Litet flyghistoria – hur det började

Av Knut Fristedt

Det är nu mer än 200 år sedan den första ballonguppstigningen med människor ombord företogs, knappt 140 år sedan det första bemannade luftskeppet flög och snart 90 år sedan den första egentliga flygningen med ett motordrivet flygplan styrt av en pilot genomfördes. Pionjärtiden började någon gång i tidig historia och kan anses sträcka sig fram till 1909, en tidpunkt då såväl flygplanet som luftskeppet funnit sin form. Utvecklingen därefter har inneburit att flygplans prestanda, tillförlitlighet och säkerhet ökat enormt och att luftskeppet konkurrerats ut av flygplanet som kommunikationsmedel i luften. Gasballongen försvann i stort sett under första världskriget, och varmluftsballongen har återuppstått i vår tid.

De första av människor gjorda föremål som flög med hjälp av aerodynamiska krafter var drakar och bumeranger [1, 2, 18]. Draken som är urtypen till flygplansvingen fanns i Kina f Kr och man har anledning tro att personbärande drakar användes för militär spaning och på handelsfartyg. Till Europa kom draken under 1500-talet. Det är höljt i dunkel hur Australiens urinvånare kunde komma på idén att förse bumerangen med en välvd profil. Det dröjde ända till 1800-talets början innan man i Europa visste att den välvda profilen är bättre än den plana, när man vill åstadkomma ett bra glidtal (förhållandet mellan lyftkraft och motstånd).

Nedan beskrivs några av de insatser och händelser som påverkat flygteknikens utveckling under pionjärtiden.

Leonardo da Vinci

Italienaren Leonardo da Vinci (1452–1519) [3, 4], känd som konstnär och vetenskapsman, ansåg att man skulle kunna lösa flygningens problem genom att imitera fåglarnas flykt. Han trodde att fågeln flöt på luften till följd av luftens kompressibilitet (sammantryckbarhet) och att den tog sig fram på ett fjärilssimsliknande sätt. Han förleddes därigenom att tro att människans muskelstyrka var tillräcklig för att driva ett slagflygplan (ornithopter).



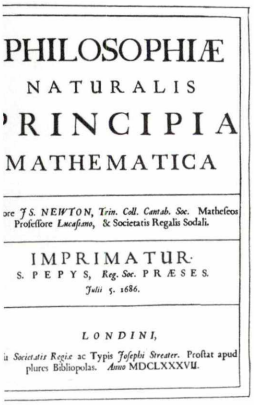
Han gjorde aldrig några glidförsök, och hans efterlämnade noter och skisser fick inget inflytande på utvecklingen. De samlades systematiskt först på 1930-talet.

Leonardo da Vinci hade klart för sig att de aerodynamiska krafter

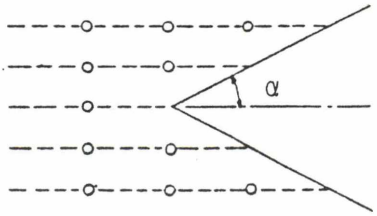
som uppstår på en kropp till följd av en luftström enbart beror på hastighetsskillnaden mellan kroppen och luften. De blir således lika för en kropp som rör sig med given hastighet genom stillastående luft och en stillastående kropp som träffas av en luftström med den givna hastigheten. Detta förhållande använder man sig alltid av vid tillämpning av resultat från vindtunnelförsök.

Isaac Newton

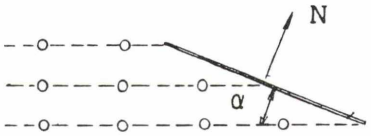
Den engelske vetenskapsmannen Isaac Newton (1642–1727) [3, 5], känd från sin iakttagelse av det fallande äpplet, intresserade sig också för motståndet hos kroppar i strömmande medier. Hans intresse för strömningsmekanik var inte flygtekniskt utan skeppstekniskt betingat. Under 1600-talet hade rena segelfartyg börjat att dominera sjöfarten, och därmed blev det viktigt att nedbringa fartygens skrovmotstånd. I sin bok "Principia" (1687) visade Newton att motståndet hos en kropp är proportionellt mot strömningsmediets densitet, mot kvadraten på den relativa hastigheten och mot kroppens storlek och form. För inkompressibla medier tillämpas detta fortfarande.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA
IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.
LONDINI,

Däremot lyckades han ej formulera en hållbar teori för beräkning av kroppars motstånd i motsvarande medier. Han antog att mediet tankemässigt kunde ersättas av ett antal jämnt fördelade, lika stora, fasta partiklar som rörde sig parallellt och som vid kollisionen mot en kropp förlorade sin impuls vinkelrätt kroppens yta och sedan fortsatte parallellt med ytan (fig 1). Teorin [4], som kallas Newtons sinuskvadrat-lag, ger endast tryckkrafter och brukar beskyllas för att ha fördröjt flygteknikens utveckling, emedan den grovt underskattar den lyftkraft som i verkligheten uppstår på en plan platta med anfallsvinkel (fig 2). Hade Newton haft rätt skulle det inte löna sig att bygga flygplan. Då hade man fått nöja sig med friflygande ballonger och luftskepp.



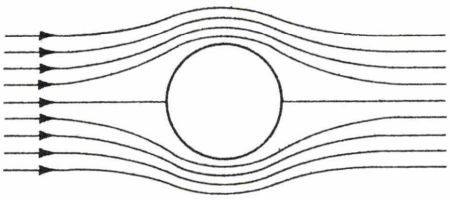
1. Newtons modell med en parallell ström av partiklar som träffar en kon. Efter kollisionen fortsätter de längs konens mantelyta.



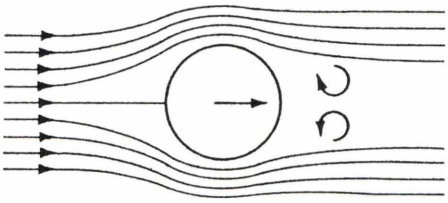
2. Newtons teori tillämpad på en plan platta med anfallsvinkel [4]. Normalkraften = densiteten × (hastigheten × sin α)^2 × vingytan.

Klassisk strömningsteori

Vid 1700-talets mitt skapades den klassiska inkompressibla strömningsteorin, där man betraktar strömningen som ett kontinuerligt medium och där man försummar viskositetens inflytande. Detta



3. Strömningen kring en cylinder enligt d'Alemberts överläggningar [5].



4. Strömningen kring en cylinder, så som den i verkligheten ser ut [5].

motiverades med att de viskösa krafterna måste vara försumbart små vid sidan av övriga krafter i medier som vatten och luft. Vid denna tid var man också klar över att strömningen viker av, när den närmar sig en kropp, och sveper parallellt med kroppens yta och inte stöter mot som Newton förutsatte. Man insåg därmed att den kraft som strömningen utövar på kroppen måste vara lika med statiska trycket i strömningen.

Jean leRond d'Alembert

Den franske matematikern Jean leRond d'Alembert (1717–1783) [3, 4, 5] utgick från en impuls- och en kontinuitetsbetraktelse och sökte beräkna motståndet hos en 2-dimensionell kropp (fig 3). Till sin förvåning fann han att det blev noll, och i en avhandling från 1749 säger han att han ej kan förklara detta. Vi kallar idag denna skenbara orimlighet för d'Alemberts paradox och vet att den beror på att man inte kan försumma de viskösa krafterna närmast kroppen (fig 4).

d'Alembert utförde under 1777 en serie motståndsmätningar på skeppsmodeller och konstaterade att Newtons teori stämde någotsånär endast när vinkeln α (fig 1) låg inom området 50° till 90°.

Daniel Bernoulli

Schweizaren och matematikern Daniel Bernoulli (1700–1782) [3, 4, 5] tillskrivs en av den inkompressibla teorins viktigaste samband eller Bernoullis ekvation. Han förklarade den med att säga att summan av rörelseenergi och lägesenergi längs en strömlinje är konstant. Formuleringen ingick i hans bok "Hydrodynamica", publicerad 1738, och är där inte i den form vi tillämpar nuförtiden.

Leonard Euler

Schweizaren Leonard Euler (1707–1783) [3, 4, 5] var en av 1700-talets giganter inom teoretisk mekanik. Euler generaliserade d'Alemberts arbete och formade de ekvationer vi idag använder för att beskriva en friktionsfri (ideal) strömning kring en kropp. Han insåg också att

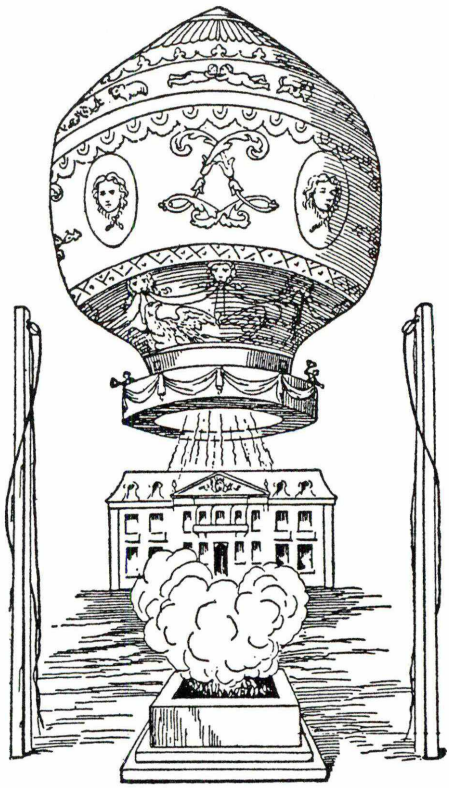
tryck är en punktegenskap som kan variera inom strömningen. Han formulerade om Bernoullis ekvation till den form vi numera använder.

George Stokes

Navier-Stokes ekvationer, så som de skrevs ner av den engelske professorn George Stokes (1819–1903) år 1847, är en utvidgning av den klassiska teorin till att också omfatta viskositetens (friktionens) inverkan [3, 5]. Olyckligtvis har man ej kunnat finna någon lösning till detta system av differentialekvationer annat än i 1-dimensionella fall, och den tidiga flygtekniken hade därför ingen nytta av det. Det är först i och med superdatorernas ankomst som man med hjälp av numeriska metoder kunnat skaffa sig "allmänna lösningar" på strömningstekniska problem.

Bröderna Montgolfier

Det var den friflygande ballongen, vars verkningssätt kan förklaras med Arkimedes princip, som först förde upp en människa i luften. De båda fransmännen Joseph (1740–1810) och Etienne (1745–1799) Montgolfier [1, 6, 7, 8], verksamma som pappersfabrikörer, experimenterade i början av 1780-talet med varmluftsballonger. De konstaterade att om man höll en påse upp och ner över en eld så steg påsen



5. Montgolfiers första varmluftballong för bemannad flygning [8].

uppåt när den släpptes. Förklaringen till detta, att varm luft har lägre densitet än omgivande kall luft, kom ej förrän ett par år senare.

När bröderna efter en period av experiment ansåg sig kunna bygga ballonger stora nog att bära ett par människor ansökte de om tillstånd för detta hos Ludvig XVI. Kungen medgav detta och bestämde samtidigt att två straffångar skulle utgöra passagerarna. Att två brottslingar skulle få den ovanskliga äran av att vara de första människorna i luften upprörde två adelsmän, Francis Pilâtre de Rozier (1757–1785) och Laurent d'Arlandes. Efter diverse hovintriger blev de utsedda att medfölja ballongen istället.

För ändamålet byggde bröderna Montgolfier och en kollega en ballong (fig 5) med ungefär 15 m diameter av väv och papper. Runt den nedre öppna halsen på ballongen fanns en ringformad spånkorg för de båda passagerarna. Under halsen hängde i kedjor en eldkorg. Besättningen kunde kasta in mera bränsle (spritindränkt halm) under färden för att underhålla ballongens lyftförmåga.

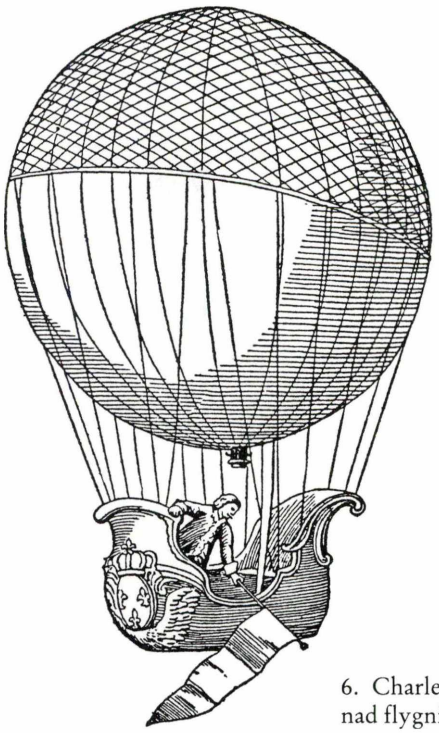
Efter att tidigare med ballongen förankrad ha lärt sig att reglera dess stigning och sjunkning genom att variera elden, steg de båda männen ombord den 21 november 1783. Man kastade loss, ballongen steg till några 100 m höjd och svävade bort. Av jämviktsskäl kunde de två männen ej se varandra, och konversationen blev med nödvändighet något högljudd. Under färden orsakade gnistor några små eldsvådor, som dock släcktes med medfört vatten och tvättsvampar. Efter 25 minuter beslöt de sig för att landa trots att två tredjedelar av bränslet återstod. Den flugna distansen blev 9 km från startplatsen i Bois de Bologne till nuvarande Place d'Italie i Paris.

I juni 1784 gjorde de Rozier i en varmluftballong en uppstigning i Versailles i närvaro av Gustaf III, som var på besök hos sin kollega Ludvig XVI.

Jacques Charles

Under 1783 experimenterade den franske fysikern Jacques Charles (1746–1823) [1, 6, 7, 8] med ballonger fyllda med den lätta gasen väte. Under hösten lät han bygga en ballong (fig 6) med 9 m diameter och med en gondol för två personer hängande under. Ballongen innehöll tre konstruktionsdetaljer, som därefter skulle återkomma på alla gasfyllda ballonger. Den hade ett hål i botten, där gasen kunde läcka ut om den expanderade till följd av soluppvärmning eller sjunkande omgivningstryck. Ballongens stigning reglerades genom att barlast kastades. Detta innebar att man före starten lastade ombord så mycket sand att ballongen nätt och jämnt svävade. För att kunna sänka ballongen när man ville landa fanns i toppen en ventil för evakuering av gas. Den betjänades av en lina åtkomlig från gondolen.

Den 1 december 1783, 10 dagar efter de Roziers och d'Arlandes flygning med varmluftsballong, steg Charles och hans medhjälpare Ainé Robert i Tuileriträdgården i Paris ombord på den avvägda



6. Charles första vätgasballong för bemannad flygning [8].

ballongen. Sand slängdes ut och ballongen steg så småningom till 3 km höjd enligt en medförd barometer. Efter 35 min landade man i byn Nesle 43 km från startplatsen. Robert lämnade gondolen och Charles fortsatte ensam ytterligare 5 km. Av obekant anledning företog han aldrig mer någon ballongfärd.

Redan året därpå (1784) utfördes den första ballongflygningen i Sverige [9]. En gasballong med en katt som passagerare flög från Observatoriekullen på Norrmalm till någonstans på Värmdö.

Det blev snart uppenbart att gasballongen var överlägsen varmluftsballongen som också snabbt försvann från scenen. Följande siffror belyser olika gasers lyftförmåga [6]:

100° varm luft	0,35 kg/m^3
Vätgas	1,2 ,,
Lysgas	0,7 ,,
Helium	1,1 ,,

Uppgifterna visar att en varmluftsballong måste vara avsevärt större än en vätgasfylld ballong vid samma lyftförmåga. Under 1800-talet byggdes i många större städer gasverk. Lysgas blev billig och lättåt-

komlig. Helium fanns inte tillgängligt i större mängder förrän under 1920-talet. Man hittade då i Amerika naturgaskällor med relativt stora mängder av denna gas.

Ballongfärd över Engelska kanalen

Den första luftfärden mellan två länder gick över Engelska kanalen [2, 6]. Fransmannen Jean Pierre Blanchard (1753–1809) och amerikanen John Jeffries (1744–1819) startade den 7 januari 1785 från Dover med en vätgasballong försedd med luftåror och en handdriven propeller. En läcka uppstod under färden, och de tvingades slänga allt löst överbord inklusive de flesta av sina klädesplagg. Efter 2 1/2 timmes flygning landade de i Foret de Felmores på franska sidan [10].

Ballongflygningens första offer

Kanalflygningen inspirerade Pilâtre de Rozier att bygga en hybrid bestående av en övre gasballong och en undre varmluftsballong [1, 2, 6]. Tanken var att detta skulle ge en lättare styrning av ballongens vertikala rörelse än med endast barlast. Den 15 juni 1785 startade de Rozier och Jean Romain från Boulogne för att flyga över kanalen till England. Strax efter starten, när de befann sig på cirka 400 m höjd, exploderade vätgasballongen. I fallet omkom båda och blev ballongflygningens första offer [10].



7. Garnerins fallskärm [10].

Fransmannen Jacques Garnerin (1770–1825) företog den 22 oktober 1797 i Paris historiens första fallskärmshopp från ett flygande föremål [2, 10], när han hoppade från en ballong på 900 m höjd. Den paraplyliknande fallskärmen med 12 m diameter (fig 7) vecklade ut sig som beräknat, och Garnerin dalade ner på jorden i sin korg. Händelsen var en stor succé. Garnerin kom senare på att man kunde dämpa en kupolskärms pendlingar genom att öppna ett hål i kupolens topp.

Ballongfärd över Öresund



LUFTSEGLING.

I morgon Söndag d. 6 dennes företager undertecknad, i sällskap med en Herre, som sig dertill anmält, *för första gången före min afresa,*

EN LUFTRESA

från TIVOLI å Kgl. Djurgården, med den

KOLOSSALA BALLONGEN

SAMSON.

Ballongens ifyllande med vätgas får beskådas från kl. 6 e. m., då lokalen öppnas, till kl. ½ 8, då uppstigandet försiggår under kanonsalut och fanfarer.

Före uppstigandet uppsändas flera hundra *mindre Ballonger*, för att utröna den stora Ballongens blifvande bana.

Under den tid ifyllandet försiggår utföres

STOR CONCERT

af Kongl. Andra Lifgardets hela Musik-corps, under anförande af dess Direktör Hr FREDRIC SJÖBERG.

Entrée-biljetter säljas, à 16 *sk. bko st.* och *hälften för Barn*, i *Biljett-kontoren vid ingången.*

De personer, som utom Tivoli beskådа luftseglings-representationen, täcktes godhetsfullt erlägga frivilliga afgifter i de med mitt namn och sigill försedda bössor, som å Djurgården kringbäras; och erhåller en hvar, som erlägger en sådan afgift, ett kort såsom qvitto.

JOSEPH TARDINI,
Luftseglare från Italien.

Den första ballonguppstigningen i Sverige med en svensk ombord (Per Ambjörn Sparre) företogs den 13 juli 1851 från Tivoli på Djurgården i Stockholm. Ägare till ballongen, som bar namnet Samson, och förare var italienaren Joseph Tardini [11, 12].

Efter sitt besök i Sverige reste Tardini till Danmark och genomförde den 15 augusti den första ballongfärden över Öresund. Startplats var Tivoli i Köpenhamn och 21 min senare landade han i trakten av Landskrona.

Under slaget vid Fleurus den 26 juni 1794 använde den franska republikanska armén en förankrad spaningsballong för första gången [10]. Under 1800-talet skaffade många länder ballonger för militära ändamål. Den mest kända användningen torde ha varit under Paris 4 mån långa belägring i samband med det tysk-franska kriget 1870–71, då fransmännen skapade en riktig luftbro. 67 ballonger sändes iväg från Paris under belägringen med 163 människor, över 2 miljoner

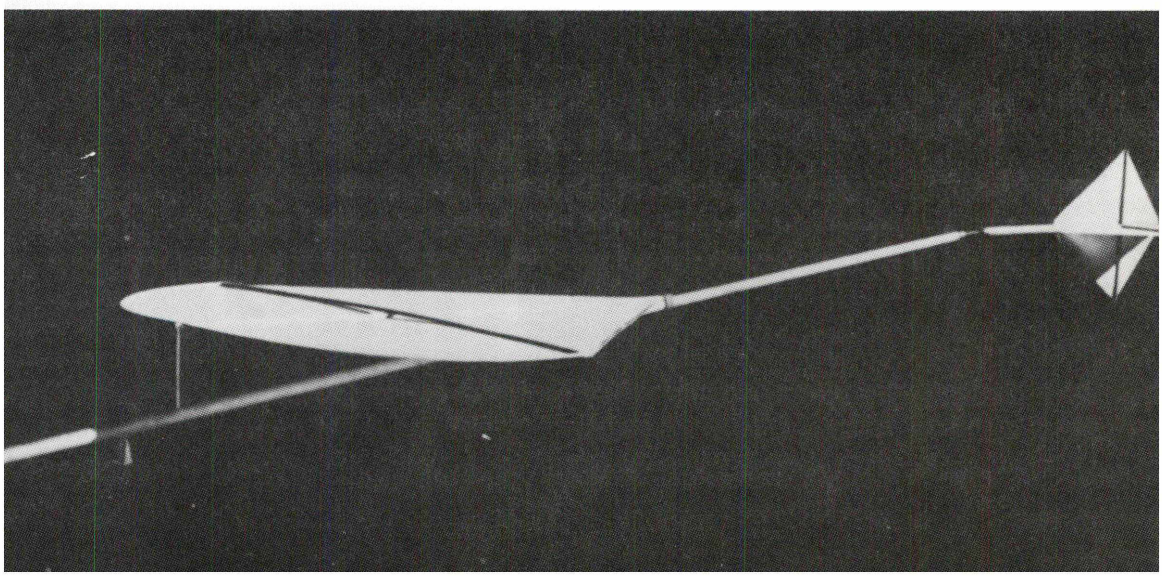
brev och 393 brevduvor som sedan återvände med meddelanden i den andra riktningen [6].

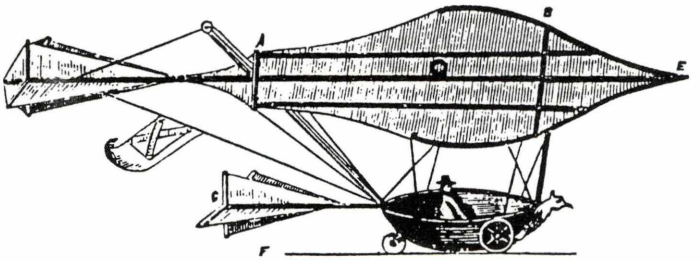
George Cayley

Engelsmannen George Cayley (1773–1857) anses vara uppfinnare till vad vi idag kallar flygplan [2]. 1799 gjorde han en skiss på en ännu bevarad silverplatta, där han delade upp den resulterande luftkraften på en symbolisk vinge i en lyftkraftskomponent och en motståndskomponent. Han sa också att om vingen bär en given vikt så måste en horisontell kraft övervinna vingens motstånd. I motsats till slagflygarna som förutsatte att erforderlig lyftkraft och dragkraft kunde produceras samtidigt av en rörlig vinge, ansåg Cayley i viss likhet med Emanuel Swedenborg, att man borde dela upp funktionerna på en fast vinge och en drivande anordning. För den senare föreslog han åror. Ett motiv till detta kan ha varit hans iakttagelser av hur fåglar flyger. Som den förste i historien dokumenterade han att fåglar åstadkommer sin dragkraft genom vridning av vingspetsfjädrarna i takt med att vingarna rör sig upp och ned.

Cayley visste från experiment med modeller på en roterande arm (1804) [4] att Newtons teori gav minst en storleksordning för små lyftkraftsvärden på en plan platta vid små anfallsvinklar. Han ansåg att existerande aerodynamiska teorier inte var till någon nytta och att man var hänvisad till experiment. 1804 gjorde Cayley en glidplansmodell (fig 8), som anses vara den första flygande flygplansmodellen [13]. Den plana vingen hade ett sidoförhållande (spännvidd genom medeldjup) på mindre än ett och följaktligen ett mycket dåligt glidtal, 18° eller ungefär 3. Vid denna tidpunkt hade man inte klart för sig att ett litet sidoförhållande gav stort inducerat motstånd (motstånd på grund av lyftkraft). Det skulle dröja till början av 1900-talet innan begreppet inducerat motstånd var definierat och ytterligare en tid

8. Cayleys glidplanmodell från 1804. Drygt 1 m lång [13].





9. Cayleys fullskaleglidplan från 1853. Så som man tror det såg ut [5].

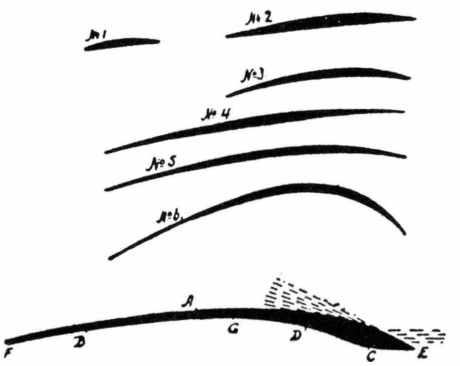
innan ordet skulle användas [4]. Modellen var försedd med en inställbar korsformad stjärt som gjorde den statiskt längdstabil och V-form på vingen gav lateral stabilitet.

Cayleys senare experiment visade att en välvd profil ger ett bättre glidtal än en plan och att en kropps motstånd minskar när den strömlinjeformas. Han visade också att den aerodynamiska kraften angriper en lyftande yta långt framför ytans geometriska tyngdpunkt. 1853 lät Cayley tillverka och prova ett bemannat glidflygplan (fig 9) som flög ungefär 150 m efter start från en sluttning [10]. Det hade två korsformade stjärtar, en fast och en som kunde manövreras med en spak. En replik av detta plan flög 1971, bogserad efter en bil.

Herbert Wenham

I ett föredrag, hållet 1866, visade engelsmannen Herbert Wenham (1824–1908) [13] att fåglars vingprofiler var välvda och framtill förtjockade och att de erhöll det mesta av sin lyftkraft från framdelen. Av detta drog han slutsatsen att en vinge skulle ha stor spännvidd och liten korda. Slutsatsen var riktig, och numera vet vi att skälet är att vingens inducerade motstånd sjunker med ökat sidoförhållande.

1871 byggde Wenham tillsammans med John Browning historiens första vindtunnel [14]. Den bestod av en 3 m lång trälåda med tvärsnittet 0,21 m^2. En ångmaskinsdriven fläkt pressade luft genom



10. Phillips patenterade profiler från 1884 och 1891 [5].

tunneln. 2-dimensionella vingmodeller placerades i tunnelns utlopp. Motståndet och lyftkraften mättes med enkla balansvågar.

Horatio Phillips

Engelsmannen Horatio Phillips (1845–1926) är känd för att ha lagt grunden till den moderna dubbelsidiga vingprofilen (fig 10) [2]. Genom vindtunnelförsök konstaterade han att den största delen av en profils lyftkraft kommer från undertrycket på profilens översida. Hans patentskrifter (1884, 1891) visar att han nog ej förstod ur fysikalisk synpunkt hur undertrycket uppstår.

Felix du Temple

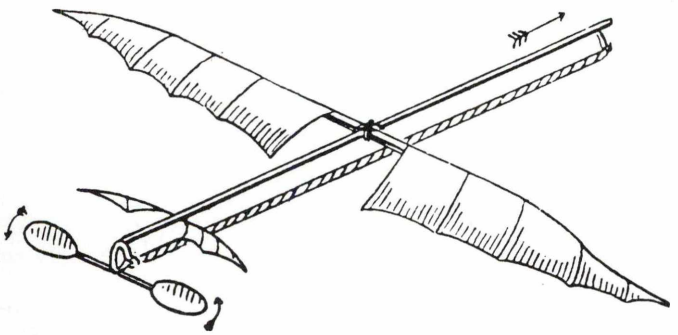
Till den franske marinofficeren Felix du Temple (1823–1898) går äran att som först i historien ha lyckats flyga med en motordriven modell (1857–58) [2]. Motorn var först ett urverk och senare en ångmaskin. Han byggde därefter en fullskalemodell med, som man tror, en varmluftsmotor. 1874 startade den utför en ramp och gjorde ett luftburet hopp på ett okänt antal meter. Det var ingen riktig stationär flygning. Försöket måste ha varit avskräckande för det upprepades ej.

Senare under 1800-talet gjordes liknande hopp av ryssen Mozhaiski (1884) och fransmannen Ader (1890). Den senare lyckades starta från plan mark och hoppa cirka 50 m. Han hade dock ingen kontroll över planet.

Alphonse Pénaud

Fransmannen Alponse Pénaud (1850–1880) är känd för att han upprepade Cayleys stabilitetsresonemang utan att känna till dennes skrifter [13]. Han satte upp villkoret för hur ett flygplan med stjärt kunde ges statisk egenstabilitet i längdled och demonstrerade detta med hjälp av en gummimotormodell i Tuileriträdgården i Paris den 18 augusti 1871. Modellen i fig 11 flög därvid 40 m på 11 sek [2]. Pénauds metod att åstadkomma egenstabilitet fick senare ett mycket stort inflytande på den franska flygplansutvecklingen under 1900-talets första årtionde.

Alphonse Pénaud blev bara 30 år. Tuberkulos i benen gjorde honom lam och han begick självmord.



11. Pénauds egenstabila modell från 1871 [13].

Osborne Reynolds

I samband med undersökningar (1883) gällande omslag från laminär (linjär) till turbulent (oregelbunden) strömning i rör införde Reynolds, professor vid University of Manchester, som ett karakteristiskt tal förhållandet mellan tröghets- och friktionskrafterna i strömningen [4, 5]. Senare 1908 kallades detta förhållande för "Reynolds tal" till hans ära.

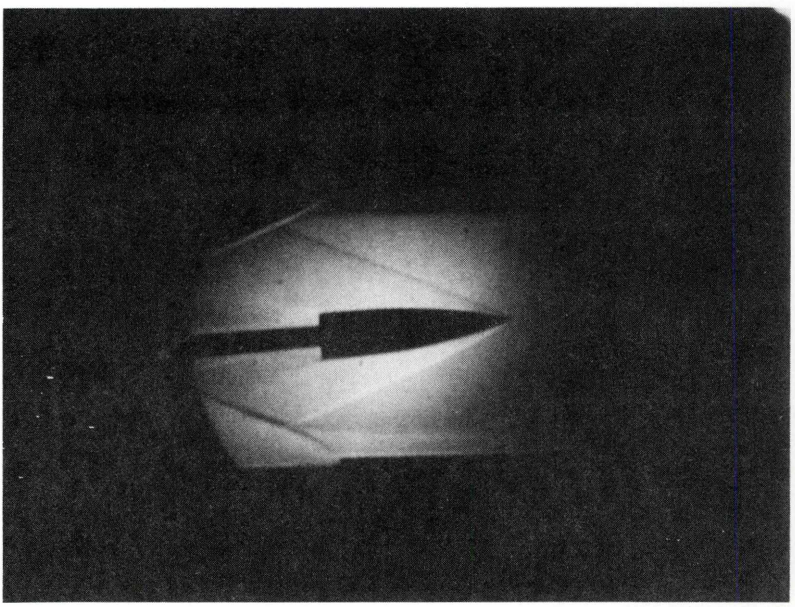
Reynolds tal är idag en mycket viktig parameter när man skall jämföra och tillämpa resultat från vindtunnelmätningar.

Kompressibel strömning

Ett teoretiskt korrekt uttryck för beräkning av ljudets hastighet, en viktig parameter inom ämnet kompressibel strömning, publicerades 1816 av den franske matematikern Pierre Simon de Laplace [4].

Österrikaren Ernst Mach (1838–1916) [28] var den förste som visuellt visade (1887) att en gevärskula som rör sig med överljudsfart skjuter en kompressionsstöt framför sig [15]. Fig 12 är ett exempel på en sådan stöt. Han visade också att parametern v/a (färdhastighet genom ljudhastighet) är en karakteristisk storhet för kompressibel strömning. 1929 kallade Jacob Ackerett vid ETH i Zürich parametern för Machtal till Ernst Machs ära. Machtalet är en mycket viktig storhet vid tolkning av resultat från försök i transsoniska och överljudsvindtunnlar.

Teorin för en rak stöt i en strömning presenterades i ekvationsform för första gången 1870 av skotten John Macquorn Rankine (1820–



12. Exempel på en sned stöt vid överljudsströmning.

1872). Sneda kompressionsstötar och expansionsvågor i överljudsströmning förklarades 1908 av professor Ludvig Prandtl (1875–1953), verksam i Göttingen, och hans elev Theodor Meyer [4].

Teori för lyftkraft

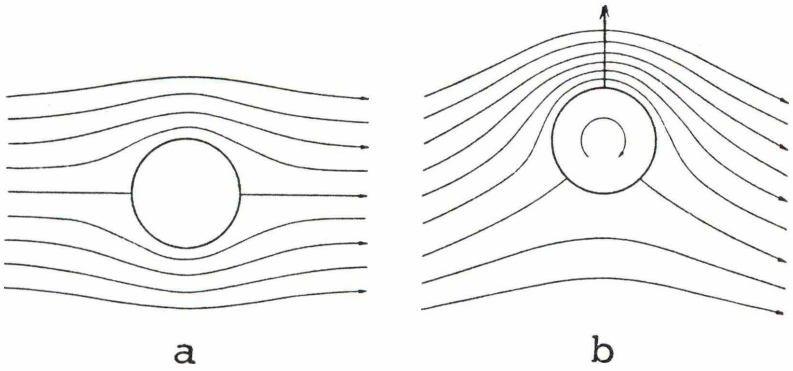
När Newtons teori tillämpades på en plan vinge med anfallsvinkel inom ett för flygning aktuellt område $\alpha<15°$ visade det sig att den endast gav ~1/30 del av jämförande experiment [4]. Den klassiska teorin från d'Alembert och Euler var ännu sämre. Den gav ingen lyftkraft alls. Sådana teorier var flygplansbyggarna givetvis inte betjänade av [3].

En vändpunkt kom i och med att lord Rayleigh år 1878 sökte efter en förklaring till varför en skruvad tennisboll avvek från sin ursprungliga riktning. Han förstod att tennisbollens rotation genom friktion orsakade en cirkulerande strömning som överlagrades den rätlinjiga rörelsen.

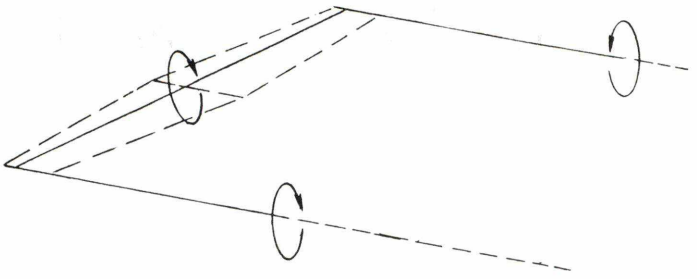
Han beslöt sig för att studera strömningen kring en 2-dimensionell cylinder och utgick från Eulers ekvationer [4]. Han bekräftade d'Alemberts resultat, enligt vilket inga krafter påverkar en kropp utsatt för friktionsfri, likformig strömning, och fann att om man överlagrade en cirkulerande strömning så uppstod en kraft vinkelrätt mot den ursprungliga linjära strömningen (fig 13).

Den engelske biltillverkaren och hobbymatematikern Frederick Lanchester (1878–1946) [3, 4, 5] födde idén att simulera den lyftande vingen med en virvel (fig 14). Han visade på ett svårtillgängligt sätt, att den energi man måste tillföra för att driva virveln framåt återfinns som en nedsvepning i området bakom den bundna virveln (vingen). Han presenterade detta epokgörande resultat 1894 i en avhandling som refuserades av "the Physical Society". Han återkom med en beskrivning i sin bok "Aerodynamics" av år 1907.

1911 publicerade Ludwig Prandtl i Tyskland ett motsvarande



13. Ideal strömning runt en cylinder utan (a) och med (b) en överlagrad cirkulerande strömning [4].



14. Hästskovirvel enligt Lanchester.

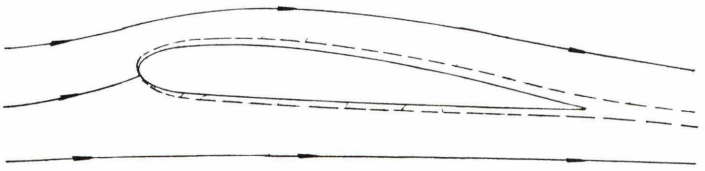
arbete, som genom sin klarhet kommit att bli ledande. Motståndet på grund av lyftkraften kallas numera för inducerat motstånd. Beteckningen infördes 1918 av tysken Max Munk [3, 4].

Den tyske matematikern Wilhelm Kutta (1867–1944) [4, 5] sökte efter en förklaring till varför en välvd profil har lyftkraft även vid anfallsvinkeln noll. Han visade i ett arbete från 1902 om 2-dimensionella profiler att detta kunde förklaras om man antar modellen att styrkan hos en överlagrad cirkulation bestäms av att strömningen skall vara parallell med vingprofilen i bakkanten både på över- och undersidan. Att strömningen i verkligheten också uppför sig på detta sätt visste Kutta genom experiment. För en 2-dimensionell profil var detta samma resultat som Lanchester kom till.

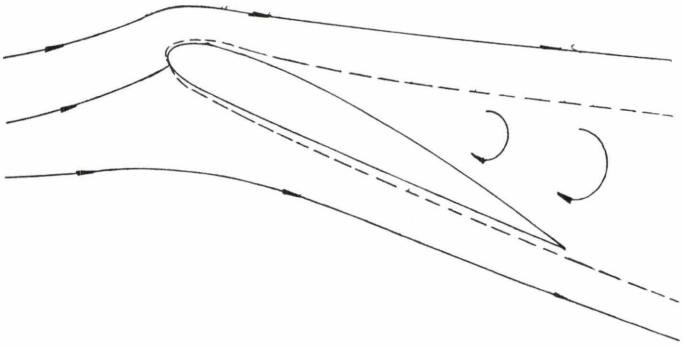
Oberoende av Kutta bevisade den ryske professorn Nikolai Joukowski (1847–1921) [4, 5] samma sak. Han formulerade dessutom ett samband mellan lyftkraft och cirkulation i matematisk form.

Teori för gränsskikt

1904 publicerade Ludwig Prandtl sitt epokgörande arbete "Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung" [3, 4, 5]. Han införde här begreppet "gränsskikt" (fig 15), som innebär att strömningsmediet häftar fast vid kroppen och att strömningshastigheten på ett kort avstånd från kroppen har sitt fulla värde. Den stora hastighetsändringen i det tunna gränsskiktet ger stor verkan även om viskositeten är liten. Gränsskiktet innebär att strömningen ej kan sluta sig efter en kropp utan att ett mindre eller större avlöst område bildas. Resultatet blir ett formmotstånd, vars källa ej finns i kroppens nos utan i de virvlar som bildas på baksidan. Gränsskiktsteorin visade sig också kunna förklara varför en vinge överstegras när anfallsvinkeln växer över ett kritiskt värde (fig 16).



15. Prandtls antagande om ett gränsskikt närmast vingen (kroppen).

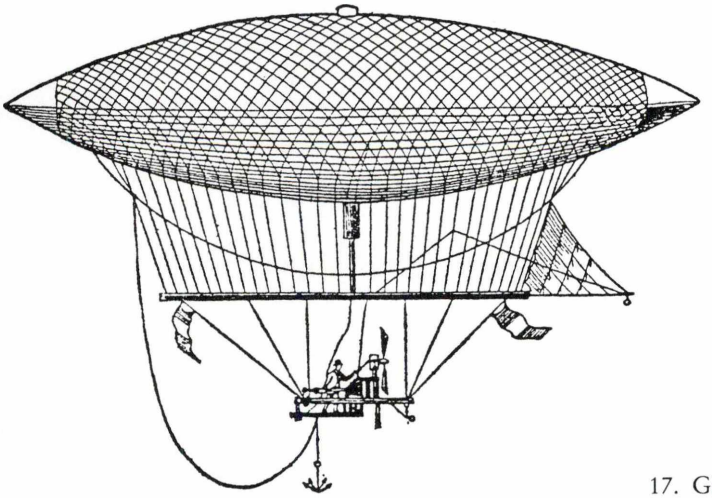


16. Vinge med avlöst gränsskikt. Överstegring.

Prandtls arbete innebar att man kunde beräkna strömningsfältet utanför ett gränsskikt med klassisk friktionsfri teori och strömningen innanför gränsskiktet med Navier-Stokes ekvationer med olika slag av förenklingar. Att finna sådana approximationer har sysselsatt vetenskapen fram till vår tid. 1909 kunde man på teoretisk väg förklara hur lyftkraft och motstånd kunde tänkas uppstå. Kunskaperna kom emellertid för sent och var för svårtillgängliga för att inverka på de flygplan som byggdes under pionjärtiden.

Henri Giffard

Efter framgångarna med ballongflygning vid början av 1800-talet och tiden därefter väcktes många förslag till styrbara luftskepp. Fransmannen Henri Giffard (1825–1882) [8] byggde det första riktiga luftskeppet (fig 17). Det var fyllt med lysgas och en 3 hk ångmaskin drev en skjutande propeller. Den 24 september 1852 startade han från Hippodromen i Paris och flög med 8 km/h en 27 km lång sträcka. Motorstyrkan var otillräcklig för att svänga skeppet runt och återvända till startplatsen. Han fick vänta tills vinden mojnat.



17. Giffards luftskepp från 1852 [8].

Ferdinand von Zeppelin

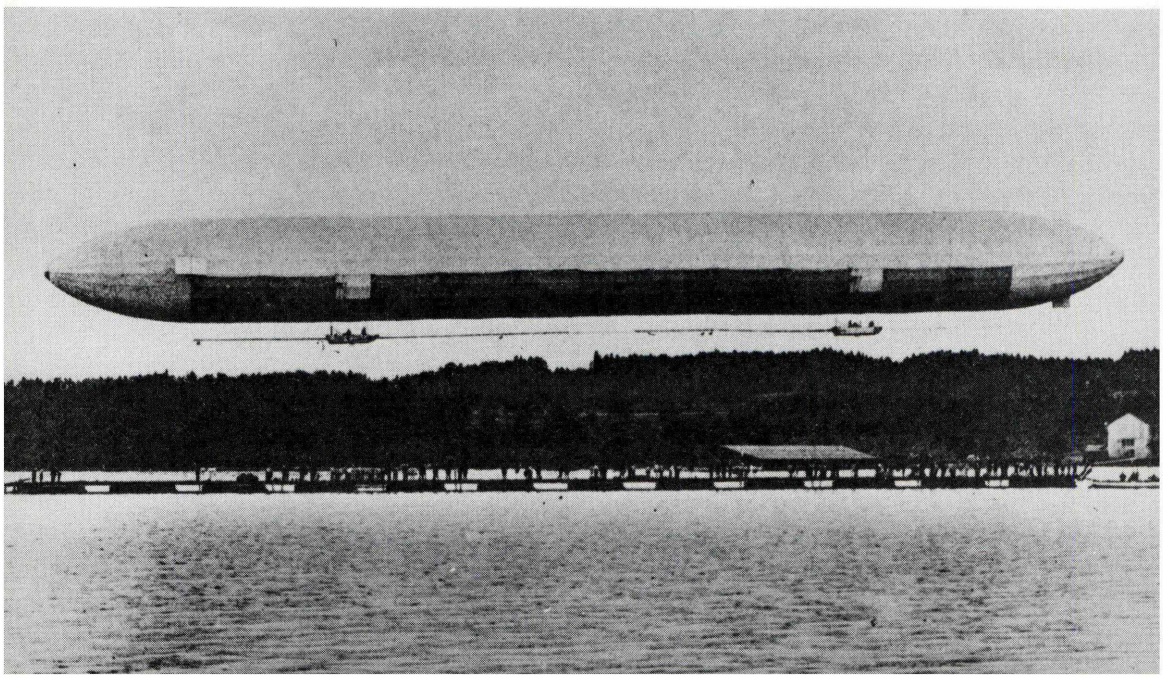
Under 1800-talets senare del utvecklades olika typer av luftskepp i flera länder. Framgångarna kom dock först i och med "zeppelinaren", uppkallad efter dess skapare Ferdinand von Zeppelin (1838–1917) [6, 7, 24].

Efter en lång karriär som militär och diplomat började von Zeppelin 1891 att förverkliga sina planer på att bygga ett luftskepp. 1895 fick han patentet "Lenkbaren Luftfahrzeug mit mehreren hintereinander angeordneten Tragkörpern" beviljat. Han fick också som gåva ett område vid Bodensjön, där en flytande luftskeppshall uppfördes.

Fig 18 visar LZ1 som byggdes under tiden 1897–1900. Skeppet hade en längd av 128 m och en diameter av 11 m. Det bestod av en stel fackverkskonstruktion av duraluminium, som omslöt 17 vätgasfyllda säckar. LZ1 flög för första gången den 2 juli 1900. Flygningen varade ungefär 20 minuter och 5 personer var med ombord. Året efter skrotades LZ1 av finansiella skäl; von Zeppelins tillgångar var tömda. Han hade försökt intressera den tyska krigsmakten men fått avslag. Det dröjde därför till 1906 innan LZ2 var färdigt. Under en provflygning inträffade ett motorfel som framtvingade en nödlandning. Därvid förstördes skeppet av en stormby.

Von Zeppelin tänkte nu dra sig tillbaka från luftskeppsbyggandet. Den tyska krigsmakten hade emellertid vaknat och övertalade von Zeppelin att fortsätta. Den hade fått klart för sig att man både i Frankrike och England arbetade med militära luftskeppsprojekt och ville inte vara sämre. LZ3 byggdes på 9 månader. Vid de inledande proven (1907) fraktades 11 personer en sträcka av 110 km på 2 tim 17 min. Detta var en stor succé. Von Zeppelin fick nu i uppdrag att

18. LZ1 vid sin premiärflygning 2 juli 1900.



bygga ett skepp som skulle kunna hålla sig i luften 24 tim non-stop. Detta LZ4 blev klart i juni 1908. Efter att ha företagit en 12 tim färd startade man den 4 augusti för att utföra en 24 tim flygning. Motorkrångel tvingade till en nödlandning, varvid skeppet förstördes genom en brand. Många människor omkom.

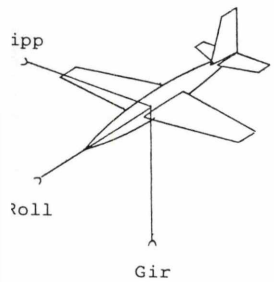
En insamling möjliggjorde för von Zeppelin att fortsätta sitt utvecklingsarbete, och så småningom fick han också en stor prissumma för den första genomförda 24 tim flygningen. Han bildade också "Deutsche Luftschiffart Aktiengesellschaft", som under de närmaste åren byggde 5 skepp och blev historiens första flygbolag för passagerare och frakt.

Slutet av 1800-talet

Problemet med det motordrivna flygplanet stod inför sin lösning vid slutet av 1800-talet. Den begynnande bilindustrin hade skapat förutsättningar för att bygga lätta motorer [2, 13].

Redan Cayley insåg att utan en tillräckligt lätt motor skulle motordrivna flygplan inte kunna flyga. Den enda motortyp som var tillgänglig vid 1800-talets början var emellertid ångmaskinen, och den var alldeles för tung. Ångmaskinen i det första riktiga luftskeppet (Giffard) vägde 50 kg/hk, och vid 1800-talets slut vägde "lätta" ångmaskiner 10 kg/hk.

En ny era inleddes när fransmannen Etienne Lenoir 1862 byggde sin lysgasmotor av 2-taktstyp. Kring 1890 hade utvecklingen resulterat i att bensindrivna 4-taktsmotorer framställdes för att användas i bilar. Kring år 1900 trodde man att bilmotorer direkt skulle kunna användas i flygplan, men det visade sig att de var för tunga och att speciellt anpassade motorer måste byggas. Bilmotorn blev emellertid en förebild ända tills den luftkylda stjärnmotorn skapades [7].



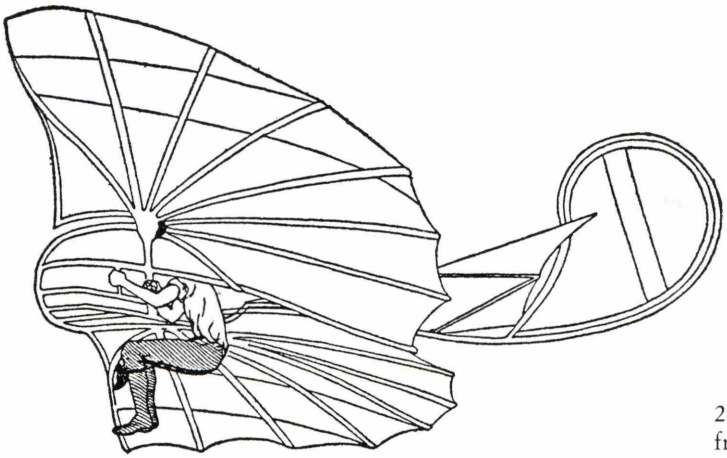
19. Flygmekaniska rörelseaxlar.

Handboksmässiga hållfasthetstekniska beräkningsmetoder och materialkunskaper fanns tack vare brobyggnads- och järnvägstekniken [16] och empiriska aerodynamiska beräkningsmetoder började komma fram. Teoretisk strömningsteknik var fortfarande till ingen nytta. Man kände till begreppet statisk stabilitet från flygning med modeller (fig 19) men hade inte klart för sig att styrbarhet i luften var beroende av stabilitetsgraden [4]. Inte heller visste man hur en luftpropeller skulle beräknas, trots att väderkvarnar av den europeiska modellen funnits sedan 1200-talet.

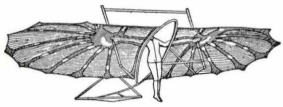
Till detta hade verkstadstekniken skapat starkt stål och billigt aluminium, svetsteknik och kullager [13].

Otto Lilienthal

Den tyske ingenjören Otto Lilienthal (1848–1896) [2, 17] var den förste i historien som gjorde systematiska glidflygningar för att, som han själv uttryckte det, "lära sig att möta luftens oregelbundenheter". Alla hans plan var av typen hängglidare. Detta innebar att han ej hade några rörliga roder utan styrde genom att förflytta tyngdpunkten i

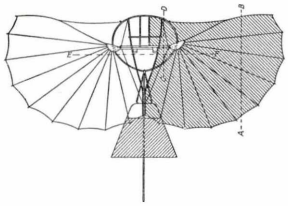


20. Lilienthals hängglidare från 1896 [8].



förhållande till de bärande ytorna. I realiteten förflyttade han sin egen kropp i förhållande till planets struktur. Endast egenstabila plan kan styras på detta sätt. Fig 20 visar typen 11 som av Lilienthal kallades "Normalsegelapparate".

Lilienthal använde en roterande arm för att mäta luftkrafter på plana och välvda profiler och fann, liksom tidigare Phillips, att de senare hade ett bättre glidtal, speciellt i kombination med en tjock vingnos. Han studerade också fåglars flykt, hade klart för sig hur de åstadkom sin framåtdrivande kraft och skrev 1889 boken "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst".



Från 1891 utförde Lilienthal glidflygningar från naturliga och konstgjorda kullar och kom upp i flyglängder på 300 m. Söndagen den 9 augusti 1896 var en solig men blåsig dag med häftiga vindbyar, och Lilienthal företog flygningar med sin typ 11. En vindby överstegrade höger vinge, planet sidgled brant åt höger och slog i marken. Följande dag avled Lilienthal till följd av sina skador. Vid sin död hade han utfört cirka 2 500 glidflygningar.

Lilienthals slutmål var motorflygning. Han trodde emellertid att lösningen låg i att söka efterlikna fåglarnas konstruktion. Vid sin död arbetade han på ett ångmaskindrivet slagflygprojekt.

Percy Pilcher

Den skotske mariningenjören Percy Pilcher (1867–1899) [2] var liksom Lilienthal medveten om att vägen till motorflygning gick via övningar med glidflygplan i luften. Han besökte Lilienthal i juni 1895 och flög därvid dennes plan.

Pilcher byggde och flög glidflygplan under 4 1/2 år. Han gjorde upptäckten att alltför stor V-form på vingarna gjorde hängglidare manöverodugliga i byig vind. Han använde en lina och springande hästar för att komma upp i luften. Hans längsta flygning var 225 m.

En regnig höstdag den 2 oktober 1899 demonstrerade Pilcher sin glidare "Hawk". Vid den tredje flygningen var dukklädseln genomvåt och tung. Stjärten bröts av när planet befann sig på 10 m höjd och det störtade på nosen. Två dagar senare var Pilcher död. Det skulle dröja nästan 10 år innan England ånyo var med i leken.

Samuel Pierpoint Langley

Professor Samuel Pierpoint Langley (1834–1906) [1, 2, 3, 18] var en erkänd auktoritet inom astronomi och matematik när han 1887 utnämndes till sekreterare vid Smithsonian Institution i Washington DC, USA. Som ledare för institutionen kunde han välja sitt eget verksamhetsområde och använda sig av institutionens resurser.

Efter mätningar av vingars egenskaper på en stor ångmaskinsdriven, roterande arm och prov med gummimotordrivna modeller byggde han 1896 en modell med en 1 hk ångmaskin. Den startades med en fjäderdriven katapult och flög som längst 1 200 m. Efter dessa lyckade försök beslöt sig Langley för att sluta med flygtekniska experiment.

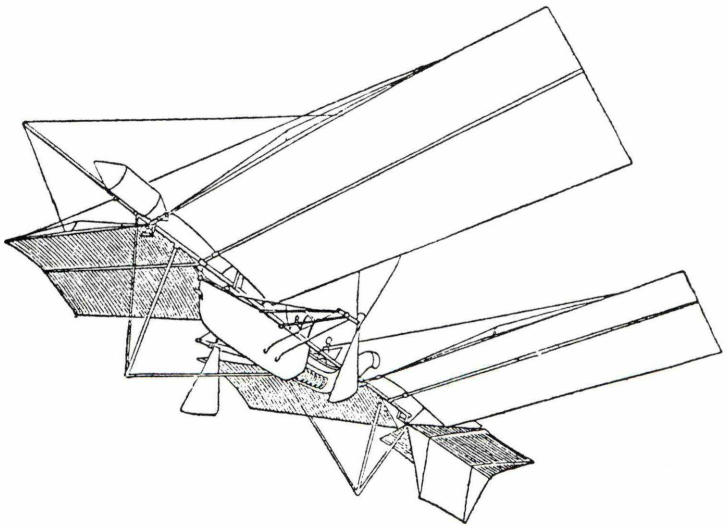
Emellertid utbröt det spansk-amerikanska kriget 1898 och Langley uppmanades av War Department att utveckla ett personbärande flygplan för militär spaning. Han fick ett anslag av 50 000$ att spendera. Kriget hann dock sluta långt innan maskinen var färdig.

Langley beslöt sig för att använda en bensinmotor och att börja med en modell i skala 1:4. Som assistent anställde han en ung akademiker Charles M Manly. Langley ansåg motorn vara projektets mest kritiska komponent och beställde 1898 två motorer från biltillverkaren Balzer, en för fullskaleplanet om 12 hk och en nedskalad version för modellen. Följande år levererade Balzer en luftkyld, roterande 5-cylindrig motor som dock endast lämnade 8 hk under kort tid. Manly byggde om motorn till en vattenkyld, stationär motor och lyckades höja effekten till fabulösa 52,4 hk. Detta gav en vikt av 1,8 kg/hk, ett värde som inte överträffades på 10 år.

1:4 modellen började provas i juni 1901, men först i augusti 1903 kunde den flyga på ett godtagbart sätt. Den blev därmed historiens första bensindrivna flygplan.

Langleys fullskaleplan [5] hade två lika stora vingar i tandem, en korsformad stjärt och ett sidroder. Det hade i princip samma utseende som modellen från 1896 (fig 21). Vingarna hade kraftig V-form för stabilitet i rollplanet, och planet var egenstabilt i vertikalplanet (i tipp). Motorn drev två skjutande propellrar i främre vingens bakkant. För styrning kunde stjärten röras i vertikalplanet och sidorodret i horisontalplanet. Spännvidden var 14,5 m och vikten 340 kg.

Den 7 oktober 1903 satte sig Manly i förarsitsen som befann sig under den främre vingen och omedelbart framför motorn och de snurrande propellrarna. Planet stod på en katapult på taket av en husbåt på floden Potomac. Runt omkring fanns många småbåtar med



21. Langleys ångmaskinsdrivna modellplan från 1896 [8].

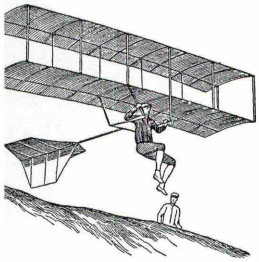
journalister som bevakade händelsen. Katapulten utlöstes, planet rörde sig framåt, ett av de främre vingstagen hakade i en pinne på katapulten [5]. Planet lämnade husbåtens tak med för låg fart och föll ner i vattnet. Manly räddades våt men oskadd. Efter reparation gjordes ett nytt försök den 8 december samma år. Kalla vindar skakade planet på husbåtens tak, och isflak simmade omkring på Potomac. Kl 16:45 signalerade Manly att han var klar för start. Fjäderkatapulten utlöstes, bakre vingen vek sig, planet intog ett vertikalt läge och föll baklänges ner i floden. Manly kom upp under ett isflak men kunde simma till fritt vatten och tas upp i en båt [18].

Detta var slutet på Langleys flygförsök. War Department drog in sitt anslag, han förlöjligades av pressen och dog som en besviken man den 27 februari 1906. I efterhand kan man fråga sig vad som hänt om Manly kommit upp i luften. Varken han eller Langley hade någonsin utfört glidflygningar, och de hade inte den ringaste kunskap om hur flygplanet skulle ha reagerat på roderrörelser. Dessutom saknade planet styrorgan i rollplanet. Och hur skulle Manly ha kunnat landa? Nio dagar senare flög bröderna Wright med Flier I.

Octave Chanute

Octave Chanute (1832–1910) [18, 19] var född i Frankrike och kom som 6-åring till USA. Han fick en god teknisk utbildning och blev expert på järnvägsanläggningar och brokonstruktioner. Efter 1891 ägnade han sig åt flygteknik. Han var medveten om att man måste börja med glidflygningar för att lära sig stabilisera och styra ett flygplan. Fig 22 visar den typ av hängglidare som Chanute utvecklade tillsammans med sin assistent Augustus Herring och som den senare och några andra flög med under 1896–97 från sanddynerna på sjön Michigans södra strand. Chanutes bestående tekniska insats var det

förstagade biplanet, ett koncept som stod sig långt in på 30-talet. Strukturen är olämplig ur motståndssynpunkt men utomordentligt stark i förhållande till sin vikt.



22. Chanutes hängglidare från 1896 [8].

Chanute samlade systematiskt flygteknisk information och gav 1894 ut boken "Progress in Flying Machines". Han påverkade flygteknikens utveckling genom sina föredrag och publikationer och genom att han, via internationell brevväxling, blev en viktig teknikförmedlare.

Chanute var fransktalande och det var genom honom i samband med ett par föredrag inför Aéro Club de France [20] som man i Frankrike fick kännedom om bröderna Wrights framgångsrika glidflygningar under 1902. Vid dessa föredrag beskrevs också systemet att skeva vingarna för styrning i roll. Chanute var bröderna Wrights förtrogne, och kontakten mellan dem bröts först vid Chanutes död.

Bröderna Wright

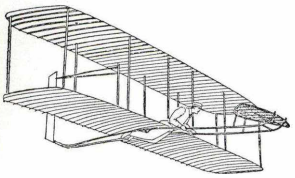
De amerikanska bröderna Wilbur (1867–1912) och Orville (1871–1948) Wright öppnade 1892 i Dayton en verkstad för reparation och tillverkning av cyklar [5, 18, 20]. Avkastningen från denna verksamhet betalade deras flygtekniska experiment fram till 1906 och byggandet av historiens första praktiska flygplan Flier III.

Bröderna var tekniskt begåvade men hade ingen formell teknisk utbildning. Wilbur Wright var tidigt flygintresserad och fick genom tidskrifter vetskap om Lilienthals glidförsök och också om hans död. Han studerade fåglar i flykt och skrev senare till Chanute att han var övertygad om att dessa använder mer positiva och effektiva metoder för att återställa sin jämvikt än förflyttningar av tyngdpunkten, och att han kommit till slutsatsen att de styr i rollplanet (fig 19) genom att vrida vingspetsarna.

1899 skrev Wilbur till Smithsonian Institution och bad om anvisning på flygteknisk litteratur. Han kom härigenom i kontakt med Langleys och Chanutes böcker liksom översatta delar av Lilienthals bok. Orville greps också av flygintresse, och tillsammans byggde de i augusti 1899 en biplansdrake förstagad enligt Chanutes idé och försedd med ett främre höjdroder. Med hjälp av två linor kunde de skeva vingstället och fann att detta återställde störningar i rollplanet. Detta var en av de mest betydelsefulla upptäckterna i flygplanets utvecklingshistoria [20].

Bröderna Wrights slutmål var att motorflyga, men de hade den riktiga uppfattningen att man måste börja med glidflygningar för att lära sig behärska styrning i byigt väder. De hade också uppfattningen att planet skulle vara instabilt i tipp och roll, så att föraren med hjälp av roder i varje ögonblick kunde "flyga" planet. Från början trodde de också att man bara behövde styra i tipp och roll. Som provplats valde de Kill Devil Hill på atlantkusten. Platsen bestod av mjuka sanddyner och det blåste nästan ständigt från havet.

Glider 3



23. Wrights Glider 3 från 1902 [8].

Proven med Glider 3 (fig 23) under hösten 1902 blev en succé. Mer än 800 flygningar på upp till 250 m genomfördes, och bröderna blev skickliga piloter. Men innan dess hade de råkat ut för många problem.

Till en början använde de sig av aerodynamiska profiler och data, publicerade av Lilienthal och Langley, men fann att dessa gav plan med dåliga glidtal. De byggde därför en egen vindtunnel med en våg för lyftkraft och motstånd i sin cykelverkstad och provade över 200 vingmodeller [6, 14]. De lärde sig att vingprofilens välvning ej får vara för stor om ett bra glidtal skall uppnås, och att vingens sidoförhållande skall vara så stort som möjligt. Vingskevningen på Glider 2 gav också en obehaglig överraskning. När man sökte häva en rollrörelse genom motsatt skevning svängde planet och utförde en sidglidning. Orsaken var vad vi idag kallar skevroderbroms, och bröderna trodde sig kunna bota detta genom att införa en fast vertikal fena. Åtgärden fungerade dock först sedan man gjort fenan styrbar (Glider 3). Att detta berodde på att roll- och girrörelser alltid är kopplade visste man ej då. Den nya frihetsgraden komplicerade emellertid manövreringen.

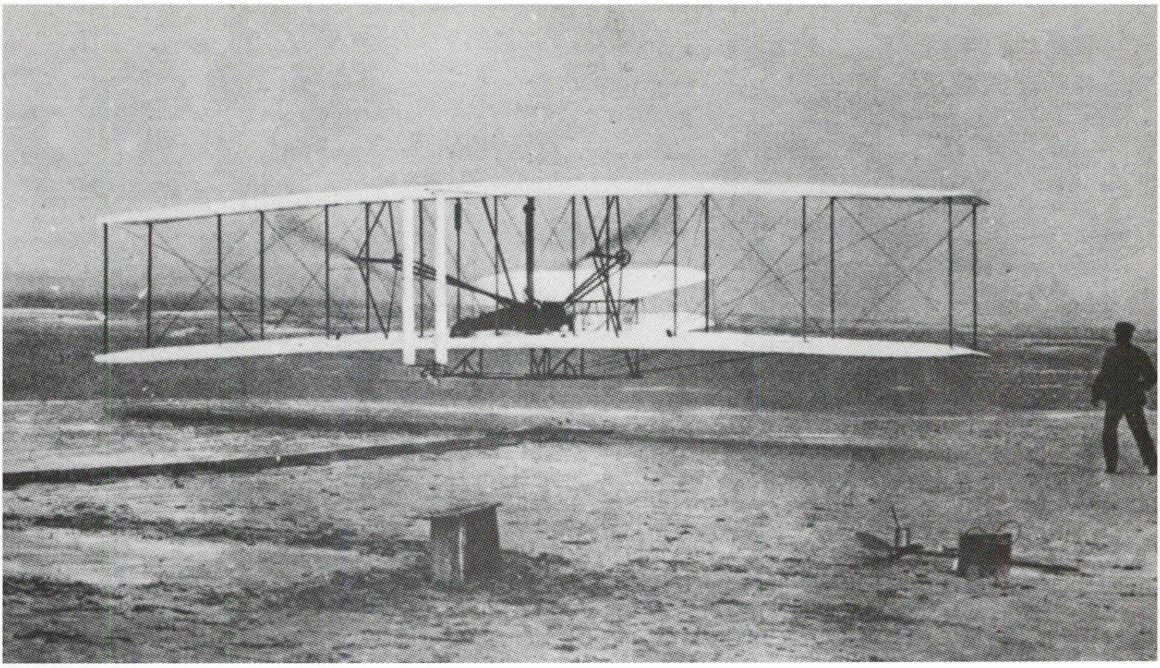
Piloten låg på undervingen och styrde höjdrodret med en spak. En höftsele påverkade skevningen när piloten flyttade sin kropp till höger eller vänster. Man kopplade nu också sidroderrörelsen till selen och fick ett system som påverkade planets rörelser kring alla tre axlarna. Det blev nu möjligt att också göra svängar. Uppmanade av Chanute lämnade bröderna in en patentansökan den 23 mars 1903 gällande sitt styrsystem med tillämpning på Glider 3 [6]. Patentet beviljades den 22 maj 1906.

Flier I

Efter framgångarna med Glider 3 ansåg Wrights sig mogna att bygga ett motordrivet plan. Strukturen blev en förstorad Glider 3 med samma vingbelastning (vikt/vingyta), men med både nosroder och fena av biplantyp [20]. Vingarnas förstagning ändrades så att endast bakkanten rörde sig vid skevningen. För starten konstruerades en 18 m lång träskena utmed vilken planet kunde röra sig på en tralla. Landningen skulle ske på två långa medar. Att bröderna ej försåg sitt plan med ett par cykelhjul kan ha berott på att hela området kring Kill Devil Hill var lös sand, men också på att man ville spara vikt. Spännvidden var 12,3 m, sidoförhållandet 6,25 och vikten 340 kg. Materialet var trä och duk.

Efter att ha sökt köpa en tillräckligt lätt motor från någon biltillverkare men misslyckats, konstruerade och byggde Orville och deras ende anställde mekanikern Charles Taylor en 4-cylindrig, vattenkyld motor som bara kunde köras vid ett varvtal. Den vägde 7 kg/hk och gav vid prov 12 hk effekt. En bilmotor användes som förebild. Framställningstiden var endast fyra månader [6].

Motorn drev genom en kedjetransmission två skjutande, motroterande propellrar sittande bakom vingstället. Wilbur svarade för pro-



24. Flier I har just lyft från startskenan den 17 december 1903 kl 10:35 och börjat historiens första riktiga motorflygning. Orville Wright var pilot [19].

pellerkonstruktionen. Efter att ha studerat tillgänglig litteratur om marina propellrar kom han till slutsatsen att han måste skapa sig en egen beräkningsmetod. Han antog att 2-dimensionell snitteori skulle gälla och använde profildata som tagits fram i vindtunneln [6]. Han måste ha känt till att en långsamtgående propeller har en bättre verkningsgrad än en snabbgående, för han valde att driva propellrarna med 1/4 av motorvarvtalet för att därigenom kunna använda en stor propellerdiameter. Den resulterande verkningsgraden, 66 %, uppnåddes inte av andra propellertillverkare förrän 1909.

Första motorflygningen

I september 1903 var Flier I färdig och fraktades till Kill Devil Hill. I december var man klar att pröva planets flygförmåga. Den 17 december skulle bli en historisk dag. Några vittnen från räddningsstationen vid Kill Devil Hill hade just anlänt, när Orville Wright la sig tillrätta på vingen till Flier I. Motorn startades, propellrarna ven och kl 10:35 lyfte planet från träskenan efter 12 m rullning i en kall motvind om cirka 10 m/s [19, 20]. I samma ögonblick togs den historiska bilden i fig 24. En pendlande flygning började på upp till 3 m höjd och efter 12 sek eller 36 m gjorde Orville en ofrivillig landning. Hastigheten mot vinden uppskattades till 45 à 50 km/tim och den flugna sträckan i förhållande till vinden till 150 à 160 m. Orsaken till pendlingarna i vertikalled och den ofrivilliga landningen var för stor känslighet hos höjdrodret. Detta var historiens första flygning vid vilken en maskin, bärande en man, startat med hjälp av sin egen motor och flugit framåt

utan hastighetsförlust och landat på ett område, beläget på samma höjd som startplatsen.

Den fjärde flygningen denna dag utfördes av Wilbur och slutade, också den, ofrivilligt efter 59 sek eller 256 m. I förhållande till luften flög han ungefär 800 m. När planet släpats tillbaka till startplatsen greps det av en vindby, slog runt och blev vrak. Flier I skulle aldrig mer flyga.

Flier II

Hemkomna till Dayton började bröderna bygga Flier II, som i stort var en Flier I med starkare motor. Kill Devil Hill hade övergivits, och man flög nu från en plats öster om Dayton kallad Huffman Prairie. 80 flygningar (varav en 5 min lång), med en sammanlagd flygtid av 45 min 5 sek, företogs under 1904. Den första flygningen i sluten cirkel utfördes den 20 september. Den bevittnades av A J Root, som skrev om den i sin tidning "Gleanings in Bee Culture" den första januari 1905 [20].

Huffman Prairie var ett trångt område, och för att inte vara beroende av nyckfulla vindförhållanden kompletterades startskenan med en katapultanordning i form av en draglina som påverkades av en fallande vikt i ett torn. Idén kom från Chanute.

Flier III

Den 23 juni 1905 tog man i bruk Flier III, som skilde sig från II genom att höjdroder och fena flyttats ut en meter var. Propellrarna var ytterligare nedväxlade och motoreffekten höjd till 24 hk. Fram till den 16 oktober företogs 49 flygningar på sammanlagt 3 tim 5 min. Den längsta var 39 km och tog 38 min 3 sek. Den utfördes den 5 oktober med Wilbur som pilot. Under sommaren ersattes den kombinerade skev-sid-rodermanövreringen med två oberoende manöverorgan. Därmed blev Flier III historiens första praktiska flygplan [20].

Flygningarna under 1904 och 1905 bevittnades av lokalbefolkningen men ignorerades i stort av pressen. Flygningen den 5 oktober bevittnades dock av 15 personer och rapporterades i "Dayton News and Post" [18].

Det sökta patentet var ännu ej beviljat, och för att behålla sina hemligheter lämnade bröderna ej ut foton av planet och tillät inte några inspektioner. Under 1905 erbjöds US Government vid två tillfällen att köpa en utvecklad Flier III men avvisade anbuden. Bröderna lämnade då samma erbjudande till England och Frankrike men fick avslag även där.

Wrights flyguppehåll

Den 16 oktober 1905 upphörde bröderna Wright med sina flygningar och tog inte upp dem igen förrän den 6 maj 1908. Wilbur Wright lämnade en redogörelse över brödernas flygverksamhet till tidskriften L'Aerophile, organ för Aéro Club de France, som publicerade den i januari 1906. Informationen misstroddes av många fransmän och gav

upphov till ett "anti-Wright-parti" [20], lett av Gabriel Voisin och Ernest Archdeacon, som baktalade och förringade Wrights insatser.

Archdeacon kunde inte acceptera att inte fransmännen var först och han hade stort inflytande som ordförande för Aéro Club de France. Voisin gick så långt att han i sina memoarer förnekade att bröderna gjort riktiga motorflygningar före 1908. Sina egna insatser antidaterade han för att ge sken av att han varit först [20].

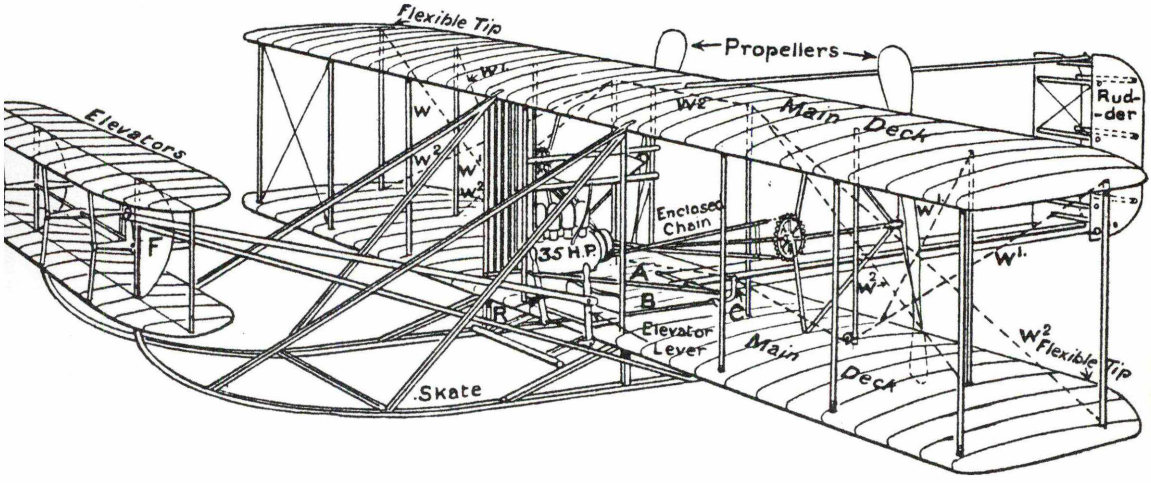
Wright A

Under 1906–07 byggdes i Dayton tre flygplan av typ Wright A (fig 25). Typen skilde sig från Flier III genom att piloten satt upp på vingens framsida med en passagerare vid sidan och att planet hade dubbelkommando. Motorstyrkan var höjd till 30 hk. Fortsatta försäljningsförhandlingar resulterade i en överenskommelse med US Army och en med ett franskt syndikat i början av 1908.

Efter träningsflygningar vid Kill Devil Hill med Flier III våren 1908 avseglade Wilbur Wright till Franrike för att utföra de stipulerade kontraktsflygningarna. Den 8 augusti visade han sitt plans överlägsna manöverförmåga inför en samlad fransk expertis. Det franska tvivlet på brödernas tidigare prestationer skingrades. Pressen var entusiastisk, och endast några få ledande personer inom "anti-Wright-partiet" fortsatte att nedvärdera dem [20]. Wilburs eleganta svängar övertygade också fransmännen om att man måste kunna styra i rollplanet, en funktion som fransmännen hittills negligerat.

Under de följande 4 1/2 månaderna genomförde Wilbur över 100 demonstrationsflygningar med en sammanlagd flygtid av 26 tim. Den längsta var 125 km och utfördes i regn och rusk på 2 tim 20 min. Ett

25. Wright A från 1907 [7]. Spännvidd 12,5 m, sidoförhållande 6,25, vikt 450 kg, motoreffekt 30 hk.



höjdrekord om 108 m sattes den 18 december. Därmed var licensavtalet med det franska syndikatet klart.

Den 3 september 1908 började Orville Wright en serie provflygningar vid Fort Myer med den Wright A som US Army beställt. 10 flygningar utfördes, den längsta med en varaktighet av 1 tim 14 min, vilket var den första flygningen i historien på över en timme, före den 17 september. Denna dag startade han med US Armys kontrollant, löjtnant Thomas Selfrige, som passagerare. Under flygningen inträffade ett propellerhaveri, som ledde till en störtning från 15 m höjd. Löjtnant Selfrige blev motorflygningens första offer och Orville fick tillbringa ett par månader på sjukhus innan han kunde flyga igen [20].

Ferdinand Ferber

1898 började den franske artillerikaptenen Ferdinand Ferber (1862–1909) experimentera med drakar, inspirerad av Lilienthals glidförsök [6]. Han fick genom Chanute kontakt med bröderna Wright, en kontakt som sporadiskt uppehölls till Ferbers död [19]. Han insåg glidflygningens betydelse och byggde fem glidplan fram till 1904, de senare liknande Glider 2 men utan vingskevning, en funktion han ej förstod. 1904 gjorde han sin glidare egenstabil genom att tillfoga en bakre stabilisator. Planet flög dåligt, men konfigurationen kom att få stort inflytande på den fortsatta franska utvecklingen. Även hans försök att bygga motordrivna plan misslyckades.

Ferber hade betydelse huvudsakligen som informatör och inspiratör. 1909 köpte han ett Voisinplan med vilket han omkom den 22 september 1909 [20].

Alberto Santos-Dumont

Alberto Santos-Dumont (1873–1932) kom 18 år gammal från Brasilien till Paris [2, 17]. Han hade till synes obegränsade ekonomiska tillgångar. Santos-Dumont skulle studera bilar och ballonger, men det blev luftskeppen som fångade hans intresse. Henry Deutsch de la Meurthe, fotogenmagnat och flygintresserad, hade satt upp ett pris om 100 000 fr till den som kunde flyga från StCloud till och runt Eiffeltornet och tillbaka på 30 min. Den 19 oktober 1901 flög Santos-Dumont med sitt skepp nummer VI den stipulerade sträckan på 29 min 31 sek. Hälften av prispengarna skänkte han till Paris fattiga och hälften till sin markpersonal.

Han blev intresserad av motorflygplan och utförde med ett plan, kallat XIV:bis, den första europeiska flygningen den 23 oktober 1906. Flygsträckan blev bara 60 m varför ett nytt försök gjordes den 12 november. Den tillryggalagda sträckan blev nu 240 m och flygtiden 21 sek [20]. Platsen var övningsfältet Bagatelle i Bois de Bologne. Planet var av anktyp, med vinge och stabilisator utformade som låddrakar. Låddraken, som var utomordentligt stabil, hade uppfunnits av australiensaren Lawrence Hargrave 1893 [13]. En 50 hk motor drev en primitiv propeller. Planet flög endast en gång till och hade

inget inflytande på den tekniska utvecklingen.

"Anti-Wright-partiet" gjorde ett stort nummer av dessa flygningar och Aéro Club de France lät sätta upp en minnessten, som fortfarande står kvar på platsen för flygningarna och som har inskriptionen [21]:

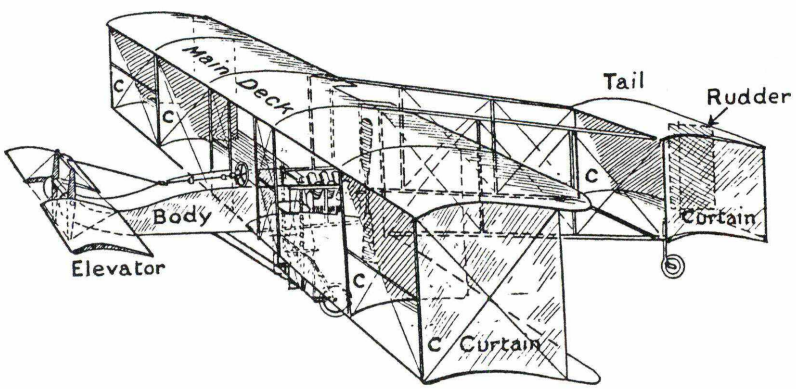
> "Här satte Santos-Dumont den 12 november 1906 under Aéro Club de France kontroll det första världsrekordet i flygning. Flygtid 21,2 sek, sträcka 220 m."

När denna sten sattes upp hade Wilbur Wright redan flugit 39 km non-stop. 1928 – 25 år efter brödernas flygningar 1903 lät Orville Wright resa en 12 m hög granitpelare på Kill Devil Hill för att minna om deras bedrifter [22].

Santos-Dumont blev aldrig någon framgångsrik flygplanstillverkare. 1909 byggde han sitt sista plan, och hans ackumulerade flygtid kunde räknas i minuter. 1910 drabbades han av multipelskleros och slutade med flygning.

Gabriel Voisin

Fransmannen Gabriel Voisin (1880–1974) studerade arkitektur, när han 1904 anställdes av Ernest Archdeacon (1863–1957) för att utföra prov med dennes glidplan, byggt med Glider 2 som förebild [20]. En alltför stor vingprofilvälvning och ingen vingskevning gav planet så dåliga egenskaper att det övergavs efter en kort tids användning. Gabriel Voisin och hans bror Charles byggde 1905 två pontonförsedda glidplan av låddraketyp [2] med främre höjdroder à la Wright för Archdeacon och Louis Blériot. De bogserades efter motorbåt och havererade efter korta flygningar. Efter detta utfördes inga systematiska glidförsök i Frankrike.



26. Voisin från 1907 [7]. Spännvidd 12,5 m, sidoförhållande 6,25, vikt 550 kg, motoreffekt 50 hk.

1907 fick Voisin ett motorplan med låddrakeutseende färdigt (fig 26) [7]. Det gjorde ett 60 m hopp den 30 mars med Charles Voisin som pilot. Planet var mycket egenstabilt utom i rollplanet och kunde flygas endast i myckert lugnt väder. Styrförmågan var ringa och Gabriel Voisin, som ej själv flög sina plan, insåg ej att rörelser i lateralplanet fordrade styrning i både gir och roll.

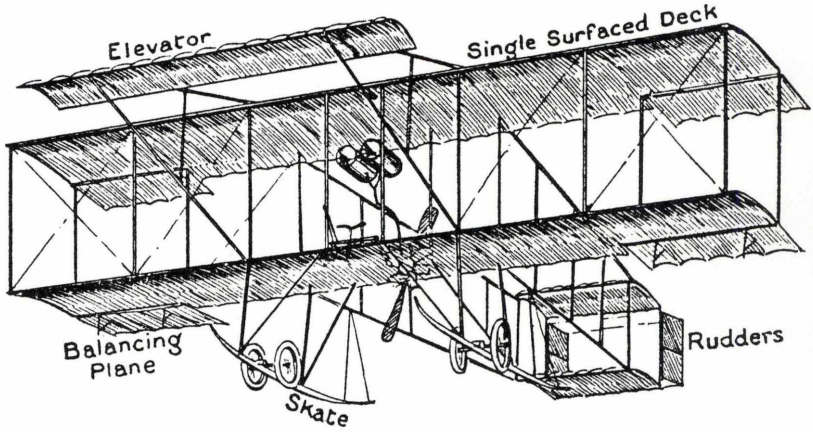
Henri Farman

Den i Franrike naturaliserade engelsmannen Henri Farman (1874–1958) var konstnär, tävlande cyklist och racerbilist innan han gav sig flyget i våld. Han vann tävlingen Paris–Wien 1902 som fabriksförare för Panhard [13].

1907 köpte Farman ett Voisinplan och flög den 9 november som förste europé en dryg minut. Farman införde ändringar på sitt plan och döpte successivt om det till Voisin-Farman I, II och III.

Med varianten I utförde han den första cirkelflygningen i Europa [5]. 1904 hade de la Meurthe satt upp 50 000 fr som pris till den som först flög en cirkel med omkretsen en kilometer. Den 13 januari 1908 vid Issy-les-Molineaux under överseende av kontrollanter från Aéro Club de France startade Farman, gjorde med hjälp av endast sidroder en vid flatsväng och återvände till startplatsen. Sträckan blev 1 500 m och flygtiden 1 min 28 sek. Flygningen betecknades av Archdeacon som historiens första flygning, där piloten återvänt till startplatsen [20], trots att motsvarande flygning gjorts av bröderna Wright redan 1904.

Farman insåg efter Wilburs uppvisning den 8 augusti 1908 att framgångsrik flygning inte kunde uppnås utan rollstyrning. Av hållfasthetsskäl kunde han emellertid inte applicera Wrights vingvridningssystem utan införde istället stora skevroder (Voisin-Farman III).



27. Farman III från 1909 [7]. Spännvidd 10 m, sidoförhållande 5, vikt 520 kg, motoreffekt 50 hk.

I princip var detta ingenting nytt. Små skevroder för som man sa "rollbalansering" hade utan framgång använts sedan 1904. Det nya i situationen var att de gjordes stora nog för styrning i rolled [20].

Följande år 1909 övergav Farman Voisin och startade en egen framgångsrik flygplanstillverkning. Fig 27 visar det första planet [7]. Det var egenstabilt enligt det europeiska konceptet, men stabiliteten var reducerad till en sådan nivå att god styrförmåga erhölls. Det hade skevroder och var det första praktiska europeiska flygplanet.

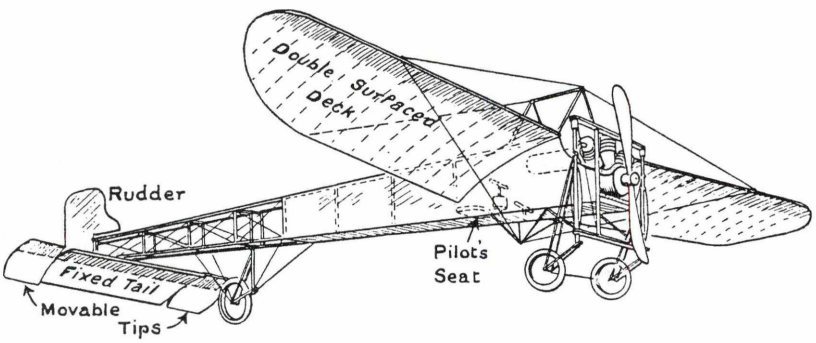
Louis Blériot

Fransmannen Louis Blériot (1872–1936) [23] var ingenjör och tillverkade acetylengaslampor för bilar innan han började med flygning. 1905–07 samarbetade han med Voisin men gick sedan sin egen väg. Han hoppade från den ena konfigurationen till den andra men kom så småningom fram till det egenstabila monoplanet med dragande propeller. Efter Wrights uppvisning insåg också Blériot nödvändigheten av rollstyrning, och i sitt nästa projekt, Blériot XI [7], kopierade han Wrights vingvridningsidé. Flygplanstypen (fig 28) blev känd genom Blériots flygning över Engelska kanalen 1909.

Samuel Cody

Amerikanaren Samuel Cody (1861–1913), från början cirkusartist, blev i slutet av 1800-talet intresserad av drakar och patenterade 1901 en manbärande konfiguration, bestående av tre drakar och under dessa en sits.

I december 1903 strax före bröderna Wrights första motorflygningar färdades Cody med hjälp av sitt draksystem från Dover till Calais bogserad av en motorbåt [13]. Detta var första och enda gången någon tagit sig över Engelska kanalen på detta sätt. Han engagerades av British Army för att bygga manbärande drakar. Hans experiment resulterade så småningom i "the Army Aeroplane Nr 1", som flög som första motordrivna plan i England 460 m den 16 oktober 1908.



28. Blériot XI från 1909 [7]. Spännvidd 8,6 m, sidoförhållande 5, vikt 340 kg, motoreffekt 24 hk.

Louis Breguet

Fransmannen Louis Brequet (1880–1955) [24] hade en högskoleutbildning inom elektroteknik. 1905 började han att konstruera en helikopter, som provades den 29 september 1907. Den lyfte med sin förare men måste stabiliseras av 4 man. Därför anser man att fransmannen Paul Cornu, som utan assistans lyckades lyfta den 13 november 1907, skall anses vara historiens förste helikopterflygare [10]. Den praktiska helikoptern kom dock ej förrän vid 1930-talets slut.

Breguet började sedan med vanliga flygplan och hade 1909 prototypen klar till ett biplan med dragande propeller. En efterföljare till denna var B1, Sveriges första med statliga medel anskaffade militärplan [6].

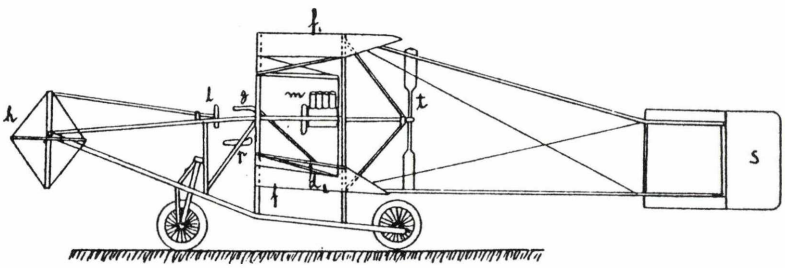
Glenn Curtiss

AEA eller Aerial Experiment Association instiftades 1907 av Graham Bell (1847–1922), telefonens uppfinnare, och hans maka med uppgift att bygga fem flygplan till organisationens medlemmar, bland vilka Thomas Selfrige och Glenn Curtiss (1878–1930) ingick [5].

Curtiss hade ingen formell utbildning och öppnade år 1900 en cykelreparationsverkstad. Han började bygga motorcyklar och utvecklades till en skicklig motorkonstruktör. Detta var skälet till att Bell ville ha honom med i AEA, men han blev efter en kort tid också AEA:s flygplanskonstruktör. Efter Selfriges död den 17 september 1908 vid olyckan i Fort Myer upplöstes AEA, och Curtiss fortsatte på egen hand. Han byggde "Golden Flier" och deltog med denna som representant för Aero Club of America vid flygmötet i Reims 1909 (fig 29) [6]. För att undvika en konflikt med bröderna Wright valde Curtiss att använda skevroder för rollstyrning. Han blev emellertid stämd av bröderna Wright för patentintrång, och 1914 avkunnades en dom av USA:s högsta domstol till Wrights förmån.

År 1909

Under 1909 ändrades utvecklingen. Wrightplanens överlägsenhet i fråga om manövrerbarhet upphörde när andra flygplanstillverkare införde vingvridning eller skevroder för kontroll i roll och minskade



29. Curtiss June Bug förebild för Golden Flier från 1909 [6]. Spännvidd 8,9 m, sidoförhållande 6,3, vikt 250 kg, motoreffekt 40 hk.

egenstabiliteten i tipp. Sådana plan var lättare och säkrare att flyga då de inte behövde styras aktivt hela tiden [20].

För bröderna Wright började en serie processer kring deras patent, som inte tog slut förrän vid första världskrigets utbrott. Under tiden dog Wilbur i tyfus den 30 maj 1912. Det sista Wrightplanet byggdes 1915 [19]. Sedan en tid hade man då anammat det europeiska egenstabila systemet och även infört skevroder och hjullandningsställ.

Årets händelse var Blériots flygning över Engelska kanalen [25]. Daily Mail utlyste 1909 ett pris på 1 000£ till den som först flög över Engelska kanalen i ett motordrivet flygplan. Den 25 juli kl 4:35 på morgonen startade Blériot med sin typ XI från Baraques nära Calais. Han flög på 125 m höjd över havet delvis i dimma, siktade Dover Castle och landade, efter att ha passerat genom en öppning i den vita klippväggen, i Northfall Meadows. Sträckan 37,6 km tog 42 min 30 sek att tillryggalägga. Vid landningen bröts landningsstället och propellern sönder. Tiden efter fick Blériot över 100 beställningar på sin typ XI.

Den första flygningen i Sverige med ett motordrivet flygplan ägde rum på Ladugårdsgärde [26]. Den gula maskinen, en Voisin-Farman III tillhörande ett danskt konsortium, kom per järnväg till Stockholm. Torsdagen den 29 juli 1909 kl 3:30 på morgonen gjorde piloten, fransmannen Legagneux, en flygning runt Gärdet. Den första officiella flygningen ägde rum den 2 augusti i närvaro av Gustaf V. Flygningen var inte imponerande, ett 3 minuters pass på 4 à 5 m höjd.

1909 hade flygplanen i princip fått de konfigurationer som än idag är aktuella, monoplanet respektive biplanet med sjärt och dragande propeller. Blériots kanalmaskin var en typisk representant för monoplanet och nykomlingen Breguet för biplanet. Gnomes 7-cylindriska, luftkylda, roterande stjärnmotor debuterade [7]. Den vägde 1,5 kg/hk och presterade 50 hk. Den skulle komma att bli ledande under många år och var orsaken till att flygare på den här tiden luktade ricinolja och hade fullt med svarta stänk i ansiktet. Detta år kom också en fransk propeller (Chauviére) med en verkningsgrad jämförbar med Wrights 1903-modell.

Fram till 1909 hade flygplanskonstruktörerna knappast någon nytta av teoretisk strömningslära [3]. Genom speciellt Prandtls insatser skulle detta komma att ändras radikalt inom en nära framtid. Inom teoretisk flygmekanik lade professor G H Bryan redan 1904 fram sitt arbete "The Longitudinal Stability of Aerial Gliders" [4, 27], där han gav den första matematiska framställningen av villkoren för flygplans statiska och dynamiska stabilitet i vertikalplanet vid små störningar. I sitt fortsatta arbete gjorde han en motsvarande analys för de övriga frihetsgraderna. Han fann teoretiskt, liksom bröderna Wright tidigare praktiskt, att ett flygplans rörelser i gir och roll är kopplade. Hans bok "Stability in Aviation" från 1911 fick ett mycket stort inflytande

på den kommande utvecklingen. Bryans linjäriserade rörelseekvationer tillämpas än idag.

Bästa prestanda vid utgången av 1909 [7, 10]:

Flygplan:	Distans non-stop	234,5 km
	Tid non-stop	4 tim 18 min
	Hastighet	80 km/tim
	Höjd	830 m
Luftskepp:	Distans non-stop	965 km
	Tid non-stop	37 tim 40 min
	Hastighet	40 km/tim
	Höjd	1 500 m
Ballong:	Distans non-stop	950 km
	Höjd (från 1901)	10 800 m

Vid denna tid var det inte självklart att flygplanet skulle bli det dominerande framtida transportmedlet i luften. Många tillmätte luftskeppet större chans. Gasballongen var redan vid 1900-talets början fullt utvecklad. Den användes som sportredskap och förankrad för militär spaning.

Svenska insatser

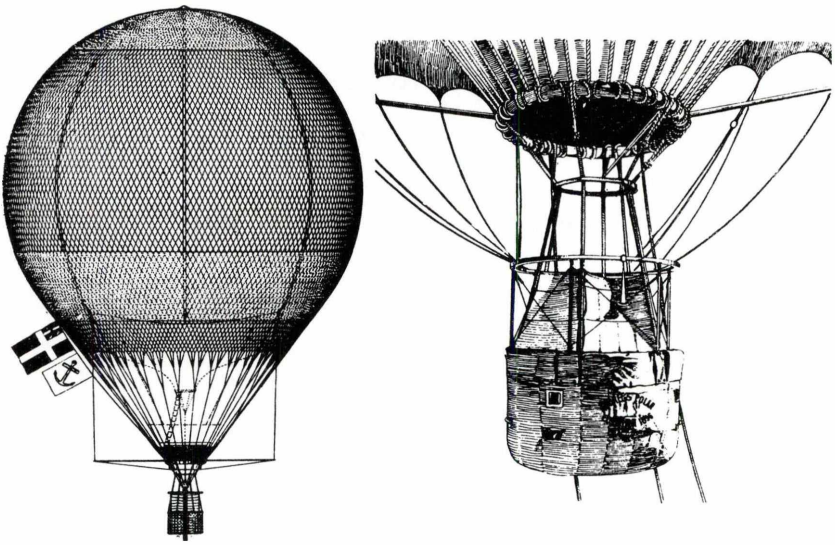
För att ge en samlad bild av de svenska insatserna under den aktuella tidsperioden har de förts ihop under en gemensam rubrik. Med ett undantag har de haft ringa inflytande på den flygtekniska utvecklingen.

Emanuel Swedenborg

Naturvetaren och uppfinnaren Emanuel Swedenborg (1688–1772) publicerade 1714 ett förslag till ett flygplan, bestående av en välvd fast bäryta och ett par luftåror [33]. Han var medveten om att en människas muskelkraft ej kunde räcka till för att höja sig upp i luften med hjälp av vingslag. Han förordade att planet skulle dras upp i luften med en lina och sedan utföra en glidflygning som kunde korrigeras med årorna. Kunskaper om flygplans stabilitet saknades vid denna tid liksom uppgifter om hur en vinge får goda aerodynamiska egenskaper. Projektet blev aldrig utfört. Hade Swedenborg fortsatt och lärt av erfarenheterna kunde han ha blivit historiens förste glidflygare.

Salomon August Andrée

Det första och hittills enda försöket att nå Nordpolen med ballong gjordes av Salomon August Andrée (1854–1897) [6, 32]. Han räknade med att flyga sträckan Spetsbergen–Berings Sund via Nordpolen på 30 dygn med medelhastigheten 7,5 m/s. Den verkliga hastigheten blev 2 m/s, och han kom endast 16 % av den avsedda sträckan. Ballongen, som döpts till Örnen (fig 30), lyfte kl 13:46 den 11 juni 1897 från Virgo Bay på Spetsbergen. Efter någon kilometer förlorades en stor del av släplinorna, som tillsammans med en uppsättning segel skulle användas för att styra ballongen.

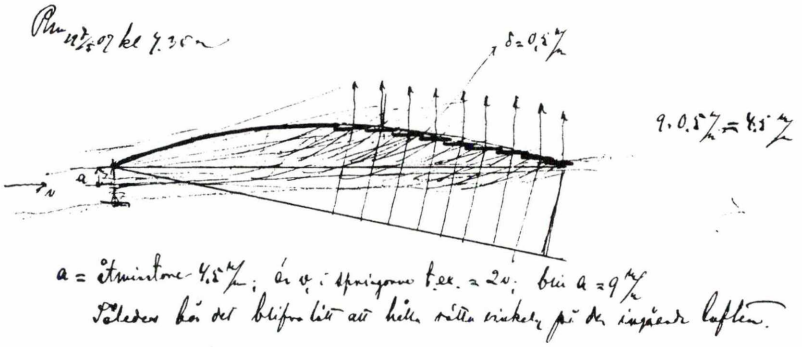


30. Andrées polarballong med gondolen i närbild [35].

1930 hittades kvarlevorna av Andrée och hans båda följeslagare Nils Strindberg och Knut Fraenkel. Av Andrées dagbok framgår [32] att ballongen redan efter något dygn började stöta i isen. Trots att all tillgänglig barlast slängdes överbord måste man överge ballongen kl 7:22 på morgonen den 14 juli efter mindre än 3 dygns färd i mestadels dimma och duggregn. Man kom ungefär 1/3 av sträckan till Nordpolen men i alltför östlig riktning. Enligt [6] uppgick gasförlusten redan före starten till 84 kg/dygn mot beräknade 1,67 kg/dygn. En färd utan isbark och väta skulle möjligen ha kunnat pågå ett par dygn till. Nordpolsfärden var Andrées 12:te ballongflygning. De övriga två hade ännu mindre övning.

Gustaf de Laval

Ångturbiner, gasturbiner, raketmotorer och överljudsvindtunnlar innehåller alla Lavalmunstycken. Dessa konvergenta-divergenta



31. Spaltad vinge i Gustaf de Lavals anteckningsbok 1901. TM.

munstycken som producerar överljudsströmning uppfanns 1888 [5] av svensken Gustaf de Laval (1845–1913) [28] i samband med hans utveckling av ångturbiner för mycket höga varvtal.

Mindre känt är att uppfinnaren de Laval också intresserade sig för flygteknikens problem. Kring år 1900 undersökte han vingars lyftkraft (fig 31) och kroppars motstånd liksom egenskaper hos propellrar i en vindtunnel [31]. Om undersökningarna utnyttjats inom flygtekniken är okänt liksom vart tunneln tog vägen.

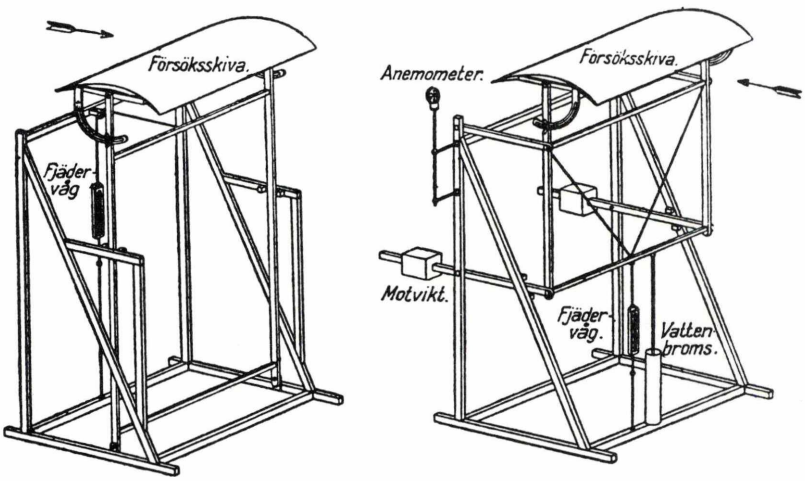
Johan Erik Cederblom

Johan Erik Cederblom (1834–1913), fram till 1899 professor i maskinlära med ångteknik vid KTH [34], är känd som pionjär inom vattenburen centraluppvärmning av bostäder.

1895 började han att experimentellt bestämma lyftkraft och motstånd som funktion av anfallsvinkeln hos vingar med olika grad av välvning. Han kände till klassisk strömningsteori och förstod att den ej kunde ersätta experiment. Han gjorde sina mätningar i naturlig vind med hjälp av apparaturen i fig 32. För att erhålla möjligast horisontella luftström höll han till på låga berghällar långt ute i sjöar. Senare, 1908, använde han istället en 4 m lång vindtunnel med tvärsnittet 1 m^2.

1902 utförde Cederblom liknande mätningar i en vattentunnel. Hans idé var att en båt försedd med bärplan skulle vara ett bra ekonomiskt alternativ till deplacementsbåten, speciellt om man också satte på ett par vingar som övertog den bärande funktionen när farten blev tillräckligt hög.

1895 gjorde Cederblom förberedande propellerförsök sedan han i



32. Apparatur för mätning av lyftkraft och motstånd hos välvda plattor i naturlig vind [34].

likhet med Wilbur Wright inte kunnat finna en färdig beräkningsmetod för luftpropellrar. Han fortsatte dessa experiment under 1903–04 och gav ut en propellerteori 1907.

Carl-Rickard Nyberg

Carl-Rickard Nyberg (1858–1939) var en självlärd tekniker som 1881 uppfann blåslampan och startade en framgångsrik industri kring denna [29, 30].

Han började sin flygtekniska verksamhet ungefär 1890, och 1899 hade han utarbetat ett projekt, som stannade på papperet [17]. Samma år lärde han känna Cederblom och det är möjligt att denne hjälpte honom med hans nästa projekt Flugan, som stod färdig 1904. Planet hade en lätt ångmaskin och provades tjudrat i en rundbana men kunde inte lyfta med sin förare. Inför sitt nästa projekt kallat Nyberg 3, började han 1908 att göra försök i en vindtunnel [31] med mätsträckan 0,3 × 0,3 m. Projektet blev aldrig byggt och 1910 upphörde Nyberg med flygtekniska experiment. Vindtunneln finns bevarad på Tekniska Museet.

Källor

1. Garber, P E, The National Aeronautical Collections. Smithsonian Institution Press, Washington DC 1956.
2. Gibbs-Smith, C H, Aviation—An historical survey, 2nd ed. Science Museum, London 1964.
3. Giacomelli, R, Aerodynamic Theory, Vol 1, Historical Sketch. Julius Springer, Berlin 1934.
4. von Kármán, T, Aerodynamik. Interavia, Genf 1956.
5. Anderson, J D Jr, Introduction to Flight, 3rd ed. McGraw-Hill, New York 1989.
6. Samuelson, G, Flygandets teknologi. En berättelse och antologi. Saab-Scania, Linköping 1976.
7. Williams, A, Engineering Wonders of the World. Vol III, Thomas Nelson. New York 1910.
8. Uppfinningarna, Del 1. Baltiska förlaget, Malmö 1926.
9. Rydberg, S, Svensk teknikhistoria. Gidlunds, Hedemora 1989.
10. Mason, F K, Air Facts and Feats. Guiness Superlatives Ltd, London 1970.
11. Winge, G, Kring luftfärderna över Stockholm 1851. Flyghistoriskt Månadsblad 1–2 1983.
12. Waernberg, J, Winge, G, Kring luftfärderna över Öresund för 130 år sedan. Flyghistoriskt Månadsblad 11 1981.
13. Andrews, A, Back to the Drawing Board. David & Charles Abbot, London 1977.
14. Goin, K L, Evolution and Use of Wind-Tunnels. AIAA Student Journal, Feb 1971.
15. Anderson, J D Jr, Modern Compressible Flow. McCraw-Hill, New York 1982.
16. Timoshenko, S P, History of Strength of Materials. McGraw-Hill, London 1953.
17. Holmqvist, C E, Flygning. Albert Bonniers förlag, Stockholm 1940.
18. Hallion, R P, Test Pilots. Smithsonian Institution Press, Washington DC 1988.
19. Ångström, T, Bröderna Wright och Octave Chanute. Dædalus 1949.
20. Gibbs-Smith, C H, The Rebirth of European Aviation. Science Museum, London 1974.
21. Hägglöf, I, Drömmen om Europa. Norstedt, Stockholm 1987.
22. Weick, F W, From the Ground Up. Smithsonian Institution Press, Washington DC 1988.
23. Louis Blériot. Z Flugwiss 7 (1959), Heft 12, s 369.
24. Ferdinand von Zeppelin, Louis Breguet. Z Flugwiss 4 (1956), Heft 12, s 393 och 395.

25. Gregory, W H, Portraits of Flight. McGraw-Hill, Switzerland 1985.
26. Kindberg, N, Flygmaskinens debut i Sverige. Flyghistoriskt Månadsblad 1 1972.
27. Lighthill, M J, Mathematics and Aeronautics. JRAS, July 1960.
28. Ernst Mach, Gustaf de Laval. Z Flugwiss 5 (1957), Heft 12, s 378 och 379.
29. Westerberg, R, Flugans vingar återfunna. Flyghistoriskt Månadsblad 12 1979.
30. Kindberg, N, Svensk flygindustri genom tiderna 1. Dædalus 1965.
31. Petersohn, E G M, Flygtekniska Försöksanstaltens tillkomst 1940. FFA, Stockholm 1965.
32. Andersson, J G, Hur vi erövrade jorden, Del 1. Saxon & Lindström, Stockholm 1953.
33. Löfkvist, H-E, Några kommentarer till E Swedenborgs flygplansprojekt. Dædalus 1988.
34. Cederblom, E, Ur professor J E Cederbloms efterlämnade papper. Almqvist & Wiksell, Uppsala 1920.
35. Uppfinningarnas bok, II. Stockholm 1901.

Aeronautical history—how it began

Summary Aeronautical progress is the result of many events. Some were of great importance while others were odd phenomena. Contributions from the time of Leonardo da Vinci to the year 1909 are reviewed in the text. Theoretical fluid dynamics had marginal importance during the period considered and aeronautical developments were entirely dependent on practical achievements.

The first man-carrying airborne vehicle was the free-flying balloon. It was later followed by the dirigible airship. The car engine paved the way for powered flight but it was too heavy to be used directly in aircrafts. Successful powered flight started with Flier I built and flown in 1903 by the Wright brothers. They also built the first praktical aeroplane in 1905. Progress in Europe lagged behind and the first practical aeroplane did not appear there until 1909.

By 1909, the gas balloon had long been used for military reconnaissance and sport, the airship was on the point of being introduced as a means of transportation and the aeroplane had in principle achieved its final configuration. Subsequently there was an immense improvement in the aeroplane's performance, reliability and safety; the gas balloon disappeared; and the airship was outdone by the aeroplane.