

TEST AV AUTOMATISKT ÖVERVAKNINGSSYSTEM FÖR FÅGELSKYDD PÅ NÄSUDDEN, GOTLAND



Richard Ottvall



Test av automatiskt övervakningssystem för fågelskydd på Näsudden, Gotland

Resultatredovisning av projekt *Örnkoll – intelligent teknik eliminerar kollisioner mellan stora fåglar och vindkraftsverk* finansierat av Energimyndigheten med stöd av Region Gotland, Gotlands Vindelproducenter och Vattenfall Vindkraft Sverige AB

Författare

Fil. Dr. Richard Ottvall

Kontakt

Richard Ottvall, Ottvall Consulting AB
Frostavallsvägen 325, 243 93 Höör
richard@ottvall.com

Anders Jansson, Vattenfall Vindkraft AB
anders.jansson3@vattenfall.com

Andreas Wickman, Gotlands Vindelproducenter GVP
andreas@wickmanwind.se

Linus Palmblad, Energimyndigheten

Kartor

OpenStreetMap, Google Earth, IdentiFlight®, Linder m.fl. (2021)

Foton

IdentiFlight®, Andreas Wickman

Innehåll

Sammanfattning på svenska	4
English summary	6
Bakgrund	8
Syftet med undersökningen	8
Vindkraftsparken på Näsudden	9
Metodik	10
Simulerad nedstängning av vindkraftverk	16
Systemets prestanda på Näsudden: detekteringsfunktionen	23
Systemets prestanda på Näsudden: identifieringsfunktionen	26
Systemets prestanda på Näsudden: stoppsignalfunktionen	27
Slutsatser och diskussion	32
Tack	36
Referenser	36

Sammanfattning på svenska

Ett automatiskt övervakningssystem, IdentiFlight®, som detekterar och identifierar rovfåglar, avsett för användning som skyddsåtgärd i vindkraftsparker, testades och utvärderades i vindkraftsparken på Näsudden, södra Gotland, mellan februari 2020 och mars 2021. En enhet av systemet omfattar åtta vidvinkelkameror som placeras sida vid sida runt en pylon och möjliggör 360° täckning. När systemet upptäckt en möjlig fågel zoomar en separat högupplöst stereokamera in objektet, fotograferar och sparar en bild för klassificering, och om objektet klassificeras som fågel fortsätter följningen tills en ny fågel eventuellt registreras.

För att systemet ska kunna skydda rovfåglar från att förolyckas av roterande rotorblad behöver det dels upptäcka och identifiera prioriterade fågelarter, dels skicka stoppsignal till verk i tid för att kollisionsrisken för rovfågarna ska elimineras eller åtminstone reduceras. Systemet placerades på en sju m hög mast centralt i parken med fullständig täckning av tre vindkraftverk där simulerade stoppsignaler för nedstängning av verk registrerades när en stor rovfågel (örn) på kollisionkurs med verk identifierats av systemet. Målsättningen var att också utvärdera hur systemet fungerar i förhållande till röd glada men alltför få observationer gjordes av denna art för att ge tillräckligt underlag för vidare analyser.

IdentiFlight arbetar med artificiell intelligens där ett neuralt nätverk är verktyget för att lära systemet att identifiera fågelarter utifrån de bilder som kameran sparar. Ett neuralt nätverk är ett samlingsnamn för självinlärande algoritmer som försöker efterlikna funktionen i biologiska nervsystem. Det artificiella nätverket kan få systemet att utveckla en bildigenkänning som liknar en mänsklig observatörs förmåga att identifiera fåglar till art eller artgrupp. För människor sägs det att det krävs 10 000 timmars träning innan man blir riktigt skicklig på en viss uppgift. IdentiFlight behöver i storleksordningen 150 000 bilder på en viss fågelart innan den klarar uppgiften att med hög träffsäkerhet identifiera den till art. Från ett projekt i Tyskland fanns ett neuralt nätverk som vid starten på Näsudden klassificerade fåglar i fem kategorier: havsörn, örn, glada, ormråk och "övriga fåglar". Detta neurala nätverk nådde inte upp till önskvärd prestanda och efter träning av bilder på fåglar som togs på Näsudden i februari-april 2020 uppdaterades detta i maj 2020 med en ny version. I denna version fanns havsörn men fortfarande inte kungsörn som en egen artkategori. Dessutom togs glada bort som en kategori vid klassificeringen medan måsar/trutar tillkom som en kategori.

Under 32 dagar i februari-mars 2020 och 24 dagar i januari-mars 2021 fanns en eller två erfarna fågelobservatörer på plats i ett specialbyggt torn 350 m från systemets enhet på Näsudden. Observatörerna noterade samtliga rovfåglar som passerade inom synhåll med särskilt fokus på kungsörn, havsörn och röd glada inom 1 000 m avstånd från systemets kameror. De visuellt upptäckta rovfågarnas flygrörelser jämfördes sedan med de rovfåglar som systemet hade registrerat samma dagar. Observatörerna fastställde fåglarnas positioner (latitud och longitud-koordinater) och flygrörelser med en laserkikare, Vectronix Range Finder 21 Aero. Noteringar om fåglarnas ålder, kön och andra kännetecken underlättade vid jämförelse med systemets bilder av registrerade rovfåglar.

Vid god sikt och i övrigt bra väderförhållanden upptäckte systemet örnar upp till 1 200 m på Näsudden. I genomsnitt upptäckte systemet en örn på 600 m under fältperioden 2020 och på 783 m fältperioden 2021. Observatörer såg en del örnar inom 1 000 m från kameran som inte upptäcktes av systemet. Inom 700 m från kamera-enheten upptäckte IdentiFlight 93,4 % av de visuellt observerade örnarna fältperioden 2020 samt 96,0 % av örnarna fältperioden 2021. IdentiFlight registrerade också örnar som missades av observatörerna men dessa analyseras inte i den här rapporten.

Fältperioden 2020 identifierade IdentiFlight 89,5 % (17 av 19 följningar) av visuellt upptäckta kungsörnar korrekt till örn. Systemet identifierade 93,4 % (57 av 61 följningar) av visuellt upptäckta havsörnar korrekt till örn. Fältperioden 2021 identifierades samtliga av systemet upptäckta kungsörnar (13 tillfällen) och 97,8 % av upptäckta havsörnar (45 av 46 tillfällen) som örn. Den enda av systemet felbestämda havsörnen noterades på 1 147 m från kameran. Omkring 10 % av upptäckta och korrekt identifierade örnar upptäcktes på relativt korta avstånd, mellan 205 och 400 m från kameran.

Av 378 000 bilder tagna av IdentiFlight mellan april 2020 och mars 2021 utgjorde 16 % bilder som klassificerats av systemet som örn men som vid manuell genomgång av visade sig vara annan fågel (falskt positiv klassificering). Andelen falskt negativa klassificeringar där bilder på örnar identifierades som annan fågel än örn var 3,7 %.

Nedstängningsfunktionen var inte skarpt aktiverad med verkliga nedstängningar av verk. Simulerade stoppsignaler för nedstängning gjordes från februari 2020 till mars 2021 utifrån fåglarnas flygrörelser i närheten av de tre verken inom systemets fulla räckvidd. Den totala tid som de tre verken hade varit nedstängda för fåglar identifierade som örn eller glada varierade månadsvis mellan 0,19 % och 1,46 % av den totala tiden som verken potentiellt kunde ha varit i drift, det vill säga 24 timmar per dygn. Omkring 80 % av nedstängningarna orsakades av fåglar som egentligen inte var örn men där systemet inte kunde utesluta örn. Fåglar som orsakade nedstängningar dominerades av gråhäger, storskarv, gäss, kråkfåglar och trutar.

För det 3 MW verk som var 100 % övervakat av kamera-enheten resulterade den simulerade skyddsfunktionen i ett tidsmässigt stopp under 1 mars 2020–28 februari 2021 av 95 timmar och en produktionsförlust av 79,3 MWh, vilket var 0,94 % av periodens totalproduktion av 8458 MWh.

En genomgång av ett urval registrerade nedstängningar gjordes för perioden december 2020-februari 2021. Under dessa tre månader skickades 64 simulerade stoppsignaler till verk för örnar, vilka granskades manuellt från bilder tagna av IdentiFlight. Vid 52 % av dessa skickades stoppsignal när örnens avstånd var minst 200 m från vindkraftverket, men då oftast längre avstånd till kamera-enheten. Vid fyra tillfällen initierades nedstängning på kortare avstånd än 100 m från vindkraftverket. Merparten av örnarna som var orsaken till de simulerade nedstängningarna kom emellertid inte påtagligt närmare verket efter nedstängningstillfället medan tre örnar fortsatte flyga i riktning mot de "nedstängda" verken, som närmast till mellan 22 och 42 m avstånd där kollisionsrisk var uppenbar. Någon kollision registrerades dock inte och inträffade troligen inte vid dessa tillfällen. För att reducera risken med kollisioner för örn ytterligare kan fler kamera-enheter installeras för ännu bättre täckning kring vindkraftverken.

English summary

An automatic monitoring system, IdentiFlight®, which detects and identifies large raptors, intended for use as a mitigation measure in wind farms, was tested and evaluated in the wind farm on Näsudden, southern Gotland, between February 2020 and March 2021. A unit of the system comprises eight wide-angle cameras placed side by side around a pylon that enables 360° coverage. When these cameras detect a possible bird, a high-resolution stereo camera zooms in on the object, saves an image for classification, and if the object is classified as a bird, tracking continues until a new object is found.

For the system to be able to prevent raptors from being killed by rotating blades, it needs to both detect and identify priority bird species and send a curtailment signal in time to eliminate or at least reduce the risk of collision for birds. The system was placed on a 7 m high mast in the center of the park with complete coverage of three wind turbines where simulated curtailment signals for turbines were registered when a large raptor (eagle) on a possible collision course with turbines identified by the system. The aim of the study was also to evaluate detection and identification rates for Red Kite but not enough observations were collected for a proper analysis.

IdentiFlight uses artificial intelligence where a neural network is the tool to learn the system to identify bird species based on the images taken by the camera. From a project in Germany, a neural network was used on Näsudden classifying birds in four categories: eagles, kites, buzzards and other birds. This neural network did not reach the desired performance and after training bird images from Näsudden, this was updated in May 2020 with a new version. In this version, White-tailed Sea Eagles were classified separately to species while Golden Eagles were classified as eagles.

For 32 days in February-March 2020 and 24 days in January-March 2021, one or two observers were on site in a specially built tower 350 m from the system's unit at Näsudden. The observers noted all raptors that passed within sight with special focus on Golden Eagles, White-tailed Sea Eagles and Red Kites within 1000 m distance from the system's cameras. The flight movements of the visually detected raptors were then compared with the raptors that the system had registered on the same days. Observers determined the birds' positions (latitude and longitude coordinates) and flight movements with a Laser Range Finder, Vectronix Range Finder 21 Aero. Notes on the birds' age, sex and other characteristics facilitated in comparison with the images of the system's registered raptors.

IdentiFlight's range for detecting eagles is around 1000 m. In good visibility and otherwise good weather conditions, the system detected eagles up to 1200 m on Näsudden. On average, the system detected an eagle at 600 m during the field period 2020 and at 783 m in the field period 2021. Observers observed some eagles within 1000 m from the camera that were not detected by the system. Within 700 m of the camera unit, IdentiFlight detected 93.4 % of the visually observed eagles in the field period 2020 and 96.0 % of the eagles in the field period 2021. IdentiFlight also registered eagles missed by the observers, but these are not analyzed in this report.

In the field period 2020, IdentiFlight correctly identified 89.5 % (17 of 19 tracks) of visually detected Golden Eagles as eagles. The system correctly identified 93.4 % (57 of 61 tracks) of visually detected White-tailed Sea Eagles as eagles. In the field period 2021, all Golden Eagles discovered by the system were identified (13 occasions) and 97.8 % of White-tailed Sea Eagles discovered (45 out of 46 occasions) as eagles. The only White-tailed Sea Eagle misidentified by the system was noted at 1147 m from the camera. About 10 % of detected and correctly identified eagles were detected at relatively short distances between 205 and 400 m from the camera.

Out of 378 000 images taken by IdentiFlight at Näsudden between April 2020 and March 2021, it was manually checked by IdentiFlight themselves that the system classified a non-eagle to an eagle in 16 % of images (false positive classification rate). On the other hand, the so-called false negative classification rate when images of eagles were classified as non-eagle, was 3.7 %.

The curtailment function was not activated with actual turbine curtailments. Simulated curtailments were made from February 2020 to March 2021 based on the birds' flight movements in the vicinity of the three turbines within the full range of the system. The total time that the three turbines would have been shut down for birds identified as eagles varied monthly between 0.19 % and 1.46 % of the time that the turbines could potentially have been in operation. About 80 % of the curtailments were caused by birds that were not really eagles but where the system could not exclude eagles. Birds that caused curtailments were dominated by Grey Herons, Great Cormorants, geese, corvids and gulls.

The simulated curtailment function was estimated to result in a 0,94 % production loss for the 3 MW wind turbine that was fully surveyed by the IdentiFlight camera in the period 1 March 2020-28 February 2021.

A selected review of registered simulated curtailments in the period December 2020-February 2021 resulted in 64 curtailments for an eagle that was identified manually from images taken by IdentiFlight. In 52 % of these, a stop signal was sent to turbines at least 200 m away from the eagle. The distance to the IdentiFlight cameras was often longer than the distance between eagle and wind turbine. On four occasions, shutdown was initiated at less than 100 m from the eagle. However, most of the eagles that were the cause of the virtual curtailments did not significantly get closer to the turbines after the shutdown, while three eagles continued to fly in the direction of turbines as close as 22-42 m where the collision risk was high. More cameras could be installed in a wind farm to further reduce collision risk of eagles.

Bakgrund

Projektet *Örnkoll – intelligent teknik eliminerar kollisioner mellan stora fåglar och vindkraftsverk* beviljades i oktober 2018 ekonomiskt stöd från Energimyndigheten. Därutöver har Vattenfall Vindkraft Sverige AB och Gotlands Vindelproducenter (GVP) med stöd från Region Gotland finansierat projektet som efter diverse förseningar avslutades i fält i mars 2021. Denna rapport är en sammanställning av utförda arbeten och resultat i förhållande till de två projektmål som fastställdes i projektet. I beslutet om att projektet beviljats medel till undersökningen står det:

1. När testprogrammet är avslutat ska verifierad data finnas som visar hur stor andel av de örnar som riskerat att kollidera med roterande turbinblad som upptäckts och på vilka avstånd från närmsta vindkraftsverk fågeln befann sig när stoppsignal kunde skickas.
2. Likaså ska data finnas på hur stor andel av potentiell vindenergi som skulle förlorats i de vindkraftsverk systemet i ett skarpt läge skulle stängt ner.

Utvärderingen gällde övervakning av örnar och röd glada med hjälp av IdentiFlight® Aerial Detection System som utvecklats av det amerikanska företaget IdentiFlight International, LLC. Systemet utvecklades med syftet att upptäcka flygande örnar för att kunna styra driften av vindkraftsverk och sålunda reducera risken för att örnar förolyckas av rotorbladen.

IdentiFlight (fortsättningsvis förkortat IDF) är inte det enda automatiska övervakningssystemet på marknaden med syftet att skydda fåglar som flyger genom vindkraftsparker. Däremot var IDF först med att få systemets prestanda utvärderat av en oberoende part med biologisk expertis i Wyoming, USA gällande kungsörn (McClure m.fl. 2018, 2021) och i Tyskland gällande röd glada (Aschwanden & Liechti 2020). En målsättning har därför varit att direkt jämföra resultaten av systemets prestanda i en vindkraftspark på södra Gotland med studierna i USA och Tyskland. Samtidigt kan den här rapporten användas som en utvärdering av möjligheter och begränsningar med automatiska övervakningssystem i vindkraftsparker generellt för svenska förhållanden.

En styrgrupp utsågs bestående av Anders Jansson och Bjarke Laubek från Vattenfall samt Andreas Wickman och Josefin Knudsen från GVP. Referensgrupp utgjordes av Henrik Johansson (Länsstyrelsen i Gotlands län), Helena Andersson (Region Gotland), Marianne Ansen-Nilsson (Region Gotland), Henri Engström (Naturvårdsverket) och Liselott Aldén (Uppsala universitet).

Syftet med undersökningen

På Gotland har det på senare tid varit svårt att få tillstånd för vindkraftsparker. En av anledningarna till detta är den höga örn tätheten på ön. De skyddsavstånd till örnbon som är praxis idag innebär att det finns begränsat med utrymme för vindkraften i förhållande till örnrevir på Gotland. Det finns en förhoppning från vindkraftsintressenterna

om att ett automatiserat övervakningssystem av örnar kan bidra till att möjliggöra vindkraftsetablering på platser med förekomster av skyddsvärda fåglar.

Näsudden utgör ett område med näst intill dagliga besök av örn i vindkraftsparken. Detta i sig gör vindparken på Näsudden lämplig för en svensk undersökning av ett sådant övervakningssystem. Därtill har Vattenfall Vindkraft Sverige planer på ett generationsskifte av vindkraftsverk på östra sidan av Näsudden där ett övervakningssystem kan utgöra en skyddsåtgärd inom ramen för en ansökan om generationsskiftet.

Två specifika utvärderingsmål sattes upp för det här projektet:

1. Utvärdera det automatiserade övervakningssystemets förmåga att upptäcka och identifiera kungsörn, havsörn och röd glada inom systemets räckvidd av cirka 1 000 m.
2. Utvärdera det automatiserade övervakningssystemets förmåga att leverera stoppsignal till berörda vindkraftverk som medför en minskning av vindkraftsverkets rotationshastighet så att kollisioner med örnar undviks. I detta delmål ingick att beräkna produktionsförlusten som skulle blivit konsekvensen av vindkraftsverkens nedstängningar i ett skarpt läge.

Ett grundläggande och rimligt antagande är att örnar inte dödas av vindkraftsverk som inte är i drift och står stilla. Att dokumentera övervakningssystemets effektivitet med att upptäcka och identifiera fåglar och följande nedstängningar är rimligt att koppla till en reducerad dödlighet. Även om en avgränsning för undersökningen är att den inte utvärderar i vilken utsträckning systemet kan reducera fågeldödlighet vid vindkraftsverk i drift. En sådan utvärdering har gjorts i Wyoming, USA med avseende på kungsörn och det uppskattades att dödligheten för kungsörn kunde reduceras med 82 % i en vindkraftspark när systemet användes (McClure m.fl. 2021). Denna reduktion av örndödlighet med IDF jämfördes med en nivå av nedstängning som redan användes i parken. Innan IDF användes i vindkraftsparken med automatisk övervakning och nedstängning av verk fanns observatörer på plats med möjlighet att stänga ned verk när en örn upptäcktes i kollisionsskud med vindkraftsverk. Om IDF kan påvisas ha motsvarande prestanda på Näsudden vad gäller förmågan att upptäcka och identifiera stora fåglar (örnar) som i Wyoming, kan systemet förväntas ha en motsvarande effekt som skyddsåtgärd på Näsudden.

Vindkraftsparken på Näsudden

Vindkraftspark Näsudden är lokaliserad till sydvästra Gotland nordväst om Burgsvik (figur 1). Den består av 49 verk där 19 är små, äldre verk med navhöjd mellan 30 och 45 m och rotordiameter 27–47 m. De övriga verken har med ett undantag navhöjd 80 m och rotordiameter 90 m.

Platsen för IDF-enheten valdes ut för att täcka den södra delen av vindparken där både stora och små vindkraftverk fanns inom kamerans räckvidd.



Figur 1. Karta över Näsuddens vindkraftspark där 44 av 49 verk är utmarkerade. Gula cirklar motsvarar vindkraftverk som byggdes vid generationsskifte av västra Näsudden medan orange cirklar motsvarar vindkraftverk som varit med längre och som ingår i det planerade generationsskiftet av östra Näsudden. Fem nyare vindkraftverk saknas på kartan men de ligger i förlängningen norrut av den östligaste raden med gulmarkerade verk. Vit stjärna visar platsen för IDF-enheten.

Metodik

Systemet

IDF arbetar med artificiell intelligens där ett artificiellt neuralt nätverk i en dator är verktyget för att träna systemet med att identifiera fågelarter utifrån de bilder som kameran tar. Ett neuralt nätverk är ett samlingsnamn för självinlärande algoritmer som försöker efterlikna funktionen i biologiska nervsystem. Det artificiella nätverket kan få systemet att utveckla en bildigenkänning som liknar en mänsklig observatörs förmåga att identifiera fåglar till art eller artgrupp. För människor sägs det att det krävs 10 000 timmars

träning med vårt neurala nätverk innan man (hjärnan) blir riktigt skicklig på en viss uppgift. IDF behöver vanligtvis i storleksordningen 150 000 bilder på en viss fågelart innan den klarar uppgiften att med hög träffsäkerhet identifiera den till art.

Från ett projekt i Tyskland (Aschwanden & Liechti 2020) fanns ett neuralt nätverk som vid uppstarten på Näsudden klassificerade fåglar i fem kategorier: havsörn, örn, glada, ormråk samt "övriga fåglar". Företaget som utvecklat IDF bestämde sig för att inte använda algoritmerna med kungsörnar från Wyoming för den europeiska marknaden utan planerade att träna upp systemet separat för europeiska kungsörnar. Därför klassificerade inte IDF kungsörnar till egen artkategori vid uppstarten av den gotländska studien. Under studieperioden togs alltför få bilder av kungsörnar på Näsudden som ett träningsmaterial, vilket innebar att någon inlärning för igenkänning av kungsörn inte uppnåddes till den här rapportens färdigställande. Däremot förväntades kungsörn att klassificeras som havsörn eller örn. Den version av neuralt nätverk som importerades från den tyska studien nådde emellertid inte upp till önskvärd prestanda med alltför många felbestämningar av kungsörnar som inte hamnade i kategorierna havsörn eller örn. Efter träning av fågelbilder tagna på Näsudden i februari-april 2020 uppdaterades därför det neurala nätverket i maj 2020 med en ny version som resulterade i att antalet felbestämningar minskade. I denna version fanns havsörn men fortfarande inte kungsörn med som en egen artkategori. Dessutom togs glada bort som en kategori vid klassificeringen då det observerades få individer av den arten på Näsudden. Däremot fanns fortsatt örn, ormråk, "övriga fåglar" samt tillägget "måsar/trutar" som kategorier.

En systemenhet består av åtta vidvinkelkameror som monterats sida vid sida på en pylon och som kontinuerligt övervakar 360° av luftrummet (figur 2a och b). En högupplöst stereokamera lokaliserar de objekt som upptäcks av de mindre vidvinkelkamerorna och mäter avstånd, position och objektens storlek samtidigt med att digitala bilder på objekten tas och sparas i systemet för klassificering. Om ett objekt klassificeras som fågel fortsätter stereokameran att följa och insamla positionsdata (också flyghöjd) om fågeln.

Systemet kan hålla reda på flera fågelindivider samtidigt och växla mellan att följa olika individer med stereokameran i förutbestämd prioritering. IDF har ingen begränsning i hur många individer den kan följa simultant, men det tar fyra sekunder för stereokameran att byta vinkel 180° till en annan fågel. På Näsudden var systemet från och med versionen i maj 2020 programmerat att prioritera två målarter: havsörn och kungsörn. Individer av örnar skulle identifieras till havsörn eller örn och kunna följas för simulerad nedstängning av vindkraftverk om det förelåg kollisionsrisk.

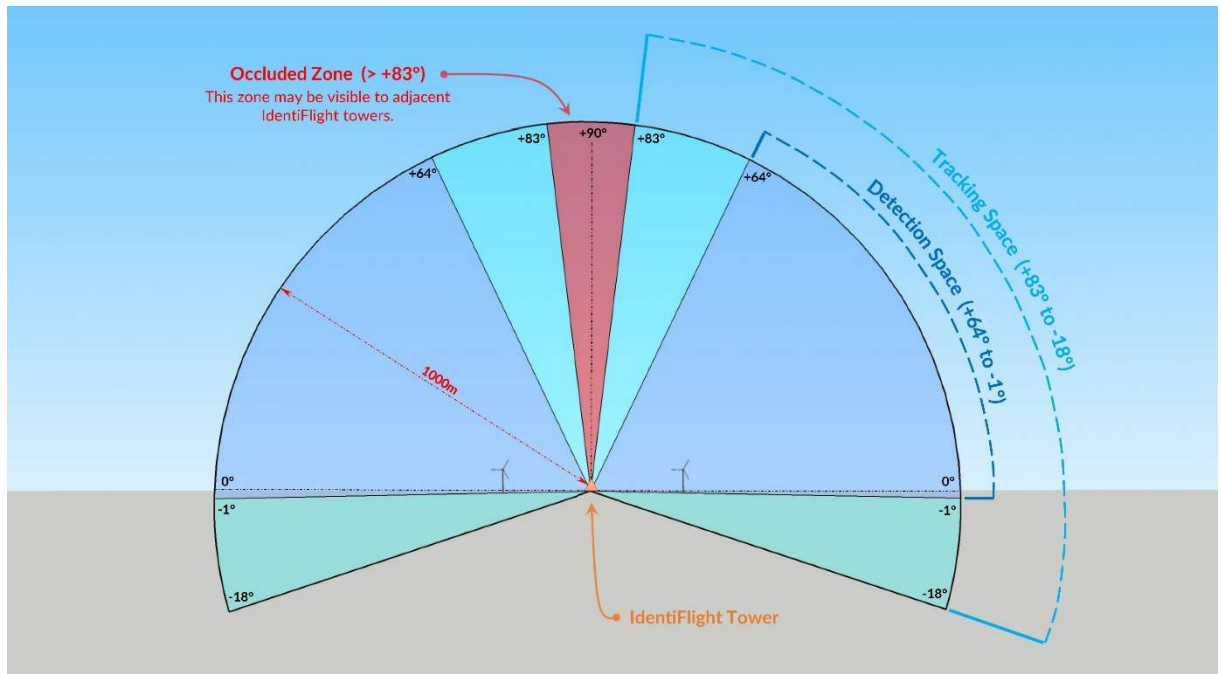
Förenklat uttryckt var fåglar i princip ointressanta för nedstängning om de inte bedömdes vara örnar. Om flera individer av någon av målarterna fanns inom räckhåll för stereokameran togs bilder i första hand av den individ som var närmast ett vindkraftsverk.



Figur 2a. Tornet med IdentiFlight-enheten på Näsudden.



Figur 2b. Kamera-enheten i närbild.



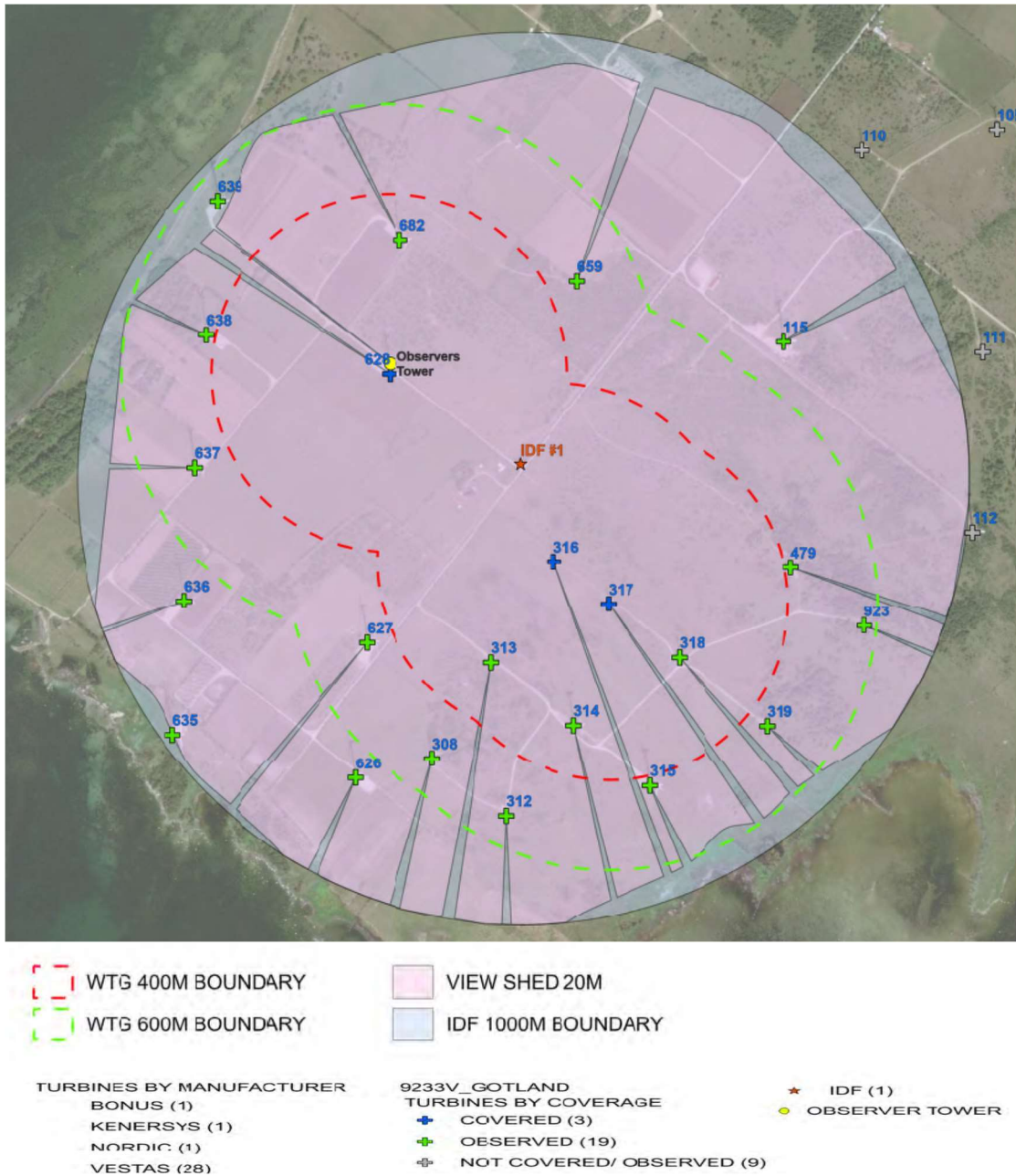
Figur 3. Schematisk illustration av IdentiFlight-kamerans täckning. Täckningen är i princip 360° kring kamera-enheten men det finns ett blint område rakt upp på 14° (Occluded zone). På Näsudden filtrerades områden närmast markytan bort för att inte få bilder på människor, djur och bilar. Figur erhållen från IdentiFlight®.

Systemets funktion

IDF har som målsättning att ha full täckning för att upptäcka stora rovfåglar inom 1 000 m från kamera-enheten. Detta gäller även i höjdlid med undantag av ett blint område, så kallad *Occluded Zone* rakt upp (figur 3). Utan att gå in på alla tekniska detaljer är detta område ett blint "öga" där systemet inte kan göra följningar. På Näsudden ställdes systemet in för att ha en marginal till markytan så att inga förbikörande bilar skulle hamna på bild. Man ville också undvika att registrera kaniner, får eller andra däggdjur på marken. Av naturliga skäl skymmer befintliga vindkraftsverk, hus och trädgångar sikten där systemet inte kan täcka fullt ut (figur 4).

En utmaning för ett automatiskt övervakningssystem är fåglar som flyger riktigt lågt då dessa kan vara svåra, eller omöjliga, att skilja ut från en mörk bakgrund. Å andra sidan, så länge de flyger lågt undviker de också rotorbladens svepyta.

För den simulerade nedstängningen var det tre vindkraftsverk som täcktes fullt ut av IDF (figur 4, tabell 1). Därutöver var det sex verk som täcktes delvis av IDF och som också registrerade simulerade nedstängningar. Men för analyserna av nedstängningsfunktionen användes endast data från de tre verken med full täckning. Två av de verk som täcktes fullt ut av IDF (316, 317 i figur 4) hade 41 m navhöjd och 37 m rotordiameter medan verk 628 (figur 4) var större med navhöjd 80 m och rotordiameter av 90 m.



Figur 4. IdentiFlight-enhetens lokalisering på Näsudden (röd stjärna) och 1 000 m radie som utgör systemets målräckvidd. Observatörernas torn är markerad med gul cirkel intill vindkraftverk nr 628. Tre vindkraftverk (316, 317 och 628) täcktes fullt ut av systemets kameror och den röda streckade linjen utgör gräns för 400 m avstånd från dessa verk. Den gröna streckade linjen är gränsen för 600 m avstånd från verken. Dessa cirklar utgör exempel på den inre och yttre cylinderns radie (se tabell 1 för cylindrarnas verkliga radier på Näsudden). I ytan färgad lila inom 1 000 m-cirkeln var systemet inställt på att upptäcka flygande fåglar ned till cirka 20 m höjd över marken. En yta bakom vindkraftsverken i förhållande till enhetens kameror utgjorde en blind yta utan täckning för systemet. I ytterkanterna av 1 000 m-cirkeln fanns ytor där kameran i normalfallet inte hade möjlighet att upptäcka flygande fåglar över huvud taget på grund av landskapsstrukturer och andra faktorer. Figur från IdentiFlight®

Simulerad nedstängning av vindkraftverk

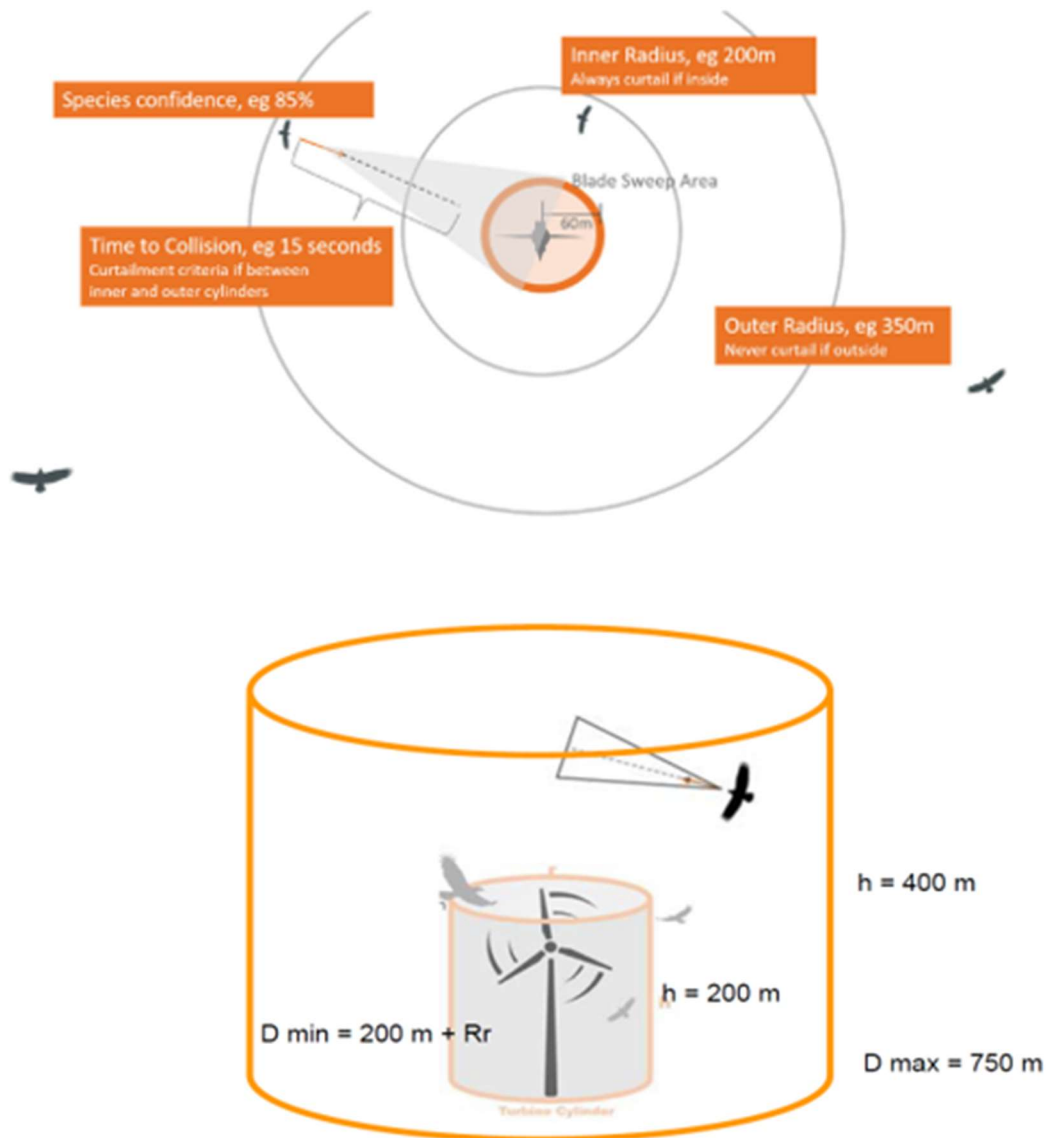
Nedstängning av vindkraftverk simulerades i försöket på Näsudden men utan att det skickades verkliga stoppsignaler till vindkraftverken. De simulerade nedstängningarna har dock registrerats av systemet. Nedstängningsfunktionen karaktäriseras av att två osynliga cylindrar definieras kring ett vindkraftverk (jämför figur 5). Radien på cylindrarna varierade beroende på typ av vindkraftverk mellan 600–700 m på den yttre cylindern och mellan 250–400 m på den inre cylindern (tabell 1). Variationen beror på vindkraftverkens storlek och rotorbladens radie (R_r i figur 5).

Om en fågel som flyger in i den inre cylindern kring ett vindkraftverk klassificeras av IDF som skyddsklassad art (på Näsudden en örn) skickar systemet en nedstängningsorder som resulterar i att en nedstängning av verket omedelbart påbörjas. Om en fågel lokaliseras till området i den yttre cylindern skickas endast stoppsignal när vissa kriterier är uppfyllda, till exempel att en fågel flyger rakt mot ett vindkraftverk i hög hastighet.

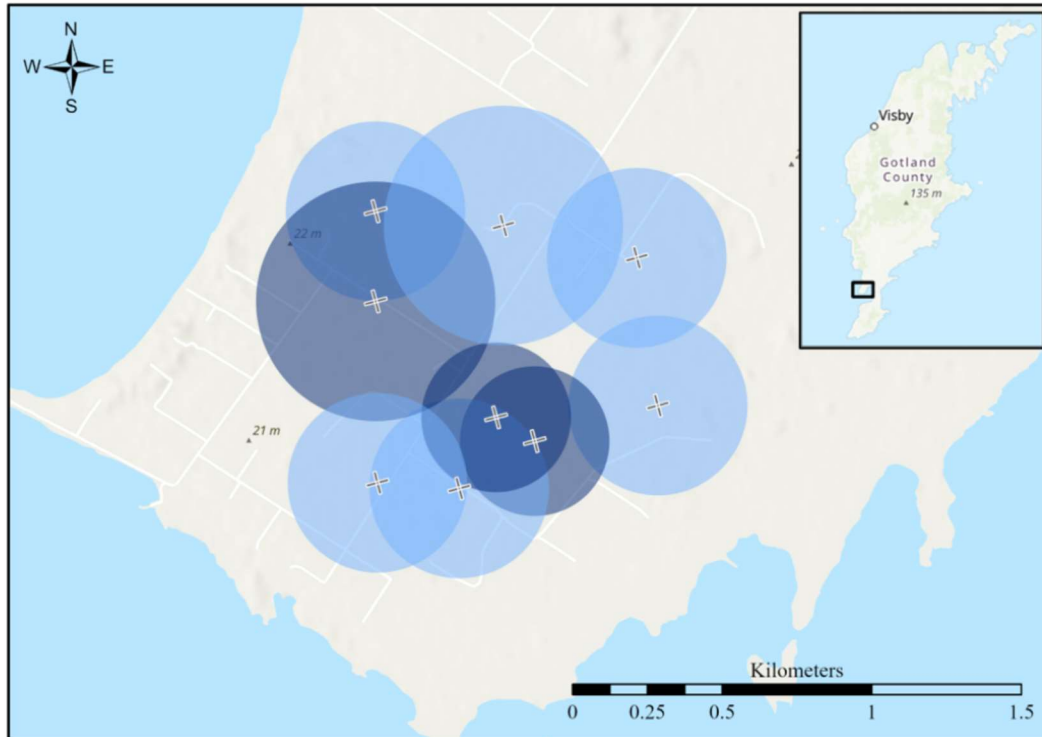
Systemets beräkning av vid vilket avstånd mellan fågel och vindkraftverk som nedstängningen av vindkraftverket ska påbörjas utgår från en beräknad nedstängningstid av 25 sekunder från skickad stoppsignal till att rotorbladet snurrar mindre än ett varv per minut. Nedstängningsavståndet varierar på hur snabbt en aktuell fågelindivid flyger och är också avhängigt typen av vindkraftverk. En nedstängning avbryts när en fågelindivid inom en specifik tidsperiod (Time-to-clear) inte längre uppfyller de fastställda kriterierna för kollisionsrisk. På Näsudden var denna Time-to-clear-tid bestämd till tre sekunder.

Modell	Antal verk	Rotordiameter (m)	Navhöjd (m)	Yttre cylinder - radie (m)	Inre cylinder - radie (m)	Yttre cylinder - höjd (m)	Inre cylinder - höjd (m)
Täckt 100%							
Vestas V27	1	27	31	700	250	300	250
Vestas V29	1	29	31	700	250	300	250
Vestas V90	1	90	80	700	400	400	250
Delvis täckt							
Kenersys 2500 K100	1	100	85	600	300	400	250
Vestas V47	2	47	45	600	300	300	250
Vestas V90	2	90	80	700	300	400	250
Vestas V100	1	100	100	700	400	400	250

Tabell 1. Detaljer för de närliggande vindkraftverken på Näsudden i förhållande till nedstängningsfunktionen. Den yttre cylindern täcktes helt och hållet för tre vindkraftverk och delvis för sju andra verk. Se figur 6.



Figur 5. Översikt av nedstängningsfunktionens inre och yttre cylinder kring ett vindkraftverk. R_r =rotorbladets radie. Bild från IdentiFlight®.



Figur 6. Karta över den inre cylindern för varje vindkraftverk som haft simulerad nedstängningsfunktion. Vindkraftverk som varit helt täckta av IdentiFlight-enhetens kamera med mörkblå cirkel och övriga delvis täckta vindkraftverk med ljusblå cirkel. Karta från Linder m.fl (2021).



Figur 7. Observationstornet på Näsudden.

Fältobservationer

Ett observationstorn byggdes 350 m från kamera-enheten varifrån ibland en, ibland två erfarna fågelobservatörer spanade efter och registrerade samtliga observerade rovfåglar och i mån av tid även andra fåglar (figur 7). Fåglarnas positioner och flygrörelser registrerades med en laserkikare, Vectronix Range Finder 21 Aero. Laserkikaren sparade mätningar med fågelns position (latitud och longitud), avstånd från observatören, flyghöjd, tidpunkt med mera. Så långt det var möjligt gjordes noteringar om dräktkaraktärer hos registrerade fåglar för direkt jämförelse med de bilder som IDF tog på fåglar vid samma tidpunkt. Observationspass varade oftast mellan klockan 09.00 och 15.00. Dagar med dålig sikt och kraftig nederbörd ställdes observationsverksamheten in.

Systemet var installerat och intrimmat till 10 februari 2020. En fältperiod pågick mellan 13 februari och 27 mars 2020 varefter en första utvärdering av systemet gjordes av ett team från leverantören av IdentiFlight. En ny version av det neurala nätverket startades 28 maj 2020 och användes till och med mars 2021 då den här undersökningen avslutades. Planen var sedan att fortsätta med observationer under hösten 2020. Så blev inte fallet då personalen som arbetade med att träna systemet med den nya versionen blev färdiga med en utvärdering av den nya versionen först i mitten av januari 2021. Med den nya versionen konstaterades att det fortfarande inte var möjligt att identifiera kungsörn till en egen kategori. För att hinna med ytterligare en period i fält utfördes denna, trots att kungsörnar fortfarande identifierades som havsörn eller örn, 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021.

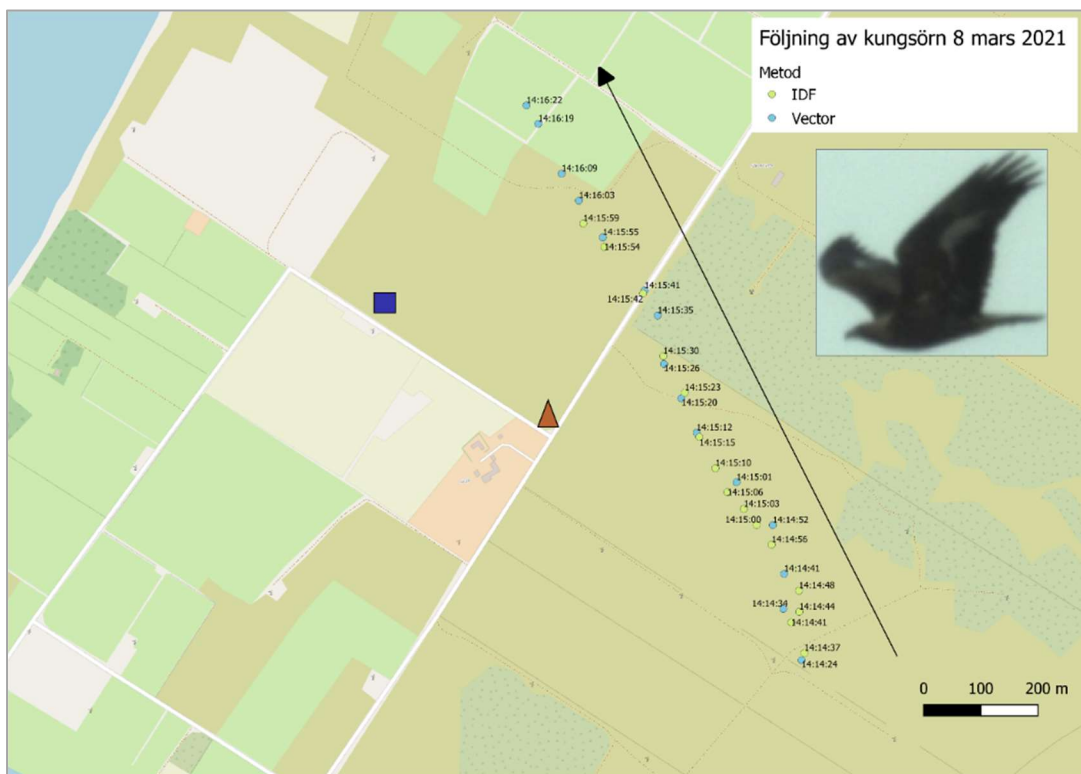
Analys

IDF levererade med cirka ett dygns fördröjning filer på samtliga följningar av fåglar som systemet gjorde under en dag. Det var excel-filer med följningar och uppgifter om tidpunkt, position, avstånd, flyghöjd och klassificering av fågel. Dessutom medföljde ett utsnitt av den bild som tagits på fågeln för varje position (figur 8). IDF tar fem bilder i sekunden men flertalet bilder rensades automatiskt bort till den excel-fil som var tillgänglig för oss. Varje position som systemet hade insamlat under en dag lagrades i en kml-fil som kunde öppnas i Google Earth för överblick av varje följning.

Inom projektet skapades en databas där fågelobservatörernas observationer matades in. Varje observation försökte matchas med en motsvarande registrering av IDF av samma fågelindivid. Detta gjordes genom att jämföra IDF:s positioner och tidpunkter med motsvarande mätningar som gjordes med laserkikaren (exempel på matchning i figur 9). Positioner från laserkikarens följningar samt från IDF analyserades visuellt i QGIS där registrerade positioner matchades mellan de två metoderna. Dessutom kunde fåglarnas beteenden, flygriktningar samt utseenden (fjäderdräkter) användas vid matchningen. Enbart örnar som hade observerats visuellt inom 1 200 m från kamera-enheten ingick i matchningen. Örnar som observerades sittande med endast korta flygningar på låg höjd bedömdes inte som möjliga att matcha och utgick därför.



Figur 8. Exempel på utsnitt av fågelbilder som levererades av IdentiFlight i excel-filer. Från vänster till höger: kungsörn (gammal individ), röd glada (gammal individ), havsörn (gammal individ) och ladusvala.



Figur 9. Matchning av kungsörn med uppmätta positioner av IDF (gröna punkter) och Vectronix Range Finder (blå punkter). Pil anger flygriktning och klockslag ligger som etiketter vid varje mätning. Brun triangel=IDF-enheten, blå kvadrat=observationstorn.



Figur 10. IDF:s registreringar av örnar under perioderna 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021. Varje prick motsvarar en bild av en örn med positionsbestämning som ingår i en flygning/ett spår. Följningar inkluderar även individer som enbart registrerats av IDF när fältobservatörer inte har varit på plats. Totalt insamlades 5 985 positioner från 231 följningar. Positioner ligger inom 1 200 m från kameran.



Figur 11. IDF:s positioner för havsörn under perioden 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021. Varje prick motsvarar en bild av en havsörn med positionsbestämning som ingår i en flygning/ett spår. Följningar inkluderar även individer som enbart registrerats av IDF när fältobservatörer inte har varit på plats. Totalt gjordes 4 333 mätningar från 181 följningar. Positioner ligger inom 1 200m från kameran.



Figur 12. IDF:s positioner för identifierade kungsörnar perioderna 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021. Varje prick motsvarar en bild av en kungsörn med positionsbestämning som ingår i en flygning/ett spår. Följningar inkluderar även individer som enbart registrerats av IDF när fältobservatörer inte har varit på plats. Totalt gjordes 1 652 mätningar från 50 följningar. Positioner ligger inom 1 200 m från kameran.

I figur 10 visas positioner på samtliga örnar som IDF registrerade på Näsudden 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021 (även de som gjordes utanför observatörernas observationsperioder). Här framgår att systemet upptäckte och identifierade örnar på upp till 1 200 m avstånd, men att eventuella rovfåglar (eller andra fåglar) utanför denna cirkelradie inte hanterades. Centralt runt kameran syns effekten av det "blinda ögat" där fåglar inte kan registreras av systemet (Occluded zone i figur 3).

I figur 11 och 12 visas positionerna av örnarna från figur 10 men fördelade på havsörn respektive kungsörn (artbestämningar gjorda manuellt vid genomgång av bilder från IDF). Av totalt 231 följningar och 5 985 mätningar av örnar under denna period gällde 181 följningar och 4 333 mätningar havsörn och resten kungsörn.

Mellan april 2020 och mars 2021 hanterade företaget bakom IDF manuellt 378 000 bilder från Näsudden. Av dessa utgjorde 16 % bilder som klassificerades av systemet som örn men som i själva verket var en annan fågel (falskt positiv klassificering). Den falskt negativa klassificeringsandelen där bilder på örnar identifierades som något annat än örn var 3,7%.

Systemets prestanda på Näsudden:

Detekteringsfunktionen

Totalt gjorde fågelobservatörerna 206 observationer/följningar av örnar inom 1 200 m från systemets kamera under de båda fältperioderna 2020 och 2021. Utvärderingen av vilka av dessa som upptäcktes av IDF visar att IDF upptäckte havsörn och kungsörn i likartad utsträckning.

Av 118 följningar som observatörerna registrerade under fältperioden 2020 upptäcktes 80 (67,8%) av IDF-enheten. Upptäcksprocenten låg på 93,4% för örnar som flög inom 700 m från kameran, vilket betyder att merparten av de örnar som IDF missade flög på relativt långa avstånd från kameran.

Av 88 örnföljningar som observatörerna registrerade inom 1 200 m från systemets kamera under fältperioden 2021 upptäcktes 59 (67,0%) av IDF-enheten. Upptäcksprocenten låg på 96,0% för de 25 örnar (en missad örn) som flög inom 700 m från kameran.

Medelavståndet för IDF:s första registrering av upptäckt örn skiljde sig inte signifikant mellan kungsörn och havsörn (17 m skillnad 2020 och 36 m skillnad 2021; tabell 2) men med en tendens att havsörnar upptäcktes på något längre avstånd. Avståndet var emellertid 183 m längre för samtliga upptäckta örnar fältperioden 2021 än 2020 (tabell 2). I genomsnitt upptäckte systemet en örn på 600 m under fältperioden 2020 och på 783 m under fältperioden 2021 (figur 13). Som tidigare nämnts var två olika versioner av det neurala nätverket i aktivitet under dessa fältperioder. Den mest sannolika förklaringen till det ökade avståndet för upptäckt under fältperioden 2021 var att systemet hade förbättrats genom träning med bilder tagna på Näsudden.

IDF upptäckte en del örnar som observatörerna missade men de behandlas inte i den här rapporten då detta inte ingick i undersökningens syfte.

	1:a obs medel (m)	1:a obs kortast avstånd (m)	1:a obs längst avstånd (m)
2021			
Kungsörn (N=13)	750	371	1198
Havsörn (N=46)	786	226	1198
2020			
Kungsörn (N=19)	587	287	1023
Havsörn (N=61)	604	205	1112

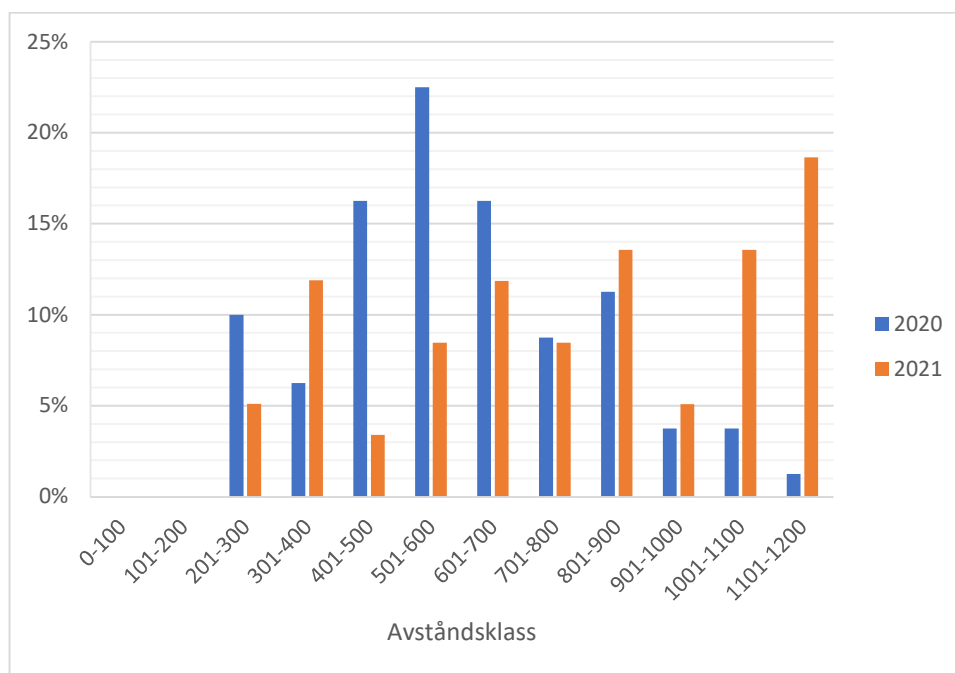
Tabell 2. IDF:s upptäcktsavstånd till örnar på Näsudden för de observationer som matchades med de visuella observationerna under fältperioderna 2020 och 2021.

Flyghöjder och avstånd till upptäckta och missade örnar

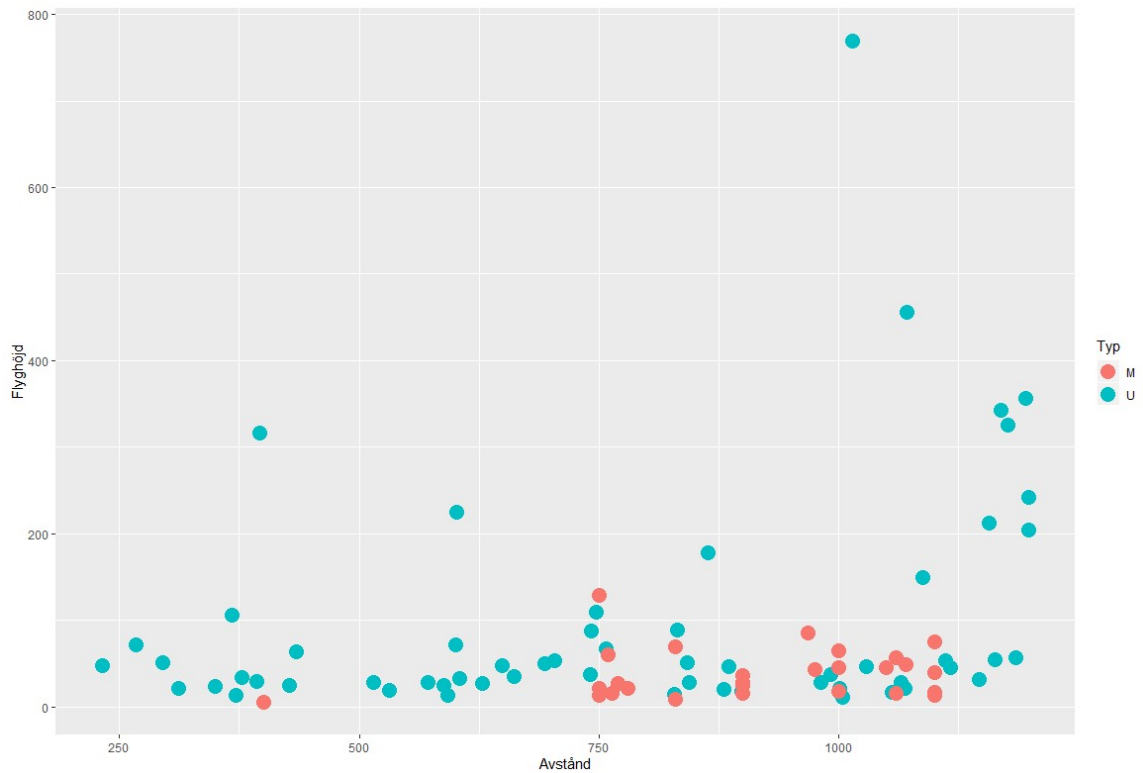
IDF var inställd att upptäcka örnar ned till 20 m höjd över marken i större delen av systemets räckvidd. Denna inställning bedömdes lämplig på grund av förekomsten av skogsdungar och landskapsstrukturer. Systemet har svårt att skilja ut en flygande fågel mot en mörk bakgrund, exempelvis en skogsdunge. I själva verket fanns registreringar av örnar gjorda av IDF där flyghöjden uppmättes till lägre än 20 m.

I jämförelsematerialet mellan fågelobservatörer och IDF var flyghöjden för den första observationen i registrerade följningar under 2021 för kungsörn (N=13) i genomsnitt 90 m (varierade mellan 18 och 360 m). Motsvarande flyghöjd för havsörn (N=46) var 97 m i genomsnitt (varierade mellan 12 och 769 m). Under fältperioden 2020 visade IDF vid några tillfällen felaktiga flyghöjder så mätningarna från denna säsong analyseras inte här.

Bland de örnar som observatörerna visuellt registrerade under 2021 och som upptäcktes av IDF tycks inte flyghöjd spelat en stor roll för upptäcksmöjligheten då den högst flygande örnen (en havsörn) som registrerades på 769 m höjd flög på 1 014 m avstånd från kameran. En annan havsörn som noterades på 456 m höjd var ytterligare något längre bort från kameran på 1 071 m avstånd (figur 14). På kortare avstånd än cirka 700 m missade IDF-enheten under fältperioden 2021 en örn som då bedömdes av observatörerna som flygandes på lägre höjd än 20 m (figur 14).



Figur 13. Fördelningen av avstånd uppmätta av IDF vid första positionen klassad till målart (örn) fältperioden 2020 (80 följningar av örnar som registrerades av både observatörer och IDF) och 2021 (59 örnföljningar). Av de örnar IDF upptäckte av visuellt registrerade örnar var avstånd vid upptäckt med korrekt identifiering till örn 201–300 m i 10 % av fallen 2020 och 5 % av fallen 2021.



Figur 14. Flyghöjd respektive avstånd från kameran för örnar som upptäcktes respektive missades av IDF vid fältperioderna för visuella observationer. Örnar upptäckta av IDF visas med blåa cirklar (U) och missade örnar i röda cirklar (M). Data för av IDF missade örnar uppmättes av Laser Range Finder. Data från fältperiod 25 januari-5 februari samt 22 februari-12 mars 2021.

Systemets prestanda på Näsudden:

Identifieringsfunktionen

När IDF har upptäckt en örn ska systemet klara av att korrekt identifiera den till örn och fortsätta följningen av fågel. På det stora hela klarade IDF på Näsudden att identifiera örnar korrekt (tabell 3). Fältperioden 2020 felklassificerades två kungsörnar av totalt 19 följningar av arten där det fanns matchning med visuella observationer (89,5% korrekta identifieringar). Av 19 följningar med kungsörn identifierades 17 korrekt medan en individ registrerades som ormvråk och en annan som övrig fågel/ej målart. De två felbestämda kungsörnarna var i det ena fallet en gammal fågel som på 540 m från kameran fångades på två bilder när den hade fällt ihop vingarna och hade intagit "dykposition". Här hade kungsörnen identifierats som övrig fågel. Den andra kungsörnsindivid var två år gammal och bestämdes till ormvråk på 600 m avstånd från kameran. Inte i något fall var de felbestämda kungsörnarna i närheten av ett vindkraftverk där de riskerade att förolyckas.

Av 61 följningar som matchades med visuella observationer av havsörn 2020 identifierade IDF fyra individer som övrig fågel (93,4% korrekt bestämda till havsörn eller örn). Avstånden från kameran till dessa fyra felidentifierade havsörnar varierade mellan 240 och 900 m och det är svårt att hitta ett mönster eller förklaring till felbestämningarna.

Fältperioden 2021 felklassificerade IDF en havsörn av de 46 följningar som också registrerades av observatörerna (tabell 3). Det var en knappt ett år gammal individ som kameran registrerade som en annan fågel/ej prioriterad målart med endast en bild på 1 147 m. Eftersom detta avstånd är bortom den räckvidd som IDF förväntas ha (cirka 1 000 m) kan konstateras att samtliga 58 örnar som systemet upptäckte inom 1 000 m från kameran och som samtidigt hade noterats av observatörerna identifierades av IDF som örn (sju tillfällen) eller havsörn (51 tillfällen). Yngre kungsörnar blev regelbundet identifierade av IDF som havsörn men samtliga upptäckta kungsörnar under fältperioden 2021 identifierades av IDF korrekt som örn, antingen till havsörn eller örn, vilket ur skyddssynpunkt är likvärdigt i praktiken.

	Havsörn	Örn	Ormvråk	Annan fågel
2021				
Kungsörn (N=13)	11	2	-	-
Havsörn (N=46)	40	5	-	1
2020				
Kungsörn (N=19)	-	17	1	1
Havsörn (N=61)	22	35	-	4

Tabell 3. IDF klassificering av upptäckta örnar som också noterades visuellt av observatörer vid fältperioderna 2020 och 2021.

Systemets prestanda på Näsudden:

Stopsignalfunktionen

IDF levererade simulerad nedstängningsstatistik för de tre vindkraftverk som täcktes fullt ut av kamerans räckvidd samt ytterligare sex verk som täcktes delvis av kameran (se figur 6). Här analyseras endast utfallet av nedstängningarna vid de tre förstnämnda verken.

I tabell 4 presenteras totala antalet simulerade nedstängningstillfällen månad för månad perioden 13 februari 2020–31 mars 2021. IDF var ur funktion cirka fyra veckor i juni-juli 2020 och större delen av augusti 2020 samt tre dagar i oktober 2020.

	Antal tillfällen	Tid (tim)	Andel av total tid (%)	Tid örnar (tim)	Tid falskt positiv (tim)
Mars 2021	422	23,68	1,06	5,97	17,71
Februari 2021	107	5,70	0,28	1,37	4,33
Januari 2021	95	5,18	0,23	1,23	3,95
December 2020	77	4,13	0,19	1,36	2,77
November 2020	98	5,33	0,25	0,96	4,37
Oktober 2020	162	8,95	0,40	IA	IA
September 2020	341	19,29	0,89	IA	IA
Augusti 2020 (28–31)	77	4,09	1,42	1,08	3,01
Juli 2020 (11–21)	199	10,90	1,51	0,92	9,98
Juni 2020 (1–14)	193	10,88	1,08	1,20	9,68
Maj 2020	257	14,35	0,64	IA	IA
April 2020	300	17,02	0,79	IA	IA
Mars 2020	490	29,10	1,29	IA	IA
Februari 2020 (13–29)	100	6,01	0,52	IA	IA

Tabell 4. Månadsvis statistik på antal skickade stoppsignaler för nedstängning vid verk 316, 317 och 628 på Näsudden, total tid för nedstängning, andel av total tid som de tre verken kunnat vara i drift (24 timmar per dygn) samt hur stor andel av nedstängningstid som orsakades av en korrekt identifierad örn respektive av felaktigt identifierad fågel till örn. IA = Inte analyserat.

Nedstängningstid räknas enbart för det eller de verk dit simulerad stoppsignal skickades. Hur stor andel av total tid som nedstängningarna utgjort utgår från att alla verken haft möjlighet att vara i drift 24 timmar per dygn, motsvarande 72 timmar per dygn. Så är inte fallet i praktiken, men stoppsignaler har skickats oavsett om verken har varit i drift eller inte. Själva nedstängningstiden är komplicerad att översätta till exakt produktionsbortfall så resultatet får ses som en fingervisning om vad det kan innebära.

Antalet nedstängningar per dag för de tre analyserade verken varierade mellan 2,5 i december 2020 och 15,8 i mars 2020. Oftast orsakade en fågels flygrörelse endast ett verks nedstängning men ibland nedstängning av två verk och i sällsynta fall samtliga tre verk. Nedstängningstiden var kortast under senhösten och vintern i oktober-februari

(0,2–0,5 %) av 24 timmar per dygn) och högst i mars månad samt under sommaren i juni-augusti (1,1–1,5 %). En längre sammanlagd nedstängningstid under sommaren förklaras av att fågelaktiviteten var högre (fler fåglar av fler arter i rörelse under längre dagar). Även om väderförhållanden inte analyseras närmare är det högst sannolikt att vädret också har haft inverkan på fågelaktiviteten och under vinterhalvåret fanns det dagar med sämre väder (dålig sikt och nederbörd) helt utan registrerade stoppsignaler.

Omkring 80 % av den uppmätta nedstängningstiden var det inte en örn som orsakade nedstängning (tabell 4). Det var i stället fåglar som med en viss sannolikhet identifierades som örn med stoppsignal och nedstängning som konsekvens.

Det ska poängteras att ovan nämnda felklassificeringar vid nedstängningarna inte speglar IDF:s kapacitet att klassificera fåglar korrekt på Näsudden totalt sett. Av cirka 378 000 bilder som IDF har klassificerat på Näsudden från april 2020 till mars 2021 och som gått igenom manuellt av personal på IDF var 16 % felaktigt klassificerade som örn när fåglarna i stället var något annat än en örn. Eftersom nedstängning görs på enbart en felklassificerad bild blir andelen nedstängningar högre än andelen felklassificeringar av samtliga tagna bilder.

I USA gäller stora bötesbelopp för vindkraftsparker som dödar örnar över en tillåten nivå ("take eagle permits"). Därför är det amerikansktillverkade IDF programmerat att reducera risken för felaktiga identifieringar av örnar och har en förhållandevis hög säkerhetsmarginal för nedstängning.

I tabell 5 redovisas antalet tillfällen varje månad som nedstängningarna orsakades av ett urval av rovfåglar (samtliga av IDF identifierade som örn/glada) förutom för havsörn och kungsörn. Denna manuella genomgång av bilderna som IDF tagit gjordes av författaren. Som framgår var även pilgrimsfalk, fiskgjuse, blå och brun kärrhök involverade i några nedstängningstillfällen då de av IDF klassats som örnar.

I tabell 6 redovisas de mest förekommande fågelgrupperna/arterna som orsakade nedstängning när de identifierades av systemet som örnar.

	Havs- örn	Kungs- örn	Örn	Pilgrims- falk	Fisk- gjuse	Kärrhök	Glada
Mars 2021	68	25	6	-	-	-	17
Februari 2021	14	6	2	-	-	-	-
Januari 2021	15	2	2	-	-	-	-
December 2020	16	4	2	1	-	1	-
November 2020	10	3	2	4	-	1	4
Oktober 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
September 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
Augusti 2020 (28–31)	20	-	-	-	2	-	2
Juli 2020 (11–21)	16	2	-	-	-	1	3
Juni 2020 (1–14)	10	10	-	-	-	1	2
Maj 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
April 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
Mars 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
Februari 2020 (13–29)	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA

Tabell 5. Månadsvis statistik på artfördelningen av örnar samt ett urval av rovfåglar vid stoppsignaler som skickades av IDF perioden 13 februari 2020–31 mars 2021. IA = Inte analyserat.

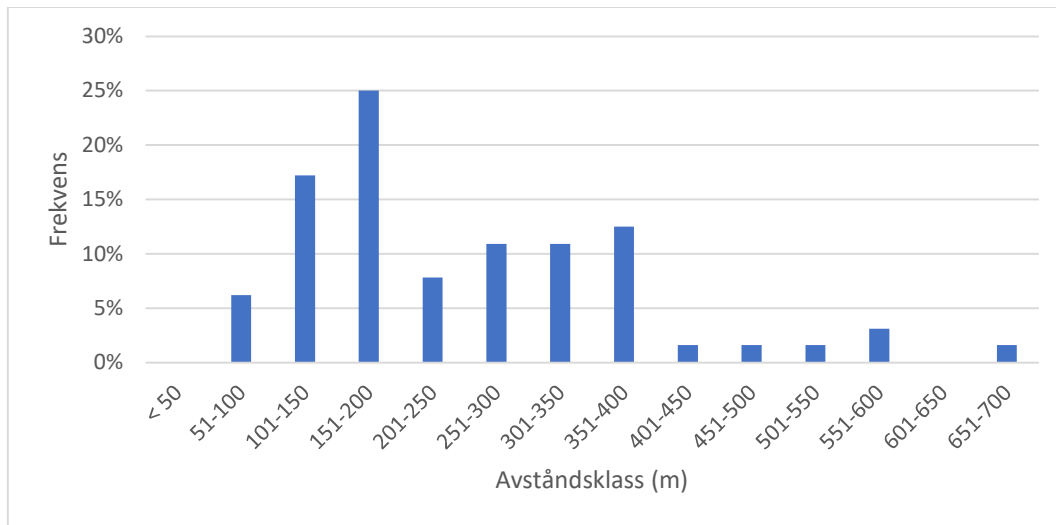
	Svanar/ gäss/ trana	Häger	Storskarv	Mås och trut	Kråkfåglar	Ormvråk
Mars 2021	49	15	36	69	95	5
Februari 2021	7	1	4	15	44	6
Januari 2021	20	1	6	12	17	1
December 2020	6	-	3	12	26	-
November 2020	11	6	4	12	30	1
Oktober 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA
September 2020	1	9	6	6	42	8
Augusti 2020 (28–31)	1	8	-	8	20	3
Juli 2020 (11–21)	2	34	45	41	28	15
Juni 2020 (1–14)	2	85	17	20	17	13
Maj 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA
April 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA
Mars 2020	IA	IA	IA	IA	IA	IA
Februari 2020 (13–29)	IA	IA	IA	IA	IA	IA

Tabell 6. Månadsvis statistik på fördelningen på art/artgrupp av stoppsignaler som berott på icke målararter, skickades av IDF perioden 13 februari 2020–31 mars 2021. IA = Inte analyserat.

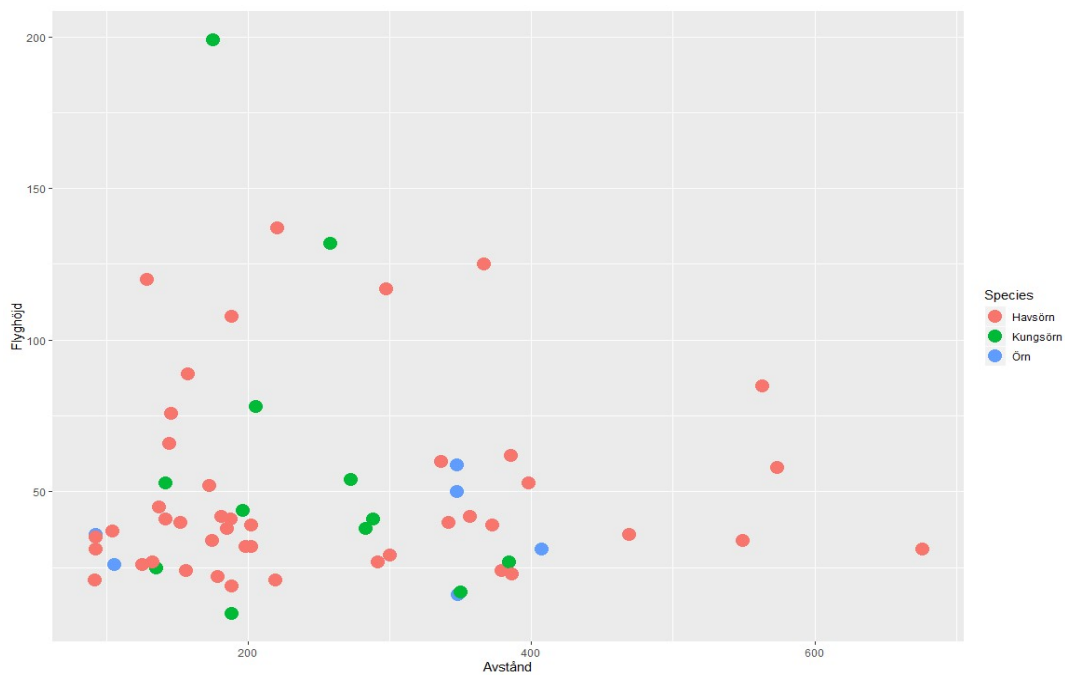
Avstånd till fåglarna när stoppsignal skickades

Samtliga nedstängningar mellan februari 2020 och mars 2021 har inte analyserats i detalj. I stället gjordes en genomgång av nedstängningarna i december 2020-februari 2021. Under den perioden noterades 64 nedstängningar av korrekt identifierade örnar. Fyra av nedstängningarna för örn gjordes när örnen var närmare än 100 m från ett vindkraftverk (figur 15). Vid 52 % av nedstängningarna var örnen mer än 200 m bort från ett vindkraftverk och vid 48 % av nedstängningarna var örnen mindre än 200 m bort från det nedstängda verket. Notera dock att den inre cylinders radie varierade mellan 250 och 400 m beroende på verkets storlek. Flyghöjden för örnarna vid tillfället när stoppsignal skickades varierade stort, som högst upp till 200 m höjd även om merparten flög under 50 m höjd (figur 16).

Vid samtliga nedstängningstillfällen, med tre undantag, såg det ut som att örnarna ändrade flygriktning bort från det "nedstängda" vindkraftverket på avstånd där de kunde undvika kollision. De tre undantagen utgjordes av havsörnar som var så nära som 22–42 m från ett verk. I figur 17 presenteras den havsörn som var närmast ett verk. Den simulerade nedstängningen startade när havsörnen var 91 m från verket och då flög på uppskattad höjd av 21 m. Örnen fortsatte mot verket och passerade på 22 m i den friska sydvästliga vinden (bild på örnen efter att den passerat verket i figur 17). Det är svårt att avgöra hur nära örnen var att bli träffad av rotorbladen vid detta tillfälle. Den kan ha gjort en undanmanöver i sista sekund eller så flög den så lågt att den passerade verket med marginal. En annan havsörn flög nästan identiskt med den ovan beskrivna individen men passerade verk 316 på något högre höjd (figur 18). Den tredje havsörnen utan tydliga undvikandebeteenden var en äldre fågel som kom norrifrån och passerade öster om verk 316 på ett ungefärligt avstånd av 42 m och uppskattad flyghöjd av 54 m (figur 19). Det ska poängteras att flygriktningarna inte analyserats närmare i förhållande till andra vindkraftverk än det "nedstängda" verket.



Figur 15. Avstånd från örn till närmaste vindkraftverk när simulerad nedstängning startade under december 2020-februari 2021 (N=64). Notera att den inre cylinderns radie varierade mellan 250 och 400 m beroende på verkets storlek.



Figur 16. Avstånd till närmaste vindkraftverk och flyghöjd för örnar (N=64) när stoppsignal skickades till verk 316, 317 och 628 enligt figur 4 under perioden december 2020-februari 2021.



Figur 17. Havsörn som passerade verk 316 på ett ungefärligt avstånd av 22 m och en uppskattad flyghöjd av 21 m. Stoppsignal skickades när örnen var cirka 90 m från verket Röda prickar är havsörn, gröna är kungsörn och blå är obestämmd örn.



Figur 18. Havsörn som passerade verk 316 i liknande bana som den i figur 17. Kortaste avståndet till verket beräknades till 30 m på flyghöjd av 58 m. Stoppsignal skickades på 172 m avstånd från verket.



Figur 19. Äldre havsörn som passerade verk 316 norrifrån öster om verket. Kortaste avståndet till verket var cirka 42 m på en flyghöjd av 54 m. Stoppsignal skickades när örnen var 185 m från verket.

Slutsatser och diskussion

Projektiteln innehåller ordet *elimineras* vid utvärderingen av risken med turbinernas rotorblad för örnar. I en utvärdering av IDF med skarp nedstängning i en amerikansk vindkraftspark, Top of the World, i Wyoming beräknades örndödligheten ha minskat med 82 % (75–89 %) från 0,15 (0,1–0,23) örnar per vindkraftsår till 0,026 örnar per vindkraftsår (McClure m.fl. 2021). Redan före att IDF introducerades i vindkraftsparken fanns en nedstängningsaktivitet där observatörer kunde skicka nedstängningsorder till vindkraftverk vid ankommande örnar. Någon ytterligare utvärdering av systemets förmåga att eliminera/minimera örndödlighet i vindkraftsparker har inte gjorts tidigare. I den tyska studien analyserades IDF:s förmåga att upptäcka och identifiera röd glada med simulerade nedstängningar utan att vindkraftverk stängdes ned i praktiken. En rimlig slutsats från studien vid Näsudden är att om systemet används på denna plats reduceras riskerna för örndödlighet av vindkraftverk påtagligt, även om risken sannolikt inte elimineras fullt ut.

IDF hade för fältperioden 2021 en mycket hög upptäckandeprocent (96 %) av visuellt upptäckta örnar inom 700 m från kamera-enheten och en mycket hög identifieringsprocent (100 %) av upptäckta örnar inom 1 000 m från kamera-enheten. Därmed presterade systemet minst lika bra som i den tyska studien på röd glada (Aschwanden & Liechti 2020) och väl så bra som i de amerikanska undersökningarna i Wyoming (McClure m.fl. 2018). En utmaning är dock örnar eller andra målarter som flyger på låg höjd mot en mörk bakgrund. Till exempel kan en kungsörn sitta långa stunder på samma observationsplats lågt i ett träd för att sedan flyga en kortare sträcka på låg höjd till en ny sittplats. Örnen kan i teorin sakta förflytta sig mot ett vindkraftverk på sådant sätt och ligga "under radarn" för systemet. Om sedan örnen flyger upp mot fri himmel och då upptäcks av kamera-enheten kan det vara för sent att förhindra en kollision. I dagsläget klarar inte något automatiskt övervakningssystem av att hantera sådana flygrörelser på ett sätt som eliminerar risken för att örnar förolyckas av verken.

Slående i studien på Näsudden var det stora antalet identifieringar av fåglar i samband med nedstängning som inte var örnar men där IDF inte kunde utesluta örn (tabell 4). Detta ledde till många skickade stoppsignaler vid tillfällen där det inte var en örn som var på kollisionkurs. För vindkraftselsproducenterna på Näsudden innebär detta ett produktionsbortfall som dock bör kunna minskas över tid efterhand som IDF tränas på fågelbilder i området. Systemet kan tränas upp att med högre säkerhet skilja ut icke-

örnar från örn och antalet felaktigt klassificerade bilder och observationer kan då minskas med färre nedstängningar som resultat. Det krävs i storleksordningen 150 000 bilder på en specifik fågelart innan systemet kan göra en identifiering med hög precision. Hur lång tid detta tar för just Näsudden är svårt att bedöma. Samtidigt är det rimligen möjligt att använda bilder som tagits av IDF från olika platser, till exempel från olika lokaler på Gotland, och på så sätt förbättra IDF:s prestanda i en region.

Det var inte möjligt att fullt ut importera algoritmen från inlärningsbilderna i den tyska studien och en kompletterande lokal inlärning på Näsudden krävdes. Detta berodde dels på att vinterljuset var initialt svårhanterligt för IDF på Näsudden och krävde en särskild träning av systemet, dels på en annan sammansättning av fågelfaunan på Näsudden med flera fågelarter som systemet förväxlade med örn. På en annan lokal där det finns färre förväxlingsarter kommer andelen, för vindelsproducenten, önskade nedstängningar att vara lägre.

Det är dock viktigt i sammanhanget att återigen påpeka att IDF klassificerar varje bild som en helt ny fågel oavsett om det redan har tagits bilder på samma fågel. Det räcker alltså med en enda bild där IDF inte kan utesluta att en fågel är en örn, och som uppfyller kriterierna för nedstängning, för att stoppsignal ska skickas med efterföljande nedstängning som resultat. Detta betyder att andelen *falskt positiva* bilder för IDF på Näsudden är betydligt lägre än andelen nedstängningar som orsakas av icke-örnar. Den manuella analysen som gjordes av IDF kom fram till att 16 % av samtliga tagna bilder mellan april 2020 och mars 2021 var felbestämningar av icke-örn till örn. Samtidigt utgjorde *falskt negativa* klassificeringar av bilderna under samma period 3,7 %, det vill säga andelen bilder på örnar som klassificerades som en icke-örn. IDF själva har som målsättning att andelen *falskt negativa* klassificeringar av målart inte ska överstiga 5 %.

I den tyska studien som gällde röd glada var andelen *falskt negativa* identifieringar 0,40 % och andelen *falskt positiva* 0,08 % av samtliga tagna bilder (Aschwanden & Liechti 2020). Merparten av simulerade nedstängningar (94 %) berodde på att IDF hade identifierat målarten röd glada korrekt. I drygt 5 % av fallen berodde nedstängningen på en fågel som inte var en röd glada och i 1 % av nedstängningarna orsakades dessa av något annat än en fågel. I den här studien på Näsudden orsakades i stället omkring 80 % av nedstängningar av felaktiga identifieringar av någon eller några bilder av enskilda fåglar. Det är alltså först när IDF alltid klassificerar fåglar korrekt på samtliga bilder kameran tar som de önskade nedstängningarna kan upphöra fullt ut. Där är vi inte idag.

De simulerade nedstängningarna av de tre verken med full täckning av IDF innebar att verken var nedstängda mellan 0,2 och 1,5 % av den tid som verken potentiellt kunde ha varit i drift (tillgängligheten räknad som 100 % av dygnet). Störst produktionsbortfall kan förväntas i mars och under sommarmånaderna juni-augusti. Den exakta produktionsförlusten kunde inte bedömas men sett över ett års tid skulle den varit maximalt 1 % om nedstängningsfunktionen varit i skarpt läge. Produktionsförlusten av den simulerade skyddsfunktionen för vindkraftverk 628 (3 MW) som i den här studien var 100 % övervakat av kameran beräknades för perioden 1 mars 2020–28 februari 2021 till 79,3 MWh, vilket motsvarar 0,94 % av periodens totalproduktion av 8 458 MWh). Totalt tidsmässigt stopp vid detta verk beräknades till 95 timmar, vilket utgör 1,1 % av 8737 timmar för perioden.

Nedstängningarna av korrekt identifierade örnar som passerade de tre verken som kamera-enheten täckte gjordes i omkring hälften av fallen när örnarna befann sig inom 200 m från närmaste verk. Vid 6 % av nedstängningarna var en örn mindre än 100 m från ett verk. Det är självfallet så att på ett avstånd av omkring 100 m hinner inte rotorbladen stanna helt innan örnen når fram till rotorbladens svepyta. Det är kanske inte heller alltid fallet vid nedstängning på 200 m avstånd från örn till verk. Tio slumpvis utvalda följningar av örn som flög längs en någorlunda rak riktning genom parken på Näsudden indikerar att i normalfallet tar det 20–25 sekunder för örnen att flyga 200 m, vilket motsvarar en flyghastighet av 30–36 km/h. På den tiden kommer rotorbladen att sakta ned till så låg hastighet att kollisionsrisken minskat påtagligt. Det är också troligt att det ljud som uppstår när rotorbladen ställs om till nedstängning hjälper örnarna att uppmärksamma verken och kan leda till en ändrad flygkurs bort från rotorbladen.

Analysen av avstånd mellan örn och närmaste vindkraftverk som ledde till simulerad nedstängning är konservativ på så sätt att avståndet från örnen till IDF-kamerorna har i många fall varit längre än mellan örn och vindkraftverk. I ett skarpt läge används därför flera IDF-enheter som delvis överlappar i en vindkraftpark. Det blir då möjligt att upptäcka örnarna på längre avstånd från ett visst vindkraftverk än vad som var fallet i den här studien med enbart en IDF-enhet. De fall när stoppsignal skickades förhållandevis sent vid annalkande örn på kollisionskurs, inom 250 m från verk, kan till stor del förklaras av att en kamera-enhet inte var tillräckligt för att skicka stoppsignal tidigare.

Noterbart var att av 64 konstaterade örnar som orsakade simulerad nedstängning i december 2020-februari 2021 flög inte merparten av dessa i fortsatt riktning mot det nedstängda verket. De flög tillräckligt nära för att uppfylla kriteriet för nedstängning men de tycktes inte komma närmare verk där de orsakade nedstängning. En möjlig tolkning är att örnarna i flertalet fall aktivt undvek att flyga i närhet av verkens rotorblad, vilket vi vet är örnarnas huvudsakliga beteende när de flyger inne i en vindkraftspark. Vid tre tillfällen flög havsörnar emellertid i tydlig riktning mot det nedstängda verket för att passera verk på mellan ungefärliga avstånd av 22 och 42 m. Denna iakttagelse av örnarnas beteenden i Näsuddens vindkraftspark utgör bara en del av de mest grundläggande analyserna som kan göras med insamlade data. Under 2020 och 2021 har IDF insamlat en mängd data på både kungsörn och havsörn som bör analyseras i mer detalj och som inte har kunnat inkluderas i denna rapport. Det kan konstateras att örnar som flyger in i vindparken på Näsudden undgår i stort sett alltid att förolyckas av rotorblad men det finns sällsynta situationer då olyckor inträffar. Ett automatiskt övervakningssystem med IDF:s prestanda har potentialen att reducera risken för olyckor påtagligt men sannolikt inte att helt eliminera den.

Slutligen några konstateranden inför framtiden:

- Mer studier av detta och andra liknande system krävs i ett skarpt läge (jämför med studien i Wyoming, USA).
- IDF-systemet registrerar en mängd data som inte analyserats här. Studenter vid Aarhus universitet, Danmark, har redan gjort initiala analyser av örnars flyg-beteenden i vindparken på Näsudden (se Linder m.fl. 2021).
- IDF-systemet insamlar ett dataunderlag som är användbart inom ett kontroll-program. Idealt kan ett system som registrerar och slår larm via mobiltelefon om örnar med misstänkt kollisionskurs användas för uppföljning på plats av eventuella kollisioner.
- Det är oklart hur många IDF-enheter som behövs för att reducera riskerna för örnar på kollisionskurs till acceptabel nivå. Riskprofilen för örnar mot mörk bakgrund spelar sannolikt roll och landskapsförhållanden kan avgöra på vilken höjd kamerorna ska placeras. Det är angeläget att analysera denna fråga närmare för Näsudden.
- Produktionsförlusten vid nedstängningar för örnar i vindparken på Näsudden kan analyseras närmare med befintliga data från platsen. Hittills analyserade data indikerar att bortfallet blir mindre än 1 %.
- Kostnaden för att använda IDF-enheter i en vindpark är i dagsläget alltför hög för att det ska vara rimligt att användas som en generell skyddsåtgärd. Systemet kan bli aktuellt att användas vid situationer där ett problem med fågelkollisioner har identifierats.

Tack

Ola Wizén ansvarade för fältarbetet och var på plats i observationstornet vid samtliga tillfällen. Andra fågelobservatörer var Arvid Svanborg, Juho Könönen samt Fredrik Ström. Andreas Wickman var behjälplig med många praktiska detaljer och Jens-Henrik Kloth korrekturläste och bidrog med synpunkter på text och innehåll.

Referenser

Aschwanden, J. & Liechti, F. 2020. Erprobung des automatischen Vogeldetektions-systems Identiflight auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSSENT). Schweizerische Vogel-warte, Sempach.

Linder, A.C. Lyhne, H., Laubek, B., Bruhn, D., Pertoldi, C. 2021. Quantifying raptors' flight behavior to assess collision risk and avoidance behavior to wind turbines. Preprints 2021, 2021020391 (doi: 10.20944/preprints202102.0391.v1)

McClure, C.J.W., Martinson, L. & Allison, T.D. 2018. Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biological Conservation* 224:26-33.

McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L. & Katzner, T. 2021. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology* doi:10.1111/1365-2664.13831.