmönstret i denna studie sammanfaller med andra studier, men vårt exempel visar att aktiviteten kan variera avsevärt och att även lågriskarter kan förekomma och vara mycket aktiva vid nacellhöjd (dock oklart i vilken mån de dödas av rotorbladen).
- Stoppreglering är en tänkbar möjlighet för att minska risken för att fladdermöss dödas. Vår studie visar dock på svårigheten att fastställa ett schablonvärde för när stoppreglering bör tillämpas. En möjlig lösning kan vara att stoppregleringen kompletteras med kontrollprogram (monitoring på hög höjd under en längre tidsperiod). Eftersom denna studie bara bygger på förhållandet vid ett vindkraftverk så kan man inte tillämpa resultatet som ett schablonvärde vid andra vindkraftverk.

## 7. Tack

Vi fick en fläkt av Christer Solbreck (Inst för Ekologi, SLU). Fällan byggdes av forskningstekniker Tomas Reilander vid RISE, Jordbruk och livsmedel (f d JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik). Styrningen byggdes av Staffan Johansson (Essote El AB). Fällan monterades på nacellen och tömdes var tredje vecka av Andreas Björkvistoch Filip Silveråker. ). Inspelningen av fladdermusljud och hantering av all utrustning som krävdes för detta sköttes av Ecocom AB. Ecocom gjorde även artbestämningen av fladdermusljuden. Synpunkter på manus har lämnats av Jens Rydell, Stefan Pettersson, Henri Engström, Karl Frafjord och Jan-Olof Dahlin. Studien har finansierats av Energimyndigheten.

## 8. Källförteckning

- Ahlén, I. 2002. Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. *Fauna och flora* 97, 14-22.
- Ahlén, I., L. Bach, H. J. Baagøe, and J. Pettersson. 2007. Fladdermöss och havsbaserade vindkraftverk studerade i södra Skandinavien.
- Arnett, E.B. & Baerwald, E. F. 2013. Impacts of wind energy development on bats: implications for conservation. Från: Adams, R.A. & Peterson, S.C. (red.) *Bat evolution, ecology and conservation*. Springer, New York.
- Baerwald, E.F. & Barclay, R.M.R. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The journal of wildlife management* 75: 1103-1114. DOI: 10.1002/jwmg.147.
- Baerwald, E. F., Edworthy, J., Holder, M. & Barclay, R. M. R. 2009. A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy facilities. *Journal of Wildlife Management* 73, 1077–1081.
- Barclay, R. M. R., Baerwald, E. R. & Rydell, J. 2016. Bats. *Wildlife and windfarms, part 1. Onshore* (ed. Perrow, M.). Pelagic Publishing, Exeter, UK. In press.
- Barrè, K., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R. & Kerbiriou, C. 2018. Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: implications for European siting guidance. *Biological conservation* 226: 205-214.
- Behr, O. & O. von Helversen 2006. Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark "Rosskopf" (Freiburg i Br.) im Jahr 2005. Report to Regiowind GmbH & Co., Freiburg.
- Bennett, V. J. & Hale, A. M. 2014. Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions. *Animal Conservation* 17, 354–358.
- Bennet, V.J., Hale, A.M. & Williams, D.A. 2017. When the excrement hits the fan: Faecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian biology* 87: 125-129.
- Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. 2011. *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an onshore-Windenergieanlagen*. Schriftenreihe Institut für Umweltplanung. Cuvillier Verlag Göttingen. 457.
- Camina, A. 2012. Bat fatalities at wind farms in northern Spain - Lessons to be learned. *Acta Chiropterologica* 14: 205-212.

- Coad, B. R. 1931. Insects captured by airplane are found at surprising heights. Pages 320-323 Yearbook of Agriculture Department of Agriculture, U.S.
- Cryan, P. M. & R. M. R. Barclay 2009. Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90, 1330-1340.
- Cryan, P. M., P. M. Gorresen, C. D. Hein, M. R. Schirmacher, R. H. Diehl, M. M. Huso, D. T. S. Hayman, P. D. Fricker, F. J. Bonaccorso, D. H. Johnson, K. Heist, and D. C. Dalton. 2014. Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111:15126-15131.
- Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W-N. & Huang, Z. 2015. Environmental issues associated with wind energy - a review. *Renewable energy* 75: 911-921.
- Downes, J. A. 1969. Swarming and mating flight of Diptera. *Annual Review of Entomology* 14:271.
- Energimyndigheten. 2019. Vindkraftsstatistik 2018. Nationell-, länsvis- och kommunal statistik. ER 2019:10. Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG av den 23 april 2009 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:016:0062:sv:PDF>
- Fo, C.F., Bennet, V.J., Hale, A.M., Korstian, J.M., Schildt, A.J. & Williams, D.A. 2017. Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ* 5:e3985; DOI10.7717/peerj.3985.
- Frick, W.F., Baerwald, E.F., Pollock, J.F., Barclay, R.M.R., Szymanski, J.A., Weller, T.J., Russel, A.L., Loeb, S.C., Medellin, R.A. & McGuire, L.P. 2017. Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological conservation* 209: 172-177.
- Geerts, B., and Q. Miao. 2005a. Airborne radar observations of the flight behavior of small insects in the atmospheric convective boundary layer. *Environmental Entomology* 34:361-377.
- Geerts, B., and Q. Miao. 2005b. A simple numerical model of the flight behavior of small insects in the atmospheric convective boundary layer. *Environmental Entomology* 34:353-360.

Kerns, J. & P. Kerlinger, P. 2004. A study of bird and bat collision fatalities at the Mountaineer Wind Energy center, Tucker County, West Virginia. Annual report to FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. [http://www.wvhighlands.org/Birds/](http://www.wvhighlands.org/Birds/MountaineerFinalAvianRpt-%203-15-04PKJK.pdf)

MountaineerFinalAvianRpt-%203-15-04PKJK.pdf Kunz, T. H., E. B. Arnett, W. P. Erickson, A. R. Hoar, G. D. Johnson, R. P. Larkin, M. D. Strickland, R. W. Thresher, and M. D. Tuttle. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:315-324.

Nicholls, B., and P. A. Racey. 2009. The aversive effect of electromagnetic radiation on foraging bats—a possible means of discouraging bats from approaching wind turbines. *Plos One* 4.

Park, K. J., and A. Cristinacce. 2006. Use of sewage treatment works as foraging sites by insectivorous bats. *Animal Conservation* 9:259-268.

Reimer, J.P., Baerwald, E.F., Barcaly, R.M.R. 2018. Echolocation activity of migratory bats at a wind energy facility: testing the feeding-attraction hypothesis to explain fatalities. *Journal of mammalogy* 99: 1472-1477.

Reynolds, D. R., J. W. Chapman, A. S. Edwards, A. D. Smith, C. R. Wood, J. F. Barlow, and I. P. Woiwod. 2005. Radar studies of the vertical distribution of insects migrating over southern Britain: the influence of temperature inversions on nocturnal layer concentrations. *Bulletin of Entomological Research* 95:259-274.

Rydell, J., L. Bach, M. J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues, and A. Hedenstrom. 2010. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research* 56:823-827.

Rydell, J., A. Entwistle, and P. A. Racey. 1996. Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos* 76:243-252.

Rydell, J., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström 2010b. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research* 56, 823-827. doi:10.1007/s10344-010-0444-3.

Rydell, J., Bogdanowicz, W., Boonman, A., Pettersson, S., Sucheka, E., Pomorski, J.J. 2016. Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. *Mammalian biology* 81: 331-339.

- Rydell, J., R. Ottvall, S. Pettersson, and M. Green. 2017. Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss. Uppdaterad syntesrapport 2017.
- Southwood, T. R. E., and P. A. Henderson. 2000. Ecological methods. 3 edition. Blackwell Science, Oxford.
- Svensson, B. W., and B. Solbreck. 2008. Stövsländor på väg i lufthavet. Fångster i sugfällor på en TV-mast i Värmland. Entomologisk Tidskrift **129**:29-39.
- Thompson, M., Beston, J.A., Etterson, M., Diffendorfer, J.E. & Loss, S.R. 2017. Factors associated with bat mortality at wind energy facilities in the United States. Biological conservation 215: 241-245.
- Quinn, G. P., and M. J. Keough. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wang, S. & Wang, S. 2015. Impacts of wind energy on environment: a review. Renewable and sustainable energy reviews 49: 437-443.
- Zimmerling, J.R. & Francis, C.M. 2016. Bat mortality due to wind turbines in Canada. The journal of wildlife management 80: 1360-1369.

## Bilaga 1. Inställningar på Avisoft och D500X

Parameters	Avisoft Lemnhult	
PRE-TRIGGER	0,5s	OFF
HOLD	2	
LEVEL	0,35	
RANGE	14-70 kHz	
ENTROPY	No	
REJECT WIND/RAIN	No	
WHISTLE TRACKING	No	
MAX FILE SIZE	0,12 min = 7,2 sec	5 sec
Interval between recording		5 sec
Sampel frequency		500
Trigger sens.		High
Input gain		60
Trig level		30
<b>Tidsprogram</b>		
Type	absolute timer	absolute timer
From	19:00	19:00
To	06:00	06:00
Bat call filter	Yes	
Bat call filter settings	Standard	
HP Filter		Yes







1st Avisoft vid navhöjd, pekande 90 grader ut från vindkraftverket bakåt  
1st D500x vid navhöjd, pekande 90 grader ut från vindkraftverket bakåt  
1st Avisoft i höjd med dörren, pekande 90 grader ut från vindkraftverket  
1st D500x i höjd med dörren, pekande 90 grader ut från vindkraftverket bakåt

Testningen av mikrofoner genomgick följande protokoll.

- Kablar mellan mikrofon och inspelningsenhet från toppen av vindkraftverket färgmärktes med grön/röd för att de skulle vara omöjliga att förväxla. Kablar vid basen var av olika tjocklek och av detta skäl omöjliga att förväxla.
- Efter inkoppling testades mikrofoner vid basen genom att en person slog ett hårt föremål i metallen i närheten av mikrofonen och den andre personen observerade utslag på inspelningsutrustningen. Det konstaterades att båda enheterna vid basen var korrekt inkopplade.
- Det testades att mikrofoner vid toppen inte gav utslag när ljud gjordes vid basen
- Mikrofoner inkopplade på hög höjd (navet) testades den 6/7 med hjälp av Vestas tekniska personal. En person slog då ett hårt föremål i metallen vid mikrofonerna i navhöjd och det kontrollerades att både D500x utrustningen gav utslag på dB mätare och att utslag syntes i spektrogrammet på AVISOFTs programvara RECORDER.

# Aktivitet av fladdermöss och insekter vid ett vindkraftverk

RAPPORT 6902

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6902-5  
ISSN 0282-7298

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

JOHNNY DE JONG, OLLE HÅSTAD, JONAS VICTORSSON, ANDERS ÖDEEN

Det finns troligtvis flera anledningar till att fladdermöss kan förekomma vid vindkraftverkens rotorblad. Den här rapporten undersöker om tätheten av insekter kan ha betydelse genom att undersöka sambandet mellan fladdermusaktivitet och insektstäthet.

Forskarna placerade en insektsfälla vid nacellen på ett vindkraftverk, och monterade en mikrofon som registrerar fladdermusljud. Samtidigt registrerades temperatur, vindhastighet, vindriktning och nederbörd på platsen.

Resultatet visade ett tydligt samband mellan vindhastighet och förekomst av insekter, och även ett samband mellan insektsförekomst och aktivitet av fladdermöss. Fladdermusaktiviteten minskade när temperaturen var under 10 grader och vindhastigheten högre än 12 m/s. Det fanns dock en stor variation både när det gäller fladdermusaktivitet och förekomst av insekter.

Studien genomfördes vid ett vindkraftverk i Småland under sommar och höst 2017 och 2018. Enligt forskarna bör man inte dra generella slutsatser om aktiviteten eftersom förekomsten av fladdermöss varierar mellan olika regioner, men studien är ett exempel på att aktiviteten och artantalet kan vara stor på hög höjd.

