



BEVINGAT

Flygtekniska Föreningens tidskrift Nr 1/2014



18 DEC 2013

GRIPEN TILL BRASILIEN



Brasiliens försvarsminister Celso Amorim har meddelat att landet väljer Saab som leverantör av 36 nya stridsflygplan till landets flygvapen.

Brasiliens regering uppskattar att omkring 4,5 miljarder dollar kommer att läggas på affären fram till 2023. Ett slutgiltigt avtal skall vara i hamn om 8 till 12 månader, varefter det första flygplanet väntas komma att levereras ytterligare 48 månader senare. När leveranserna inlett väntar man sig en takt om 12 Gripenplan per år. Konkurrenterna var stridsflygplanet Rafale, tillverkat av franska Dassault och det amerikanska Boeings F/A-18 Super Hornet.

Brasilien har en av världens fyra största flygindustrier. Saab och Brasilien kommer tillsammans att utveckla den nya Jas Gripen E. Gripen E är föreslagen som kommande uppgradering för de svenska och schweiziska flygvapnen under beteckningen 39E(ensitsigt) och 39F (tvåsitsigt). Versionen kommer att vara försedd med större skrov, ny motor (General Electrics F414G är föreslagen), ny multimode AESA-radar, ökad bränslekapacitet, högre lastkapacitet, nytt landningsställ, uppdaterad cockpit med headdown-skärmar, förbättrad flygavionik och krypterad kommunikation. Schweiz kommer att folkomrösta om sitt inköp av Gripen den 18 maj i år.

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

I det här numret

Gripen till Brasilien	1
Svenska nyheter	2
Internationellt	3
Haveriet vid Kebnekaise	5
Historien om flaxning	6
Animal Flight Lab i Lund	9
Candy reser till Moskva	19

Intressant att veta

I det här nummer beskrivs historien bakom flaxande flygning, varför den blivit intressant för små mikroflygplan samt de arbeten som görs vid Universitetet i Lund för att förstå flaxningens aerodynamik.

Den stora nyheten annars är förstås att Brasilien beslutat sig för att köpa Gripen. Nu väntar vi med spänning på om Schweiz kommer att följa efter.

”Sveriges största exportaffär någonsin, värd mellan 30 och 40 miljarder kronor, har landat i Linköping.”

SVENSKA NYHETER

7 dec 2013 SAAB gör nytt skolflygplan med Boeing

Saab ska utveckla ett nytt skolflygplan tillsammans med amerikanska Boeing. För de båda bolagen handlar det om en potentiellt väldigt stor satsning. Målet är att sälja omkring 350 nya plan till det amerikanska flygvapnet, som snart ska inleda en upphandling. I förlängningen kan det bli ända upp emot 1 000 plan om även USA:s allierade väljer samma lösning. Det nya planet kommer, som det nu ser ut, att få konkurrera med tre äldre skolflygplanplan från lika många olika konsortier. Det är italienska Alenia med amerikanska samarbetspartnern General Dynamics, brittiska BAE Systems och amerikanska Northrop Grumman samt koreanska KAI och Lockheed Martin. För att få den här typen av stora kontrakt med den amerikanska militären krävs det i praktiken en allians med ett amerikanskt försvarsindustriföretag.



18 dec 2013 SAAB får order från FMV på Gripen E

I och med att Brasilien beslutat köpa Gripen har SAAB inom ramen för ett tidigare avtal med FMV om Gripen E fått en order på serieproduktion värd 16, 4 miljarder kronor under 2013-2026. Ordern inkluderar modifiering av 60 Gripen C till Gripen E med första leverans under 2018.

5 feb 2014 Satsning på gröna flygmotorer på GKN

GKN har tillsammans med högskolan och institutet Innovatum i Trollhättan beviljats 17 miljoner kronor i forskningspengar av statliga Vinnova. Avsikten är att demonstrera nya tillverkningsätt och pröva nya, avancerade lättviktsmaterial för jetmotorer. För GKN och Sverige handlar det om att fortsatt vara med i de motorprogram som inleds inom tre år och sedan har en produktcykel på flera årtionden. Det handlar om program värda flera miljarder.

Satsningen sker inom ramen för ett europeiskt motordemonstratorprogram fokuserat på teknologier som skall minska CO₂-utsläppen från flygmotorer med 50% till 2020. Projekten kommer att genomföras vid två svenska centra för tillverknings-teknik inom flyg, Produktionstekniskt Centrum vid Innovatum i

Trollhättan fokuserat på metallteknologi och COMPASER I Linköping, med fokus på kompositteknologi.

GKN Aerospace kommer att bidra med innovativa tillverknings-teknologier och avancerade material till strukturer med lätt vikt till programmets fullskala demonstratorer.

Det GKN med partners konkret kommer att utveckla i projektet är

En turbinstruktur, som är 15 % lättare och klarar 200°C högre temperature än dagens.

En 30% lättare hybrid komposit/metall fläktstruktur .

Roterande delar för "open rotor" motorer.

Kompressorstrukturer tillverkade med 3D-skrivare.

Vidare ingår nya teknologier inom svetsning, oförstörande provning, automatisk komposittillverkning, plåtförmning, nya högtemperatur-legeringar och akustiska paneler för användning i hög temperatur.



Hybrid komposit/metall fläktdemonstrator från GKN för en högbypass motor.

INTERNATIONELLT 1

6 dec 2013 Ny hemlig amerikansk UAV

Enligt den amerikanska tidskriften "Aviation Week" har flygningar startat med ett obemannat flygplan RQ-180, utvecklat av Northrop Grumman. Man har gjort stora framsteg i att kombinera smygteknik med aerodynamik. Planet skall användas för spaning och kan vara operationellt 2015.



9 dec 2013 Airbus utvecklar 3D printing

Airbus meddelar att man skrivit avtal med Massachusetts Institute of Technology (MIT) för att studera 3D digital printing vid tillverkning av flygplan. Förhoppningen är att denna helt nya teknik skall leda till lägre kostnader genom att radikalt ändra hur tillverkningen går till även för större strukturer.

16 dec 2014 Kina landar på månen

Kina har landat sin Yutu rover på månen. Även om man ännu är långt efter USA och Ryssland visar detta att man utvecklas snabbt och målmedvetet inom rymdteknik.

25 dec 2014 Japan utvecklar ny raket

Japans Aerospace Exploration Agency (JAXA) planerar att skicka upp sin nya "H-III" raket 2020. Den kommer att ha två motorer i första steget och inga fastbränsle booster.

31 dec 2013 USA kommer att provflyga civila drönare

Enligt tyska Der Spiegel kommer USA att gradvis öppna sitt luftrum för civila obemannade flygplan under de närmaste två åren. Men många problem återstår främst vad gäller säkerheten. Hur undviker man kollisioner? Hur hanteras drönare man tappat kontakten med? Provet kommer att göras av Federal Aviation Authority (FAA) i flera stater.

3 jan 2014 Geckoödlor i rymden

Enligt uppgift försöker ESA sätta gecko-liknande fötter på en robot som ska kunna kravla omkring på utsidan av rymdfarkoster för att reparera dem.

4 jan 2014 Liten marknad för tvåmotoriga fighters

Enligt Defence News finns det liten återstående marknad för tvåmotoriga flygplan speciellt eftersom F35, ett enmotorplan, har vunnit mark. Sedan Gripen tagit Brasilien är framtiden för Typhoon, Rafale, och Super Hornet begränsad till Malaysia, Kuwait, Qatar och Förenade Arabemiraten men ingen av dessa väntas få några stora beställningar.

8 jan 2014 Europas Clean Sky program

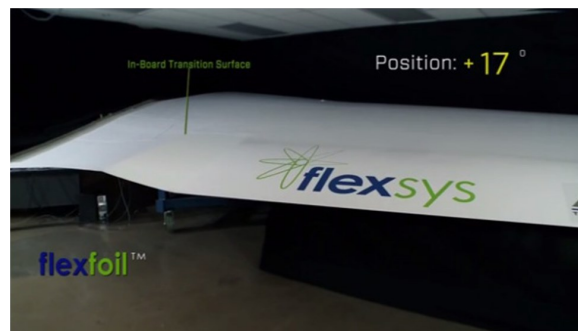
Europa siktar på att minska utsläppen med 20-30% från 2014 års nivå för flygplan som kommer i tjänst 2025-35. Det ska ske med hjälp av forskningsprogrammet Clean Sky 2, som är en fortsättning av ett tidigare program men med ökad budget. Fram till 2023 har Clean Sky 2 en budget på 4.05 miljarder Euro en ökning från det nuvarande programmets 1.6 miljarder fram till 2017. EU kommer att bidra med 1.8 miljarder Euro mot 0.8 i det nuvarande programmet. Resten av pengarna kommer från industrin.

Inom programmet kommer man att flygprova en open-rotor motor 2020 på en modifierad Airbus A340-600. Flygprov med en vinge utformad för laminär strömning kommer att göras med en A340-300 år 2015 under det pågående programmet Clean Sky 1. Detta kommer att kompletteras med utsugning och utblåsning i gränsskiktet för prov under 2023. Vidare kommer man att studera radikalt nya utformningar av flygplan under programmet.

10 jan 2014 Stor försäljning av flygplan

AP rapporterar att flygbolagen köpt 8200 plan de senaste fem åren, vilket är mer än någonsin. Man vill spara bränsle där kostnaden ökat nästan fyra gånger mot tio år sedan. Både Boeing och Airbus har ökat sin produktion så att man nu tillsammans gör 24 flygplan i veckan mot 11 för tio år sedan. Boeing levererade flest flygplan 2013 medan Airbus fick flest order.

14 jan 2014 Sömlös vingteknik



Ett material kallat FlexFoil, har utvecklats av det Ann Arbor-baserade företaget FlexSys Inc. Materialet möjliggör variabel geometri hos vingar och har presenterats på AIAA SciTech 2014 konferens. Materialet ersätter vingklaffar med en deformbar, slät yta som kan förändra sin form för att optimera prestanda och spara bränsle under flygning. Man tror att bränsleförbrukningen kan minska med 12 % på nya flygplan. Tekniken kan också användas på helikopterblad. Materialet baseras på ett patent av professor Sridar Kota vid University of Michigan. Flygprov skall göras av NASA under juli 2014 på en Gulfstream Business Jet.

INTERNATIONELLT 2

15 jan 2013 Kina provar hypersonisk robot

Enligt AGENCE FRANCE-PRESSE meddelar Pentagon att Kina för första gången provat en hypersonisk robot. Provet gör Kina till det andra landet efter USA att experimentera med hypersonisk flygning, en teknik som gör det möjligt att snabbt angripa mål överallt på Jorden. Roboten med beteckning WU-14 antas ha en hastighet av Mach 10. USA har hög prioritet för hypersonik och satsade 200 miljoner dollar 2013 på tre olika program samt genomförde ett antal flygprov.

15 jan 2014 Flygande manet

Enligt Journal of the Royal Society har Lief Ristroph och Stephen Childress från New York University gjort en flygande maskin som rör sig som en manet i luften. Den är ungefär en decimeter i diameter och väger omkring 2 gram.

20 jan 2014 Rosetta vaknar

Jubel utbröt när ESA:s rymdsond Rosetta vaknade upp efter tre års sömn i rymden redo att landa på kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko i augusti. Sonden skickades upp från Franska Guyana 2004 och har sedan dess hunnit passera jorden fem gånger för att ta fart mot sitt mål 807 miljoner kilometer bort. Sonden är den första som kommer i en kometens kretslopp och som släpper ner en robot på kometen. Eftersom kometen i fråga inte har någon tyngdkraft är roboten utrustad med harpuner som kommer att hålla fast den på ytan. Cirka åtta procent av tekniken är utvecklad av RUAG i Sverige, t ex centraldatorn, ett massminne som lagrar vetenskapliga data, satellitens antenn och separationssystemet. Ombord på Rosetta finns även två svenska instrument, partikelmätaren ICA från IRF i Kiruna och rymdvädrestationen LAP från IRF i Uppsala. De är specialiserade på att mäta egenskaper hos den tunna gas som finns i den nästan men inte helt tomma rymden.



Rymdsonden Rosetta, Foto Scanpix

5 feb 2014 Bakterier i rymden

Vid NASA:s årliga symposium "Innovative Advanced Concepts Program" har man presenterat sitt "Synthetic Biology Initiative", som syftar till att utveckla bakterier, som kan förändra en planets atmosfär på samma sätt som bakterier gjorde Jordens atmosfär möjlig att andas för levande varelser. NASA Ames Research Center Director S. Pete Worden har också sagt att man bör kunna förändra generna så att det blir möjligt att leva på andra planeter och att han kan förutse en tid när vi inte har fysiska transporter utan skickar information som skrivs ut i 3D på plats..

5 feb 2014 Material som liknar ben

Los Angeles Times skriver att Jens Bauer från Karlsruhe Institute of Technology har använt en 3D skrivare för att göra ett material inspirerat av mänskliga ben. Materialet skall kunna användas för att utveckla lättare och billigare flygplan och rymdfarkoster.

8 feb 2014 BAE:s nya UAV "Taranis"



Enligt den tyska tidskriften "Der Spiegel" har British Aerospace släppt en video som visar den första flygningen i augusti förra året av företagets nya UAV "Taranis". Var flygningen ägde rum sägs inte men det var troligen på provområdet Woomera i Australien. Sedan den första flygningen har flera prov genomförts vid flera höjder och hastigheter vid flygningar upp till en timme. England och Frankrike har nyligen slutit ett avtal om att använda data från Taranis i utvecklingen av framtida UAV:er.

10 feb 2014 Nu fungerar Galileo

ESA meddelar att validering i omloppsbana av Galileo har uppnåtts: Europa har nu den operativa kärnan i sitt eget satellitnavigeringssystem på plats - världens första civila. Under 2011 och 2012 sändes de första fyra satelliterna upp i omloppsbana. Fyra är det lägsta antal som krävs för att utföra navigeringsfixar. Under 2013 har dessa satelliter kompletterats med en växande global markinfrastruktur och en avgörande validering i omloppsbana har nu genomförts.



Haveriplatsen



Herkules

HAVERIET VID KEBNEKAISE

Den 15 mars förra året förolyckades en Herkules C-130 från norska flygvapnet när den flög rakt in i en bergvägg i Kebnekaisemassivet. Den svenska Haverikommissionen lämnade sin slutrapport den 22 oktober 2013 och ville ha information om vilka åtgärder som vidtagits med anledning av rapporten senast 10 februari 2014.

Frågan var hur ett nästan nytt plan "Super Hercules" kunde flyga rakt in i Kebnekaise ca 60 meter under fri passage. Kaptenen var den mest erfarna på Herkules i Norska Flygvapnet och andre piloten som flög hade mycket grundliga systemkunskaper.

Haverikommissionen konstaterar att det inte fanns något tekniskt fel på flygplanet, kraschen berodde istället på en rad olika samverkande händelser och den mänskliga faktorn.

De flesta inblandade, från flygledare till polisen får kritik för sitt agerandet av Haverikommissionen. Bristande vägledning från flygledningen i Kiruna i kombination med felbedömningar av flygplansbesättningen var några orsaker

Det har sagts att flygningen var ren rutin men man hade valt att flyga taktiskt. Detta innebar att terrängvarningssystemet var inställt för att tillåta låg höjd utan att ge varningssignal. Dessutom har framkommit att terrängvarningssystemet taktiskt inte alls fungerar norr om en linje ca Oslo – Gävle (60 grader). Detta gäller samtliga fyra norska Super Hercules, som således har ett terrängvarningssystem som inte fungerar vid taktisk flygning i större delen av Norge. Planen är mer automatiserade än tidigare versioner, vilket innebär att navigatören slopats.

Flygplanet deltog i en militär övning, vilket gjorde att det var mer flygverksamhet än normalt i lufterummet kring flygplatsen i Kiruna, något som kan vara en av orsakerna till haveriet. Enligt Haverikommissionen kom det norska Herkulesplanet med fem personer i besättningen in för lågt under flygningen från Evenes till Kiruna. Men flygledningen uppmanade aldrig piloterna att stiga, trots att de hade vetskap om läget. Det beror på att de flygledare, som var i tjänst inte hade tillräcklig erfarenhet eller kunskap för att hantera den aktuella situationen. I tornet i Kiruna satt en ensam och sedan tre månader nytexaminerad flygledare och den flygledare som bemannade kontrollcentralen i Stockholm hade bara ett år i yrket. Ingen av dem

hade heller erfarenhet av att leda trafik västerifrån, in mot Kiruna.. skriver Haverikommissionen. För att spara pengar får flygledare inte längre en flygtur för att lära sig terrängen runt flygplatsen. Utan att förstå var Herkulesplanet befann sig gav flygledarna planet klartecken att sjunka till kollisionshöjd. Av den inspelade röstkommunikationen framgår att besättningen ej har en exakt klar förståelse av positionen. När ATC, Kiruna ger clearance för att reducera höjden för inflygning till Kiruna sker denna höjdreduktion omedelbart efter clearance och över Kebnekaise.

Haverikommissionen pekar också på att det fanns brister i de underlag och kartor, som besättningen använde ombord. Besättningen har inte heller kunnat systemet för avläsningen av marschhöjden, vilket gjorde att flygplanet flög på för låg höjd. Även planets instrument gick att misstolka. Till de olyckliga omständigheterna hör bristfällig radartäckning dvs "icke kontrollerat lufterum" varför ATC Kiruna ej kunde följa planet kontinuerligt med radar och inse dess farliga position.

Slutsatsen är att vare sig ATC Kiruna eller piloterna hade planets exakta position klarlagd när clearance om höjdsänkning gavs och omedelbart på rutin expedierades.

Mot bakgrund av rapporten och orsakerna till olyckan rekommenderar Haverikommissionen Luftfartsverket LfV och det norska luftförsvaret att både öka utbildningen och se över de utbildnings- och uppföljningsrutiner som finns. Haverikommissionen rekommenderar att Transportstyrelsen (som är kontrollmyndighet) utreder säkerhetskulturen inom LfV.

Dessutom tycker kommissionen att radiokommunikationerna vid räddningsaktionen i fjällen fungerat dåligt, något som svenska Sjöfartsverket får ta på sig. Även Rikspolisstyrelsen finns med i rapporten och bör få bättre resurser för att snabbare komma igång med fjällräddningen. Nu dröjde det 3,5 timmar innan räddningspersonal sändes iväg

Det verkligt allvarliga är att kommissionen funnit systemfel. Sådana är värre än personliga missgrepp. Hela haverirapporten finns att läsa på: www.havkom.se

HISTORIEN OM FLAXNING

Människor har alltid drömt om att kunna flyga och det var kanske inte underligt att man i början försökte göra som insekter och fåglar. Under många hundra år försökte man att flaxa sig fram genom luften.

Det första historiskt dokumenterade försöket tycks ha gjorts av en viss **Simon i Rom** år 66. Han försökte hoppa från ett torn med hemmagjorda vingar i närvaro av självaste kejsar Nero. Han misslyckades emellertid skändligen, föll och skadade sig så svårt att han dagen därpå avled. Som ett minne av hans försök finns han förevigad i en katedral i Frankrike.

Många försökte göra om Simons bedrift. Under de närmaste århundradena hoppade man från murar och torn, förtvivlat flaxande när vingarna inte bar. År 852 byggde sig således en morisk man i Cordoba, **Armen Firman**, en vingliknande kappa med vilken han hoppade från ett torn. Han överlevde med mindre skador tack vare att kappan bromsade fallet.

Abbas Ibn Firnas, en läkare också från Cordoba, hade antagligen hört om Armen Firmas försök. År 875 gjorde han om det.



Simon tar språnget.
Katedralen St Lazare i Autun Frankrike



Flygningen från en bergstopp var tämligen lyckad men landningen blev hård och han skadades svårt i ryggen, kunde inte göra några flera försök och dog några år senare. Han trodde själv att den misslyckade landningen berodde på att han inte utrustat sin flygapparat med en stjärt liknande fåglarnas. Det kanske låg något i det.

Ytterligare ett sådant försök gjordes 1178 av en man i Konstantinopel, som företog sig att segelflyga från ett torn på Hippodromen i närvaro av kejsaren Manuel Comnenus. Han var klädd i en

vit, vid och mycket lång klädnad i vilken han byggt ett ramverk att användas som vingsegel. Kejsaren, som tydligen var av ett annat slag än Nero, försökte övertala honom att uppges försöket men efter lång tvekan sträckte han ändå ut armarna för att fånga vinden, tog språnget och omkom i fallet.

De första försöken att flyga som fåglar slutade i katastrof.

År 1010 beslöt benediktinermunken **Oliver från klostret i Malmesbury** att försöka. Enligt annalerna byggde han sig vingar som liknade fladdermössens och fäste dem till sina händer och fötter. Han hoppade sedan från ett torn, lyckades glidflyga ett hundratal steg, 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. I mer än ett halvt sekel var den haltande Oliver sedan en vanlig syn kring klostret i Malmesbury.

På 1300-talet hade en italiensk matematiker, **Giovanni Dante**, en viss framgång så till vida att han lär ha gjort en del framgångsrika experiment över en sjö. I samband med en bröllopsfest, eller kanske en svenska, fick han emellertid för sig att hoppa från det högsta tornet i Perugia och segelflög över det 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.

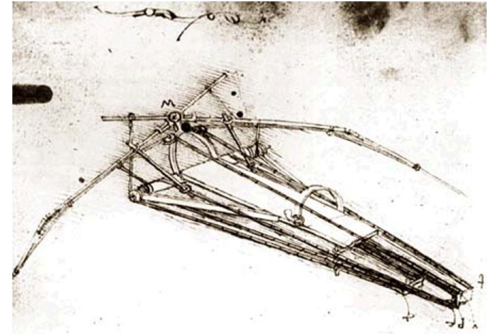
Alla dessa försök handlade mest om glidflygning. Idén om ortokoptern, en maskin med plana flaxande vingtytor (ortos), kläcktes av en engelsk filosof **Roger Bacon** (1214-1294).

Den kanske mest kände av de tidiga pionjerna 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 och Monalisa hade aldrig blivit målad.

År 1870 flög däremot fransmannen **Gustave Trouve** 70 meter i en flaxande maskin med krutladdningar, som aktiverade ett bourdonrör. Ett bourdonrör använder principen att ett platt rör böjt i cirkelform vill räta ut sig under tryck.

Omkring 1890 byggde sedan engelsmannen **Lawrence Hargrave** flera maskiner som drevs med ånga eller varmluft. Han introducerade också användningen av små flaxande vingar för att ge dragkraft till en större vinge.

Edward Frost från England började också bygga ornikoptrar under 1870-talet. De första modellerna drevs av ångmaskiner och sedan av förbränningsmotorer, som den som syns här till höger från 1902.



Leonardos maskin 1500-talet



Frosts maskin från 1902

Efter hand gick det bättre men efter framgången med The Wright Flyer dog experimenten med ornikoptrar ut för att återkomma under 1930-talet



George R. White 1927

George R. White från New York, en tidigare flyginstruktör från första världskriget, gjorde 1927 försök att flyga med fotdrivna flaxande vingar. Maskinen vägde 50 kg och hade ett vingspann av 9 m. Den havererade vid provflygningen men förbättrades senare.

År 1929, byggde tysken **Alexander Lippisch** (konstuktören av Me163 Komet, det snabbaste flygplanet under andra världskriget) en mänskligt driven ornikopter som flög en sträcka på 250 till 300 meter efter att ha bogserats upp i luften. Vissa har ifrågasatt om flygplanet kunde flyga på egen hand och inte bara var ett flaxande segelflygplan men Lippisch hävdade att det faktiskt flög.

År 1942 gjorde **Adalbert Schmidt** en mycket längre flygning av en ornikop-

ter på fältet München-Laim. Planet drevs av små flaxande vingar bakom en större fast vinge. Utrustat med en 3 hästkrafters Sachs motorcykelmotor gjorde planet flygningar upp till 15 minuter. Schmidt konstruerade senare en 10 hästkrafters ornikopter baserat på ett Grunau-Baby Ila segelflygplan, som flögs 1947, se bild nedan.



Under 1959 byggde **Emil Hartman** i England en mänskligt driven ornikopter som, drogs upp i luften av en bil och sedan släpptes. Mellan 1990 och 1995 byggde också **Vladimir Toporov** och hans studenter i Ryssland en bogserad ornikopter, som drevs av muskelkraft och påstods kunna stiga.

Fransmannen **Yves Rousseau** gjorde sitt första försök med en mänskligt driven ornikopter 1995 med en patenterad flaxningsmekanism. Han lyckades flyga 64 meter 2006. Tyvärr fångades han av en kastvind vid sitt nästa försök, en vinge bröts och han blev allvarligt skadad och partiellt förlamad.

Ett team vid universitetet i Toronto under ledning av professor **James DeLaurier** arbetade under flera år på en motor-driven ornikopter. I juli 2006 gjorde en sådan maskin med en patenterad vingvridningsmekanism en jet-assisterad start och 14 sekunders flygning. Enligt DeLaurier var strålen nödvändig för långvariga flygningar, men de flaxande vingar gjorde det mesta av arbetet.



DeLauriers flaxande flygplan

”Det finns ett ökande intresse för små flygande robotar-Micro Air Vehicles”

Problemet med flaxande vingar har alltså angripits många gånger men bara med måttlig framgång. Det finns emellertid ett ökande intresse för små flygande robotar både militärt och civilt och därför har flaxande flygning fått ökad betydelse.



Sådana Micro Air Vehicles (MAV) skulle kunna ta sig in i trånga utrymmen dit människor inte kan nå. Svärmar av robotar med miniatyrkameror kan flaxa runt slagfältet och ersätta militära spaningspatruller.

Men de kan också beväpnas. GPS-styrda MAV:er kan landa på kritiska punkter på en bro var och en med en liten sprängladning. På ett kommando från andra sidan jorden kan de explodera i en viss sekvens och förstöra bron med mindre sprängmedel än en missil. Andra kan leta sig fram till ögonen på fiendens nyckelpersoner genom att känna igen iriserna på deras ögon. Robotflugor skulle också kunna ligga på lur vid flygfälten och låta sig sugas in i jetmotorerna för att skada turbinbladen.

Men de har inte bara militär användning. De kan sättas in i katastrofområden för att söka efter förolyckade, registrera trafik, och miljöproblem eller pollinera växter.

Ju mindre en flygande farkost görs desto mindre fördelaktiga är fasta vingar eftersom lyftkraften beror helt på vingarean och hastigheten. Ju mindre farkost desto mindre lyftkraft. Att kompensera detta genom högre hastighet är inte acceptabelt i situationer som uppdrag inomhus där MAV har sin kanske största användning eftersom svängradien med fasta vingar blir för stora.

För sådana MAV:er med en storlek som en kolibri eller mindre innebär flaxande vingar stora fördelar. Genom att variera vingarernas rörelse och hastighet kan man få stora momentana lyftkrafter och därigenom stora styrmoment. Det innebär snabb växling mellan olika typer av flygning inkluderande ryttling. En annan fördel är förmågan till snabba lyft och landningar. Med tillräcklig effekt kan en flaxande farkost starta vertikalt. En fast vinge måste däremot nå en viss hastighet för att ge tillräcklig lyftkraft. Flaxfrekvensen kan också optimeras för maximala prestanda vid varje storlek och flyghastighet.

Flaxande fåglar och insekter är dessutom perfekt anpassade för en omgivning med rörliga hinder som träd och grenar. Om de fastnar kommer de lättare loss än om de hade en propeller.

Men om en flaxande vinge har stora fördelar så finns det också stora problem och aerodynamiken är ett av de största. Den är till skillnad från fasta vingar i högsta grad icke-stationär. För att kunna konstruera små flaxande maskiner måste man därför förstå hur aerodynamiken fungerar. Studier av detta pågår på flera platser i världen. En av dem är vid Lunds Universitet, som beskrivs nedan.

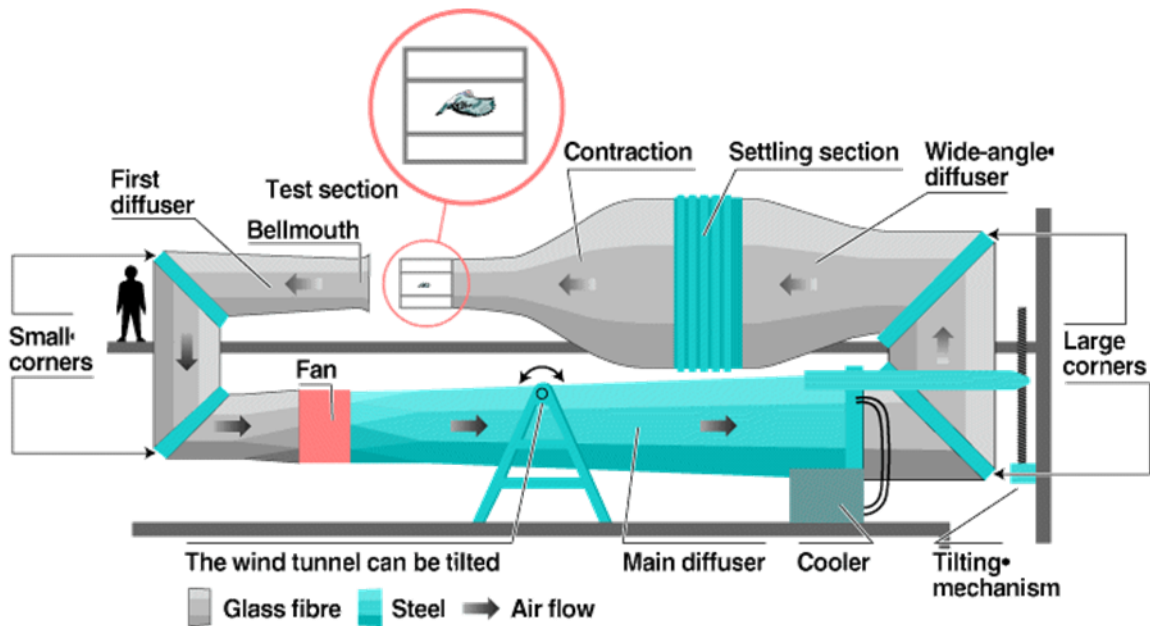
ANIMAL FLIGHT LAB I LUND



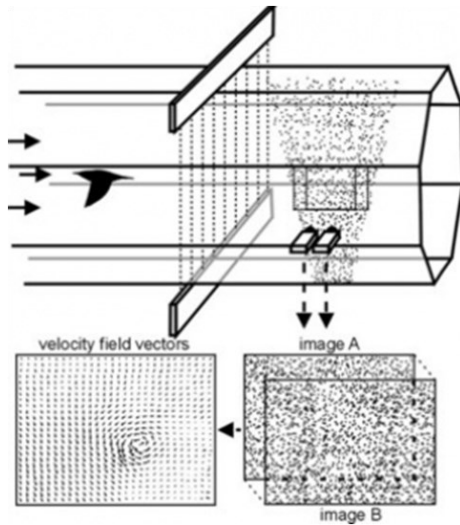
Vid Lunds Universitet finns en forskargrupp om cirka tio personer under ledning av professor Anders Hedenström, som kan mycket om flaxning. Här studerar man hur fåglar och insekter flyger. Men det som är speciellt intressant för att kunna göra flaxande maskiner är förstås hur de bär sig åt när de flyger. 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



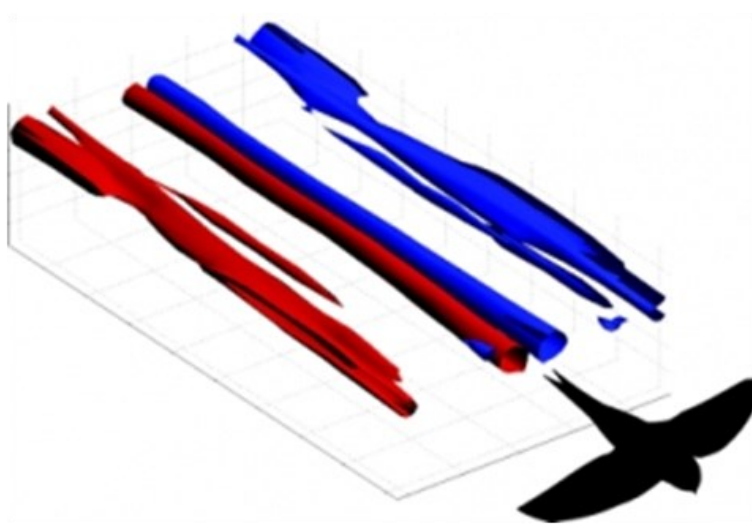
En MAV kanske blir mer lik en svala än någon annan fågel som studerats hittills. De styva vingarna gör den grundläggande konstruktionen enklare samtidigt som amplituden på variationen av de aerodynamiska krafterna gör det enklare att erhålla en stabil flykt. Svalorna manövrerar lätt i luften och de kan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

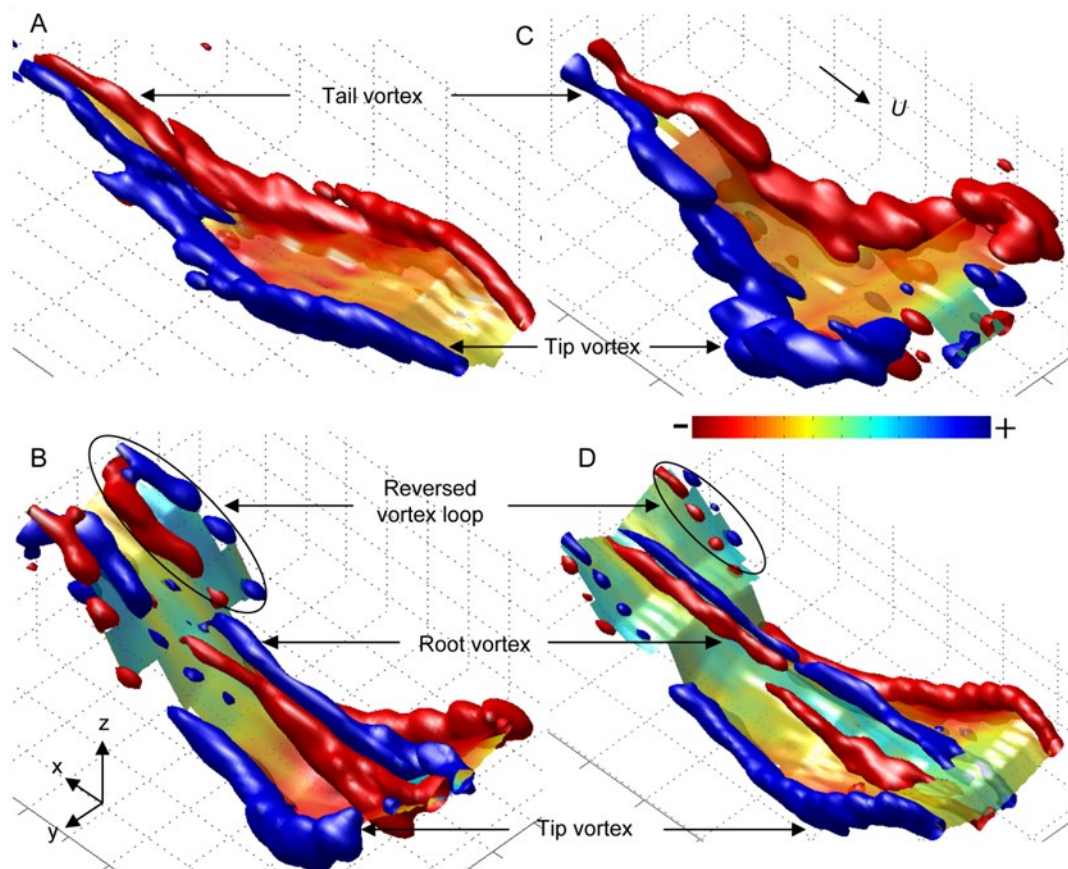
Luftens strömning runt en flygande fladdermus vid 4 m/s visas i bilden ovan. Virvlarna vid vingtopparna är i rött. De svagare motsatta virvlarna vid vingrötterna är i blått. Virvlarna vid vingroten är ungefär hälften så starka som vid topparna.

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.

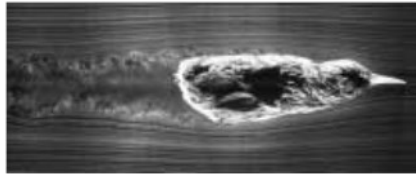
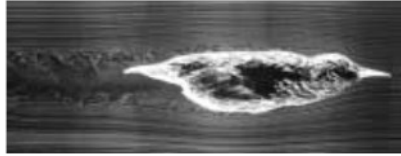
Hos fåglarna, men inte för fladdermössen, bildas ett nytt virvelpar närmare kroppen ungefär samtidigt som toppvirveln försvinner. Man antar att detta beror på samverkan mellan kropp och stjärt, kallad 'tail vortex' i bild ovan. Dessa virvlar finns kvar till slutet av uppslaget och kan tänkas bidra till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

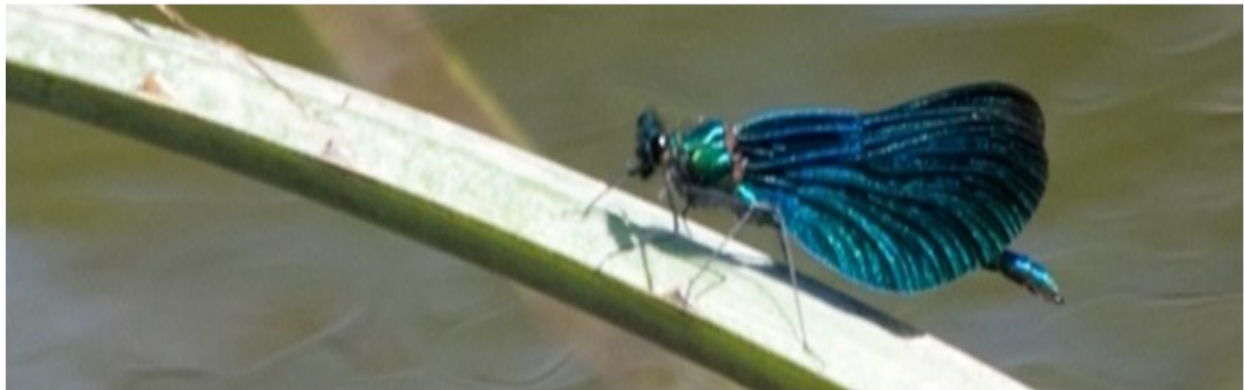
Formen har troligen också stor betydelse. Lyftkraften från en stjärt är proportionell mot dess maximala spännvidd medan motståndet beror på den totala våta arean. Fåglar förlorar därför i lyftkraft genom motstånd om de har svagt koniska stjärtar. Delade stjärtar som hos svalor bör däremot vara en vinst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

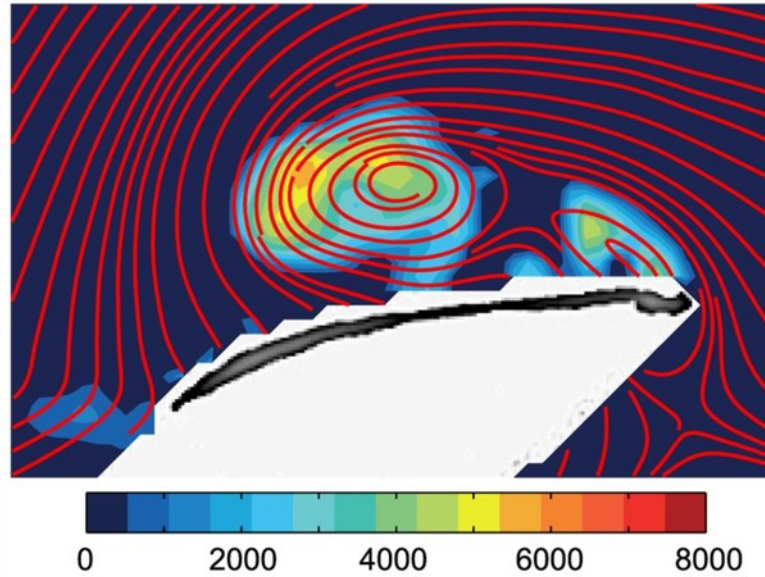
Förhållandena på själva vingen har också stor betydelse. Här har naturen åstadkommit en teknik som är mycket svår att efterlikna. Det finns ju en populär historia att humlan egentligen inte kan flyga. Det stämmer om dess vingar skulle uppföra sig som en vanlig flygplansvinge. Men naturen är mycket mera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

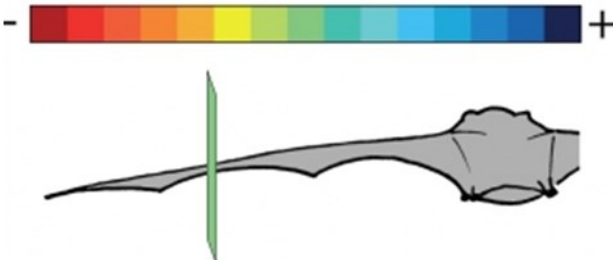
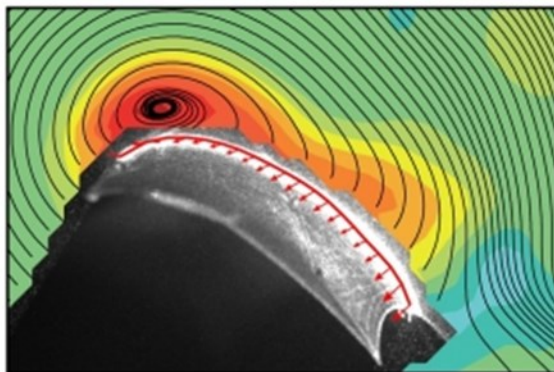
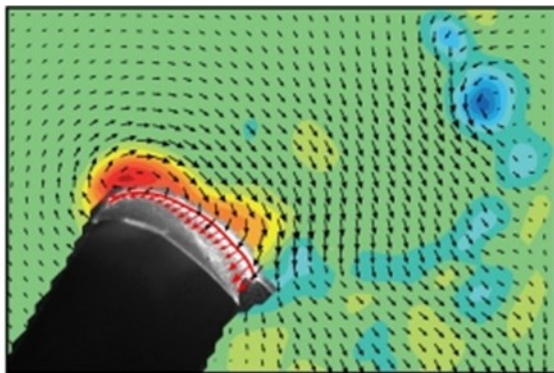


Man har i Lund studerat strömningen över fritt flygande svärmare, se ovan, för att undersöka framkantsvirvelns betydelse.

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?

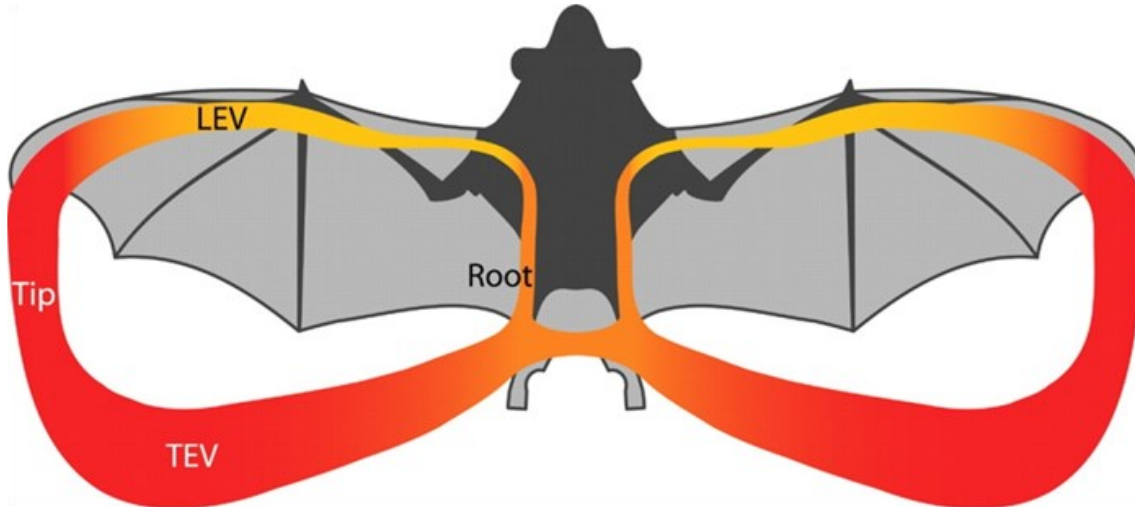
När man använde PIV-tekniken för att studera strömningen runt vingen fann man att fladdermössen liksom insekterna lyckats skapa en fast virvel på oversidan av vingens framkant [8].

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 lyftkoefficient 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

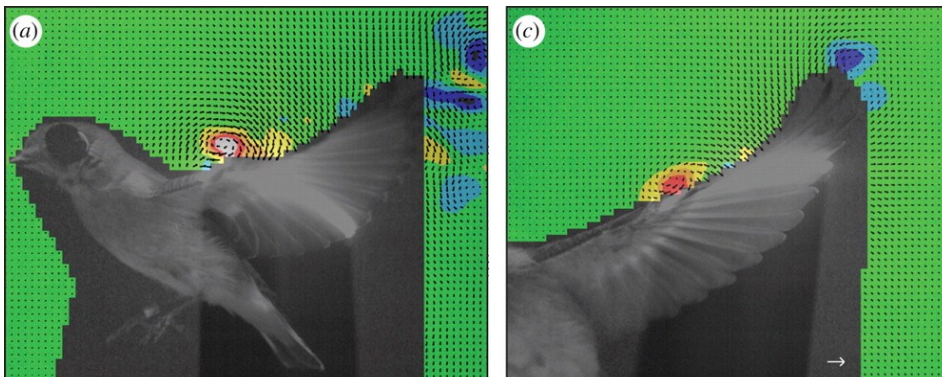


Virvelsystemet på en fladdermus under nedslaget syns ovan när vingen är horisontell vid en flyghastighet av 1 m/s [8]. Gul är låg cirkulation och röd hög.

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. Vingarna 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.

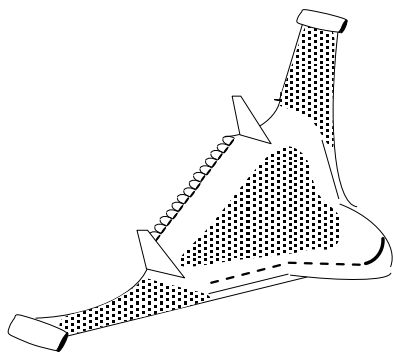


2. Candy reser till Moskva

Jag var trött. Redan klockan tre hade vi tagit en tiltrotor hemifrån och den hade bullrat så att det var omöjligt att sova. Sätena gick inte att luta, det var trångt och en unge skrek hela tiden i raden bakom. Jag hade också ett irriterande skavsår bakom örat för jag hade sovit med antennen på så att Candy skulle kunna väcka mig.

Jag stödde pannan mot väggen framför mig. Den kändes fast och sval. Det var inget magnetogram, som man kunde gå rakt igenom, och på så här nära håll kunde man se att den inte bara var en bildskärm målad med enkristallerverkliga utan ett elektrooptiskt material, som kunde göras genomskinligt. Man kunde alltså vara säker på att det man såg fanns där utanför och ingen annanstans.

Borta vid horisonten hängde en flock drönare med långa, smala vingar. Jag kunde inte se några laserstrålar, som matade dem. Kanske var de soldrivna. De spanade väl på något. Det gick alltid rykten om människor, som levde utanför Cyberandens kontroll.



Alldeles nedanför mig stod flygplanet, som skulle ta oss till Moskva. Jordens atmosfär var så tät att man utan vidare kunde flyga där även med stora och tunga flygplan. Det här var en gammal flygande vinge. Genom avgångshallens fönster såg den ut som en jättstor gråvit rocka, där den låg och tankade väte från en frostig slang.

Den hade en rad av eldrivna fläktar längs bakkanten och jag räknade till fjorton eller femton stycken. Kroppen var knottrig som ett hajskinn med rader av små springor i invecklade monster där man sög bort eller blåste ut luft för att minska luftmotståndet.

Jag såg till min lättnad att vädret hade blivit bättre. De där planen var ganska fladdriga i luften. Trots att jag flugit mycket tyckte jag att det var obehagligt och min fru var också flygrädd.

Äntligen släpptes vi in i flygplanet och hjälptes åt att ta på oss ansiktsmaskerna. Mun och näsa doldes helt av luftfiltren som skulle skydda mot smittspridning i ventilationen. Många påstod att det var onödigt men även om risken var liten så kunde det ju inte skada att vara försiktig.

Kabinen var stor och rymlig och liknade mest en biosalong med rader av pelare, som bar upp det vita taket. Förargad såg jag att

en kvarglömd påse stack upp ur stolsfickan. Det var dåligt städad. Robotar var inte så bra på att plocka skräp och som vanligt var det för lite personal.

Starten gick bra utan allt för mycket vinglande och så var vi i luften. Den torra, bruna slätten gled förbi under oss när vi lämnat havet bakom oss. Långt uppe i norr syntes en mörk skogsrand. Här hade många gamla krigsherrars soldater frusit ihjäl i snö och iskyla för länge sedan. Nu kunde jag skimta hjordar av antiloper där nere och här och där mänsklig bebyggelse.

Vi flög lågt för att inte vattenångan från turbogeneratorerna på vingspetsarna skulle frysa till stråk av is och öka temperaturen på Jorden ännu mer. Det var underligt, tänkte jag, att klimatet kunde vara så olika bara man kom in i landet. Hos oss ute vid kusten kunde det vara blöta snöstormar samtidigt som det var hetta här.

Det fanns forskare, som påstod att det berodde på all koldioxid som man hade släppt ut förr i världen. Fast det var länge sedan och ingen trodde egentligen på dem, som sade så, vare sig då eller nu. När oljan och kolet börjat ta slut hade man istället borrar sig ner i och krossat urberget allt längre och längre ner under planetens yta för att komma åt att elda upp den eftertraktade kolhaltiga gasen.

Underligt nog startade denna utplundring av Jordens tillgångar på allvar ungefär samtidigt som människorna börjat inse farorna med förbränningen. Psykologiskt intressant var också att de, som hade trott att Jorden var deras Guds gåva, ofta var mest angelägna om att förstöra den. Så gick det också som det gick.

Koldioxiden fanns förstås kvar men eftersom det inte längre fanns något att elda upp, så sög man nu istället ut värmen ur planetens inre, koncentrerade solstrålningen på dess yta eller använde fusionsreaktorer för att få energi. Men slutet för all omvandling av energi är värme, så hur man än hade vänt sig, så hade energiförbrukningen till slut lett till en varmare planet.

Längre upp i norr var horisonten disig. Kanske brände man av skogarna för att få mark att odla. Torkan gjorde ju att den ryska savannen växte år efter år och drev jordbruket framför sig in i de nordliga skogarna. Istället för att ta åt sig koldioxid ökade den brinnande skogen den globala uppvärmningen och därmed torkan. Längre norrut visste jag att det också fanns koloxidosande träsk, där den eviga tjälen hade släppt.

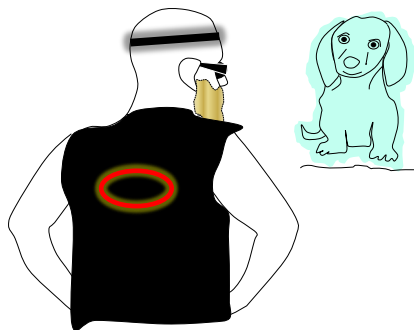
Det var en ond cirkel, som jordklotet hade hamnat i. Alltsammans var alldeles för invecklat och ännu mera invecklat blev det ju längre det pågick. Det var bäst att inte tänka på det, för ingen ensam människa kunde ändå göra något. Allt var kaos sedan nationerna gått under i klimatomvandlingens folkvandringar. Ingen visste hur man skulle ta sig ur det hela fast alla förstod att något måste hända. Hade jag anat vilken roll vi skulle komma att spela så hade jag aldrig gått med på resan.

Jag var på väg att koppla in mig på reklamen, som ju betalade resan, när något annat kom emellan.

En kraftig ung man i svart väst och bar, hårig överkropp närmade sig långsamt längs mittgången. Jag hade redan sett några sådana skäggiga unga män bland passagerarna. Han gick bredbent och myndigt som den gör, som vet sin makt. De bara muskulösa armarna stod ut från kroppen och hans små stickande ögon över tjocka kindknor betraktade vaksamt passagerarna.

Oroligt kände jag efter att antennen satt på plats. På Jorden ansågs det oansvarigt och omoraliskt att inte ha antennen korrekt på huvudet åtminstone i andras sällskap. Där plikt-känslan inte räckte till trädde moralpolisen in. Den bestod oftast av unga män som den här. De drog omkring överallt fyllda av sin egen betydelse. Det räckte att antennen satt lite på sned för att de skulle ingripa.

Mannen i västen närmade sig allt mer. Jag försökte låta bli att röra huvudet men följde honom med blicken bakom glasögonen. Han stannade bredbent vid vår rad med händerna i sidorna. Jag sneglade hastigt på min fru. Till min lättnad såg jag att hennes antenn satt som den skulle. Jag visste att han hade gått på mig annars. Av någon anledning ansåg de här typerna att kvinnor särskilt måste kontrolleras. Det hade visst med något äpple att göra men jag har glömt nu vad det gällde.



Hennes glasögon var mörka och ansiktet avslappnat. Hon hade redan kopplat in sig på sin privata reklamkanal. Det hade kunnat bli ett pinsamt uppträde annars. Min fru försummade aldrig att påpeka att mäns hjärnor utvecklades långsammare än kvinnors. Alltså var det inte kvinnor utan unga män som till exempel moralpoliser, som borde kontrolleras. Att de inte själva insåg det, visade bara hur rätt hon hade.

När jag försiktigt vände blicken tillbaka såg jag att det var Candy han tittade på. Hon låg mellan oss med nosen mot sätet. Nu märkte jag förskräckt i ögonvrån att hon satte sig upp. Kanske räckte det att jag tänkte på henne för att hon skulle aktiveras.

Moralpoliser avskydde hundar. De följde inte reglerna, som Cyberanden var programmerad efter. Genom antennen såg den till att människor handlade i eget intresse och inte i andras. Men det gjorde inte hundar. De hade ingen antenn och de höll alltid på sina ägare vare sig de tjänade på det eller inte. Därför visste man aldrig vad som skulle hända om man gick på en hundägare.

Han stirrade misstänksamt på Candy. Jag försökte se rakt fram men kände hur jag svettades. Så ryckte han på axlarna och gick vidare. Jag sneglade efter hans breda rygg. På den svarta västen lyste Cyberandens tecken, den brinnande antennen.

Illia till mods kopplade jag in reklamen. Först ville man veta vad jag tyckte var en lämplig ögonfärg på våren. Någon hade tydligen uppfunnit en metod att ändra den. Jag försökte låta bli att svara men frågan kom ständigt tillbaka. Till slut svarade jag ljusrött på pin kiv och fick i retur det aktuella läget i omröstningen fördelat på kön och ålder. Jag såg att jag tillhörde en mycket liten minoritet. Det kändes inte så bra. Det var alltid bäst att vara på den vinnande sidan. Jag var rätt säker på att mitt svar registrerades någonstans, om inte annat så för att justera min reklamprofil.

Sedan började det på allvar och mitt huvud fylldes snart av fantasier om olika produkter, som jag inte haft en aning om. Jag visste ju att samhällets välstånd hängde på att man ständigt köpte något nytt men som vanligt hade jag svårt att besluta mig. Jag kände hur det värkte i pannloberna och sneglade på min fru men där var ingen hjälp att få just nu. Hon brukade annars ta sådana beslut åt oss.

Till slut beslöt jag mig för en eltandborste med inbyggd kamera. Den sände direkt till glasögonen så att man kunde inspektera det borstade stället i realtid. Reklamen påstod att det var bra för mig eftersom jag hade benägenhet för tandsten. Hur den nu visste det.

Som avslutning erbjöds jag en tjänst där man kontinuerligt kontrollerade folks mentala hälsa genom hjärnantennen och satte in själavård i tid med de psykologiska verktyg, som fanns knutna till den.

Det var olycksbådande att få ett sådant erbjudande. Det var sant att jag ibland råkade ut för problem i cyberrymden, som inte ens Candy klarade av. I sådana fall drabbades jag ofta av depression, hopplöshet och hjälplöshet. Då kunde ju en sådan där tjänst vara bra att ha. Böner till Cyberanden hjälpte åtminstone inte mig så ofta. Kanske skänkte jag för lite fast jag gav de tio procent som ansågs skäligt.

Dessutom var jag rädd för att anklagas för samhällsfarlig antikonsumentism och bli tvungen att gå på omskolning. Det påstods ha hänt en av våra grannar. Det hade länge skvallrats om henne. En dag var hon bortrest och hade inte kommit tillbaka. Antagligen måste man själv betala behandlingen också.

Jag tvekade och tvekade och kände hur en svettdroppe rann över pannan ner i ena ögat. Jag sneglade på min fru för att få någon ledning men hon satt helt stilla med mörka glasögon. Jag suckade och antecknade mig för tjänsten.

Äntligen slapp jag ur reklamkanalen. Min fru vaknade upp och meddelade triumferande sina senaste fynd. Jag tog av mig ansiktsmasken och började ägna mig åt en krillrätt, som kom singlande ner från taket när man stirrade på ikonerna på matsedeln. Krillen var en liten räka i havet vid Jordens sydpol. Den simmade i stim och var ett av Jordens talrikaste djur. Den var förr föda åt de stora valarna som då levde i haven men nu skördades den av jättelika atomdrivna fartyg. Den innehöll en olja som var rik på ett fett som kallades omega-3. Den påstods reparera åldrande celler och minska rynkor, rodnader och hudproblem, saker som tyvärr kommer med åren...

Jag har alltid ätit långsamt och hann inte få i mig maten innan den hissades upp i taket igen för nu närmade vi oss Moskva. Bara inte den där moralpolisen kommer tillbaka med sina kompisar, tänkte jag medan vi gick in för landning.