



BEVINGAT

FLYG- OCH RYMDTEKNISKA FÖRENINGEN

Redaktör: Ulf Olsson (ulf.olsson.thn@gmail.com)



FLYGTEKNIK I NATUREN

Artiklar ur Bevingat 2014–2018

Varför vi aldrig lyckades flyga som insekter	sid. 3
Varför är fåglar så små?	6
Animal Flight Lab i Lund	8
Flugor flyger som stridsflygplan	18
“Geckoödlor” och “blomteknik” håller rent	19
Fladdermöss stör varandras radar för att stjäla mat	20
Räka ger starkare flygplanskomposit	21
Drönare som ser som insekter	22
Ugglefjädrar ger tystare vindkraftverk	23
Fladdermöss använder superkänslor för att flyga med precision	24
Drönare lär av insekter	25
Djur i rymden	26
Örnar jagar drönare	27
Trollsländor kan ge bättre vindkraft	28
Forskare upptäcker hemligheten med termikflyg	29
Sover medan de flyger	30
Pollinering med drönare	30
En robotstingrocka, som drivs av verkliga muskler	32
Hur getingar navigerar	33

FLYGTEKNIK I NATUREN

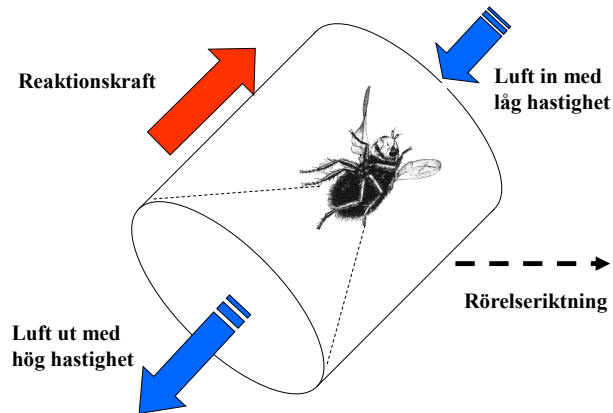
Artiklar ur Bevingat 2014–2018

Jagande hökar och fladdermöss	sid. 34
Världens snabbaste djur är en fladdermus?	35
Svärmintelligens	36
Spindlar driver med vinden	37
Hur fåglar kan upptäcka jordens magnetfält	38
Insekter använder också magnetisk compass	39
Bihjärnor kan revolutionera drönare	40
Glidflygande ormar och andra djur	41

Varför vi aldrig lyckades flyga som insekter

Bevingat Nr4/2004. Ulf Olsson.

Bind fast en fluga i ett rör så får du en "flugmotor".



Flygning medför många fördelar. Det första historiskt dokumenterade försöket att flyga tycks ha gjorts av en viss Simon i Rom, till yrket magiker. Simon försökte demonstrera sina yrkeskunskaper genom att hoppa från ett torn med hemgjorda vingar och krossades framför Kejsar Nero. Av vad vi vet om sagde kejsare, är det troligt att han uppskattade det.

Ett försök liknande Simons gjordes på 1000-talet av Oliver av Malmesbury, en engelsk benediktinermunk. Enligt annalerna lyckades han glidflyga 125 steg innan han tog mark och bröt benen. Han lär ha gjort sitt försök mot vinden, vilket tyder på att han hade något begrepp om vad han höll på med.

På 1300-talet hade en italiensk matematiker, Giovanni Dante, en viss framgång. Från det högsta tornet i Perugia segelflög han över stora torget. Han lyckades hålla sig i luften en stund men tyvärr skadade han ena vingen, kraschade mot katedralen och bröt benet. Efter att ha tillfrisknat gav han upp flygningen och blev matematiklärare i Venedig.

Den kanske mest kände av de tidiga pionjärerna var den store italienske konstnären och vetenskapsmannen Leonardo da Vinci (1452-1519). I hans efterlämnade papper finns mer än 500 utkast till flaxande flygmaskiner-hand eller fotdrivna. Som tur var försökte aldrig Leonardo omsätta sina ideer i verkligheten för det hade säkert äventyrat livet på en av mänsklighetens största genier.

Försöken att flyga med flax kulminerade 1870 när fransmannen Gustave Trouvé flög 70 meter i en flaxande maskin med en krutdriven förbränningsmotor. Det var det slutliga resultatet av många hundra års fruktlösa försök. Det krävs nämligen mycket mer för att flyga än man visste på den tiden.

Vad man försökte under alla dessa år var att flyga som insekter. Det gäller att använda sig av reaktionskraften. En

brandman som sprutar på elden känner av en kraft bakåt från slangen och om man fyrar av ett gevär får man ett slag på axeln, en rekyl. Newtons ekvation att kraften från en stråle är lika med massflödet multiplicerat med strålhastigheten är antagligen den viktigaste ekvationen i världshistorien. Det är den som gör att vi kan flyga.

På 400-talet uppfanns en flygande leksak i Kina i form av en liten helikopter med en propeller, som kunde fås att rotera med ett upplindat snöre. När propellern blåste luften neråt uppstod en reaktionskraft som lyfte det hela. Insekterna lärde sig samma sak redan för 300 miljoner år sedan.

Om man tänker sig att man binder fast en fluga i ett rör så får man en luftandande reaktionsmotor en s k jetmotor. Nu strömmar luft in i motorn med flyghastigheten och lämnar den med den högre strålhastigheten. I en verklig jetmotor ökar man luftens hastighet genom att elda fotogen i den. Enligt Newtons ekvation blir dragkraften massflödet multiplicerat med skillnaden mellan hastighet ut och hastighet in. Detta innebär att en jetmotor aldrig kan flyga fortare än sin strålhastighet. En raketmotor kan däremot flyga hur fort som helst eftersom den alltid ger dragkraft. Jetmotorn kan dessutom bara fungera i luften medan raketerna kan flyga även i tomma rymden. Fördelen med jetmotorn är att den använder luften som stråle medan raketerna får bära med sig alla sina drivmedel. Den blir därför stor och klumpig jämfört med flygplanet.

En annan sak som skiljer raketerna från flygplanet är vingarna. Det är en stor skillnad mellan hur flygplanet använder vingarna och hur insekterna gör det. För insekterna är vingarna ett sätt att pumpa luft. De blåser en stråle nästan rakt nedåt (ca 70 grader mot horisontalen) och faller sedan framåt på strålen. Det är som en jetmotor som ställer sig på tvären i luften.



Observera att enligt Newtons ekvation är kraften lika med flödet gånger strålhastigheten. En del insekter som t ex fjärilar använder högt flöde och låg hastighet. De måste då ha stora vingar, vilket ger dem en fladdrig flykt. De kan lätt blåsa bort i vinddraget. Man säger att de har en låg vingbelastning dvs låg vikt per m² vingyta. Flygplan med låg vingbelastning är också känsliga för t ex turbulens i luften.

De flesta insekter föredrar därför hög vingbelastning. Men då blir flödet lågt och hastigheten måste bli stor. Det ger en stabilare flykt och högre flyghastighet eftersom denna är direkt proportionell mot strålhastigheten. Alltså måste vingarna röra sig mycket fort och 200 slag per sekund är inte ovanligt på bin och humlor. Det finns små insekter som kommer upp i 1000 slag per sekund.

För att åstadkomma så höga hastigheter är vingen upphängd i ett ryggskal och ett magskal förbundna med muskler. Dessa muskler är inte av samma slag som våra utan liknar mer vibrerande strängar. När de vibrerar rör sig vingarna med deras frekvens. Insekter har därför svårt att variera frekvensen och utslaget på vingarna. De är på sätt och vis biologiska maskiner. Det är lätt att förstå att insekter har ett jobbigt sätt att flyga.

När insekten pumpar luften neråt, tas reaktionskraften upp som en tryckskillnad över vingarna och detta tryck lyfter insekten. När vingen slås ner utsätts den för ett övertryck på undersidan lika med det s.k. dynamiska trycket. Teoretiskt är det ett lika stort undertryck på översidan av vingen som övertryck på undersidan så att tryckskillnaden är dubbla det dynamiska trycket. I verkligheten sker det alltid ett läckage från under till översida så att den s k lyftkraftskoefficienten är mindre än 2.

Denna lyftkraft ska balansera insektens vikt. Om man väger och mäter en humla visar det sig att den behöver en lyftkoefficient i närheten av två för att kunna flyga. Men koefficienten för stillastående insektsvingar i vindtunnlar är bara 0.6-0.9. Alltså borde inte en humla kunna flyga. Att den

ändå gör det beror på att den har utvecklat en mycket komplicerad aerodynamik. Man har kommit fram till att insekter använder tre eller fyra olika tekniker samtidigt för att öka sin lyftkraft.

När man ökar vinkeln på en vinge som skär genom luften så ökar lyftkraften men bara upp till en viss gräns. Sedan släpper den strömmande luften på översidan av vingen. Denna avlösning leder till en snabbt minskad lyftkraft. Det kallas "stall" och har orsakat många flyghaverier. Insekterna lyckas emellertid åstadkomma en virvel över framkanten på vingen, som suger tillbaka luften mot ytan och minskar risken för stall och ökar lyftkraften.

En annan teknik liknar den tennisspelare använder för att genom underskrub få bollen att gå längre eller en fotbollsspelare som vill skjuta skruvade bollar. När insektsvingen närmar sig slutet på sitt slag genom luften roterar den baklänges och åstadkommer en underskrub, som ökar lyftkraften.

När vingen rör sig genom luften bildas också virvlar bakom den. Genom att rotera vingen innan den börjar återgå kan insekten dra nytta av dessa virvlar för att ge extra lyftkraft. Den tar så att säga spjörn mot virvelpaketen.

En del små insekter men också malar och fjärilar har också en fjärde teknik som är mycket intressant. De slår ihop vingarna på ryggen och när de sedan snabbt för isär dem bildas ett vakuum på översidan så att lyftkraften ökar. Att tekniken inte används så ofta beror kanske på att även insekter kan få ont när de smäller ihop vingarna ett stort antal gånger i sekunden.

Bin har också en rad av hål längs undersidan av vingen. Där drar de in och blåser ut luft i takt med vingslagen för att öka tryckskillnaden över vingen. Vingarna gör ungefär 250 slag i sekunden hos ett arbetsbi och 190 hos en drönare. Det är detta som åstadkommer det vinande ljud, som hörs från ett bi.



Trollsländorna är kanske de mest intressanta av alla insekter. De tycks också vara bland de äldsta och var förr mycket större än idag. Dinosaurierna kämpade med trollsländor med vingbredd upp till 70 cm. De är rovdjur och kan förflytta sig blixtnabbt i sidled, vilket tyder på att de kan uppnå mycket höga dragkrafter.

Trollsländan är intressant eftersom den har två vingpar som arbetar i motfas. När det ena vingparet går ner, går det andra upp. Man har visat att detta inte ger någon extra lyftkraft utan snarare tvärtom. Det skulle ge större lyftkraft att låta båda vingarna röra sig samtidigt. Faktum är att insekter från början var formade som trollsländan men andra insekter har under årmiljonernas lopp gått ifrån den formen. Att trollsländorna behållit den har troligen att göra med deras roll som rovdjur. Motrotation ger en stabilare flykt och därmed större precision i jakten.

En annan intressant sak med trollsländorna är att de också har utpräglade refflor över främre delen av vingen. Sådana experimenterar man nu med i flygplan för att minska motståndet på vingar. Alla känner ju till att en skrovlig golfboll går längre än en slät beroende på att turbulensen från refflorna suger ner strömningen mot ytan. På segelflygplan klistrar man en tejp längs vingen för att fördröja avlösning- och hajar har skrovligt skinn av samma orsak.

Det är lättare att flyga när det är kallt och lufttäteten hög. Den nedåtvispade luften ger högre lyftkraft när den är tung. Det gäller inte bara för insekter utan också för flygplan. Det kräver därför också mer kraft att flyga högt där tätheten är låg. Insekter har observerats upp till 1000 m men det finns tydligen en gräns för hur högt de kan flyga.

Varför är insekter så små? Jo, det finns en naturlag som gör att saker aldrig kan bli hur stora som helst. Den säger att arean ökar med längden upphöjt till två men volymen och vikten ökar med längden upphöjt till tre. Det kallas två-tredjedelslagen och som vi ser leder det till att om insekten skalas upp så ökar vikten snabbare än arean på vingarna så att insekten måste arbeta hårdare. Storleken bör därför vara så liten som möjligt för att minska ansträngningen. Den är ju begränsad av vad insektens muskler kan prestera och det är inte hur mycket som helst. Därför finns det en gräns för hur stora insekter kan bli. Tursamt nog för oss är den gränsen långt från vår egen storlek. Intressant nog så skulle insekterna kunna bli mycket större på Mars där gravitationen är lägre än på jorden.

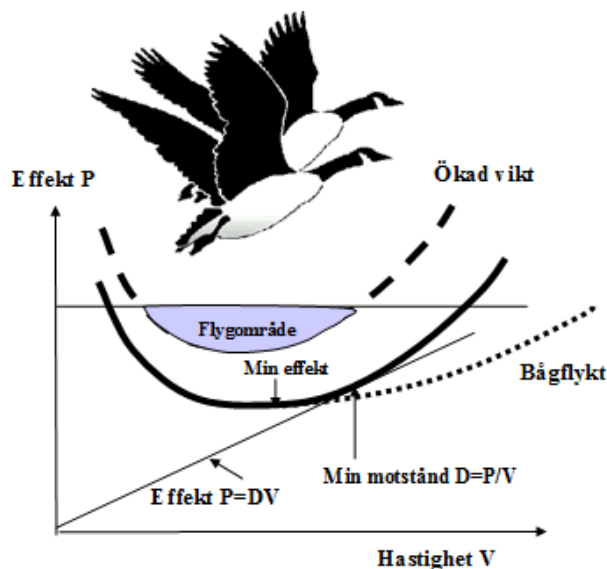
Men även med en mycket avancerad aerodynamik behövs det stor kraft för att kunna flyga. En humla måste prestera ungefär 50 W/kg kroppsvikt. Det är ingenting för kolibrin, som är den enda fågeln som använder insekternas sätt att flyga. Den kan klara 300 W/kg tung som den är jämfört med en insekt. Om en människa skulle vilja flyga som en insekt måste man öka på den siffran ytterligare några magnituder.

När man vet att en människa kan klara 3 W/kg och trollsländan tio gånger så mycket så förstår man vilken otroligt kraftfull maskin den är och hur fruktlösa försöken att flyga som insekter var. Fåglarna hade emellertid utvecklat tekniker som gjorde det möjligt att flyga med mindre kraft. Det var när vi började förstå hur de gjorde som vägen till människors flygning öppnades. Men det är en annan historia.

Varför är fåglar så små?

Och varför kan inte människor flyga när de kan?

Bevingat Nr4/2005 Ulf Olsson



År 1792 utbröt det dittills största kriget i Europa mellan det revolutionära Frankrike och de gamla kungadömena. Samma år blev George Cayley vid nitton års ålder den sjätte baronen av Brompton Hall, som han övertog efter sin far. Vid sidan om sina jordnära sysslor var George Cayley emellertid också intresserad av flygning och 1799 gjorde han en mycket intressant upptäckt.

I många hundra år hade man försökt bygga flaxande maskiner för att kunna flyga som fåglar men alla sådana försök hade skändligen misslyckats. När Cayley nu studerade fågelvingar, såg han att de var välvda och han insåg att en sådan ving om den fördes genom luften skulle tvinga luften att strömma nedåt bakom vingen. Den nedåtgående luftströmmen skulle ge lyftkraft bara genom att vingen rörde sig framåt. Man skulle alltså kunna flyga med fasta vingar och flaxande maskiner var bortkastad möda. Cayley ristade in sin ide om en flygmaskin med fasta vingar på en liten silverbricka, som numera finns på Science Museum i London. Han hade därmed gjort en av de viktigaste uppfinningarna i historien.

George Cayleys upptäckt av fågelvingens utformning gjorde det möjligt att separera lyftkraft och framdrivning. Det ledde över Lilienthal till den första kontrollerade flygningen tyngre än luften av bröderna Wright hundra år senare. Men hur kom det sig då att fåglarna utvecklade sin välvda ving?

Bland de nästan 10000 kända arterna finns det många fler små fåglar än stora och den maximala storleken tycks ligga något över tio kilo. En speciellt kraftfull fågel är den sibiriska kungsörnen Berkut. Den används för jakt på vargar, rådjur och andra större djur. Ansträngningarna att avla fram större Berkutörnar har varit intensiva sedan Djingis

Khans tid men man har ändå inte lyckats komma mycket över 10 kilo. Det finns tydligen här en gräns som naturen inte överskrider. Men vad är det som begränsar storleken på flygande varelser?

En flygande fågel måste lägga ner arbete dels för att övervinna luftmotståndet, dels för att vinkla luften snett neråt för lyftkraft och framdrivning. Flyger man fort kommer luftmotståndet att öka. Flyger man långsamt måste man som insekterna blåsa mycket luft neråt med vingarna. Det är också jobbigt. Vi får en U-formad kurva, som kallas flygeffektkurvan, se figuren ovan. Man ser nu att det är mycket arbetsamt att flyga såväl vid låga som vid höga hastigheter men också att det finns en hastighet som kräver minst arbete. Det här är fåglarnas stora "upptäckt". Genom att anpassa sin hastighet kan de utnyttja kraften i den mötande luften och flyga med betydligt mindre arbete än insekterna, som håller till på den undre delen av flygeffektkurvan.

Om en flyttfågel vill flyga så långt som möjligt utan att "tanka" så bör den minimera energiförbrukningen per tillryggalagd sträcka dvs $Pt/Vt = P/V = D$, det totala motståndet. Hastigheten för minsta motstånd får vi genom att dra tangenten från origo till flygeffektkurvan. Flyttfåglar slöflyger inte utan flyger lite fortare för att behöva äta mindre!

Både den högsta och den lägsta flyghastigheten begränsas av hur hög muskeffekt fågeln kan åstadkomma. Om fågelns arbetsförmåga svarar mot den horisontella linjen i diagrammet så kan den bara röra sig i det markerade området. När storleken ökar så höjs hela effektkurvan uppåt så att muskeffekten till slut inte räcker ens för flygning med minimal effekt. Därför är fåglar så små.



**Pteranodon är den hittills största flygande varelsen.
Den vägde 20 kg och hade 4 m² vingarea.**

Effektbehovet ökar dessutom snabbt om fågeln skall bära en tyngd. En rovfågel som bär sitt byte måste utveckla en betydligt högre muskeffekt än normalt. Hela effektkurvan förskjuts uppåt och flygområdet krymper tills den tvingas flyga på den hastighet, som ger minimal effekt. Små fåglar kan däremot röra sig i ett större hastighetsområde än stora. Speciellt har de lättare för att flyga med låga hastigheter, att ryttla.

Nu kan fåglar vidga sitt flygområde till högre hastigheter genom att övergå till ett annat flygsätt, så kallad bågflykt. Alla har nog lagt märke till att många fåglar inte flaxar kontinuerligt utan först glider snett nedåt genom luften med hopfällda vingar för att sedan höja sig genom en serie vingslag.

Den optimala effekten för bågflykt visar sig tangeras flygeffektkurvan i mineffektpunkten. För högre hastigheter kommer effektbehovet i bågflykt att vara lägre än för kontinuerlig flygning. En fågel med en given prestationsförmåga kan därför öka sin hastighet genom att övergå till sådan flykt. Vinsten med bågflykt är större för mindre fåglar än för stora eftersom flygeffektkurvan är lägre. Observera att kurvan för bågflykt bara existerar för högre hastigheter än den som ger minimal effekt. Det är alltså ingen metod som kan användas för att flyga långsamt.

Vi kan nu förstå vad det är som begränsar fåglarnas storlek. Bli rikten tillräckligt stor så försvinner flygområdet helt och fågeln måste övergå till ett jordbundet liv. För att orka flyga måste en stor fågel skaffa sig en form så att effektbehovet minskar. Det innebär liten våt area och samtidigt stor spännvidd. Helst ska fågel inte ha någon kropp alls utan bara vingar.

Men de långa vingarna ställer till problem. Om vi ökar avståndet mellan händerna blir det allt svårare att göra armhävningar. Men det är just vad fåglarna måste klara av. Här kommer vi tillbaka till Cayley's upptäckt. Stora fåglar har utvecklat vingar, som kan ge lyftkraft utan flax genom själva den framåtgående rörelsen. Vingprofilens välvda form vinklar luften nedåt bakom vingen och ger lyftkraft till synes utan ansträngning.

Flygning kräver ändå hög effekt och låg vikt. Ett bra mått på prestationsförmåga är effekten per kilo kroppsvikt. Bröderna Orville och Wilbur Wrights bedrift var att de var först med att bygga en maskin, som kunde utveckla lika mycket kraft som en fågel. Deras flygplan hade en effekt av cirka 25 W/kg, vilket ungefär motsvarar vad en mås utvecklar. Jämför det med människans cirka 3 W/kg! Flygtekniken har sedan dess utvecklats ofantligt. Gripen har en effekt per kilo som är hundra gånger så stor som bröderna Wrights första flygplan och Ariane-raketen är tusen gånger så kraftfull. Flygmaskinerna är de kraftfullaste maskiner människan skapat liksom fåglar och insekter är de kraftfullaste av alla levande varelser.

I ren råstyrka har vi alltså överträffat naturen men vi ligger fortfarande långt efter när det gäller styrning och kontroll av flygningen. Kanske kommer framtidens flygplan att utvecklas mot något som liknar en levande varelse med en kraftfull datorhjärna som via ett fiberoptiskt nervsystem styr en kropp av flexibla material. Fortfarande gäller emellertid Lilienthals ord att fåglarna gör narr av oss som flygare.

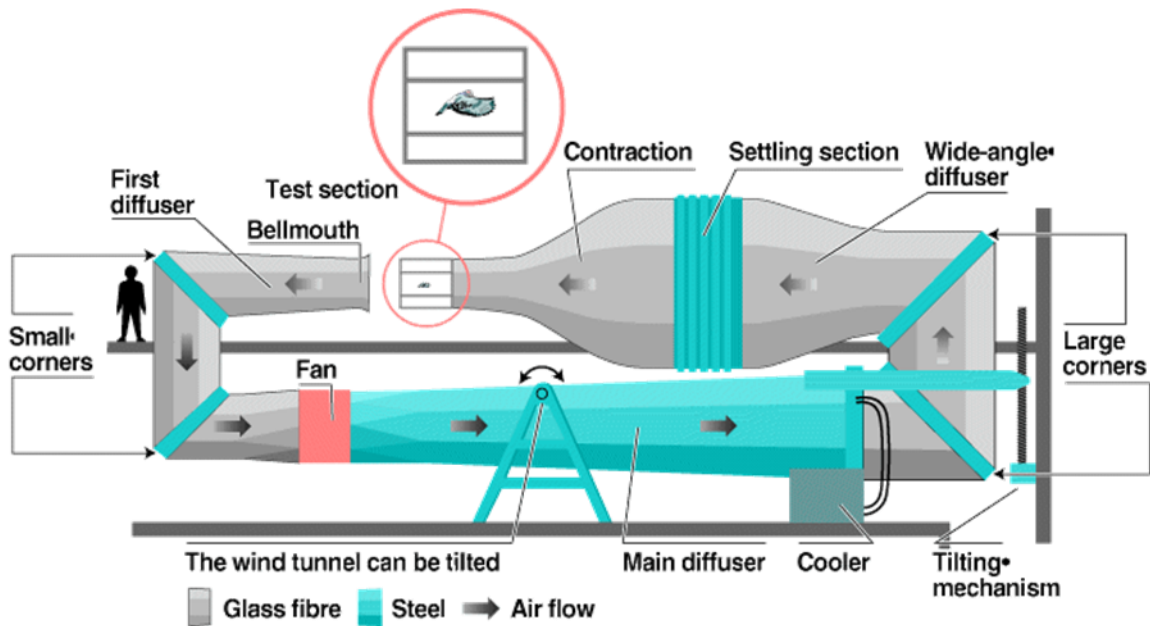
Animal Flight Lab i Lund



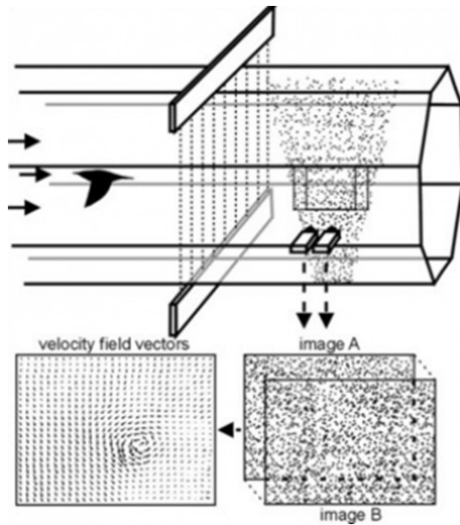
Vid Lunds Universitet finns en forskargrupp om cirka tio personer under ledning av professor Anders Hedenström, som kan mycket om flaxning. Här studerar man hur fåglar och insekter flyger. Men det som är speciellt intressant för att kunna göra flaxande maskiner är förstås hur de bär sig åt när de flyger. De har ju trots allt löst problemet. Gruppen har producerat ett stort antal forskningsrapporter och artiklar varav en del refereras här.

Anders Hedenström, professor i teoretisk ekologi vid Lunds universitet.

I en vindtunnel, som byggts speciellt för ändamålet, gör man i Lund experiment med insekter, fladdermöss och fåglar. Man studerar vingarnas rörelse samt strömningen och virvlarna över dem. På det sättet kan man dra slutsatser om storlek, riktning och variation av de aerodynamiska krafterna. Från denna information kan man sedan ställa upp teoretiska modeller av flaxande vingar.



PIV-Particle Image Velocimetry



Vindtunneln i Lund byggdes 1994. Det är en låghastighets, lågturbulent vindtunnel specialbyggd för att studera fåglars flykt även om den senare har modifierats för att kunna studera också insekter och fladdermöss. Det finns en öppning mellan provsektionen och luftmunstycket så att forskarna lätt kan komma åt det flygande djuret. Tunneln kan också lutas för att simulera stigande och glidande flygning. Lutningen kan varieras mellan 8 grader neråt och 6 grader uppåt. Provsektionen är 120 cm bred och 108 cm hög. Luftens hastighet kan varieras kontinuerligt upp till 38 m/s.

Fåglarna tränas att sitta på en rörlig pinne i centrum av provsektionen. När pinnen sänks börjar fågeln flyga. För att hjälpa fåglarna att flyga på samma plats användes en klart synlig ljusmarkering uppströms provsektionen. När fågeln flyger stabilt så att en mätning kan göras belönas den genom att pinnen höjs så att den kan landa. Hastigheten är normalt 4-9 m/s. Insekter kan limmas fast på en stav eller tränas att flyga vid en födokälla i form av en konstgjord blomma.

I vindtunneln kan forskarna observera fågeln medan den flyger i kontrollerade förhållanden. Med höghastighets videokameror kan man registrera detaljer i vingarnas rörelse, kroppens accelerationer och dynamiken hos vakarna. De krafter vingen genererar för att hålla fågeln i luften återspeglas i vaken bakom fågeln. För att studera vakströmningen i detalj används en metod, som kallas PIV (particle image velocimetry). Metoden innebär att vattenånga sprutas in i luften. Ångpartiklarna illumineras med laser och och fotograferas med höghastighetskamera. Från två på varandra

följande bilder kan luftens rörelse mätas upp. Därur kan man sedan beräkna de aerodynamiska krafterna och till exempel effektivitet hos den flygande.

Det första PIV-systemet installerades år 2000 för att studera vakarna från ett antal fåglar och en art av fladdermöss. Ett nytt system installerades 2008. Det kan registrera strömningen 200 gånger i sekunden i tre dimensioner. Utrustning finns för filmning i både infrarött och vanligt ljus.

Svalornas aerodynamik



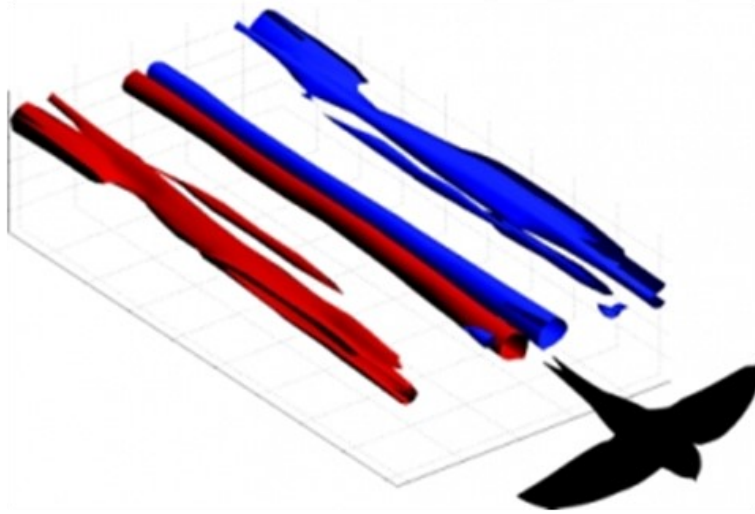
En MAV kanske blir mer lik en svala än någon annan fågel som studerats hittills. De styva vingarna gör den grundläggande konstruktionen enklare samtidigt som amplituden på variationen av de aerodynamiska krafterna gör det enklare att erhålla en stabil flykt. Svalorna manövrerar lätt i luften och de kan också glidflyga långa sträckor.

En tornseglare som den på bilden här intill tillbringar nästan hela livet flygande, dag och natt och landar bara tillfälligt. Denna extrema livsstil är naturligtvis kopplad till en specialiserad kropp och vinge. Svalan har en strömlinjeformad kropp och långa, smala bakåtsvepta vingar. Vingarna har en mycket kort armsektion och en mycket lång hand jämfört med de flesta andra fåglar. Studier i vindtunneln i Lund visar också att svalorna lämnar andra virvlar än andra fåglar. De har mer eller mindre konstant avlämning av virvlar i vaken genom hela vingslaget, både upp- och nedslag, vilket visar att ändringarna i krafterna är små.

Svalor kan ses glidflyga längre sträckor. Vindtunneln kan lutas vilket gör det möjligt att ha fåglar glidande under längre tidsperioder. För seglare uppmättes ett maximalt förhållande mellan lyftkraft och motstånd $L/D=12.5$ vid 9.5 m/s [1]. Detta är bland det högsta som uppmätts för fåglar. Som jämförelse så har ett modernt trafikflygplan $L/D=18$. Svalornas maximala hastighet ligger mycket högre eller vid omkring 30 m/s.

Under flaxande flygning är den effektiva L/D nästan hälften så stor. En linjär relation mellan vingspann och hastighet observerades, vilket var motsatt vad man sett för andra fåglar. Man hade väntat sig att fågeln skulle minimera luftmotståndet med ett kortare vingspann då lyftkraften ändå kan bibehållas när hastigheten ökar.

Virvlar från stjärt och vingtoppar



Virvlar från stjärten

Vid glidflykt är virvlar från stjärten framträdande. De är nästan lika starka som toppvirvlarna. Trots detta så är deras bidrag till lyftkraften liten på grund av den låga bredden på stjärten jämfört med vingbredden framförallt vid höga hastigheter. Toppvirvlarna är lika vid alla hastigheter men stjärtvirvlarna är närmare varandra vid höga hastigheter då stjärten är mindre utspärrad.

Virvlar från vingtoppar och stjärt på en glidflygande tornseglare [1]. Toppvirvlarna uppstår genom att luften glider utåt längs vingen och runt vingtoppen.

Stjärten verkar ha olika funktion vid olika hastigheter. Vid lägre hastighet är stjärten mer utspridd med starkare och mera åtskilda virvlar. Detta kan också bero på att kroppens anfallsvinkel är större vid låg hastighet. Styrkan på stjärtvirvlarna är omvänt beroende på toppvirvlarna. Detta tyder på att stjärten har till uppgift att ge lyftkraft när lyftkraften från vingarna är låg. Vid högre hastighet ger stjärten virvlar med omvänd riktning mot vid lägre hastighet genererande negativ lyftkraft. Då används stjärten troligen för styrning genom att åstadkomma ett uppåtvridande moment för att motverka ett nedåtvridande från vingarna.

När flyghastigheten ökar förblir vinkelhastigheten på svalornas vingar konstant så att när amplituden ökar så minskar frekvensen som om flygmuskulerna drar ihop sig med en konstant hastighet. Vingarna är också ganska styva och dras inte in under uppslaget som hos andra fåglar. Detta syns på virvlarna där en avlösning av virvlar längs vingspannet syns både i ned- och uppslag med positiva virvlar under nedslaget och negativa under uppslaget. Uppslaget är alltid mer aerodynamiskt aktivt än hos andra fåglar.

Normalt lämnar flaxande vingar ett par av toppvirvlar med nästan konstant cirkulation som svänger uppåt och neråt i takt med vingen. Nedslaget ger lyft och dragkraft medan uppslaget ger lyft men också negativ dragkraft genom luftmotstånd. Eftersom vingarna böjs under uppslaget är de aerodynamiska krafterna mindre och den resulterande nettodragkraften för fågeln framåt.

Med styva relativt oböjliga vingar lämnar svalans vingar förutom toppvirvlarna också virvlar längs vingspannet med olika riktning i upp- och nedslag [2].

Även insekter flyger med jämförelsevis styva vingar, men vaken från en svärmare vid 3.5 m/s visar till skillnad från svalan en blandning av positiva och negativa virvlar både i ned- och uppslag.

Den månskäreliknande formen på svalornas vingar har visats vara effektiv i analytiska modeller. Styvheten på vingarna kan vara ett försök att behålla denna effektivitet i både rak flykt och svängar. Eftersom vingarna inte kröks i uppslaget som på många andra fåglar så blir vakvirvlarna annorlunda. Uppslaget verkar vara lika med nedslaget även om anfallsvinkeln på vingen minskar för att minska storleken på krafterna.



Tredimensionell vakstruktur hos en flygande tornseglare [2]. Grönt visar virvlarna från vingtopparna, rött är virvlar med positiv cirkulation uppåt längs vingspannet

Svalan har virvlar även från vingroten

Utom de virvlar som beskrivs ovan har svalan virvlar från vingroten som kommer från området där vingen är fästad vid kroppen [3]. Man antar att detta beror på att kroppen genererar mindre lyftkraft än vingarna. Cirkulationen i rotvirvlarna är lägre än i toppvirvlarna så det måste finnas en viss cirkulation också över kropp/stjärt så virvlarna över vingarna är inte helt isolerade. Detta liknar systemet hos fladdermöss och i viss utsträckning hos insekter som humlor.

Orsaken till rotvirvlarna är inte helt klarlagd. Eftersom kroppen alltid kommer att generera mindre lyft helt enkelt på grund av sina aerodynamiska egenskaper kommer det att vara en tryckskillnad från vinge till kropp. Denna skillnad borde ge upphov till störningar i vaken i form av rotvirvlar. Ändå finns det insekter

som lyckats undvika rotvirvlar som t ex trollsländor. En alternativ förklaring är att när vingen flaxar så bildas en hastighetsskillnad längs vingen som kan resultera i en minskning av cirkulationen från vingtoppen till basen. Denna skillnad kan leda till avlösning av virvelstråk som rullas upp i form av rotvirvlar.

Det är hur som helst inte klart om rotvirvlarna är en fördel eller en nackdel. Två separata topp- och rotvirvlar är mindre effektivt än om de båda vingarna tillsammans med kroppen fungerade som en enda vinge och bara hade toppvirvlar. Å andra sidan kan separata vakar kanske ge större flexibilitet då vingarna opererar oberoende av varandra.

Fladdermöss

Fladdermusen har också framförts som en intressant förebild för en flygande maskin. Den har till exempel ett radarsystem byggt på ultraljud som gör att den kan orientera i mörker. Här syns en fladdermus, som angriper en insekt på ett blad i mörker.



Virvlarna från en fladdermus skiljer sig från en fågels



I Lund har virvlarna uppmätts vid 7 m/s för två slag av fåglar och fladdermöss [4]. Virvlarna från en fågel skiljer sig från dem hos en fladdermus. För både fladdermöss och fåglar bildas en toppvirvel vid början av nedslaget. I Lund har man funnit att fladdermöss har starka virvlar från vingroten med motsatt riktning till virvlarna från vingtopparna. Det resulterar i en svagare nedström bakom kroppen, vilket minskar lyftkraften medan motståndet ökar.

Fåglar visar sig däremot ha svaga virvlar från vingroten med både motsatt och samma riktning som virvlarna från vingtopparna, se bilden på den glidflygande tornseglaren på sidan 11

ovan. Detta visar att inte bara vingarna utan också själva kroppen bidrar till lyftkraften. För fåglarna försvinner dessutom rotvirvlarna omedelbart efter det att nedslaget startat medan fladdermössens rotvirvel är kvar under hela nedslaget [5]. Troligen beror detta på skillnaden i kroppsform mellan fåglar och fladdermöss.

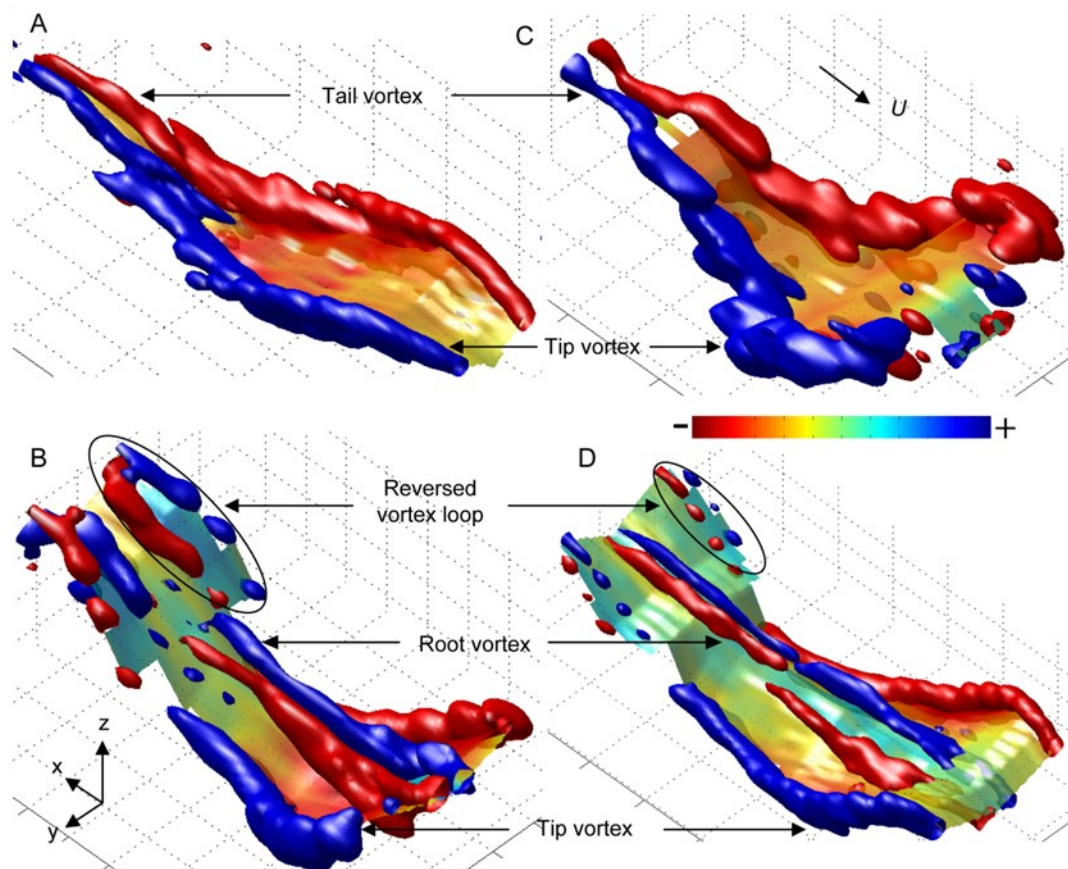
Luftens strömning runt en flygande fladdermus vid 4 m/s visas i bilden ovan. Virvlarna vid vingtopparna är i rött. De svagare motsatta virvlarna vid vingrötterna är i blått. Virvlarna vid vingroten är ungefär hälften så starka som vid topparna.

Skillnader mellan fladdermöss och fåglar

Skillnaden i flygförmåga mellan fåglar och fladdermöss beror också på vad som händer under uppslaget. Toppvirvlarna finns kvar under hela nedslaget men försvinner under uppslaget, tidigare för fåglarna än för fladdermössen. Fladdermöss, men inte fåglar, bildar ett virvelpar bakom vingen under senare delen av uppslaget, kallad "reversed vortex loop" i bild

nedan. Bilden visar virvlar för ett vingslag vid 7 m/s [5]. Överst två olika fåglar, underst två olika fladdermöss.

Dessa virvlar resulterar i negativ lyftkraft genom en uppström bakom yttre delen av vingen. Fladdermössen har alltså en mer komplicerad virvelstruktur med starkare rotvirvlar och reverserade virvlar.



Vingarna skiljer sig också åt på viktiga sätt. De yttre fjädrarna på en fågelvinge kan separeras så att luften kan passera igenom under uppslaget för att göra vingen aerodynamiskt inaktiv. Även om fladdermössens vingar är mycket flexibla kan de troligen inte göras inaktiva på samma sätt.

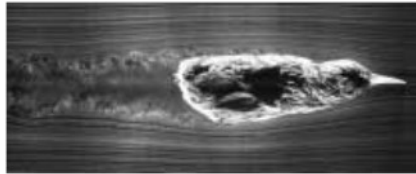
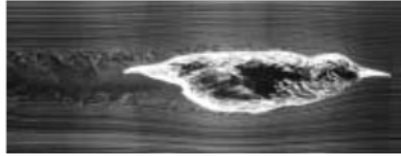
Hos fåglarna, men inte för fladdermössen, bildas ett nytt virvelpar närmare kroppen ungefär samtidigt som toppvirveln försvinner. Man antar att detta beror på samverkan mellan kropp och stjärt, kallad 'tail vortex' i bild ovan. Dessa virvlar finns kvar till slutet av uppslaget och kan tänkas bidra till lyftkraften.

Det visar sig att fåglarna är bättre än fladdermössen när det

gäller flygekonomi. Ett mått på detta är förhållandet mellan lyftkraft och motstånd L/D . För fåglarna är $L/D=10$ men för fladdermössen $L/D=5$. Fåglarnas kroppar verkar alltså generera mer lyftkraft än fladdermössens.

Troligen beror det på att fladdermössens öron och nos, aktiva i ekolodorienteringen, stör strömningen över kroppen. Under uppslaget drar också fåglarna in sina vingar så att de blir aerodynamiskt inaktiva medan fladdermössens membranvingar ger motstånd och negativ lyftkraft. Om fåglarna flyger mer ekonomiskt, är fladdermössen däremot förmodligen bättre på att manövrera och flyga långsamt, vilket också är viktigt för en MAV.

Stjärtens betydelse



För att undersöka om skillnaden mellan fåglar och fladdermöss när det gällde flygekonomi berodde på att fåglarnas stjärt samverkade med virvlarna från vingroten undersökte man fåglar både med och utan stjärt. Alla kan se att fåglarna använder sin stjärt under flygning medan fladdermöss och insekter saknar stjärt. Stjärten används naturligtvis för styrning på samma sätt som på ett flygplan men man kan fråga sig om den har någon aerodynamisk fördel.

Hos en fågel utan vingar fungerar stjärten som en splitter på en bil. På

bilderna till vänster av en död fågel provad i vindtunnel syns att vaken bakom fågeln blir betydligt mindre med stjärt än utan. Detta innebär att motståndet blir mindre. Om man tar bort stjärten ökar motståndet med upp till 25% [6].

Man kunde emellertid inte se någon skillnad i virvelstrukturen hos en fågel med vingar. I själva verket hade en fågel med vingar och stjärt ett något högre motstånd än en utan stjärt. Detta till skillnad från proven utan vingar. Stjärtens betydelse vid kontinuerlig flykt är därför fortfarande osäker. En fågel kan trots allt flyga bra även utan stjärt genom att styra bara med vingarna.

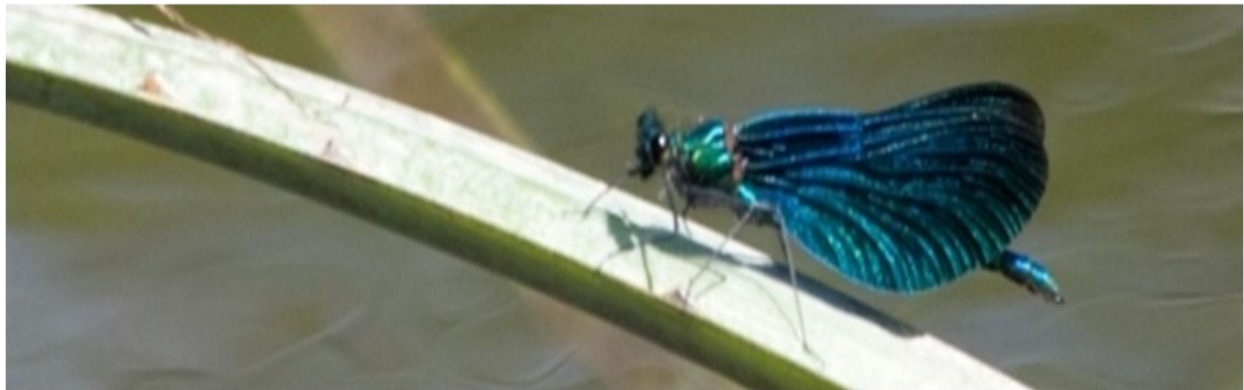
Formen har troligen också stor betydelse. Lyftkraften från en stjärt är proportionell mot dess maximala spännvidd medan motståndet beror på den totala våta arean. Fåglar förlorar därför i lyftkraft genom motstånd om de har svagt koniska stjärtar. Delade stjärtar som hos svalor bör däremot vara en vinst så länge

inte längden går alltför långt bortom punkten för maximal spännvidd. Observationer visar att stjärten är maximalt utfälld vid låga hastigheter för att ge hög lyftkraft i svängar och manövrer. När hastigheten ökar fälls stjärten ihop.

Den viktiga framkantsvirveln

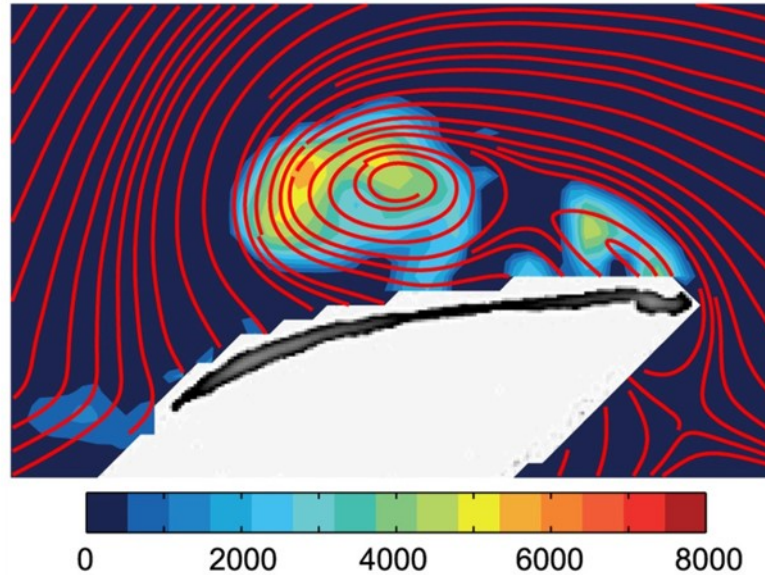
Förhållandena på själva vingen har också stor betydelse. Här har naturen åstadkommit en teknik som är mycket svår att efterlikna. Det finns ju en populär historia att humlan egentligen inte kan flyga. Det stämmer om dess vingar skulle uppföra sig som en vanlig flygplansvinge. Men naturen är mycket mera komplicerad än så. Man vet nu,

att det som gör att humlan verkligen flyger är en virvel som bildas genom avlösning av strömningen vid framkanten av vingen. Denna virvel gör att strömningen kan återansluta till vingen före bakkanten och förhindra avlösning. Det gör att lyftkraften blir betydligt högre än den annars skulle vara.

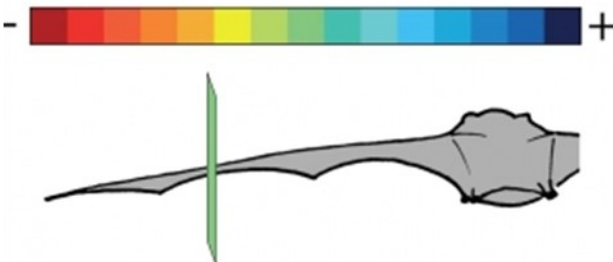
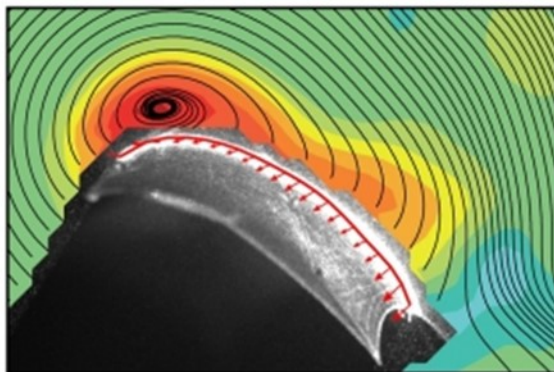
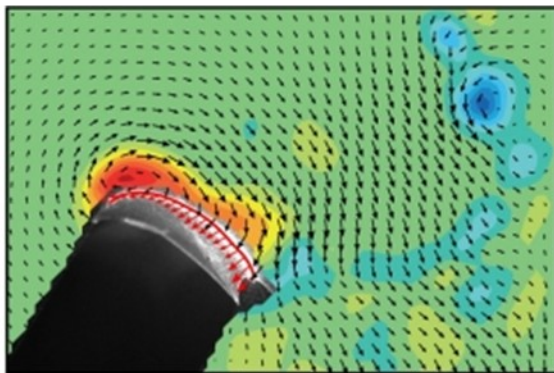


Man har i Lund studerat strömningen över fritt flygande svärmare, se ovan, för att undersöka framkantsvirvelns betydelse.

Insekter kan limmas fast så att man kan mäta på dem i vindtunneln. Man har i Lund studerat strömningen över vingen på fritt flygande svärmare och hittat flera samtidiga virvlar av varierande styrka och struktur längs vingspannet, [7]. Vid roten av vingen finns en enda virvel medan det vid halva spannet finns flera, se bild till höger, och vid vingspetsen separerar strömningen. Hårceller längs vingen känner av virvlarna och troligen kan insekten förändra formen på vingen så att virvlarna stannar kvar.



Strömlinjer mitt i nedslaget på halva spännvidden på en svärmare vid 2 m/s. Virvelstyrka enligt färger visar två distinkta virvlar ovanpå vingen.



Lyftkoefficienten är förhållandet mellan lyftkraften och den kraft som skulle uppstå om luften blåste rakt mot en vägg. För en idealisk vinge där hela luftströmmen vänds neråt skulle lyftkoefficienten maximalt kunna bli $CL=2$. Under stationära förhållanden har man funnit att en fladdermus skulle kunna nå en lyftkoefficient av $CL=1.6$. För fladdermöss har man emellertid funnit att de behöver $CL=4$ för att hålla sig i luften när de flyger med hastigheten 1.5 m/s. Hur gör de?

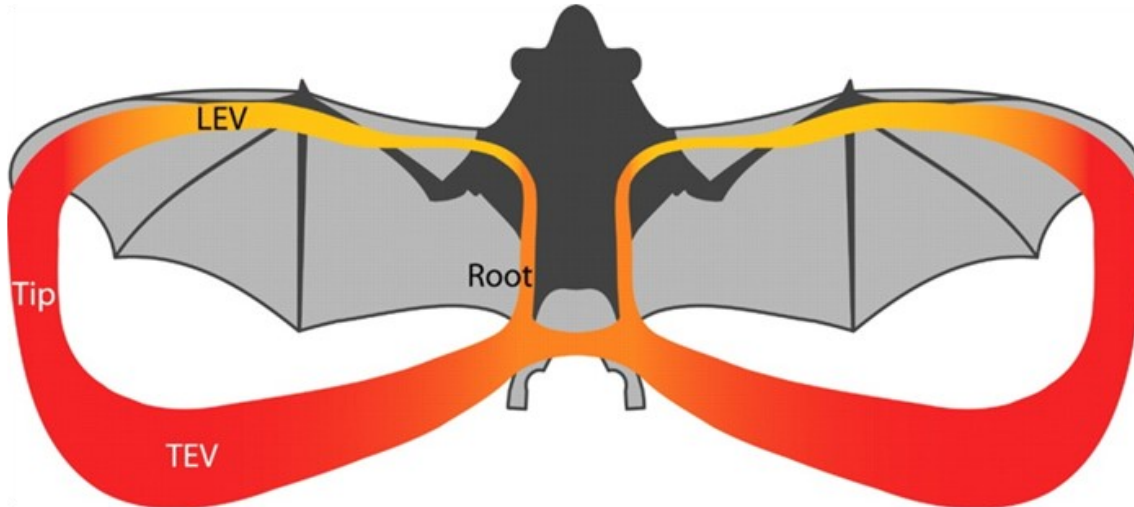
När man använde PIV-tekniken för att studera strömningen runt vingen fann man att fladdermössen liksom insekterna lyckats skapa en fast virvel på oversidan av vingens framkant [8].

Toppvirveln ovanför vingen på en långsamt flygande fladdermus syns på bilden till vänster. Färgerna visar virvlarnas styrka. Överst hastighetsfält, därunder strömlinjer. Mätplanets läge är underst.

Fladdermusen kunde genom sådana framkantsvirvlar uppnå en maximal lyftkraftskoefficient av 4.8 vid låg hastighet, alltså mer än de 4.0 som behövdes. Luften som passerar över virveln återansluter till vingen även vid höga anfallsvinklar och vingkrökning.

Den skarpa framkanten på fladdermusvingen underlättar troligen bildandet av framkantsvirveln medan förmågan att aktivt ändra vingen form och lutning kan bidra till att bevara den under vingslaget.

Virvlarna på en fladdermus

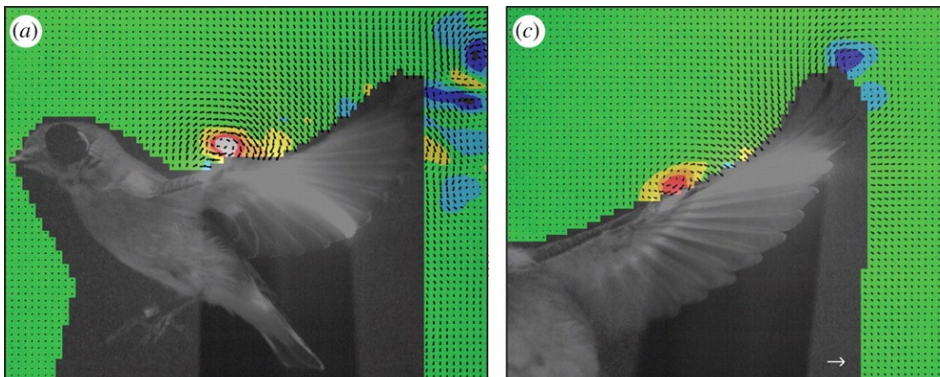


Virvelsystemet på en fladdermus under nedslaget syns ovan när vingen är horisontell vid en flyghastighet av 1 m/s [8]. Gul är låg cirkulation och röd hög.

När vingen börjar gå nedåt bildas en startvirvel vid bakkanten. Under nedslaget förflyttas denna virvel nedåt och bakåt bakom vingen. Den ansluter till en rot och en toppvirvel på vardera vingen. Dessa ökar i längd under nedslaget och är förbundna med en virvel som bildas vid framkanten. Framkantsvirvelns cirkulation är densamma som rotvirvelns varför de troligen är

förbundna så att det inte finns någon framkantsvirvel tvärs kroppen.

Fåglar har också förmågan att bilda framkantsvirklar som visas nedan från ett experiment med en flugsnappare i vindtunneln i Lund [9] vid 1 m/s. Virveln bidrar med så mycket som 49 procent till lyftkraften vid dessa låga hastigheter. Detta visar att tekniken med framkantsvirklar inte bara används av insekter utan också av större djur som fladdermöss och fåglar.



Virvel över vingen på en flugfångare vid 1 m/s på två olika platser på vingen..

”Många problem återstår att lösa när det gäller flaxande flygning”.

Som framgått ovan är aerodynamiken kring en flaxande vinge mycket komplicerad och mer forskning krävs för att förstå den fullt ut. Även om man skulle förstå hur aerodynamiken fungerar så innebär det stora utmaningar att göra mekaniska system med samma prestanda som de levande förebilderna. Bland annat framkantsvirvlarna som ger en stor höjning av lyftkraften torde kräva en flexibilitet hos vingen som är svår att åstadkomma med mekaniska material.

Även den rena mekaniken är besvärlig. I vissa fall gör en insekt vingslag av 160 grader med en rotation av 90 grader mer än hundra gånger i sekunden. Alla flygande varelser har mycket flexibla och lätta vingar och en mycket stark och lätt kropp. Som en jämförelse så kan en människa normalt prestera 3 W/kg kroppsvikt. En fågel ligger på ungefär 20 W/kg och insekterna ändå mycket mera.

Piezoelektriska material reagerar på elektrisk ström genom rörelse. De kan avge stora krafter och kan kanske användas för att röra vingarna på samma sätt som muskler. Ett annat problem

är att hitta en tillräckligt kompakt kraftkälla. Vingar täckta med fotoelektriska material har för liten area. Batterier kan ge kraft för korta flygningar men är ännu för tunga om de ska verka längre än några minuter. Flyttfåglar kan däremot flyga nonstop i mer än 10 000 km, vilket är långt mer än någon mänskligt producerad farkost av samma storlek. Verkningsgraden (förhållandet mellan producerad mekanisk effekt och intagen effekt genom föda) beror på flyghastighet och kroppsvikt men ligger för en fågel omkring 20%. Mikrogasturbiner drivna med väteperoxid och fotogen kan kanske vara lösningen.

Ett ännu större problem är styrningen. Ingen har ännu konstruerat en lika kraftfull styrdator som en fågels hjärna och nervsystem. Man kan till exempel se att flygande varelser ändrar vingarea, anfallsvinkel och krökning av vingen när hastigheten varierar men man vet inte hur de känner av vad som händer i strömningen över vingen och hur de använder detta för att bibehålla fördelaktiga förhållanden i strömningen. Många problem återstår alltså att lösa.

Referenser från Lund

- [1] P. Henningsson, A. Hedenström, "Aerodynamics of gliding flight in common swifts", *The Journal of Experimental Biology* 214, 382-393, (2011).
- [2] P. Henningsson, G. R. Spedding and A. Hedenström. "Vortex wake and flight kinematics of a swift in cruising flight in a wind tunnel.", *The Journal of Experimental Biology* 211, 717-730 (2008)
- [3] P. Henningsson, F. T. Muijres, A. Hedenström. "Time-resolved vortex wake of a common swift flying over a range of flight speeds", *J. R. Soc. Interface* (2011) 8, 807-816.
- [4] A. Hedenström, L. C. Johansson, M. Wolf, R. von Busse, Y. Winter, G. R. Spedding. "Bat Flight Generates Complex Aerodynamic Tracks". 11 MAY 2007 VOL 316 SCIENCE www.sciencemag.org.
- [5] Florian T. Muijres, L. Christoffer Johansson, Melissa S. Bowlin, York Winter, Anders Hedenström. "Comparing Aerodynamic Efficiency in Birds and Bats Suggests Better Flight Performance in Birds". Published: May 18, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0037335 <http://www.plosone.org>.
- [6] Anders Hedenström. "Aerodynamics, evolution and ecology of avian flight". *TRENDS in Ecology & Evolution* Vol.17 No.9 September 2002.
- [7] L. Christoffer Johansson, Sophia Engel, Almut Kelber, Marco Klein Heerenbrink & Anders Hedenström. "Multiple leading edge vortices of unexpected strength in freely flying hawkmoth". 20 November 2013. *SCIENTIFIC REPORTS* | 3 : 3264 | DOI: 10.1038/srep03264.
- [8] F. T. Muijres, L. C. Johansson, R. Barfield, M. Wolf, G. R. Spedding, A. Hedenström. "Leading-Edge Vortex Improves Lift in Slow-Flying Bats". Downloaded from www.sciencemag.org, February 29, 2008.
- [9] Florian T. Muijres, L. Christoffer Johansson and Anders Hedenström. "Leading edge vortex in a slow-flying passerine". *Biol. Lett.* published online 14 March 2012.

Flugor flyger som stridsflygplan



Att fånga en fluga är inte så lätt. De kan rolla blixtnabbt i luften.

På mindre än en hundra del sekund undviker en fruktfluga en angripare. De kan lägga sig i så kraftiga svängar att de under kort tid nästan flyger på rygg berättar forskare i tidskriften "Science", som fångat manövrerna med höghastighetskamera.

Flyktrörelserna är mycket snabbare än de tidigare mätta svängarna. Dessutom flyger flugorna på ett annat sätt än man hittills trott.

Höghastighetskameran tog 7500 bilder per sekund. Flugorna slår normalt 200 gånger per sekund med vingarna. Därför kunde man fånga varje vingslag med cirka 40 bilder. Man filmade med infrarött ljus för att inte blända flugorna.

I en cylinderformad behållare flög omkring 50 flugor. När någon av dem fångades av två laserstrålar projicerades en



kort film som föreställde en växande skugga på cylinderns väggar. Det verkade på flugorna som ett annalkande hot. Kameran fångade sedan flugornas rörelser för att undvika hotet.



Hittills har man utgått från att flugorna svänger runt en lodrät axel. I själva verket lade sig 80 procent av flugorna i en sväng med 90 graders lutning åt sidan. De höll denna vinkel oavsett om skuggan kom från sidan, bakifrån eller framifrån. En fluga med en hjärna stor som ett sandkorn har ett flygsätt som är väl så komplext som ett mycket större djur till exempel en fladdermus. Hur hjärna och muskler hos en fluga åstadkommer de snabba manövrerna är något som forskarna skall fortsätta att undersöka.

“Geckoödlor” och “blomteknik” håller rent

ESA har valt ut ett antal nya ideer för prov i tyngdlöshet. Geckoödlor ska hålla satelliter rena. Men blommor och fjärilar vet redan hur man gör.



Geckoödlor på arm. (Fotograf: Johan Eklöf)

[Mail Online \(UK\)](#) Forskare vid Kanadas Simon Fraser University har byggt en 240-grams geckorobot. Dess trampdynor är täckta med torra mikrofibrer som efterliknar håren på geckoödlans fötter. Det gör att den kan rusa upp i fönster och längs väggar utan problem. En geckoödlas fötter är klabbiga nog för att bära en fyra kilos vikt uppför en vägg utan att halka. Ödlan klarar detta genom miljontals ultrafina hårstrån, som interagerar med klättringsytan för att skapa en molekylär attraktion som kallas van der Waals-kraft. Forskarna utvecklade sedan detta till en sexbent klättrande robot med sulor av microfiber med smeknamnet Abigaille.

Det torra “limmet” som hjälper Abigaille att klättra uppför väggar provas nu på ESAs European Space and Technology Centre (ESTEC) och på paraboliska flygningar. ESA har skapat en liten prototype, som skulle kunna vara föregångare till automater som kryper längs skrov på rymdfarkoster för att rengöra och underhålla dem. NASA arbetar också med att skapa gecko-inspirerade lim. Detta är ett exempel på biometik, att imitera tekniska lösningar från den naturliga världen.

Ett annat sådant exempel beskrivs 7 mars i Economist [Out of the groove](#) Lasrar som producerar pulser som varar bara femtosekunder-dvs miljondels miljarddels sekund- kan fungera som blixtlampor, som belyser de snabbaste processerna inom biologi och fysik. Nu har femtosekund pulser visat sig användbara för en mer vardaglig uppgift: att göra ytor vattenavvisande. Vanligen täcks ytor med polymerer för att uppnå sådana effekter. Men även de bästa av dessa kan inte jämföras med naturens superstjärnor, såsom fjärilar, bladen av lotusväxten eller trädgårdens vanliga krasse.

Forskare som undersöker sådana naturliga ytor har hittat att de uppvisar mönster och strukturer på mer än en skala, så kallad hierarkisk strukturering. Fjärilsvingar, till exempel, består av kakel-liknande strukturer omkring en miljondels meter långa. På varje sådan platta ligger en serie spår, som mäter bara nanometer, eller miljarddels meter.

Till skillnad från industrilasrar, släpper femtosekundslasrar sin energi i pulser och lämnar ingen tid för ett material att värmas upp avsevärt. På ytan uppstår höjder och dalar på nanometernivå där lasern har avlägsnat olika mängder mate-



rial. Genom att skanna en laserstråle upprepade gånger över ytor av metall kan forskarna skära monster av spår cirka 100 miljondelar av en meter breda (bredden på ett mänskligt hårstrå). Inom vart och ett av spåren ligger en struktur på nanometerskala. Detta visar sig enligt en artikel i Journal of Applied Physics, resultera i en häpnadsväckande nivå av vattenavstötning på platina, mässing och titan. Det är inte bara så att vattnet som släpps på ytorna inte fastnar; det faktiskt studsar. Damm och smuts fastnar bättre till dessa bortstötta vattenpärlor än på ytan. Utsatta för väder och vind, håller sig sådana ytor rena, torra och fria från rost eller is (vatten stannar inte kvar tillräckligt länge för att göra rost eller is).

Forskarna medger att man har en ofullständig förståelse för varför det fungerar så bra. Ett stort antal fysiska mekanismer kan vara inblandade och dessa måste avslöjas. Man tror att metoden kommer att fungera på alla metaller och med vissa



justeringar på material som plast, halvledare och keramer. Så kanske en självrengörande toalett, som gnistrar efter varje spolning inte är långt i framtiden.

Fladdermöss stör varandras radar för att stjäla mat



[Bats jam each other's sonar to steal meals - New Scientist](#)

Det är känt att fladdermöss orienterar sig och jagar i mörker genom radar. Förlust av en ekolodssignal gör då att de kan missa en lækker måltid därför att någon annan hinner före. Nu finns det tecken som tyder på att fladdermöss använder störande teknik för att få sina kamrater att missa bytet istället.

Ett ljud kan störa en fladdermus förmåga att extrahera information från ekon, som återvänder från ett byte. När många fladdermöss jagar i samma utrymme, kan de störa varandras ekon, vilket gör detektering svårare. Tidigare forskning har visat att fladdermöss kan komma runt denna störning genom att byta till andra frekvenser. Med hjälp av olika ljudfrekvenser för att kartlägga jaktmarkerna omkring kan många fladdermöss jaga i samma utrymme.

Störningen av varandras signaler var kan vara oavsiktlig, en enkel konsekvens av att två fladdermöss försöker jaga nära varandra. Men man har också funnit avsiktligt sabotage av en kollega. Fladdermöss avger speciella ultraljudssignaler som stör ekolokaliseringen hos andra fladdermöss,

som attackerar samma byte. Störnsignalen verkar ha utformats av evolutionen för att maximalt störa andra fladdermöss.

Vid oavsiktlig blockering används en enda frekvens, vilken kan undvikas genom att flytta till en annan frekvens. Men störnsignalerna omfattar alla de frekvenser som används av den andra fladdermusen, så det finns ingen tillgänglig frekvens att flytta till. När man spelade upp inspelningar från dessa störnsignaler fick man fladdermöss att missa sina mål.

Man tror att fladdermöss gör så här mot varandra eftersom de lever tillsammans i stora mängder i hård konkurrens om samma föda. Men också bytena kan använda sig av det. En mal (*Bertholdia trigona*) skyddar sig från att bli fångad och uppäten av fladdermöss genom att ge ifrån sig en störtflod av högfrekventa klick, långt över området för människans hörsel, när en fladdermus närmar sig. Det är en kamp på liv och död i naturen och den driver på den tekniska utvecklingen.

Räka ger starkare flygplanskomposit



Mantisräkan. PHOTO CREDIT: CARLOS PUMA

Inspireerad av en liten räka, mantisräkan, har en forskargrupp, som leds av University of California, Riverside utvecklat ett kompositmaterial, som är slag-tåligare och starkare än de som nu används i flygplan. Mantisräkan är ca tio cm lång och har en knytnävs-liknande klubba, som accelererar under vattnet snabbare än en gevärskula. Forskarna är intresserade av klubban eftersom den kan slå bytesdjur tusentals gånger utan att gå sönder. Den kraft som skapas av mantisräkans klubba är mer än tusen gånger dess egen vikt. Den är så kraftfull att man måste hålla räkan i ett speciellt akvarium för att den inte ska slå sönder glaset.

Klubban har visat sig bestå av mineraliserade fiber-skikt, som fungerar som stötdämpare. Varje skikt roteras med en liten vinkel från skiktet nedanför tills man når 180 graders rotation. Forskarna har byggt kolfiber-epoxi kompositerna med denna struktur och jämfört den med ett kvasi-isotrop (den standard som används inom flygindustrin), som har alternerande lager staplade på varandra i en orientering 0 grader (första lagret), -45 grader (andra lagret), 45 grader (tredje lagret), 90 grader (fjärde lagret) och så vidare.

Målet var att undersöka slag-tålighet och energiupptagning.

Vid slagprov visade sig skadorna på alla de spiralformade proverna gjorda enligt räkans metod vara 20 till 50 procent lägre än på de kvasi-isotropa mänskliga. Ultraljudsprov visade att i de spiralformade proverna spreds skadan i sidled i strukturen, snarare än som en katastrofal spricka rakt igenom. Forskarna tryckte sedan proverna tills de gick sönder. Deras resultat visade att de spiralformade proven visade en signifikant ökning, cirka 15 procent till 20 procent, i resterande styrka jämfört med de kvasi-isotropa proven.

Vill du veta mera?

Markera och öppna hyperlänken:

[UCR Today: Mantis Shrimp Stronger than Airplanes](#)

Drönare som ser som insekter

Små insektslika drönare kan vara till nytta för övervakning i katastrofområden eller genomförande av varuleveransen till människor i otillgängliga trakter. Men tekniken är fortfarande ny och drönarna har en hög risk för att köra in i varandra i trånga utrymmen. Nu har forskare skapat ett konstgjort öga och navigationssystem som liknar insekters för att lösa detta problem.



Ögat hos en insekt

Detta är inte det första försöket att sätta insektsinspirerade sensorer i drönare, men det är första gången det har gjorts för sådana små drönare (andra har försökt att koppla upp dem med skrymmande digitalkameror). Insekternas sätt att se fungerar bra för drönare eftersom det inte har någon hög upplösning, men är mycket känsligt för föremåls rörelse eller förändringar i hur ljuset reflekteras. Det passar perfekt för manövrering av drönare genom små utrymmen med massor av hinder.

Man har gjort ett konstgjort öga, som väger bara två milligram. Det är gjort av tre fotodetektorer med en lins på toppen. Med en kombination av data från fotodetektorerna, som är arrangerade i en triangel, kan enheten bestämma hastighet och riktning oavsett om rummet är dåligt upplyst eller det är starkt ljus utomhus. Det kan dessutom göra det tre gånger snabbare än verkliga insekter.

Forskarna planerar nu att placera flera konstgjorda ögon på en drönare för att skapa ett mer sofistikerat visuellt system, som gör det möjligt för drönaren att stabilisera sitt läge i luften. De planerar också att utveckla en remsa av konstgjorda ögon, som kan fästas på alla typer av underlag, såsom andra typer av robotar eller möbler och kläder.

Man har tidigare utvecklat programvara, som gör att maskiner spårar rörliga föremål med samma precision som trollsländor. Även om trollsländor har ynkliga hjärnor och syn med extremt låg upplösning, har de ändå möjlighet att fånga byten med mer än 95 procents säkerhet mot ofta röriga bakgrunder som svärmar av andra insekter. De kan dessutom göra detta samtidigt som de flyger uppemot 100 km/tim.

Man har identifierat ett antal nervceller i trollsländors hjärnor, som specifikt spårar små rörliga föremål och ger dem deras otroliga förmåga att följa och avlyssna rov. I labbet plockade forskarna vingarna av trollsländor och borrade ett litet hål i huvudet där de kunde sätta en elektrod på nervcellerna. De placerade sedan sländorna framför en bildskärm och visade dem olika stimuli medan de spelade in data från nervcellerna.

Man fann att sländans förmåga att filtrera bort brus hjälpte den att spåra mål, som rör sig längs kontinuerliga banor. Sländor har också en "aktiv blickkontroll" eftersom deras ögon är fasta och de bara kan rotera huvudet. Detta tvingar dem att hålla sitt mål inom fem grader från den centrala



synriktningen men i stället för att bara försöka hålla målet perfekt centrerat i synfältet, läser de på bakgrunden och låter målet flytta sig mot den. Detta var en integrerad del av den spårningsalgoritm som forskarna skapade baserad på hur trollsländans hjärna hanterar information.

De testade hur bra deras algoritm var på att spåra rörelse genom att låta den analysera rörliga mål i en virtuell simulering av omvärlden. De tog bilder av naturscener och använde en dator för att sy ihop dem till ett cylinderformat panorama som ett slags virtuellt trollsländeöga. Sedan lät de sin algoritm spåra objekt, som rörde sig i en tredimensionell rymd, på samma sätt som en trollsländas hjärna. Resultaten var uppmuntrande: deras algoritm var tjugo gånger snabbare än andra liknande program på att lokalisera ett mål i en rörig miljö.

Ref: [Popular Science](#)

Ugglefjädrar ger tystare vindkraftverk

Ingenjörer från universitetet Virginia Tech i USA säger att ett turbinblad inspirerat av ugglefjädrar kan erbjuda ett sätt att minska buller från motorer eller vindkraftverk.



William Deavenport, professor i flyg- och havsteknik, har fokuserat på ett fenomen som kallas "bakkantsbuller." När ett blad på ett vindkraftverk skär genom luften åstadkommer den skarpa kanten på baksidan av bladet luftvirvlar och ljudvågor. Det resulterande bullret nämns ofta som ett hinder för mer omfattande installation av vindkraftverk eftersom det kan vara en olägenhet för närboende. Att hitta ett sätt att minska bullret kan öka användningen av vindkraft och tillgången på hållbar energi.

Deavenport insåg att en några, som verkar ha löst problemet med bakkantsbuller är ugglor. Till skillnad från många andra fåglar kan ugglor flyga mycket tyst för att överraska sina byten. Faktum är att när forskare i tidigare studier har mätt bullret från andra typer av fåglar, som duvor och hökar, med känsliga mikrofoner så har deras vingar genererat betydande bakkantsbuller. Men när en uggle flyger förbi mikrofonerna så hörs nästan ingenting.

Deavenport och hans medarbetare upptäckte att små hårstrån, som täcker ugglan fjädrar kan minska bullret. För att efterlikna denna effekt på ett vindturbinblad, utformade de en uppsättning revben, eller "småfenor" som skulle sitta framför bladets bakkant och tillverkade dem med 3-D tryckteknik.

Totalt har 22 olika konfigurationer provats i en vindtunnel, som har en ny utformning för att mäta akustiken. Dess väggar är gjorda av skräddarsydda Kevlar-paneler. Ljud kan gå igenom men inte luft. Bakom ett tätt sträckt tyg sitter 117 mikrofoner, som spelar in det ljud som alstras när luft rusar över bladet upp till 250 km per timme.

Dessa småfenor minskade faktiskt bakkantsbullret avsevärt. Man tror att detta beror på att småfenorna hugger upp turbulensen närmast bakkanten i mindre virvlar som inte kan generera ett högt ljud. Man har nu sökt internationellt patent på konstruktionen och är också involverade i licensieringsdiskussioner. Den nuvarande utformningen är optimerad för vindturbinblad men den bör också fungera för mindre blad, som fläktar i datorer och bilar.

<http://theroanokestar.com/2015/06/26/tech-engineers-inspired-by-owl-feathers-improve-wind-turbines/#sthash.1DubicoM.dpuf>

Fladdermöss använder superkänsl för att flyga med precision

Fladdermöss är beroende av imponerande komplexa flygmanövrer för att fånga byten i luften. Att förstå hur de hanterar dessa bedrifter kan leda till förbättringar i flygplan.



Forskare från Johns Hopkins University och Columbia University Medical Center har visat att fladdermöss kan ha sin utmärkta känsl att tacka för sin smidighet i luften. Enligt undersökningen, finns en unik samling av sensoriska receptorer som täcker djurens vingar och ger dem ständig återkoppling på förändringar i luftflödet. När forskarna stimulerade de små håren på vingarna med puffar luft, såg de omedelbara svar i fladdermössens sensoriska hjärncortex.

Fladdermöss har också ett ovanligt sätt att få dessa sinnesintryck från sina hårstrån till resten av kroppen. På grund av det sätt som fladdermusvingar utvecklats är fördelningen av deras nervbanor olika mot alla andra däggdjur. Nervceller i fladdermössens vingar kopplas inte bara till toppen av ryggmärgen, som är det vanliga. De skickar också signaler till den nedre delen av ryggmärgen. Denna ovanliga nervfördelning, skriver forskarna i studien, innebär förbättrad flygkontroll.

De tror att de har visat att en känsla av beröring är mycket viktigare för flygning med precision än man tidigare trott.

Tidigare har man oftare studerat hörsel och lukt. Men nu behöver de ta med känslen för att räkna ut hur fladdermöss kan ta in alla sensoriska data och förvandla det till en färdplan.

Som ett nästa steg kommer man att följa de sensoriska kretsarna i vingarna hela vägen från huden till hjärnan. I den föreliggande studien har man identifierat enskilda komponenter i dessa kretsar, men i nästa steg vill man se hur de är anslutna i det centrala nervsystemet. Ett ännu större mål är att förstå hur fladdermössen sammanställer sensorisk information från många receptorer i vingarna för att skapa en jämn, smidig flygning.

Forskarna hoppas att deras iakttagelser kan ge ett underlag för utveckling av nya flygplanskonstruktioner och att ingenjörer ska kunna utveckla liknande sensorer som hos fladdermössen för att reagera på turbulens och andra störningar.

Ref: [Washington Post](#)

Drönare lär av insekter

[Drones: The buzz of something new | The Economist](#)

Små förarlösa flygplan, de flesta av dem helikoptrar med fyra eller fler uppsättningar rotor, har flyttat ut från laboratoriet till praktisk användning. De används för flygfotografering och övervakning och i USA har Amazon fått tillstånd att testa en drönare för att leverera varor. Dessa drönare litar på en operatör på marken, vilket ofta är ett lagkrav. Men det är också en begränsning. Om drönare skall få autonomi måste de kunna flyga utan tillsyn. Då kommer de att behöva mycket mer intelligens.

Problemet är inte navigering. GPS och Google Earth kan tala om vilka hinder drönaren kan möta och det kan programmeras in innan den lyfter. Problemet är snarare det oväntade, det som inte finns på kartan. Drönare som ska kunna flyga själva måste ges sådana sinnen att de kan hantera sådana risker.

Ett sätt är att ta reda på hur naturliga drönare som bin och andra insekter navigerar och laboratorier runt om i världen försöker göra just det. Bin litar till exempel på optikflöde. Bekant för alla, som har tittat ut ur ett tågfenster, är att närliggande föremål verkar röra sig snabbare än avlägsna sådana. Vid universitetet i Oxford försöker man bygga in uppfattning om optikflöde i en drönare genom att koppla ett öga till en hjärna. Ögat är en videokamera som väger endast 8 gram. Den sänder en ström av bilder till hjärnan, som är en dator på marken, kopplad till kameran med Wi-Fi.

Datorn identifierar föremåls kanter och mäter dem från kant till kant. På så sätt

kan man räkna ut hur snabbt drönaren närmar sig något och om en kollision är trolig, hur den behöver flytta sig för att undvika den. Den använder sedan denna information för att ändra varvtal på rotorerna.

Det låter enkelt i princip, men kollisionsundvikande, speciellt när det som ska undvikas rör sig, kräver god manöverförmåga. Det är där flugor och fjärilar kommer in. Justerat för storlek är de bättre på manövrering än något stridsflygplan som ännu byggts. Alla insekter använder samma metod. De kombinerar vision med ett tröghets styrsystem.

Tröghetsnavigering bygger på att mäta positionen av något som på grund av sin tröghet motstår objektets rörelse. Konstgjorda system använder gyroskop. Malar använ-

der sina antenner och flugor ett par små organ som kallas "halteres", som har utvecklats från deras bakvingar och är formade som bollar på pinnar.

Flera grupper av forskare undersöker insekters tröghetsnavigering. Man har använt mikroelektroder för att följa insekternas nervimpulser och höghastighetsfotografering och datortomografi (en avancerad form av röntgen) för att följa rörelserna i deras externa organ och deras muskler.

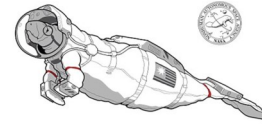
Flugor navigerar med hjälp av indata från hundratals kanske tusentals sensorer. Dessa är delar av deras sammansatta ögon, och även de många cellerna vid basen av deras "halteres". Signalerna från dessa, visar det sig, behöver inte passera genom hjärnan. Istället fungerar de som en serie reflexer, som styr insektens hastighet, inställning och kurs direkt. Det är motsatsen till de flesta metoder för drönaravionik. Men det tyder på att sann manövrerbarhet kan skapas bättre utan att försöka imitera funktionerna hos en hjärna.

Ett sätt hur manövrerbarhet kan byggas in i en drönares flygplansskrov visas av arbetet med nattfjärilar. Dessa insekter använder ett liknande styrsystem som flugor då de svävar över blommor för att dricka nektar från dem, men med information från sina antenner istället för flugors "halteres". Vid Johns Hopkins University har man funnit

att nattfjärilar håller sina huvuden och kroppar stadiga med avseende på en blomma genom att göra små förändringar i orienteringen av sina magar. Man har byggt en drönare med ett batteri, som hänger under den. Drönaren är utrustad med servomotorer som justerar dess position på det sätt som en fjäril flyttar sin mage. Det stabiliserar drönaren i luften.



På Harvard, har man byggt drönare, som verkligen är mikro. De mäter 3cm från vingspets till vingspets. Dessutom flaxar deras vingar som hos riktiga insekter i stället för att rotera. Man har byggt in enkla ögon i drönarna, och dessa fungerar som de små ögonfläckar, som insekter använder för att ta sikte på solen eller månen så att de kan flyga med en konstant vinkel till dessa avlägsna ljuskällor och därmed hålla en rak kurs. Detta tros vara orsaken till att fjärilar flyger i cirkel runt artificiellt ljus på natten. De konstgjorda ögonen är pyramidformade och har en kamera på varje sida. De kan således, som insekternas riktiga ögonfläckar, spåra solen. Man har ännu inte översatt denna förmåga till ett ombord navigationssystem, men det bör inte vara alltför svårt att göra det, så länge drönare inte stöter på några stearinljus.



Djur i rymden

Det är allmänt trott att människor kommer att vara de som erövrar rymden, men kanske djuren är bättre lämpade för dess utmaningar? Det är den fråga som ställs av [Nonhuman Autonomous Space Agency](#).



Skapad av den Maryland-baserade arbetsgruppen för adaptiva system, föreställer den sig en framtid där sjökor och kycklingar kommer att ha skapat sina egna ekosystem inuti rymdskepp. Även om detta projekt har en lättsam syn på djurrymdresor, så har djur varit nyckeln till att utforska nya gränser.

Under de senaste decennierna har rymdutforskning varit förbehållet mänskligheten, men så har det inte alltid varit skriver gruppen på sin hemsida. Sex nationella rymdprogram har hittills flugit djur i rymden: Sovjetunionen, USA, Frankrike, Kina, Japan och Iran. De användes som surrogat för att testa lämpligheten av miljön för människor.

Bananflugor var de första djuren att sändas ut i omloppsbana när de sattes ombord på en USA-lanserad V-2 raket den 20 februari, 1947. Två år senare blev Albert II, en Rheususapa, den första apan att nå ut i rymden. I November 1957 skickade Ryssland hunden Laika i omloppsbana ombord på sitt sovjetiska Sputnik 2 rymdskepp. Sedan, den 31 januari 1961 blev Ham den första schimpans en i rymden som en del av Nasas rymdprogram.

De första jordiska varelserna i rymden var alltså djur och djur erbjuder nya möjligheter att utforska rymden med dess risker och belöningar. Skulle till exempel inte ett djur, som redan är anpassat för livet i en tyngdlös miljö som vatten, vara bättre lämpat för fritt fall än en människa?

”Nonhuman Autonomous Space Agency” föreslår ett nätverk av robot och biologiska system för att utforska solsystemet. Gruppen har också en utopisk syn på framtiden eftersom den föreställer sig en framtid, där människor från Jorden värderar vår miljö så mycket att vi försöker åter skapa den i rymden inkluderande även djur.

Gruppen har försökt skapa en sådan imaginär värld kallad ”Lazy River” modellerad på södra Florida. Den är skapad med användning av 3D-skrivare, med en flod i mitten, och fönster som mottar solljus. Den roterar för att ge en konstgjord gravitation motsvarande den som finns på ytan av Mars, ungefär en tredjedel av jordens gravitation. Denna mängd av gravitation gör att kycklingar kan hoppa, och sjökor krypa upp ur vattnet. Speciella glasögon hindrar sjökornas ögon från att torka ut. Djuren kan inte förväntas att ta hand om sig själva så de kommer att bistås av robotar, programmerade för deras vård. Genom att skapa en sådan värld hoppas man att påminna folk om att framtiden inte bara hör till människan.

The ”Nonhuman Autonomous Space Agency” är ett forskningsprojekt inom ”Working-Group on Adaptive Systems”, ett konsultföretag i Baltimore som är centrerat kring konst och design. Grundat av Fred Scharmen 2008 har gruppen arbetat med många olika projekt som rör stadsmiljöer i en mängd olika branscher, med hjälp av unika metoder för varje projekt, se [Working-Group on Adaptive Systems](#).

Örnar jagar drönare

Ett nederländskt företag utbildar örnar för att fånga drönare i flykten. I den här bilden, släppt av nederländska polisen tisdag 2 februari 2016, sätter en utbildad örn klorna i en flygande drönare.
[New York Times](#)



Örnen flyter graciöst fram under en molnig himmel och sveper sedan ner på sitt byte med utsträckta klor. Målet är emellertid inte en annan fågel utan en liten drönare och när örnen slår den hörs ett metalliskt clunk. Med drönaren i sina klor återvänder rovfågeln till marken.

Vid ett nedlagd militärt flygfält i Nederländerna utbildas örnen att utnyttja sina instinkter för att bekämpa säkerhets-hot som härrör från spridningen av drönare. Polisen arbetar med ett Haag-baserat företag "Guard from Above", som utbildar örnar och andra fåglar att fånga drönare. Man vill undersöka om fåglarna kan användas vid stora evenemang eller i närheten av flygplatser, där de små flygande maskinerna är förbjudna.

Företaget anser att örnar är en lågteknologisk lösning på ett toppmodernt problem. En drönare kan ju åstadkomma omfattande förödelse på en offentlig tillställning, ett flygfält eller någon annanstans.

Under många år har regeringen letat efter sätt att motverka oönskad användning av drönare", säger Guard from Aboves grundare och VD, Sjoerd Hoogendoorn, i ett uttalande. "Ibland kan en lågteknologisk lösning på ett högteknologiskt problem vara mer uppenbar än det verkar. Detta är fallet med våra specialutbildade rovfåglar. Genom att

använda dessa fåglars djuriska drifter, kan vi erbjuda en effektiv lösning på ett nytt hot."

Fåglarna är utbildade att tänka att drönarna är deras byte och får en belöning om de fångar en. De lär sig att fånga små, obemannade drönare av den typ, som kan medföra risker för flygplan, släppa smuggelgods i fängelser, utföra övervakning eller flyga farligt lågt över offentliga tillställningar. Fåglarna kan ta ner drönaren säkert till marken snarare än att få den att krascha, vilket kan medföra risker för folk nedan.

Tanken att terrorister kan använda drönare spökar för säkerhetstjänster i Europa och på andra håll. Holländska polisen kommer sannolikt att ett beslut senare i år om att använda fåglarna. Metropolitan Police Service i London överväger också att använda utbildade fåglar för att bekämpa drönare.

Djurrättsaktivister är dock inte så tända på idén. Man anser att det innebär en allvarlig skaderisk för fåglarna, vars vingar och klor kan trassla i sig drönarens rotor. Den nederländska polisen har bett en organisationen för tillämpad vetenskaplig forskning att studera eventuella effekter på örnarnas klor, men resultaten är ännu inte kända.

Trollsländor kan ge bättre vindkraft

Trollsländor är urgamla djur som funnits på jorden länge. Trots det vet man inte allt om dem. Med hjälp av ny teknik avslöjas en del av hemligheten bakom insektens speciella flygförmåga. Forskning om dessa flygfän kan ge bättre vindkraft, Se [Enhanced flight performance by genetic manipulation of wing shape in Drosophila](#).



Per Henningson, Biologiska Institutionen vid Lunds Universitet, forskar på aerodynamik och flygprestanda hos flygande djur. Hans nuvarande projekt finansieras av ett fyraårigt anslag från Svenska Vetenskapsrådet (VR) och fokus ligger på aerodynamiken bakom manövreringsflykt hos djur. Projektet startade i början av 2014 och kommer att innefatta en serie vindtunnelbaserade experiment på utvalda arter från var och en av de tre grupperna av flygande djur - insekter, fåglar och fladdermöss.

Han använder modern flödesvisualiseringsteknik (Particle Image Velocimetry) för att fånga och analysera luftvirvlarna som bildas i vaket bakom djuren när de flyger i vindtunnel och utför olika typer av manövrer. Detta är till stor del ett outforskat område. Samtidigt representerar det något som är ständigt närvarande för alla djur som tar till vingarna eftersom det är inblandat i varje aspekt av flygning – t.ex. att fånga byten, undvika rovdjur, flyga genom komplicerade miljöer med olika typer av hinder, hantera byiga vindar och så vidare.

När forskare har studerat vingarna på trollsländor har de sett att de har en komplicerad struktur, som bland annat innebär att de är veckade ungefär som korrugerad plåt. Den här strukturen påverkar djurens sätt att flyga. Också vingformen påverkar. Trollsländor har en bred bas på vingen medan de närbesläktade flygsländornas vingar har en smal vingbas som sedan breddas utåt.

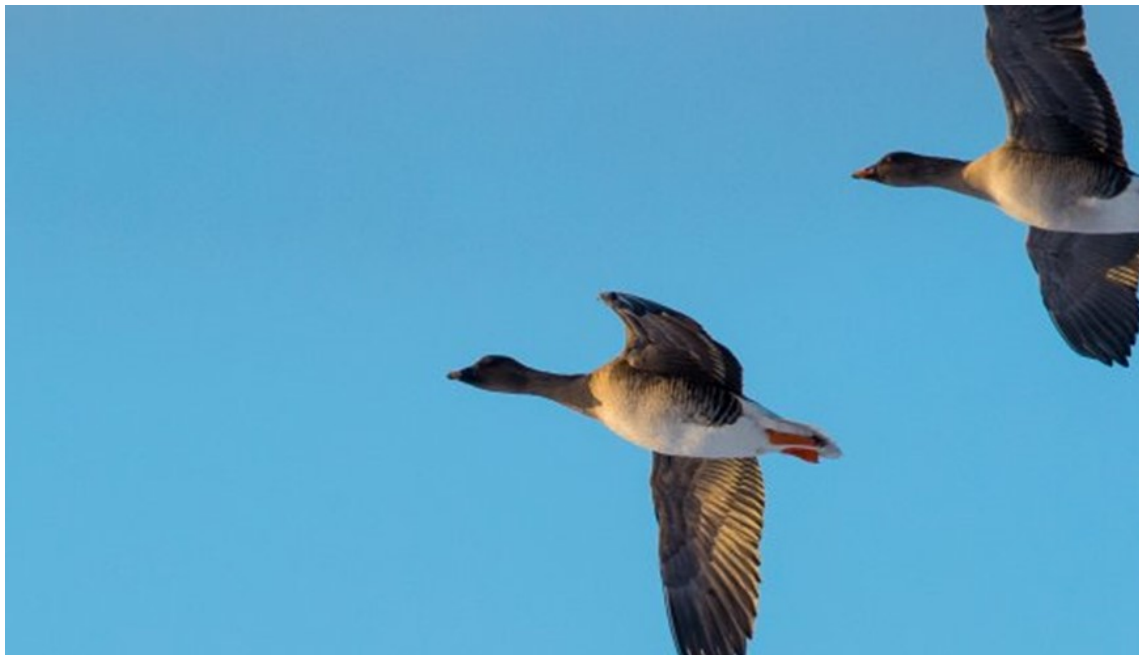
Det påverkar i sin tur hur de lever. Eller så har sättet de lever på utvecklat vingarna. Trollsländor har ett mer effektivt flygsätt, mer energisnålt. De flyger kontinuerligt och patrullerar i luften när de jagar. Flygsländorna däremot kan inte flyga lika energibesparande. De sitter i stället och väntar på sitt byte. De är däremot mer effektiva i manövrer och kan svänga snabbare i luften.

De nya rönen kan komma till nytta i andra sammanhang. Flygplansutvecklare har visat intresse när det gäller mindre obemannade flygfarkoster. Där finns det ett intresse för effektivt flygande eftersom man har svårt att få batterier att räcka. Ett annat mänskligt område är vindkraft. Vindkraftverk kan bli mer effektiva när det gäller vad olika vingformer kan göra.

Insektsvingars former är anmärkningsvärt skiftande och kombinationen av form och kinematik bestämmer både flygkapacitet och effektbehov. Emellertid är bidraget från någon specifik egenskap på prestanda inte känt. Trollsländans vingform förefaller inte att vara optimerad för vissa flygprestandaegenskaper som är kända för att vara viktiga. Förändring av vingformen utöver den naturliga variationen inom populationen, visar på en direkt effekt på flygprestanda. Förändring av en enda gen kan avsevärt förbättra flygförmågan.

Forskare upptäcker hemligheten med termikflyg

Flyttfåglar använder ofta varm, stigande luft vid flygning över långa avstånd. Forskare har funnit svaret på hur de bär sig åt. [Scientists determine how birds soar to great heights](#)



Termik, även kallad konvektion, uppstår när solen värmer jordens yta. På vissa punkter samlas varm luft och stiger. Som ett synligt tecken kan det ibland bildas cumulusmoln.

Fåglarna använder termik och gör det med liten ansträngning för att flyga långa sträckor även i turbulens. Hur hittar de den perfekta banan? Orienterar de på temperaturskillnader? Eller snarare på hastigheten hos de vertikala, termiska vindarna och rotationsvinkeln? Om man förstår hur fåglar fattar beslut kan man också lära sig att bygga bättre segelflygplan och drönare.

Redan flygpionjären Otto Lilienthal såg på storkar i luften och försökte förstå hemligheten bakom deras flygning. Mer än hundra år efter hans dödliga krasch nära Berlin studerar forskare fortfarande fåglar. Hur djuren rör sig i luften är en gåta ännu i denna dag på vissa områden. Nu har amerikanska fysiker försökt att analysera så kallad termikflykt hos flyttfåglar. Exakt hur fåglar navigerar inom denna ständigt föränderliga miljö för att optimera sin flygning har hittills varit okänt.

I en artikel i tidskriften *Proceedings of the National Academy of Sciences* har forskarna visat med matematiska modeller hur segelflygplan skulle kunna sväva mer effektivt genom att anta de inlärningsstrategier som fåglar använder för att navigera sig igenom termik. Forskarna studerade den komplicerade tekniken vid termikflygning med datormodeller. Ett tillvägagångssätt var så kallade självförstärkande inlärningsalgoritmer, där en pilot på ett segelflygplan utbildas kontinuerligt i en datorsimulering genom att han får omedelbar feedback på sina flygmanövrer.

Forskarna tog hänsyn till bankningsvinkel och angreppsvinkeln på segelflygplanets vingar samt hur temperaturvariationer inom termiken påverkade den vertikala hastigheten. De skriver i sin artikel att, baserat på deras studie så verkar "vridmoment och vertikala accelerationer" vara sensomotoriska ledtrådar som mest effektivt styr den väg fåglar tar genom termik. Temperaturförändringar inom vindarna spelade en mindre roll. För segelflygplan kan man därför sannolikt avstå från temperaturmätare till förmån för relativt enkla mekaniska instrument för mätning av vridmoment, skriver forskarna.

Denna information kan tillåta autonoma segelflygplan att flyga långa sträckor med minimal energiförbrukning. Genom att känna av vertikal vindacceleration och vridmoment kan segelflygplanet klättra och hålla sig inom termikkärnan där hissen är störst, vilket resulterar i förbättrade höjdprenstanda, även i närvaro av starka turbulenta svängningar. När turbulensen stiger kan segelflygplan undvika att förlora höjd genom att använda alltmer konservativa flygstrategier såsom att fortsätta längs samma väg snarare än att vända.

Otto Lilienthal störtade den 10 augusti, 1896 strax efter start från ett berg i Brandenburg från femton meters höjd. Forskare vid tyska Aerospace Center (DLR) har nyligen undersökt varför och kommit fram till att han kraschade med sin så kallade Segelapparat efter att ha fått för mycket uppvind och vikt sig. Det han höll på med hade dock ingenting med termikflygning att göra. Glidtalet på hans Segelapparat var så lågt att det var nästan mer av en kontrollerad störning.

Sover medan de flyger

Forskare har för första gången bevisat att fåglar kan sova medan de flyger. Fregattfåglar verkar flyga i sömnen utan problem. Förmågan är sannolikt en nödvändig anpassning för fåglar som flyger långa sträckor. Det märkliga är att de klarar sig på mindre än en timmes sömn per dygn.



Studien, som publiceras i [tidskriften "Nature Communications"](#) har utförts av ett internationellt forskarlag under ledning av biologer vid Max Planck-institutet i Tyskland. I sin redogörelse konstaterar de att vissa fågelarter, exempelvis många tornseglare, småvadare och havsfåglar, flyger non-stop i flera dagar, till och med veckor, när de flyttar mellan kontinenterna eller rör sig över oceanerna. Under flygningarna, som ofta varade i dagar behövde de betydligt mindre sömn än på land.

Frågan är hur de bär sig åt för att stilla sömnbehovet. Det har antagits att de sover medan de flyger. Bevis för detta har dock saknats, och vissa forskare har spekulerat i att några av arterna kanske har utvecklat anpassningar för att klara sig utan sömn över huvud taget under långa perioder.

För att få svar valde forskarna en havsfågel som studieobjekt — den större fregattfågeln (Fregata minor). Fregattfågeln är en liten familj med bara fem arter. De är stora fåglar med ett vingspann på över två meter — men de väger bara 1-1,5 kilo. Inga andra fåglar har lika stora vingar i förhållande till sin kroppsvikt. Som jämförelse kan nämnas att grågäss och kanadagäss, som väger uppemot fem kilo, har vingspann på bara 1,7 meter. Detta gör fregattfågeln till fenomenala akrobater i luften. De vänder på en femöring, störtdyker och tvärstannar i nästan en och samma rörelse.

De häckar på oceaniska öar i tropikerna. Resten av året tillbringar de ute till havs där de plockar fiskar och bläckfisk från havsytan. Ibland prejar de andra havsfåglar och stjälar deras fångst. Deras flygskicklighet kan behövas eftersom de till skillnad från andra havsfåglar inte har vattentät fjäderdräkt. De kan alltså inte landa på vattenytan, utan måste hela tiden hålla sig i luften.

Fregattfåglar färdas enorma sträckor över oceanerna. En nyligen publicerad studie i Science visar att de färdas i genomsnitt 410 kilometer varje dag — och att de befinner sig i luften i två månader i sträck utan att landa. Under den tiden

sover de i flykten, men bara knappt en timme per dag. De förbrukar förvånansvärt lite energi under tiden tack vare sin förmåga att glidflyga. Genom att utnyttja luftströmmarna kan de färdas över 60 kilometer utan ett enda vingslag.

Sover de något under denna tid? Ja, hävdar forskarna i den nya studien. De försåg fregattfåglar i en koloni på Galapagosöarna i Stilla havet med små specialbyggda apparater som mätte hjärnaktiviteten hos fåglarna under deras tid ute till havs för att se om de var vakna eller om de sov. Ornitologer utrustade dem också med anordningar för att mäta deras hjärnvågor under upp till tio dagar långa flygningar.

Apparaterna kunde skilja på två typer av sömn, dels djupsömn eller SWS (slow wave sleep), dels drömsömn eller REM-sömn (rapid eye movement sleep). Det visade sig att fåglarna faktiskt sov under korta perioder, trots att de befann sig i luften. Under dagtid var de vakna hela tiden, men på natten nickade de till upp till sex minuter åt gången. Forskargruppen fann att djuren kunde slumra fyrtiofem minuter per dygn i luften. Mestadels handlade det om djupsömn, men ibland även om drömsömn.

Intressant nog kunde de sova med en hjärnhalva åt gången, precis som delfiner, men ofta sov de med hela hjärnan samtidigt — märkligt nog utan att tappa kontroll över flygningen. De lyckades också undvika att kollidera med andra fåglar. Om de använde stigande luftströmmar i en cirkulär rörelse var vanligtvis den del i hjärnan vakna, som är förbunden med ett öga och att titta i flygriktningen.

Det märkligaste var dock hur korta sömnperioderna var. I genomsnitt sov fåglarna bara 42 minuter per dygn. Detta är en fenomenalt kort tid. En människa eller något annat däggdjur skulle kollapsa mycket snabbt med en sådan dygnsrytm. Uppenbart är att fåglar och däggdjur skiljer sig åt radikalt på den här punkten.

Även fregattfågeln tycks dock i slutändan lida av sömnbrist för när de väl kommer i land kan de sova mycket djupt

Pollinering med drönare

Planer för artificiella pollinerare är på gång.

Drönare är tänkta att lata sig i kupan medan deras systrar samlar nektar och pollinerar blommor. Men bin har blivit allt mer sällsynta. Nu ska de ersättas av drönare gjorda av människor. [Robot bees: Plans for artificial pollinators are afoot | The Economist.](#)

Drönaren i fråga är en skapelse av Eijiro Miyako på National Institute of Advanced Industrial Science and Technology i Tsukuba, Japan. Det är det första försöket av en ingenjör att ta itu med vad många uppfattar som en överhängande jordbrukskris. Pollinerande insekter i allmänhet, och bin i synnerhet minskar i antal. Anledningarna till det är oklara, men man fruktar att vissa grödor kommer att bli knappare och dyrare som följd. Försök att öka antalet naturliga pollinerare har hittills misslyckats. Kanske, tänkte Dr Miyako, är det dags att bygga några konstgjorda istället.



”Robotbiet kan plocka upp pollen med penslar av hästhår, som gjorts klibbiga med hjälp av en sorts gel”.

Styrs av mänsklig operatör

Hans pollinator-drönare ser inte, det måste sägas, ut som ett bi. Det är en modifierad version av en kommersiellt tillgänglig quadcopter, 42mm tvärs över och 15 gram tung. (Som jämförelse är en av honungsbinas arbetare omkring 15 mm lång). Men drönaren kan faktiskt pollinera blommor. Specifikt och avgörande är att Dr Miyako har utrustat den med penslar av hästhår som bestrukits med en sorts gel, som är klabbig nog att plocka upp pollen, men inte så klabbig att det pollen, som borstas upp, blandas mot något annat.

När drönaren flyger in i en blomma plockar den med hjälp av de klabbiga hästhåren med sig pollen och tar det sedan vidare till nästa blomma. Forskarna har redan framgångsrikt lyckas pollinera japanska liljor med hjälp av drönarna.

Tidigare försök att bygga konstgjorda pollinatörer har misslyckats med att hantera detta. Dr Miyako har däremot lyckats. Experiment där drönaren flyger till liljor och tulpaner visar att de gelinsmorda håren kommer i kontakt med både pollenbärande ståndarknappar och pollenmottagande pistiller hos dessa blommor. Det visar sig att drönaren verkligen kan bära pollen från blomma till blomma på det sätt en insekt gör, fast man har ännu inte bekräftat att fröna resulterat i befruktning.

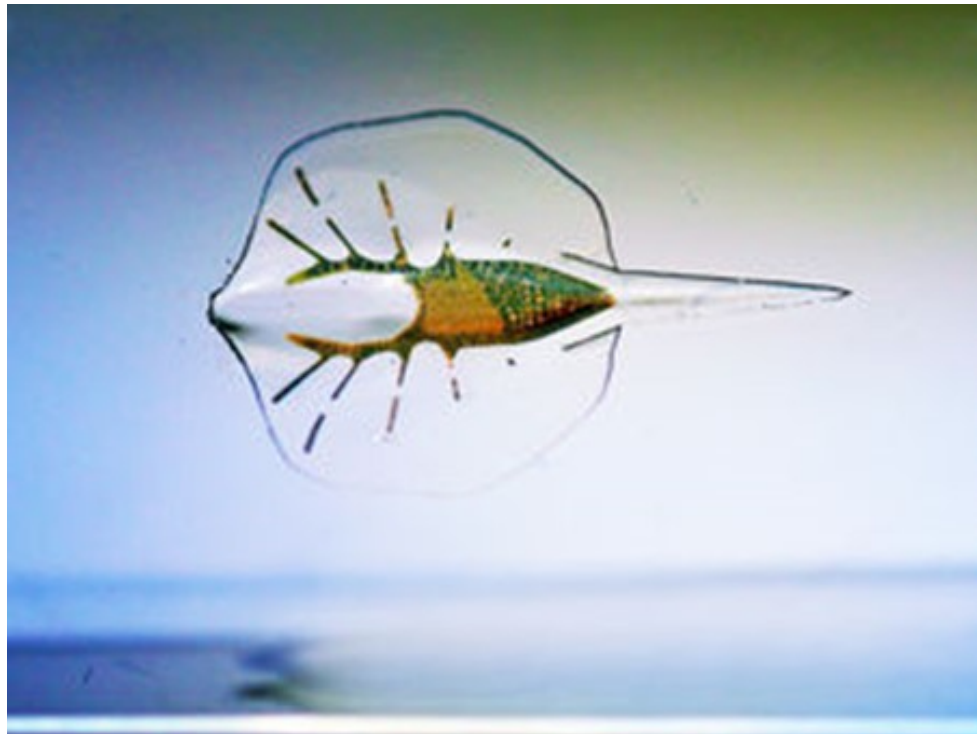


Just nu måste Dr Miyakos drönare styras till sina mål av en mänsklig operatör. Nästa steg blir att utrusta dem med vision som låter dem känna igen blommorna själva. Lyckligtvis är visuell programvara tillräckligt utvecklad för att detta inte bör vara alltför svårt. I framtiden, när du går genom en fruktträdgård i blom, lyssna alltså efter surrande drönare istället för surrande bin.

En robotstingrocka, som drivs av verkliga muskler

Luft är inte det enda medium genom vilket djuren rör sig genom flaxande. Många varelser har vingar eller vingliknande strukturer för att "flyga" genom vatten. En grupp vid Harvard University har byggt en robotstingrocka, som imiterar rörelsen hos dess biologiska motsvarighet. Dessutom gör den det inte med elektriska kretsar och servon som konventionella robotar, men med muskelceller konstruerade för att efterlikna de eleganta vågrörelserna i en levande stingrocka..

[Biomimetic engineering: Flight of fancy | The Economist](#)



Det är en så kallad mjuk robot. Mjuka robotar, som är gjorda av material som latex och silikon, kan pressa sig genom trånga öppningar, hantera ömtåliga objekt och interagera med människor långt säkrare än sina stela metall och plast motsvarigheter. De flesta mjuka robotar drivs av pneumatiskt tryck eller kablar som i sin tur drivs av skrymmande motorer. Men verkliga muskler är mycket mer meningsfullt för en mjuk robot, eftersom musklerna också är mjuka och drivs av glukos, inte av motorer.

Forskarna valde muskler från råttor för sin robot. De odlade råttmuskelceller och "printade" dem sedan på skivor av elastomer som skulle fungera som underlag för en robots vingar. Muskelceller fungerar genom att dra ihop sig, vilket är anledningen till att muskler ofta fungerar i par (som biceps och triceps i armen), där delarna drar i motsatta riktningar. För enkelhets skull så använde man bara ett skikt av en muskel för att dra i en riktning. Motdraget tillhandahölls av ett skelett av guld som hade satts under spänning av muskelcellernas ursprungliga kompression.

För att samordna muskelcellernas sammandragning på ett sätt som kunde driva roboten framåt, så printade man dem i slingrande mönster. När en cell aktiverades släppte den kalciumjoner som agerade (så som händer i naturen) som en signal till nästa cell att dra ihop sig. På det sättet överför-

des vågor av muskelrörelser från en ände av roboten till den andra.

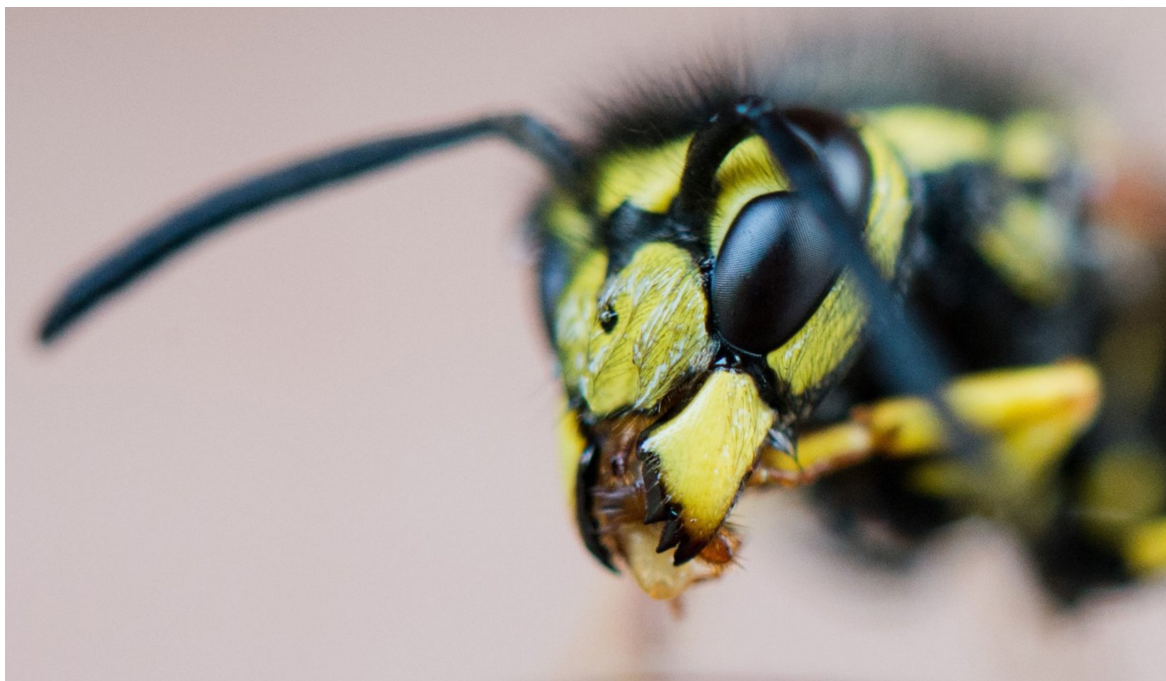
Muskelcellerna var genetiskt manipulerade så att ljus aktiverade deras sammandragning. Blinkande ljus på framsidan av robotens fenor gjorde att en vågrörelse började spridas. Varje ny blix utlöste en ny vågrörelse, så att roboten rörde sig framåt i en rak linje. Om man ökade blinkfrekvensen på ena sidan av roboten men inte på den andra så flaxade den vingen snabbare och roboten roterade. På det sättet kunde man styra roboten. En således kontrollerad 16mm lång robot kunde förflytta sig 90 mm på en minut och slutföra en 250 mm lång slalombana vid den hastigheten utan att röra något av hindren. Dessutom var det möjligt att göra det sex dagar i följd och behålla 80% av den ursprungliga hastighet intill den sista dagen.

Vad en sådan robot kan användas till återstår att se. Den nuvarande konstruktionen kräver att vätskan som roboten simmar i innehåller glukos för att driva musklerna. En framtida version kan vara försedd med en glukosbehållare och ett hjärt-kärlsystem för att cirkulera glukos. Roboten skulle då kunna användas i vatten bara det fanns tillräckligt med syre där för att muskelcellerna skulle kunna andas. Den skulle då likna ett riktigt djur fast konstgjort.

Forskare vill använda getingar för att förbättra drönare

Efter att ha tillbringat de senaste tio åren med att studera markhäckande getingar anser sig en forskargrupp från Australian National University (ANU) ha upptäckt hemligheten bakom getingars förmåga att navigera och vill kunna använda den för att stödja den framtida utvecklingen av drönare.

[Engadget](#)



Moderna autonoma drönare måste vara lastade med högupplösta kameror, GPS radioapparater och en massa andra högteknologiska prylar för att veta var de är och vart de är på väg. Getingar, å andra sidan, behöver bara sina sammansatta ögon och en daglig repetitionsflygning.

Forskarna använde höghastighetskameror för att spåra getingarnas ögonrörelser och från dessa data, räkna ut hur insekterna letade sig fram. Forskarna fann att då markhäckande getingar lämnar sina bon varje dag så flyger de längs en serie av ständigt ökande bågar innan de vänder tillbaka hemåt. Medan insekterna ökar höjd och avstånd är deras uppmärksamhet fokuserad på boet. Getingar förlorar aldrig sitt bo ur sikte.

Därefter använde forskarna dessa kunskaper för att testa specifika förutsägelser om vad getingar lär sig under sina inlärningsflygningar och hur de använder denna information för att navigera. Studierna visar att bågarna getingarna flyger följer ett anmärkningsvärt exakt mönster. När de stöter på en bekant vy på väg hem, flyttar de sig till vänster eller höger beroende på riktningen till boet i förhållande till vad de har sett. De verkar också att förlita sig på markens beskaffenhet nära boet för att vägleda dem.

Forskare flyttade en panoramakamera längs vägarna som flögs av getingar och byggde 3D-modeller av getingarnas miljö för att göra förutsägelser inom dessa modeller. De testade också sina förutsägelser genom att simulera målsök-

kande flygningar av getingar i virtuell verklighet. De fann att getingar gör mycket likartade manövrer i returflygningar som de gör under inläring. Deras uppgifter tyder också på att getingar registrerar förändringar under inlärningsflygningar och använder skillnaderna de upplever i förhållande till tidigare för att avgöra när man ska börja en ny inlärningsbåge.

Resultaten visar hur underbart självständig, flexibel och robust getingarnas förmåga att känna igen omgivningen och manövrera i den är. Inlärnings- och navigeringsförmågan hos getingar gör dem smartare än något människor kunnat bygga. De delar denna fundamentalt viktiga förmåga med de flesta djuren på jorden.

Nästa steg är att undersöka hur slutsatserna när det gäller getingar kan förklara målsökande hos andra insekter, särskilt bin och myror. Forskningen bör ge biologer bättre förståelse för de mentala mekanismer som är involverade i insekternas navigationsförmåga. Det är en del av en mycket större insats inom ekologisk neurovetenskap, ett område för att utforska informationsbehandling under naturliga förhållanden. Bland annat vill man förstå hur denna navigationskompetens utvecklats. Då kanske man kan skapa flygande robotar med liknande kapacitet. Att ersätta dyra högupplösta kameror och minska strömförbrukningen utan att förlora information är avgörande för visuell navigering.

Jagande hökar och fladdermöss

Det amerikanska flygvapnet sponsrar zoologer vid Oxford

Economist: [Animal behaviour and missile design](#)

Falkjakt är mindre fashionabelt nu än det var i forna dagar, men under de senaste åren har skarpögda vandrare i södra Wales kunnat bevittna en uppdaterad version av detta gamla tidsfördriv. Sedan 2012, i ett projekt som sponsras av Förenta staterna flygvapen, har Oxford University flugit pilgrimsfalkar (se bild) och hökar över Svarta bergen i Monmouthshire att studera hur dessa fåglar jagar sitt

byte. Amerikanska flygvapnet hoppas fåglarna kan lära dem ett trick eller två om avlyssning av mål,

både i luften och på marken. Man satte miniatyrkameror och satellit trackers på selar, som bärs av fåglarna. Sedan lät man dem bland annat attackera en död fasan på marken, jaga en död fågelunge som släpades längs marken och genom en serie av tunnlar av en vinsch och kabel, och fånga en död fågelunge, som släpptes på hög höjd från ett radiostyrd modellflygplan. Bilder av banan när fågeln fångade sitt byted spelades in i en dator.

Den första upptäckten var att i stället för att jaga på det sätt som tidigare forskning hade visat, nämligen att hålla bytet vid en konstant vinkel när de flög in för att fånga det, så följde fåglarna en regel som kallas proportionell navigering, som för närvarande används av många missilsystem. Till skillnad från konstant vinkelspårning kräver det ständig omräkning av hastighet och bäring, och anses vara ett svårt trick. Vad som verkligen fascinerade forskarnas finansörer var dock vad en pilgrimsfalk gjorde om en levande fasan eller and dök upp under ett test. Sedan fågeln omedelbart tappat intresset för sitt gamla byte, jagade den det nya med hjälp av en spårningsteknik, som kallas optimal vägledning. Den används bara av de mest avancerade typerna av missiler. Optimal vägledning använder optimal reglerteori, en gren av matematik som även används för lagerstyrning av tillverkningsprocesser. Det har lett till att flygvapnets experter hoppas att rovfåglarna kan ha andra tekniker att visa upp, kanske även sådana som ingenjörer på mänskliga missiler ännu inte har tänkt på.



I Lund studerar man fladdermöss

Animal Flight Lab Lund University
[Sensorisk motorintegration i fladdermus](#)

En fladdermus upptäcker, lokaliserar, spårar och fångar byten på så lite som 0,5 sekunder från detektering. Denna snabba växelverkan mellan fladdermusen och dess byte utmanar inte bara de akustiska bearbningsalgoritmerna utan också hur snabbt behandlingen leder till beslut. Under perceptionen bombas hjärnan med information, som måste filtreras för att minska mängden information hjärnan måste sortera igenom och snabba upp svaret. Fladdermöss gör förmodligen denna typ av filtrering genom att emittera en smal ljudstråle under sökandet efter byte. Behovet av snabbhet driver emellertid inte bara det sensoriska systemet och informationsbehandlingen till dess gränser, utan också manövrerbarheten och smidigheten i flygningen.

Eftersom fladdermöss använder ekolod för navigering erbjuder de en unik chans att studera hur de gör. Fladdermusen visar sig avge en signal som beror på dess förväntningar. Om den möter ett öppet utrymme avger den en signal med lång varaktighet och hög intensitet för att nå långt, men om den möter ett litet utrymme minskar den varaktigheten och intensiteten för att minska informationsbelastningen och störningen. Således har vi ett unikt system för att studera den aktiva dynamiska kopplingen mellan uppfattning och handling och hur fladdermöss uppfattar omgivningen och vi kan samtidigt övervaka hur de anpassar sitt flyg- och akustiska beteende.



Världens snabbaste djur är en fladdermus?

En brasiliansk fladdermus kan ha uppnått hastigheter upp till 44 m/s, vilket skulle göra den snabbare än någon fågel. [Speedy bat flies at 160km/h, smashing bird speed record | New Scientist](#)

De brasilianska fladdermössen är kända för sin exceptionellt snabba flygning och detta är de största flyghastigheter, som dokumenterats bland fladdermöss och fåglar. Man har alltid trott att fåglar flyger snabbare än fladdermöss, men den snabbaste fågeln i friflykt är tornseglaren (*Apus apus*), som når omkring 31 m/s.



Det finns fortfarande en hel del att lära sig om fladdermössens flygförmåga, men det är lätt att underskatta djur som är dolda från insyn på grund av nattliga vanor. Man vet att brasilianska fladdermöss flyger långa sträckor för säsongsmigration men också under deras nattliga sökande efter föda över avstånd på mer än 50 km mer än 1 km ovanför marken. De är väl anpassade till sin flyglivsstil, med långa, vinklade, smala vingar. Vingarnas hud är full av muskler som kan ändra hudens styvhet och därmed vingarnas form mer än hos fågel- eller insektsvingar.

Men inte i dykning

Forskare som har spårat fåglar med Dopplerradar säger att de flesta fåglar flyger någonstans runt 10 m/s. Men änder och andra vattenfåglar flyger ofta dubbelt så snabbt. Pilgrimsfalken är den snabbaste fågeln - och i själva verket det snabbaste djuret på jorden - när den är i sitt jaktdyk. När den utför detta dyk, svänger falken upp till en stor höjd och dyker sedan brant i hastigheter över 90 m/s.

[Flying with the world's fastest bird | Earth | EarthSky](#)



Men om storleken är viktig, hör titeln världens snabbaste fågel faktiskt till den lilla kolibrin, avslöjar ny forskning.

[World's Fastest Flyer Is a Hummingbird? - National Geographic](#)

Kolibrierna dyker nästan alltid mot solen och de rör sig med 27 m/s, tekniskt långsammare än en falk, men när det gäller kroppsstorlek rör sig kolibrin med i genomsnitt 385 gånger sin egen kroppslängd på en sekund och falken med 200 kroppslängder. När de vänder upp från sina dyk måste kolibrier klara nästan tio gånger gravitationskraften, eller tio g. Racerbilar som accelererar från noll till 160 km/h på mindre än en sekund, utsätter sina förare för bara fem g.

Svärmintelligens

En hobbyfotograf tog denna prisbelönta ögonblicksbild. Den visar en flock av tusentals starar i Spanien, som har tagit form av en jätte fågel. Men varför bildar fåglar sådana svärmar och hur bär de sig åt?
[Stare: Foto zeigt Vogelschwarm in ungewöhnlicher ... - Spiegel Online](#)



Det ser nästan alltför perfekt ut. Bilden tagen av den tyska hobbyfotografen Daniel Biber förra året visar hur en flock starar formerar sig till en jätte fågel. Biber, som driver en cykelbutik nära Bodensjön, hade studerat en flock böljande starar i flera dagar. När tusentals djur flyger i formation, förändrar de ständigt sin form. Även om svärmar av kajor visar ett liknande beteende, är ing andra fåglar lika imponerande som starar.

Bilderna togs på Costa Brava i nordöstra Spanien och svärmen behövde ungefär tio sekunder för att bilda den gigantiska fågelns form. Tydligt hade rovfåglar försökt att jaga svärmen. Därför förändrade stararna blixtnabbt formen på sin svärm för att undkomma attacken. Detta händer mycket ofta och ornitologer tror att stararnas pulserande dans, som kan ses på många platser i Europa varje höst, används främst för att försvara sig. Med den konstanta rörelsen i svärmen, där alla djur verkar fungera helt synkroniserade, gör de det svårare för rovfåglar att lyckas. Dessutom ökar storleken på svärmen den individuella chansen att överleva.

För att skaka av fienderna har stararna dessutom utvecklat en mycket speciell strategi. Om en hök flyger in i svärmen förtätar stararna den och utövar tryck på den större fågeln från alla håll. Slutligen kan rovfågeln inte använda sina vingar och faller ut ur svärmen så att stararna kan fly.

Men hur lyckas stararna flyga så homogent och elegant i en grupp och ändå ständigt byta form och riktning? Finns det

några ledarfåglar, som de andra styrs av? Nej, studier har visat att fåglarna handlar gemensamt. Det behöver ingen yttre styrning. Varje fågel orienterar sig i svärmen efter sina knappt halva dussinnet grannar och håller alltid samma avstånd till dem. Om en fågel ändrar riktning eller tempo, anpassar sig de andra och en typ av kedjereaktion utlöses, som gradvis sprider sig till hela flocken. Forskare talar om framväxande beteende. Bevis för denna mekanism har hittats i olika studier där fåglarnas beteende utvärderades med videokameror. Detsamma är känt om fiskstäm och simmande ånder.

I princip kan därför varje djur styra formationen. Men i praktiken är det kanske inte så. Självklart försöker stararna komma till mitten av svärmen, där de starkaste djuren flyger. Här är det säkraste stället att gömma sig från rovfåglar. Strävan att komma inåt mitten gör att de andra fåglarna orienterar sig efter de starkare fåglarna i mitten av flocken och flyger efter dem tror vissa forskare.

De mekanismer som fåglar använder har länge varit i fokus för forskning. Det är inte bara ornitologer som är intresserade av detta, men också fysiker, matematiker och ingenjörer. Redan i mitten av 1980-talet hade amerikanska forskare använt datorer för att utveckla en modell som simulerade fågelsvärmar. Det handlar om att förstå till exempel dynamiken i kollektiva rörelser i folkmassor och framförallt styrning av svärmar av militära drönare.



Spindlar driver med vinden

Det enklaste sättet att flyga är att driva med vinden. Ett stort antal små djur, främst leddjur (till exempel insekter och spindlar), transporteras upp i atmosfären genom luftströmmar och kan hittas flygande flera tusen meter upp. [How Spiders 'Fly' Hundreds of Miles - Live Science](#)

Flygande djur finns överallt. Fjärilar dansar i parkerna och måsar svävar över vattnet. Även mitt i natten fladdrar insekter genom mörkret medan fladdermöss försöker fånga dem. I några delar av världen tar sig mycket underliga varelser upp i luften, flygande grodor, ormar och ödlor, till och med fiskar. Men dessa djur kan bara glida en kort sträcka. De har inga riktiga vingar och kan egentligen inte flyga. Fåglar och fladdermöss är däremot riktiga flygare.

Men varför alls flyga. Skälet är att det är praktiskt. Ett flygande djur behöver inte tränga sig fram genom tät skog eller klättra uppför branta berg utan kan ta sig direkt till sitt mål. Att flyga är också bra för att undkomma angripare. En fågel eller insekt som anfalls på marken kan flyga iväg. Flygande djur kan också ha sina bon i säkerhet högt ovanför marken. De kan dessutom hitta mat där ingen annan kan göra det.

Men flygning har också nackdelar. Det kräver mycket energi. Flygande djur måste ha mycket mat. De behöver energirik föda som frön och kött. De klarar sig inte på löv och gräs. Flygare måste också vara lätta och de måste ha mycket muskler för att kunna lyfta. För stora djur krävs extremt stora vingar, vilket sätter en gräns för storleken. Även de största fåglarna väger inte mer än tio kilo. En människa skulle behöva trettio meters vingar för att flyga.

Det finns däremot ingen riktig minsta storlek för att bli luftburen. Det enklaste sättet är att driva med vinden. Mycket små djur kan föras upp av vinden. Det finns faktiskt många bakterier som flyter omkring i atmosfären. De drivs inte av muskler utan snarare av yttre aerodynamiska energikällor som vind och stigande termik. Jordens statiska elektriska fält kan också ge lyftkraft i vindlösa förhållanden. Flygningen kan fortsätta så länge som källan till extern kraft är närvarande.

Luftplankton är små livsformer som flyter och glider i luften och bärs av luftströmmar. De flesta luftplankton är mycket små, nästan mikroskopiska i storlek, och många kan vara svåra att identifiera på grund av detta. Forskare kan samlas dem för studier i nät från flygplan, drakar eller ballonger. De består av många mikrober, inklusive virus, cirka tusen olika bakteriearter, cirka fyrtiotusen svamparter och hundratals arter av alger och mossor, som lever en del av sin livscykel som plankton, ofta som sporer, pollen, och vindspridda frön.

Ett stort antal små djur, främst leddjur (till exempel insekter och spindlar) transporteras också upp i atmosfären genom luftströmmar och kan hittas flytande flera tusen meter upp. Många spindelarter använder medvetet vinden för att driva omkring. Spindeln hittar en utsiktspunkt som en gren eller ett staket, lägger sig med buken uppåt och skjuter ut fina trådar av silke. Silket hårdnar och mer dras ut från spindeln när vinden fångar det. Så småningom är kraften som utövas av luften på silkestråden tillräckligt stor för att lyfta upp spindeln i luften. Sådana spindlar kan driva många mil. Spindlar har hittats vid atmosfäriska prov som samlats in från ballonger fem kilometer över jorden och av fartyg mitt ute i havet. De flesta flygningar slutar efter bara några meter, men seglare har rapporterat spindlar fångade i skeppets segel över 1600 kilometer från land.

Det antas allmänt att de flesta spindlar tyngre än 1 milligram sannolikt inte flyger. Eftersom många individer dör under flygningen är det också mindre troligt att



vuxna flyger jämfört med unga spindlar. Unga spindlar behöver sprida sig för att förbättra sin chans att överleva. De vill inte konkurrera med sina föräldrar och syskon så de måste "komma undan". Vuxna spindelhonor, som väger mer än 100 milligram och med en kroppstorlek på upp till 14 mm har emellertid observerats flyga med hjälp av stigande varmluft under heta dagar utan vind. Dessa spindlar använder tiotals till hundratals silkesband, som bildar ett trekantigt ark med en längd och bredd på cirka en meter. Silket kan också användas av en vindbläst spindel för att förankra sig för att stoppa resan.

Avstånden som dessa trådar kan ta spindlarna kan vara stora, vilket observerades redan av Charles Darwin, som en klar novembermorgon 1832 stod på Beagles däck och tittade uppåt. Tusentals små spindlar flög genom luften fästa vid bitar av spindelnät och landade på fartygets rigg. Beagle seglade omkring hundra kilometer från Sydamerikas östkust och Darwin trodde att spindlarna hade flugit åtminstone så långt. Spindlar på silkestrådar har hittats tusentals meter ovanför de hawaiiiska öarna, den yttersta ön gruppen på jorden. Vissa kvalster och vissa larver använder också silke för att sprida sig genom luften.

Spindlar är viktiga rovdjur av insekter och kan minska behovet av att bönder sprutar stora mängder bekämpningsmedel. Bättre förståelse för hur spindlar reser långa avstånd kan hjälpa forskare att kontrollera jordbrukets skadedjur. Man har funnit att den tidigare modellen för spindelflygning - som antog att spindelsilket är stelt och rakt och spindlarna bara hänger i botten - var bristfällig när den applicerades i rörlig, turbulent luft. Forskare vidareutvecklade därför modellen för att möjliggöra elasticitet och flexibilitet i spindelns draglinje, dess mest robusta silkelinje som används för att bära den. När draglinjen fångas i en turbulent bris blir den mycket förvrängd, fångar luft som en öppen fallskärm och skickar spindeln på en okänd resa. Med denna matematiska modell hoppas man kunna undersöka hur mänsklig aktivitet, som jordbruk, påverkas av spridningen av spindelpopulationer.

Hur fåglar kan upptäcka jordens magnetfält

Forskare tror att fåglar kan använda kvantmekanik för att navigera, även i mörker och dimma. Vid Lunds Universitet har gjorts en viktig upptäckt om den inre magnetiska kompassen hos fåglar. Man har identifierat ett protein utan vilket fåglar förmodligen inte skulle kunna orientera sig med hjälp av jordens magnetfält. [How birds can detect the Earth's magnetic field | Lund University](#)



Receptorer, som känner av jordens magnetfält, ligger troligen i fåglarnas ögon. Nu har forskare vid Lunds universitet studerat olika proteiner i sebrafinkar och upptäckt att en av dem skiljer sig från de andra. Endast Cry4-proteinet bibehåller en konstant nivå under dagen och under olika ljusförhållanden.

Cry4 tillhör en grupp proteiner som kallas kryptokromer. Normalt reglerar de den biologiska klockan, men har också ansetts vara signifikanta för magnetisk känsla. Cry4 är en ideal magnetoreceptor eftersom proteinets nivå i ögonen är konstant. Det krävs av en receptor som används oavsett tid på dagen.

Slutsatsen är att detta specifika protein hjälper det magnetiska sinnet att fungera, medan andra kryptokromer, vars nivåer i kroppen varierar vid olika tidpunkter på dagen, tar hand om den biologiska klockan i stället.

Förra året noterade man att inte bara flyttfåglar navigerar med en magnetisk kompass. Även fåglar som inte migrerar under våren och hösten har en magnetisk känsla och navigerar med en inre magnetiska kompass. Detta tyder på att andra djur, kanske alla, har magnetiska receptorer och kan känna av

magnetfält.

Människor har försökt förstå hur djur vet var de går i mer än hundra år. I ett brev till Nature Magazine 1873 spekulerade Charles Darwin i att en känsla av "dödräkning" skulle kunna tillåta allt från flyttfåglar till nomader i Sibirien att hålla rätt kurs i okänd terräng. Sedan dess har forskare föreslagit djurkompasser baserade på luktsinne, memorerade landmärken, solens riktning, polarisation av ljus och till och med stjärnornas positioner.

I början av 1960-talet försökte tysken Wolfgang Wiltschko att bevisa att fåglar navigerade utifrån radiosignaler från stjärnorna. Under sina experiment låste han in fåglar i en stålbur med en Hemholtz-spole - en enhet som producerar ett likformigt magnetfält - och insåg att fåglarna omorienterade sig som svar på det. Han hade av misstag visat att magnetism, inte radiovågor, var grunden i djurnavigering.

Dessa resultat ledde forskare till en frenetisk sökning efter djurens magnetoreceptorer. De upptäckte järnpartiklar i duvor och höns, magnetit i öringars nosar och andra magnetiska molekyler i örnhåren av fåglar.

Man tror nu att ljuskänsliga proteiner -

kryptokromer - som har hittats i fåglar, fjärilar, fruktflugor, grodor och människor bland annat kan vara en lösning på mysteriet. När ljus slår på proteiner skapar det radikala par som börjar snurra synkront. de är intrasslade.

Den kemiska reaktionen varar bara för några mikrosekunder, men forskning visar att det är tillräckligt länge för jordens magnetfält att modulera kvaliteten och riktningen på elektronens spinn. Man fann också att de radikala paren blir känsligare för magnetfältet när de "slappnar av" - det vill säga när de övergår till jämvikt - om man tar hänsyn till yttre faktorer som omgivande temperatur. Därför tror man nu att sensorer i fåglars ögon undersöker spridningsstatusen för olika radikala par och sedan signalerar resultaten till hjärnan, så att fåglarna mer eller mindre kan "se" jordens magnetfält när de flyger igenom det.

Mycket forskning kvarstår för att kartlägga i detalj hur djur upptäcker och använder jordens magnetfält. Det som är klart är att det innefattar kemiska reaktioner som interagerar med magnetfältet. Denna kunskap skulle kunna vara användbar för att utveckla nya navigationssystem.

Insekter använder också magnetisk kompass

En stor internationell studie ledd av forskare från Lunds universitet i Sverige har för första gången bevisat att vissa nattliga migrerande insekter kan navigera med jordens magnetfält. Hittills var förmågan att styra flygning med hjälp av en inre magnetkompass endast varit känd hos nattliga flyttfåglar.
[Insects also migrate using the Earth's magnetic field | Faculty of Science](#)

Det är det första tillförlitliga beviset på att nattliga aktiva insekter kan använda jordens magnetfält för att styra på samma sätt som fåglar. Resultaten visar att insekterna använder både visuella landmärken i sin flygväg och jordens magnetfält, vilket gör deras navigering tillförlitligare.

Forskarna tror att malar i Nordeuropa kan använda jordens magnetfält på ett liknande sätt när de flyger över Alporna till Medelhavet.

Varje år migrerar bogongmalen från sydöstra Australiens slätter över tusen kilometer till alpina grottor i New South Wales och Victoria och sedan tillbaka. Den lilla bruna fjärilen är den enda kända insekten förutom den nordamerikanska monarkfjärilen att klara en så lång migration. Men i motsats till monarken, som flyger under dagen under en stigande sol, så flyger malen på natten. Längre har forskare undrat hur den klarar det.

Därför fångade forskarna bogongmalar under deras migration, band dem till en metallstav i mitten av en plasttrumma och registrerade i vilken riktning de flög som svar på en rörlig bild av ett berg och ett syntetiskt magnetfält av samma styrka som jordens. En svart triangel på vit bakgrund representerade ett bergstäckande landmärke vid horisonten som malarna kunde använda i navigeringen. Magnetiska spolar gjorde det samtidigt möjligt för forskarna att vända magnetfältet i vilken riktning som helst.

Man fann att de bevingade insekterna använder magnetiska fält som en kompass. Malarna flög mot "berget" men blev förvirrade efter några minuter om magnetfältet pekade i en annan riktning. Om magnetfältet och landmärkena blev i konflikt med varandra, förlorade malarna alltså sin känsla av riktning. De blev helt disorienterade, nästan som om landmärket försvunnit.

Man trodde studierna skulle visa att bogongmalar bara använder visuella signaler som stjärnor, månen och landmärken för att navigera. Men det var inte så. De uppfattade jordens magnetfält på exakt samma sätt som fåglar gör - och förmodligen av samma anledning.

Man tror nu att bogongmalen integrerar visuella signaler och magnetiska signaler och kontrollerar då och då för att se till att de stämmer överens. Det liknar hur en vandrare använder en kompass. Om malarna förlorar sitt ursprungliga landmärke, kan de kalibrera sin riktning med hjälp av jordens magnetfält och välja ett nytt visuellt landmärke att ta sig till.

Exakt hur djur känner av jordens magnetfält är ett mysterium, men det finns två teorier. Den första teorin är att det finns små kristaller av magnetit som är fysiskt kopplade till jonkanaler i en neuron, någonstans i nervsystemet. Om djuret vrider sig kommer det att skapas en skjuvkraft som bokstavligen gör att dessa jonkanaler öppnas eller stängs och skapar en elektrisk signal.

Den andra teorin innebär en speciell typ av proteinmolekyl som heter kryptokrom - och det är här saker börjar bli konstiga. De ljuskänsliga kryptokrommolekylerna kan användas som en magnetisk sensor, åtminstone hos vissa ryggradslösa djur. I blåaktigt ljus har dessa molekyler förmågan att ändra sitt kvantmekaniska spinnstillstånd. Det är en kvantmekanisk effekt som kan generera tillräckligt med energi för att få en neuron att öppna och stänga jonkanaler



och skapa den elektriska signalen som används för att känna och uppfatta saker.

Fisk- och havssköldpaddor verkar använda magnetitpartikelmekanismen, medan fåglar är beroende av kryptokromer. Det är troligt att hos fåglar finns kryptokromerna i en viss typ av fotoreceptorer i ögat. Det kanske är så för insekter också. Det är emellertid oklart huruvida de nattliga malarna flyger i tillräckligt med ljus för att kryptokrommekanismen ska aktiveras. Här krävs mer forskning.

Förutom Lunds universitet deltog följande högskolor och organisationer i forskningsarbetet: Queens University i Kanada, University of Oldenburg i Tyskland, Duke University, USA, New South Wales National Parks and Wildlife Service och Australian Cotton Research Institute, båda i Australien.



I den här anordningen band man fast malarna

Bihjärnor kan revolutionera drönare

En ambitiös plan för att använda hjärnans funktioner hos honungsbin och myror inom drönare är under utveckling vid University of Sussex, University of Sheffield och Queen Mary University of London. Forskarna använder virtuell verklighet, maskininläring och radarverktyg för att studera bin i hopp om att över-sätta resultaten till ny drönarteknik.. [Autonomous bee brain-inspired UAV could revolutionise drone tech ...](#)



Det fyraåriga projektet som kallas Brains on Board har skapat små datachips (grafikkort) som man hoppas kommer att kunna användas på obemannade flygande bilar och drönare. Tanken bakom projektet är att lära av speciellt honungsbin och insekter i allmänhet om effektiva strategier för att genomföra autonoma beteenden. Att skapa en sådan datoriserad och energieffektiv autonom robot skulle utgöra en stegförändring i robotteknik.

I flera år har man försökt att omvandla bihjärnans förmågor till beräkningsmodeller som kan användas för att styra autonoma flygrobotar. Att flyga robotar, särskilt små, utgör ett intressant ingenjörspåbud. Förarlösa bilar är i jämförelse med detta en relativt enkel utmaning. Den höga bärkraften hos en bil möjliggör flera redundanta och sofistikerade sensorer och mycket beräkningskraft för att bearbeta all data. Förarlösa bilar arbetar också i en relativt begränsad miljö, för närvarande jordens yta. Däremot är flygande robotar extremt begränsade av nuvarande batteriprestanda och har därmed liten nyttolast för sensorer och beräkningar. De måste också navigera i potentiellt komplexa tredimensionella utrymmen.

Honungsbin, liksom andra insekter, är ett mirakel av miniaturisering och precisionsteknik. Men i motsats till många andra insekter är bin också särskilt intelligenta. De bor i stora kolonier och måste därför interagera socialt och navigera många kilometer till och från matplatser med hjälp av landmärken. Bin har en anmärkningsvärd intelligens när det gäller navigering och även mönsterigenkänning.

Trots sitt rykte som mycket effektiva lagspelare, visar bin också stor individualitet. Ett enskilt bi kan flyga ut och lära sig sin miljö, hitta en fläck av blommor och komma hem igen och sedan kommunicera denna information till andra individer. Allt detta uppnås med en hjärna av endast en miljon neuroner som upptar ungefär en kubikmillimeter.

Att integrera bins neurala förmåga i en drönare skulle kunna erbjuda stora förbättringar. Insekternas hjärnor har ett utmärkt autonomt system, särskilt eftersom de kan packa så mycket information i sin lilla storlek. Autonom och adaptiv kontroll av en flygrobot, med hjälp av en inbyggd beräkningssimulering av bins neurala kretsar, skulle vara en oöverträffad prestation inom robotteknik.

Projektet syftar till att använda beräknings- och experimentell neurovetenskap för att utveckla en banbrytande ny klass av högeffektiva robotstyrare. Dessa bör uppvisa adaptivt beteende medan de körs men ha låg vikt. GPU-maskinvara (General Purpose Graphics Processing Unit)



som nu dyker upp på marknaden för mobila enheter gör detta möjligt.

Det som gör projektet unikt är att man har samlat experter inom maskininläring och beräkningsvetenskap tillsammans med robotister och biologer. Man har en arena för virtuell verklighet, där man kan registrera vad som händer i neuronerna i mycket liten skala. I större skala har man radarexperiment, beteende och neurala inspelningar.

En framgång har varit att utveckla en modell av honungsbiets optiska kretsar som reproducerar beteendet för hastighetsreglering och hinderförebyggande, allt baserat på uppskattning av optiskt flöde över robotens kamera. Tillvägagångssättet är mycket robust mot variationer i miljön. Ofta "utbildas ett neuralt nätverk i olika miljöer, genom att använda så kallad djupinläring, men forskarnas modell är snarare att utgå från en beskrivning av hur honungsbins neuroner är kopplade ihop i deras hjärnor. Man utnyttjar de miljöer som har utvecklats av evolution och som har utvecklats av honungsbin och andra flygande insekter och kör neurala simuleringar för att ge "hjärnor ombord" äkta autonomi.

Forskarnas nästa steg är att titta på hur man kan använda beteenden som man ger en robot för att möjliggöra för den att strukturera informationen som kommer in, så att världen blir lättare att lära sig och lättare att navigera i.

I forskningen utnyttjar man den senaste utvecklingen inom mobil datorteknik baserad på 3D-datorgrafik och hårdvaruacceleratorer. Vikten och energikraven för dessa har nu nått en punkt där man kan montera dem ombord på små quadcopters, Både batterilivslängd och miniaturisering är dock stora utmaningar för framtiden. Utmaningen att bygga robotar som verkligen fångar förmågan hos honungsbin, inklusive livslängd, storlek och beteendemässig flexibilitet, kommer att vara en framtida uppgift.

Forskarna kommer snart att testa sina nyutvecklade algoritmer i en robotdrönare, som de hoppas kunna flyga autonomt inom ett år.

Glidflygande ormar och andra djur

Glidflygning är ett relativt billigt sätt att flyga. Ett antal djur har utvecklat glidande. Förutom däggdjur och fåglar glidflyger också andra djur, särskilt flygande fiskar, ormar, grodor och bläckfiskar. Stora fåglar är särskilt skickliga vid glidning. En albatross har en glidförmåga som närmar sig ett modernt segelflygplans.

Istället för att fågeln aktivt lägger ner energi genom att flaxa med sina vingar, tas energi för glidflygningen i stället från den potentiella energin. Det betyder att fågeln kommer att förlora höjd när den flyger framåt, och om den inte återupptar flaxning kommer den att hamna på marken.

För långvarig flygning kräver glidning i allmänhet vingar såsom vingarna på flygplan eller fåglar. Men några djur som den flygande ormen kan uppnå glidflygning utan några vingar genom att skapa en plan yta under sig.

För att förbättra glidförmågan har vissa däggdjur utvecklat en struktur som kallas patagium. Det är en membranstruktur som sträcker sig mellan ett antal kroppsdelar. Den är mest utvecklad hos fladdermöss. Hos dem är huden som bildar vingytan en förlängning av bukens hud, som förenar frambenet med kroppen.

Andra däggdjur som flygande ekorrar glider också med ett patagium, men med mycket sämre effektivitet än fladdermöss. De kan inte ta höjd. Djuren kastar sig från ett träd och sprider sina lemmar för att exponera glidmembranen, vanligtvis för att komma från träd till träd. I regnskogar är detta ett effektivt sätt att lokalisera mat och undvika rovdjur. Denna form av "arboreal lokomotion" är vanligt i tropiska områden som Borneo och Australien, där träden är långa och skogen tät.

Glidflygning har utvecklats självständigt bland 3400 arter av grodor från både nya och gamla världen. Denna parallella utveckling är en anpassning till deras liv i träd, högt över marken. Egenskaperna inkluderar förstörade händer och fötter, hud mellan fingrar och tår och hudflikar på armarna och benen.



Ormar av släktet Chrysopelea är kända som "flygande ormar". Innan start från en gren böjer sig ormen i J-form och när den knuffat sig upp och bort från trädet suger den in buken och trycker ut revbenen för att forma sin kropp till en "pseudo-konkav" vinge. Under glidningen nedåt gör den hela tiden en kontinuerlig snedgående vridning av kroppen parallellt med marken. Flygande ormar kan glida bättre än flygande ekorrar och andra glidande djur, trots bristen på lemmar, vingar eller andra vingformiga utsprång. De kan glida hundra meter genom skogen och djungeln.

Flygfiskar seglar typiskt omkring femtio meter och de kan använda uppdriften av luft vid framkanten av vågor för att nå avstånd på upp till 400 m. För att glida uppåt ur vattnet svänger en flygfisk stjärten upp till 70 gånger per sekund. Den sprider sedan sina bröstfenor och lutar dem lite uppåt för att ge lyft. I slutet av en flygning viker den ned sina bröstfenor för att åter komma ned i havet, eller sänker



stjärten i vattnet för att lyfta sig i en ny glidning eller eventuellt ändra riktning. Den vinklade profilen av "vingen" är jämförbar med den aerodynamiska formen hos en fågelvinge. Fisken kan öka sin tid i luften genom att flyga rakt in i eller i vinkel mot uppdraget, som skapas av en kombination av luft- och havsströmmar.

Fåglar använder ofta glidflygning för att minimera sin energianvändning. Liksom segelflygplan kan fåglar stiga i uppåtgående luft. Den stora fregattfågeln i synnerhet kan segla omkring upp till flera veckor i sträck.

Förhållandet mellan lyftkraft och motstånd eller L/D är ett av de viktigaste målen för flygplansdesign eftersom det talar om hur många meter ett flygplan glider när det faller en meter. Ett högt glidtal L/D ger bättre bränsleekonomi. Ett modernt segelflygplan närmar sig 60 men normalt har ett trafikflygplan under 20. Albatrossen ligger på 40 och en seglande gam på 25.



De flesta fåglar har dock lägre prestanda. I vindtunnlar vid Lunds Universitet är det möjligt att studera djurs kinematik och aerodynamik till en detaljnivå som annars skulle vara omöjlig. Man har bland annat gjort experiment på glidflygning av kajor över ett brett spektrum av flyghastigheter. Ett linjärt förhållande mellan vinge och flyghastighet hittades, i motsats till vad som förväntas för att minimera motstånd. Bästa glidningsprestanda hittades vid 8,5 m/s med ett L/D på 12,6. Även glidflygningen av svalor har studerats i vindtunneln. De hade L/D på 12,5 vid en luft-hastighet av 9,5 m/s. Som en jämförelse ligger en flygfisk på L/D=15, en fladdermus på 5 och den flygande ormen på 3,7. En hang-glider ligger mellan 5 och 10.

[Gliding flight in birds | Department of Biology](#)