



BEVINGAT

FLYG- OCH RYMDTEKNISKA FÖRENINGEN

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



BEVINGAD FLYGHISTORIA

Historiska artiklar ur Bevingat 2014—2018

Flygning med flax	sid. 2
Varför kunde inte romarna flyga?	5
Ferdinand von Zeppelin	7
Newton och reaktionskraften	9
Vem var Wan-Hu?	11
Bernoullis ekvation var Eulers	13
Flygpionjären Swedenborg	15
Hur George Cayley uppfann flygplansvingen	17
Clément Ader "flygningens fader"?	19
Om Otto Lilienthal	21
Bröderna Wright och propellern	22
Europa tar över efter bröderna Wright	26
Enoch Thulin en svensk flygpionjär	28
Inte bara Thulin	30
Ludwig Prandtl upptäckte toppvirvlarna	32
Charles Lindberg och flygets genombrott	33
Trafikflyget och propellern	35
Propellern vid ljudhastigheten	37
Dags för jetmotorn	39
Tidiga svenska flygplan och motorer	41
Svenska jetåldern börjar	44
Ljudvallen-var det en vall?	46
Kan man flyga överljud med propeller?	48
Hitlers flygande vinge	51
Segelflygets historia	54
Bypassmotorn revolutionerade luftfarten	58
Större och större dag för dag	61
Historien om helikoptern	65
Passagerarflygets historia	68
Hur man byggde flygplan förr	72

Flygning med flax

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 uppgå 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.

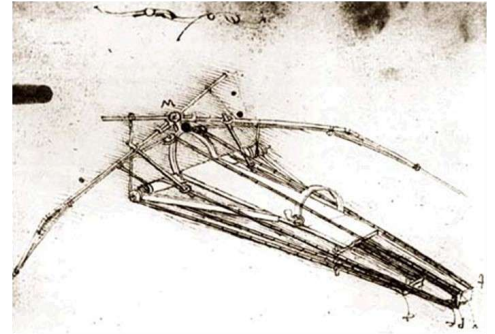
Alla dessa försök handlade mest om glidflygning. Idén om ortokoptern, en maskin med plana flaxande vingtytor (ortos), kläcktes av en engelsk filosof **Roger Bacon** (1214-1294).

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.

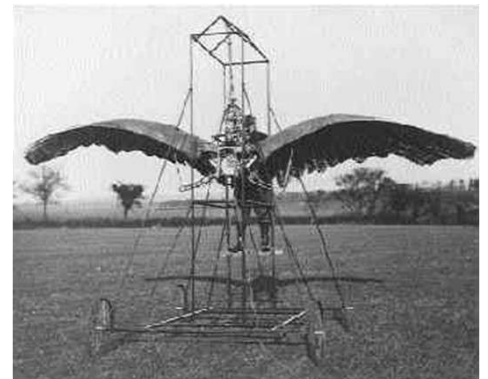
År 1870 flög däremot fransmannen **Gustave Trouve** 70 meter i en flaxande maskin med krutladdningar, som aktiverade ett bourdonrör. Ett bourdonrör använder principen att ett platt rör böjt i cirkelform vill räta ut sig under tryck.

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** (konstruktören 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 vingarnas 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.

Varför kunde inte romarna flyga?

När människor flög för första gången var det med en ballong år 1783 baserat på en upptäckt av Arkimedes nästan tvåtusen år tidigare. I ungefär 150 år härskade ballongerna i lufthavet till katastrofen med luftskeppet Hindenburg i New Jersey år 1937. Ballongen borde emellertid ha kunnat uppfinnas långt tidigare eftersom tekniken var känd redan i antiken. Varför blev det inte så?



Gravyr visande den första uppsändningen av en av Mongolfiers ballonger 1783.

Den 21 november 1783 är en viktig dag i människans historia. Det var då fransmännen Jean Pilatre de Rozier, professor i fysik, och markisen d'Arlandes, major i infanteriet, gjorde den första uppstigningen i en ballong konstruerad av bröderna Mongolfier och drev i nästan tio kilometer över Paris. Det var första gången människor flög på ett kontrollerat sätt.

Före denna första demonstrationsflygning inför kung Ludvig XVI hade de försiktiga bröderna Mongolfier skickat upp ett får, en anka och några kycklingar i september samma år. I deras mest framgångsrika försök uppnådde de 2000 meters höjd i en ballong med trettio meters diameter.

Ballongen är ett exempel på att vetenskap inte alltid omedelbart leder till tekniska uppfinningar och ekonomisk utveckling. Ofta är det så att när en uppfinning väl kommer till så görs den av folk utan vetenskaplig bakgrund, som provar sig fram till något som fungerar.

De båda bröderna Etienne och Joseph Mongolfier var inga vetenskapsmän eller vetenskapligt skolade tekniker. De var praktiska män, som var ägare till en pappersfabrik i Lyon och de gjorde sina ballonger av papper. Det var alltså frågan om en diversifiering för att använda ett modernt uttryck.



Bröderna Mongolfier

Det verkar som om de också hade varit inblandade i tvätteribranschen. Det sägs i alla fall att de kom på sin uppfinning när de såg att lakan, som torkades över en eld, höjdes och böljade uppåt. De trodde att detta berodde på röken från elden och kom på idén att binda fast en eld under lakanet. Det förefaller ju vara som att lyfta sig själv i skosnörena men se, det fungerade!

Det var emellertid inte röken, som lyfte Montgolfiers lakan. Det fylldes med varm luft, som var lättare än den omgivande undanträngda kalla luften. Antagligen ovetande hade de använt sig av en naturlag, som säger att om en kropp nedsänks i en vätska eller en gas, så påverkas den av en lyftkraft lika med det undanträngda mediets tyngd. Om kroppen är lättare än det undanträngda mediet kommer den att flyta upp som en kork.



Archimedes (287-212 f Kr)

Den grekiske vetenskapsmannen Arkimedes (287-212 f Kr) hade kommit på detta då han låg i sitt badkar och kände att han flöt uppåt, den s k Arkimedes princip. Enligt traditionen sprang han därefter naken genom gatorna ropande den berömda frasen "Eureka" (Jag fann det).

Arkimedes betraktas som en av de största matematikerna genom tiderna. Han gjorde de första ansatserna till infinitesimalkalkyl, tog fram formler för sfärens volym och yta och beräknade värdet på pi. Han är också en pionjär inom mekaniken, framförallt när det gäller stabilitet hos flytande kroppar.

Arkimedes levde och verkade i den grekiska kolonin Syrakusa på Sicilien. Hans hemstad blev indragen på Kartagos sida i det stora kriget mot Rom om herraväldet över Medelhavet. Arkimedes hjälpte till i försvaret av staden genom att uppfinna ett antal nya vapen, som beredde de belägrande romarna stora besvär. Samma dag som romarna bröt igenom stadens försvar satt han, enligt traditionen, fullt upptagen av ett matematiskt problem, uppritat i sanden. Då en romersk soldat kom framstörtande utbrast han: "Rubba inte mina cirklar!", varpå den upphetsade soldaten högg ner honom.

Det var ett beklagligt misstag ty den romerske befälhavaren Marcellus var väl medveten om Arkimedes förmåga och hade gett order om att han skulle betraktas som värdefullt krigsbyte. Romarna framförde till och med sina ursäkter och betalade ut en ersättning till hans familj. Det var tvärt emot den romerska

krigstaktiken ty enligt denna skulle allt levande, såväl människor som djur, i avskräckande syfte mördas i städer, som inte gav sig.

Det var inte självklart att det skulle ta tvåtusen år innan Arkimedes upptäckt ledde till flygande farkoster. Den teknik, som behövs för att bygga en varmluftsballong enligt Mongolfiers metod är enkel och fanns tillgänglig i både Grekland och Rom. Montgolfiers byggde sina första ballonger av papper. Papperet var inte känt i Rom där man använde pergament, men man kunde framställa stora mängder segelduk. Colosseum var utrustat med ett framdragbart tak av segelduk.

Papperet är en kinesisk uppfinning och det borde legat nära till hands att en kines kommit på Montgolfiers ide' att binda fast en eld under draken, som man ju uppfunnit. Men kineserna uppfunnit aldrig varmluftsballongen, kanske av en ren tillfällighet. Om så hade skett hade världen kanske sett annorlunda ut. Kineserna, som även uppfunnit krutet kunde kanske med ballongen ha fått ett avgörande militärt övertag i kriget mot mongolerna, som på 1200-talet ledde till den kinesiska stormaktens fall.

Att inget hände kan ha berott på den speciella kulturen i dessa samhällen. De var baserade på slavarbete och behovet av att utveckla en arbetsbesparande teknik saknades. Maskiner sågs mer som ett sätt att instruera och roa än som ett sätt att underlätta arbete. Stora delar av befolkningen saknade också ekonomiska resurser att efterfråga ny teknik.

Romarna tog efter sin erövring av Grekland på 50-talet f Kr över stora delar av den grekiska kulturen, dock inte naturvetenskapen. Ty romarna var inget spekulativt släkte utan snarare ett folk av jurister, militärer och byråkrater. Naturvetenskapen utvecklades inte och universitetet i Alexandria hämtade sig aldrig efter branden av biblioteket i samband med Caesars erövring av Egypten då 400000 papyrusrullar förlorades.

De forna samhällena kännetecknades också av en stor kunskapsarrogans. Man betraktade nyttigt arbete som intellektuellt och statusmässigt underlägset jämfört med sådant som inte medförde några praktiska resultat. Den så firade filosofen Sokrates (470-399 f Kr) skrev till exempel "Det som kallas mekaniska verksamheter är socialt mindervärdigt och föraktas med rätta i våra städer..." .

Idealet var den rena kunskapen utvecklad av ekonomiskt oberoende och fritt filosoferande aristokrater. Man försökte så mycket som möjligt fjärra sig från praktiken med dess svett och möda. Sådant ansågs vara något som bara slavar och lägre stående människor befattade sig med.

Denna inställning utgjorde då som nu en effektiv blockering av ett överförande av vetenskap i teknik. Ty det är ett faktum att de stora uppfinningarna inte gjorts av vetenskapsmän utan av människor som var för okunniga för att inse att det de försökte göra var omöjligt. Arkimedes är här något av ett undantag, ty han var en vetenskapsman, som också gjorde praktiska uppfinningar. Han var tvåtusen år före sin tid.

Man ska därför inte förakta vetenskapen. Även om greker, romare och kineser hade uppfunnit ballongen så hade de knappast kunnat ta nästa steg, som innebar att man fyllde ballongen med vätgas istället för varm luft. Idén uppkom troligen redan på 1200-talet men eftersom man saknade en sådan gas kunde idén helt enkelt inte realiseras förrän på 1800-talet.

Ferdinand von Zeppelin

Ballongen är en gammal teknik som verkar gå mot en ny vår. Tack vare framsteg inom material, framdrivning och teleteknik kan man, som vi har beskrivit i Bevingat 4/2013, i framtiden hålla plattformar stationära i den övre atmosfären under mycket lång tid så att de kan tjänstgöra som bas / relästationer för mobiltelefoni och internettrafik samt bärare av sensorer. Även om de båda franska bröderna Etienne och Joseph Montgolfier var de som första gången konstruerade en flygande ballong år 1783 så är det den tyske greven Ferdinand von Zeppelin, som ligger bakom ballongerna som vi nu känner dem. Han blev så förknippad med sin uppfinning att efter honom kom de stora luftskeppen att kallas zeppelinare.



Von Zeppelin i sin krafts dagar

Idén att fylla en behållare med en gas lättare än luft för att få den att stiga uppåt i atmosfären uppkom troligen redan på 1200-talet men eftersom man saknade en sådan gas kunde idén inte realiseras. År 1670 föreslog en italiensk munk Francesco de Lana en vakuum-ballong. Fyra kopparsfärer från vilka luften pumpats ut skulle, tänkte han sig, lyfta en farkost utrustad med åror och segel. Han visste förstås inte att det atmosfäriska trycket skulle ha pressat ihop hans kopparkulor om han inte gjort väggarna så tjocka att de på grund av sin tyngd inte kunnat lyfta.

Hundra år senare flög i alla fall ballonger både med varmluft och vätgas men man kom snart underfund med att de var mycket svårstyrda och tenderade att flyga dit vinden blåste. Man funderade på allehanda sätt att åtgärda detta som padlar, handdrivna propellrar och till och med dresserade örnar.

Problemet löstes när man kom på att bygga utdragna bal-

longer med motordrivna propellrar. År 1852 flög fransmannen Henri Giffard en sådan ballong utrustad med en ångmaskin. Den utdragna formen gjorde ballongen styrbar och minskade luftmotståndet. Det förutsatte förstås att man fyllde ballongen med gas och inte med varmluft, som hos Mongolfier. Problemet var att de gärna ville buckla eller böja sig i hårt väder eller med tung last. Detta försökte man lösa med en tråköl längs botten på ballongen men det fungerade aldrig särskilt bra. Här kom Zeppelin in i bilden.

Ferdinand Adolf August Heinrich Graf von Zeppelin föddes 1838 på en ö i Bodensjön och efter kadettskolan i Ludwigsburg, nära Stuttgart blev han vid tjugo år officer i den tyska staten Württembergs armé. Detta var några år innan Bismarck enade Tyskland under Preussens ledning.



Ferdinand (andra från höger) under det amerikanska inbördeskriget

År 1863 sändes Zeppelin 25 år gammal till USA som observatör under amerikanska inbördeskriget. Han fick ett pass av president Abraham Lincoln, som gjorde att han kunde följa de nordamerikanska trupperna.

Många europeiska nationer följde med intresse detta krig, som kan betraktas som det första mekaniserade kriget inte minst på grund av användningen av järnvägen för snabba trupptransporter. Utbrottet av europeernas eget inbördeskrig 1914 visade sig ju sedan omöjligt att hejda efter det att tågen väl börjat rulla.

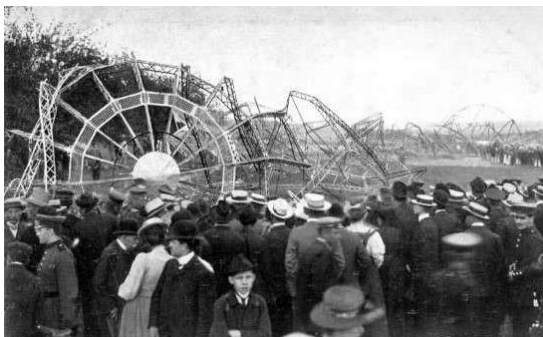
Men Ferdinand var ung och det romantiska Vilda Västern lockade kanske mer än det mekaniserade mördandet. Hur som helst så lämnade han krigszonen och sökte sig västerut. Det var i St Paul i Minnesota långt från striderna, som vändpunkten i hans liv kom. Han fick flyga i en 4000 kubikmeters ballong, som tidigare hade använts av nordstatsarmén för spaning. Ferdinand hade sett världen från ovan och han glömde det aldrig.

Han återvände till sin militärtjänst i Tyskland men fortsatte att grubbla över ballonger. År 1874 gjorde han anteckningar i sin dagbok om en aerodynamiskt utformad ballong förstyvad av ett fackverk av ringar och långsgående spant och innehållande separata celler för gas. Det var så hans framtida zeppelinare skulle se ut.

År 1887 skickade han ett memo till kungen av Württemberg där han föreslog användningen av sådana luftskepp för militära ändamål. Men han fick inget gehör. Militärerna var som vanligt tveksamma till nyheter som kullkastade deras uppjord planer.

Ferdinand svalde förtretet och avancerade så småningom till att bli general i kavalleriet. Varande från Wurtemberg kritiserade han öppet den dominerande roll, som Preussen fick i det nya tyska riket. Detta gjorde att han fick lämna det militära.

Från 1890 ägnade han sig helt åt styrbara luftskepp. Han grundade företaget Zeppelin i Friedrichshafen vid Bodensjön och efter tio år den andra juli 1900 flög hans första zeppelinare, det 128 meter långa LZ 1, över sjön. En zeppelinare är ett stelt luftskepp, motordrivet och gasballongbaserat på ett metallskelett klätt med duk.

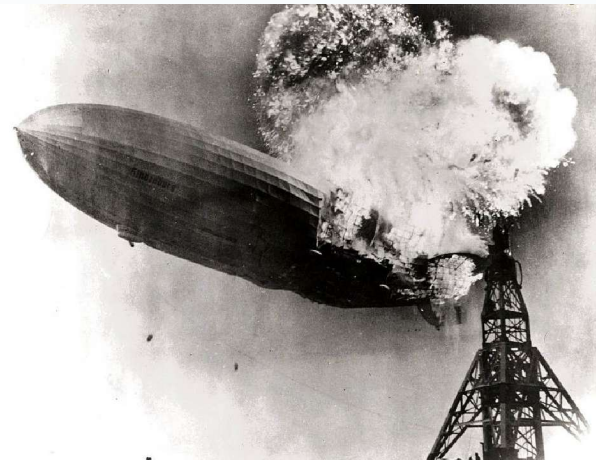


Rester av LZ4 vid Echterdingen

Han hade många motgångar, bland annat en allvarlig katastrof vid Echterdingen 1908. Hans fjärde version av luftskepp, LZ4, måste nödlanda under en storm men slet sig från sina förtöjningar och förstördes när vätgasen exploderade. Men med okuvlig energi lyckades Zeppelin samla medel för att

fortsätta experimenten och nå de mål han satt upp. Efter olyckan i Echterdingen genomfördes "Zeppelinspende", den största insamlingen i det kejsrerliga Tyskland, som lade grunden för Zeppelin-stiftelsen.

Han var inte bara uppfinnare och drivkraften bakom konstruktionen och byggandet av sina luftskepp, han flög också de flesta av dem själv. Så småningom kom också framgångarna men han verkar ha avsett sin uppfinning främst för militära ändamål. Zeppelinare i en ytterligare förbättrad version spelade under första världskriget en betydande roll och användes av tyskarna i hela eskadrar för räder till olika delar av de fiendliga länderna för rekognosering och för bombning.



Hindenburg brinner

Zeppelin dog 1917 före slutet av första världskriget. Det var först efter hans död, som hans uppfinning kom att användas civilt. Under åren före andra världskriget användes zeppelinare i passagerartrafik över Atlanten och mellan flera tyska städer. Dessa tyska zeppelinare var fyllda med vätgas för att hålla luftskeppet lättare än luft, vilket var olyckligt då vätgas i blandning med luftens syre bildar knallgas, som är mycket explosiv. Således inträffade en hel del olyckor.

Den mest kända olyckan är då luftskeppet Hindenburg började brinna 1937. Hindenburg, världens just då största zeppelinare, förstördes då det anlant till Lakehurst i New Jersey. Troligen träffades det av en blixtnedslag som antände vätgasen. Händelsen filmades och reportern som kommenterade började gråta, vilket nog bidragit till att denna filmsnutt blivit en av de mest uppmärksammade och mest sedda katastrofdokumenterna. Mest anmärkningsvärt är att många passagerare överlevde trots att 35 människor dog.

Numera används uteslutande helium, vilket ger något sämre lyftförmåga, eftersom helium är något tyngre än väte, men som är helt säkert. Olyckan fick ändå en stor betydelse. Ingen vågade längre flyga med zeppelinare. Istället blev det flygplanen som tog över lufttrafiken. Fast kanske är luftskeppen nu på väg tillbaka.

Newton och reaktionskraften

Isaac Newton 1642-1727



Reaktionskraften

$$F = \dot{m}V_j$$

Kraft=massflöde (kg/s) x strålhastighet (m/s)

Det brukar sägas att det enkla är det geniala och det finns några enkla ekvationer, som betytt mycket i människans historia. Den mest välkända är antagligen Einsteins $E=mc^2$, som talar om hur mycket energi som finns bunden i atomen och frigörs när en atombomb exploderar. Den ekvation, som ligger till grund för flygtekniken är lika enkel och av minst lika omvälvande betydelse. Den upptäcktes av den engelska vetenskapsmannen Isaac Newton på 1600-talet, se bild ovan.

Det var en tid då den vetenskapliga revolutionen började ta fart i Europa och det var med förväntan men också med onda aningar, som den unge astronomen Edmund Halley steg ur diligensen i Cambridge. Han skulle träffa Isaac Newton.

Newton (1642-1727) räknas jämte Einstein och Arkimedes till de största genierna genom tiderna. Han är också intressant därför att han är upphovet till myten om den galne vetenskapsmannen, något som har blivit en del av populärkulturen.

Newton var verkligen originell. Född som bondpojke kom han, efter en olycklig barndom, till universitetet i Cambridge som artonåring. Där beslutade han sig för att leva i celibat och blev efter intensivt arbete professor i matematik vid 28 års ålder. Under dessa tio år gjorde han de flesta av sina vetenskapliga upptäckter men publicerade inget för att slippa slöseri med tid och diskussioner med folk, som ändå inte begrep vad han höll på med.

Newton var ytterst opraktisk och han mistänkte alla

människor men älskade djur. När hans katt fick ungar såg han till att varje unge fick sitt eget hål i ytterdörren. Han drog sig inte ens för att experimentera på sig själv till exempel genom att sticka sig i ögat med en nål för att studera de färgade ringar som då uppstod. Han glömde ofta att äta, gick i trasiga skor med nedhasade strumpor och det okammade håret hängande till axlarna, visande alla tecken på intellektuell briljans. Universitetet krävde förståndigt nog bara en föreläsning om året av honom men den var sådan art att studenterna oftast tacksamt uteblev.

Till slut publicerade han ett arbete om optik där han hävdade att ljuset var en ström av partiklar. Olyckligtvis hävdade en annan professor, Robert Hooke, att ljuset var en våg och kritiserade Newton. Långt senare visade Einstein att ljuset kunde vara bådaderna men Newton blev så förolämpad över Hookees kritik att han beslöt att sluta med vetenskap. Han utsåg Hooke till sin dödsfiende och när han långt senare efterträdde honom som ordförande i vetenskapsakademien Royal Society såg han till att alla porträtt av Hooke försvann därifrån.

Newton gick nu över till astrologi och religion. I tjuo år försökte han framställa guld ur kvicksilver och beräkna datum för jordens skapelse utifrån bibeln. Detta visade sig emellertid omöjligt även för en person med hans kapacitet och ledde till flera nervsammanbrott.

Sådant var läget när Halley steg ur diligensten i Cambridge. Han ville fråga Newton om han visste banan på en planet som rörde sig runt solen. Han väntade sig halvt om halvt att bli utsparkad men till hans lättnad tog den besvärlige Newton vänligt emot honom och förklarade att banan var en ellips. På Halleys fråga hur han kunde veta det, svarade Newton att han beräknat det för länge sedan men att han måste leta i sina papper.

När Newton väl börjat rota i sina gamla papper vaknade hans gamla intresse och han började arbeta intensivt. Resultatet blev hans berömda bok *Principia Mathematica*, en av historiens mest omvälvande verk publicerad 1687.

Man hade länge funderat över varför kroppar rör sig. Aristoteles (384-322 f Kr) ansåg att en kropp måste utsättas för en ständig kraft för att fortsätta röra sig. Han trodde att luften av sig själv delade sig framför kroppen och slöt sig bakom den och på så sätt tryckte den framåt. Tanken levde vidare i 2000 år men år 1590 fann Galileo Galilei genom experiment att en kropp, som en gång kommit i rörelse fortsätter att röra sig även om den inte utsätts för några krafter.

Det uppenbarades nu av Newton att den kraft, som krävs för att röra en kropp är proportionell mot ändringen av kroppens impuls (massa x hastighet). Av detta följer att reaktionskraften hos en utströmmande vätska eller gas är lika med massflödet gånger strålhastigheten. Kraften hos en stråle med massflödet ett kilo per sekund och hastigheten en meter per sekund kallas därefter för en Newton. Det är den ekvationen, som gör att vi kan flyga. Våra flygplan och raketer baseras på reaktionskraften. Med vingar eller motorer accelereras en stråle och reaktionskraften driver och lyfter farkosten.

Newton blev nu en världskändis och valdes till parlamentet där han lade en enda motion, att man borde stänga ett dragigt fönster. Han tappade lusten att återvända till Cambridge, tog jobb på myntverket, avancerade till direktör, utrotade ett antal falskmyntare, grälade med allt och alla och begravdes till slut i ett praktfullt maosoleum i Westminster Abbey. Efter hans död upptäckte man att kroppen innehöll stora mängder kvicksilver efter alla år med guldmakeri.

I slutet av sitt liv invecklade han sig också i ett stort gräl med tysken Gottfried Leibniz om vem av dem, som först upptäckte differentialkalkylen. Denna matematiska gren handlar om hur snabbt saker förändras och är en av de största uppfinningarna i matematiken.

Twisten kom att sysselsätta de två stridstuppornas anhängare lång tid efter deras död och är en av de mest kända i matematikens historia. Det är högst troligt att de upptäckte metoden oberoende av varann.

Reaktionskraften som sådan var förstas känd långt före Newton. Enkla vattendjur använde den för att ta sig fram för många hundra miljoner år sedan. Maneterna är kanske det bästa exemplet där de drar ihop sig och pumpar vatten bakåt. Insekterna lärde sig flyga med reaktionskraft för 400 miljoner år sedan och fåglarna för 150 miljoner år sedan. Men förklaringen hur det hela fungerar kommer från den gamle hippien Isaac Newton.



Newton's grav i Westminster Abbey.

Vem var Wan-Hu?



Det finns en staty av en viss Wan-Hu utanför den kinesiska rymdbasen Xichang där man skickar upp Kinas satelliter, se ovan. Men vem var han?

Enligt historien, som den berättas, ska han ha varit en mandarin, en högre statlig tjänsteman. Omkring år 1500 lät han bygga en raketdriven stol och beslöt att bli sin egen testpilot. Efter viss övertalning fick han en av sina underlydande att tända på. Tyvärr var maskinen svårartat instabil och det är inte heller troligt att man lyckades tända alla 47 raketerna samtidigt. Hur som helst, när röken och flammorna lagt sig såg man, som man säger, aldrig mer röken av Wan-Hu.

Trots att det hela skulle ha ägt rum i Kina så är Wan-Hu nästan säkert en västerländsk uppfinning. Efterforskningar har visat att den första kända förekomsten av Wan-Hu i tryck var 1909 i Scientific American där hjälten fick namnet "Wang Tu". År 1944 återberättas historien av den kände författaren Willy Ley (1906-69) och eftersom intresset för rymdresor exploderade just då så spreds historien snabbt. På 1960-talet nådde den ända till månen tack vare ryssarna, som döpte en krater efter Wan-Hu

Oavsett sanningen i sagan så kunde den bara ha ägt rum i Kina. Kineserna var nämligen långt före alla andra när det gällde raketer. När romarriket föll blev Kina den enda återstående supermakten och Kina hade redan på många områden en högre teknik än Rom. Så uppfann man till exempel gutjärn och vattendrivna maskiner

under Handynastin (-200-200) mer än tusen år innan de användes i Europa.

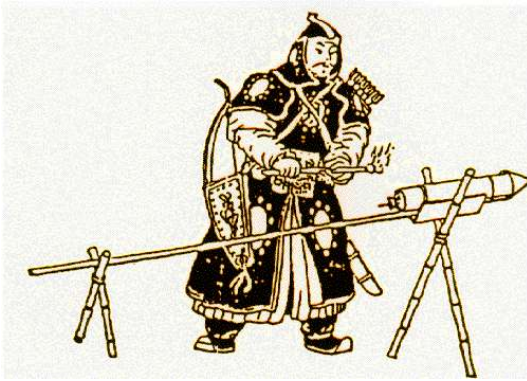
I Kina var man inte heller lika bunden som i slaveriets Rom även om arbetsplikt förekom. Kreativiteten kan därför ha varit större och de statliga verkstäderna hade stor betydelse när något nytt och ovanligt maskineri skulle utvecklas. I dessa arbetade fast anställda men också hantverkare, som fullgjorde sin arbetsplikt, som uppgick till en månad om året.

En viss flygteknik fanns tidigt. Kineserna uppfann av allt att döma drakflygningen så tidigt som fem århundraden före Kristus. Från år 196 f Kr berättas om en general under Han-dynastin, som lät överflyga ett palats med drakar för att bedöma den erforderliga längden på en



belägringstunnel. Kinesiska legender berättar också att drakar användes för att lyfta spanare i krig och byggnadsmaterial till toppen på byggnader.

Antika kinesiska raketer går långt tillbaka i tiden. Någon gång före Kristus uppfann kineserna krutet bestående av salpeter, svavel och träkol. Sedan var det nog bara en tidsfråga innan någon glömde ett bamburör fyllt med krut i elden och fann det visslande förbi huvudet. Raketten och därmed den första praktiska användningen av reaktionskraften, var född.



Kineserna började experimentera med raketer och fäste dem vid käppar, vilket stabiliserade dem i banan. Under inbördeskriget år 228 använde Wei-staten facklor på raketpilar för att försvara sig mot de invaderande styrkorna från Shu-staten.

Tangdynastin (618-907) var en storhetstid i Kina. Man hade en stark centralmakt och kanalbyggen och andra stora projekt skapade mycket teknik. Boktryckarkonsten utvecklades ungefär tusen år före Gutenberg och underlättade spridning och bevarande av kunskap.

Under Songdynastin (960-1279) började kineserna bli allt mera trängda av mongoler, som anföll från norr. I slaget mot mongolerna vid Kai-fung-fu år 1232 satte kineserna in raketer, vars donder enligt uppgift hördes på 25 km avstånd och som vid nedslaget förstörde allt inom tvåtusen fot. Man lyckades ändå inte hindra mongolerna från att tränga in i Kina och tillägna sig raket-tekniken.

Under Mingdynastin (1368-1644) på 1550-talet och 1560-talet uppfanns nya typer av raketer under striderna mot japanska pirater. En typ hade en kropp gjord av hårt trä toppad med ett pansarbrytande svärd, spjut eller kniv. En annan nyhet var en föregångare till Stalin-orgeln. Man satte upp till hundra raketer i en hink och tände dem alla samtidigt. På så sätt kunde man spraya fienden med eld över ett mycket brett område. Flera hinkar kunde placeras på en vagn, vilket möjliggjorde att hundratals eller tusentals eldpilar sköts samtidigt på fienden.

Vid det laget hade raketen redan kommit till Europa. Det skedde då mongolerna satte in raketer när de oför-synt nog erövrade Budapest på själve den kristne frälsarsens födelsedag, juldagen 1241. De blev sedan tillbakaslagna men raketen hade kommit till Europa för att stanna.

Alltid redo för nya ideer, som europeerna var då för tiden, så lärde de sig snabbt att använda den nya tekniken till det, som de var mest intresserade av, nämligen krig. Sedan de erövrat resten av världen och delat den mellan sig, kastade de sig i sin sysslöshet över varandra i oändliga och invecklade inbördeskrig där raketen kom till god användning.

Raketens första militära storhetstid kulminerade således när den engelska flottan bombarderade Köpenhamn med tiotusentals raketer under napoleonkrigen 1807. Dundret lär ha hörts långt upp i Halland men resultatet motsvarade knappast det spektakulära fyrverket på grund av den dåliga träffsäkerheten. Raketen fick så småningom ge sig för kanonen just på grund av detta och det lyckades man åtgärda först på 1900-talet.

Numera har raketen en säker ställning som transportör av sprängmedel över stora avstånd. Men det skulle dröja mycket länge innan någon gjorde om Wan-Hus försök.

Kineserna kunde inte behålla sin ledning. Turligt nog för omvärlden utvecklades det kinesiska samhället i en intellektuell och humanistisk riktning snarare än en militär och affärsmässig. Kina försummade sin vetenskap och tekniska utveckling och hamnade på efterkälken. Det blev istället europeerna som erövrade världen.

År 1800 hade Kina en tredjedel av världens ekonomi men sedan gick det snabbt utför. En botten nåddes kanske under opiumkrigen i mitten på artonhundratalet då statliga brittiska knarkhandlare med vapenmakt lyckades tvinga på landet sitt opium med svåra sociala konsekvenser som följde.

Det var inte förrän i slutet av 1900-talet som nationen åter kunde börja utveckla raketer, som kunde konkurrera med de i väst. Inom några år kommer Kina att passera USA och åter bli världens största ekonomi. Man vill nu också bli en kulturell och teknologisk supermakt och den spektakulära rymdtekniken passar då bra in. I det sammanhanget faller det sig naturligt att peka på gamla bedrifter på området. Kanske är det därför som Wan-Hu har blivit en hjälte i det land där han hade hört hemma om han hade funnits.

Bernoullis ekvation var Eulers



Om en välvd vinge förs genom luften tvingar den luften att strömma nedåt bakom vingen. Den nedåtgående luftströmmen ger lyftkraft bara genom att vingen rör sig framåt. Enligt Newtons ekvation blir reaktionskraften på vingen massflödet multiplicerat med accelerationen hos den nedåtströmmande luften. Denna reaktionskraft ger lyftkraften på vingen.

I praktiken är det dock svårt att beräkna storleken på massflödet och accelerationen. Därför har man utvecklat enklare beräkningsmetoder. Den vanligaste utnyttjar den tryckökning som uppstår på en yta när man blåser på den, det så kallade dynamiska trycket. Det totala trycket på ytan är summan av det dynamiska trycket och det statiska trycket i den fritt strömmande luften. Detta dynamiska tryck, ofta betecknat "q" kan beräknas med en av de grundläggande ekvationerna i flygtekniken:

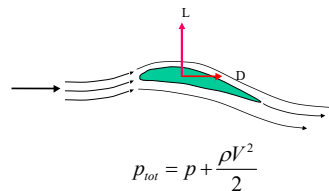
$$q = \rho V^2 / 2$$

där ρ är luftens täthet och V dess hastighet.

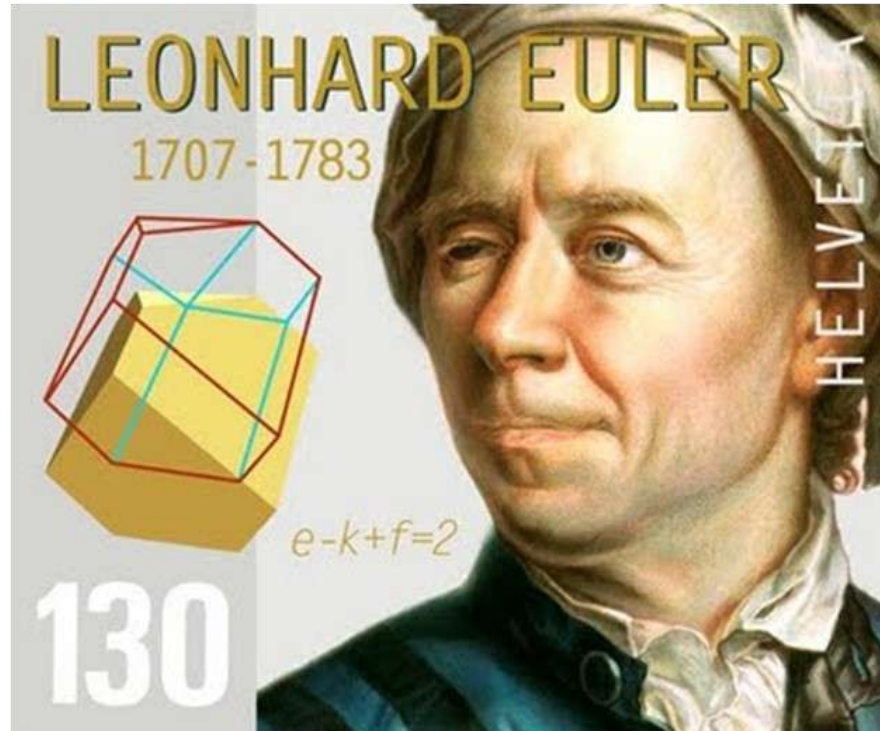
På grund av vingens krökning tvingas luften på ovansidan av vingen att strömma längre väg än luften på undersidan. Hastigheten är därför lägre på undersidan. Eftersom det totala trycket är detsamma blir det statiska trycket tvärs strömningsriktningen högre på undersidan vilket ger lyftkraften. Detta har visat sig vara det enklaste sättet att beräkna en vinges lyftkraft. Man brukar därför ange både lyftkraft och motstånd som koefficienter multiplicerade med det dynamiska trycket.

Ekvationen för det dynamiska trycket har uppkallats efter matematikern Daniel Bernoulli. Daniel var från Basel i Schweiz och han hade god familjär uppbackning. Han far Johann var en excellent matematiker och hans farbror Jacob ändå bättre. Han anses bland annat vara en av uppfinnarna av integralen.

Under kriget mot Karl XII hade Tsar Peter i början av



1700-talet anlagt en stad vid Finska Viken för att säkra sin tillgång till Östersjön. När kriget var slut flyttade han sin huvudstad dit. Han och hans efterföljare ville göra Sankt Petersburg till ett ledande europeiskt centrum och inbjöd ledande vetenskapsmän att komma dit och arbeta på fördelaktiga villkor. Många nappade på erbjudandet och en av dem var Daniel Bernoulli.



Daniel började arbeta på sin berömda bok "Hydrodynamica" år 1729 när han var professor i matematik i St Petersburg. Han försökte förstå sambandet mellan tryck och hastighet i vätskor. Detta var förstas inget nytt problem. Redan 1673 visade Edme Mariottes att om en vätska stoppas upp mot en vägg så uppstår en kraft som beror på hastigheten i kvadrat. Själve Newton hade också kommit fram till samma sak. Sex år innan Bernoulli gav ut sin bok hade dessutom Henri Pitot uppfunnit det s k Pitotröret, som han använde för att mäta hastigheten på olika djup i strömmande vatten. Han antog mer eller mindre på känn att tryckskillnaden mellan strömmande och stillastående vatten berodde på kvadraten på hastigheten men multiplicerade med en konstant.

Den ekvation Daniel kom fram till i sin bok från 1738 är inte den vi idag kallar Bernoullis ekvation men den var ändå så lik att man uppkallat ekvationen efter honom. Den utvecklades vidare av hans far Johann i en annan bok "Hydraulica" från 1743. Men egentligen var det ingen Bernoulli, som formulerade ekvationen som vi nu ser den. Det gjorde en annan schweizare från Basel, Leonhard Euler, som var sju år yngre än Daniel. Han följde honom till St Petersburg, där han också blev professor i matematik och slutligen 1764 formulerade Bernoullis ekvation. Han kom med tiden att bli en av de största matematikerna genom tiderna. Han uppställde bland annat de så kallade Eulers ekvationer, som gjorde det möjligt att beräkna vad som händer i en friktionslös strömning.

Daniel och hans farbror Jacob kom att inveckla sig i

strider om prioritet till upptäckter inom matematiken. Jacob Bernoulli tog matematiken på allvar. Han kastade i vredesmod ut Daniel ur huset när det stod klart för honom att han skulle dela ett pris från akademien i Paris med denne. Daniels far Johann verkar också ha haft en lite tveksam inställning till sonens förmåga ty han uppmuntrade Daniel att söka sig något annat. Men Daniel gav inte upp för det och när han dog 1782 hade han blivit en erkänd matematiker.

Kanske för att den var härledd av en matematiker, betraktades hans ekvation länge med misstro av praktikers män. År 1759 publicerade den kände väg- och vattenbyggaren John Smeaton mätningar av det dynamiska trycket men fann en konstant, som var något mindre än $\frac{1}{2}$ i stället för det matematiskt korrekta värdet $\rho/2$ enligt Bernoulli. Under de närmaste 150 åren var det hans empiriska värde som användes. Inte förrän 1913 slog John Airey från universitetet i Michigan fast att Bernoullis ekvation gällde. Under tiden hade felet ställt till en hel del problem som till exempel för bröderna Wright när de försökte dimensionera sina vingar.

Hursomhelst, med Newtons och Bernoullis ekvationer hade den teoretiska grunden lagts för flygtekniken. Men ännu återstod det förstas en lång väg innan ekvationerna kom till användning i praktiken så att människor kunde börja flyga.

Flygpionjären Swedenborg

Beräkningar visar att det flygplan som ger minsta motstånd i både under och överljud är en utdragen ellips vars längd-axel ställs i olika vinklar beroende på hastigheten, se [Oblique Flying Wings - Desktop Aeronautics](#) där bilden bredvid från NASA finns.

Sådana flygplan slog aldrig igenom även om flera byggdes i USA och Kanada före första världskriget. Tanken på flygande tefat är alltså inte helt förflugen om än något utdragen. I själva verket finns det en hel US Patent underklass (klass 244, flygteknik, Underklass 21,2 Flygplan, cirkulär), som behandlar flygplan med sådana vingar.

En, som tidigt var inne på liknande ideer, var Emanuel



Swedenborg (1688-1772), ett av det svenska 1700-talets universalgenier. Vid 22 års ålder var han redan filosofie doktor efter studier i Uppsala. Han skaffade sig kunskaper i teologi, metallurgi, mineralogi, kemi, anatomi, psykologi och geologi. Han lärde sig elva språk och han siktade på att presentera en ny idé varje dag. "Beskrivning över svenska masugnar och deras blåsningar" kom ut 1717. Den handlade om metoder för järnsmältning samt masugnarnas konstruktion och den innehöll många förslag till förbättringar.

Ingenting verkade för svårt för honom och på 1730-talet inledde han övermodigt ett forskningsprojekt, som gick ut på att vetenskapligt bevisa själens odödlighet. Arbetet satsade honom i många år, men ledde inte fram till de resultat han hade hoppats på. Om själen överhuvudtaget fanns och överlevde döden så tycktes den försvinna till okänd plats när människan dog. Att hitta den där och fastställa dess överlevnad lyckades han aldrig med.



Kanske "gick han in i väggen" eller fick en vanlig 50-årskris, han började i alla fall få underliga drömmar och syner. Det började 1743-1744 under en av hans många resor till Holland och England och 1748 började han skriva ned dem i de böcker som kallas "Skrifterna". Under resten av sitt liv publicerade han många filosofiska och teologiska verk, tolkade bibliska texter och beskrev sina visioner. Hans mest kända bok är kanske "Om himlen och dess under och om helvetet", som handlar om livet efter döden. Han hade inte helt givit upp om själens odödlighet.

En av Emanuel Swedenborgs teser var att världen var en avspeglning av en osynlig högre tillvaro. Allt som existerar i den naturliga världen har sin motsvarighet i andevärlden, även själen får man förmoda. Kanske var han inspirerad av den antike filosofen Platon. Platon skilde mellan sinnevärlden där människorna levde och idévärlden, som var den äkta och sanna. Kanske var han framsynt med tanke på den spegelvärld med mörk materia, som fysikerna just nu letar efter i CERN.

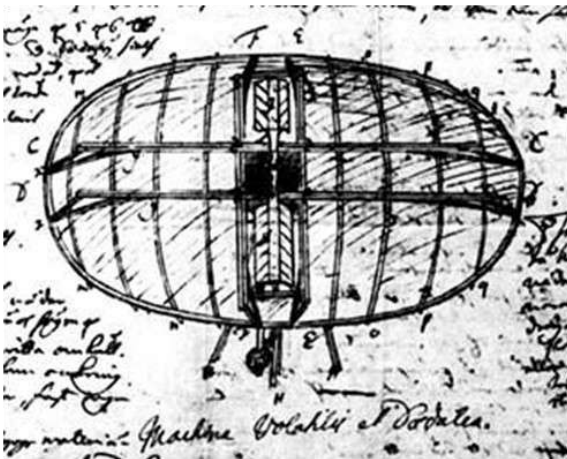
Han kom i alla fall att bli en viktig föregångare till spiritisterna, som försöker kommunicera med andevärlden, medan hans vetenskapliga insatser blev bortglömda. Det var först under 1900-talet som dessa återupptäcktes.

Redan 1716 gav han ut Sveriges första vetenskapliga tidskrift, Daedalus Hyverboreus, där han bl.a. beskrev några av de uppfinningar som han och Christopher Polhem gjort. Han arbetade som Polhems assistent, bland annat vid de första försöken att bygga en kanal förbi fallen i Trollhättan. Företaget resulterade i en halvfärdig sluss och lades ner på grund av pengabrist. Han var dessutom ett tag förlovad med Polhems femtonåriga dotter men det blev inget av det hela. Han förblev livet igenom ogift och hade kanske därför allt för mycket tid att ägna åt andliga ting.

Tidskriften *Daedalus Hyperboreus* utkom under två år och sex nummer. Han bekostade utgivningen själv och den skrevs på svenska och inte latin, som var vetenskapens språk på den tiden. Det ledde tyvärr till att uppsatserna inte fick någon större spridning utanför Sverige.

Det mest intressanta för oss är uppsatsen "En machine att flyga i wädret" som publicerades år 1716. Den dök upp i det fjärde numret av *Daedalus Hyperboreus*. Det var en märklig skapelse med hjul och landningsställ, som där presenterades, se modellen till höger. Flygmaskinen har en konkvav lyftyta (krökt i både längd och bredd) över en stomme av träribbor med ett sittrum under. Swedenborg bedömde att en vingyta på minst 54 kvadratmeter behövdes för att lyfta en man på 68 kg. Under flygplanet hänger en vikt på ett lispund (ca 9 kg), som enligt Swedenborg ska stabilisera maskinen.

Vid sittrummet fanns en konstruktion med paddlar som skulle driva flygplanet framåt men också kunna ge lyftkraft genom att ändra infallsvinkeln. Swedenborgs flygprojekt skilde sig därmed från de som tidigare tagits fram av till exempel Leonardo da Vinci. Dessa utgick från rörliga vingar, det vill säga att man ville härma fåglarnas sätt att flyga. Eftersom Swedenborgs paddlar tydligen inte avsågs som det primära sättet att ge lyftkraft så är han den förste, som åtminstone delvis skilde mellan lyft- och dragkraft.

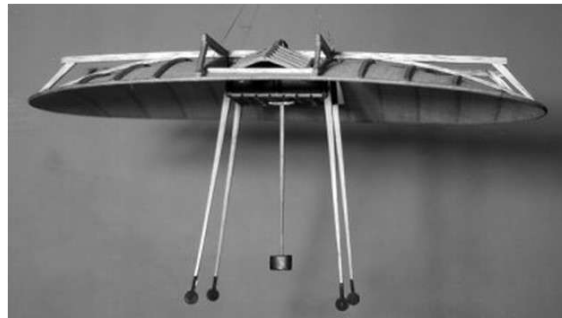


Swedenborgs utkast till en flygmaskin. Foto: Tekniska museets i Stockholm arkiv.

En fullständig separation av dessa två system skulle inte komma förrän 85 år senare då Sir George Cayley designade det första flygplanet med fasta vingar 1799. Swedenborg lär därför ha varit den förste som förklarade hur ett flygplan skulle kunna lyfta med fasta vingar.

Vid 50 årsålder hade Swedenborg publicerat 3 böcker om

filosofi och 33 böcker om vetenskap. Några av de teorier Swedenborg framlägger är läran om atomerna samt nebulosateorin, att solen är ursprunget till vårt planetsystem, att ljus är vågformigt och att magnetism och elektricitet hör ihop. 1735 publicerade han i Leipzig tre volymer som han kallade *Opera philosophica et mineralis* ("Filosofiska och mineralogiska arbeten") där han försökte sammanföra filosofi och metallurgi. Verket blev främst uppskattat för sitt kapitel om smältning av järn och koppar, och det var detta, som gav honom internationell uppmärksamhet. Det var dåtidens mest omfattande och detaljerade vetenskapliga arbete inom området.



Swedenborgs flygplan. Foto: Tekniska museets arkiv.

Mot slutet av hans liv hade mindre grupperingar i Sverige och England bildats för att studera hans skrifter och de sanningar som de ansåg fanns i hans lära. Ett flertal författare influerades av honom men alla var inte positiva. Johan Henrik Kellgren publicerade bland annat en middikt som hette "Man äger ej snille för det man är galen" 1787.

*"Men fast man någon gång i Solen fläckar såg,
Blir Månen likafullt, med sina fläckar, Måne.
Fast Newton sjelf en dag i Andefeber låg,
Blir Swedenborg ändå helt rätt och slätt – en fåne."*

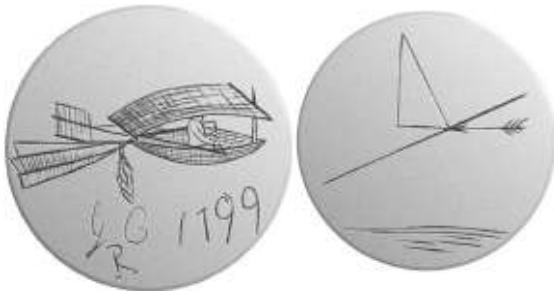
Ingen kan ändå förneka att många av hans idéer var banbrytande. I sina uppsatser beskrev han bland annat en ubåt, ett automatvapen, en vakuumsug, ett universalmusikinstrument och en metod för att beräkna longitud baserad på positionen av månen. Han föreslog också en rullmaskin för att kunna transportera svenska krigsfartyg landvägen från Strömstad till Idefjorden vid Karl XII:s invasion av Norge. Dessutom studerade han den mänskliga hjärnan och var troligtvis först med att föra fram idén om att vissa områden i hjärnan styr vårt tal och våra rörelser. När det gäller flyg var han tyvärr alldeles för tidigt ute för att hans idéer skulle kunna förverkligas.

Hur George Cayley uppfann flygplansvingen



Engelsmännen har namn om sig att vara det mest excentriska av alla folk. En typisk engelsman är George Cayley (1773-1857), uppfinnaren av segelflygplanet. 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 vinge 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 sil-



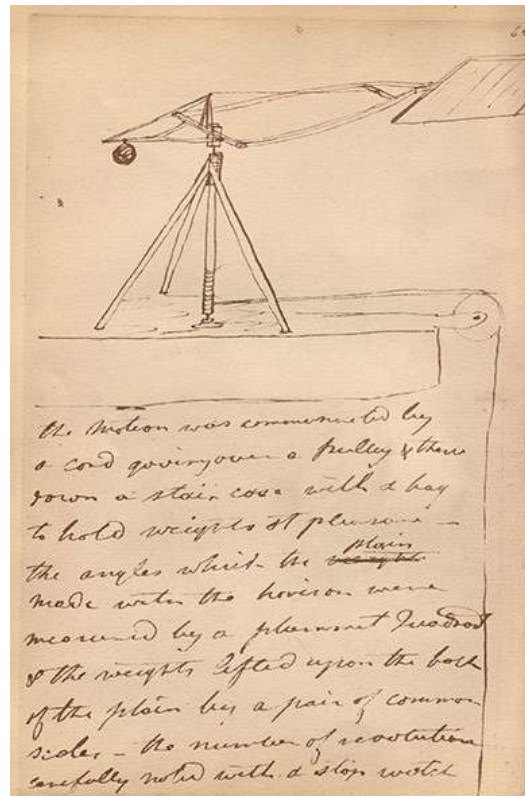
verbricka, som numera finns på Science Museum i London.

På andra sidan av brickan ristade han in sin analys av krafterna på en vinge uppdelade i lyftkraft och motstånd. Det innebar ett viktigt steg framåt i förståelsen av flygningens mekanik. Han hade därmed gjort en av de viktigaste uppfinningarna i historien.

Cayley verkar ha blivit intresserad av flygning när han fick se en leksak i form av en helikopter där en propeller sattes i gång genom att dra i ett snöre. Han byggde en egen modell med två motroterande fyrbladiga propellrar som drevs av en pilbåge vars sträng lindades upp längs axeln mellan propellrarna. Han insåg att om man gjorde en sådan maskinstörre så skulle den kunna bära en människa.

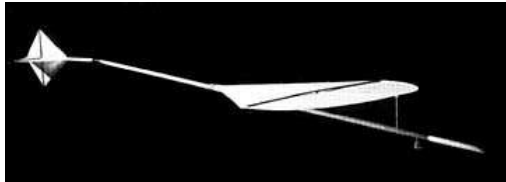


Redan 1804 byggde Cayley en maskin för att prova vingprofiler där provobjektet fästes på en lång arm som vreds runt med hög hastighet.



Cayley skrev också om sina resultat. År 1809 och 1810 publicerade han tre rapporter, som betraktas som den första avhandlingen om tillämpad aerodynamik "On Aerial Navigation". Han beskrev där sin idé om att separera lyftkraft och framdrivning. Han noterade att en yta, som lutar mot rörelseriktningen får en lyftkraft och att en krökt yta var mer effektiv i det avseendet. Han observerade också för första gången tryckskillnad över vingen. Hans skrivelser var mycket betydelsefulla eftersom han på det sättet startade en händelsekedja som hundra år senare skulle leda till det första flygplanet.

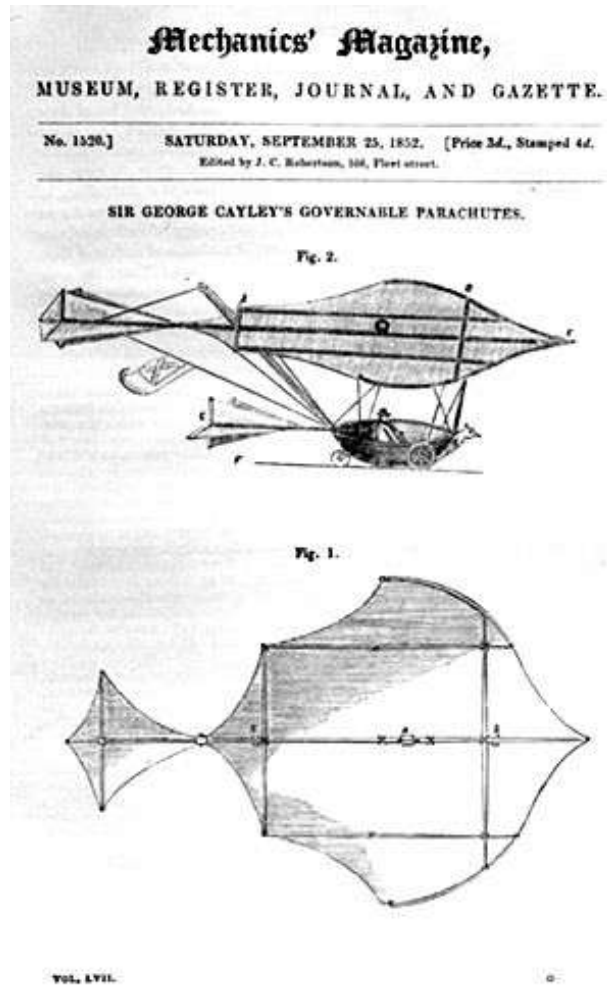
Hans resultat när det gällde lyftkraft och motstånd på plattor har visat sig stämma bättre än de teorier som rådde på hans tid. Det gällde bland annat det dynamiska trycket där den skotske ingenjören John Smeaton (1724-1792) hade mätt upp en konstant som inte stämde med Bernoullis ekvation. Här låg Cayley närmare det riktiga värdet men man kan notera att båda verkar ha varit okunniga om Bernoullis resultat. Även fortsättningsvis verkar man ha litat mer på praktik än teori, vilket längre fram i tiden ställde till en del problem för bland annat bröderna Wright.



Det som skilde Cayley från hans föregångare var att han försökte omsätta sina teorier i praktiken. År 1804 byggde han ett litet mer än meterlångt glidflygplan enligt rekonstruktionen ovan med en drakliknande vinge med en viss anfallsvinkel och med en korsformad stjärt. Det hade också en balansvikt, som kunde förskjutas för att variera tyngdkraftscentrum. Flygplanet flög bra i försök från kullarna runt Brompton Hall. Det var första gången något som liknade ett flygplan flög genom luften. Han byggde 1808 ett större glidflygplan med en vingarea av 300 kvadratfot (27.9 kvm). Det sägs att det flögs av en grannes tioåriga pojke några meter genom luften. Det skulle i så fall vara den första piloten. Hans namn har tyvärr gått förlorat för historien.

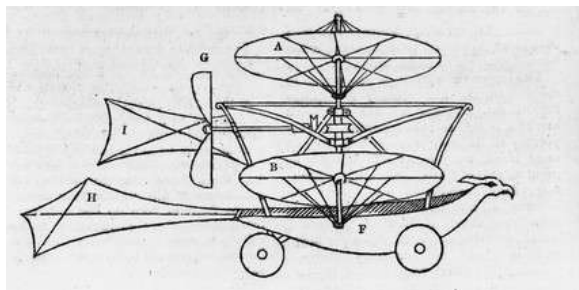
Kanske satte föräldrarna stopp för flera hugade piloter. Under många år låg i alla fall Cayleys arbete på flygplan nere. Från 1816 vände han sitt intresse mot ballonger och konstruerade också ett luftskepp med en halvstyv struktur. År 1837 konstruerade han ett strömlinjeformat luftskepp drivet av en ångmaskin. Sådana maskiner var emellertid alldeles för tunga. Förbränningsmotorn var ännu inte upfunnen.

Han återvände till flygplanen på 1840-talet och byggde 1849 ett stort glidflygplan. Enligt flera ögonvittnen flög det 1853 ett antal hundra meter efter att ha fått fart nedför en dalgång med en av hans anställda ombord innan det landade tämligen abrupt på andra sidan dalen. "Pilotens" namn var John Appleby och efter äventyret lär han ha påpekat för Cayley att han blivit anställd som kusk och inte som flygare. Flygplanet syns ovan i en illustration från 'Mechanics Maga-



zine'(1852) och luftvärdigheten kan nog diskuteras.

Cayleys mest framåtsyftande konstruktion är kanske hans 'Aerial Carriage' från 1843. Det är en slags helikopter med fyra cirkulära skivor som skulle lyfta maskinen vertikalt för att sedan bilda cirkulära vingar. Framdrivningen tycks ske

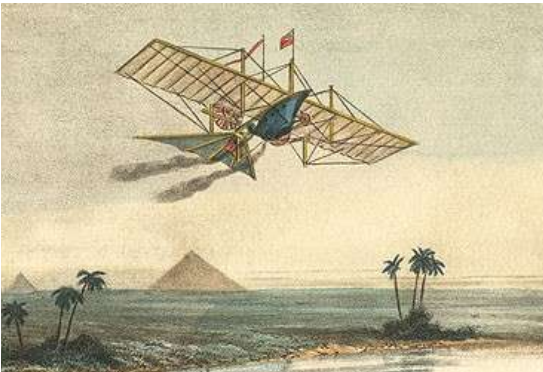


genom en propeller. Detta flygplan byggdes aldrig men är ett exempel på Cayleys förståelse för problemet. Cayleys arbeten gjorde i alla fall att de som var intresserade av flygning övergav flaxandet och började arbeta med fasta vingar, vilket hundra år senare ledde fram till dagens flygplan.

Clément Ader “flygningens fader”?

I 1800-talets början hade man i många hundra år försökt bygga flaxande maskiner för att kunna flyga som fåglar men alla sådana försök hade skändligen misslyckats. George Cayleys arbeten i början av 1800-talet ledde till att de som var intresserade av flygning övergav flaxandet och började arbeta med fasta vingar. En ny era inleddes.

År 1842 tog William Henson, en engelsk uppfinnare, ut ett patent på ett ångdrivet flygplan, Ariel. Tillsammans med John Stringfellow, en maskintillverkare, bildade han övermodigt ett flygbolag The Aerial Transit Company. De lyckades få ett antal personer att köpa aktier i företaget men till deras stora överraskning ville det flygplan som byggts för aktiekapitalet inte lyfta. Aktiebubblan sprack men Stringfellow fortsatte experimenten. Han byggde flera små ångmaskiner och lyckades att få små modellflygplan att lyfta från marken med hjälp av primitiva propellrar.



Stringfellow & Hensons aktiebubbla 1842

Alphonse Pénaud i Frankrike byggde också modellflygplan men drivna med gummiband. Hans Planaphore av 1871 var ett monoplan med en skjutande propeller som liknar modeller av idag. Det var den första verkligt framgångsrika stabilt flygande modellen av ett flygplan.

Pénaud föddes i Paris och hans far var en amiral i den franska flottan. Själv hade han också velat bli marinofficer men det gick inte på grund av en höftsjukdom, som gjorde att han måste gå med hjälp av kryckor. Vid 20 år började han studera flyg och anslöt sig till nybildade Société Aéronautique de France.

År 1873 började han samarbeta med en ingenjör vid namn Gauchot, och tillsammans tog



Alphonse Pénaud

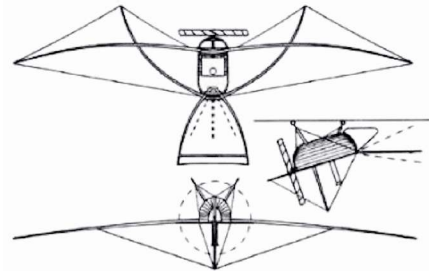
de fram konstruktioner av flygplan i full storlek, det första 1874 och det andra 1876. Det senare utarbetades i detalj i syfte att patenteras och hade många anmärkningsvärt avancerade funktioner inklusive eldrivna styrtor, en helt sluten hytt för piloten, ett infällbart landningsställ och ett par pro-

pellrar, som roterade i motsatta riktningar för att eliminera moment orsakat av en enda propeller.

Tyvärr fick Alphonse Pénaud inget finansiellt stöd för sina ambitiösa konstruktioner och begick självmord den 22 oktober 1880 i en ålder av 30 år.

Frankrike började ändå ta ledningen på området och 1874 gjorde den franske marinofficeren och ingenjören Felix du Temple världens första motordrivna take-off, dock i nerförbacke. Hans flygplan var ett monoplan med framåtsvepta vingar drivet av en varmluftmotor. Med en ung sjöman ombord tog det fart längs ett lutande plan i Brest och lyckades lyfta från marken några ögonblick.

Ett liknande hopp gjordes för övrigt i St Petersburg i Ryssland 1884 med ett ångdrivet monoplan konstruerat av Alexander Mozhaïski.



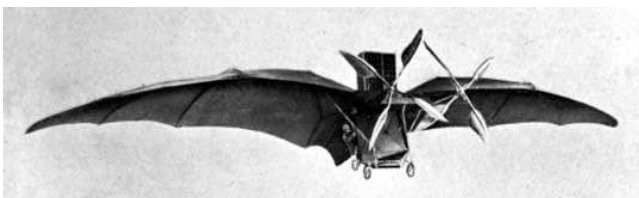
Felix du Temples flygplan 1874

I Frankrike började Clément Ader, född 1841, död 1925, att år 1886 konstruera en flygmaskin som till en viss del påminde om en fladdermus. Flygmaskinen som fick namnet Eole hade en fyrbladig propeller, som drevs av en ångmaskin på 20 hästkrafter av hans egen uppfinning. Motorn vägde inte mer än 4 kg. Vingarna hade en spännvidd på 14 meter och startvikten var 300 kg. Vid ett flygförsök 9 oktober 1890 lyckades han få maskinen i luften och prestera en flygning på 50 meter på 20 cm höjd. Trots att flygningen lyckades räknas den endast som lufthopp eftersom den inte var oavbruten och fullt kontrollerad. Ader var ändå den förste, som lyckats få en flygmaskin att lämna slät mark med egen motorkraft. Han har därför kallats flygningens fader.



Clément Ader

Ader var en innovatör inom ett antal elektriska och mekaniska områden. Han studerade ursprungligen elektroteknik och 1878 gjorde han förbättringar av telefonen, som hade uppfunnits av Alexander Bell, och byggde upp telefonnätet i Paris 1880. År 1881 uppfann han "Theatrophone", ett system där lyssnarna fick en separat telefonkanal för vardera örat, vilket möjliggjorde den första stereoöverföringen av operaföreställningar.



Avion III

Med stöd från den franska regeringen utvecklade han sin Eole till konstruktionen 'Avion III' som drevs av en 20 hästars ångmaskin med två motroterande fyrbladiga propellrar. Under 1897 gjorde Ader två flygförsök med maskinen utan att den ville lämna marken. Vid det andra försöket fångades den av en vindpust, svängde utanför banan och kom till ett stopp. Maskinen finns bevarad på Conservatoire des Arts et Métiers i Paris. Efter detta drog den franska armén tillbaka sin finansiering, men höll resultatet hemligt. Efter bröderna Wrights lyckade flygning släpptes dock i november 1910 en officiell fransk rapport om Aders försök där det angavs att de misslyckades.

Ader ville inte godta att han misslyckats. År 1906, efter bröderna Wrights flygning 1903, gjorde han anspråk på att ha genomfört en flygning på 100 meter med Eole 1896 och att den skulle godkännas. Samtidigt hävdade han att han 1897 flög 300 meter med Avion III och att han därmed var den förste, som flög ett motordrivet flygplan. Båda kraven avvisades.

Han slog sig istället på bilar och 1903 utvecklade han en V8-motor för tävlingen Paris-Madrid, varav tre eller fyra producerades men ingen såldes. Han slutade dock inte helt att intressera sig för flyg. År 1909 publicerade han "L'Aviation Militaire", en mycket populär bok som gick i tio upplagor under de fem åren före första världskriget. Den är anmärkningsvärd för sin vision av luftkrig och förutsåg en form av hangarfartyg. Det fångades upp av den amerikanska marinattachén i Paris och följdes av de första försöken i USA i november 1910.

Den mest kuriösa av de tidiga konstruktionerna var kanske Horatio Phillips ångdrivna multiplan från 1893. Med sina femtio smala vingar liknade det en stående jalousi. Trots det enorma luftmotståndet lyckades man bogsera upp det några meter över marken. Hiram Maxim, en amerikanskfödd uppfinnare i England, byggde samma år en annan märklig maskin. Det var ett 3 1/2-ton mångvingat monster drivet av

en ångmaskin. Vid prov på ett cirkulärt järnvägsspår lyfte det, spårade ur och kraschade.

Alla dessa tidiga projekt var alltså misslyckade och orsaken var förstås att man inte behärskade grunderna. Ett steg mot bättre kunskaper hade dock redan tagits. I London år 1866 bildade några intresserade The Aeronautical Society of Great Britain, som senare utvecklades till det respekterade Royal Aeronautical Society. Det drog snart till sig visionära tekniker och vetenskapsmän intresserade av flygproblemet.

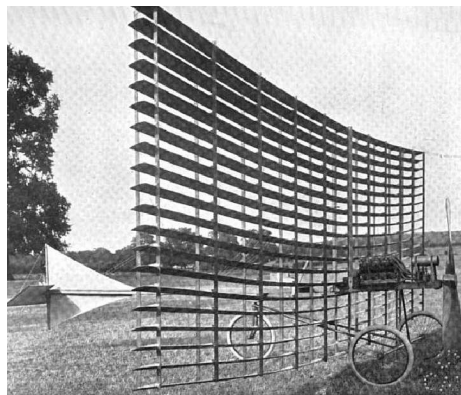


Fig. IV.

Horatio Phillips 1893

Man koncentrerade sig nu på att förstå hur vingarna fungerade. Experiment med glidflygplan blev viktiga. George Cayley själv började arbeta med glidflygplan redan 1810, Jean Marie le Bris i Frankrike byggde ett fågelliknande glidflygplan, Albatross, 1857 och en annan fransman, Louis Pierre Mouillard, skrev 1881 en bok om glidflygplan baserad på fåglarnas flykt.

Ett stort steg togs 1871 då Francis Wenham och John Browning konstruerade och tillverkade vad som förmodligen var världens första vindtunnel. Deras experiment visade bland annat att långa och smala vingar hade en bättre lyftkraft än korta trubbiga vingar med samma vingarea. Wenham ska också ha varit den förste att använda ordet "flygplan".

Wenhams arbete kom att ha stort inflytande på bröderna Wright. Åtminstone fyra viktiga saker, som föreslogs av Wenham återfinns 1903 i "The Wright Flyer", överlagrade vingar, vertikala stöd mellan dessa, liggande pilot och att vändning under flygning borde åstadkommas genom att generera mer lyftkraft på ena sidan av farkosten än på den andra, snarare än genom användning av ett enkelt roder.

Många våghalsiga personer började också att praktiskt försöka lära sig mer om hur vingar fungerade. Bland dem var Otto Lilienthal och hans bror Gustav de mest framstående och dem ska vi återkomma till.

Om Otto Lilienthal

Många våghalsiga personer började i slutet av 1800-talet att försöka lära sig mer om hur vingar fungerade. Bland dem var Otto Lilienthal och hans bror Gustav de mest framstående.

Lilienthal föddes den 23 maj 1848 i Anklam i Preussen. Efter examen i maskinteknik från Berlins Tekniska Akademi började han arbeta som försäljare och ingenjör vid en maskinfabrik men startade snart ett eget företag i Berlin för att tillverka värmeväxlare. Företaget var framgångsrikt och gav honom resurser att arbeta med sin stora hobby, flygning.

År 1867 började Lilienthal sina experiment med flyg på allvar. Hans största bidrag var i utvecklingen flygning tyngre än luften. Hans glidflygplan var vingar med ett hål i mitten där han kunde hänga fast. Han flög dem från en konstgjord kulle han hade byggt nära Berlin och från naturliga kullar, särskilt i Rhinow-regionen. Ett amerikanskt patent 1894 av Lilienthal, som innebar att piloten greppade en stång, liknar dagens styrrem för hängglidare och ultralätta flygplan.



Under de sista tjugo åren av 1800-talet flög Otto och Gustav utmed en stor sandhög utanför Berlin där de kunde glida cirka femtio meter. Otto var den mest aktive och gjorde mer än 2000 flygningar. I början, 1891, lyckades Lilienthal med hopp och flygningar som nådde en sträcka på cirka 25 meter. Han kunde använda upp vinden på 10 m/s mot en kulle för att förbli stillastående i förhållande till marken medan han ropade till en fotograf därnere och manövrerade sig till den bästa positionen för ett foto. År 1893, i Rhinow, kunde han nå flygsträckor så långa som 250 meter.

Lilienthal utförde forskning för att exakt beskriva flygningen hos fåglar, särskilt storkar, och använde polära diagram för att beskriva aerodynamiken hos sina vingar. Han gjorde många experiment i ett försök att samla in tillförlitliga flygdata. Han upptäckte att han behövde en stjärtfena för stabilitet och han lärde sig rolla, svänga och tippa. Han försökte utforma sina vingar som fågelvingar och publicerade sina rön 1889 i en bok, "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst", som kom att få stor betydelse för framtiden. Han

utförde också aerodynamiska experiment, som visade att en krökt vinge hade klart högre lyftkraft än en plan vinge.

Under sin korta flygande karriär utvecklade Lilienthal ett dussin modeller av monoplan, flygplan med flaxande vingar och flygplan med biplan. Hans glidflygplan var noggrant utformade för att fördela vikten så jämnt som möjligt för att säkerställa en stabil flygning. Han redovisade sina resultat i utförliga tabeller och diagram över lyftkraft och motstånd. Dessa resultat fick stor betydelse för den fortsatta utvecklingen.

Han hade redan tidigare stött på ett märkligt fenomen. Vid slutet på varje flygning ville vingen plötsligt dyka framåt mot marken. Han förstod att det hängde ihop med vinkeln på vingen men inte vad som hände. I dag vet vi att när vingens vinkel ökar för att bromsa ner farten kan strömningen plötsligt släppa från översidan. Resultatet är att lyftkraften



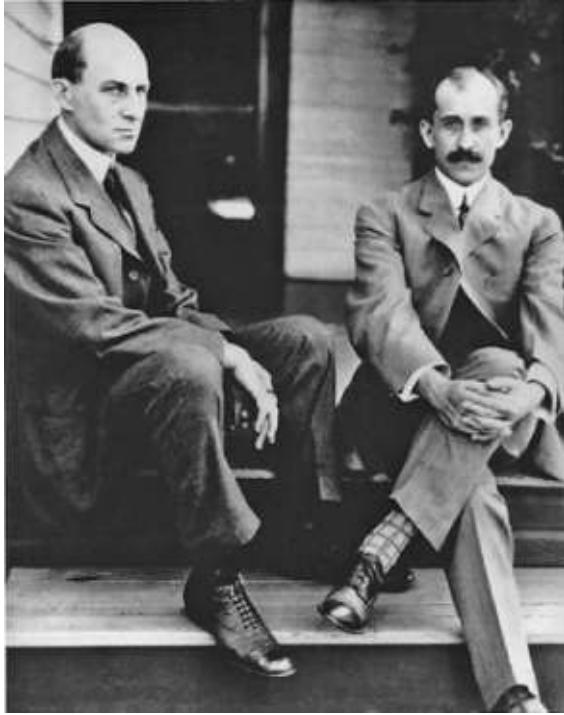
minskar och vingen vill tippa framåt. Det kallas "stall" och det var vad Lilienthal råkade ut för.

Lilienthal gjorde många försök att förbättra stabiliteten med varierande grad av framgång. Han förolyckades under ett av sina flygförsök den 9 augusti 1896, ett av många offer under den tidiga utvecklingen av

flygtekniken. Under den fjärde flygningen den dagen föll han från en höjd av cirka femton meter och fick en fraktur på den tredje halskotan. Han dog på operationsbordet ungefär 36 timmar efter kraschen. Hans sista ord till sin bror Gustav påstås ha varit "Opfer müssen gebracht werden!" Han begravdes på Lankwitz kyrkogård i Berlin och ärades med ett monument vid Fliegeberg. Även platsen för haveriet, Gollenberg, är idag en minnesplats.

Lilienthal blev under sin korta karriär känd långt utanför Tysklands gränser, mycket tack vare de bilder av hans flygningar som publicerades i tidningarna, och flera samtida flygpionjärer besökte honom under hans försök i och omkring Berlin. Vid sidan av bröderna Wright lade han grunden till den moderna flygtekniken.

Bröderna Wright och propellern



Orville och Wilbur Wright

De som först kom att utveckla ett fungerande flygplan var bröderna Orville och Wilbur Wright. För att klara detta måste de ta fram en egen lätt förbränningsmotor utöver en bättre propeller, bättre vingprofiler och bättre metoder att styra flygplan än någon före dem. De gjorde allt detta på egen hand i sin cykelaffär i Dayton, Ohio.

År 1896 hörde de talas om Lilienthals död och blev intresserade av flygning. Tack vare Lilienthals arbete hade man ju ganska klart för sig hur vingar uppförde sig. De började experimentera med segelflygplan, som de byggde i sin verkstad med hjälp av det de lyckades ta reda på om Lilienthals resultat.

Ett sådant flygplan måste vara lätt. Leonardo da Vinci konstruerade under renässansens flygmaskiner med trä som konstruktionsmaterial och med människan som motor men först med bröderna Wright tog utvecklingen steget från fantasi till verklighet. Lätt vikt var ett grundläggande krav och trä och segelduk valdes därför som konstruktionsmaterial för flygplanskroppen. För att bli både lätt och styv gjordes vingen som ett biplan, vilket också gav hög vingarea om än till priset av högt motstånd.

De flesta av deras försök blev misslyckade och de skylldes detta på Lilienthal. Men deras största misstag var att de likt Lilienthal använde den s k Smeaton-koefficienten.

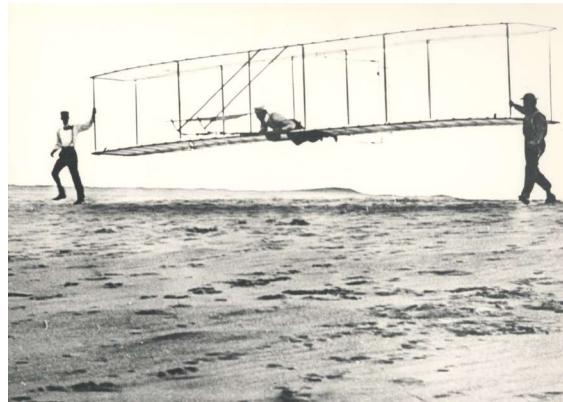
Den skotske ingenjören John Smeaton hade på 1700-talet tagit fram ett experimentellt uttryck för det dynamiska trycket med en konstant som var något mindre än den ma-

tematiskt korrekta $\frac{1}{2}$ i Bernoullis ekvation. Smeaton-koefficienten användes allmänt under 1800-talet och gjorde att bröderna Wright fick fel vingarea på sina flygplan.

År 1901 tog de tjuren vid hornen och beslöt att ta fram sina egna vingdata. De byggde sig en vindtunnel och satte igång. Bröderna Wright uppfann inte vindtunneln. Den nämndes redan av Leonardo da Vinci på 1500-talet och fanns i slutet av 1800-talet i många länder. Den första byggdes antagligen av Francis Wenham i Greenwich, England, år 1871. Men bröderna Wright var de första att använda vindtunneln i koncentrerat utvecklingsarbete.

De provade mer än 200 vingprofiler som de tillverkade av järn. Den viktigaste parametern som definierar en vinges egenskaper är sidoförhållandet dvs spännvidden i kvadrat dividerat med den bärande arean (b^2 / S). Bröderna Wright var de första som studerade inverkan av sidoförhållandet i detalj i sin vindtunnel. De visade att en lång smal vinge ger högre lyftkraft än en kort och bred med samma area. I själva verket är förhållandet mellan lyftkraft och motstånd proportionellt mot kvadratroten ur sidoförhållandet.

Som ett resultat av detta arbete byggde de 1902 sin Glider med ett vingspann av 32 fot och en vingbredd av 5 fot. Detta var också det första flygplan som kunde kontrolleras kring alla tre axlarna. Med detta glidflygplan gjorde de över 800 flygningar vid Kitty Hawk i North Carolina för att utveckla styrningen.



The Wright Glider 1902

Men de ville inte begränsa sig till segelflyg, de ville ha ett flygplan som kunde lyfta av egen kraft. För att komma upp i luften måste de nu lösa problemet med framdrivningen. De var på det klara med att de måste använda en propeller.

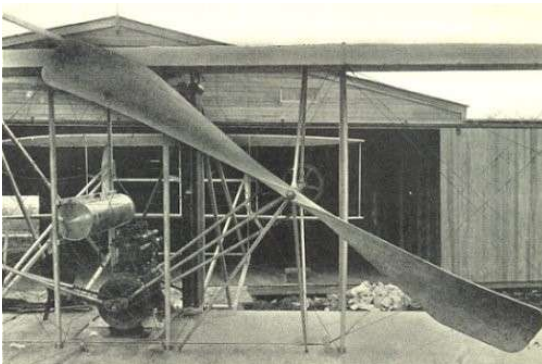
Propellern som sådan är en gammal uppfinning. Den har sitt ursprung i väderkvarnen som uppfanns på 1100-talet och snabbt spreds över Europa som en mer flexibel kraftkälla än vattenhjulen. Väderkvarnarna användes långt in på 1900-talet och det låg nära till hands att köra en sådan baklänges för att ge en vind, som kunde användas för framdrivning.

Redan Leonardo da Vinci skissade på propellrar och ett år efter den första ballongflygningen 1783 användes en handdriven propeller på en ballong. Den var ingen framgång på grund av den låga effekten men 1852 användes en ångdriven propeller i ett luftskepp av Henri Giffard. Det tillät honom att flyga över Paris med den svindlande hastigheten av 10 km/tim. Propellrar för marin användning utvecklades också av den svenske uppfinnaren John Ericsson och användes framgångsrikt av Nordsidan i det amerikanska inbördeskriget.

De tidiga flygplanspropellrarna var enkla paddelliknande anordningar och båtpropellrarna kunde inte så lätt användas i luften. Det blev bröderna Wright, som tog de första stegen mot effektiva propellrar för flygplan.

En propeller är aldrig hundra procent effektiv. Verkningsgraden för en propeller definieras som dragkraften multiplicerat med hastigheten dividerat med axeleffekten (FV/P). Detta brukar också kallas Froude-talet efter William Froude (1810-1879), som var först med att använda det. Det brukar också kallas framdrivningsverkningsgraden och uttrycker hur stor del av motoreffekten, som användes för framdrivning.

Efter många experiment lyckades bröderna Wright konstruera en propeller med en verkningsgrad av 70% och detta var kanske deras största bidrag till flygtekniken. Deras typ av propeller användes av alla tidiga flygplansbyggare. Men andra byggde vidare på deras arbete. Teorin och konstruktionen av propellrar fastlades i allt väsentligt i en rapport 1917 av William Durand. Hans propellrar hade en verkningsgrad av 75 till 80%. Idag har en typisk flygplanspropeller en verkningsgrad nära 90%.



Bröderna Wrights propeller

Men när de nu ville använda propellern för att driva sitt flygplan så stötte de på det grundläggande problemet. Flygning kräver hög effekt och låg vikt. Flygande varelser har förmågan att utveckla mycket hög effekt i förhållande till sin vikt. Måsens effektutveckling på 25 W/kg och ännu mer kolibrins 250 W/kg är oerhört mycket större än människans fattiga 3 W/kg.

För att utveckla dessa stora specifika effekter har fåglarna en mycket hög ämnesomsättning. En kolibri förbränner födan 50 gånger så fort som en människa och en del fåglar måste äta sin egen vikt varje dag. Kroppstemperaturen ligger på 43 grader, hjärtfrekvensen vid 400 slag per minut och en flygande fågel andas ungefär 450 gånger i minuten.

Men det räcker inte med hög effekt. Man måste också vara konstruerad för mycket låg vikt. Fåglar har mindre antal ben i sitt skelett än de flesta andra djur. En fågelvinge består nästan enbart av fjädrar med en mycket låg vikt. Många ben är sammanfogade så att muskler inte behövs för att hålla ihop dem. Det finns färre leder, vilket gör skelettet mycket styvt. De fåglar, som är bäst anpassade till glidflygning har också de lättaste skeletten. Benen i skelettet är ihålliga och mycket lätta. En del har diagonala inre strävor som ger extra styrka.

Bröderna Orville och Wilbur Wrights bedrift var att de var först med att bygga en maskin, som kunde utveckla lika mycket kraft per kilo som en fågel. Detta var ingen lätt uppgift i denna ångmaskinernas och gjutjärnets tidsålder. För att driva sin propeller måste bröderna Wright också ha en motor, som var tillräckligt lätt att kunna lyftas upp i luften och tillräckligt kraftfull för att kunna driva deras flygplan.

Nu kom en annan nyligen gjord uppfinning till deras hjälp, kolvmotorn med inre förbränning. Utan den utveckling, som ägt rum inom motortekniken strax innan de båda företagsamma bröderna började arbeta med sitt flygplan, så hade de aldrig kommit upp i luften.

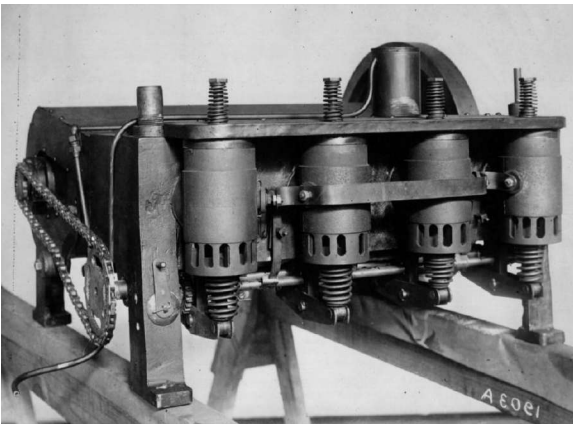
I de ångmaskiner, som man använde på den tiden, sker förbränning och kokning av vatten till ånga utanför cylindern, vars kolv driver axeln. Sedan lång tid tillbaka hade man försökt utveckla motorer där förbränningen skedde inne i cylindern. Den förste att experimentera med sådana motorer var den holländske fysikern Christian Huygens på 1660-talet.

Det dröjde emellertid ända till 1859 innan den franske ingenjören J. J. Étienne Lenoir lyckades bygga en motor med inre förbränning, som kunde drivas kontinuerligt. Nyckeln till detta var tändstiftet. År 1862 patenterade en annan fransman, Alphonse Beau de Rochas, en fyrtaktsmotor. Sexton år senare blev den känd som Otto-motorn när tysken Nikolaus A. Otto lyckades bygga den första fungerande fyrtaktsmotorn. Den första tvåtaktsmotorn byggdes samma år av engelsmannen Sir Dougald Clerk i en form, som i stort sett bibehållits till idag, även om den blev något modifierad av Joseph Day 1891. George Brayton, en amerikansk ingenjör, hade utvecklat en tvåtakts bensinmotor redan 1873 men den var för stor och tung för att vara användbar.

Bensinmotorn fann sin slutgiltiga form genom Gottlieb Daimler, som 1885 introducerade förgasaren och 1889 en motor med cylindrarna i V-form, som hade mycket högre effekt i förhållande till vikten än tidigare motorer. Förutom den elektriska självstarten, som inte kom förrän 1924, så är alla moderna bensinmotorer avkomlingar av Daimlers motor.

Den andra viktiga motortypen med inre förbränning är dieselmotorn, som uppfanns av Rudolf Diesel och patenterades 1892. I dieselmotorn används värmen från kompressionen i stället för ett tändstift för att tända bränsleblandningen i cylindern. Dieselmotorn kan använda enklare bränslen än Otto-motorn men är tyngre på grund av den hållfasthet som krävs av de höga trycken och temperaturerna i cylindern. För flygplan har man därför föredragit den lättare Otto-motorn, och det var också vad bröderna Wright beslöt sig för att använda.

De försökte först att få någon att tillverka en motor åt dem. I bröderna Wrights specifikation för sin motor angavs ett effektkrav på 8 hästkrafter minimum och ett viktkrav på maximalt 90 kg. Ingen motortillverkare var dock intresserad så bröderna beslutade sig för att själva bygga motorn. Till sammans med en skicklig mekaniker, Charley Taylor, överträffade de med marginal sina egna förväntningar med en effekt på 12 Hk vid 900 varv per minut och en vikt på 77 kg. En av anledningarna till denna framgång var att de optimalt utnyttjade ett för den tiden tämligen nytt material – aluminium – i motorblocket.



Bröderna Wrights motor från 1903

De hade också tur i sitt materialval och sin gjutprocess. De valde den legering som vid den tiden ansågs ha den bästa gjutbarheten – aluminium med 8% koppar. Med moderna materialvetenskapliga metoder har nu delar från detta motorblock analyserats och man har till allmän förvåning kunnat konstatera att denna aluminiumlegering var härdad det vill säga hade mycket högre hållfasthet än väntat.

Värt att notera här är att man inte förrän 1909, dvs först sex år senare, hade utvecklat den första härdbara aluminiumlegeringen (Duraluminium) där härdningen sker genom en så kallad upplösningsvärmebehandling som gör materialet mjukt följt av en åldringsvärmebehandling vid en lägre temperatur. Genom åldringen som då sker erhåller materialet den önskade härdningen och därmed också sin höga hållfasthet.

Det är uppenbart att Bröderna Wright hade tur - jättetur. I en rekonstruktion av förloppet har man konstaterat hur den unika härdningen gått till. På grund av temperaturen hos gjutformarna, smältans temperatur och den därmed sammanhängande avsvälningen under själva gjutningen och senare också tillsammans med temperaturexponeringen under provkörningarna av motorn härdades materialet genom en speciell härdningsmekanism som kallas spinodalt sönderfall som inträffade i temperaturområdet mellan 130 °C och 200 °C. En ovanlig härdningsmekanism, som inom parentes sagt, en svensk professor (Mats Hillert vid KTH i Stockholm) var den förste som lyckades förklara.

Utan denna av flera tillfälligheter uppkomna spinodala härdning är det knappast troligt att den första flygningen hade lyckats och bröderna Wright hade då inte heller kunnat skrivas in på första plats i flyghistoriens 'Hall of Fame'. Återigen ser vi här hur metallurgin påverkar historiens gång.

Så 1903 var i alla fall deras flygplan "The Wright Flyer" klart. Vikten var 340 kg och vingarean 15 m² med en spännvidd av 12 m. De två motroterande propellrarna drevs av cykelkedjor från motorn, som satt baktill på flygplanet.

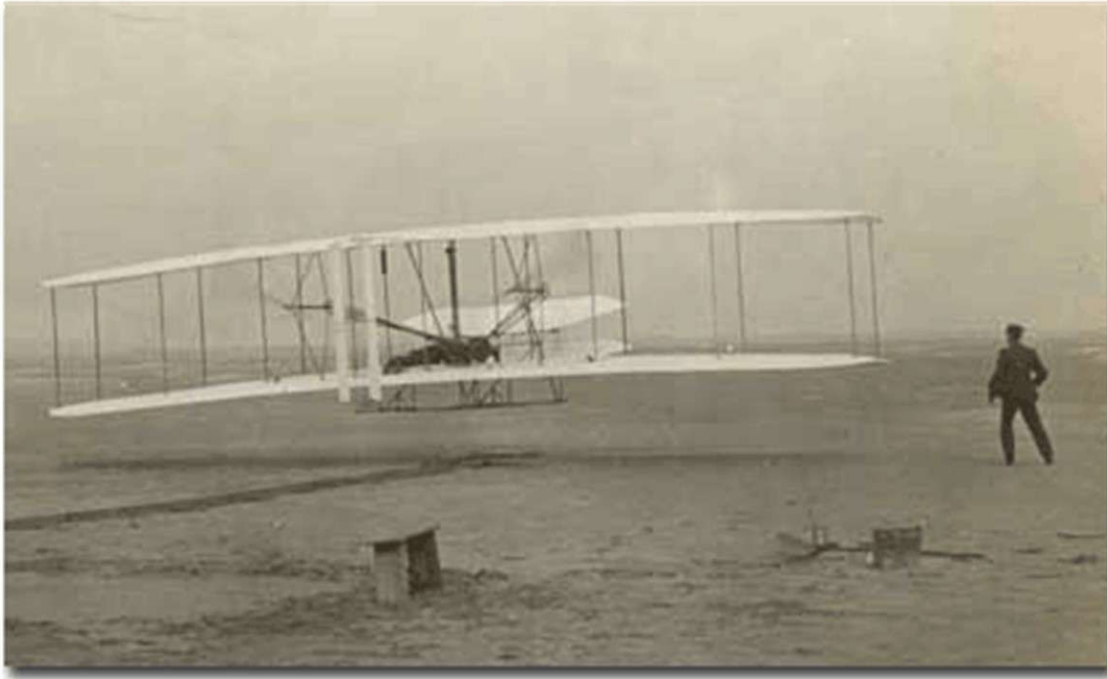
På hösten 1903 transporterade de sitt flygplan till Kitty Hawk på kusten av North Carolina för att börja flyga. De hade bråttom för de kände flåset i nacken.

De visste nämligen att Samuel P. Langley (1834-1906), en framstående amerikansk vetenskapsman och direktör för tekniska museet i Washington, The Smithsonian Institution, sedan flera år hade arbetat med att lösa flygproblemet genom att arbeta med modellflygplan.

År 1896 flög han en ångmaskindriven modell, Aerodrome No. 5, i en och en halv minut i nästan en kilometer. År 1898 fick han en beställning från regeringen att utveckla ett bemannat flygplan, som kunde användas i det då pågående kriget mot Spanien om herraväldet över Texas. År 1903 flög Langley en bensindriven obemannad modell och hans assistent Charles Manley gjorde två bemannade försök samma år. Det sista ägde rum den 8:e december 1903. Båda försöken slutade med att flygplanet kraschade i Potomacfloden.

Nio dagar senare den 17:e December 1903 gjorde Orville Wright den första lyckade flygningen. Den varade i 12 sekunder och han flög 40 meter. Hastigheten var 15 m/s. Så tät var kapplöpningen att vara först i luften och så liten skillnaden mellan succe' och katastrof.

Langley hade aldrig tagit mycket notis om de två lantisarna Wright från Ohio medan de i sin tur var väl medvetna om vad han höll på med. Langley hämtade sig aldrig från besvikelsen och dog som en bruten man medan bröderna Wright flög vidare ut i världen och turnerade både i USA och Europa med sitt flygplan.



The Wright Flyer 1903

Det är intressant att två brödrar, Mongolfier och Wright, låg bakom båda de stora uppfinningarna inom flyget, ballongen och flygplanet. Kanske en tätt sammanhållen familj kan ge den atmosfär av konkurrens och idéutbyte, som krävs för att utveckla nya idéer. Ett stort mått av envishet behövs också och bröderna Wright skulle snart visa att de hade detta i stora mått.

De förbättrade sin maskin så att de 1905 kunde flyga 40 km på 38 minuter. År 1909 köpte amerikanska regeringen en förbättrad version och bröderna startade ett företag The Wright Company för att tillverka flygplan. De invecklade sig i bittra patentstrider med folk, som försökte kopiera deras uppfinning och lyckades 1914 få rätt till ersättning från dessa. Då hade Wilbur hunnit dö i tyfus och Orville sålde sin del i företaget.

Han levde vidare till 1948 och hans medfödda envishet växte med åren. När hans syster Kathrine, som hade deltagit i en del av brödernas tidiga flygningar och varit ansvarig för det gemensamma hushållet, slutligen beslöt sig för att gifta sig, tog han detta som ett förräderi mot familjen och vägrade träffa henne tills hon låg för döden.

Han blev också invecklad i en inflammerad konflikt med The Smithsonian, som försökte hävda att deras tidigare chef, Langley, rätteligen var uppfinnaren av flygplanet. Orville skickade då "The Wright Flyer" till tekniska museet i London för att se till att The Smithsonian inte skulle få ställa ut det i sitt museum. Först efter hans död återvände det till USA och finns nu på The Smithsonian.

Det är intressant att effekten per kg hos The Wright Flyer var 26 W/kg, vilket är nästan exakt detsamma som hos en

mås. Först år 1903 hade människan alltså utvecklat en maskin som kunde matcha naturen. När det väl en gång var gjort gick dock utvecklingen snabbt. Ett modernt stridsflygplan som Gripen utvecklar 2500 W/kg och en rymdraket som Ariane 20000 W/kg. Det ger en uppfattning om utvecklingen under de hundra år som gått sedan bröderna Wright. 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. Fåglarnas vingar ger till exempel både lyftkraft och framdrivning. Detta kräver en mycket komplicerad rörelse. Vingen måste vridas under slaget eftersom den relativa hastigheten kommer underifrån när vingen går ner och uppifrån när vingen går upp och vingens vinkel får inte avvika allt för mycket från den relativa hastigheten om den ska ha god funktion. För att ge nettokraft framåt faller vingen ihop när den går upp. Den yttre delen av vingen rör sig dessutom med större hastighet än den inre så att den relativa vinkeln är olika. Genom att vrida den ena vingen i förhållande till den andra kan fåglarna dessutom använda vingarna för att styra i luften.

Fåglarnas verkliga överläge ligger dock inte i mekaniken utan i styrningen. Det finns ingen mänsklig dator eller reglersystem, som skulle klara en svalas flykt genom luften. 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 dock Lilienthals ord att fåglarna gör narr av oss som flygare.

Europa tar över efter bröderna Wright

Efter bröderna Wrights flygning år 1903 kom europeerna snart ikapp amerikanerna. I Europa utvecklade man nämligen nya typer av flygplan, som var överlägsna bröderna Wrights. Alla Wrights flygplan styrdes med en nosvinge, vilket gjorde dem instabila och mycket svårstyrda. Moderna testpiloter betraktar det som ett under att bröderna Wright alls kunde flyga. I Europa satsade man istället på stjärstyrda flygplan, vilka är naturligt stabila. Nosvingar har kommit tillbaka på avancerade stridsflygplan men då krävs avancerade datorer för att klara styrningen.



En bister Blériot inför start 25 juli 1909

I Frankrike var man särskilt aktiva och 1909 blev Louis Blériot först över engelska kanalen i sin Blériot XI. Blériot var ursprungligen maskiningenjör och uppfann en del förbättringar inom bilområdet. 1906 började han ägna sig åt flygning och konstruktion av flygplan. Efter flera misslyckade försök, och vissa framgångar under 1907, konstruerade han 1908 ett monoplan efter delvis nya principer.

Med ett sådant, en Blériot VIII, flög han i oktober 1908 från Toury till Artenay och tillbaka, en sträcka på 28 km, vilken var den första längre överlandsflygningen med monoplan. 13 juli 1909 flög han från Étampes till Orléans, 42 km på 45 minuter, och vann franska aeroklubbens "prix du voyage" på 14 000 francs. Under flygveckan i Reims 1909 vann han också priset för högsta hastighet över 10 km när han kom upp i 77 km/h.

Det han blivit mest berömd för är emellertid att han var den förste att flyga över engelska kanalen. 25 juli 1909 flög han i ett egenkonstruerat monoplan, Blériot XI med en 23 hk Anzani-motor, över kanalen från Les Baraques nära Calais i Frankrike till en äng vid Dover Castle i England. Han blev på så sätt den förste som flög mellan Frankrike och England. Flygturen påbörjades kl. 04.41 och tog 37 minuter och Blériot vann därmed det pris på 1 000 pund som den engelska dagstidningen Daily Mail hade utlyst till den förste som lyckades flyga över kanalen. Detta blev en

epokgörande händelse i flyghistorien och gjorde Blériot världsberömd.

Han verkade sedan huvudsakligen som flygplanskonstruktör av monoplan, särskilt av spaningsflygplan för militärt bruk. Under början av första världskriget kom Blériots konstruktioner till stor användning på ententesidan, men efter hand byttes de ut mot andra konstruktioner som biplan, som ansågs mera fältmässiga.

Blériot grundlade även en av Frankrikes främsta flygplansfabriker, Blériot Aéronautique, och förblev chef för företaget fram till sin död. Han utövade ett stort inflytande på flygteknik och flygindustri i Frankrike.



Blériot vid starten över kanalen 1909

Utvecklingen gick sedan fort. Den första kommersiella flyglinjen startade i Tyskland redan 1910. Militärer i alla länder var förstas också intresserade. I Italien var man först med att använda flygplan militärt. De var först med bombning och luftfotografering och de var också de första att få ett flygplan nedskjutet.

Första världskriget 1914-1918 skyndade på utvecklingen. En industri började utvecklas grundad på militära beställningar. Hundratals olika typer flögs och ett flygplan kunde konstrueras, byggas och provas på några veckor. Ofta gjorde man ritningen i krita direkt på verkstadsgolvet. Monoplan, biplan och triplan användes militärt. Till och med ett plan med fyra vingplan provades i prototyp. Bröderna Wrights första flygplan hade ju två vingplan och det blev det vanliga. Vingarna på dessa flygplan stöttades vanligen externt av vajrar och stråvor, vilket gjorde att luftmotståndet blev stort. Både dragande och skjutande motorer eller kombinationer av båda användes.

En kreativ konstruktör var holländaren Anthony Fokker. Han anlade 1913 en flygplansfabrik i Schwerin i norra Tyskland och blev efter första världskrigets utbrott föreståndare för Flugzeug-Waffenfabrik i Reinickendorf nordväst om Berlin. Hans självbärande vingar gjorde att han kunde ta bort alla yttre vajrar och strävor och han var också först med att synkronisera en kulspruta med propellern så att man kunde skjuta genom sin egen propeller utan att skjuta ner sig själv.

Fokker hade där hjälp av att man erövrade en fransk Morane med en primitiv anordning av liknande slag (uppfunnen av Raymond Saulnier). När Fokkers förbättrade avbrytare monterades på en Fokker Eindecker (monoplan) uppnåddes en tydlig överlägsenhet över de allierade jaktplanen.

Fokker tog fram omkring fyrtio olika typer av flygplan åt Tyskland under första världskriget och var den som organiserade produktionen. I början var flygplanen gjorda av en träställning överspänd med segelduk men Dornier och Junkers i Tyskland lyckades snart göra flygplan av korrugerad plåt.



En glad Anthony Fokker

Två olika motortyper användes under första världskriget. Den stationära vattenkylda motorn med 4, 6, 8 eller 12 cylindrar var inte olik dagens bilmotorer. Den roterande motorn däremot hade cylindrarna radiellt och roterade runt sin egen vevaxel, som satt fast i flygplanet. Denna motor var lätt och kylde när den roterade i luften men den åstadkom avsevärda gyrokrafter på flygplanet och försvann ganska snart ur drift.

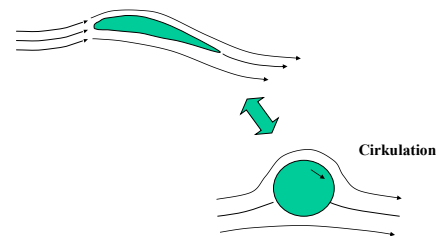
Man började nu också förstå hur vingarna fungerade. Vingen tvingar ju luften att böja av nedåt. Man får ett nedflöde bakom vingen, vilket ger en lyftande reaktionskraft. När luften strömmar över vingen så går den fortare på översidan än på undersidan. Relativt medelhastigheten rör sig luften framåt under vingen och bakåt på översidan. Det är som om den cirkulerade runt vingen. För att förstå vad som händer koncentrerade man sig på denna cirkulation.

Nu är det besvärligt att beräkna strömningen runt en vinge. Det är mycket enklare att räkna på en cylinder. År 1906 fann den ryske matematikern Nikolai Joukowski och tysken Martin Wilhelm Kutta på ett sätt att avbilda strömningen

kring en vingprofil på den runt en cylinder med hjälp av komplexa variabler. Strömningen runt en cylinder var känd sedan länge och genom den så kallade Joukowskis avbildning fick man nu direkt resultatet för en vingprofil.

Under 1890-91 experimenterade Joukowski med cylindrar i strömmande luft och 1891 började han studera flygning. Han besökte också 1895 Lilienthal i Berlin. Joukowski var med vid flera av Lilienthals flygningar och var mycket imponerad. Efter återkomsten till Moskva sade han i ett tal till Samfundet för Naturvetenskap att "den viktigaste uppfinnningen inom flyget under senare år är Otto Lilienthals maskiner".

Lilienthal sålde då segelflygplan från sin fabrik i Berlin och Joukowski köpte ett. År 1906 publicerade han två rapporter i vilka han gav matematiska uttryck för lyftkraften på en vinge. Idag är det känt som Kutta-Joukowskis teorem eftersom Kutta påpekade att ekvationen också fanns med i hans avhandling från 1902.



Joukowski transformerade strömningen kring en vinge till den runt en cylinder

Om cylindern var stilla skulle strömlinjerna vara symmetriska på över- och undersidan. Men om cylindern roterar kommer hastigheten att vara högre på översidan och strömningen blir osymmetrisk. Det ger upphov till en kraft på cylindern. Vi vet alla att en boll, som roterar i luften, skruvar sig åt sidan. Genom Joukowskis avbildning kan man beräkna lyftkraften på en vinge eftersom man kan beräkna kraften på en roterande cylinder. Idag ger datorerna helt andra möjligheter att beräkna kraften på vingar men under hela första halvan av 1900-talet var det Joukowskis metod som gjorde det möjligt att konstruera vingar.

Fenomenet är känt som Magnuskraften och är ett fysikaliskt fenomen som uppträder för roterande kroppar. Den innebär att en kropp som rör sig genom en fluid (en vätska eller en gas) samtidigt som den roterar accelereras vinkelrätt mot rörelseriktningen. Effekten är uppkallad efter Heinrich Gustav Magnus, en tysk kemist, som upptäckte och studerade effekten på artilleripjäser, men den var känd redan av Isaac Newton.

Faktum är att 1920 försökte tysken Anton Flettner använda kraften från en roterande cylinder för att driva fram en båt. Hans idé var att låta båtens skorsten rotera. Det fungerade men kraften från skorstenen var betydligt mindre än om motorn hade kopplats till en vanlig propeller. En sådan båt, byggd av cement, låg under många år strandad i Ljungskile.



Enoch Thulin en svensk flygpionjär



År 1903 flög bröderna Wright i USA för första gången och den 25 juli 1909 lyckades den franske piloten Louis Blériot med sitt egenhändigt byggda plan att bli den förste att flyga över Engelska-kanalen. Efter en fransk flyguppvisning på Gärdet i Stockholm 1909 drabbades Sverige av flygfeber och Enoch Thulin kom att bli en av de första svenska flygpionjärerna.

Han var född 1881 och som åttaåring 1890 förlorade han plötsligt sin far, prästen Andreas Thulin. Hans mor, Ingrid, blev ensam med sex barn i den lilla byn Simris, idag Simrishamn i Skåne, och 1894 flyttade familjen till Lund.

Enoch fick studera och blev lärare i matematik, fysik och kemi, först i Malmö och sedan i Stockholm där han blev medlem i Svenska Aeronautiska Sällskapet 1908. Hans intresse för flyg tog fart.

Han blev intresserad av flygproblemets teoretiska sida och blev doktor vid Lunds universitet 1912 på en avhandling "Om luftmotståndet mot tunna plattor. Dess variation med plattornas hastighet, storlek och form".

Bara ett par dagar efter disputationen reste han till Frankrike för att lära sig flyga. Han lyckades med sina flygprov 12 oktober 1912, men Franska aeroklubben utfärdade hans internationella aviatördiplom först den 2 maj 1913. Även hans svenska diplom är utfärdat först 1913 och har svenskt nr 10.

En flygare kunde på den tiden flyga och få betalt av åskådarna. I juni 1913 köpte Enoch ett nedgången Blériotplan och plockade isär hela planet själv. Efter tio dagar gjorde han en lyckad provflygning och planet skickades med tåg hem till Skåne. Där började han uppvisningsflyga och demonstrera flygplanet för nyfikna åskådare.

Flygplanet var emellertid mycket slitet och Enoch lämnade in det till Oscar Asks verkstad i Landskrona, där han också själv deltog i arbetet med att gå igenom planet. Under arbetets gång blev han kompanjon med Ask och bildade företa-

get AVIS, Aeroplanvarvet i Skåne. Thulin och Ask började snabbt med licenstillverkning av flera olika tyska och franska plan och motorer. Verksamheten blomstrade och AVIS sålde flera flygplan till den svenska staten.

Våren 1914 reste Enoch Thulin till Paris- för att flyga hem ett nytt och bättre flygplan. Det nya planet var tvåsitsigt och hela försommaren gjorde Enoch uppvisningar, ibland med berömda passagerare som den flygtokige skulptören Axel Pettersson, "Döderhultaren". Thulin utförde flera för sin tid uppseendeväckande flygningar. Bland annat flög han i maj 1914, sträckan Malmö-Stockholm på 4 timmar och 17 min, vilket då blev skandinaviskt rekord.

I augusti 1914 övertog Enoch Thulin AVIS-verkstan och med stöd av bland annat uppfinnaren av AGA-fyren Gustav Dalén skapade han industriföretaget AB Thulin Aeroplanfabrik och började licensbygga franska flygplan av typen Morane-Saulnier. Gustaf Dalén, som grundade AGA och var blind sedan 1912 efter en laboratorieolycka, hade troligen träffat Enoch Thulin flera år tidigare. Dalén var född 1869 och blev lite av en mentor för Enoch Thulin.

Framtidsutsikterna verkade ljusa men i samband med första världskrigets utbrott förbjöds plötsligt all privat flygtrafik. I ett slag oimintetgjordes alla uppvisningsflygningar men istället expanderade den industriella verksamheten. Enoch konstruerade flygplan och företaget sålde också många flygplansmotorer. Antalet anställda växte 1917 till 350 personer och sex månader senare till närmare 500 anställda. Under en kort period 1918 hade man till och med 1000 anställda.

Personal anställdes dagligen och nya lokaler togs i bruk. Nytt namn blev AETA, Aktieföretaget Enoch Thulins Aeroplanfabrik. Enoch flög inte lika mycket som förr men under sommaren 1915 lyckades han utverka ett begränsat flygtillstånd vilket möjliggjorde uppstart av flygskolan i Ljungbyhed där förare till försällda plan utbildades.



År 1918 växte företaget till runt tusen anställda med tre stora femvåningskomplex i stål och betong med verkstadslokaler, materialprovningsanstalt, en omfattande motoravdelning, ett eget aerodynamiskt laboratorium samt licenstillverkning av produkter i Danmark. Såväl flygplanstillverkningen som motortillverkningen var mycket framgångsrika och produkterna fick förutom i Sverige även avsättning i Nederländerna och Danmark. Thulin skrev också 1918 till Stockholms stadsfullmäktige och föreslog att man skulle utreda byggandet av en flygplats i närheten av Stockholm. Trots positiva reaktioner kom det dock att dröja till 1936 innan Bromma flygplats kunde invigas.

Genom att utlova snabba leveranser fick bolaget under 1918 en beställning från ett sydamerikanskt land på 33 miljoner kronor. Beställningen var omgiven av stor sekretess men torde ha gällt motorer. Thulin tog väldiga risker. Det finns nämligen starka skäl att anta att ett "sydamerikanskt land" helt enkelt var ett täcknamn för ett europeiskt land, som Tyskland eller Ryssland, för vilket AETA (Thulinverken) inte hade kunnat få exportlicens från Sverige.

Den 11 november 1918 tog dessutom första världskriget slut och den stora 33-miljoners beställningen stoppades. Bolagets chanstagnning på en stor order och fortsatt krig hade misslyckats totalt. Fast kontraktet inte var undertecknat hade bolaget gjort stora investeringar och varuinköp för att kunna hålla den utlovade leveranstiden. Krisen var ett faktum. Thulin avsåg sig i januari 1919 posten som bolagets VD och åkte utomlands några månader. I april var arbetsstyrkan nere i c:a 80 personer.

Enoch Thulin återkom emellertid snart och återupptog sina uppvisningar. Han omkom den 14 maj 1919, när han gjorde en provflygning i Landskrona inför en kommande uppvisning. Han hade inte flugit på ett år, men kände sig troligen utmanad av duktiga flygare från kontinenten, som skulle visa upp sig i Köpenhamn.

Han gick till väders strax efter klockan halv åtta och gjorde först en sväng in över staden för att sedan styra söderut mot Barsebäck. Thulin var emot konstflygning och tog inte onödiga risker. Den 14 maj tänjde han dock på gränserna för vad dåtidens plan klarade. När han ett par minuter senare kom tillbaka hamnade hans tvåsitsiga Thulin K plötsligt i våldsamma svängningar. Efter ett par våghalsiga dykningar och loopar hade han tappat herraväldet över den lätta maskinen. Han kom i en spinn, som inte gick att häva. Man tror att han dog innan han nådde marken.

Begravningen var statsmannamässig med en lång rad framstående personer som gäster och ett begravningsståg genom staden med Thulinverkens blåsorkester i täten och breda lager av folk längs gatorna.

Thulins olycka och slutet på första världskriget innebar ett totalstopp för flygplanstillverkningen i Landskrona. Ett av hans flygplan finns hängande i taket i den s.k. Thulinsalen på Landskrona museum, tillsammans med ett antal stjärncylinderdrivna propellermotorer och andra attiraljer från det svenska flygets absolut tidigaste period.

Snart efter krigsslutet började Thulinverken tillverka bilar på tysk licens. Man insåg att det var en bärkraftig framtidsatsning och produktionen kom snart igång. Bilproduktionen fortsatte till 1928. Även en egen motorcykelmodell kom i produktion och en slags slädbil utprovades och tillverkades utan att aldrig riktigt få en chans att etablera sig.



Det första flygplanet, Thulin D, Parasol, som byggdes i Landskrona 1916.

Även flygskolan i Ljungbyhed drabbades av krigsslutet. Skolan öppnade även för utländska elever men antalet militära flygare sjönk dramatiskt efter kriget och i april 1920 avvecklades skolan. När F5 stationeras i Ljungbyhed 1925 togs dock lokaler och banor åter i bruk och efter nedläggningen 1996 tog Trafikflyghögskolan, som drivs av Lunds universitet, över området.

Till Enoch Thulins minne instiftades 1944 Thulinmedaljen, som finns i tre valörer: guld, silver och brons. Det är den förnämsta utmärkelsen inom flyg- och rymdbranschen i Sverige. Den utdelas av Flygtekniska Föreningen efter godkännande av IVA (Ingenjörers Vetenskaps Akademin).



Thulinmedaljen

Inte bara Thulin

Även före Enoch Thulin fanns det folk i Sverige som sveptes med i intresset för flyg under tiden runt sekelskiftet 1900. En sådan var Carl Richard Nyberg, (1858–1939), kallad "Flyg-Nyberg".



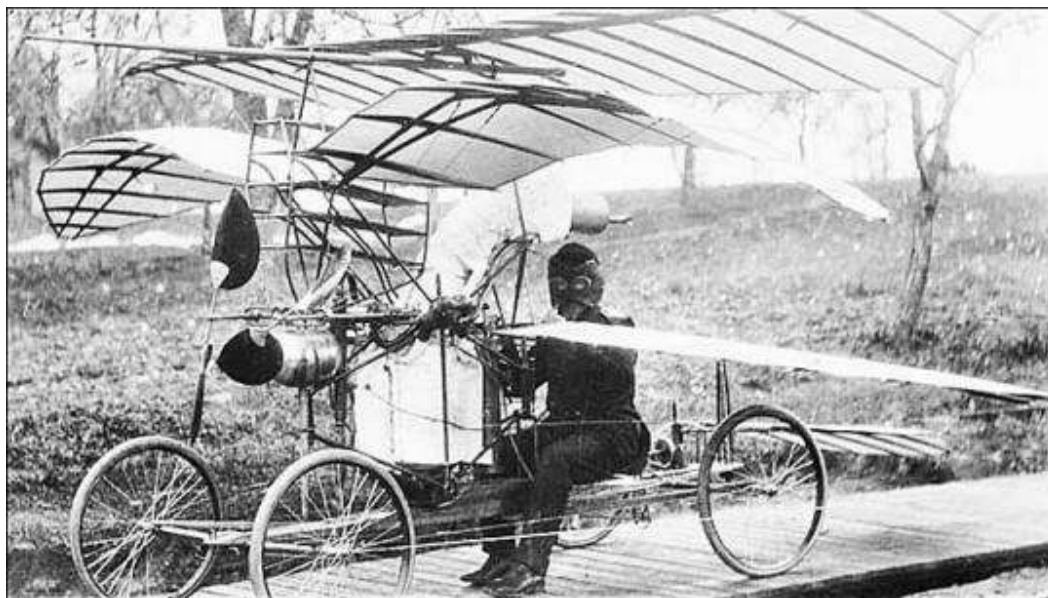
Han var en av många uppfinnare inom maskinteknik, som verkade i Sverige omkring sekelskiftet 1900.

Han fick patent på en blåslampa 1881 och konstruerade också många andra maskiner. År 1882 startade han egen tillverkning av blåslampor i en tvättstuga på Luntmakargatan i Stockholm. År 1884 flyttades tillverkningen till Sundbyberg, där den till en början skedde i ett uthus under blygsamma förhål-

landen. Affärerna gick dock bra och Nybergs lampfabrik blev före första världskriget Sundbybergs näst största företag i

nedanför sin villa så att han via en räls kunde få ut Flugan på isen. Han gjorde flera prov med Flugan på Askrikefjärdens is, både lyckade och misslyckade. Flygplanet var förankrat till en stolpe i isen med en lång lina och kördes i cirkelbana. Vid ett provtillfälle på rundbanan på isen med Flugan havererade planet och fick omfattande skador. Nyberg klarade sig dock helskinnad.

Flugan var fem meter mellan vingpetsarna och hade en sammanlagd vingyta på 13 m². Motorn var en av Nyberg själv konstruerad ångmaskin på 38 kilo, som eldades med ett antal gasoljelampor. Motorn gav en maximal effekt på 10 hk vid 2000 varv per minut, ett för den tiden extremt högt effekt/vikt-förhållande för en ångmaskin. Detta var ändå inte nog för att få upp det 80 kilo tunga planet i luften. Endast ett antal korta hopp på någon halvmeter åstadkoms och Nyberg fick lida mycket spe för detta. Senare har han dock blivit erkänd som en av pionjerna inom flyg. Han slutade med sina flygexperiment omkring 1910. Flugan anses av eftervärlden ha funnits i två versioner, en första version från 1902 (cirka ett år innan bröderna Wright hade färdigutvecklat sitt första plan) och en version från 1904.



antalet anställda efter AB Sieverts Kabelverk. År 1913 hade företaget cirka 200 anställda

Nyberg är dock mest berömd som flygpionjär och fick på grund av detta smeknamnet "Flyg-Nyberg". Redan 1874 byggde han en modell av en helikopter, som drevs av ett fjäderverk och kunde lyfta två meter och från 1899 började han göra experiment "för flygproblemets lösning" med sitt egenkonstruerade försöksflygplan Flugan. Proven utfördes på en rundbana av träplank, en så kallad karusellbana, utanför Nybergs villa på Täckasudden vid Grönstaviken på norra Lidingö och under vintern på en plogad rundbana på Askrikefjärdens is.

Omkring 1908 uppförde han en flyghangar med speciellt utformat tak och öppningsbar port mot sjön vid strandkanten

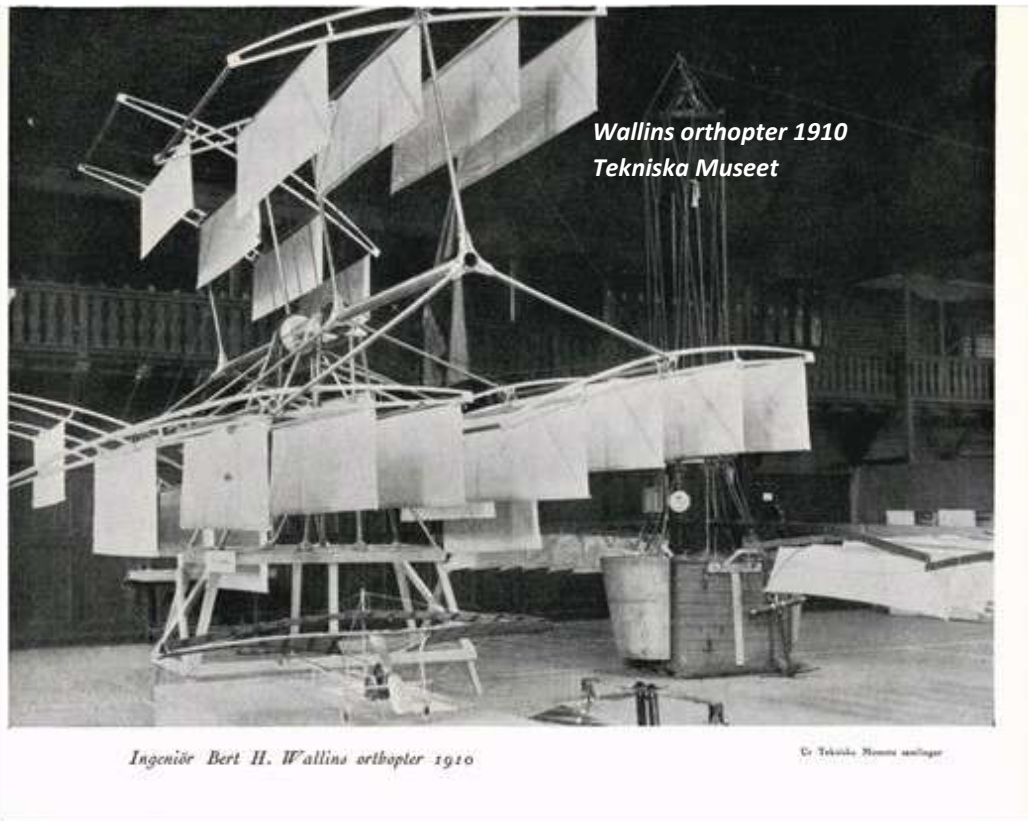
Carl Richard Nyberg var även en pionjärer inom aerodynamiken och i hur flygplanetns vingar skulle vara konstruerade. Han fastställde till exempel sambanden mellan dragkraft, lyftkraft, strömningsmotstånd och stabilitet i en egen vindtunnel för modeller.

Det stora problemet för Nyberg var att han inte hade tillgång till små förbränningsmotorer som kan ge avsevärt högre effekt i förhållande till vikt än den mest kompakta ångmaskin. I december 1903 kunde bröderna Wright i USA för första gången få ett flygplan med en pilot att hålla sig i luften ett par hundra meter med hjälp av en liten 16 hk bensindriven förbränningsmotor. Deras plan, en dubbeldäckare med 12 meters vingbredd, hade en vikt inklusive pilot på cirka 300 kilo, avsevärt mer än Flugan.



Den svenska flygmaskinsuppfinnare, som fick störst internationell uppmärksamhet under denna tid var inte Nyberg utan göteborgaren Bert. H. Wallin. Han satsade på flygning med flax och mellan 1905 och 1910 byggde han stora vingslagsapparater delvis med ekonomiskt stöd av ett särskilt bolag. År 1906 bildade Wallin företaget AB Aviator för detta ändamål.

Det var ett i sitt slag beundransvärt arbete. En person av idag skulle knappast kunna gissa vad dessa apparater skulle användas till, så fullständigt skiljer de sig från våra dagars flygmaskiner. Inte heller lyckades man flyga med dem. Det längsta man kom enligt en åskådare var att hoppa på stället. När man ser bilden nedan har man svårt att förstå hur ens det lyckades.



Den första svensk som flög ett flygplan (800 m) var civilingenjören Georg Unné medan han var bosatt i Frankrike. Han var flygplans- och motorkonstruktör, sedermera chef för Salmson flygplans- och motorfabrik.

Sveriges första bolag för tillverkning av flygplan bildades emellertid 1910 av Oscar Ask och Hjalmar Nyrop. Företaget AB Nyrop & Ask byggde i Landskrona det första svensktillverkade aeroplanet, Ask-Nyrop Nr 1, "Gräshoppan". Det liknar mycket mer en flygmaskin av idag än Wallins maskin.

Vid de första försöken 28 april i Ljungbyhed orkade dock den alltför svaga motorn inte lyfta planet. Efter ombyggnad och med ny motor återvände Hjalmar Nyrop till Ljungbyhed och lyckas i månadsskiftet augusti/september få upp flygplanet i luften. Han blev därmed den förste svensk som flög ett svensktbyggt flygplan i Sverige.



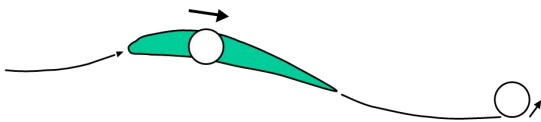
Ludwig Prandtl upptäckte toppvirvlarna

Ryssen Joukowskis metod var ett stort steg framåt när det gällde att utforma en vinge men idag har man bättre metoder. Den som har störst del i detta är Ludwig Prandtl, som kanske är den som bidragit mest till flygteknikens utveckling.



Cirkulationen runt en vingprofil innebar ett problem för de tidiga flygteknikerna. Om det från början inte var några virvlar i luften så måste summan av alla virvlar förbli noll även om en vingprofil förs in i strömningen. Om det ska vara en cirkulation runt vingprofilen så måste det alltså någonstans i strömningens fält finnas en annan med samma styrka men motsatt

riktning. Den förste som upptäckte denna andra virvel var Ludwig Prandtl. I en vindtunnel lyckades han fotografera virvlar som lösgjordes från bakkanten på vingen och följde med strömmen bakåt.



Ludwig Prandtl (1875-1953) blev professor i Göttingen vid 29 års ålder och stannade där hela livet. Han startade det berömda Kaiser-Wilhelm Institutet för strömningsteknik och gjorde viktiga uppfinningar när det gällde vindtunnlar och andra aerodynamiska utrustningar. Hans inflytande spreds inte bara genom publikationer utan framförallt genom många briljanta studenter, som utbildades av honom.

Från början studerade Prandtl mekanik i Munchen och doktorerade för August Föppl. Senare blev han Föppls svärson. Det sägs att när Prandtl närmade sig fyrtio tyckte han att det var dags att gifta sig. Han skrev ett brev till Föppl och bad att få gifta sig med en av hans döttrar. Föppl hade två döttrar och den tankspridde Prandtl glömde att tala om vem han avsåg. Familjen Föppl höll ett eget rådslag och det visade sig att en av döttrarna kunde tänka sig att ta sig an Prandtl. Tydligt levde de lyckligt tillsammans resten av livet. Så kunde det gå till på den tiden.

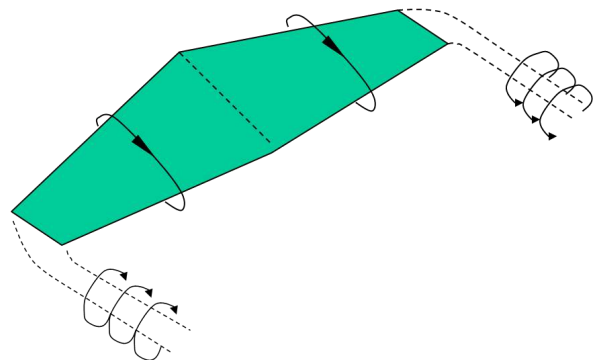
Prandtls största bidrag till strömningläran är gränsskiktsteorin. I augusti 1904 samlades en liten grupp av matematiker och fysiker i den idylliska tyska staden Heidelberg till den tredje internationella matematikkongressen. En av talarna var den endast 29-åriga Ludwig Prandtl. På tio minuter lyckades han

presentera en av de viktigaste genombrotten i strömningläran.

Före Prandtls gränsskiktsteori hade man bara kunnat räkna på inkompressibel, friktionsfri strömning. Det var känt att resultaten inte stämde med verkligheten. Till exempel blev motståndet lika med noll. Prandtls stora ide' var att dela strömningen kring en kropp i två områden. Bara i ett tunt skikt närmast kroppen, gränsskiktet, hade friktionen betydelse. I resten av strömningen kunde man försumma friktionen. Denna teori innebar att beräkningarna förenklades väsentligt. Det blev nu möjligt att förutsäga avlösning av strömningen, friktion och värmeöverföring.

Som vi vet från fåglarna glider luften utåt på vingen och lämnar vingspetsen som en toppvirvel. Den här virveln släpas efter flygplanet och ger upphov till ett motstånd. En av Prandtls viktigaste bidrag till flygtekniken var att han förklarade detta så kallade inducerade motstånd eller motståndet på grund av flygning. Prandtl förklarade därmed något som observerats redan av bröderna Wright, nämligen att motståndet på en vinge beror på det så kallade sidoförhållandet det vill säga förhållandet mellan bredd och längd på vingen. Ett högt sidoförhållande ger mindre motstånd eftersom toppvirvlarna är svagare.

Ibland kan man se dessa virvlar när ett flygplan flyger med hög anfallsvinkel och tryckskillnaden över vingen är stor. Vattnet i luften kondenseras då och två vridna linjer sträcker sig bakåt från vingspetsen. Förutom att de innebär ett motstånd på flygplanet så ger dessa virvlar upphov till turbulens bakom flygplanet. Toppvirvlarna från ett stort flygplan sträcker sig ett par kilometer bakåt och kan kasta runt ett mindre flygplan som kommer för nära. De är också orsaken till att man flygplan inte kan starta för tätt från flygplatser.



En annan konsekvens av toppvirvlarna är den så kallade "markeffekten". När ett flygplan flyger nära marken, flyter det så att säga fram på toppvirvlarna och kan flyga med mindre motstånd. Bröderna Wright kom förmodligen aldrig ut ur markeffekten vid sin första flygning. Man kan också se fåglar använda den för att få upp farten för stigning.

Även om man inte kan eliminera det inducerade motståndet så kan man minska det genom en lämplig form på vingen. Prandtl visade att motståndet minskade om bredden på vingen varierar som hos en ellips. Den höga prestandan hos Spitfire-flygplanet under andra världskriget berodde bland annat på dess elliptiska vingar.

Charles Lindbergh och flygets genombrott

Efter bröderna Wrights första flygning 1903 gick utvecklingen snabbt. Många olika flygplan byggdes och provades och aerodynamiken föddes. Joukowski visade hur strömningen kring en vinge kunde beräknas från den kring en cylinder. Prandtl uppfann metoden med gränsskikt och hans assistent von Karman visade hur teorierna kunde användas i praktiken. Charles Lindberghs ensamflygning över Atlanten 1927 var kulmen på en snabb teknisk utveckling och blev genom sitt massmediala genomslag ett genombrott för flyget.

Mycket av arbetet med aerodynamik under mellankrigstiden bestod i Prandtls efterföljd i försök att förstå virvlar. Theodore von Karman gjorde stora insatser på detta område. Han var född i Ungern och blev intresserad av flyg under ett besök hos en flickvän i Paris. Hon släpade nämligen med sig den motsträvige Theodor till en flyguppvisning av den franske flygaren Henri Farman.



Von Karman blev intresserad och började studera hos Prandtl i Göttingen. Så småningom blev han som professor vid California Institute of Technology en av de ledande inom den amerikanska flygtekniken. Han satte också upp ett forskningsinstitut i Bryssel, som fortfarande bär hans namn. Han är känd för den så kallade Karmans virvelgata, som innebär att virvlar efter en kropp tenderar att ordna sig i ett zick-zack mönster.

Under 1920-talet började forskningens resultat få en allt större betydelse för flygets utveckling. Forskningsinstitut med avancerad provutrustning byggdes i många länder. Framförallt den amerikanska National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) började spela en dominerande roll.

Atlanten fascinerade flygarna och 1919 utfäste fransmannen Raymond Orteig \$25000 till den, som flög nonstop mellan New

York och Paris för första gången. Många försökte, ibland med tragiska resultat. År 1919 försökte sig tre stora flygbåtar från amerikanska flottan på den första överfarten och bara en av dem kom fram.



Slutligen år 1927 lyckades Charles A. Lindbergh i sitt Ryan monoplan "Spirit of St. Louis". Kämpande mot dimma, nedisning och brist på sömn landade Lindbergh till slut välbehållen på Le Bourget i Paris klockan tio på kvällen den 20:e maj 1927. Spirit of Saint Louis hade burit honom 6000 km på 33 och ½ timme.

När den unge amerikanen och svenskättlingen Charles Lindbergh landade på Le Bourget utanför Paris den 21:a maj 1927 hälsad av tusentals människor, förstod varken han eller någon annan vilken betydelse hans bedrift skulle få för flygets utveckling. I den gryende massmediaåldern blev Lindbergh emellertid över en natt den mest berömde mannen i världen. Månaderna efter hans flygning startade hundratals nya flygföretag. Det var flygets genombrott. Ändå var han inte den förste, som flög över Atlanten även om han var först att göra det non stop. Och bakom sig hade han 25 års utveckling, som hade lett fram till hans berömda flygplan "Spirit of Saint Louis".

"Spirit of St. Louis" var konstruerat för en enda sak: att komma till Paris. Extra bränsletankar byggdes in och vingspannet ökades för att klara den extra vikten. För att hålla nere vikten tog Lindbergh bort allt han kunde avvara som radio, fallskärm och navigationsljus. Han skaffade sig till och med lättare stövlar och skar ner på antalet kartor. Istället för den vanliga sitsen satt han i en lättare korgstol.



Spirit of Saint Louis

Varför var det då så viktigt att hålla nere vikten? Orsaken är en ekvation, som bestämmer bränsleförbrukningen på flygplan. Den effekt som behövs för att driva fram planet är motorns dragkraft multiplicerad med hastigheten. Den effekt, som man tillför till flygplanet är bränsleförbrukningen multiplicerat med energiinnehållet i bränslet. Om man dividerar dessa effekter får man den verkningsgrad motorn behöver dvs:

$$\eta = \frac{FV}{\dot{m}_f h}$$

Nu skall dragkraften balansera motståndet på flygplanet så $F=D$. Vidare skall lyftkraften på flygplanet balansera vikten så $L=mg$. Då får man följande ekvation för bränsleförbrukningen om "h" är energiinnehållet i bränslet:

$$\dot{m}_f = \frac{mgV}{h\eta L / D}$$

Som vi sett i kapitlet om fåglarna så kommer ett flygplan som släpps på höjd att glida en sträcka L/D när det faller en meter. Förhållandet mellan lyftkraft och motstånd L/D brukar därför kallas för glidtalet och är ett mått på hur effektiv aerodynamiken är. För låg bränsleförbrukning ska man ha ett högt glidtal. Man ska naturligtvis också ha en bra motor och ett energirikt bränsle. Men det är också viktigt att minska vikten och det var den som Lindbergh framförallt kunde påverka.

Förhållandena är litet mer komplicerade än vi har beskrivit här eftersom glidtalet och motorns verkningsgrad varierar med

hastigheten. En annan sak är att när bränslet förbrukas så minskar flygplanets vikt och därmed också den lyftkraft, som behövs för att hålla det på samma höjd. Om man ligger kvar på samma höjd och fart, vilket ofta krävs av flygtrafiken, så kommer motståndet D att vara lika. Därmed minskar L/D och bränsleförbrukningen tenderar att öka ju längre flygplanet flyger. Alternativt kan man låta flygplanet stiga så att motståndet minskar i den tunnare luften.

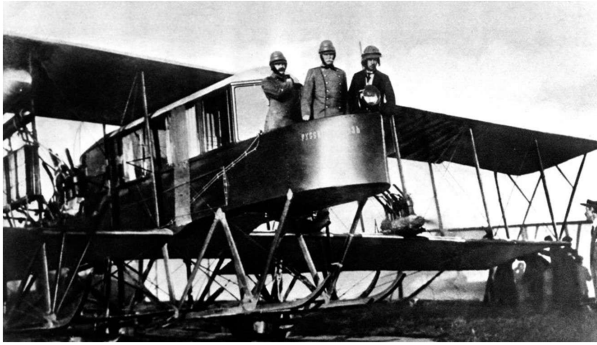
Spirit of St. Louis populariserade monoplanen och markerade början på slutet för de gamla biplanen. Fördelen med biplanen var deras höga lyftkraft. Samtidigt hade de ett mycket stort motstånd. Luftmotståndet hos Spirit of Saint Louis var ungefär hälften så stort som på bröderna Wrights flygplan.



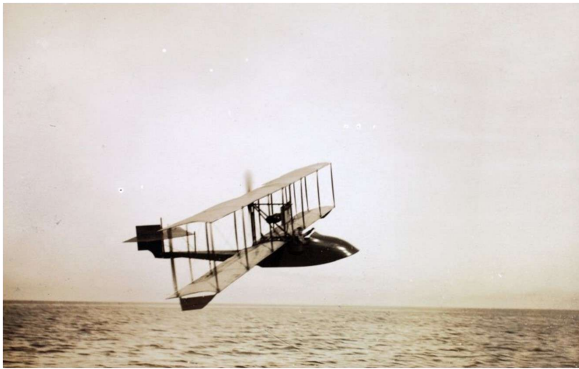
Lindbergh följdes snart av andra. Amelia Earhart blev den första kvinnan att flyga över Atlanten som passagerare i en Fokker Friendship 1928 och 1932 satte hon ett nytt hastighetsrekord på 13 och 1/2 timme i en Lockheed Vega. År 1935 blev hon den första kvinnan att flyga över Stilla Havet. Hon omkom tyvärr 1937 tillsammans med sin navigatör Fred Noonan under ett

försök att flyga runt jorden. Planet försvann över västra Stilla Havet och har aldrig återfunnits.

Trafikflyget och propellern



Civilflyget började ta fart redan före första världskriget, först som postflyg och sedan för passagerare. Det första passagerarflygplanet byggdes i Ryssland. Den fyrmotoriga Sikorski Ilja Muromez erbjöd passagerarna en hel del bekvämligheter. Den slutna kabinen var utrustad med bekväma stolar. I den bakre delen fanns det en avskild privat kabin med en säng. På övre däck fanns ett tvättrum och det fanns ljus, värme och toalett. De första 16 passagerarna gjorde i februari 1914 en första provflygning. I regelrätt trafik kom dock aldrig maskinen. Det första världskriget gjorde att all civil trafik upphörde.



Den första flyglinjen startade istället i USA med en flygbåt som 1914 trafikerade linjen St. Petersburg—Tampa i Florida. Maskinen flög två gånger om dagen över Old Tampa Bay. För fem dollar kunde man transporteras över bukten på bara 20 minuter. Tåget kostade bara en dollar men tog en timme. Flygplanet var fortfarande ett biplan liksom bröderna Wrights.

Man lämnade snart trä och segelduk och övergick till att göra flygplanen av aluminium. Pionjär på området var Hugo Junkers i Tyskland. En del av DNA från moderna flygplan kan hittas i det tyska Junkers F 13 för fyra passagerare från 1919. Det av Hugo Junkers utformade flygplanet var ett stort steg framåt jämfört med sina trä-och-tyg biplan samtida. Det var ett lågvingat monoplan av korrugerad plåt. Skalet tillverkades av en aluminiumlegering som kallas duraluminium, delvis förspänd och vingbalkar bar en del av skjvbelastningarna.

Framgången för F13 banade väg för andra tidiga flygplan med metallskal som utvecklades av Fokker och i USA kom det av William Stout utformade Ford Trimotor, som flög 1926. Ford Trimotor var ryggraden i den amerikanska flygindustrin under 1920-talet och var helt och hållet gjort av metall.

Spirit of St. Louis populariserade monoplanen och markerade början på slutet för de gamla biplanen. Fördelen med biplanen var deras höga lyftkraft. Samtidigt hade de ett mycket stort motstånd. Luftmotståndet hos Spirit of Saint Louis var ungefär hälften så stort som på bröderna Wrights flygplan.

Lockheed Vega var ett annat högpresterande monoplan, som flög för första gången 1927. En ny detalj på detta flygplan var en motorkåpa som täckte den 450-hk Pratt & Whitney Wasp luftkylda motorn. Motorkåpan minskade luftmotståndet dramatiskt och topphastigheten på en Lockheed Vega ökade från 260 till 300 km per timme. Glidtalet L/D för en Vega var 11.4, vilket var ovanligt högt för sin tid. Det var ungefär det samma som en mäs klarar av. Efter trettio års aerodynamisk utveckling hade man alltså nått så långt. Det var emellertid fortfarande lång väg till albatrossen på omkring 20. Dit skulle man inte nå förrän 40 år senare med Boeing 747.

Civilflyget började nu ta fart först som postflyg och sedan för passagerare. Det amerikanska Pan American Airways blev ledande på flygningar över Atlanten och Stilla Havet. Som ett tecken på utvecklingen kom 1927 den första kabinpersonalen och det var vid engelska Imperial Airways. I lyxflygplanet "Silver Wing" reste passagerarna i en komfortabel flygkabin med egen steward och fördrev tiden med en fyrrätters middagsmeny. Den första flygvärdinnan var amerikanskan Ellen Church. Hon var utbildad sjuksköterska och hobbypilot. Hon övertalade Boeing Air Transport, föregångare till United Airlines, att de behövde en sjuksköterska ombord för att passagerarna skulle känna sig säkra

På 1930-talet började propellerplanen nå sin slutliga form. Man införde infällbara landningsställ och överladdade motorer. Motorns effekt tenderar att falla med höjden när luftens täthet minskar och utan överladdare har man svårt att flyga över 5000 m. År 1929 nådde ett flygplan med en överladdad Pratt & Whitney Wasp för första gången över 10000 m.

Det första flygplanet av modern typ var Boeing 247. Dess maximala L/D var 13.5. Omkring 75 Boeing 247:or byggdes, men planet utvecklades inte vidare kanske beroende på att Boeing hade fullt upp att göra med bombflygplan inför andra världskriget.



Ett mycket liknande flygplan var Douglas DC-2. Från detta flygplan utvecklades Douglas DC-3, som innehöll all den mest moderna tekniken för sin tid. Med 21 passagerare och en hastighet på 3 000 meters höjd av 300 km i timmen, satte detta flygplan en ny standard för civilflyget.

DC-3 är kanske det mest kända flygplanet i världen. Det flög för första gången i december 1935 och kom i trafik sommaren 1936. Sjuonio år senare flög mer än tusen DC-3 fortfarande.



Från 1930-talet hade formen på flygplanen hållit sig i stort sett oförändrad. Men framdrivningen stod inför en revolution. Innan Lindbergh gjorde sin flygning hade motortekniken avancerat mycket. Wright Flyers motor hade en effekt av 12 hk, vilket innebar 26 W per kg flygplan. Spirit of Saint Louis motor hade 220 hk eller 170 W per kg flygplan alltså mer än sex gånger så mycket.

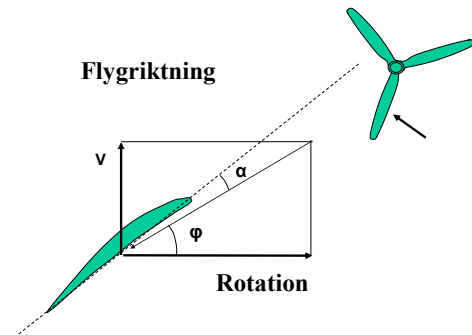
När världen närmade sig andra världskriget krävde emellertid militärflyget allt högre hastigheter. Nu började propellern bli ett hinder för utvecklingen. Propellern var en av bröderna Wrights viktigaste bidrag till flygtekniken och sedan deras tid hade man hade lagt ner mycket arbete på att förbättra den. Efter många experiment lyckades bröderna Wright konstruera en propeller med en verkningsgrad av 70% och detta var kanske deras största bidrag till flygtekniken. Deras typ av propeller användes av alla tidiga flygplansbyggare. Men andra byggde vidare på deras arbete. Teorin och konstruktionen av propellar fastlades i allt väsentligt i en rapport 1917 av William Durand. Hans propellar hade en verkningsgrad av 75 till 80%. Idag har en typisk flygplanspropeller en verkningsgrad nära 90%.

Det stora problemet med propellern är att den möter varierande förhållanden beroende på flyghastigheten. Strömningen kring en propeller är komplicerad. Den fungerar som en roterande vinge som ger lyftkraft när den roterar genom luften. Ett tvärsnitt genom propellern visar därför en vingprofil. Denna utsätts för en anströmmande luft vars hastighet är sammansatt dels av flygplanets hastighet framåt, dels av propellerns rotation.

Den senare hastigheten ökar ju närmare toppen på bladet man kommer. Lyftkraften på bladet ökar med vinkeln till den anströmmande luften, alfa i figuren, men bara tills luften löser av från väggen. Vinkeln får alltså inte bli vare sig för stor eller för liten och för att klara det är det nödvändigt att göra bladet vri-

det i längsled.

Men om nu flyghastigheten varierar så kan ju ändå vinkeln hamna fel. För att kompensera för det vrider man hela bladet kring infästningen i propelleraxeln. Det kräver en komplicerad mekanik.



Redan på 1800-talet föreslog den franske flygpiomjären Alphonse Penaud sådana vridbara blad men det dröjde till 1924 innan H S Hele-Shaw och T E Beacham i England kom med ett fungerande patent. I praktisk användning kom sådana vridbara blad omkring 1935 efter pionjärarbete av Frank Caldwell och Hamilton Standard Company. När Boeing 247 kom 1933, hade det problem att flyga över Klippiga Bergen på 2000 meters höjd p g a sin fasta propeller. Med en vridbar propeller blev prestanda mycket bättre. Nu kunde man automatiskt justera vinkeln på bladen så att propellern blev så effektiv som möjligt.



den för en lyckad teknisk utveckling.

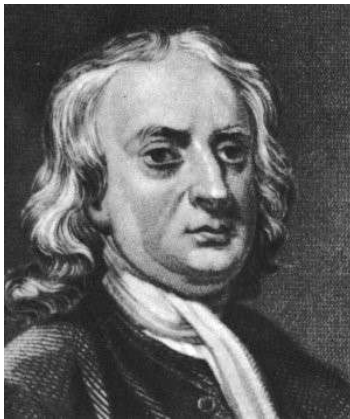
Men den luft som möter propellerbladen har alltid högre hastighet än flygplanet och när hastigheten på flygplanen ökade hamnade man i ett annat problem. Luftstötår började uppstå på bladen och det krävdes större arbete att dra propellern runt samtidigt som lyftkraften på bladen minskade. Man hade börjat närma sig den så kallade ljudvallen och en ny typ av motor krävdes. Jetmotorns era skönjdes.

Som USA:s ledande propelleringenjör och designer under flygrevolutionen på 1920-talet och 1930-talet, var Frank Walker Caldwell (1889-1974) en viktig bidragande orsak till utvecklingen av framdrivningstekniken. Caldwell övervakade utvecklingen av metalliska ställbara propellar under sin tid som Förenta Staternas regerings chefspropelleringenjör 1917-1928 och inom industrin under 1929-1938. Under den tiden startade han provanläggningar för propellar och lade grunden för en lyckad teknisk utveckling.

Propellern vid ljudhastigheten

Teknisk utveckling sker ofta i små steg genom innovationer som förbättrar effektivitet och teknik. Karakteristiskt för en sådan utveckling är bättre tillverkningsmetoder och förbättringar i konstruktionen genom nya varianter av existerande produkter. En sådan gradvis utveckling ägde rum när det gällde propellermotorerna under tiden före det andra världskriget. Genom stora kostnader och ansträngningar lyckades man under perioden 1925-1945 att tiodubbla effekten på motorerna från 350 hk till 3500.

Varför krävdes då en sådan ökning av effekten? Svaret är behovet av att flyga fortare och det därmed följande ökade motståndet på flygplanet men framförallt på propellern. Man började närma sig ljudvallen.



En störning i luften sprids med den så kallade ljudhastigheten. Den förste som försökte beräkna värdet på ljudhastigheten var Isaac Newton. Den engelske kemisten Robert Boyle, 1627-1691, hade funnit att produkten av trycket "p" hos en gas ökar när volymen "v" minskar på ett sådant sätt att $p \cdot v = \text{konstant}$. Det kallas Boyles lag och utgår från den beräknade

Newton ljudhastigheten till 290 m/s.

Tyvärr är det en bra bit under det värde på 340 m/s, som man mätte upp från tidsskillnaden mellan mynningsflamman och knallen från en kanon.

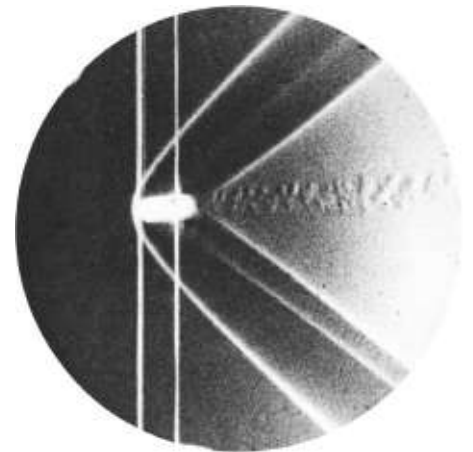
Newton antog att det berodde på damm och vattenånga i luften men i själva verket visste han inte tillräckligt mycket. Man måste vänta på utvecklingen inom värmelära, eller termodynamiken, innan man kunde komma till ett bättre värde.

Mer än ett århundrade efter Newton påpekade den franske matematikern Pierre Laplace, att när en ljudvåg går genom luften så ändras förhållandena så snabbt att den inte hinner förlora någon värme. En kropp som inte har något värmeutbyte med omgivningen kallar man adiabatisk. För sådana förlopp hade man härlett samband mellan tryck, volym och temperatur. Det är ur dem som man får uttrycket för ljudhastigheten. Det förklarade felet i Newtons beräkningar och Laplace visade att ljudhastigheten i en gas kan beräknas ur det enkla uttrycket:

$$a = \sqrt{\gamma RT}$$

Här är γ och R två konstanter, som för luft är $\gamma=1.4$ och $R=287 \text{ m}^2/\text{s}^2 \text{ K}$ där $R=\check{R}/M$ och $\check{R}=8314$ är den allmänna gaskonstanten och "M" är molekylvikten hos gasen. Ljudhastigheten beror alltså bara på temperaturen i luften. Temperaturen mäts i grader Kelvin räknat från den absoluta nollpunkten - 273 grader Celsius. Vid den absoluta nollpunkten $T=0$ har all inre energi och all arbetsförmåga försvunnit. Ljudhastigheten är noll. Världen har frusit fast.

Machtalet $M=V/a$ är en viktig storhet i flygtekniken. Det är uppkallat efter Ernst Mach (1838-1916), en filosof och fysiker från Österrike. Han beskrev och förklarade 1877 de ljudvågor han observerat kring

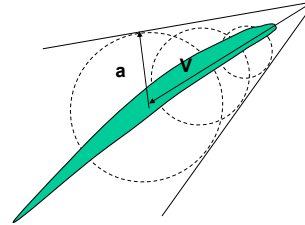


en projektil i överljudsfart i form av en kon kring projektilens nos. Ernst Mach's historiska fotografi från 1887 visade en stötvåg kring en gevärskula i överljudsfart.

Mach blev professor i matematik i Graz 1864, professor i fysik i Prag 1867 och professor i filosofi i Wien 1895. Han sysslade alltså inte bara med aerodynamik utan allt mera med filosofi. Han kom där att påstå att endast våra sinnesupplevelser av ting egentligen är verkliga och inte tingen i sig. Denna för en lekman något egocentriska idé fick en viss betydelse då den förde till ett ifrågasättande av exempelvis atomläran och begrepp som absolut tid och absolut rum. Detta i sin tur kom att sätta den newtonska fysiken i gungning på ett sätt som kom att bana väg för Einstein och andra moderna fysiker.

Hur som helst. På ett flygplan är det propellern som först får kännning av problemen vid högre hastigheter. Den luft som möter propellerbladen har alltid högre hastighet än flygplanet och när hastigheten på flygplanet ökar hamnar man i ett problem. Luftstötter börjar uppstå på bladen och det krävs större arbete att dra propellern runt samtidigt som lyftkraften på bladen minskar.

Störningar i luften sprider sig som ringar på vattnet. Anta att bladspetsen i ett visst ögonblick åstadkommer en sådan störning, som sprider sig med ljudhastigheten "a". Om nu bladet rör sig genom luften med en högre hastighet "V" så har efter en sekund störningen rört sig sträckan "a" men bladet sträcker "V" och under tiden lämnat efter sig en serie av störningar, som tillsammans bildar en front eller stötvåg. Denna stötvåg släpar bladet med sig genom luften. Det är som om ett lakan hängde över bladspetsen och det ökar motståndet. När hastigheten vid bladspetsen närmar sig ljudet kommer bullret också att öka kraftigt på grund av stötar och avlösning.



Luftstötter bildas vid hastighet nära ljudet

Problem med ljudvågor på propellrar uppstod under 1930-talet när hastigheten på flygplanen ökade. Stora ansträngningar gjordes att förbättra propellrarnas utformning så att de skulle klara dessa högre hastigheter. Det är hastigheten vinkelrätt mot bladspetsen som åstadkommer stötarna i luften. Ett sätt att minska benägenheten för stötar är därför att böja bladen bakåt eller framåt. Den lokala hastigheten på bladet kan också minskas genom att göra bladet tunnare. Genom att använda tunna och svängda blad har man kunnat tänja propellrarna närmare ljudhastigheten.

För normala propellrar bör Machtalet stanna under ca 0.8. Speciella propellrar för hög hastighet kan fungera till 0.85-0.9. Detta begränsar flyghastigheten till lägre värden än så. När trettiotalet gick mot sitt slut var tiden mogen för en ny teknik och en sådan kom också. Jetmotorn gjorde sitt intåg.



Dags för jetmotorn

Som vi sett är propellerns största nackdel att den har stora problem när bladspetsarna närmar sig ljudhastigheten. Luftströmmen från en propeller kan inte bli högre än ljudhastigheten. Enligt Newtons reaktionslag kan den därför inte flyga fortare än ljudet.

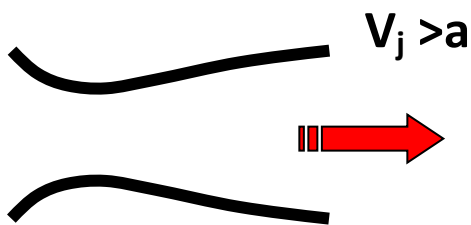


Att det var möjligt att åstadkomma luftstrålar med högre hastighet än ljudet visades av en svensk ingenjör 1888. Carl Gustaf Patrick de Laval föddes 1845 som son till en armékapten. Efter examen från Uppsala universitet 1866 började han på gruvbolaget Stora Kopparberg och sedan på järnverket

Kloster i Tyskland. Medan han arbetade där uppfann han en maskin för att separera grädde från mjölk. Han flyttade 1877 till Stockholm där han startade ett eget företag och under de närmaste trettio åren sålde han mer än en miljon separatorer.

Han började också experimentera med ångturbiner. År 1888 kom han på idén att göra utloppsmunstyckena för ångan koniska med ökande diameter. Plötsligt blev ångstrålens hastighet högre än ljudhastigheten och hans turbiner började gå med en väldig fart. Hans turbinaffär växte till ett stort företag.

Varken de Laval eller någon annan visste varför detta hände, men det förklarades 1903 av ungraren Aurel Boleslav Stodola. Som professor i Zurich blev han världens ledande expert på överljudsströmning och en av de ledande bakom det schweiziska företaget Brown Boveri, som senare gick ihop med svenska ASEA för att bilda ABB.



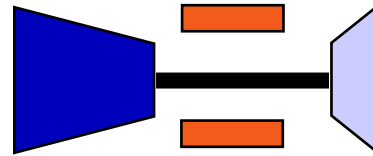
Stodolas beräkningar visade att när trycket ökade så steg hastigheten i halsen på munstycket tills den nådde ljudets. Sedan förblev den konstant där men ökade ut genom munstycket. Hastigheten i utloppet blev därför högre än ljudets. Men för att detta skulle ske visade det sig att trycket före munstycket måste vara tillräckligt mycket högre än det omgivande lufttrycket. I luft är det kritiska tryckförhållandet 1.89.

Genom en mycket enkel anordning, Lavalmunstycket, kunde man alltså få överljudsstrålar bara trycket var tillräckligt. Men hur skulle man åstadkomma en ständig ström av gas med tillräckligt tryck. Svaret var gasturbinen.

Den första ångturbinen byggdes av italienaren Giovanni Branca 1629. Vatten hettades upp i en kokare och strålen drev ett skovelhjul. År 1791 kopplade engelsmannen John Barber ihop en luftkompressor med en turbin, som drevs av kompressorluften upphettad i en brännkammare. Det var samma princip, som

dagens gasturbiner men den stora skillnaden var att hans kompressor drevs av en kedja från turbinen.

Den förste som byggde en modern gasturbin där kompressorn drevs direct av turbinen var norrmannen Aegidius Elling 1903. Han tappade av en del av luften från kompressorn och måste kyla gaserna från brännkammaren för att turbinen skulle klara sig.



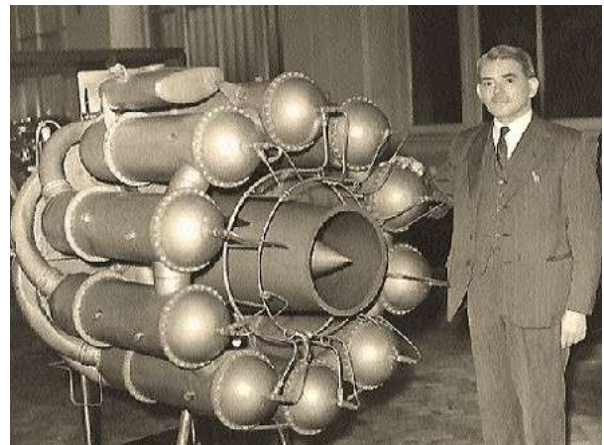
På grund av brist på stöd kunde inte Elling fortsätta utveckla sin gasturbin men han fortsatte sitt arbete på företaget Kongsberg,



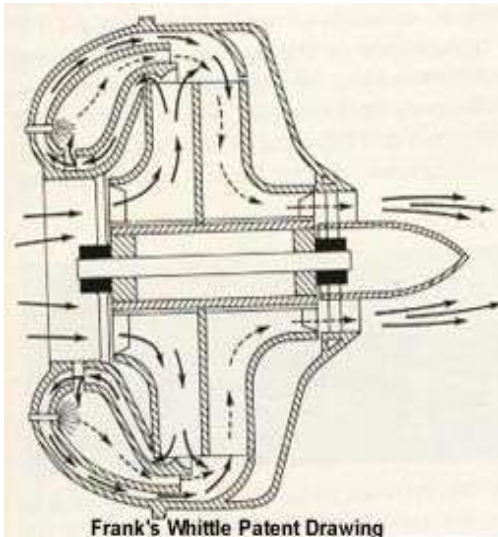
som senare blev ett turbinföretag och nu ingår i GKN.

Den första användningen av gasturbiner var som överladdare för kolmotorer bland annat flygmotorer. Engelsmannen Frank Whittle var först med idén att använda den för framdrivning. Född 1907 blev han kadett i Royal Airforce och intresserad av nya motorer för flygplan. Han försökte få stöd för sina idéer men till slut gick han vidare

själv och fick sitt första patent i januari 1930.



Hur jetmotorn fungerar framgår av ritningen till Whittles patent. Först kommer luften in i ett luftintag där den trycks samman. Därefter kommer den in i en kompressor där trycket ökar ytterligare. Sedan höjs temperaturen i en brännkammare. Så får den heta luften expandera genom en turbin, som i sin tur driver kompressorn.



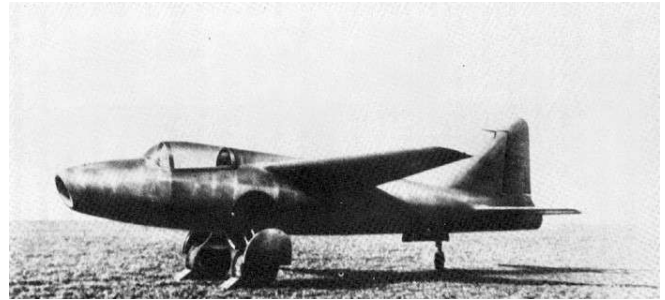
Luften går sedan till utloppet där den expanderar till omgivningens tryck. Den jetstråle, som uppstår, används för att driva flygplanet. Whittles unika idé var att förse utloppet med luft av tillräckligt tryck och temperatur med hjälp av en gasturbin.

Principen kan verka enkel men att genomföra den stötte på stora problem. För att den skulle fungera måste man utveckla mer effektiva kompressorer och turbiner än man tidigare haft. Brännkammare och turbiner måste också fås att tåla de mycket höga temperaturerna. Eftersom Whittle fick arbeta på egen hand gick det långsamt framåt för honom.

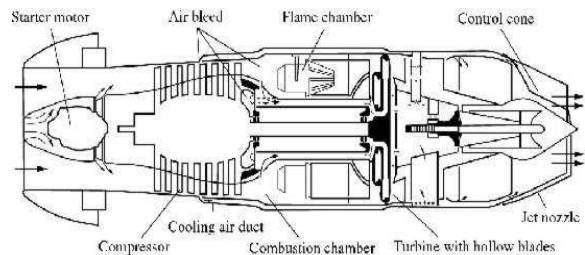


Okunnig om Whittles arbete höll samtidigt en ung doktorand i Göttingen, Hans von Ohain, på att studera nya typer av flygmotorer och 1936 patenterade han en jetmotor tillsammans med Max Hahn. Det visade sig turligt nog att den tyske flygplanstillverkaren Ernst Heinkel samtidigt letade efter metoder att höja hastigheten på flygplan. Ohain började arbeta för Heinkel och fick i uppdrag att utveckla sin jetmotor så fort som möjligt. Ett första framgångsrikt prov gjordes redan i september 1937. Motorn drevs av vätgas för att undvika problemen med förbränning av vätskor.

År 1939 hade Hans von Ohain och Max Hahn efter intensiva ansträngningar konstruerat, byggt och provat en jetmotor. Den flög för första gången den 27 augusti 1939 i en HE-178, det första jetdrivna flygplanet. Piloten på denna första historiska flygning var kaptenen Erich Warsitz. Motorn, känd som Heinkel HES-36, hade en dragkraft på 5 kN och HE-178 nådde en hastighet av 650 km/h. Det förstördes under kriget 1943.



Denna motor använde en centrifugalkompressor liksom i Whittles patent. Utvecklingen under kriget ledde till en mer avancerad motor Junkers JUMO 109-004B. Den användes i stridsflygplanet ME262 som nådde 800 km/h och sattes in i slutskedet av kriget.



Picture from the RAF museum at Cosford, Wolverhampton, England

JUMO 109-004B

JUMO-motorn kan betraktas om den första moderna jetmotorn. Den hade kylda turbinblad och ett variabelt utloppsmunstycke. Framförallt hade den en axialkompressor, vilket blivit standard på alla större moderna jetmotorer. Me262 drevs av två sådana motorer med vardera 9 kN dragkraft. Omkring 8000 sådana motorer tillverkades mellan åren 1943 och 1945. Motorn hade en livslängd på bara 10 timmar. De nuvarande stora tillverkarna av jetmotorer, Rolls-Royce, Pratt & Whitney och General Electric, startade alla efter kriget baserat på Whittles koncept med centrifugalkompressor för att gradvis svänga över till det tyska konceptet med axialkompressor.

Medan man i Tyskland arbetade för högtryck lyckades Whittle med privat finansiering bygga och prova en första jetmotor 1937. Han fick nu stöd av regeringen och den 15 maj 1941 flög man i England för första gången ett jetflygplan, Pioneer. Det var nästan två år efter Tyskland. Flygplanet användes för flygprovning under flera år och hamnade slutligen 1947 i Science Museum i London.

Tidiga svenska flygplan och motorer

Sedan bröderna Wright gjort sin första flygning år 1903 spreds tekniken snabbt över världen. Redan inom åtta år, alltså 1911, hade den svenska marinen anskaffat ett flygplan och under 1912 följde armén efter. Vid krigets utbrott 1914 avstängdes sedan Sverige från import av motorer, men genom att Scania-Vabis lyckades kopiera en tysk motor kunde några flygplan utrustas med denna. Av större betydelse blev att Enoch Thulins flygverkstäder i Landskrona licenstillverkade en fransk stjärnmotor i omkring 500 exemplar under åren 1915-1919. Grunden till en svensk tillverkning av flygmotorer lades alltså redan under första världskriget. Efter kriget köpte dock både armén och marinen in stora mängder överskottsmotorer från Tyskland och den svenska tillverkningen avstannade.

I början hade således både armén och marinen sina egna "flygvapen". Så småningom stod det klart att flyget blivit så viktigt att man borde vara en egen vapengren. Ett självständigt flygvapen bildades därför 1926. Som ett led i förberedelserna för detta satte man igång en utredning om vilken typ av flygmotor, som skulle vara lämpligast för tillverkning i Sverige.

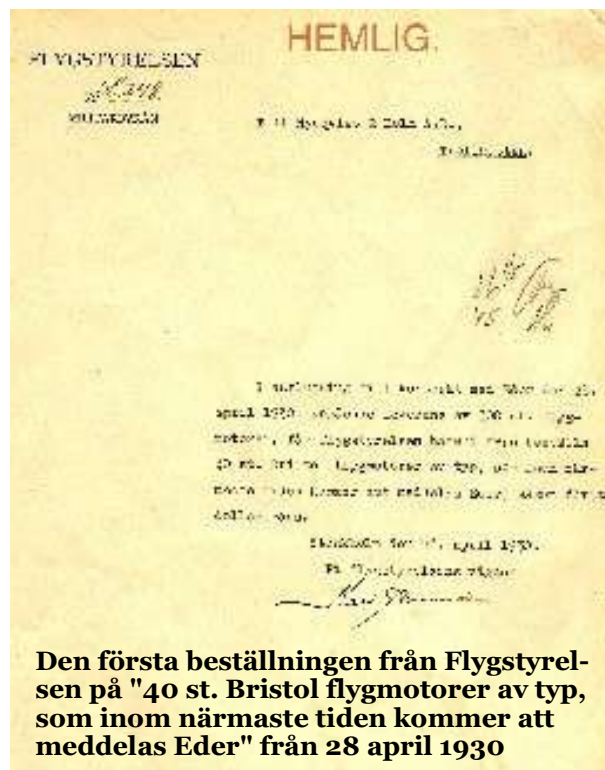


Nohab Flygmotorfabrikers första verkstäder

Utredningen blev klar i slutet av år 1925 och förordade en luftkyld motortyp om cirka 400 hk. De motorer, som kunde komma ifråga, var den av The Bristol Aeroplane Company i Bristol tillverkade Jupiter och den av Armstrong Siddeley Motors Limited i Coventry tillverkade Jaguar.

Det stod länge strid om vilken motor, som skulle väljas. Bristolbolaget fick dock under utredningstiden fram en ny motor, Pegasus I, och denna valdes slutligen. Uppdraget att tillverka motorn i Sverige gick 1930 till Nydqvist & Holm AB (NOHAB) i Trollhättan i konkurrens med bland annat Motala Verkstad och Tidaholm. NOHAB behövde nya produkter efter att ha avslutat stora leveranser av lokomotiv till Ryssland. Företaget hade lämpliga verkstäder lediga och hade också bäst tekniska resurser.

Ett villkor i avtalet mellan staten och NOHAB var att ett fristående bolag skulle bildas för flygmotortillverkningen. Ur-



Den första beställningen från Flygstyrelsen på "40 st. Bristol flygmotorer av typ, som inom närmaste tiden kommer att meddelas Eder" från 28 april 1930

sprunget till Volvo Aero Corporation, nu GKN, bildades därför 1930 som Nohab Flygmotorfabriker AB, ett dotterbolag till NOHAB. Den svenska flygmotorindustrins historia inleddes i april detta år med sex rader till Nydqvist & Holm AB i Trollhättan gällande en beställning på 40 flygmotorer, avsedda för det blivande Svenska flygvapnet, se ovan.

Pegasus I från Bristol, som nu började tillverkas på licens av NOHAB, var en niocy lindrig stjärnmotor. Den vägde 440 kilo och utvecklade 660 hästkrafter. Nohab Flygmotorfabriker tillverkade under ett drygt decennium dessa motorer, som i Sverige kallades MY. Den första motorn levererades i mars 1933 och tillverkningen under åren 1933-37 utgjordes av 18, 24, 29, 27 resp 31 motorer. Så småningom kom avtalet att omfatta 300 motorer. Antalet anställda på Nohab Flygmotorfabriker växte under de första sex verksamhetsåren från 15 till 143 personer.

Det nya företaget hade djärva idéer. Man ville utveckla egna motorer. Först ville man använda Hesselmans-principen. En sådan motor har direktinsprutning av bränsle som en dieselmotor men tänds med en bensinsnaps och tändstift. Den idén fick man snart överge. Istället tog man fram en slidventilmotor, som provkördes med förväntade prestanda. Men lika lite som någon annan kunde man råda bot på att motorn läckte stora mängder olja.

Under tiden höll förutsättningarna på att förändras. Flygplanstillverkning pågick i Sverige sedan 1931 vid Svenska Järnverksverkstäderna i Linköping och Centrala Flygverkstaden på Malmslätt. Även Götaverken i Göteborg hade flygplanstillverkning på sitt program. Vid 1936 års försvarsbeslut angavs även riktlinjer för flygplanstillverkningen i landet. Förhandlingarna resulterade i att Svenska Aeroplan AB (SAAB) bildades år 1937.

SAAB övertog aktierna i Nohab Flygmotor som därmed lämnade moderbolaget NOHAB och flyttade till SAAB:s nya område norr om Trollhättan. Men redan 1941 ville statsmakterna dela flygplans- och flygmotortillverkningen. Volvo övertog majoriteten i Nohab Flygmotor med Bofors som delägare och Svenska Flygmotor Aktiebolaget (SFA) blev det nya namnet.

I Linköping kom det första helsvenska flygplanet Saab 17 att tillverkas. De första skisserna på Saab 17 ritades på ASJA i slutet på 1930-talet, under arbetsnamnet L 10. AB Svenska Järnvägsverkstädernas Aeroplanavdelning (ASJA) var ett företag som tillverkade flygplan i Linköping. Företaget grundades som ett dotterbolag till AB Svenska Järnvägsverkstäderna (ASJ). ASJ:s flygplansavdelning startade i början av 1930-talet. Under 1936 inleddes diskussioner med Bofors om att bilda ett gemensamt bolag för att ansvara för tillverkning och konstruktion av flygplan. I januari 1937 enades man om att aktierna skulle delas lika mellan ASJA och Bofors och 31 mars 1937 bildades AB Förenade Flygverkstäder (AFF). Samarbetet inom AFF fungerade dock inte utan i mars 1939 ombildades Svenska Aeroplan AB (SAAB) och övertog ASJA.

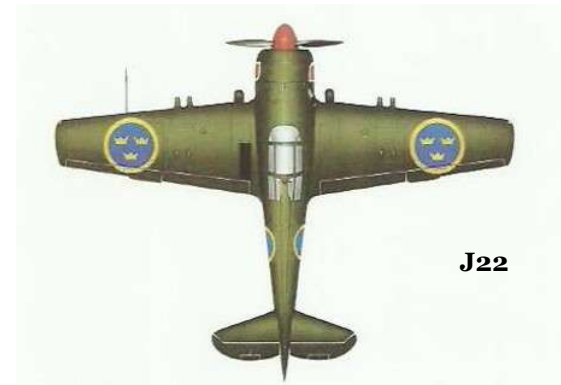
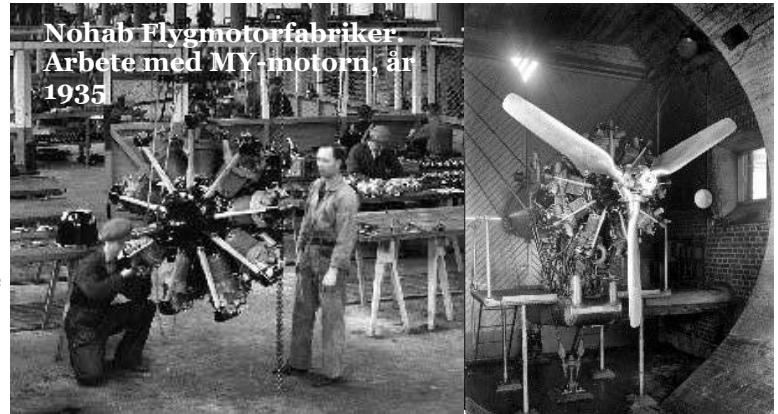
SAAB 17 skulle bli det första svenskkonstruerade flygplanet med modern teknik helt byggt i metall med försänkta nitlar. För att klara detta anställdes ett flertal ingenjörer från USA som stod för en stor del av konstruktionsarbetet. Tillverkningen av L 10 kom dock inte igång förrän sammanslagningen med SAAB var klar 1939 och planet benämndes då B 17.

Man fortsatte samtidigt att skaffa en rad utländska flygplan från Storbritannien, USA, Tyskland och Italien. När kriget bröt ut 1939 var det svenska försvaret ändå illa rustat och man beslöt att starta utvecklingen av ett eget nytt bombplan B18 och ett nytt jaktflygplan J22.

Projektet med bombplanet B 18 påbörjades vid nyåret 1939 och efter vissa kompletteringar förelåg strax därefter ett godkänt ritningsutkast jämte en godkänd attrapp. Vindtunnelprov inleddes vid KTH. Redan från början förutsattes flygplanet kunna utnyttjas som bomb-, fjärrspanings- och torpedflygplan samt för tung jakt.

Efter krigsutbrottet i september 1939 meddelades SAAB att huvuddelen av konstruktionskapaciteten skulle läggas på flygplan B 17, som samtidigt var under konstruktion, men projektarbetet för B18 återupptogs i juni 1940, nu med en specifikation, som tog hänsyn till de krigserfarenheter som vunnits. Detta medförde bland annat helt ny bombinstallation, skottsäkra bränsletankar, pansarskydd för besättning, fast främre akan och ändrad disposition av kroppsnosen för att förbättra förarens sikt framåt-nedåt.

När andra världskriget närmade sig stod Sverige nästan helt utan något jaktflyg att tala om. Utomlands hade utvecklingen visat vikten av ett jaktflyg som kunde attackera andra flygplan



samt försvara de trögare bombflygplanen. SAAB var fullt upptagna med projektering samt tillverkning av SAAB 17 och B 18 och hade dåligt med extra resurser. Man slöt dock ett ramavtal med Kungliga Flygförvaltningen från 1940 och där ingick en överenskommelse om att SAAB också skulle utveckla ett jaktflygplan J21.

På grund av resursbristen och förseningarna på SAAB beslutade flygvapnet att bygga ett egetkonstruerat jaktplan. Detta skulle bli kallat J22 och det flög första gången mindre än ett år innan J21. Projektansvarig för det nya jaktplanet J 22 blev Bo Lundberg som tidigare varit konstruktör på Götaverkens flygplansavdelning.

Vid konstruktionen av J 22 ställdes vissa krav. Planet var unikt på så sätt att det utvecklades som ett nationellt projekt där allt material för tillverkningen skulle finnas inom landet och alla komponenter tillverkas i Sverige. I möjligaste mån skulle vid flygplanstillverkningen endast inhemskt material användas. Aluminium fick ej användas eftersom SAAB behövde allt som kunde produceras i Sverige. Resultatet blev ett stålskelett tillverkat av Hägglund & Söner i Örnsköldsvik med ytbeklädnad av formpressad björkfaner, som levererades från Svenska Möbelfabrikerna (SMF) i Bodafors. Komponenterna monterades sedan samman i Bromma. Prototypen flög första gången i september 1942 och var enligt pressen världens snabbaste flygplan i förhållande till motorstyrkan.

Tidigt på året 1941 började SAAB skissa på ett projekt till J 21, som från början kallades L13 vilket senare blev projekt L21. Den 8 juli 1941 hade SAAB byggt en skalenlig modell av J21A. Den var full av nya tekniska lösningar. Konstruktören Frid Wänström vid SAAB föreslog en skjutande propeller mellan två stjärtbommar och ett landningsställ med noshjul. Den 30 juli 1943 flögs SAAB J21 för första gången. Det var det första jaktplanet som SAAB tillverkade. Motorn var densamma som satt i B18B, den tyska Daimler Benz 605B. Flygvapnet hade fått rätten till licenstillverkning av motorn av Tyskland.

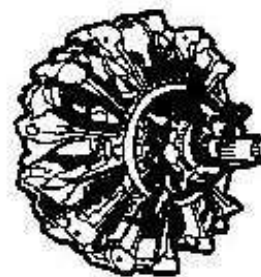
År 1940 träffade Svenska Flygmotor det första s.k. ramavtalet med Kungliga Flygförvaltningen (KFF). Det avsåg tillverkning av 14-cylindriga stjärnmotorer konstruerade av Pratt & Whitney Aircraft (PWA), typ Twin Wasp (SFA beteckning STWC-3), som användes för B17 och J 22 samt B18A. B-versionen av B18 utrustades med en Daimler-Benz DB605 radmotor, samma som i J21A.

Detta betydde att Svenska Flygmotor kunde se fram mot leveranser av minst 1200 motorer, vilket gav underlag för den verkligt stora satsning som inleddes i början av 1940-talet. Stora investeringar i maskiner och byggnader gjordes. Ett nytt motorlaboratorium togs i bruk för utvecklingsarbeten. Den omedelbara effekten för de anställda blev att oinskränkt övertid infördes utan hinder av lagbestämmelser. Då man under kriget blev avskuren från leveranser, kopierade man STWC-3 baserat på motorer från nödlandade amerikanska flygplan. Detta gjorde man så bra att man efter kriget fick officiellt godkännande av PWA och licenskostnaden blev bara 1 dollar.

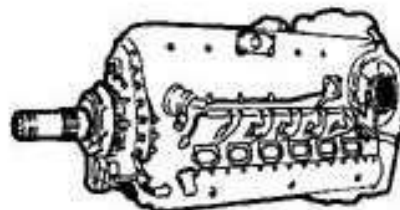
Tiden för kolvmotortillverkningen sträckte sig från 1933 till 1948. Men propellerns dominans led mot sitt slut. Utvecklingen av flygplan och motorer tog ett stort steg framåt i slutet av andra världskriget då Tyskland i oktober 1943 satte in världens första jetplan i striderna, Messerschmitt Me 262. Det första engelska jetplanet Gloster Meteor kom i tjänst först 1944. I och med freden 1945 fick Sverige tillgång till dessa utländska jetmotorer. Flygvapnet beslöt att undersöka om man kunde förse J21 med en jetmotor. För att skaffa sig kunskap och erfarenhet då det gällde jetmotordrift, beslutade Flygvapnet hösten 1945, att man skulle bygga om några J21 till "rea". Därmed inleddes en ny tid.



J22 och STWC3



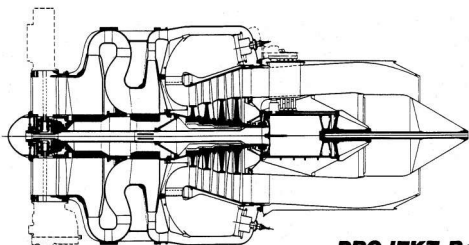
J21 och DB605





Svenska jetåldern börjar

Tiden för kolvmotortillverkningen sträckte sig från 1933 till 1948. Men propellerns dominans led mot sitt slut. Även i Sverige hade man sedan tidigt 1930-tal studerat jetdrift. Patent från bl.a. Alf Lysholm och bröderna Ljungström vittnar om detta. Under 1943 började SAAB, SFA, Bofors och AB Ljungströms Ångturbin tillsammans med KFF Kungliga Flygförvaltningen studera ett reaktionsdrivet flygplan. Det dröjde dock till 1944 innan underrättelseinformation om tyska och engelska verksamheter nådde Sverige.



PROJEKT R102

År 1941 hade SFA (Svenska Flygmotor) startat en särskild projektavdelning. Den fanns en tid på NOHAB, flyttade till Göteborg och sedan tillbaka till Trollhättan. Första projektet var en egen 24-cylindrig stjärnmotor på 2000 hk, som kunnat ersätta STWC-3 (1095 hk). Men projektet avbröts och istället växlade man 1944 över till jetmotorer med hjälp av professor Alf Lysholm. Flygförvaltningen, som ansåg att konkurrens mellan två motortillverkare skulle befrämja lägre tillverkningskostnader, beställde så 1946 hos både SFA och hos STAL (Svenska Turbinfabriks Aktiebolaget Ljungström) prototyper till jetmotorer med en dragkraft på 1500 kp.

När det gäller jetmotorer blev man tidigt på det klara med att kompressorn var den mest kritiska komponenten och avgörande för motorns prestanda. SFA:s motor betecknad R102, hade centrifugalkompressor efter engelskt mönster. Motorn provkördes 1947 och gav en dragkraft på 1450 kp. STAL:s motor Skuten med axialkompressor efter tyskt mönster provkördes året därpå 1948.

Vid SFA konstruerades också en mindre motor, Rumba, avsedd för en flygande robot. Det var en nedskalad reamotor med en dragkraft på 770 kp uppbyggd av en enstegs radialkompressor och en enstegs axialturbin samt en ringformad brännkammare. Några provmotorer byggdes och provkördes.

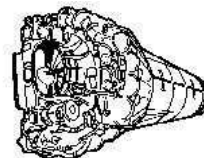
För att få tillgång till jetmotorer innan svenska sådana hunnit utvecklas ingick KFF 1946 ett avtal med de Havilland Engine Co i England om licenstillverkning vid SFA av dess turbojetmotor Goblin. Under beteckningen RM1 blev Goblin den första svensktillverkade jetmotorn. RM1A monterades i J21R, en ut-

veckling av J21. Detta dubbelstjärtade flygplan med skjutande propeller blev därmed det första svenska jet-flygplanet.

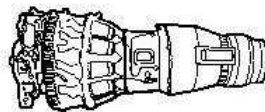
J21 som projekterades och först byggdes som propellerplan blev, vid sidan av det sovjetiska YAK 3, det första flygplanet i världen som konverterades från kolvmotor till reaktionsmotor. Av dem var 30 stycken J21RA försedda med engelsktillverkade De Havilland Goblin-motorer medan 30 stycken var J21RB med licenstillverkade svenska Goblin-motorer från SFA. Goblinmotorn, även betecknad RM1, satt även i det inköpta brittiska jaktflygplanet J 28 Vampire.



RM1



RM2



RM1 hade en enstegs centrifugalkompressor, som var kopplad till en enstegs turbin med sexton mellanliggande brännkammare. Motorns dragkraft var 1500 kp men redan i december

1946 fick SFA från de Havilland underlaget till Ghost, som var en vidareutveckling av Goblin med högre dragkraft. Motorn, med svensk beteckning RM2, användes till J29 Tunnan och försågs även med en svenskkonstruerad efterbrännkammare, vilket gjorde "Flygande Tunnan" till ett av världens allra första EBK-försedda flygplan i tjänst. Under åren 1951 till 1955 tillverkades totalt 870 motorer, en för våra dagar oerhörd produktion.

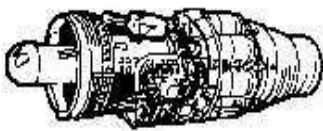
Framtagningen av provmotorerna, R102 och Skuten visade att det var möjligt för svensk industri att utveckla jetmotorer och KFF beställde då en större variant med en dragkraft på 3000 kp för det planerade flygplanet J32 Lansén. SFA utgick även vid utvecklingen av sin andra jetmotor, R201, från radialkompressorer. Den nya jetmotorns förbättrade egenskaper krävde dock mera utvecklingsarbete. STAL:s större motor, Dovert, var konstruerad enligt samma principer som föregångaren Skuten, och provkörningen av Skuten hade gått relativt smärtfritt. Man ansåg sig också kunna uppnå högre verkningsgrad samt få mindre frontarea och en större utvecklingspotential genom axialkompressorn.

Under slutet av 1949 ansåg också KFF att Dovern-motorn var mest utvecklingsbar och därför lades SFA:s motorprojekt ned. Tanken var att STAL skulle stå för konstruktionen av motorerna varefter SFA med sin erfarenhet från tillverkningen av RM1 och RM2 skulle svara för produktionen. Under några år pågick arbetet under Curt Nicolins ledning med utveckling och produktionsförberedelser för Dovern. Samtidigt förhandlade KFF med engelska Rolls Royce om ett framtida licensavtal. Under slutet av 1949 fick STAL även i uppdrag av Flygförvaltningen att börja konstruera en jetmotor i storleksklassen 5000 kp dragkraft. Glan, som projektet kallades bedrevs parallellt med Dovern och var utrustad med dubbla rotorerna som arbetade med koncentriskaxlar. Lågtryckskompressorn av axialtyp med nio steg drevs av en tvåstegs turbin medan högtryckskompressorn på sju steg drevs av en enstegs turbin genom en röraxel som omslöt lågtrycksrotorn. Motorn var försedd med en efterbrännkammare med variabelt utlopp. Glan var tänkt som motor för SAAB 1200 som skulle efterträda J29 och även för den blivande J 35 Draken.

SAAB fick i december 1948, några månader efter det att J29 Tunnan flugit första gången, i uppdrag av Flygförvaltningen att projektera ett nytt tvåsitsigt flygplan för attack, jakt och spaning, som ersättare för B18. Ett flertal en- och tvåmotoriga projektutkast hade då redan tagits fram av SAAB. Man stannade slutgiltigt för ett enmotorigt alternativ, Lansen, som den tredje



RM5



november 1952 flög för första gången. Flygplanet hade en slankare flygkropp än J29 och hade en tvärsnittsarea, som ej varierade alltför mycket på grund av vingen. Prestanda gjorde det möjligt att passera ljudfart i lätt dykning. Flygplan 32 blev också det första svenska flygplanet som officiellt passerade Mach 1.

Dovern provkördes första gången den 2 februari 1950 men det stod snart klart att utvecklingen

av en egen svensk motor skulle kräva allt för stora resurser. Den 8 november 1952 annullerades beställningen av Dovern och kort tid senare även GLAN. Flygförvaltningen föredrog att låta SFA licensstillverka Rolls Royce Avon-motor, som var i stort sett likvärdig med Dovern, men hade uppnått betydligt större drifterfarenhet. Svensk beteckning blev RM5.

Utan den lyckade flygmotorn Dovern hade Svenska Flygmotor inte kunnat få ett lika bra licensavtal på en modern jetmotor från Rolls Royce. I England hade man 1950 inte varit intresserad av att exportera den senaste versionen av sina jetmotorer till Sverige men saken kom i ett annat läge när de goda resulta-

ten från utprovningen av Dovern blev kända och detta kan ha påverkat engelsmännen så att de 1952 beviljade licenstillverkning.

Motor RM5 utvecklade dragkraften 3460 kp och med efterbrännkammare ytterligare 30 %. Flygmotor tillverkade totalt 350 RM5 under åren 1956-1959.

Tillverkningen av RM5 innebar en genomgripande förändring för SFA, som fick stora verkningar inom företaget. Maskinparken fick till stor del bytas ut och kompletteras. Tidigare tillverkade jetmotorer hade haft centrifugalkompressorer, som bearbetades fram ur smidda ämnen i komplicerade fräsmaskiner. RM5 hade däremot en 12-stegs axialkompressor med cirka 2500 skovlar och ledskenor. För bearbetningen av dessa krävdes nya specialmaskiner. Provutrustningarna måste byggas om och den tekniska personalen fick börja brottas med helt nya

problem. Utbyggnaden av högtryckslaboratoriet med tillhörande tryckluftanläggning i ett jättestort berggrum, varifrån luften trycktes upp genom vindtunnlarna med hjälp av vattnet i Göta Älv, gav möjligheter att studera strömningsförlopp i motorer vid överljud. Förutom sedvanliga vindtunnlar anskaffades år 1953 en ballistisk vindtunnel för studium av projektiler och flygplansmodeller i överljudshastighet.



RM6



Tillverkningen av RM5 avlöstes av en större och kraftigare Avon-version, som med svensk beteckning RM6A användes i jaktversionen av Lansen. En utvecklad version RM6B användes även för de första versionerna av J35 Draken. RM6A och B hade en 15-stegs axialkompressor och utvecklade ca 4840 kp utan efterbrännkammare. För Draken användes senare en starkare version RM6C med ytterligare ett kompressorsteg och dragkraften 5950 kp. Den hade även en av Flygmotor utvecklad efterbrännkammare, som ökade dragkraften till 7880 kp. På grund av flygplanets konstruktion förbands motor och efterbrännkammare med en lång kanal, som gav RM6 dess speciella form.



RM6 i genomskärning

SFA kom att licensstillverka RR Avon-motorer (RM5 och RM6) fram till 1974. Totalt levererades ca 1130 motorer. Sverige hade därmed skaffat sig kompetens att tillverka och underhålla jetmotorer, men den egna svenska utvecklingsförmågan när det gällde kompletta jetmotorer lades i princip ner med Dovern.

Ljudvallen-var det en vall?

Enligt Newtons ekvation är dragkraften beroende på skillnaden mellan jetstrålens och flygplanets hastighet. Det går inte att flyga fortare än strålen för då flyger man ifrån den. Med en propeller kan man inte åstadkomma en stråle som är snabbare än ljudet men för en jetmotor är det annorlunda.

Som vi sagt tidigare är hastigheten i den trängsta sektionen av utloppet lika med ljudhastigheten. Den ökar i sin tur med temperaturen. De heta gaserna kommer därför alltid att ha en hastighet, som är större än ljudhastigheten i den kalla omgivande luften, särskilt om de får öka sin hastighet ytterligare i ett expanderande Laval-munstycke. Med en jetmotor kan man därför flyga fortare än ljudet.

Men det finns ändå gränser för hur fort man kan flyga även med jetmotorer. När luften trycks samman i inloppet så ökar temperaturen och maskineriet inne i motorn tål inte vilka temperaturer som helst. Kompressorn är ofta gjord av titan och klarar inte mer än 600 grader Celsius. Turbinen är oftast kyld och gjord av särskilt temperaturtåliga material. Den klarar kanske 1600 grader. Det begränsar flyghastigheten till något över Mach 3.

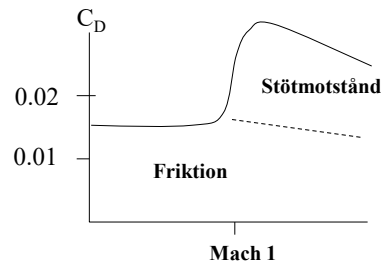
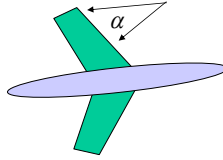
När temperaturerna blir för höga är man tvungen att göra sig av med kompressorer och turbiner. Då är motorn i princip bara ett rör med tryckluft, som man eldar i. Det kallas för en rammotor eftersom den fungerar så att man ramar in luften i inloppet så att trycket ökar. Det kan ju låta enkelt men tyvärr måste man först upp i rätt hög hastighet innan trycket blir tillräckligt stort för att ge någon dragkraft.

Hur som helst så hade man på trettitalet med jetmotorn fått tillgång till en motor, som kunde driva flygplanen till hastigheter högre än ljudets. Nu gällde det att ta sig igenom ljudvallen. Det visade sig inte vara så lätt.

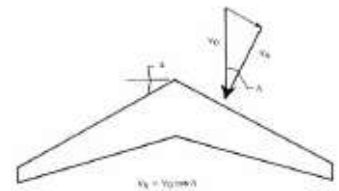
Många trodde på 40-talet att det skulle vara omöjligt. När ett flygplan närmar sig ljudhastigheten uppträder stötar i luften runt planet. När stöten passerar en person på marken hörs en ljudbang. Flygplanet släpar dessa stötar med sig genom luften som om ett lakan hängde över nosen. Resultatet är ett starkt ökat luftmotstånd utöver den vanliga friktionen. Därför kallas det ljudvallen.

Stötarna och det ökade motståndet börjar uppträda på vingarna redan vid omkring Mach 0.7. Förutom det ökade motståndet förändras också styrkrafterna på rodren. Men det finns en enkel metod att minska problemen på vingarna.

Så tidigt som 1935 hade den tyske professorn Adolph Busemann upptäckt att bakåtsvepta vingar minskade motståndet vid höga hastigheter. Orsaken är enkelt uttryckt att det som bestämmer motståndet är luftens hastighet vinkelrätt mot vingen. Den minskar om vingen sveps bakåt (eller framåt). Ju högre fart, desto mer svepta vingar bör man ha...



Ljudvallen innebär ett starkt ökat luftmotstånd



Busemanns ideer fick litet genomslag i början men under andra världskriget började tyskarna införa dem till exempel på raketflygplanet Messerschmitt Me-163, som sattes in i slutet på kriget. Man hade också ett experimentflygplan Junkers Ju 287-1 med framåtsvepta vingar. Sådana vingar måste emellertid vara mycket styva för att inte vridas sönder av luftkrafterna. Därför har de aldrig slagit igenom.

En variation på den bakåtsvepta vingen är deltavingen, som fått sitt namn efter den grekiska bokstaven "delta". Den uppfanns av den tyske aerodynamikern Alexander Lippisch strax före andra världskriget.

Flera djärva piloter förolyckades i sina försök att ta sig igenom ljudvallen. Den 27 september 1946 försökte den brittiske piloten Geoffrey de Havilland bryta ljudvallen med en DH-108 Swallow. Enligt instrumenten hade han kommit upp i hastigheten Mach 1.05, men på endast drygt 2 400 meters höjd tappade han på grund av tryckstörningar kontrollen över sitt plan som exploderade. Händelsen gav de forskare, som menade att man inte kunde flyga fortare än ljudet, vatten på sin kvarn. Drygt ett år senare visade det sig dock att de hade fel.



Att man kunde flyga fortare än ljudet visades framgångsrikt när amerikanen Charles E. Yeager flög raketplanet X-1 genom ljudvallen över öknen i Nevada. Den 14 oktober 1947 pressade han sitt lilla plan allt närmare ljudet och när han väl var igenom fortsatte flygplanet som om ingenting hänt.

Ljudvallen visade sig inte vara någon vall. Första gången ett svenskt flygplan passerade ljudvallen var 25 oktober 1953. Planet var en Saab Lansen och piloten hette Bengt Olow.

Genombrottet gav upphov till en intensiv verksamhet för att konstruera flygplan för höga hastigheter. I början av 1950-talet upptäckte Richard T. Whitcomb vid NACA Langley den så kallade arearegeln. Enligt denna är vågmotståndet omkring ljudhastigheten detsamma som motståndet på en cylindrisk form med samma tvärsnittsarea. Senare upptäckte man också andra mer komplicerade konstruktionsregler längre bort från ljudhas-



tigheten. Reglerna leder till den typiska coca-cola-flaskform, som man finner hos flygplan för höga hastigheter.

I fuktig luft kan man se stötvågen när ett flygplan går genom ljudvallen.



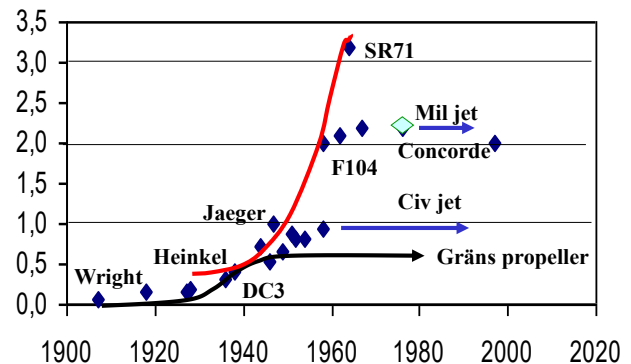
Under femtio och sextiotalen gjordes en mängd prov med högre hastigheter. På slutet av femtiotalet passerades dubbla ljudhas-

tigheten av det amerikanska F104. År 1962 gavs också klartecknen för utvecklingen av det hittills enda passagerarplan som flugit med Mach 2, det fransk-engelska Concorde. Trots att det sedan några år tagits ur bruk så liknar det fortfarande ett flygplan från framtiden.



En vårdag 1962 lyfte testpiloten Louis Schalk från öknen i Nevada i ett flygplan, som aldrig tidigare skådats. Det hade skapats i absolut hemlighet av Lockheeds så kallade Skunk Works. Inofficiellt kallat "Blackbird," var SR-71 ett spaningsplan för långa distanser, som kunde flyga med mer än tre gånger ljudhastigheten på höjder över 25000 m. För att klara de höga temperaturerna på mer än 300 grader C var dess kropp gjord av titan istället för det vanliga aluminium. Det hade också en jetmotor, som kunde slå över till rammotor vid de högsta hastigheterna. Det togs i bruk 1966 och användes för flygspaning över Sovjetunionen under det kalla kriget. Det togs ur bruk 1990. Det enda flygplan, som kommit i närheten av hastigheten hos SR-71 är det ryska MiG-25, som emellertid bara kunde komma upp i Mach 3 under några minuter.

Mach



Om man ser på hur hastigheten utvecklats genom åren så ser man att det var en mycket snabb utveckling fram till sextiotalet. Sedan har utvecklingen för passagerarflyg stagnerat under ljudhastigheten och för militära flygplan omkring Mach 2. Det har inte funnits något behov av snabbare militära flygplan eftersom angreppen sköts av robotar på långa avstånd. För civila flygplan har kraven på låg kostnad och bränsleförbrukning slagit ut höghastighetsplanen med deras höga luftmotstånd. Som vi redan nämnt finns det också en gräns någonstans över Mach 3 där turbojetmotorn helt enkelt blir för het för att fungera. Värmevallen har ersatt ljudvallen som en gräns för höga hastigheter.

Kan man flyga överljud med propeller?

av Claes Eriksson

I förra numret av Bevingat påstods att man inte kan flyga fortare än ljudet med en propeller. Claes Eriksson, se bild nedan, förklarar här att det visst är teoretiskt möjligt fast i praktiken mycket svårt att konstruera en propeller för överljud. Under 40- och 50-talet försökte amerikanerna ändå göra det och byggde faktiskt flygplan som flög.



Claes tog examen från KTH Flyg 1982 och från Stanford university 1987. Han har arbetat med beräkningar vid FFA och Volvo Aero och med jetmotorunderhåll vid Volvo Aero Engine Services, SAS och ST Aerospace.

Som sägs i förra numret av Bevingat var den förste piloten att officiellt bryta ljudvallen Chuck Yeager, som gjorde det i den raketstyrda Bell X-1 den 14 oktober 1947 på en höjd av 45 000 fot. Det är också riktigt att det var jetmotorn, som gjorde reguljära flygningar över ljudets hastighet möjliga, även om Yeagers flygplan faktiskt drevs av en raketmotor, när han gick genom ljudvallen. Kanske är det ändå inte omöjligt att göra det med propellerplan. Det trodde man åtminstone på NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), föregångaren till NASA. Under flera år försökte de skapa en propeller, som skulle kunna nå dessa hastigheter på ett säkert sätt.

Effekterna av ljudvallen upplevdes först av flygplan under andra världskriget. Endast några flygplan vid den tiden var kapabla att närma sig dessa hastigheter och i många år trodde man att effekterna av denna barriär skulle göra supersonisk flygning omöjlig. Faktum är dock att NACA gjorde en del forskning på 1940-talet på propellerflygplan för att se om supersoniska hastigheter kunde uppnås med flygplan av denna typ.

För att göra det förkortades propellerbladen och vinkeln ökades. Propellrarna måste utformas annorlunda, för innan själva flygplanet når ljudets hastighet är delar av bladen redan där, vilket skapar fickor av supersoniskt luftflöde, som genererar chockvågor så intensiva att de kan förstöra propellern. Justering av bladets längd och bredd säkerställde att propellern inte nådde Mach 1 före själva flygplanet. De aerodynamiska kriterierna för utformningen av transsoniska eller "supersoniska" propellrar med låga profilförluster var tydliga: Använd avskurna tunnast möjligt blad, vassa eller mycket små radier i framkanten och lite om någon camber.

Man beslöt sedan att gå vidare med prov i flygplan. Ett sådant flygplan, XF-88, härstammade från USAs krav på en långväga "penetration fighter" för att eskortera bombplan till sina mål. Företaget McDonnell fick ett kontrakt på två prototyper kallade XP-88. Den första prototypen ändrades till XF-88B standard, med en Allison T38 turbopropmotor. Denna användes för flygprovning under 1956 och uppnådde hastigheter som något översteg Mach 1.0, det första propellerplanet att göra detta. Tre propellrar testades så småningom vid flyghastigheter upp till något över Mach 1 men när resultaten analyserades 1957 hade projektet för propellrar för flygplan i överljud lagts ner. McDonnell föreslog också en marin version av XF-88, ett tvåsitsigt skolflygplan och en spaningsvariant men inget byggdes. Båda prototyperna skrotades 1958.



Då hade man redan gett upp ett annat sådant projekt, XF-84H "Thunderscreech". Det var ett experimentellt turbopropflygplan utvecklat från F-84F Thunder. Drivet av en turbinmotor som drev en supersonisk propeller, hade XF-84H potentialen att slå det inofficiella hastighetsrekordet för propellerdrivna flygplan, men kunde inte övervinna aerodynamiska brister, vilket resulterade i att programmet avbröts.

Med ett kontrakt på tre prototyper, när US Navy avbröt sin order, blev de återstående XF-84H slutligen rena forskningsflygplan använda av Air Force's Propeller Laboratory vid Wright-Patterson AFB för att testa supersoniska propellrar vid jethastigheter.



XF-84H Thunderscreech

XF-84H skapades genom modifieringar av ett F-84F flygplansskrov, där man installerade en 5850 hk (4360 kW) Allison XT40-A-1 turbopropmotor i ett centralt beläget hölje bakom sittbrunnen med en lång förlängningsaxel till en nosmonterad propeller. Turbinmotorn gav också kraft genom sin utblåsning; en efterbrännare som ytterligare kunde öka effekten till 7230 hk (5390 kW), installerades men användes aldrig. Propellern med 12 fot (3,7 m) diameter bestod av tre fyrkantiga stålblad, som vreds i konstant fart och med spetsar, som rörde sig vid approximativt Mach 1,18. För att motverka propellerns vridmoment och "P-faktor" var XF-84H utrustad med en fast dorsalskena. Stjärten ändrades till en T-stjört för att undvika turbulent luftflöde från propellern över de horisontella stabilisatorerna.

XF-84H destabiliserades av det kraftfulla vridmomentet från propellern, såväl som problem med de supersoniska propellerbladen. Ett antal exotiska bladkonfigurationer provades innan man hittade en slutlig design. Olika åtgärder var avsedda att motverka det massiva vridmomentet, inklusive montering av vänstra framkantens intag 30 cm längre framåt än det högra och förskjutning av vänster och höger klaff med differentialdrift. De två prototyperna var också plågade av de motorrelaterade problem som påverkade andra flygplan utrustade med T40-motorer, såsom Douglas XA2D Skyshark och nordamerikanska A2J Super Savage attackflygplan. Ett anmärkningsvärt inslag i konstruktionen var att XF-84H var det första flygplanet som skulle bära en utfällbar rammluftsturbin. Vid motorfel skulle den automatiskt svänga ut i luftströmmen för att ge hydraulisk och elektrisk kraft. På grund av frekventa motorproblem användes enheten ofta i flygning.

När den först flög den 22 juli 1955 hade XF-84 en otrolig acceleration men snart upptäcktes det opraktiska. Det var svårt att bekämpa på grund av motorns 30 minuters uppvärmningstid, men det allvarligaste var vibrationer som genererades från den stora 12-fots propellerdiametern och mekaniska fel i ställväxeln för propellerbladen. Prototyperna flög sammanlagt tolv provflygningar från Edwards, men samlade bara 6 timmar och 40 minuters flygtid. Lin Hendrix, en av de testpiloter som tilldelades programmet, flög flygplanet en gång och vägrade att någonsin flyga det igen!

XF-84H var kanske det bullrigaste flygplan som någonsin byggts (utmanat endast av den ryska Tupolev Tu-95 "Bear" -bombaren), och fick smeknamnet "Thunderscreech" och "Mighty Ear Banger". Under uppstart på marken kunde prototyperna höras 40 km bort. I motsats till standardpropellrar som vrider sig vid subsoniska hastigheter, så rörde sig de yttre ca 70 centimetrarna av bladen på XF-84Hs propeller snabbare än ljudets hastighet även vid tomgång, vilket gav en kontinuerlig synlig stötvåg, som strålade ut i sidled från propellrarna i hundratals meter. Den stötvågen var faktiskt kraftfull nog att slå omkull en människa. Tillsammans med det redan höga ljudet från de subsoniska delarna av propellern och de dubbla turbinerna så var flygplanet berömt för att framkalla allvarligt illamående och huvudvärk bland markpersonalen.

Det genomträngande ljudet störde allvarligt verksamheten i Edwards AFB kontrolltorn genom att åstadkomma vibrations-skador på känsliga komponenter och tvinga flygtrafiktjänstemän att kommunicera med XF-84Hs besättning med ljussignaler. Efter flera klagomål tvingades man att dra ut flygplanet på Rogers Dry Lake, långt ifrån flyglinjen, innan det körde sin motor. Provprogrammet gick inte heller längre än att tillverkaren bevisade att planet kunde flyga. Följaktligen flög inga USAF-testpiloter XF-84H. Programmet avbröts i september 1956 på grund av sannolikheten för motor- och utrustningsfel i kombination med oförmåga att nå konstruktionshastigheten och efterföljande instabilitet.

Även om The Guinness Book of Records registrerade XF-84H som det snabbaste propellerdrivna flygplanet någonsin med en designhastighet på Mach 0,9 och Mach 0,83 under prov så har dessa siffror ifrågasatts. Den inofficiella rekordhastigheten enligt National Museum of United States Air Force ger en toppfart på Mach 0,70, men gör ändå XF-84H till det snabbaste enmotoriga propellerdrivna flygplanet ända till 1989 när "Rare Bear", en högmodifierad Grumman F8F Bearcat, nådde Mach 0,71.



Vad är då problemet med propellrar i överljud? När ett propellerblad blir supersoniskt, bildas en stötvåg precis framför det. Stöten vandrar sedan över propellerbladet från framkant till bakkant när propellern rör sig snabbare än stötvågen. Dessutom, om flygplanet fortsätter att accelerera tills vingarna blir supersoniska, så utsätts propellern för en andra stötvåg från luften, som rusar runt flygplanet. Denna "longitudinala" stötvåg är skild från den "roterande" stötvågen, som skapas genom rotationen av propellerbladet.

En konstruktör kan övervinna motståndet från den roterande stötvågen helt enkelt genom att öka propellerns varvtal då framkanten blir supersonisk. Vad som är oerhört svårt att övervinna är den longitudinala stötvågen, som slår in i propellern vinkelrätt mot propellerns plan. När den stöten träffar den roterande stöten någonstans längs propellerns överkant, skapar den resulterande interaktionen mycket knepiga och möjligen ohanterliga, krafter på luften, som propellern försöker skjuta akterut.

Denna interaktion av två stötvågor, som kolliderar med varandra, skapar många olika effekter, en av dem är en plötslig "övertryckszon". Zonen sprids från sin ursprungliga startpunkt ända till bakkanten av propellern, där den möter högtryckszonen från undersidan av bladet. Extrem turbulens skapar då höga och låga tryckzoner vid bakkanten av propellern, som sedan propagerar framåt på översidan av propellerbladet.

Dessa tryckvariationer kan skapa vibrationer i propellern, som kan vara så stora att den helt förstörs på några sekunder. Detta är ungefär vad som hände när alla Lockheed Electras kraschade under sena '50' och tidigt '60-tal. Propellrarna på dessa flygplan blev faktiskt supersoniska i två separata axlar (longitudinellt till flygkroppen och roterande till propellerns plan). Motorer, motorfästen och vingar var inte avsedda att hantera vibrationerna och gick sönder. Inte alla Lockheed Electras kraschade utan ett antal på grund av att propellervibrationer från överljudsstötar bröt sönder motorupphängningen som sedan ledde till haveri.

För att lösa problemen på XF-84 förkortades propellerbladen och vinkeln ökade. Propellrarna måste utformas annorlunda, för innan själva flygplanet når ljudets hastighet är, som sagts ovan, delar av bladen redan där, vilket skapar fickor av supersoniskt luftflöde, som genererar chockvågor så intensiva att de kan förstöra propellern. Justering av bladets längd och bredd säkerställer att propellern inte når Mach 1 före själva flygplanet.

Jag vet inte om det ännu finns överljudspropellrar, som accelererar luften till axiell överljudsfart och vilken verkningsgrad de har. Troligtvis krävs det så kallad "base burning" på propellerns trycksida med flytande väte ut genom munstyckshål i propellern för att komma upp i ordentliga överljudshastigheter bakom den bakre kontra-roterande propellern. För att få en stabil förbränningszon så krävs överljudsstötar som fungerar som flammhållare bak på propellern och att förbränningen sker i överljud direkt så att ett konvergent/divergent munstycke inte krävs för att nå $M > 1$. Propellerns trycksida skulle kunna täckas av en katalytisk ytbeläggning, som underlättar väteförbränningen.

Det jobbas på överljudsbrännkammare, där roterande sneda stötar i en stationär kammare ersätter dagens brännkammare och att bränsleinsprutningen (ofta flytande väte) sker i de sista stegen i kompressorn innan man accelererar till överljud i utloppsledskenerna. I detta fall kan man se de cirkulärt roterande sneda stötarna i brännkammaren som virtuella propellrar.

Medan jetmotorns framkomst resulterade i övergivandet av dessa supersoniska propellerprogram vid NACA, har senare bekymmer med bränsleeffektivitet lett till ett förnyat intresse för investeringar i propellerflygplan. Så vem vet? Det kan finnas ett nyväckt intresse för denna typ av propellerforskning i framtiden.

Referenser:

<http://hartzellprop.com/can-propeller-driven-aircraft-break-speed-sound/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Republic_XF-84H

http://www.jefflewis.net/aviation_theory-theo_prop_eff.html

<https://history.nasa.gov/SP-445/ch4-6.htm>

Hitlers flygande vinge

Under de sista månaderna av andra världskriget, provade Nazityskland ett experimentellt flygplan, den första flygande vingen, och först nu inser vi hur inspirerande den var. Inget skrov, ingen stjärt - ändå flög den. Horten Ho 229 - var så långt före sin tid att dess aerodynamiska hemligheter fortfarande inte är helt klarlagda. Bland annat hur dess skapare lyckades övervinna de stora aerodynamiska problemen, som borde ha gjort planet oflygbart. Den absurda designen var också början på stealth-tekniken: en kolstoffbeläggning gjorde planet osynligt för radar.

En "flygande vinge" är ett flygplan utan den traditionella stjärtfenan. Det har flera fördelar. Denna konstruktion bidrar till att minska flygplanets storlek, och skapar en mjukare form, som gör det svårt att upptäcka det med radar.

Den släta formen innebär också att flygplanet har så lite motstånd som möjligt, vilket innebär att det kan vara lättare och mer bränsleeffektivt och möjligen flyga snabbare än ett mer konventionellt format flygplan, som använder samma motor.

Men att få det att fungera i den verkliga världen är mycket svårt. Utan stjärt blir flygplanet mycket svårt att kontrollera. Flygande vingar har visat sig vara en huvudvärk för flygplanskonstruktörer nästan ända sedan bröderna Wright. Allt detta gör de båda tyska bröderna Horten så imponerande. Northrop B-2, det flygplan som ligger i framkant av den amerikanska kärnvapenavskräckningen, ser vid första anblicken ut som en självklar ättling av Hortens konstruktion. Vissa kommentatorer beskrev Ho 229 som "världens första stealth bombplan".



Walter (1913-98) och Reimar (1915-94) Horten

Horten 229 (Horten Ho IX, "Flygande vingen"), var världens första jetplan utan stjärtroder. Planet flög första gången redan 1945 och dess design var mycket futuristisk och långt före sin tid. Planets ursprungliga form ritades av de båda bröderna Walter och Reimar Horten. Båda hade sedan tidigare visat sin förkärlek för eleganta plan helt utan eller med minimala stjärtroder, då de försökte få bort det mot-



Northrop Grumman B-2 flygande vinge bombplan har likheter med Hortens innovativa design. (Credit: Northrop Grumman)

stånd i lyftkraft som rodet ger på vanliga plan. Flygande vingen-designen avlägsnade all "onödigt" yta och detta ledde, åtminstone i teorin, till lägsta möjliga motstånd.

Walter och Reimar började designa flygplan i början av 1930-talet, medan Tyskland fortfarande var förbjudet från att ha ett flygvapen enligt Versaillesfördraget efter första världskriget. Bröderna hade gått med i de flygklubbar, som inrättats som ett sätt att komma runt sådana begränsningar och som var en grund för vad som skulle komma att bli Nazitysklands flygvapen, Luftwaffe. Många av de amatörflygare som senare skulle bli Luftwaffe-piloter började med segelflygplan för att lära sig grunderna för att flyga. Den tyska regeringen var vid denna tidpunkt en hängiven bidragsgivare till de olika segelflygklubbarna runt om i landet.

I början av 1930-talet hade bröderna Horten blivit intresserade av den s.k. flygande vingen för att kunna förbättra segelflygplans glidförmåga. Paret följde några av de okonventionella idéerna hos Alexander Lippisch, som var en pionjär inom deltavingar.

Bröderna Hortens utvecklade sin flygande vinge till alltmer effektiva resultat, vilket slutade i deras Horten Ho IV segelflygplan. Vid den tidpunkt då Ho IV provades hade Walter Horten redan tjänsgjort som

en Luftwaffe stridsflygare under slaget om Storbritannien.

De konventionella tyska bombplanen klarade av att nå centra inne i Storbritannien, men led svåra förluster från de allierades jaktflyg. År 1943 lät Reichsmarschall Göring utlysa en tävling där det färdiga flygplanet skulle klara av att bära en last på 1000 kg över 1000 km i en hastighet av 1000 km/h, den så kallade 1000/1000/1000-regeln. Vid denna tidpunkt fanns det inga enkla vägar att nå de uppsatta målen - Junkers nya jetmotor Jumo 004B hade inga problem att komma upp i den uppsatta hastigheten, men hade en enastående hög bränsletörst.

Bröderna Horten var säkra på att deras design kunde klara av alla målen. Genom att reducera luftmotståndet kunde bränsleförbrukningen vid marschhastighet sänkas till en sådan nivå att målet att flyga 1000 km kunde uppnås, Toppfarten skulle också vara betydligt högre än för något av de allierades flygplan. Därför föreslog de sitt eget projekt, Ho IX, som grunden för ett jetbombplan. Reichsluftfahrtministerium gav Horten sitt godkännande men gav order om att två 30mm kanoner skulle läggas till i designen, eftersom de trodde planet skulle kunna visa sig vara användbart som jakt-/attackplan.

Under beteckningen "Sonderkommando IX" började utvecklingen av "Horten IX", som också kallades Ho 229, i Göttingen. Den första Ho IX V1, vilken var ett omotoriserat segelplan, flög första gången 1 mars 1944. Denna var den första av tre prototyper byggda för att testa den aerodynamiska utformningen. Det följdes av den med jetmotorn Jumo 004 utrustade Ho IX V2 (Där BMW 003-motorn egentligen var menad att användas, men ännu inte var färdigprovad).

Göring var nöjd med resultatet efter att ha sett provflygningarna och gav order om en produktion på 40 plan som skulle tillverkas av Gotha. Programmet kvarstod oförändrat när det enda exemplaret av Ho IX V2 havererade efter motorbrand 18 februari 1945 efter endast två timmars flygprov och dödade sin testpilot.

Förutom en tendens att gira från sida till sida kan ett stjärtlöst plan bli nästan okontrollerbart när motorn stannar. En av de svåraste sakerna är att få ett sådant flygplan att vara flygbart under en stall.

Bröderna Hortens kunde hålla sina flygplan stabila genom att göra vingen lång och tunn. Detta sprider flygplanets vikt över en större yta och minskar även den andel av luften, som skapar en virvel runt vingen, vilket ökar motståndet och bromsar flygplanet.

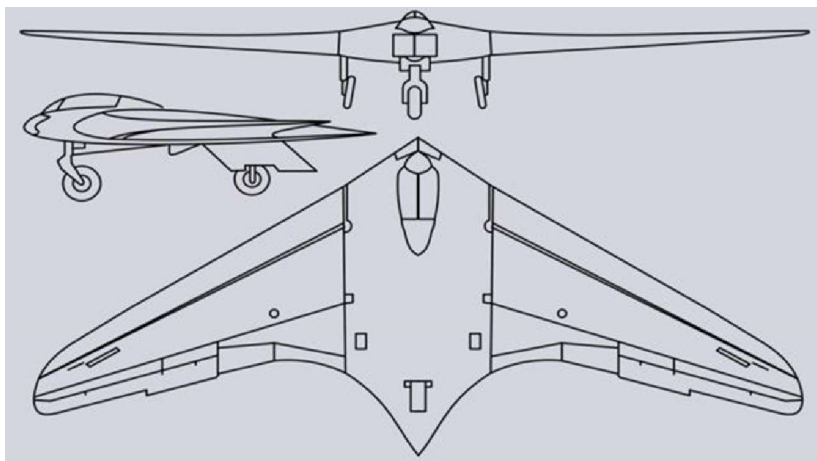
Horten idé var att använda en "klockformad" vinge för att hindra girar. Ho 229s vingar var radikalt annorlunda än den typ av elliptisk form som var tänkt att generera mest lyft och minska luftmotståndet. De engelska Spitfire jaktplanen hade till exempel en konventionell elliptisk vinge.

Hortens vingkonstruktion föll tillbaka på principerna hos en annan banbrytande tysk flygforskare, Ludwig Prandtl, som var den förste aerodynamiske forskare att betona att formen av en vingpets kraftigt kan påverka ett flygplans flygande förmåga. Han föreslog också den klockformade vingen i början av 1930-talet, men gjorde så för att minska luftmotståndet, utan att inse att det också kunde lösa girproblem i ett stjärtlöst flygplan. En sådan vinge gör på många sätt vad en fågelvinge gör under flygning. Evolutionen har ju inte ordnat till en upprätt stjärt på en fågel utan löst det på annat sätt.

Möjligen som ett uttryck för tysk desperation lades trots haveriet en order på fler prototyper och 20 förserieplan och den 12



Ho 229 som det kunde ha sett ut



Ho 229 design var otroligt avancerad för sin tid (Credit: Malyszcz / Wikipedia /)

mars 1945 blev Ho 229 inkluderat i Jäger-Notprogrammet för en ökad produktion av billiga "Wunderwaffen" (mirakelvapen).

I krigets slutskede iscensatte den amerikanska militären Operation Paperclip. Det gav deras olika underrättelsetjänster i uppdrag att beslagta avancerad tysk vapenforskning, samt att förhindra att de tyska forskningsrapporterna hamnade i de framryckande sovjetstyrkornas händer. På marsch till Berlin upptäckte de amerikanska soldaterna delar av Ho IX under de sista månaderna av kriget. I Friedrichsroda fanns till exempel ett färdigt skrov inklusive motorer, och nästan färdiga vingar hittades på annat håll.

Ett Horten segelplan och en Ho 229 V3 beslagtogs och skickades i all hemlighet till Northrop Corporation i USA för utvärdering. De övriga plan som upptäcktes vid

monteringsbandet i Friedrichsroda slogs sönder för att hindra att de hamnade i sovjetiska styrkors ägo.

Alla fynd skickades omedelbart av amerikanerna till Förenta staterna för utredningar. Detta berodde på att flygplansproducenten Northrop också hade forskat på flygande vinge konceptet sedan 1940-talet.



Flygande vingen fick viss tilltro på 1950-talet, främst på grund av ansträngningar av Jack Northrop, som hade inspirerats av att se några av Horten segelflygplan på 1930-talet. Den infångade Ho 229 kan också ha uppmuntrat honom.

Northrops misslyckade YB-35 flygande vinge bombplan från det sena 1940-talet var lamslagna av massiva vibrationsproblem orsakade av de propellerdrivna motorerna. Det visade att Hortens hade rätt i att använda jetmotorer i Ho 229. Northrops senare jetdrivna YB-49 kom visserligen aldrig i drift, men banade vägen för bolagets B-2 Spirit smygbombare decennier senare, en design som verkligen delar vissa fysiska likheter med Ho 229.

Bröderna Horten tänkte faktiskt också på flygplanets radaregenskaper. De är mer gynnsamma när det gäller stjärtlösa flygplan än för konventionella flygplan, men Hortens ville mer. De tänkte sig att en blandning av koldamm och lim skulle absorbera radarstrålningen och göra stridsplan nästan osynliga för den brittiska och amerikanska radarn. Amerikanerna lyckades decennier senare, att göra sina egna bombplan "osynliga" med särskilda ytbeläggningar och arrangemang av motorerna och deras utlopp.

När kriget slutade emigrerade Reimar Horten till Argentina. I Argentina fortsatte han att konstruera och bygga segelflygplan, ett experimentellt supersoniskt delta-vingat flygplan och en tvåmotorig flygande vinge. Den kallades "Naranjero" eftersom den var tänkt att transportera apelsiner för export. Den misslyckades dock kommersiellt. Reimar dog på sin ranch i Argentina 1994. Walter Horten stannade i Tyskland och blev officer i efterkrigstidens tyska flygvapen. Han avled i Tyskland 1998.

Den "flygande vingen" enligt Hortens idé kallas också "hybrid wing body" eller ibland "blended wing body". I denna design, smälter vingen in i kroppen av flygplanet, vilket gör den extremt aerodynamisk och mycket lovande för dramatiska minskningar av bränsleförbrukning, buller och utsläpp. NASA utvecklar koncept som dessa för att testa i datorsimuleringar och som modeller i vindtunnlar för att visa om de eventuella fördelarna faktiskt kommer att inträffa.

Ett NASA-koncept, som kallas "N3-X," använder ett antal supraledande elmotorer för att driva de distribuerade fläktarna för att sänka bränsleförbrukningen, utsläppen



En framtida flygande vinge?

och bullret. Effekten för att driva dessa elektriska fläktar genereras av två vingspets monterade gasturbindrivna supraledande elektriska generatorer.

Sedan 2001 har NASA också bedrivit forskning på 21st Century Aerospace Vehicle, även kallad Morphing Airplane. Syftet med Morphing Projektet är inte att utforma en flygande prototyp, men att utveckla och utvärdera smart teknik (inklusive material, adaptiva strukturer och styrning av mikroflöden) för optimala flygegenskaper. Tanken är att efterlikna hur fåglarna flyger.

Fåglar och flygplan flyger ju på mycket olika sätt. Fåglar kan böja, vrida eller deformera sina vingar för att vända eller ändra deras hastighet. Fåglar kan också anta olika former för att sväva, dyka, landa eller anpassa sig till olika villkor, såsom vindbyar. Ett konventionellt flygplan, å andra sidan, är utformat för att vara styvt. Det kan bara manövrera genom att röra delar av sin styva struktur, såsom skevroder på vingarna och roder på stjärten.

Konventionella flygplansvingar är en kompromiss i fråga om prestanda. Medan de tillåter flygplanet att flyga i en rad olika



Med flexibla vingar

flygförhållanden, har de mindre än optimala prestanda vid varje tillstånd. Ett konventionellt flygplan kan ändra geometrin av sina vingar för att anpassa sig till olika omständigheter, såsom att öka lyftkraften för start och landning, men endast i begränsad omfattning.

Ända sedan början av luftfarten, har designers tittat på olika sätt att lära sig av naturen och anpassa några av de tekniker som antagits av fåglar för att använda dem på flygplan. Syftet med "morphing" är ett flygplan, som kan ändra sin form, i synnerhet sina vingar, för att anpassa sig till olika flygförhållanden. Ett flygplan, som kan anpassas till olika förhållanden såsom start, landning, acceleration och cruising, kan resultera i en design som är aerodynamiskt effektiv, har mer lyft och mindre motstånd och samtidigt har både minskat buller och bränsleförbrukning. Bröderna Hortens ideer är alltså i allra högsta grad levande.

Segelflygets historia

Segelflyg dominerade utvecklingen av flygkonsten tills bröderna Wright satte motorer på planen i början av 1900-talet. Begreppet segelflygplan användes första gången 1891, men den stora utvecklingen kom under åren efter första världskriget, eftersom drift och konstruktion av motordrivna flygplan i Tyskland förbjöds i Versaillesfördraget. Sedan dess har segelflygplanen ständigt förbättrats framförallt när det gäller aerodynamik och man börjar nu tala om att ersätta satelliter med segelflygplan.

De första stegen mot segelflygplan togs redan av pionjärerna George Cayley och Otto Lilienthal. Cayleys och Lilienthals flygplan var egentligen glidflygplan. Det är skillnad på glidflygplan och segelflygplan och inom flyget skiljer man dessa kategorier åt. Glidflygplan kan inte användas för längre sträckflygningar utom möjligen i bergsmiljö med sammanhängande kraftig uppvindsområden på grund av sämre glidtal. De enda farkoster som idag normalt använder glidflygsprincipen är rymdfärjorna, som glidflyger ner till landningsplatsen efter återinträdandet i atmosfären.

År 1804 byggde den engelske godsägaren Sir George Cayley ett litet mer än meterlångt glidflygplan. Det var första gången något som liknade ett flygplan flög genom luften. Han byggde också 1808 ett större glidflygplan med en vingarea av 28 kvm. Det sägs att det flögs av en grannes tioåriga pojke några meter genom luften.

Alphonse Penaud konstruerar 1871 ett modellflygplan med gummirepsmotor (Planophore) och Otto Lilienthal började 1891 sina glidflygningar från en höjd nära Potsdam. Den främsta anledningen till att han började glidflyga från ett berg var att han förstod att utnyttja den så kallade hangvinden, dvs den vind som blåser upp för en sluttning. På den här vinden kan man hålla sig uppe med ett glidflygplan. Han var den förste att upptäcka att man kan flyga på det sättet. Tyvärr kraschade han den 8 sep 1896 förmodligen på grund av stall och avled nästa dag.

Pionjären inom segelflyget var annars tysken Hans Gutermuth. År 1909 blev han ledare för en grupp Darmstadt-assistenten och studenter som var passionerade för flyg och grundade Flug-Sport-Vereinigung Darmstadt. I denna förening började man bygga glidflygplan. År 1911 upptäckte han på en resa till Röhnbergen, nordost om Frankfurt, en höjd, Wasserkuppe, som borde vara särskilt lämplig för segelflyg. Hans Gutermuth flög den 22 juli 1912 ett motorlöst biplan FSV X från Wasserkuppe en sträcka av 843 m på 1 minut



Hans Gutermuth flög den 22 juli 1912 ett motorlöst biplan FSV X från Wasserkuppe en sträcka av 843 m

och 52 sek. Det var ett världsrekord, som slogs först 1920 av Wolfgang Klemperer.



Hans Gutermuth

Hans Gutermuth föll i första världskriget som löjtnant i reserven den 16 februari 1917 i Frankrike som en så kallad Alter Adler (gammal örnn), som de betecknades som hade flygcertifikat redan före kriget. Han var medlem i Jagdstaffel 5.

Första världskrigets slut 1918 kom på sitt sätt att bli startskottet för den utveckling som sedan följde vad gäller glid och segelflygplan. Freden i Versailles 1919 blev som

kant hård för det besegrade Tyskland och bland annat satte det praktiskt taget stopp för i stort sett all motorflygning. Redan samma år publicerade tidskriften Flugsport ett upprop om att återuppta glidflygsporten, man hade redan 1913 börjat försöka utveckla glidflygning som en sport. Centrum för den nya sporten blev Wasserkuppe.

På Wasserkuppe utvecklades från 1920 glidflygplanen långsamt till segelflygplan. Redan år 1922 gjorde man den första längre flygningen längs sluttningen av Wasserkuppe. Men möjligheten att hålla sig i luften långa sträckor utan hjälp av luftdraget upp längs berget fanns inte på den tiden. Termiken var ännu inte känd.

Wasserkuppe blev snabbt Europas glid- eller segelflygcentrum och redan 1923 för tre svenskar ner till Röhn och en av dem, Douglas Hamilton, anses allmänt vara det svenska segelflygets fader. När Hamilton återkom till Sverige hade han den tyske glidflygaren och konstruktören Willy Pelzner med sig och tillsammans planerade de en flygskola, som slutligen etablerades 1926 vid Hammars backar utanför Ystad. Skolan drevs som ett internat och under de närmaste tio åren utexaminerades åtskilliga glidflygare. Idag bedrivs fortfarande flygverksamhet vid Hammars backar men numera mest av hängflygare.

be-

Under tiden fortsatte utvecklingen i Tyskland och så en dag i augusti 1926 hände något som skulle förändra segelflyget i grunden. Den tyske piloten Max Kegel råkade bli uppsugen av ett åskmoln och landade 55 kilometer bort. Därmed bekräftades det som den franske professorn Paul Idrac hade beskrivit 1922, nämligen att det fanns uppåtgående luftströmmar, det vi kallar termik. Sedan det hade bevisats att det faktiskt fanns termiska uppvindar lyckades Robert Kronfeld 1928 att cirkla sig uppåt på sådana och problemet med flygning längre sträckor med segelflygplan var löst. Planet stiger tillsammans med varmluften, när det så nått toppen på termikblåsan flyger det vidare till nästa och kan på det här sättet flyga avsevärda distanser, rekordet i Sverige ligger på 1015,6 km.

I Sverige började det växa upp segelflygklubbar lite varstans i landet och med dessa växer också önskan fram om en central segelflygskola i KSAK:s regi. Den vid Hammars Backar upphörde ju ca 1937. Svenska Flygvapnets stabschef överste Bengt Nordenskiöld (Flygvapenchef 1942-54) ansåg att ett starkt svenskt segelflyg inte bara var önskvärt utan direkt nödvändigt. KSAK beslutade därför att i enlighet med segelflygarnas önskan undersöka möjligheterna att skapa en central segelflygskola. Mösseberg vid Falköping och Ålleberg 6 km sydost om det förra, dittills hade den lokala klubbverksamheten mest gått ut på att bygga och flyga med ganska enkla glidflygplan.

Ålleberg vid Falköping valdes som lämpligt för segelflyg då vinden, då den blåser över slätten, tvingas upp mot den sluttande bergssidan och på så sätt bildar en uppwind, som möjliggör höjdvinst vid segelflygning. De lävågor som bildas över bergskedjor spelar också stor roll på Ålleberg. Dessa lävågor ger möjlighet till segelflygning på höjder på 10 000 meter eller mer. Ålleberg blev alltså godkänt som platsen för en central segelflygskola.

Två förgrundspersoner i sammanhanget var Verkställande Utskottets i KSAK ordförande Paul af Uhr och luftfartsinspektören Tord Ångström. De engagerade människor över hela landet i strävan att förverkliga en segelflygskola på Ålleberg.

I juni 1941 hölls den första utbildningen på Ålleberg. De första åren fanns inga andra byggnader än en hangar, som används än idag och bland annat hyser segelflygmuseet, en mindre cafélokal samt en startbrygga med tillhörande trappor och bana uppför bergsslutningen för gummireps-

starter. Vinschning var under den första tiden på berget den vanligaste startmetoden jämte gummirepsstart. När andra världskriget var slut upphörde praktiskt taget all vinschning till förmån för flygbogsering.

Skolan förblev en central segelflygskola även med avseende på grundutbildning ända fram till 1966. Efter 1966 blev skolan en utbildningscentral för instruktörer och för högre kurser som instrument- och avancerad flygning. Här finns också landets enda segelflygmuseum.

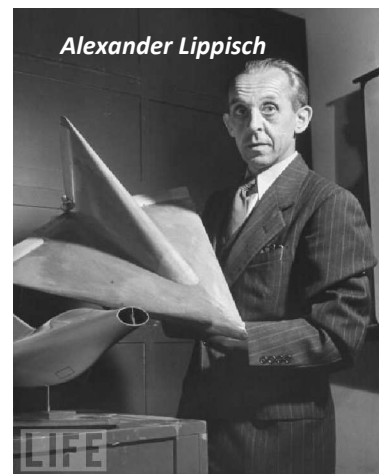
Under tiden fortsatte utvecklingen i Tyskland och redan 1921 presenterade Hanover Akaflieg sin "Vampyr" designad Georg Madelung för segelflygtävlingarna vid Wasserkupe. Detta monoplan har betecknats som ursprunget till alla moderna segelflygplan med liten cockpit och en tunn vingprofil.

Vampyren hade ett glidtal på 16 dvs den kunde röra sig framåt 16 meter och förlora bara 1 meters höjd. Glidtalet är ett mått på den aerodynamiska effektiviteten och här var segelflygplanen tidigt överlägsna. Med varje generation av material och med förbättringar inom aerodynamiken har prestandan hos segelflygplan ökat. En Grunau baby från 1930-talet hade ett glidtal på 17, en Libelle från 1960-talet hade 39 och moderna flygplan som ASG29 har ett glidtal över 50. Jämför detta med moderna trafikflygplan, som ligger under 20 eller rymdfärjan med ett glidtal på 4,5.

Speciellt en konstruktör och pilot från den första tiden, Alexander Lippisch, kom att bli berömd. Lippischs flygintresse väcktes i samband med en flyguppvisning av Orville Wright över Tempelhof i Berlin 1909. När första världskriget bröt ut blev han inkallad till tyska armén, där han fick tjänstgöra

med flygfotografering och luftspaning.

Efter kriget sökte han sig till Luftschiffbau Zeppelin och det var nu han började forska på stjärtlösa flygplan. Hans första konstruktion, segelflygplanet Lippisch-Espenlaub E-2, byggdes av Gottlob Espenlaub 1921. Flygplanet väckte uppmärksamhet och kom att följas av ett femtiotal konstruktioner under 1920 och 1930-talen. Lippischs framgångar som konstruktör innebar att han tillfrågades om att bli chef för forskningsgruppen om segelflyg vid Rhön-Rossitten Gesellschaft (RRG).



Bland Lippisch konstruktioner märks en serie stjärtlösa segelflygplan från Storch I till Storch IX 1927-33. Dessa flygplan utvecklades till de flygande vingarna Delta I till Delta V 1931-39. Rhön-Rossitten Gesellschaft ombildades 1933 till Deutsche Forschungsanstalt für Segelflug (DFS, Tyska institutet för segelflygning) varför Delta IV och Delta V gavs namnen DFS 39 respektive DFS 40.

Under den här tiden hade Tyskland fått se ett ödesdigert maktskifte i landets ledning (1933) och det hade också Wasserkuppe. Det blev Hitlerjugend som tog över segelflygverksamheten eftersom nazisterna hade förstått att segelflygare var en utmärkt mänsklig råvara att producera flygvapenpersonal av. Riktigheten i detta demonstrerades med all önskvärd tydlighet under tyskarnas blixkrieg 1939-40 med ett starkt och välutbildat flygvapen.

VM-tävlingar i segelflyg inleddes 1937 på Wasserkuppe vid Röhnbergen i Tyskland, där årliga segelflygtävlingar genomförts sedan 1920. År 1939 flög en D-30 Cirrus FFG Darmstadt redan en sträcka av 500 kilometer med ett glidtal av 36. På den tiden var segelflygplan gjorda av trä eller stålrör, som täcktes med sträckt tyg. Nuförtiden byggs de av fiberförstärkta plaster. Start skedde tidigare vanligen med gummirep eller vinsch. År 1927 infördes det första bogserade flygplanet och man experimenterade även med raketdrift.

Våren 1939 flyttades Lippisch och hans medarbetare till Messerschmitt för att ta fram ett raketdrivet jaktflygplan till Hellmuth Walters raketmotor. För att spara tid använde man segelflygplanet DFS 194, som modifierades till raketdrift. Den första lyckade flygningen genomfördes tidigt 1940, och flygplanet blev föregångare till Messerschmitt Me 163 Komet. Flygplanet visade sig trots hög toppfart och goda flygegenskaper inte duga till att bli ett bra krigsflygplan, då det inte kunde medföra bränsle för längre uppdrag. Arbetet med Kometen ledde till slitningar mellan Messerschmitt och Lippisch, varför han 1943 sökte sig till Luftfahrtforschungsanstalt Wien (LFW) i Österrike, där han skulle forska i problematiken med flygning i hög fart. Samma år blev han hedersdoktor vid universitetet i Heidelberg.

Vindtunnelförsök 1939 hade visat att deltaformade plan var optimala vid farter över 1000 km/h och Lippisch arbetade på konstruktionen Lippisch P.13a om skulle drivas med en ramjetmotor. När freden kom var man långt ifrån färdiga.

Ett glidflygplan med deltavingar DM-1 var byggt, men ingen provflygning var inledd.

Efter kriget erbjöds Lippisch att komma till USA, och Convair, som arbetade med F-92, ett flygplan som drevs av en hybrid av raket och jetmotor. Man anlät honom för att komma åt hans kunskaper om aerodynamiken runt deltavingar. Åren 1950-64 arbe-



tade Lippisch vid Collins Radio Companys flygavdelning i Cedar Rapids, Iowa. Det var här han forskade och konstruerade flygplan som kunde utnyttja markeffekten. Resultatet blev flygplan med VTOL-egenskaper. Han startade sitt eget forskningsföretag 1966 Lippisch Research Corporation, där han producerade några prototyper med VTOL-egenskaper. Han dog 11 februari 1976 i Cedar Rapids, Iowa, USA

Under andra världskriget användes glidflygplan för att transportera trupper och material, till exempel Messerschmitt Me 321. Lastglidflygplan bogseras efter ett motordrivet flygplan. De mindre lastglidflygplan kunde medföra 20 soldater medan de större kunde lasta små fordon eller mindre pansarvärnskanoner. En fördel var att landsättningen kunde ske tyst eftersom planen glidflog till landningsplatsen efter losskopplingen. Till skillnad mot vanliga enkla glidflygplan var lastglidarna många gånger byggda för att bara användas en gång. I slutet av andra världskriget när behovet av transportflyg var stort producerades några DC-3:or som saknade motorer, som användes för att transportera fallskärmstrupper.

Nya material som kolfiber, glasfiber och Kevlar kom efter andra världskriget att öka prestanda. Det första segelflygplanet att använda glasfiber i stor utsträckning var Akaslieg Stuttgart FS-24 Phönix som först flög 1957. Den första flygningen genomfördes av Hermann Nägele, som också hade ritat flygplanet. Detta material används fortfarande på grund av dess höga hållfasthet, låga vikt och förmågan att ge en jämn yta för att minska motståndet. Det gör också att segelflygplan kan byggas med vingar som är starkare och mer styva för att möjliggöra fladderfri höghastighetsflygning. Segelplanen tillverkas fortfarande mestadels för hand. Tillverkningsprocessen är

mycket arbetsintensiv, men som ett resultat av ny teknik är moderna glidflygplan extremt effektiva.

Segelflygplan har ofta aerodynamiska särdrag som sällan finns i andra flygplan. Efter att vingarna har formats med stor noggrannhet, är de sedan mycket polerade. Särskilda aerodynamiska tätningar används för att förhindra luftflöde genom styryrtornas luckor. Zick-zack-tejp eller håll placerade i en spetsig linje längs vingen används för att omvandla laminärt flöde till turbulent vid en önskad plats på vingen för att säkerställa absolut minimalt motstånd. Särskilda "bug-wipers" kan installeras för att torka vingarna under flygning och ta bort insekter som stör luften över vingen.

Genom dessa konstruktioner och mycket släta ytor kan man uppnå ett mycket lågt luftmotstånd. Glidtalet har förbättrats till så mycket som 70:1 medan hastigheten har ökat från i genomsnitt ca 100 km/h i början av 1980-talet till över 180. Moderna segelflygplan kan nå hastigheter upp till 280 km/h. År 1970 flög Hans Werner Grosse från Lübeck till Angren 1032 km med en ASW 12. Detta var den första segelflygningen över Europa med en räckvidd på mer än 1000 km. Nu kom också motorseglare och 1976 utrustades den första ASW 15 med en egenutvecklad infällbar motor på 30 hk.

Moderna tävlingsplan har vatten som ballast i vingarna och ibland i vertikala stabilisatorer. Den extra vikt som vattnet ger är fördelaktig om lyftkraften är hög och kan även användas för att justera planets tyngdpunkt. Även om det är en liten nackdel när planet klättrar i stigande luft, uppnås en högre hastighet vid glidning. Piloten kan ställa in vattenbalansen innan det blir en nackdel vid svagare termik.

Perlan 2 över bergen i Patagonien



Delar av den aerodynamik som redan finns i segelflygplan, som t ex laminärt flöde och turbulensgeneratorer diskuteras nu för vanliga trafikflygplan. Nästa stora sak kan vara "morphing structures" och vingar som kan anpassa sig till förändrade flygförhållanden. Adaptiva strukturer som de kallas har länge varit under utveckling. Denna typ av vinge finns åtminstone i vindtunnel. Många företag experimenterar med flexibla material som gör att vingen ändrar form precis som hos fåglar. Dessa vingar gör det möjligt att maximera flygtiderna och öka manöverförmågan vid vilken hastighet eller vikt som helst.

Det kanske mest intressanta segelflygplanet just nu är Airbus Perlan 2. Den 3 september 2017 flög Jim Payne och Morgan Sandercock Perlan 2 till 52 172 fot, ett nytt världsrekord för segelflygplan. De hoppas kunna slå det amerikanska spaningsflygplanet Blackbirds rekord på 85.069 fot.

Perlan 2 är i huvudsak en rymdfarkost med en 84-fots vinge, konstruerad för att flyga i förhållanden som liknar Mars yta. Det har som mål att nå 90 000 ft (27,4 km). Försöken startade i Redmont i Oregon 2015 och i juli 2017 startade Airbus Perlan Mission 2 sin andra säsong av flygprovning i El Calafate, Argentina. Denna

patagoniska region är en av några få platser på jorden där en kombination av bergvindar och polarvirvlar skapar världens högsta "stratosfäriska bergsvågor", stigande luftströmmar, som Perlan-piloterna tror så kan småningom bära deras experimentella flygplan mot randen av rymden.

Vid 90 000 fot måste Perlan 2 konstrueras för att flyga i mindre än 3% normal lufttätthet och vid temperaturer på -70°C . Perlan 2 är byggd för höjd. Allt man gör när man planerar ett flygplan är en kompromiss. Perlan 2 är optimerad för cirka 60 000 fot. Ett typiskt segelflygplan är optimerat för cirka 7 000 fot.

Perlan är inte lika bra på låg höjd som ett vanligt segelflygplan, men på mycket höga höjder skulle ett vanligt plan inte alls kunna flyga. Vid låga höjder har Perlan 2 ett glidtal på cirka 40. Det är en lägre prestanda än ett typiskt tävlingssegelflygplan, som har minst 60, men på 60 000 fot, precis ovanför tropopausen, har Perlans vingar maximal effektivitet.

Perlanprojektet är delvis ett miljöprojekt. Det kommer att undersöka växelverkan mellan troposfären, jordens lägsta lager och skiktet ovanför stratosfären, samt samla in data om ozonskiktets uttunning, vilket ökar skadliga UV-strålar. Uppdraget

kommer att ge ovärderliga uppgifter för forskare världen över för att hjälpa till att uppdatera och förbättra befintliga klimatmodeller.

Men Airbus Perlan 2 kommer också att ge erfarenhet av flygning på mycket hög höjd och det är av intresse för Airbus eftersom man nu talar om att ersätta satelliter med permanenta konstellationer av segelflygplan för att förbättra täckningen av internet till olika delar av Jorden. Kanske kommer tekniken, som utvecklats för segelflyget, att få helt annan användning.

Bypassmotorn revolutionerade luftfarten

En söndag eftermiddag i det tidiga sextioalet ringde Gerhard Neumann, chef för General Electrics flygmotorer, hem till chefen för det amerikanska flygvapnets forskning och utveckling och bad om ett möte "i strikt sekretess". Vad som avslöjades för generalen följande dag var en ny typ av jetmotor mer än dubbelt så kraftfull som någon annan då flygande motor. Det var by-pass-motorn och den skulle revolutionera luftfarten.



Gerhard Neumann, en av de mest kända ingenjörerna i jetmotorernas historia, föddes 1917 i Frankfurt an der Oder, Tyskland. Efter att ha avslutat en obligatorisk treårig lärlingsutbildning som motormekaniker, kom han in på Tysklands äldsta tekniska högskola, Mittweida. Efter examen gjorde hans judiska ursprung det svårt att stanna i Tyskland och i maj 1939 accepterade han en position hos ett kinesiskt företag som rådgivare och instruktör i användningen av tysk militär utrustning.

Neumann anlände till Hongkong bara för att finna att hans arbetsgivare hade försvunnit spårlost. Ännu värre, den 1 september invaderade Hitler Polen och startade andra världskriget. Som tysk blev Neumann en fiende i det då brittiska Hong Kong. Med lite hjälp från en av Pan Americas vicepresidenter undvek Neumann att skickas till ett interneringsläger. I stället flög han till Kina, där han gick med i Flying Tigers, en amerikansk frivillig del av det kinesiska flygvapnet, som flyglansmekaniker.

I slutet av kriget år 1946, fick Gerhard Neumann medborgarskap i USA på grund av sina tjänster i kriget, gifte sig med en amerikanska och bosatte sig i Kina. Men snart fick det hotande kommunistiska övertagandet av Kina Neumann och hans hustru att ge sig av därifrån. De byggde en fungerande Jeep från två trasiga sådana och det unga paret gjorde en äventyrsfylld tre månaders resa till Palestina, varifrån de seglade till Europa och flög till Amerika.

År 1948 började Neumann en 32-årig karriär hos General Electric, där han steg till vice president och chef för flyglansmotorerna.

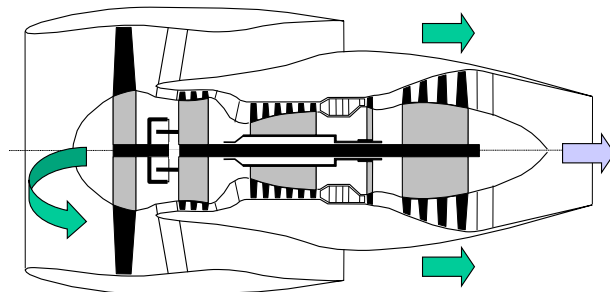
Den grundläggande idén som Neumann lämnade till den amerikanska militären var att använda en del av kraften i kärnmotorn för att driva en fläkt på framsidan av motorn via en separat turbin, se figur. Det stora luftflödet från denna fläkt skulle ge ett flygplan massor av extra dragkraft under start och lägre bränsleförbrukning i kryssning.

Räckvidden på ett flygplan kunde dramatiskt ökas med hjälp av bypass-motorn och USA var just i färd med att starta utvecklingen av Galaxy C-5a, som var avsett att transportera 1000 soldater över långa sträckor.

Gerhard Neumann låg också bakom en annan uppfinning. Tidiga jetmotorer var benägna till kompressorstall (kompressorerna storknade helt enkelt) och andra driftproblem vid låga hastigheter, särskilt under acceleration. En ny lösning, som utarbetats av Gerhard Neumann var ett automatiskt

system som förändrade vinkeln på rörliga inloppsledskenor och kompressorstatorer när motorvarvtalet steg. Uppfinningen gjorde flygningar möjliga på Mach 2 och högre och lade grunden för moderna högby-pass turbofläktmotorer.

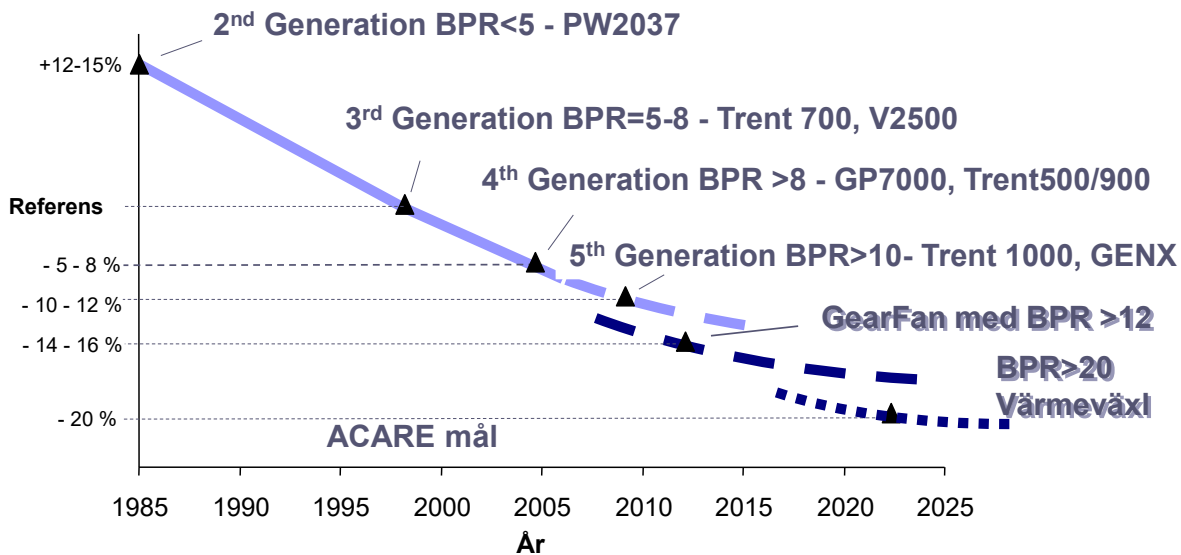
ney utvecklade den första dubbla spolen, eller två-axel-turbojeten, där två uppsättningar av kompressorer och turbiner monterades koncentriskt i samma motor, men där till skillnad från bypassmotorn samma luft går genom båda. Den resulterande J57 drev ett brett utbud av USA:s militära flygplan från Boeing B-52 och KC-135 till McDonnell F-101, Convair F-102 och olika sjöflygplan, inklusive Douglas F4D och F5D. J57 gjorde även att den amerikanska YF-100 blev det första stridsflygplanet att uppnå varaktig överljudsflygning 1953. Ett kommersiellt derivat, JT3, gav också Pratt entré till den kommersiella marknaden för första generationens Boeing 707 och Douglas DC-8 familjerna. En brittisk motor, Bristol (senare Rolls-Royce) Olympus också konfigurerad runt en två-spole design år 1950, drev Vulcan bombplan och i samarbete med Sncema, den engelsk-franska Concorde.



system som förändrade vinkeln på rörliga inloppsledskenor och kompressorstatorer när motorvarvtalet steg. Uppfinningen gjorde flygningar möjliga på Mach 2 och högre och lade grunden för moderna högby-pass turbofläktmotorer.

Ursprunget till bypassmotorn kan spåras till åren efter det andra världskriget då det amerikanska företaget Pratt & Whit-

Inflytande av Bypassförh (BPR) på bränsle



Införandet av bypassmotorn innebar en stor förbättring av bränsleförbrukningen, som syns på figuren ovan. Verkningsgraden hos en motor består av två delar. En del av den energi som tillhandahålls av drivmedlet går förlorad inuti motorn på grund av den termiska effektiviteten i den termodynamiska cykeln. En annan del går förlorad utanför motorn, för när strålen lämnar flygplanet har den en hastighet högre än flyghastigheten och därför en kinetisk energi, som inte används för att driva planet.

För att uppnå en hög framdrivningseffektivitet bör hastigheten hos gasströmmen som går ut ur motorn vara nära flygplanets flyghastighet. Långsamma flygplan bör ha motorer med låg strålshastighet och snabba flygplan bör ha motorer med hög strålshastighet.

Man kan se att en erforderlig nivå av dragkraft kan produceras vid en viss flyghastighet antingen genom en liten ökning av hastigheten av ett stort massflöde eller genom en stor ökning av hastighet till ett litet massflöde. Militära motorer kommer normalt att utformas med hög strålshastighet för att hålla nere massflödet och motorns storlek och vikt.

Samtidigt skapar detta problem vid lägre hastigheter, eftersom om all tillgänglig kraft i motorn används för att skapa en stråle så blir strålshastigheten mycket högre än flyghastigheten och därmed framdrivnings- och den totala verkningsgraden låg även om den termiska verkningsgraden hos själva cykeln är hög. Detta dilemma ledde till uppfinningen av bypassmotorn.

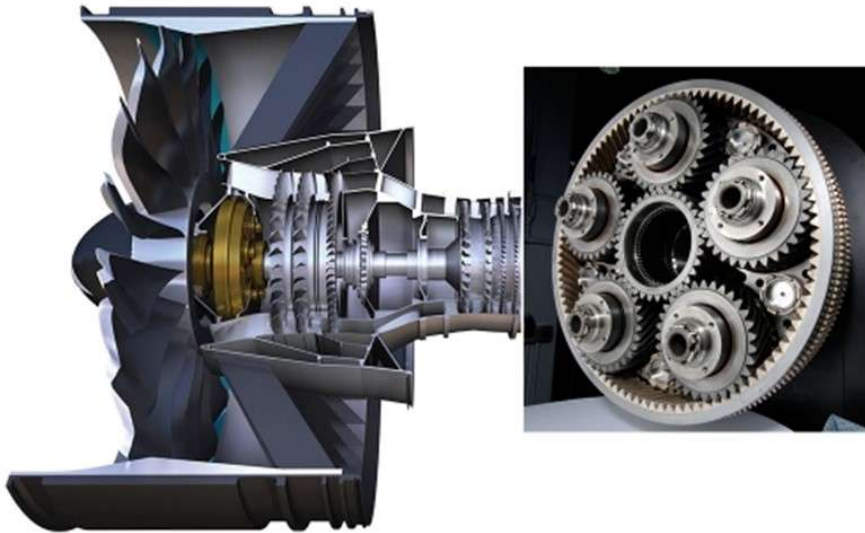
När hög verkningsgrad är viktigast bör strålshastigheten vara nära flyghastigheten och massflödet måste därför vara högt för att ge tillräckligt med dragkraft. Idén hos GE-ingenjörerna var att använda en del av den tillgängliga kraften för att driva en fläkt. Detta är bypass- eller turbofläktmotor, som genom fläkten ger framdrivningskraft i en bypassström utöver den i kärnan av motorn.

Bypassförhållanden mellan 1 och 2 var typiska för de första turbofläktmotorerna, som infördes i början av 1960-talet. De modernare turbofläktmotorerna för transportflygplan har bypassförhållanden som vanligtvis faller mellan 5 och 8 och ännu högre, se bild ovan. Ju större bypassförhållande, desto större mängd energi som hanteras av fläkten. Mer än 80 procent av den totala kraften i en turbofläktmotor kan

tillskrivas fläkten.

Vissa turbofläktmotorer är av treaxlig typ. Den heta gasgeneratorn består av två spolar och en tredje spole, som är oberoende av de andra två, innehåller fläkten och dess turbin. Endast Rolls Royce Trent har tre axlar. Denna konfiguration har aerodynamiska fördelar men en högre mekanisk komplexitet.

I själva verket var turbofläkten ett naturligt steg från turbopropellen. Snart efter att den första turbojetmotorn var i luften kom också turbopropmotorn. Det är en turbojet med en extra turbin, som använder den energi som finns kvar i gasströmmen för att driva en propeller efter att tillräcklig energi har använts för att driva kompressorn. I huvudsak är det en bypassmotor, men utan kåpan runt fläkten. Kåpan resulterar i ett stagnerande flöde och gör det möjligt att undvika tryckstötar vid bladen vid högre hastigheter. Detta innebär att man kan flyga fortare och ha ett större tryck över fläkten. Till exempel är tryckförhållandet över ett enda fläktsteg vanligtvis i intervallet 1,4 till 1,6 medan tryckförhållandet över en propeller är något mindre än 1,02.



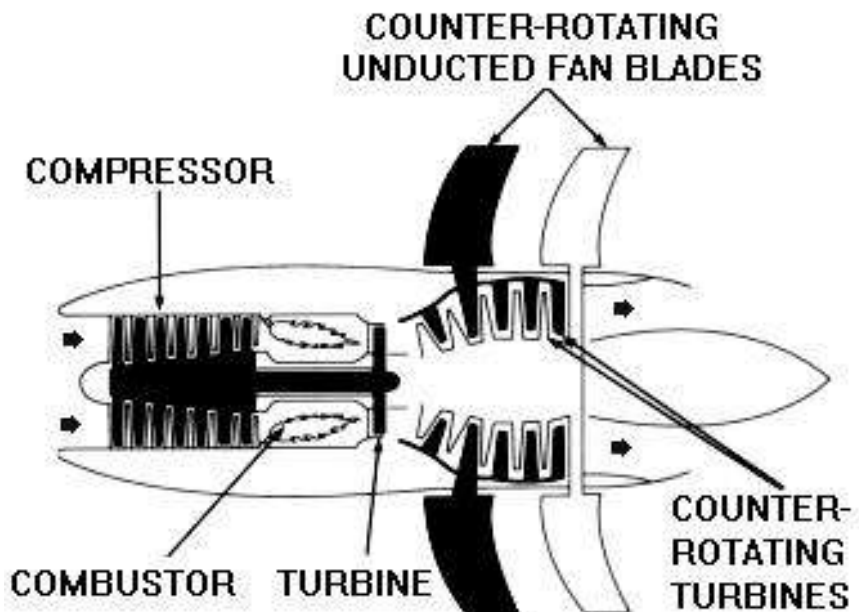
Det finns flera fördelar med turbofläkt. Fläkten är inte lika stor som en propeller, så spets hastigheten på bladen är mindre. Genom att innesluta fläkten inuti en kanal eller kåpa blir det en stagnation av inlopps-luften så att lufthastigheten, som möter fläkten är mindre än för en propeller. Detta innebär att aerodynamiken är bättre kontrollerad. Det är mindre avlösning vid högre hastigheter och mindre problem med luftstötter. Till skillnad från propellern, kan ett enda fläktsteg innehålla från 20 till 50 blad omgivna av en kåpa. Det är mer som ett kompressorsteg än en propeller.

En turbofläktmotor kan flyga vid transsoniska hastigheter upp till Mach 0.9. När ett flygplan är utformat för att flyga i lägre hastigheter, är däremot turboprop oftast den valda motorn. Upp till $M = 0.6$ är framdrivnings-effektiviteten hos en turboprop överlägsen turbofläktmotorn. I verkligheten är framdrivningskraften från avgaserna ca 10 till 20% av propellerns. Men eftersom propellern effektivitet minskar vid högre hastigheter, bör mer framdrivningskraft flyttas till strålen.

Det finns en tendens att öka fläktdiametern och bypassförhållandet för att öka effektiviteten. Ett problem är då att varvtalet på fläkten måste minska för att undvika tryckstötter på bladtopparna och höga mekaniska påkänningar. Samtidigt måste turbinen som driver fläkten ha ett högt varvtal för att vara effektiv. Pratt & Whitney har därför utvecklat turbofläktmotorer, PW1000G (se bild ovan), som länkar lågtrycksturbinen till fläkten via ett komplicerat växelsystem. Eftersom turbinen fungerar bäst på en hög hastighet, behövs en stor

växellåda för att undvika höga Machtal på fläktbladens toppar.

Konceptet, som tidigare framgångsrikt försökts på lågtrycks motorer som Honeywell TFE731 och LF502, gör det möjligt för motorn att bli effektivare genom att låta



fläkten köra långsammare och lågtrycks-kompressorn och turbinen att köra snabbare. Rolls-Royce planerar också att använda konceptet för sin framtida UltraFan högdragkrafts motor.

Ett annat problem då bypassförhållandet ökar är att kåpan blir allt större och tyngre. Man försöker därför utveckla propellrar för effektiv drift vid transsoniska flyghastig-

heter (de som närmar sig ljudets hastighet), mycket högre än vad som tidigare uppnåts-upp till Mach 0,85. Detta innebär en högre belastning på propellern, vilket kompenseras genom en ökning av antalet blad i propellern (från 6 till 12 istället för de vanligare två till fyra bladen i lägre varvtal). Bladen är kroksabelformade, se figur nedan, med bakåtsvepta ledande kanter för att klara de stora Mach-talen vid propellerbladens spetsar vid den höga rotations- och flyghastigheten. Sådana höghastighetsmotorer kallas propfans. De lanserades på 60- och 70-talet när oljepriset var högt men övergavs när priset sjönk. På senare år har de åter blivit aktuella.

En variant av propfans är den så kallade UnDucted Fan (eller UDF), som innebär att två koncentriska propellrar drivs av motroterande turbiner, som gör att varje propeller roterar i en riktning motsatt den andra. Sådana motroterande propellrar klarar av betydligt högre framdrivningseffektivitet och högre skivbelastning än konventionella propellrar.

I de flesta installationer är drivmotorn monterad på vingen (så kallad "traktor"-

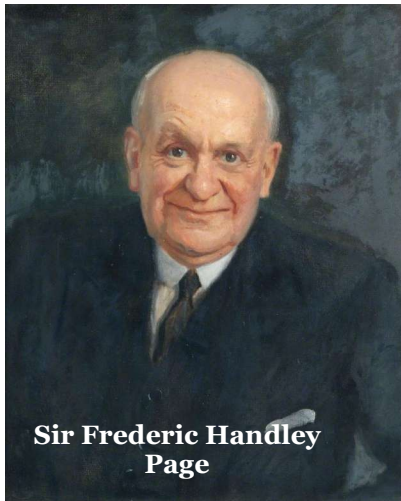
layout). Med propfans är det mer fördelaktigt att montera motorn i den bakre delen av flygplanet för att undvika störningar från propellern. Detta arrangemang kallas "pusher"-layout. Troligen är det sådana motorer vi kommer att se på framtidens flygplan för att ytterligare minska bränsleförbrukning och miljöbelastning.

Större och större dag för dag

Bypassmotorn med dess ökande effektivitet orsakade en spektakulär ökning av storleken på civila flygplan. Detta märks mycket tydligt i figuren här bredvid, som visar den största storleken på flygplan i antalet passagerare varje decennium.

Några av flygplanen i denna figur har en färgstark historia. Sir Fredric Handley Page grundade Handley Page, Ltd. 1909, den första brittiska flygplanstillverkaren. Under första världskriget producerade han den första tvåmotoriga bombaren som kunde bära 800 kg bomber. Han konstruerade sedan V-1500 fyrmotoriga bombplan, byggda för att flyga från England till Berlin med en bomblast på tre ton. Kriget avslutades dock innan den kunde användas.

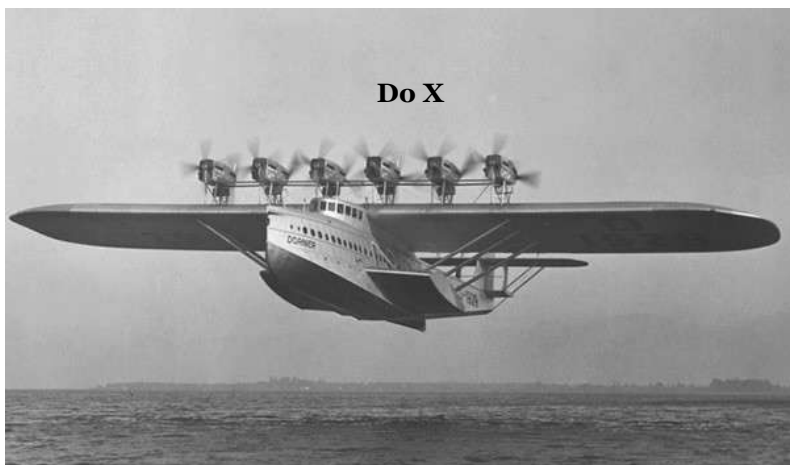
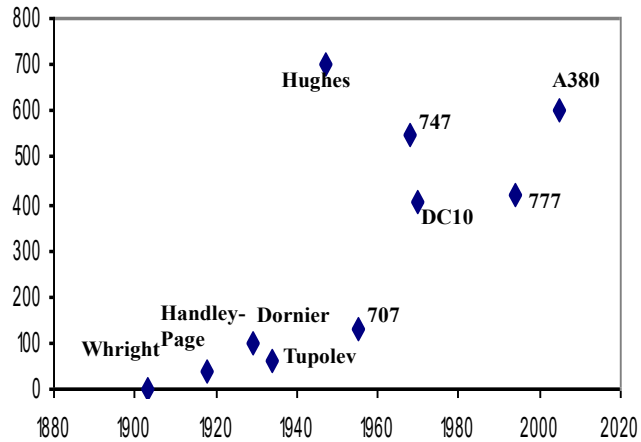
Fabriken kom att bli en av de största brittiska leverantörerna av flygplan till det brittiska försvaret under första och andra världskriget. Under andra världskriget tillverkade man cirka 7 000 exemplar av bombplanet Handley Page Halifax.



Sir Frederic Handley Page

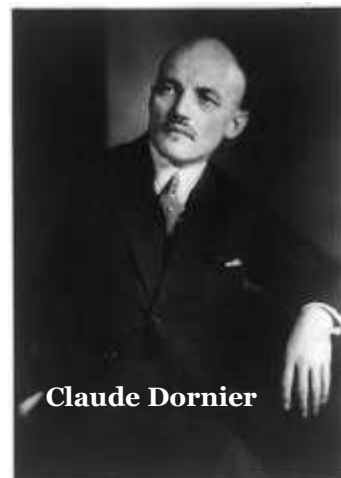
På 1920-talet insåg man att tekniken vid den tiden inte tillät byggandet av mycket stora flygplan med start från marken. Detta var skälet till flygbåtarna, där Dornier "Do X" och Hughes "spruce Goose" var de största.

Claude Dornier avslutade sin utbildning 1907 vid Münchens tekniska högskola och tre år senare började han arbeta för Ferdinand von Zeppelin, vid Zeppelins Airship Factory i Friedrichshafen. År 1911 konstruerade han det första planet helt i metall och Zeppelin tillät honom att grunda en separat avdelning av företaget.



Trä- och metallflygplan designade av Dornier användes sedan av Tyskland under första världskriget.

Under 1920-talet byggde Dornier allmänt använda sjöflygplan, och 1929 presenterade han "Do X", då världens största flygplan. Med en spännvidd på 48 m och en längd av 40 m, var "Do X" drivet av 12 motorer och transporterade 169 passagerare. År 1931 flög det från Tyskland till New York. På grund av sin stora kostnad blev dock "Do X" aldrig någon kommersiell framgång och lades snart ner.



Claude Dornier



På 1930-talet var Josef Stalin fixerad vid att övertyga världen om att Ryssland var ledande inom den nya flygtekniken. Han körde med sina designers för att öka distans och uthållighet och han skickade iväg dem till Gulag när de misslyckades. År 1932 gick Ryssland in för utvecklingen av ett stort passagerarplan. Det namngavs efter den berömda författaren Maxim Gorkij, som Stalin hade övertalat att återvända till Ryssland efter att han hade flytt landet under revolutionen.

Rysslands ledande konstruktör, Andrej Nikolajevitj Tupolev, fick projektet. En hel flygplansfabrik med 800 arbetare tilldelades det. Komplicerat som projektet var, så flög ändå "Maxim Gorkij" redan två år senare. Det hade åtta motorer. Dess spännvidd var större än en nutida 747:a. Det flög med en hastighet av 200 km i timmen och hade en räckvidd på 2000 km.

"Maxim Gorkij" gjorde en stort publicerad flygning två månader efter sin första provflygning. Det var då bemannat med 23 personer och bar 40 särskilt utvalda passagerare, bönder som hade uppfyllt sina kvoter, mycket produktiva fabriksarbetare och andra hjältar av revolutionen. Blinkande lampor på undersidan av vingarna blinkade slagord åt folket nedanför. Det var också utrustat med en tryckpress, som spred ut flygblad och ett högtalarsystem för att göra propaganda. Kanske detta gav upphov till uttrycket "propagandamaskin".

Detta märkliga flygplan fick ett sorgligt slut, det kraschade under en utställningsflygning över Moskva. "Maxim Gorkij" åtföljdes då vid varje vingpets av ett litet biplan. Ett var där för att ta bilder. Det andra, ännu mindre, var helt enkelt där för att betona den stora storleken på "Gorkij". Dess pilot började visa upp sig för ett barn, som tittade ut genom ett fönster ombord på det stora flygplanet.



Han gjorde en roll och sedan drev han, när han kom ut ur den, rakt in i "Maxim Gorkijs" vinge. 49 människor dog i kraschen. Ryssarna hade en annan "Maxim Gorkij" klar 1939, men den var meningslös i en värld, som behövde snabbbrörliga militära flygplan.

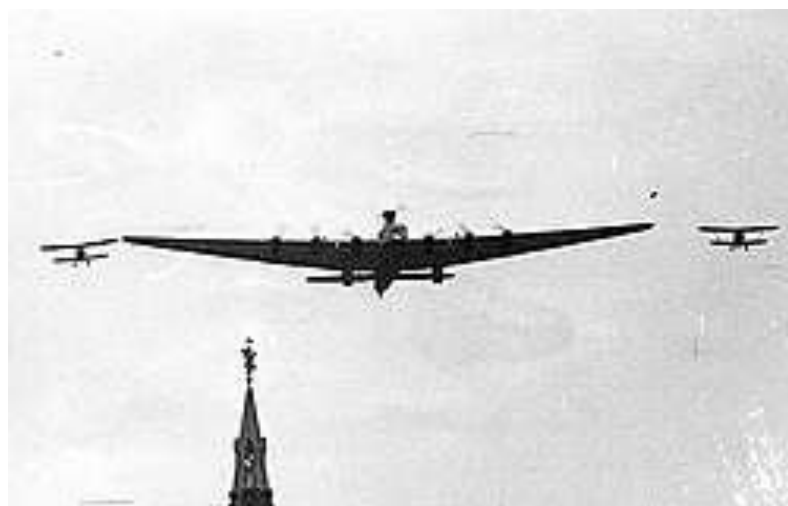
Tupolev gick på gymnasiet i Tver och tog studenten 1908 och började sedan stu-

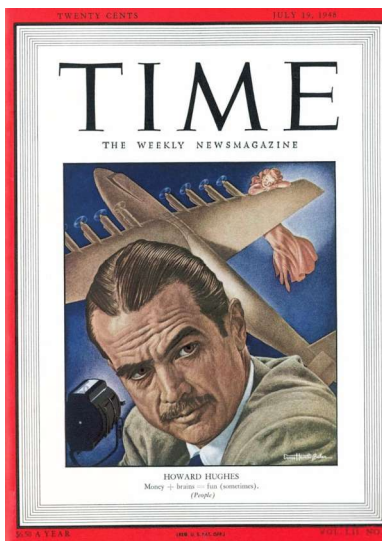
dera på Moskvas tekniska universitet där han intresserade sig mycket för flyget. Han kom att utses till ledare för universitetets vindkanal som han varit med och konstruerat. Han stängdes senare av för att ha varit med i en förbjuden politisk organisation och var bannlyst under flera år. Han kunde komma tillbaka 1914 och kom efter Oktoberrevolutionen 1917 att få en ledande position på konstruktionsavdelningen på Luftfartens huvudförvaltning.

Andrej Tupolev grundade flygplansfabriken Tupolev 1922 och under 1920- och 1930-talet uppmärksammades bolaget mest för sina tunga bombplan där Tupolevs konstruktioner blev normgivande för militärt och civilt flyg. Under andra världskriget var Tupolevs Tu-2 en av Sovjetunionens främsta frontlinjebombare.

Några kända flygplan är Tupolev Tu-154 som är ett av världens vanligaste medeldistansplan och Tupolev Tu-95, som är världens snabbaste turboprop. Tupolev Tu-144, ett passagerarplan som kunde gå i överljudshastighet utvecklades samtida med Concorde och de båda flygplanen liknade varandra. Det lades ner efter att ha havererat på en flygutställning.

Tupolev firade sitt 90-årsjubileum 22 oktober 2012, men den ryska regeringen har nu slagit ihop Tupolev med Mikoyan, Ilyushin, Irkut, Sukhoi, och Yakovlev till ett nytt företag United Aircraft Corporation.





Howard Hughes drabbades i ungdomen av en sjukdom, som ledde till nedsatt hörsel. Hughes ärvde hus och mark till ett värde av en miljon dollar som han fick disponera, men företaget Hughes Tool, som startats av hans far, ställdes under tvångsförvaltning. 1925 inledde han en rättsprocess för att återfå kontrollen av företaget. Han vann vid domstolsförhandlingarna och kunde bli VD trots att han inte fyllt lagstadgade 21 år.

Företaget byggde reservdelar för petroleumbolagen och det tog inte lång tid förrän branschen fullkomligt exploderade då var man kunde köpa sin egen bil, Ford Model T. Det hela bidrog till att skapa Hughes en enorm förmögenhet.

I slutet av 1920-talet ville Hughes ägna sig åt film och han producerade och registrerade ett femtiotal filmer. Mest känd blev filmen Rymdens demoner 1930, som gav en romantisk syn på första världskrigets luftstrider.

Under tidigt 1930-tal grundades Hughes Aircraft Company. Företagets första producerade flygplan blev H-1 Racer som var specialkonstruerat för hastighets- och distansrekord. Hughes satte själv ett stort antal rekord med flygplanet i mitten av 1930-talet.

1938 slog han ännu ett rekord genom att i juli flyga jorden runt på 3 dagar, 19 timmar och 17 minuter. Han hyllades vid hemkomsten med en storslagen parad. 1939 blev han huvudägare till flygbolaget Transcontinental and Western Air



Spruce Goose

Inc (TWA). Som 1950 ändrade namnet till Trans World Airlines.

Under andra världskriget tillfrågades Hughes om det var möjligt att tillverka ett flygplan, som kunde transportera trupp och material till Europa då de tyska ubåtarna i Atlanten gjorde att många konvojfartyg sjönk. Lösningen, som Hughes presenterade, var Hughes H-4 Hercules, en flygbåt.

Howard Hughes sjöflygplan kallas ofta för "Spruce Goose". Ursprungligen kom idén från Henry Kaiser (känd för produktion av Liberty-fartyg för transporter över Atlanten under andra världskriget). Flygplanet hade åtta motorer och bestod av laminerat trä (främst björk).

När flygplanet var klart för provflygning 1947, var kriget över och amerikanska försvaret var inte längre i behov av flygplanet utan ville bryta kontraktet. Det fanns även en misstanke om att planet på grund av sin storlek inte skulle kunna flyga. För att bevisa att flygplanet fungerade genomförde Hughes provflygningen ensam.

Den 2 november 1947, gjorde Howard Hughes och en liten skara ingenjörer en oanmäld flygning inför ett tusental glada åskådare. Med Howard Hughes vid spakarna, lyfte den flygande båten 25 meter från vattnet, och flög i ungefär en minut med en toppfart på 120 kilometer per timme innan den gjorde en perfekt land-

ning.

Planet flög knappt 70 sekunder rakt fram över Long Beach. Efter flygningen bestämde Hughes att inga andra skulle få flyga med flygplanet. "Spruce Goose" är nu en turistattraktion i ett museum i Mac Minnville, Oregon efter att länge ha legat på Long Beach i Los Angeles. Det är fortfarande det största flygplan, som någonsin byggts, och det var decennier före sin tid i början av 1940-talet.

Trots att han själv hade havererat fyra gånger medan han testade nya flygplans typer och överlevt, dog Howard Hughes i ett flygplan 5 april 1976 – dock som passagerare, när han var på väg till USA för erhålla läkarvård för njursvikt.

"Spruce Goose" med sin kapacitet på upp till 700 passagerare var ett jättekälv framåt jämfört med då existerande flygplan, som låg på omkring 100. Alla dessa tidigare flygplan var drivna av propellrar, men med jetmotorn och framförallt bypassmotorn hade man fått en drivkälla med helt annan kapacitet. Under 1960- och 1970-talet blev utvecklingen explosiv, men det började så smått redan på 1950-talet med de första jetdrivna passagerarplanen...

- 1948** First turboprop airliner . Vickers Viscount
- 1949** First jet airliner. de Havilland Comet
- 1954** Start of Boeing's dominance of civil market. Boeing 707
- 1960** GE discloses the bypass engine
- 1967** Highest selling jet airliner launched. Boeing 737
- 1969** World's largest airliner. First widebody. Boeing 747
- 1970** Airbus formed
- 1982** First composite primary. Airbus A310
- 1989** First fly-by-wire airliner. Airbus 320

**A380**

Airliner history notes

Den 27 juli 1949 lyfte det första jetdrivna passagerarplanet, "de Havilland DH 106", från Hatfield i England drivet av fyra Ghost turbojetmotorer. Det var dock ingen kommersiell framgång. Det stod på marken under en längre period efter en serie krascher och under tiden utvecklade de amerikanska tillverkarna linjeflygplan som var större, snabbare och mer ekonomiska. Det blev Boeing 707, som revolutionerade flygresorna och startade jetåldern.

**Boeing 707**

"Come fly with me, let's fly, let's fly away," sjöng Frank Sinatra och bilden av en Boeing 707 med vita ångstrimlor mot den djupblå stratosfären etsade sig fast. Den här låten var från Sinatras album med samma namn. Det släpptes en månad efter att detta epokgörande trafikflygplan gjorde sin jungfruflygning. Innan året var ute var den eleganta 707 i tjänst med Pan-Am. Den skulle förändra vårt sätt att flyga och se världen.

Boeing 747 är ett trafikflygplan tillverkat av Boeing, ofta kallat Jumbo Jet eller bara 747. Denna flygplansmodell var under nästan fyra decennier, innan Airbus A380 kom, världens största passagerarflygplan. Boeing 747 har fyra motorer och kapacitet att ta cirka 550 passagerare med sin unika uppbyggnad, med ett mindre övre däck, ofta avsett för businessklass, och ett större undre däck.

Flygplanstypen är, med sin operationsradie på cirka 13 570

kilometer, en marschfart på cirka 900 kilometer per timme och en standardflyghöjd på 9 000–10 000 meter, främst avsedd för interkontinentala flygningar. Vissa versioner kan till exempel flyga New York–Tokyo utan mellanlandning.

Det finns större flygplan än de som visas här. Amerikanska "C-5 Galaxy" är världens största trupptransportplan och kan bära tusen soldater i en trippeldäck-version. Byggandet av prototypen inleddes i augusti 1966. Den första "C-5a Galaxy" rullade ut den 2 mars 1968.

Fram till införandet av den ryska "Antonov 124 Condor"(1982) var "Galaxy" det största och tyngsta flygplanet i världen. Antonov ASTC, baserat i Kiev i Ukraina, är nu världens största lastflygplan i produktion. Liksom "C-5 Galaxy" är det inte ett passagerarflygplan. Det största passagerarflygplanet för närvarande är "Airbus A380" med möjlighet att växa till 800 passagerare. Det gjorde sin första flygning 2006, men ser inte ut att bli någon kommersiell succé. Hur storleken kommer att utvecklas framöver är svårt att sja om men enligt den så kallade 2/3-lagen växer volymen (vikten) snabbare än arean (lyftkraften) så det förefaller att finnas en naturlig gräns för hur stora flygplan kan bli. Kanske är den redan nådd.

**Boeing 747**

Historien om helikoptern

Arbetet med att utveckla det som blev helikoptern började långt före flygplanet och fortsatte långt efter det att bröderna Wright uppnådde ett fastvingat flygplan. Det skulle ta ytterligare tre decennier att komma fram till en praktisk helikopter, men förmågan att lyfta och landa i små utrymmen och att sväva och manövrera med låg hastighet var oundgänglig.

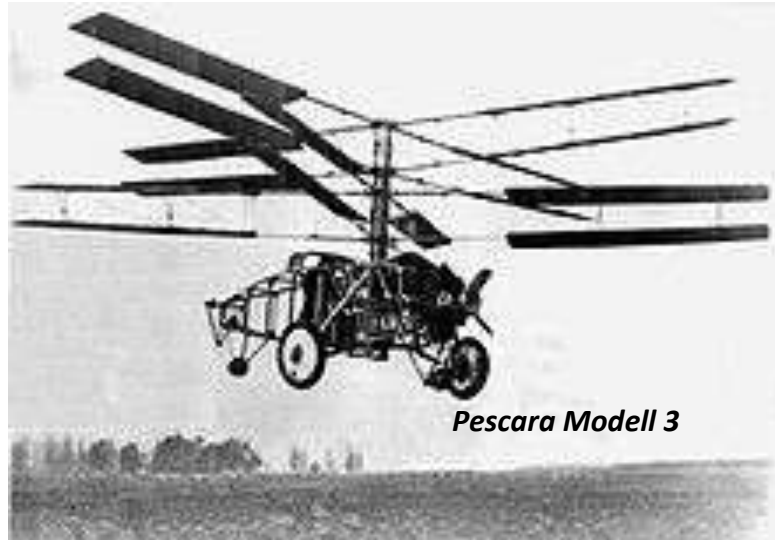
Europa var platsen för rotorcraft uppfinningar under de första decennierna av 1900-talet. I september 1907 lyfte Gyroplane nr. I i Frankrike, byggd av bröderna Jacques och Louis Breguet, två fot upp i luften i en minut. Men den var instabil och okontrollerad så vad som anses vara den första bemannade fria flygningen, om än kort, kom i november, då Paul Cornus tandemrotorhelikopter lyfte sig en fot under tjugo sekunder.

Banbrytande flygningar följde snabbt och inte alla i Europa. I USA byggde den ryske flyktingen George de Bothezat en experimentell helikopter med fyra rotorerna för armén. Den flög först i december 1922 och fortsatte med att bära passagerare, men den var komplicerad och svår att kontrollera och skrotades. 1922 modifierade Emile Berliner, en tysk invandrare och uppfinnare av gramfonplattan, ett Nieuport-biplan med vingmonterade rotorerna som kunde lutas något. Detta flygplan kunde sväva och flyga framåt, men hade dålig kontroll och prestanda.

Men genombrotten fortsatte i Europa. I Frankrike utvecklade den argentinske markisen Raul Pateras Pescara en koaxialrotorhelikopter, vars tvillingrotorer var och en hade fyra biplanblad. Modell 2 lyfte 1922 och den förbättrade modellen 3, se bild, satte ett distansrekord på 738 meter år 1924.

Fransmannen Etienne Oehmichens helikopter nr. 2 hade fyra rotorerna för lyft, sex propellerar för stabilitet och kontroll och två för framdrivning. Efter en första flygning 1922 utförde detta flygplan 1924 den första helikopterflygningen längre än en kilometer.

Tjugo år efter att bröderna Wright hade flugit sin Flyer var helikoptern fortfarande långt ifrån en praktisk maskin. Världskriget hade påskyndat flygplanets utveckling och 1924 hade man redan etablerat flygpost och passagerarflyg, men helikopterpionjärer försökte fortfarande hitta en lyckad konfiguration med tillräcklig lyftkraft och med den stabilitet och kontroll, som behövdes för långvarig flygning. Breguet Gyroplane hade fyra rotorerna, var och en med fyra biplanblad, Cornu använde tandemrotorer, Berliner tvärgående och Pescara koaxialbiplanrotorer.



Pescara Modell 3

År 1925 utformade holländaren Albert Gillis Von Baumhauer en helikopter med en enda huvudrotor, två slanka aerodynamiskt effektiva blad, kollektiv och cyklisk styrning via en svetsplatta och en stjärtrotor med egen motor. Det flög många gånger, men förstördes 1930 när ett blad separerade på grund av utmattning av en gångjärnskruv. I avsaknad av medel byggdes det inte om.

Den italienska flygteknikern Corradino D'Ascanio byggde i 1930 D'AT3, en koaxialrotorhelikopter som använde tre små propellerar för styrning. I flera år efter andra världskriget fortsatte D'Ascanio med att utforma helikoptrar för Agusta samtidigt som han låg bakom Vespa-scootern hos Piaggio.

Ett annat tidigt försök var 1-EA byggd av Tsagi, Sovjetunionens aerohydrodynamiska institut. Det flög 1932 och hade en enda fyrbladig huvudrotor och ett par små propellerar på både nos och stjärt för antivridmomentkontroll. 1-EA hade två roterande motorer och bra prestanda och slog ett inofficiellt höjdreord i 1932, men hade dålig kontroll.

Den sovjet-georgiske ingenjören Nicolas Florine, som arbetade i Belgien, utformade den första framgångsrika tandemrotorhelikoptern - en konfiguration som senare förbättrades av Frank Piasecki. I Florines design roterade båda rotorerna i samma riktning, och vridmomentreaktionen motverkades genom att luta rotordiskarna i

motsatta riktningar. Florins andra helikopter flög 1933 och slog både flyguthållighets- och höjdreord.

Vid mitten av 1930-talet var alltså den praktiska helikoptern nära. Men en annan typ av rotorcraft, autogiron, hade redan funnits i nästan ett decennium. Framdrivningen sker där med en propeller i flygkroppens nos eller akter. Ovanför flygkroppen sitter en rotor på en vertikal axel som under färd inte har någon koppling till autogirons propellermotor. Den rotorn kan betraktas som smala flygplansvingar som utför en cirklande glidflykt och på så sätt bär upp farkosten. Rotorbladen hålls igång av fartvinden genom att axeln är något tillbakalutad. Under 1930-talet och 1940-talet opererade Rolf von Bahr ett antal autogiron, som flög turister i de svenska fjällen.

Autogiron kan starta och landa på kort avstånd, men inte sväva. Ändå pekade utvecklingen på många av de genombrott som till slut ledde till den praktiska helikoptern. Autogiron uppfanns av den spanska ingenjören Juan de la Cierva, vars fjärde konstruktion, C.4, var den första att flyga, 1923. Den förbättrade C.6, baserad på en Avro 504K följde 1924 och dess framgång ledde till bildandet av Cierva Autogyro Co. i Storbritannien för att utveckla och producera maskinerna.

Ciervas genombrott var utvecklingen av en mekanism, som gjorde det möjligt att ställa lutningen på bladet. Detta löste ett grundläggande problem med rotorerna i framåt-gående flygning: Bladet på ena sidan möter rotorhastighet plus lufthastighet och genererar mer lyftkraft, medan bladet på den andra sidan får rotorns hastighet minus lufthastigheten och genererar mindre lyft.

I tidiga konstruktioner orsakade denna osymmetri hos lyftkraften en obalanserad roll så snart man började flyga framåt. Cierva lade till ett gångjärn vid rotorerna som gjorde att det framåtgående bladet kunde vridas för att minska angreppsvinkeln och lyftkraften medan det motsatta bladet vreds för att öka lyftkraften. Gångjärnet balanserade rotorn och var en nyckel teknik för att möjliggöra praktiska helikoptrar.

1929 förvärvade Harold Pitcairn rättigheterna till Ciervas konstruktioner och Pitcairn-Cierva Autogyro Co.-senare Autogyro Co. of America-började utveckla och producera flygplan. i USA förvärvade Kellett Autogyro Corp. en licens från Pitcairn och autogyro-produktionen accelererade och ligger till grund för dagens helikopterindustri. Cierva dödades i en flygplansolycka 1936, året då den första praktiska helikoptern flög, men cirka 500 autogyros producerades 1945, då helikopterns ankomst väsentligen avslutade autogyros tid.

Trots att man lade till förmågan att snurra rotorn på marken för att möjliggöra ett "hopp" upp i luften, särskilt österrikiska Raoul Hafner AR.III, så var autogyros oförmåga att sväva det som dömde ut den när en fungerande helikopter kom fram och i mitten av 1930-talet var de flesta bitarna på plats. Den tyska ingenjören Heinrich Fockes F.61 gjorde sin första flygning i juni 1936. Med sin stabilitet, kontroll och prestanda anses F.61 vara den första funktionella helikoptern.

Focke-Achgelis & Co. fortsatte att producera den större Fa.223 Drache, men den första serieproducerade helikoptern gjordes av Tysklands Anton Flettner 1942 med Fl.282 Kolibri. Även om Tyskland i början var i ledningen, erkänns föregångaren till den moderna helikoptern som Igor Sikorskys VS-300. I början av 1900-talet hade Sikorsky experimenterat framgångsrikt med en koaxialrotorhelikopter men övergav detta för att designa stora fastvingade flygplan, först i Ryssland sedan i USA efter att ha emigrerat 1919. VS-300 flög först i maj 1940, men sedan i december 1941 i sin slutliga konfiguration: singel



huvudrotor med cyklisk kontroll och en enda stjärtrotor. Den moderna helikoptern föddes.

Utvecklingen var snabb. VS-300 ledde till Sikorsky R-4, den första helikoptern som producerades i betydande antal (131 byggdes) och den första som gick in i tjänst med USA:s militär, 1942. År 1943 flög Arthur Young en tvåbladig rotor med en stabiliseringsstång som fungerade som ett mekaniskt gyroskop, som delvis styrde rotorn och stabiliserade helikoptern. Detta ledde till Bell 47, som år 1946 blev den första helikoptern att få civil certifiering.

Den andra helikoptern att flyga i USA var Piaseckis enrotoriga PV-2 av år 1943 och han uppnådde berömmelse genom att utveckla en transporthelikopter med tan-

demrotor, HRP Rescuer, som först flög 1945 och ledde till Boeing CH-47 Chinook, fortfarande i produktion 55 år senare.

Industrin spred sig snabbt. I Sovjetunionen flög Nikolai Kamovs första helikopter, Ka-8 1947 och introducerade designbyråns koaxial-rotor konfiguration. Men den första helikoptern att gå in i serieproduktion i Sovjet var Mikhail Mil's enrotors Mi-1, som flög 1948.

I efterkrigstiden i Europa började den franska statliga flygplanstillverkaren SNCASO att flyga sin SO1100 Ariel I 1949 med en rotor driven av tryckluftsspet-sar. Detta ledde till Frankrikes första produktionshelikopter, SO1121 Djinn.



Företaget SNCASE flög under tiden SE3110 1950, vilket ledde till familjen Alouette. Företagen slogs samman för att bilda först Sud Aviation, sedan Aerospatiale, som förenades med Tysklands MBB 1992 för att skapa Eurocopter, nu Airbus Helicopters.

I Storbritannien startade Cierva och Hafner en helikopterindustri som växte till att omfatta Bristol, Fairey, Saunders-Roe och Westland. De konsoliderades 1960 runt Westland och byggde sedan Sikorsky-helikoptrar på licens. År 2000 fusionerades Westland med Italiens Agusta, som hade gått in i industrin 1952 genom att bygga Bell helikoptrar på licens. De bildade AgustaWestland, nu Leonardo-Finmeccanicas helikoptersektion.

Helikoptrarna utvecklades snabbt i förmåga efter andra världskriget med hjälp av turbinmotorn med högre kraft-till-vikt-förhållande än kolvmotorn. Den första turbindrivna helikoptern att flyga, 1951, var Kamans XHTK-1, men den första turbindrivna helikoptern att gå i produktion var Sud Aviations SE3130 Alouette II, som drevs av en Turbomeca Artouste. Då den först flög 1955 slog den snabbt höjdrekor-det medan den fortfarande var i utveckling. Den första turbinhelikoptern som gick i produktion i USA var Bell 204, mer känd som UH-1 "Huey".

Allt eftersom prestanda förbättrades ökade också storleken. Vid första flygningen 1961 hade tandemrotorn CH-47A Chinook en maximal startvikt på 15 ton och en nyttolast på 4,5 ton. Dagens CH-47F väger 22,5 ton med en 11 ton nyttolast. Sikorskys singelrotor CH-53A vägde in på 16 ton men slog 1968 ett rekord genom att lyfta 23 ton inklusive en 13 tons nyttolast, ett rekord för en icke-sovjetisk helikopter.

Den största helikopter som någonsin byggts, Mils V-12, flög 1968. Med en maximal startvikt på 104 ton och nyttolast på 40 ton hade fyrturbinhelikoptern samma lastrumsdimensioner som ett Antonov An-22 flygplan. V-12 producerades dock aldrig, så den mera blygsamma Mil Mi-26 blev den största helikoptern att gå i serieproduktion. Först flygande 1977, väger Mi-26 55 ton med en 20 ton nyttolast.

Medan de flesta prestanda har förbättrats dramatiskt under de 75 åren sedan Sikorsky inledde utvecklingen av den moderna helikoptern har hastigheten inte förändrats mycket. För en vanlig helikopter är den begränsad till ungefär 160 kt på grund av att det framåtgående bladet blir super-

soniskt vid högre hastigheter.

Det har gjorts upprepade försök att göra helikoptrar snabbare. En av dessa är att ha en vinge för lyftkraft. Detta avlastar rotern från behovet att producera både lyft och dragkraft och innebär att bladen inte behöver ha så hög hastighet.

Bell 533 High Performance Helikopter var en tidig Huey prototyp utrustad med en vinge och två jetmotorer. I slutändan drevs den av ett par 3300-lb. Pratt & Whitney J60s monterade på vingspetsarna. Den nådde 274 kt. År 1962. Lockheeds XH-51 nådde 263 kt. samma år.

XH-51 ledde till den amerikanska arméens Lockheed AH-56 Cheyenne-attackhelikopter, som först flög 1967 och nådde 212 kt. på en vinge och dragkraften hos en enda 3925-shp General Electric T64 turbin som drog både den styva rotern och en skjutande propeller i stjärten. Cheyenne avbröts och ersattes av den konventionella 150-kt Plus Hughes (senare McDonnell Douglas och nu Boeing) AH-64 Apache.

cept. Detta nådde 263 kt. år 1973. Den var snabb, men bullrig, skakig och komplex att flyga, vilket krävde två piloter för att styra fyra motorer: två turboaxlar som driver de koaxiala styva rotorerna och två turbojets för framdrivning.

Under 2008 reviderade Sikorsky konceptet och tillämpade flyg- och vibrationsstyrning för att kombinera hög hastighet med helikopterns låghastighetsförmåga. Den lilla X2-teknikdemonstratorn uppnådde 260 kt. 2010. Sikorsky flygprovar nu 240-kt. S-97 Raider lätt taktisk helikopter och bygger med Boeing, 250-kt. SB-1 Defiant mediumlyft demonstrator för US Army.

Den andra vägen var tiltrotorn. Först att flyga var Transcendental 1-G, 1954, men den kom aldrig till flygtrafik. Istället gjorde Bell XV-3, som flög 1955, de första omvandlingarna mellan helikopter och flygläge. Detta ledde till den mycket framgångsrika Bell XV-15, som först flög 1977,. Den nådde en hastighet på 300 kt. och banade vägen för 270-kt. Bell Boeing V-22 Osprey, som år 2007 blev den första tiltrotorn att gå in i tjänst.



Mils V-12 i flygmuseet i Monino Moskva

Airbus återupptog utvecklingen av helikoptrar när man flög sin experimentella X 3 till 263 kt. 2013. En raffinerad version ska flyga år 2019 under European Clean Sky forskningsprogrammet. Airbus hybridhelikopter har dubbla turboaxlar som driver både rotern och, via axlar som går genom vingen, rörliga propellrar vid spetsarna. Den förväntas leda till en produktion av höghastighetshelikopter i mitten av 2020-talet.

En väg till högre hastighet går tillbaka till Sikorsky XH-59A Advancing Blade Con-

Utvecklingen av en civil tiltrotor påbörjades av Bell 1998 och har slutligen övertagits av partnern Agusta 2011. Efter många problem planeras en nio passagerare, 275-kt. AW609 att certifieras 2018. För första gången sedan Sikorsky flög VS-300 finns det en verklig möjlighet att helikopterns unika egenskaper kan kombineras med en eftertraktad ökning av fart och räckvidd.

Passagerarflygets historia

Utvecklingen av det kommersiella flygnätet skedde väldigt långsamt och hejdades av det första världskriget. Att resa med flygplan var länge mycket dyrt och riskabelt. Det grundades flera flygbolag under 1920-talet och framåt, men passagerarantalet ökade ytterst lite. Denna utveckling skulle dock vända efter andra världskriget, då flygtrafiken fick ett uppsving tack vare det stora antalet militära flygplan som kunde omvandlas till kommersiella passagerarplan och att jetmotorerna uppfanns mot slutet av andra världskriget. [Wie die Zeit vergeht mit... Passagierflugzeugen - Spiegel Online](#) 26.06.2014

Det första passagerarflygplanet byggdes i Ryssland. Det fyrmotoriga Sikorski Ilya Muromets erbjöd passagerarna alla typer av bekvämligheter. Passagerarkabinen var utrustad med bekväma fåtöljer, i det bakre området fanns en separat privat hytt med en säng. På övre däck var ett tvätttrum och det fanns ljus, värme och en toalett. De första sexton passagerarna steg ombord i februari 1914. Maskinen användes dock inte för regelbunden trafik ty under första världskriget låg civil luftfart i träda.

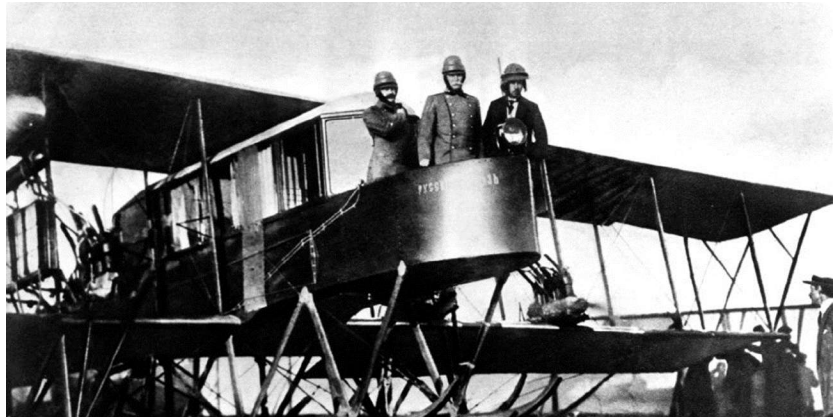
Under kriget satsade man bara på militär användning av flygplan. Först när kriget avbröts kom flygplanskonstruktörerna tillbaka till arbetet med att öka den civila luftfarten. När och var det började är dock oklart i dag. Många pionjärer hävdade att just de var först med reguljär flygning.

Kanske kan den flygande båten 1914 i Florida mellan St Petersburg och Tampa anses vara en reguljär flygning? Maskinen flög två gånger om dagen över Tampa Bay. För fem dollar kunde man passera viken på bara 20 minuter. Tåget kostade bara en dollar, men var på väg i flera timmar.

Ett tyskt flygbolag (DLR) startades i februari 1919. Det transporterade främst post och tidningar, men hade också utrymme för två passagerare. Under den första månaden, bar DLR nitton passagerare mellan Weimar och Berlin under 120 flygningar.

Det internationella flyget från London till Paris startade 25 augusti 1919 av De Havilland British Aircraft Transport and Travel Ltd. Fyra passagerare kunde flyga i den konverterade militära maskinen. Men det fanns ingen nämnbar komfort. Flygningen förblev ett farligt äventyr.

I Sverige upprättades försöksvis 1920 trafik av Svenska lufttrafikbolaget mellan Malmö och Warnemünde och 1921 mellan Stockholm och Reval. 2 juni 1924 öppnade AB Aerotransport den första egentliga reguljära flyglinjen mellan Sverige och utlandet på sträckan Stockholm-Helsingfors. I juli samma år tillkom Malmö-Köpenhamn-Hamburg-linjen, som 1925, då Aerotransport erhöll statssubventioner utsträcktes till Amsterdam, där möjlighet gavs att med flyg ansluta till London och Paris.



Konkurrensen var snart igång. Efter krigets slut byggdes en del bombplan om till passagerarflygplan. Företagen omgav sina gäster redan från början med förhållandevis lyxigt designade interiörer. Dekorationer, gardiner och vägglampetter skapade en salongsatmosfär där passagerarna kanske kunde glömma faran. Men det fanns inga flygvärdinnor med mat och dryck och säkerhetsbälten hade ingen hört talas om ännu.

Trots att flyget i sig självt var en attraktion, började flygbolagen redan från början tänka på underhållning ombord. Imperial Airways var det första flygbolaget att utrusta ett passagerarflygplan med en skärm och en filmprojektor. Den 24 april 1925 presenterade man den aktuella filmen "Den Försvunna Världen" på ett flyg från London till Paris. Imperial Airways säkrade därmed en plats i Guinness rekordbok.

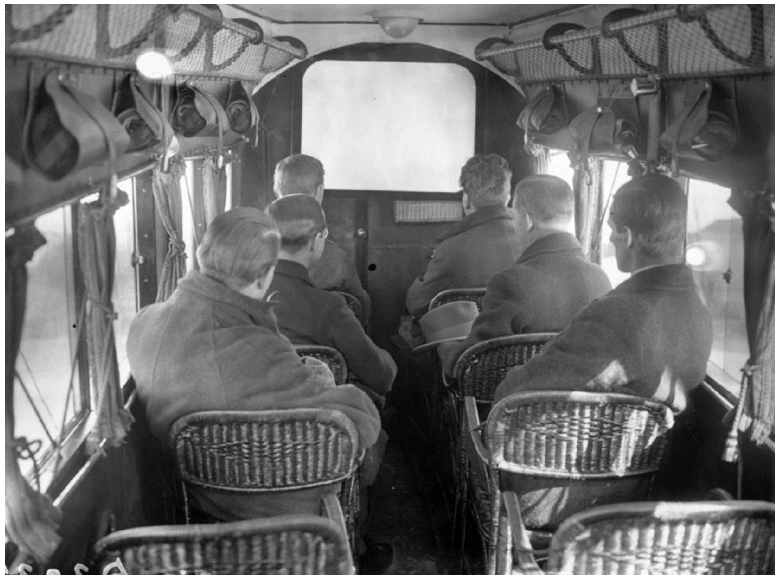
De första rörliga bilderna ombord var det dock inte, eftersom man redan under en mässa i Chicago 1921 hade kunnat titta på kortfilmen "Tjena Chicago" på en naturskön flygning.

I maj 1927 kom så Imperial Airways med den första kabinbesättningen. I det lyxiga planet "Silver Wing" reste passagerare i en bekväm kabin med sin egen steward och fördrev tiden med en fyrrättersmiddag. I Tyskland införde Lufthansa från april 1928 flygvärdinnor. Arthur Hofer, en före detta Mitropa-servitör tjänstgjorde i "Flying Dining Car", en Junker G 31, som gick mellan Berlin och Paris.

Den första flygvärdinnan var den amerikanska Ellen Church. Boeing Air Transport, föregångare till United Airlines, vågade försöka...

Den utbildade sjuksköterskan och hobbypiloten Church kanske skulle ha föredragit att flyga planet själv, men en kvinna i sittbrunnen var på trettioalet otänkbart.

Flygplanen blev snabbare och säkrare. De flög högre, längre, korsade Atlanten och Stilla havet. Ombord flyttade underhållningen in. Att visa en film under flygningen var i mitten av trettioalet vanligt för länge sedan. Alltid nya attraktioner väckte fascination hos publiken. Musiker och sångare gav konserter ombord. Man gjorde modevisningar. Den trådlösa kommunikationen gjorde det möjligt att sända från sportevenemang såsom hästkapplöpningar.



"Passageraren är kung!" var mottot fortfarande under fyrtioalet. Naturligtvis var det tillåtet att röka ombord och flygvärdinnorna serverade gärna med att sätta eld på cigarren.

Flyga var fint ända in på femtioalet - och dyrt. För passagerarna var varje flygning en social händelse för vilken man klädde sig på lämpligt sätt: herrarna reste i kostym och slips, damerna i resväskor smyckade med pärlor och i höga klackar.



Distanserna blev allt längre. Den 28 juni 1939 var Pan-American Airways (Pan Am) det första flygbolaget att ta över den transatlantiska rutten på linjerna New York-Marseille och New York-Southampton med Boeing B-314 Clipper flygplan.

Flygplanstekniken utvecklades snabbt. Medan Auguste Picard arbetade på utvecklingen av trycksatta kabiner, experimenterade andra tekniker med andningsmasker, som på en Northwest Airlines flygning 23 februari, 1939. De tio passagerarna andades en blandning av helium och syre och kunde flyga bekvämt på en höjd av 6000 meter, vid en extern temperatur på minus 32 grader.

Man erbjöd också passagerarna alla tänkbara bekvämligheter i passagerarutrymmet. Som första transatlantiska jetplan flög Comet 4 från New York till London på mindre än sex timmar. Designern Gaby Schreiber designade interiören. Första klassens fällbara säten kan ekonomiklasspassagerare bara drömma om idag. (bild från 1958).

På 1960- talet fick flygvärdinnan huvudrollen för flygbolagen. Hon var tvungen att vara ung, vacker, vänlig och tillgänglig. Uniformen betonade hennes charm. 1967 presenterade flygvärdinnan Patty Pulsen den nya uniformen hos American Airlines: Den korta klänningen med matchande bälte ersatte den vanliga tredelade dräkten.



Från 1978 förde Concorde sina passagerare på överljudshastighet till sin destination. Planet som kallades "The Queen of the Skies" var mycket populärt och erbjöd affärsresenärer möjlighet att korsa Atlanten för ett möte och flyga tillbaka samma



dag. Bara tre timmar tog ett flyg från New York till London.

Trots det var Concorde ett kommersiellt misslyckande. Oljekrisen gjorde att ett bränsleslösande supersoniskt flygplan snart ifrågasattes, miljövänner proteste-

rade också mot buller och föroreningar. Dussintals flygbolag avbröt sina order. De 14 levererade flygplanen flög dock ända till 2003 för British Airways och Air France tills ett haveri satte punkt.

Åttiotalet ledde till förändring. På grund av oljekrisen var bränsle dyrare än någonsin. I USA gjorde man om reglerna för kommersiell flygtrafik för att främja den fria marknaden. Stora och små flygbolag försökte kompensera sina förluster genom försämrade arbetsförhållanden. Flygbesättningar tog upp arbetskonflikter.

Samtidigt lockade Eastern Airlines sina kunder med specialerbjudanden. Trots att många maskinoperatörer, piloter och flygledare gick i strejk, var maskinerna fulla. Folk kunde inte motstå en tolv dollars biljett från Boston till New York.

I början av nittiotalet blev så

flyg en allmän massrörelse. Flyg till fjärran länder var okomplicerat och framförallt överkomligt. Flygplanen fylldes upp, det var täppt, högt och tätt - speciellt i ekonomiklassen. Raderna av stolar var nära varandra. Fram till idag gäller: Fler rader med säten, fler passagerare, mer vinst.

Billiga flygbolag utan krusiduller startades. De anlitar endast den minsta möjliga besättningen ombord, det finns ingen service, drycker, mat och bagage kostar extra, raderna av platser ligger nära varandra, start och landning ligger ofta utanför större städer. Ändå är flygbolag som Ryan Air eller EasyJet mer populära än någonsin sedan slutet av 1990 - talet.

Budgetflygbolagen är dock inte en ny uppfinning. Laker Airways och Southwest Airline erbjöd sina första flyg till låga priser redan på 1970-talet.

Medan turister pressar in sig i lågprisflygplanen kan den välbärgade passageraren sträcka benen i den Airbus A380, som presenterades vid International Air Show i Berlin-Schönefeld 2010 .

Jätteplanet erbjuder plats för 489 passagerare, men bara 14 av dem kan njuta av första klassen. För dem erbjuder Emirates Airline en ny standard för komfort. I detta "lyxhotell i himlen" finns det privata sviter med massagesängar, guldlövsdekoration och duschspa. För ännu mera välbefinnande finns det två barer till förfogande. Cocktails och canapéer måste delas med affärsresenärerna, men premiumkunderna är helt ensamma vid vattenhållet på övre däck.

Ändå lanserades flygplanet en gång för att klara den ökade tillströmningen av passagerare. Lösningen på det problemet verkar dock inte bli större flygplan utan fler av-



gångar. Hur det slutar för A380 är en öppen fråga, men det billiga massflyget verkar vara här för att stanna. Om inte hårdare miljökrav sätter stopp, förstås. Även om allt flyg lades ner skulle det bara ta bort tre centimeter på en meterstock av koldioxid, men för vissa verkar det ändå vara en vagel i ögat.

Hur man byggde flygplan förr

Flygplan kanske inte ser ut att ha förändrats mycket de senaste decennierna, men under det senaste halva seklet har framsteg i hur de tillverkas varit stora och tekniken fortsätter att utvecklas när industrin driver ner kostnaderna. Limning av hartser har ersatt nitpistoler i många flygplansfabriker, men ändå behåller flygindustrin en aura av en hantverk och ett beroende av högkvalificerad manuell arbetskraft.

Träram, trådhäftning och tyghud var det som gällde för flygplansstrukturer under de första decennierna av flyget. Trä var det enda lätta materialet, som var tillräckligt starkt. Det var tillgängligt och prisvärt, lätt att arbeta med, fjädrande och reparerbart. Flygplanens långa vingar gjordes av gran och ramverket av ask. Bomullstyg applicerades med förspänning för att ge styrka och förseglades med dukfärg.

Trä förblev det viktigaste materialet, men strukturerna utvecklades snabbt under första världskriget. Deperdussin-racern (bilden)



Deperdussin

introducerade en kropp formad av tunna plywoodlager över ett cirkulärt ramverk, starkt och strömlinjeformat. I tyska Albatros-fighters limmades bärande plywoodskivor ihop med längsgående stag och inre skott. Jämfört med den tygöverdragna strukturen som var utbredd vid början av första världskriget var dessa flygplan lättare med lägre luftmotstånd, men var dyrare att tillverka och svårare att reparera.



Lockheed Vega

Efter kriget utvecklade Lockheed- (senare Lockheed-) bröderna och Jack Northrop en metod för att forma skal av laminerad gran i betongformar och producerade Vega, Orion och andra framgångsrika monoplan, men efterhand ersattes trä av metall. Under de första decennierna efter kriget ändrades tillverkningen från att limma ihop bitar av trä till att nita ihop metallplåtsdelar.



Junkers J1

Redan i december 1915 var Hugo Junkers J1 (bild) revolutionerande. J1 var gjord av stål; en svetsad ram täckt med tunn plåt och en vinge internt förstärkt av paneler med splinesformade korrugeringar. Men stål är tungt och utvecklingen av den lätta aluminiumlegeringen Duralumin av den tyska metallurgisten Alfred Wilm ledde 1919 till Junkers F13, det första helmetalltransportflygplanet. Ända till idag har detta förblivit den vanligaste flygplansstrukturkonfigurationen. Mellankrigsflygplan som Ford Trimotor och Junkers Ju52 använde även korrugerad plåt för styrka, men detta ökade motståndet.

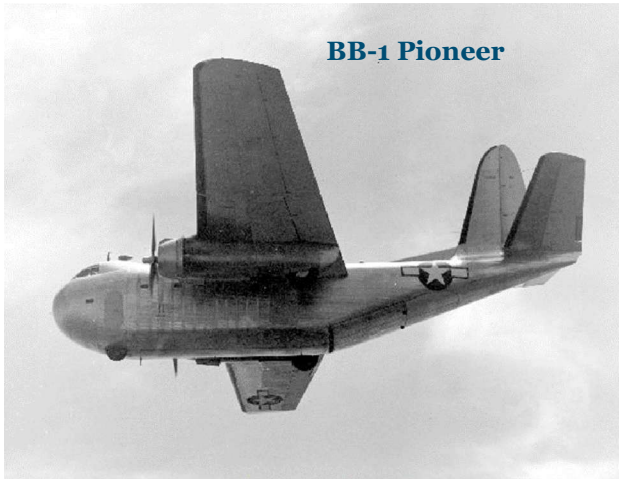
Den första nitade aluminiumstrukturen - Hall Aluminium Aircraft Co.s XFH-sjöfartskrigs prototyp flög 1929. Försänkta nitar i stället för kupolnitarna som tidigare användes, reducerade motståndet i Hughes H-1, det strömlinjeformade helmetall monoplan i vilket Howard Hughes 1935 satte världsrekord i hastighet med 560 km/h.

Vid 1930-talet dominerade plåtmetallkonstruktion flygplanstillverkningen, men brist på aluminium under andra världskriget gjorde att träet återupptogs, särskilt med de Havilland Hornet (bild). Plywood ytor limmades till en balsawood-kärna. Erfarenheten ledde de Havilland till att använda metall-tillmetall-limning i Comet jetflygplanet. Detta och andra brittiska efterkrigsflygplan använde Redux, ett starkt och slitstarkt lim som uppfanns 1942. På 1950- och 60-talet hade Fokker stor användning av metallbindning i F27 turboprop och F28 twinjetflygplan.



de Havilland Hornet

I ett försök att expandera sin verksamhet 1931, byggde US Railcar Maker Budd Co. Sin BB-1 Pioneer flygbåt (bild) av korrosionsbeständigt rostfritt stål med nyutvecklad punktsvetsning. Budd försökte igen 1943 med RB-1 Conestoga lastflygplan, men stål är tungt och visade sig vara impopulärt för flygplan. I början av 1960-talet använde dock den ryska designbyrån Mikoyan-Gurevich svetsat nickelstål för Mach 2.8 flygplanet MiG-25, eftersom värmebeständigt titan var svårt att arbeta med och svårt att svetsa. Stål fortsätter att användas för höghållfasta delar och utgör 7-10% av materialet i Airbus A350 och Boeing 787.



En av de största "osynliga" framstegen inom tillverkning av flygplan var utvecklingen av numeriskt styrd NC-bearbetning. Detta möjliggjorde mera komplexa strukturer och att man kunde reducera vikt och spara tid och kostnad. NC-bearbetningen introducerades 1942 av maskintillverkaren John Parsons men spreds bara långsamt till andra tillverkare, tills amerikanska armén på 1950-talet köpte 120 maskiner och hyrde dem till industrin. Idag är femaxlig höghastighets precisionsbearbetning standard för metallkonstruktioner.



Titans låga vikt, höghållfasthet och värmebeständighet gjorde det idealiskt för höghastighetsflygplanen från 1950-talet och 60-talet. Det första titanflygplanet var Douglas X-3 Stiletto (bild), som flög 1952, konstruerat för Mach 2, där temperaturen krävde titans värmebeständighet. Med kapacitet för Mach 3.2 var också

Lockheeds A-12 och SR-71 huvudsakligen i titan, och materialet skulle också användas för det avbrutna Boeing 2707 supersoniska passagerarflygplanet, avsett för Mach 2,7-snabbare och varmare än den konventionellt konstruerade Concorde.

Trä är en naturlig komposit, men fiberförstärkta polymerkompositer introducerades i luftfart på 1940-talet i och med glasfiber-radomer. Glasfiber och senare skaderesistenta Kevlar-kompositer användes alltmer i kabininteriorer och sekundära strukturer, liksom i helikopterrotorblad. 1969 blev Windecker Eagle (bild) det första all-kompositflygplanet att få FAA-certifiering, med hjälp av ett flexibelt fiberdukmaterial, "Fibaloy", utvecklat av Dow Chemical. Kol ersatte senare glas som förstärkande fiber.



Förutom att bygga det första helmetflygplanet var Hugo Junkers först att föreslå en dold men viktig del av många flygplansstrukturer-honeycomb. Laminering av tunna ark till en stabiliserande bikakekärna ger en sandwichstruktur, som är lätt men stark. Aero Research Ltd. 1938 utvecklade ett sätt att limma aluminiumhoneycomb och den nordamerikanska XB-70 (bilden) använde lödd honeycomb av rostfritt stål. Men det verkliga genombrottet kom med utveckling av strukturell kolfiberhoneycomb och brandbeständig Nomex-honeycomb, som i stor utsträckning användes i inredningspaneler.



Mot slutet av 1970-talet började man använda höghastighetsmaskiner för att utforma stora och komplexa strukturer från legeringar. Kvaliteten förbättrades och montering underlättades.

Först utvecklad på 1960-talet har 3-D datorstödd design (CAD) blivit ryggraden i flygindustrin. McDonnell Aircraft började använda datorer för att hjälpa till att lägga ut mönster 1959 och fortsatte att utveckla Unigraphics CAD-systemet, som nu ägs av Siemens. Det av Lockheed utvecklade Cadam, såldes senare till IBM och sedan Dassault Systems, som utvecklade det till Catia i slutet av 1970-talet. Boeing valde Catia 1984 och 777 var det första flygplanet som skulle utformas helt på dator.

Högpresterande kolfibrer skapades först från rayon 1958 vid Union Carbide, följt av en förbättrad fiber utvecklad i Japan med användning av polyakrylonitril eller PAN, det råmaterial som används idag. År 1963 utvecklade Storbritanniens Royal Aircraft Farnborough en höghållfast kolfiber, Hyfil, som licensierades till Rolls-Royce, som använde det lätta materialet i fläktbladet i RB.211-high-bypass turbofan (bilden) som driver Lockheeds L-1011 TriStar. År 1970 misslyckades kompositfläkten i fågelkollisions-testning, vilket tvingade Rolls att gå över till titan och extra kostnaderna gjorde att företaget gick i konkurs.



Rolls Royce RB211

Medan man i England utvecklade kolfiber, föreslog USA borfibrer, vilket var starkare och styvare. Borfibrer komposit användes i den horisontella stabilisatorn på Grumman F-14 och i Boeing F-15s horisontella och vertikala stjärtfenor. Men borfibrer var dyrt, och USA gick över till kolfiberkomposit för vingen på Boeing AV-8B, F/A-18 och Northrop B-2 och på Bell Boeing V-22-tiltrotorn. Dessa första generationens kolstrukturer kallades "svart aluminium", eftersom deras konstruktioner överfördes från metalliska konstruktioner och inte utnyttjade kolfibers fördelar.



Mellan aluminium och kolfiber är en familj av material, fibermetallaminat, som har funnit begränsad men viktig användning i flygplan. Utmattningsbekymmer med aluminium ledde i slutet av 1970-talet till utveckling av ett aramidfiberförstärkt aluminiumlaminat, Arall, av TU Delft och Alcoa. Men Arall hade kostnader och tillverkningsproblem. Detta ledde till ett andra generationens glasfiberförstärkt aluminiumlaminat, Glare, som är motståndskraftigt mot utmattning, slagskador, blixtnedslag och brand. Passande till dubbelkrökta paneler, används höghållfast Glare i Airbus A380-skrovet (bild).

Lättheten, styvheten och korrosionsbeständigheten hos kolfiberkomposit ledde till att de användes för 50% eller mer av Boeing 787 och Airbus A350s strukturer. Men kolfiber-flygplan innebar en återgång till dyr manuell uppläggning och montering. Resultatet är att man går mot mer integrerade strukturer för att minska antalet delar och mer automatisering för att minska kostnaderna kombinerat med nya icke-destruktiva inspektionsmetoder.

Den galvaniska korrosionen som uppstår när aluminium är i kontakt med kolfiber har lett till återkomsten av en annan lättmetall-titan. Medan komposit har vuxit till mer än 50% av strukturvikten i A350 och 787, har titanhalten mer än fördubblats till 14% sedan A320 och 737. Men titan är dyrt och svårt att tillverka, vilket driver mot produktionsprocesser som additiv tillverkning och linjär friktionssvetsning, som kan minimera avfall och minska viktförhållandet mellan råmaterial och färdig del.

Rapporterna om aluminiums död i händerna på kolfiber är överdrivna, ty metallindustrin svarade på hotet. Dess vapen är aluminium-litium (Al-Li) legeringar, som är 4-6% lättare och 5-7% styvare än konventionellt aluminium. Al-Li användes först på 1950-talet, i vinge och stjärt på den nordamerikanska A-5 Vigilante, men hade prestanda och korrosionsproblem. En andra generation användes i helikoptrar på 1980-talet; tredje generationens prestandafördelar med Al-Li ledde till betydande användning på Bombardier C-serien, A350 och 787.

Allteftersom erfarenhet av komposit har vuxit och strukturella konstruktioner optimerade runt kolfibers prestanda har uppstått har industrin drivit på för att automatisera produktionen. Automatiserad fiberplacering har ersatt handläggning där delarna är stora och enkla och volymerna tillräckligt höga för att motivera investeringar. Automatiseringen går även in i monteringen (där produktionshastigheten tillåter) för sådant som borrar av hål och införande av fästansordningar samt inspektion av färdiga delar för dimensioner och defekter.

Men kolfiber har medfört andra utmaningar som bara börjar bli åtgärdade. En är slöseri med material. Bearbetning kan ta bort 90% eller mer av metallen i en maskindel, men avfallet är återvinningsbart och mycket av råmaterialets värde kan återvinnas. Återvinning av kolfiber är däremot i sin början och hittills är återvinningsbara fibrer endast användbara i mindre värdefulla tillämpningar.

En annan är variabilitet. Med komposit tillverkas material och del samtidigt. Diametern hos fibrer och mängden harts i en komponent kan variera tillräckligt för att göra toleranserna när delar skall förenas till ett problem, vilket kräver tidskrävande montering. Snäva toleranser är nödvändiga vid framställning av kommande kommersiella flygplan, eftersom deras konstruktörer strävar efter att åstadkomma motståndreducerande laminärt luftflöde över vingar och stjärt.

Kolfibers dimensionella variabilitet är också en utmaning när det gäller att automatisera slutmontering, men industrin utvecklar designverktyg för att bättre förutsäga variabilitet och kontrolltolerans och eliminera delar, monteringssteg och toleransuppbyggnad såväl som robotar-och "cobots" som arbetar tillsammans med människor för att klara av variationerna.

Till skillnad från de industrirobotar som används för bilar, är robotarna som nu ses på flygplansmonteringslinjerna stora, ändamålsenliga maskiner programmerade att repetitionsmässigt för ena skrovkroppar och vingar. Bilrobotar gör enkla uppgifter vid höga volymer, medan flygplansmontering innebär uppgifter i blygsam takt, ofta på delar som är för stora och tunga för konventionella industrirobotar.

Från borring och sammanfogning har robotar utvidgats till applikationer som svetsning, tätning, målning och efterbehandling samt installering av fästen-uppgifter som är tröttsamma och potentiellt farliga för människor och som kan innebära betydande omarbetningar och därmed vara ekonomiskt meningsfulla att automatisera. F-35-programmet använder till exempel industrirobotar för att måla och applicera beläggningar, som ska ge smygegenskaper.

Industrin tar in mobila, modulära och flexibla robotar på sammansättningslinjerna och är särskilt inriktad på att utveckla system som kan samverka med människor på komplexa uppgifter. Exempelvis kan man använda mekaniska exoskelett för att hjälpa tekniker att bära tunga laster eller arbeta i svåra utrymmen. Multi-robotmonteringssystem för stora konstruktioner och humanoidrobotar, som kan ta över repetitiva arbetsuppgifter från arbetare testas också.

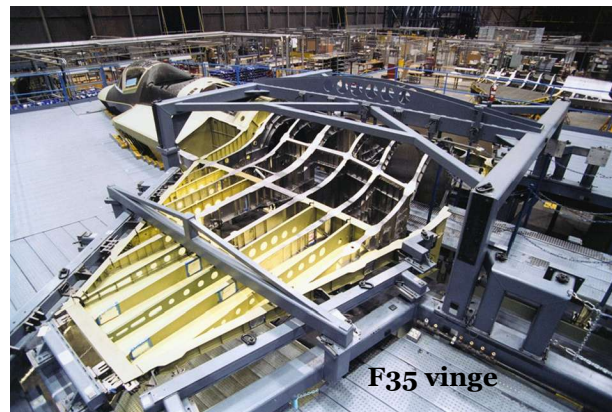
Användningen av titan för att undvika korrosionen mellan kolfiber och aluminium har lett till ett problem med höga råmaterial och bearbetningskostnader. För att minska kostnaden i 787, där höghållfast legering utgör 15% av strukturvikten, har Boeing ersatt titan med aluminium genom att utveckla beläggningar som skyddar denna. Men den största ansträngningen inom industrin är att minska "buy-to-fly"-förhållandet för titan-komponenter. Buy-to-Fly är förhållandet mellan vikten av det inköpta materialet och den färdiga delen och kan vara större än 20: 1 och ibland så hög som 40: 1 för nyckelkomponenter på 787-vilket betyder att mer än 95% av råmaterialet avlägsnas och måste återvinnas. Resultatet är en tendens mot processer som precisionssmide, som kan producera delar nära sin slutliga form med mindre maskintid och avfall.

En annan sådan process är linjär friktionssvetsning. Den gör det möjligt att smälta enkla titanblock i former från vilka komplexa delar kan bearbetas med mindre avfall. Blocken pressas samman under högt tryck och vibreras med hög hastighet så att de smälter ihop i en kontinuerlig metalldel. Linjär friktionssvetsning är en variation på friktionsrörsvetsning, som används av NASA, SpaceX och United Launch Alliance för att tillverka raketbränsletankar.

Men den process som uppmärksammas mest just nu är additiv tillverkning eller 3-D-utskrift, som lovar att möjliggöra komplexa, högpresterande metallkomponenter att tillverkas på begäran utan verktyg och liten eller ingen färdig bearbetning. Det handlar dock inte bara om att skriva ut en del från en 3-D datorstött designfil. Att bevisa att en tryckt del matchar eller slår prestanda för en gjuten eller smidd del är inte en enkel uppgift. Pulvermetallkvalitet, restspänningar, mekanisk prestanda

och ytfinish på tryckta komponenter är alla utmaningar som måste övervinnas för att möjliggöra utbredd användning inom flygindustrin.

Med additiv framställning liksom med kolfiber produceras material och del samtidigt, vilket innebär en lång process för att kvalificera både råmaterialet, vanligtvis metallpulver eller tråd, och den exakta processen som används, vilket kan innebära en laser, elektrisk ljusbåge eller annan energikälla i vakuum eller inert atmosfär. Användningen av metall 3-D-utskrift i turbinmotorer och raketmotorer ökar, och utvecklingen av fiberförstärkt plast 3-D-utskrift kommer att få en långsiktig påverkan.



När man tittar längre fram, är biologiskt inspirerade konstruktioner, tillsats av blandat material och inbyggd elektronik och kabeldragning alla funktioner som kan få en betydande inverkan på flygtillverkning, allteftersom tekniken blir mogen.

Små obemannade flygplan tillverkas rutinmässigt additivt och kan snart 3-D tryckas på begäran, till exempel kan ett fordon skräddarsys för ett specifikt uppdrag och produceras över natten för en användare. Tekniken kommer att migrera till större flygplan, liksom mer komplexa och kritiska delar när erfarenheten växer. Redan flyger additivt tillverkade metalldelar i rymdfarkoster, och de första komponenterna utvärderas i flygplan.

Flexibel tillverkningsteknik som 3-D och robotteknik är något som flygindustrin har sökt efter i årtionden för att möta de oundvikliga marknads cyklerna. Robotik och 3-D-utskrift, liksom fortsatt materialutveckling ger långsiktigt hopp för mer prisvärda flygprodukter, men det är dyra investeringar.

