



BEVINGAT

FLYG- OCH RYMDTEKNISKA FÖRENINGEN

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



BEVINGAD FLYGHISTORIA

Historiska artiklar ur Bevingat 2014—2016

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

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 uppe 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 svensxa, 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.

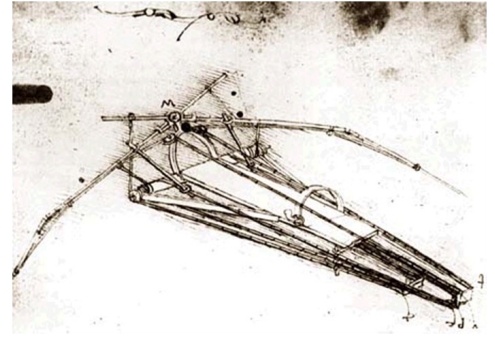
Alla dessa försök handlade mest om glidflygning. Idén om ortokoptern, en maskin med plana flaxande vingtytor (ortos), kläcktes av en engelsk filosof **Roger Bacon** (1214-1294).

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 rätta ut sig under tryck.

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

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



Leonardos maskin 1500-talet



Frosts maskin från 1902

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



George R. White 1927

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

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

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

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



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

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

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



DeLauriers flaxande flygplan

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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 uppfann 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 kunskapsarrigans. Man betraktade nyttigt arbete som intellektuellt och statusmässigt underlägset jämfört med sådant som inte medförde några praktiska resultat. Den så frade 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 paddlar, 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.

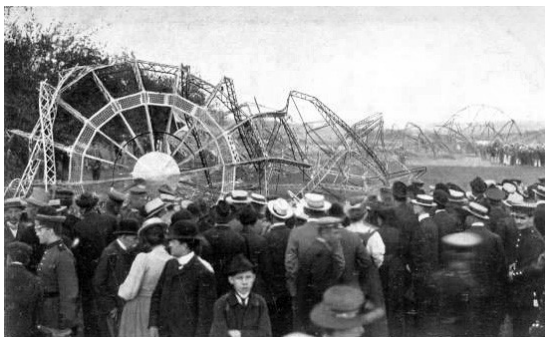
Men Ferdinand var ung och det romantiska Vilda Väster lockade kanske mer än det mekaniserade mördandet. Hur som helst så lämnade han krigszonen och sökte sig västerut. Det var i St Paul i Minnesota långt från striderna, som vändpunkten i hans liv kom. Han fick flyga i en 4000 kubikmeters ballong, som 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 förstuvad 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.

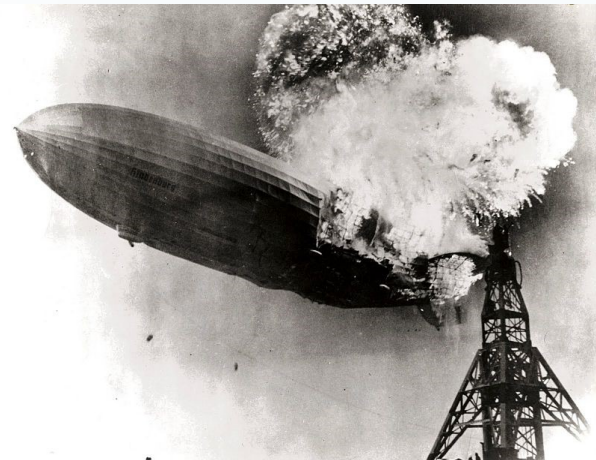


Rester av LZ4 vid Echterdingen

Han hade många motgångar, bland annat en allvarlig katastrof vid Echterdingen 1908. Hans fjärde version av luftskepp, LZ4, måste nödlunda 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 blixtnedslående 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 förstådigt 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 bådadera 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 diligensen 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 livet 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.

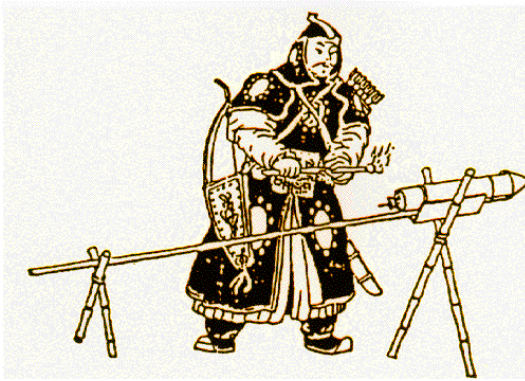
I Kina var man inte heller lika bunden som i slaveriets Rom även om arbetsplikt förekom. Kreativiteten kan därför ha varit större och de statliga verkstäderna hade stor betydelse när något nytt och ovanligt maskineri skulle utvecklas. I dessa arbetade fast anställda men också hantverkare, som fullgjorde 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. Raketen 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 två tusen 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 raketerna 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 raketerna 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 raketerna 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. Raketerna fick så småningom ge sig för kanonen just på grund av detta och det lyckades man åtgärda först på 1900-talet.

Numera har raketerna 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:

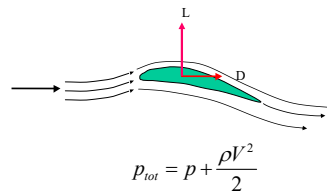
$$q = \rho V^2 / 2$$

där ρ är luftens täthet och V dess hastighet.

På grund av vingens krökning tvingas luften på ovasidan 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.

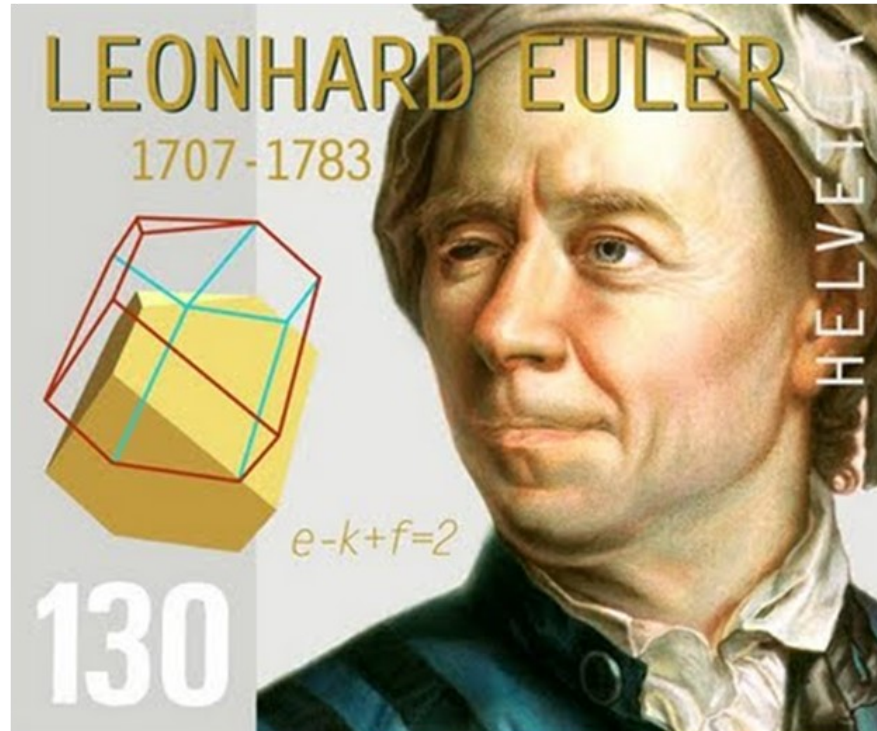
Ekvationen för det dynamiska trycket har uppkallats efter matematikern Daniel Bernoulli. Daniel var från Basel i Schweiz och han hade god familjär uppbackning. Han far Johann var en excellent matematiker och hans farbror Jacob ändå bättre. Han anses bland annat vara en av uppfinnarna av integralen.

Under kriget mot Karl XII hade Tsar Peter i början av



$$p_{tot} = p + \frac{\rho V^2}{2}$$

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 så kallade 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 uppmanade 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.

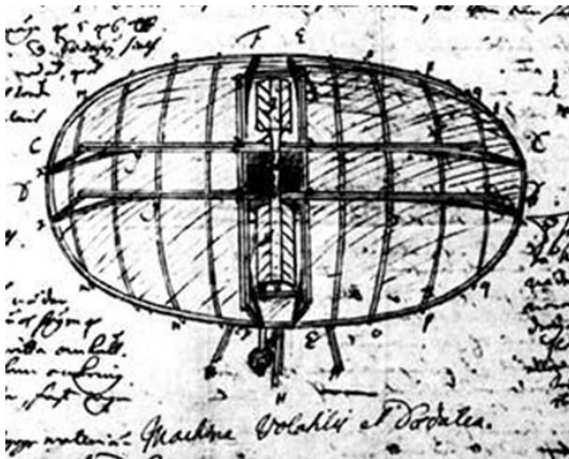
Han kom i alla fall att bli en viktig föregångare till spiritisterna, som försöker kommunicera med andevärlden, medan hans vetenskapliga insatser blev bortglömda. Det var först under 1900-talet som dessa återupptäcktes.

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 konkav oval 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."*

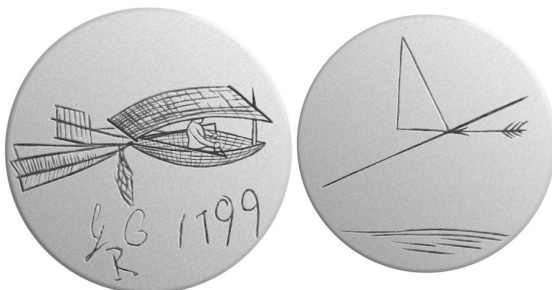
Ingen kan ändå förneka att många av hans idéer var banbrytande. I sina uppsatser beskrev han bland annat en ubåt, ett automatvapen, en vakuumsug, ett universalmusikinstrument och en metod för att beräkna longitud baserad på positionen av månen. Han föreslog också en rullmaskin för att kunna transportera 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

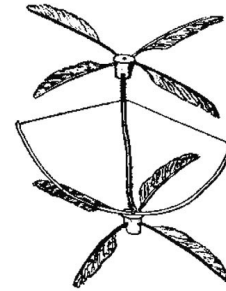


sin ide´ om en flygmaskin med fasta vingar på en liten sil-

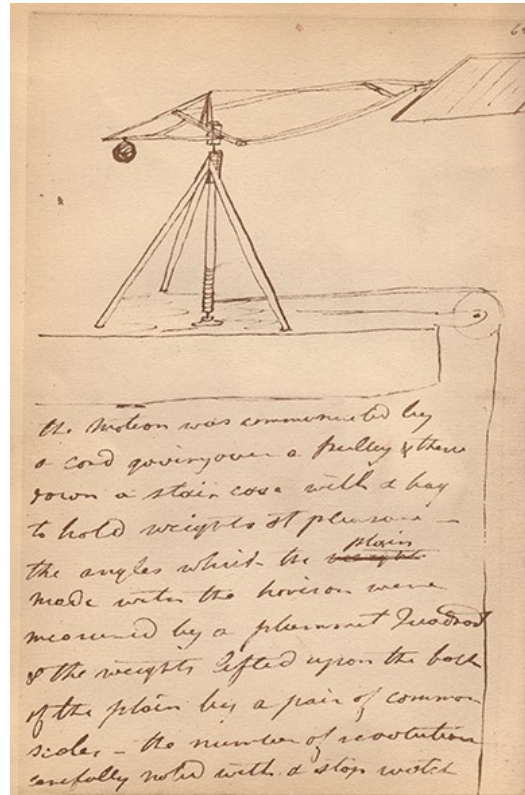
verbricka, som numera finns på Science Museum i London.

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 vingpro-



filer 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 en 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.

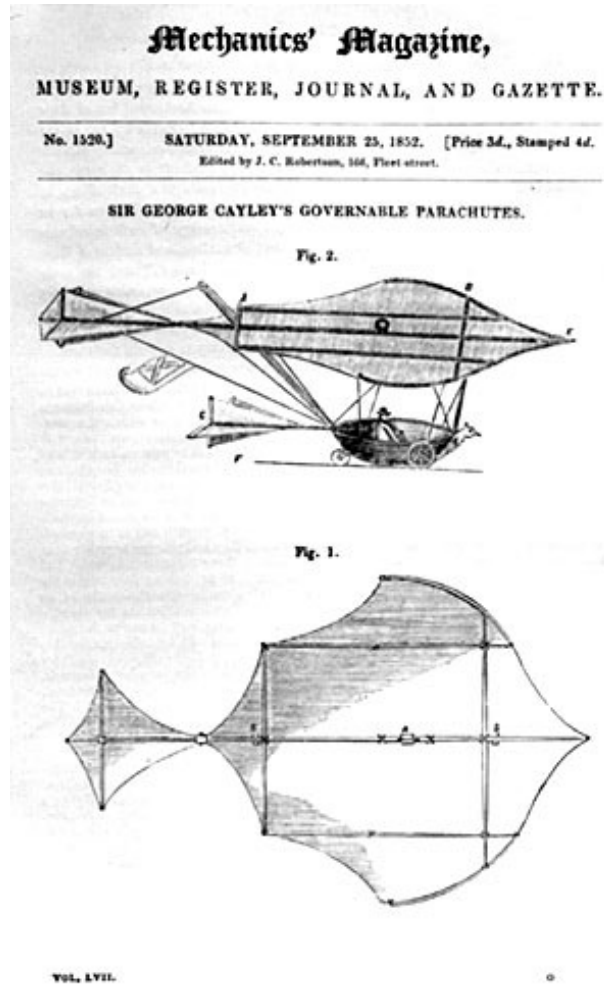
Hans resultat när det gällde lyftkraft och motstånd på plattor har visat sig stämma bättre än de teorier som rådde på hans tid. Det gällde bland annat det dynamiska trycket där den skotske ingenjören John Smeaton (1724-1792) hade mätt upp en konstant som inte stämde med Bernoullis ekvation. Här låg Cayley 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 kvadrattot (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.

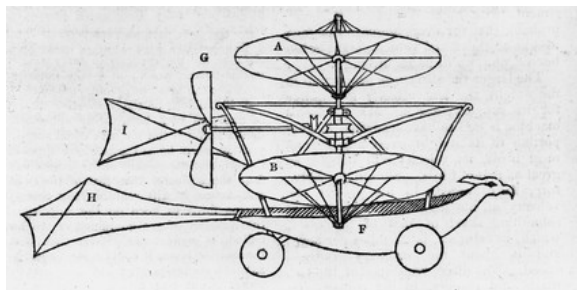
Kanske satte föräldrarna stopp för flera hugade piloter. Under många år låg i alla fall Cayleys arbete på flygplan nere. Från 1816 vände han sitt intresse mot ballonger och konstruerade också ett luftskepp med en halvstyv struktur. År 1837 konstruerade han ett strömlinjeformat luftskepp drivet av en 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 de fram konstruktioner av flygplan i full storlek, det första



Alphonse Pénaud

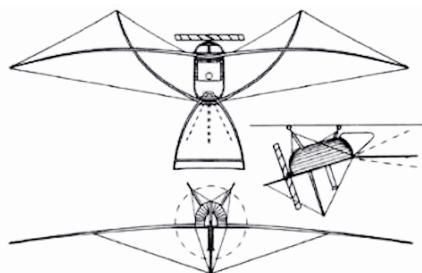
1874 och det andra 1876. Det senare utarbetades i detalj i syfte att patenteras och hade många anmärkningsvärt avancerade funktioner inklusive eldrivna styrtor, en helt sluten hytt för piloten, ett infällbart landningsställ och ett par propellrar, som roterade i motsatta riktningar för att elimi-

nera 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 nerförsbacke. 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 Mozhaiski.



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 presterade 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 fyrbbladiga 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 vingor liknade det en stående jalousi. Trots det enorma luftmotståndet lyckades man bogsera upp det någon 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 bil-

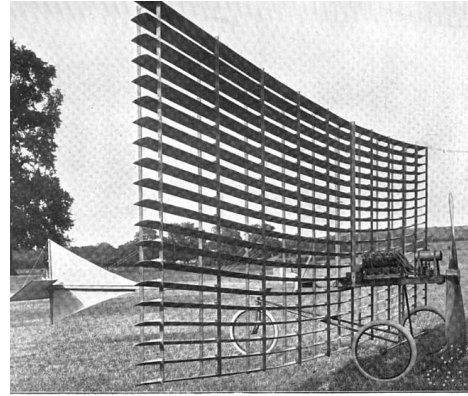


Fig. 1V.

Horatio Phillips 1893

dade 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.

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 vingor hade en bättre lyftkraft än korta trubbiga vingor 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 vingor, 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 vingor 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 styrarm 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



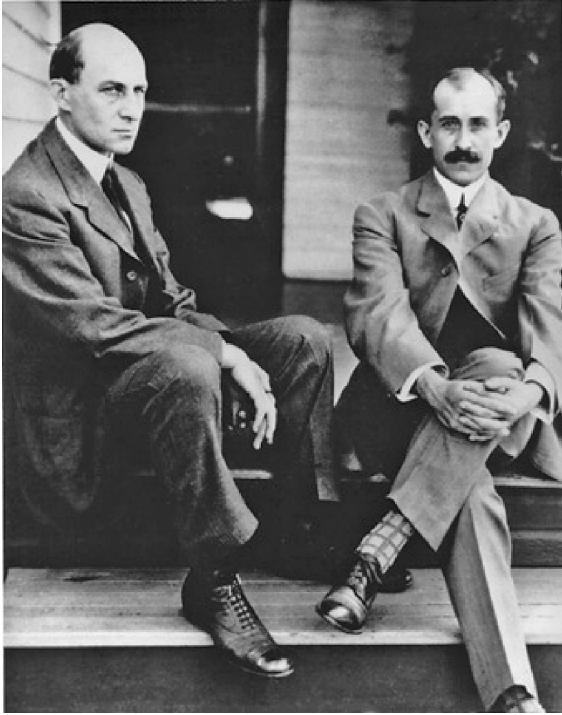
minskar och vingen vill tippa framåt. Det kallas "stall" och det var vad Lilienthal råkade ut för.

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.

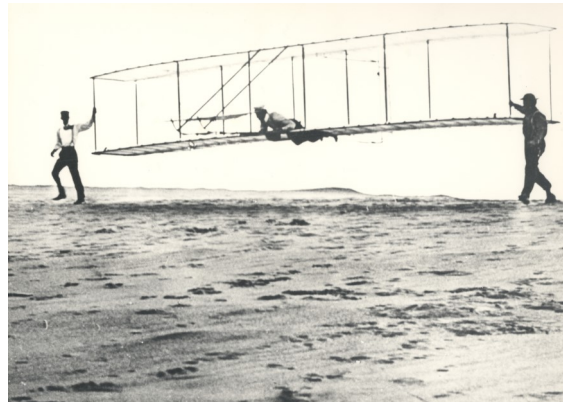
Den skotske ingenjören John Smeaton hade på 1700-talet tagit fram ett experimentellt uttryck för det dynamiska trycket med en konstant som var något mindre än den ma-

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.

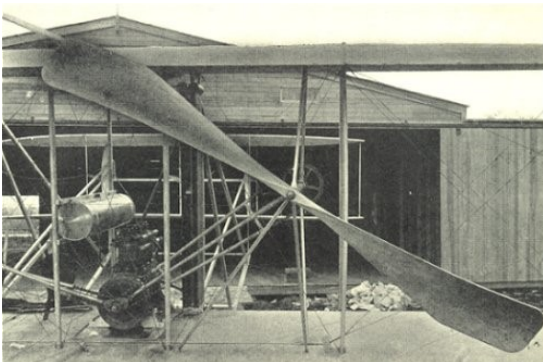
Propellern som sådan är en gammal uppfinning. Den har sitt ursprung i väderkvarnen som uppfanns på 1100-talet och snabbt spreds över Europa som en mer flexibel kraftkälla än vattenhjulen. Väderkvarnarna användes långt in på 1900-talet och det låg nära till hands att köra en sådan baklänges för att ge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

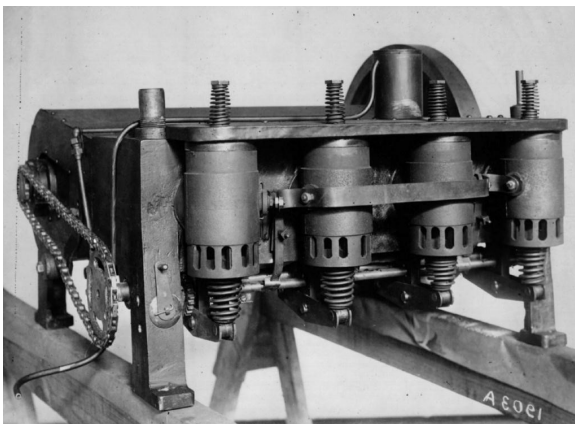
I de ångmaskiner, som man använde på den tiden, sker förbränning och kokning av vatten till ånga utanför cylindern, vars kolv driver axeln. Sedan lång tid tillbaka hade man försökt utveckla motorer där förbränningen skedde inne i cylindern. Den förste att experimentera med sådana motorer var den holländske 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 bensenmotor redan 1873 men den var för stor och tung för att vara användbar.

Bensenmotorn 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 bensenmotorer 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, övertröffade 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 temperaturrexponeringen 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 stjärtstyrda 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.

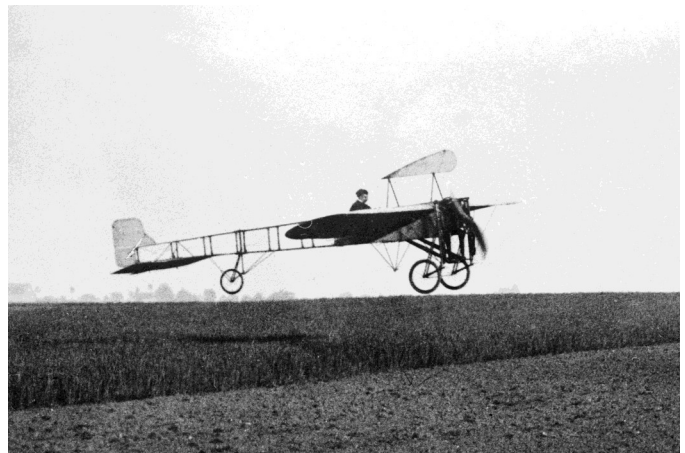
Med ett sådant, en Blériot VIII, flög han i oktober 1908 från Toury till Artenay och tillbaka, en sträcka på 28 km, vilken var den första längre överlandsflygningen med monoplan. 13 juli 1909 flög han från Étampes till Orléans, 42 km på 45 minuter, och vann franska aeroklubbens "prix du voyage" på 14 000 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. Hundratal 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.

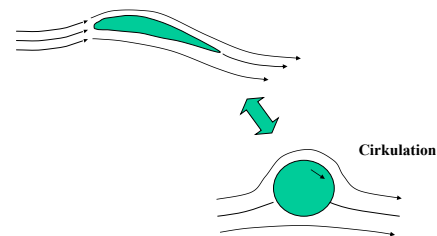
Man började nu också förstå hur vingarna fungerade. Vingen tvingar ju luften att böja av nedåt. Man får ett nedflöde bakom vingen, vilket ger en lyftande reaktionskraft. När luften strömmar över vingen så går den fortare på översidan än på undersidan. Relativt medelhastigheten rör sig luften framåt under 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 flygupervisning på Gärdet i Stockholm 1909 drabbades Sverige av flygfeber och Enoch Thulin kom att bli en av de första svenska flygpionjerna.

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. Gustav 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 omtentgjordes 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 (Ingenjörsvetenskaps 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".



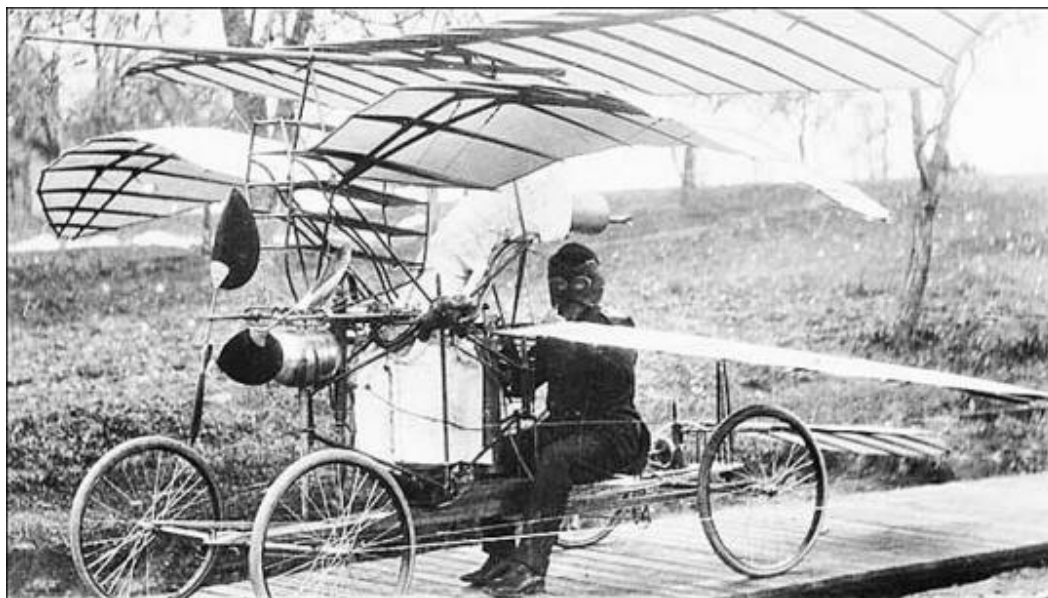
Han var en av många uppfinnare inom maskinteknik, som verkade i Sverige omkring sekelskiftet 1900.

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

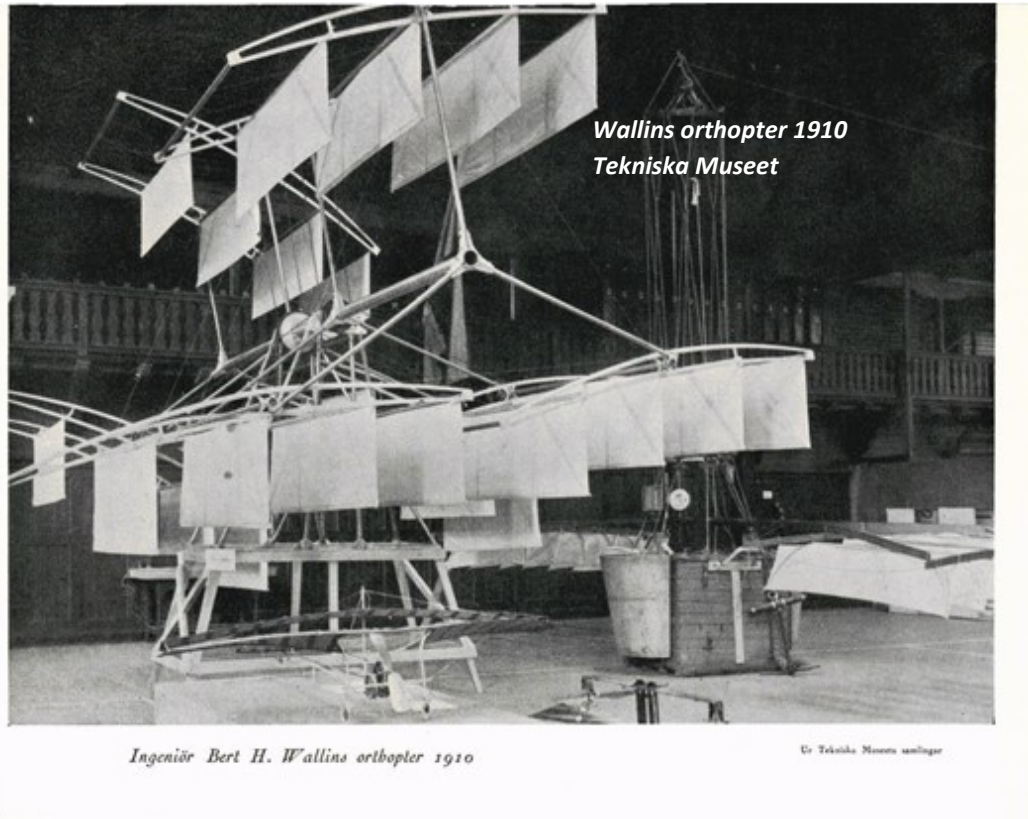
Carl Richard Nyberg var även en pionjärer inom aerodynamiken och i hur flygplanets vingar skulle vara konstruerade. Han fastställde till exempel sambanden mellan dragkraft, lyftkraft, strömningsmotstånd och stabilitet i en egen vindtunnel för modeller.

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.

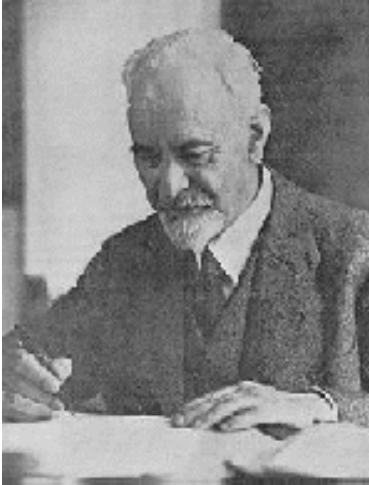
Sveriges första bolag för tillverkning av flygplan bildades emellertid 1910 av Oscar Ask och Hjalmar Nyrop. Företaget AB Nyrop & Ask byggde i Landskrona det första svensktillverkade aeroplanet, Ask-Nyrop Nr 1, "Gräshoppan". Det liknar mycket mer en flygmaskin av idag än Wallins maskin.

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.



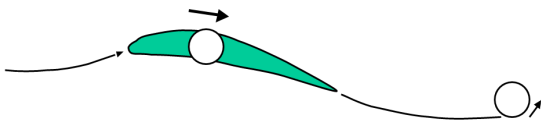
Ludwig Prandtl upptäckte toppvirvlarna

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.

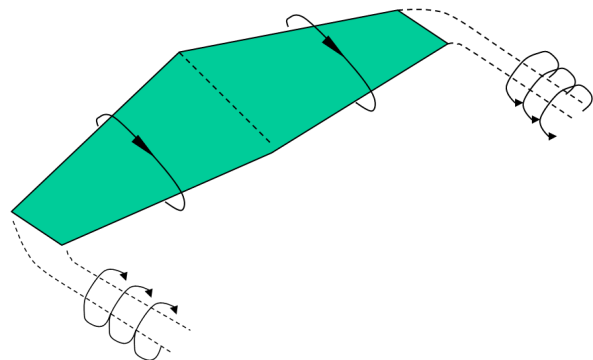
Prandtls största bidrag till strömningläran är gränsskiktsteorin. I augusti 1904 samlades en liten grupp av matematiker och fysiker i den idylliska tyska staden Heidelberg till den tredje internationella matematikkongressen. En av talarna var den endast 29-åriga Ludwig Prandtl. På tio minuter lyckades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

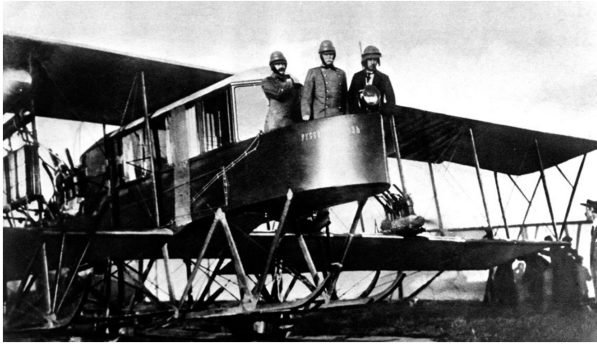
Spirit of St. Louis populariserade monoplanen och markerade början på slutet för de gamla biplanen. Fördelen med biplanen var deras höga lyftkraft. Samtidigt hade de ett mycket stort motstånd. Luftmotståndet hos Spirit of Saint Louis var ungefär hälften så stort som på bröderna Wrights flygplan.



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.

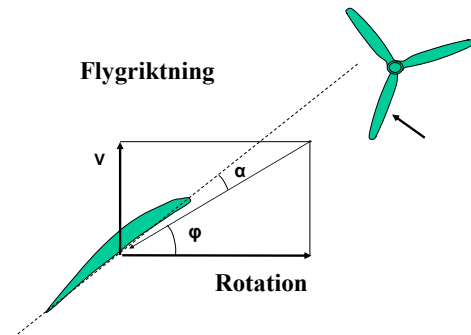
När världen närmade sig andra världskriget krävde emellertid militärflyget allt högre hastigheter. Nu började propellern bli ett hinder för utvecklingen. Propellern var en av bröderna Wrights viktigaste bidrag till flygtekniken och sedan deras tid hade man hade lagt ner mycket arbete på att förbättra 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 pionjärbete 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.

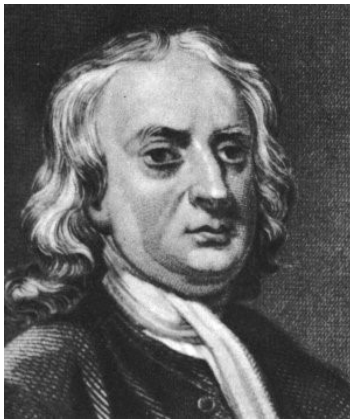
Men den luft som möter propellerbladen har alltid högre hastighet än flygplanet och när hastigheten på flygplanen ökade hamnade man i ett annat problem. Luftstötår började uppstå på bladen och det krävdes större arbete att dra propellern runt samtidigt som lyftkraften på bladen minskade. Man hade börjat 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 Staterernas 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 propeller-motorerna 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.

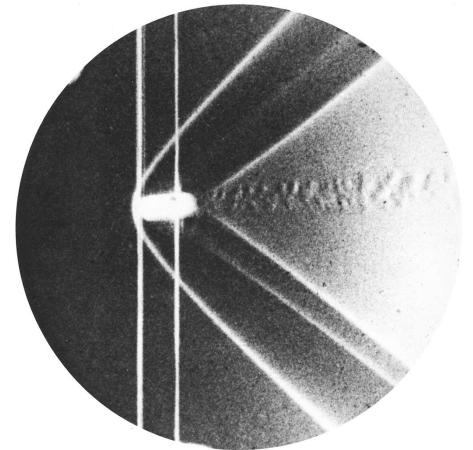
Newton antog att det berodde på damm och vattenånga i luften men i själva verket visste han inte tillräckligt mycket. Man måste vänta på utvecklingen inom värmelära, eller termodynamiken, innan man kunde komma till ett bättre värde.

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

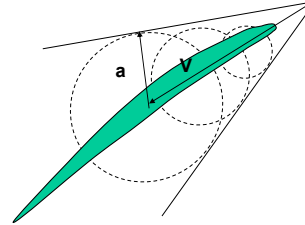


en projektil i överljudsfart i form av en kon kring projektilens nos. Ernst Mach's historiska fotografi från 1887 visade en stötvåg kring en gevärskula i överljudsfart.

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 tingens 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.

