BEVINGAT
FLYG- OCH RYMDTEKNISKA FÖRENINGEN
Redaktör: Ulf Olsson (ulf.olsson.thn@gmail.com)

BEVINGAD FLYGHISTORIA

Ul f Ol sson

Historiska artiklar ur tidskriften Bevingat 2014-2023

Flygning med flax	sid.	3
Varför kunde inte romarna flyga?		6
Ferdinand von Zeppelin		8
Newton och reaktionskraften		10
Vem var Wan-Hu?		12
Bernoullis ekvation var Eulers		14
Flygpionjären Swedenborg		16
Hur George Cayley uppfann flygplansvingen		19
Clément Ader “flygningens fader”?		20
Om Otto Lilienthal		22
Bröderna Wright och propellern		23
Europa tar över efter bröderna Wright		27
Enoch Thulin en svensk flygpionjär		29
Inte bara Thulin		31
Ludwieg Prandtl upptäckte toppvirvlarna		33
Charles Lindberg och flygets genombrott		34
Trafikflyget och propellern		36
Propellern vid ljudhastigheten		38
Dags för jetmotorn		40
Tidiga svenska flygplan och motorer		42
Svenska jetåldern börjar		45
En svensk flygmotorpionjär		47
John Brodie och svenska jetmotorer		49
Motorval till Viggen /Uppstart RM8 projektet		50
Ljudvallen-var det en vall?		52
Kan man flyga överljud med propeller?		54
Hitlers flygande vinge		57
Segelflygets historia		60
Bypassmotorn revolutionerade luftfarten		64
Större och större dag för dag		67
Historien om helikoptern		71
Passagerarflygets historia		74
Hur man byggde flygplan förr		78
Miljö och bränsle gav nya begränsningar		81

Historien om luftmotståndet	sid. 85
Historien om den flygande bilen	88
Jetmotorns utveckling	91
Raketflygplan	94
En drönande historia	97
Med ram och scram mot höga hastigheter	100
Superplanen som kom av sig	103
Robotvapnens historia	106
Smygflygplan	109
Variabla vingar	112
Jetpaket	114
Atomflygets historia	118
“Flygande tefat”- en gammal historia	121
Jordiska “flygande tefat”	121
Krutraketens historia	128
Vätskeraketen blir till	131
När man började flyga till rymden	134
Rymdflygplanens historia	137
Satellitens historia	140
Interplanetär historia	144
Atomraketens historia	149
Historien om elektriska raketer	151
Historia elektriska flygplan	156
Historia vätgasdrivna flygplan	161
Flygplatshistoria	163
Flygledningens historia	162
Historien sammanfattad	164
Framtidens flygteknik	167

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 uppge 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 benedektinermunken **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, **Giovanti 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 svensexa, 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.

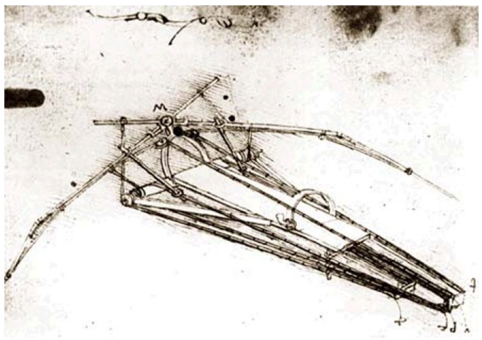
Alla dessa försök handlade mest om glidflygning. Idén om ortokoptern, en maskin med plana flaxande vingytor (ortos), kläcktes av en engelsk filosof **Roger Bacon** (1214-1294).

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

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

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

Edward Frost från England började också bygga ornikoptrar unde r 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 ornikopter 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 IIa segelflygplan, som flögs 1947, se bild nedan.

Under 1959 byggde **Emil Hartman** I England en mänsligt driven ornikopter som, drogs upp I luften av en bil loch 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 forsök 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 sprängladdning. 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 irisen på deras ögon. Robotflugor skulle också kunna ligga på lur vid flygfälten och låta sig sugas in i jetmotorerna för att skada turbinbladen.

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

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

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

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

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

Varför kunde inte romarna flyga?

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

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

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

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

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

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

Bröderna Mongolfier

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

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

Archimedes (287-212 f Kr)

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

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

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

Det var ett beklagligt misstag ty den romerske befälhavaren Marcellus var väl medveten om Arkimedes förmåga och hade gett order om att han skulle betraktas som värdefullt krigsbyte. Romarna framförde till och med sina ursäkter och betalade ut en ersättning till hans familj. Det var tvärt emot den romerska krigstaktiken ty enligt denna skulle allt levande, såväl människor som djur, i avskräckande syfte mördas i städer, som inte gav sig.

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

Papperet är en kinesisk uppfinning och det borde legat nära till hands att en kines kommit på Montgolfiers ide' att binda fast en eld under draken, som man ju uppfunnit. Men kineserna 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 krigen mot mongolerna, som på 1200-talet ledde till den kinesiska stormaktens fall.

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

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

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

Idealet var den rena kunskapen utvecklad av ekonomiskt oberoende och fritt filosoferande aristokrater. Man försökte så mycket som möjligt fjärma 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 Fransesco 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 ballonger 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 träköl längs botten på ballongen men det fungerade aldrig särskilt bra. Här kom Zeppelin in i bilden.

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

Ferdinand (andra från höger) under det amerikanska inbördeskriget

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

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

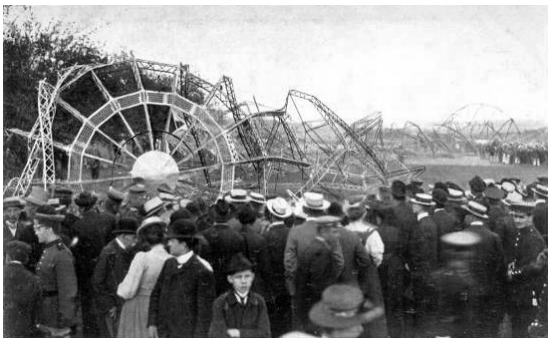
Men Ferdinand var ung och det romantiska Vilda Västern lockade kanske mer än det mekaniserade mördandet. Hur som helst så lämnade han krigszonen och sökte sig västerut. Det var I St Paul i Minnesota långt från striderna, som vändpunkten i hans liv kom. Han fick flyga i en 4000 kubikmeters ballong, som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

Han återvände till sIn militärtjänst i Tyskland men fortsatte att grubbla över ballonger. År 1874 gjorde han anteckningar I sin dagbok om en aerodynamiskt utformad ballong förstyvad av ett fackverk av ringar och längsgående 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 uppgjord planer.

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

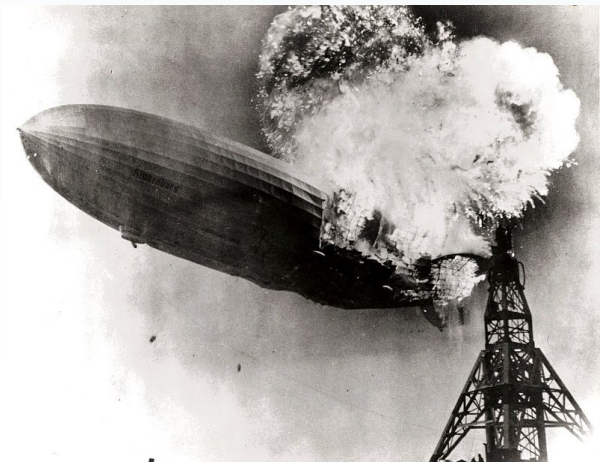
Från 1890 ägnade han sig helt åt styrbara luftskepp. Han grundade företaget Zeppelin i Friedrichshafen vid Bodensjön och efter tio år den andra juli 1900 flög hans första zeppelinare, det 128 meter långa LZ 1, över sjön. En zeppelinare är ett stelt luftskepp, motordrivet och gasballongbaserat på ett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



Rester av LZ4 vid Echterdingen

Han hade många motgångar, bland annat en allvarlig katastrof vid Echterdingen 1908. Hans fjärde version av luftskepp, LZ4, måste nödlanda under en storm men slet sig från sina förtöjningar och förstördes när vätgasen exploderade. Men med okuvlig energi lyckades Zeppelin samla medel för att fortsätta experimenten och nå de mål han satt upp. Efter olyckan i Echterdingen genomfördes "Zeppelinspende", den största insamlingen i det kejserliga 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 fientliga länderna för rekognosering och för bombning.



Hindenburg brinner

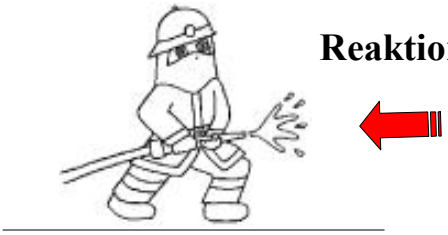
Zeppelin dog 1917 före slutet av första världskriget. Det var först efter hans död, som hans uppfinning kom att användas civilt. Under åren före andra världskriget användes zeppelinare i passagerartrafik över Atlanten och mellan flera tyska städer. Dessa tyska zeppelinare var fyllda med vätgas för att 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 anlänt till Lakehurst i New Jersey. Troligen träffades det av en blixt som antände vätgasen. Händelsen filmades och reportern som kommenterade började gråta, vilket nog bidragit till att denna filmsnutt blivit en av de mest uppmärksammade och mest sedda katastrofdokumenten. 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=mc2, 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 misstänkte alla människor men älskade djur. När hans katt fick ungar såg han till att varje unge fick sitt eget hål i ytterdörren. Han drog sig inte ens för att experimentera på sig själv till exempel genom att sticka sig i ögat med en nål för att studera de färgade ringar som då uppstod. Han glömde ofta att äta, gick i trasiga skor med nedhasade strumpor och det okammade håret hängande till axlarna, visande alla tecken på intellektuell briljans. Universitetet krävde förståndigt nog bara en föreläsning om året av honom men den var sådan art att studenterna oftast tacksamt uteblev.

Till slut publicerade han ett arbete om optik där han hävdade att ljuset var en ström av partiklar. Olyckligtvis hävdade en annan professor, Robert Hooke, att ljuset var en våg och kritiserade Newton. Långt senare visade Einstein att ljuset kunde vara 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 vetenskapsakademin Royal Society såg han till att alla porträtt av Hooke försvann därifrån.

Newton gick nu över till astrologi och religion. I tjugo 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.

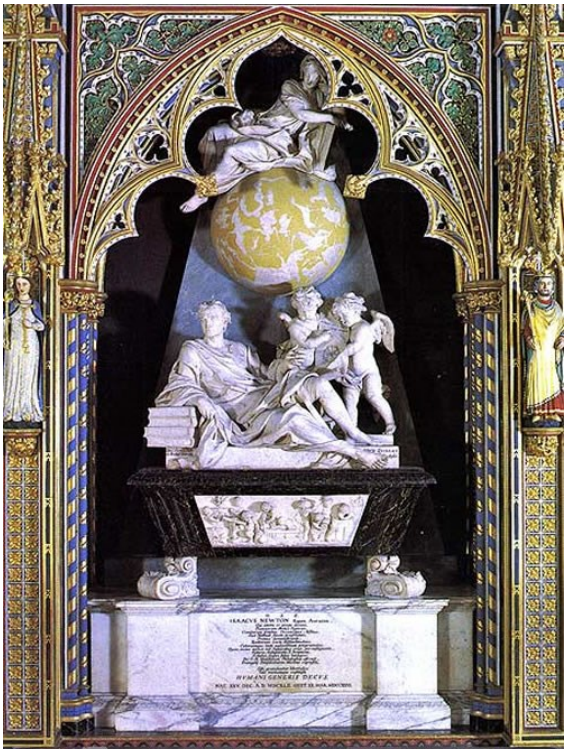
Det uppenbarades nu av Newton att den kraft, som krävs för att röra en kropp är proportionell mot ändringen av kroppens impuls (massa x hastighet). Av detta följer att reaktionskraften hos en utströmmande vätska eller gas är lika med massflödet gånger strålhastigheten. Kraften hos en stråle med massflödet 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.

Tvisten kom att sysselsätta de två stridstupparnas 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 förstås 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

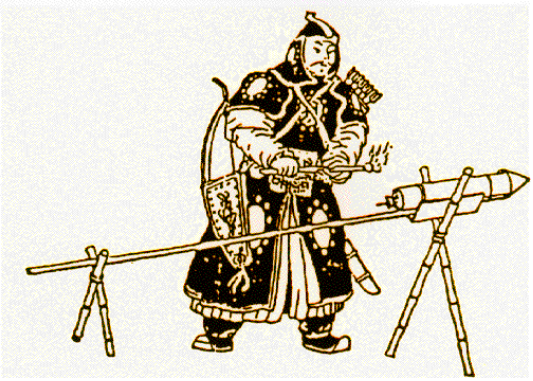
Oavsett sanningen i sagan så kunde den bara ha ägt rum i Kina. Kineserna var nämligen långt före alla andra när det gällde raketer. När romarriket föll blev Kina den enda återstående supermakten och Kina hade redan på många områden en högre teknik än Rom. Så uppfann man till exempel gjutjärn och vattendrivna 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 dunder enligt uppgift hördes på 25 km avstånd och som vid nedslaget förstörde allt inom tvåtusen fot. Man lyckades ändå inte hindra mongolerna från att tränga in i Kina och tillägna sig raketekniken.

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 Stalinorgeln. Man satte upptill hundra raketer i en hink och tände dem alla samtidigt. På så sätt kunde man spraya fienden med eld över ett mycket brett område. Flera hinkar kunde placeras på en vagn, vilket möjliggjorde att hundratals eller tusentals eldpilar sköts samtidigt på fienden.

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

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

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

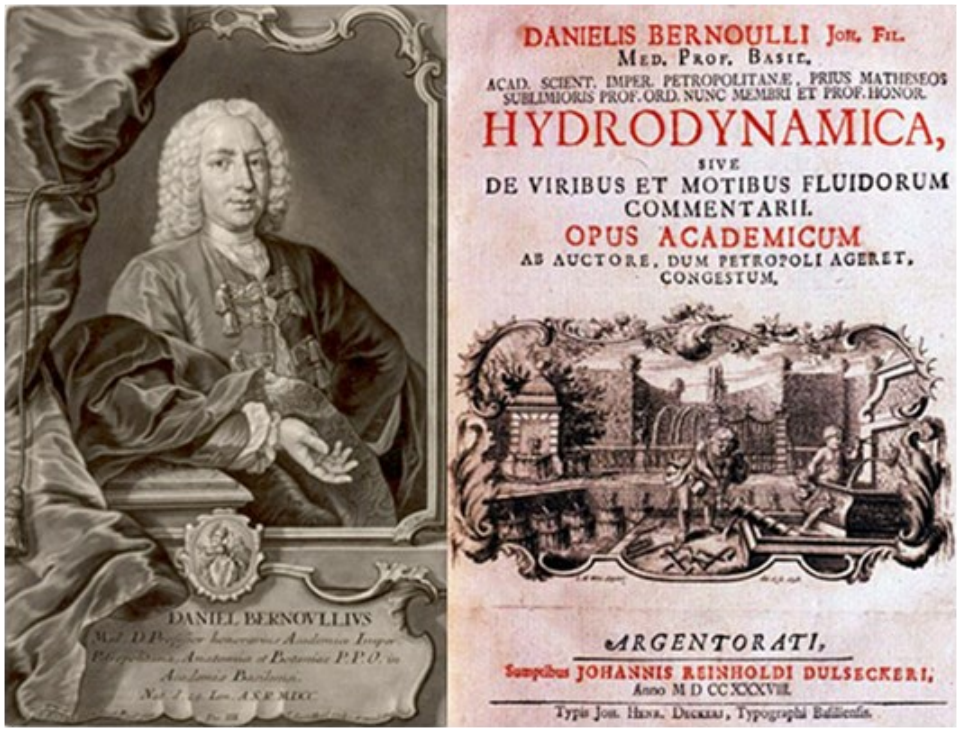
Numera har raketen en säker ställning som transportör av sprängmedel över stora avstånd. Men det skulle dröja mycket länge innan någon gjorde om Wan-Hus försök.

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

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

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

Bernoullis ekvation var Eulers



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

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

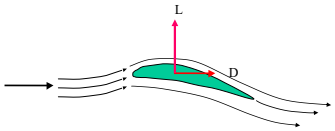
$$q = \rho V^2 / 2$$

där ρ är luftens täthet och V dess hastighet.

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

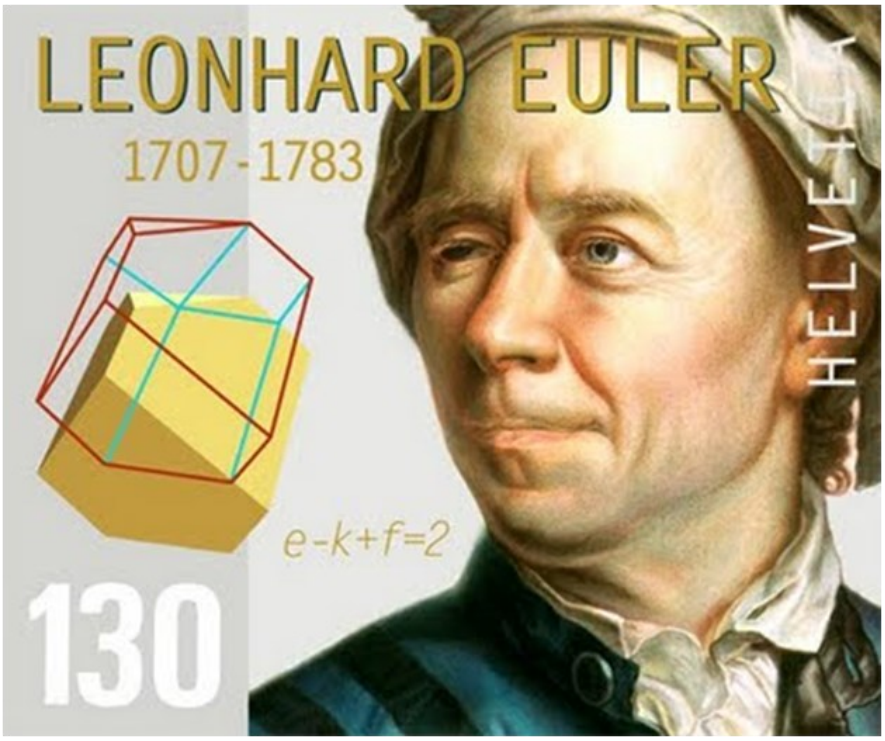
Ekvationen för det dynamiska trycket har uppkallats efter matematikern Daniel Bernoulli. Daniel var från Basel i Schweiz och han hade god familjär uppbackning. Han far Johann var en excellent matematiker och hans farbror Jacob ändå bättre. Han anses bland annat vara en av uppfinnarna av integralen.

Under kriget mot Karl XII hade Tsar Peter i början av



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

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 Beernoulli.



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 förstås inget nytt problem. Redan 1673 visade Edme Mariottes att om en vätska stoppas upp mot en vägg så uppstår en kraft som beror på hastigheten i kvadrat. Själve Newton hade också kommit fram till samma sak. Sex år innan Bernoulli gav ut sin bok hade dessutom Henri Pitot uppfunnit det s k Pitotröret, som han använde för att mäta hastigheten på olika djup i strömmande vatten. Han antog mer eller mindre på känn att tryckskillnaden mellan strömmande och stillastående vatten berodde på kvadraten på hastigheten men multiplicerade med en konstant.

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

Daniel och hans farbror Jacob kom att inveckla sig i strider om prioritet till upptäckter inom matematiken. Jacob Bernoulli tog matematiken på allvar. Han kastade i vredesmod ut Daniel ur huset när det stod klart för honom att han skulle dela ett pris från akademin 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 praktikens män. År 1759 publicerade den kände väg-och vatten byggaren John Smeaton mätningar av det dynamiska trycket men fann en konstant, som var något mindre än ½ i stället för det matematiskt korrekta värdet $\rho/2$ enligt Bernoulli. Under de närmaste 150 åren var det hans 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 förstås 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 längdaxel 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 sysselsatte 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 avspegling 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.

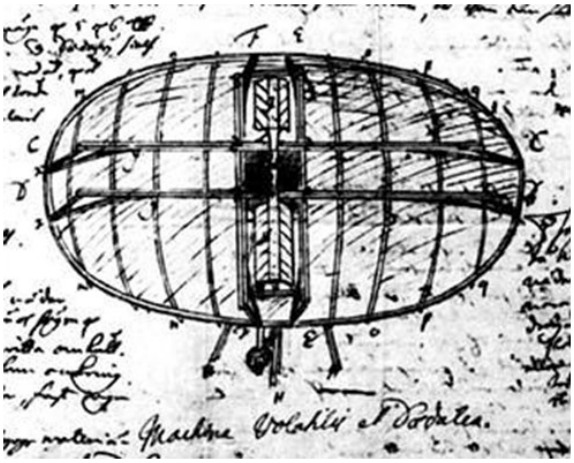
Han kom i alla fall att bli en viktig föregångare till spiritisterna, som försöker kommunicera med andevärlden, medan hans vetenskapliga insatser blev bortglömda. Det var först under 1900-talet som dessa återupptäcktes.

Redan 1716 gav han ut Sveriges första vetenskapliga tidskrift , Daedalus Hyberboreus, 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 Hyberboreus 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.

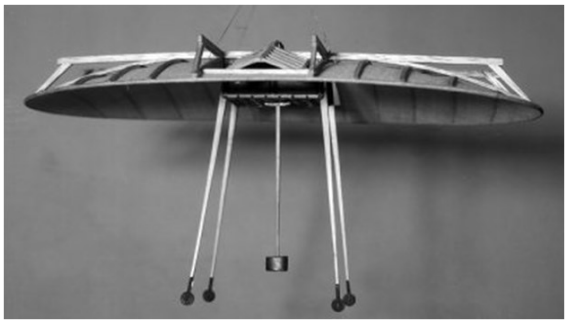
Vid sittrummet fanns en konstruktion med paddlar som skulle driva flygplanet framåt men också kunna ge lyftkraft genom att ändra infallsvinkeln. Swedenborgs flygprojekt skilde sig därmed från de som tidigare tagits fram av till exempel Leonardo da Vinci. Dessa utgick från rörliga vingar, det vill säga 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 niddikt som hette ”Man äger ej snille för det man är galen” 1787.

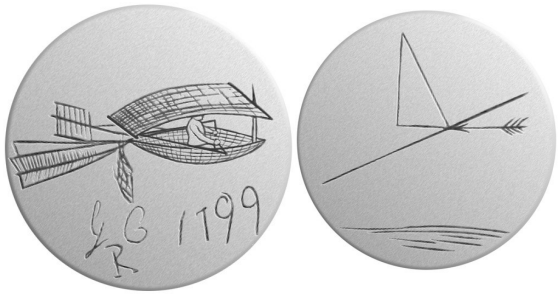
”Men fast man någon gång i Solen fläckar såg,
Blir Månen likafullt, med sina fläckar, Måne.
Fast Newton sjelf en dag i Andefeber låg,
Blir Swedenborg ändå helt rätt och slätt – en fåne. ”

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 ideer skulle kunna förverkligas.

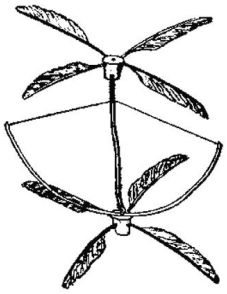
Hur George Cayley uppfann flygplansvingen

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 silverbricka, som numera finns på Science Museum i London.

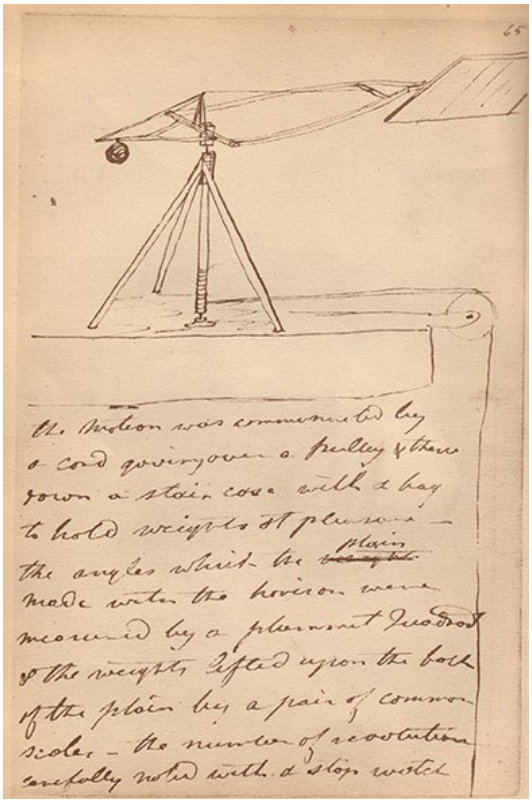


På andra sidan av brickan ristade han in sin analys av krafterna på en vinge uppdelade i lyftkraft och motstånd. Det innebar ett viktigt steg framåt i förståelsen av flygningens mekanik. Han hade därmed gjort en av de viktigaste uppfinningarna i historien.



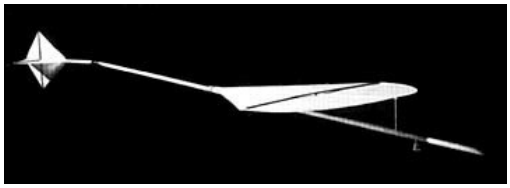
Cayley verkar ha blivit intresserad av flygning när han fick se en leksak i form av en helikopter där en propeller sattes i gång genom att dra i ett snöre. Han byggde en egen modell med två motroterande fyrbladiga propellrar som drevs av en pilbåge vars sträng lindades upp längs axeln mellan propellrarna.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

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



Cayley skrev också om sina resultat. År 1809 och 1810 publicerade han tre rapporter, som betraktas som den första avhandlingen om tillämpad aerodynamik "On Aerial Navigation". Han beskrev där sin idé om att separera lyftkraft och framdrivning. Han noterade att en yta, som lutas 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 skriverier var mycket betydelsefulla eftersom han på det sättet startade en händelsekedja som hundra år senare skulle leda till det första flygplanet.

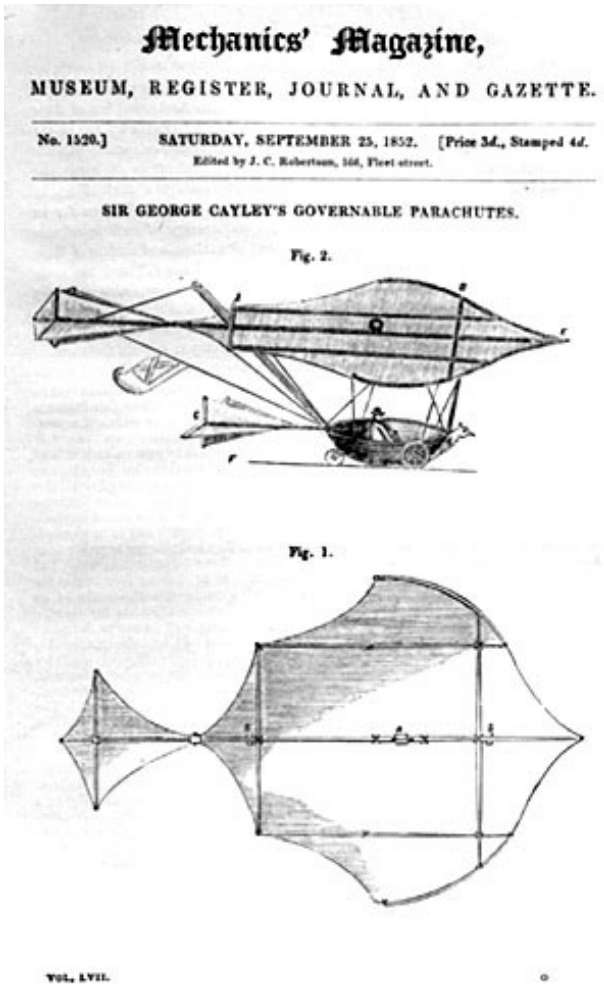
Hans resultat när det gällde lyftkraft och motstånd på plattor har visat sig stämma bättre än de teorier som rådde på hans tid. Det gällde bland annat det dynamiska trycket där den skotske ingenjören John Smeaton (1724-1792) hade mätt upp en konstant som inte stämde med Bernoullis ekvation. Här låg Cayley 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 omsätt sina teorier i praktiken. År 1804 byggde han ett litet mer än meterlångt glidflygplan enligt rekonstruktionen ovan med en drakliknande vinge med en viss anfallsvinkel och med en korsformad stjärt. Det hade också en balansvikt, som kunde förskjutas för att variera tyngdkraftscentrum. Flygplanet flög bra i försök från kullarna runt Brompton Hall. Det var första gången något som liknade ett flygplan flög genom luften. Han byggde 1808 ett större glidflygplan med en vingarea av 300 kvadratfot (27.9 kvm). Det sägs att det flögs av en grannes tioåriga pojke några meter genom luften. Det skulle i så fall vara den första piloten. Hans namn har tyvärr gått förlorat för historien.

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

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 Magazine'(1852) och luftvärdigheten kan nog diskuteras.



Mechanics' Magazine,

MUSEUM, REGISTER, JOURNAL, AND GAZETTE.

No. 1520.] SATURDAY, SEPTEMBER 25, 1852. [Price 3d., Stamped 4d.

Edited by J. C. Robertson, 166, Fleet street.

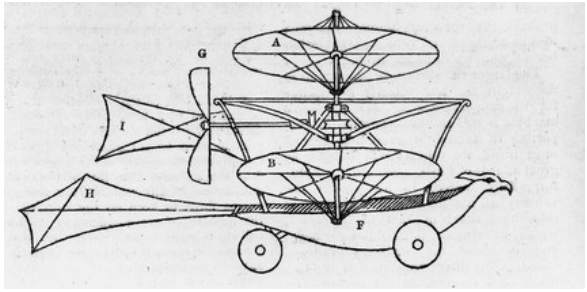
SIR GEORGE CAYLEY'S GOVERNABLE PARACHUTES.

Fig. 2.

Fig. 1.

VOL. LVII.

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

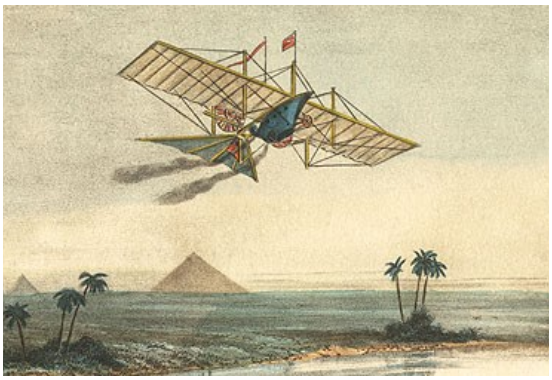


genom en propeller. Detta flygplan byggdes aldrig men är ett exempel på Cayleys förståelse för problemet. Cayleys arbeten gjorde i alla fall att de som var intresserade av flygning övergav flaxandet och började arbeta med fasta vingar, vilket hundra år senare ledde fram till dagens flygplan.

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.

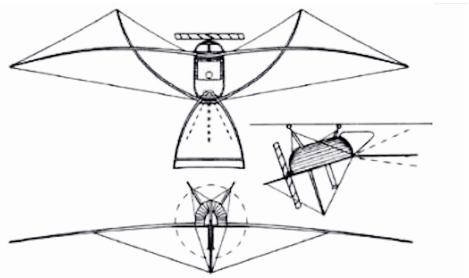
Alphonse Pénaud

År 1873 började han samarbeta med en ingenjör vid namn Gauchot, och tillsammans tog de fram konstruktioner av flygplan i full storlek, det första 1874 och det andra 1876. Det senare utarbetades i detalj i syfte att patenteras och hade många anmärkningsvärt avancerade funktioner inklusive eldrivna styrytor, en helt sluten hytt för piloten, ett infällbart landningsställ och ett par propellrar, som roterade i motsatta riktningar för att eliminera moment orsakat av en enda propeller.

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

Frankrike började ändå ta ledningen på området och 1874 gjorde den franske marinofficeren och ingeniören 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.

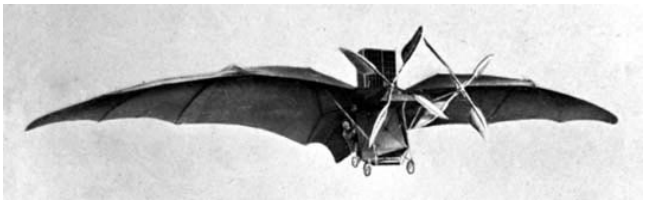


Felix du Temples flygplan 1874

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 prestera en flygning på 50 meter på 20 cm höjd. Trots att flygningen lyckades räknas den endast som lufthopp eftersom den inte var oavbruten och fullt kontrollerad. Ader var ändå den förste, som lyckats få en flygmaskin att lämna slät mark med egen motorkraft. Han har därför kallats flygningens fader.

Clément Ader

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



Avion III

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

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

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

Den mest kuriösa av de tidiga konstruktionerna var kanske Horatio Phillips ångdrivna multiplan från 1893. Med sina femtio smala vingar liknade det en stående jalusi. 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 bildade några intresserade The Aeronautical Society of Great Britain, som senare utvecklades till det respekterade Royal Aeronautical Society. Det drog snart till sig visionära tekniker och vetenskapsmän intresserade av flygproblemet.

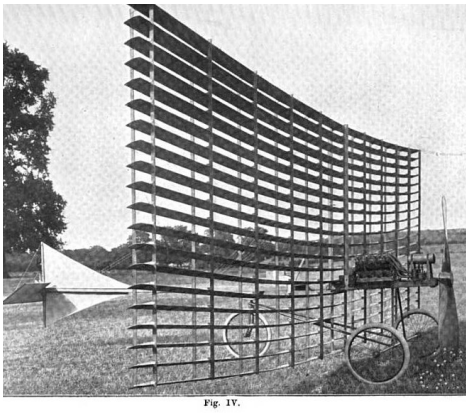


Fig. IV.

Horatio Phillips 1893

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

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

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

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

Om Otto Lilienthal

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

Lilienthal föddes den 23 maj 1848 i Anklam i Preussen. Efter examen i maskinteknik från Berlins Tekniska Akademi började han arbeta som försäljare och ingeniör 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 amerikansk patent 1894 av Lilienthal, som innebar att piloten greppade en stång, liknar dagens styrram 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 uppvinden 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.

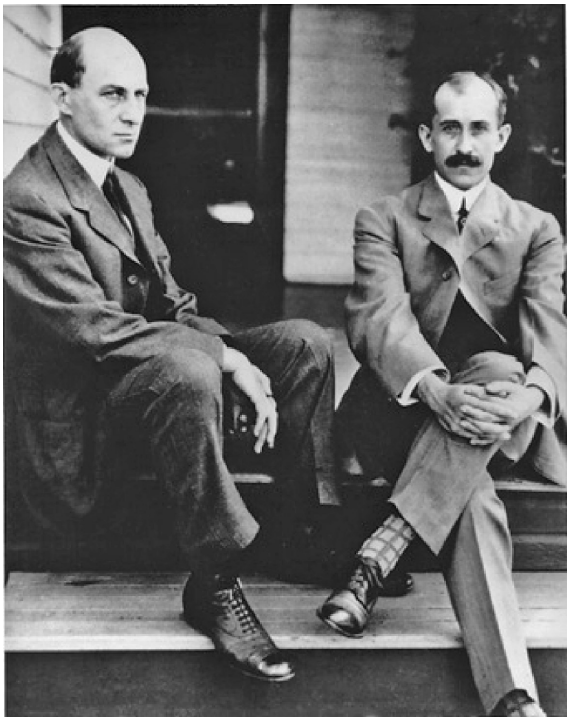
Under sin korta flygande karriär utvecklade Lilienthal ett dussin modeller av monoplan , flygplan med flaxande vingar och flygplan med biplan. Hans glidflygplan var noggrant utformade för att fördela vikten så jämnt som möjligt för att säkerställa en stabil flygning. Han redovisade sina resultat i utförliga 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 renässansen 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.

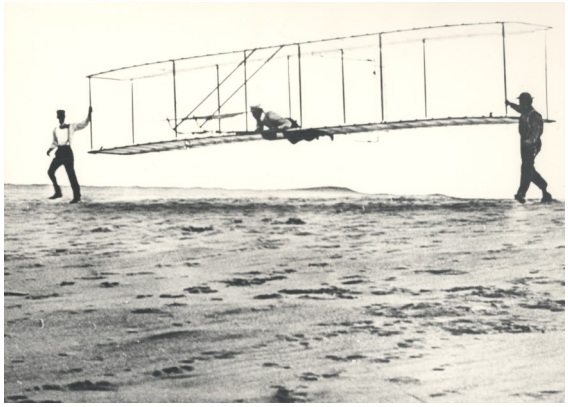
De flesta av deras försök blev misslyckade och de skyllde detta på Lilienthal. Men deras största misstag var att de likt Lilienthal använde den s k Smeaton-koefficienten.

Den skotske ingeniören John Smeaton hade på 1700-talet tagit fram ett experimentellt uttryck för det dynamiska trycket med en konstant som var något mindre än den matematiskt korrekta ½ 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.

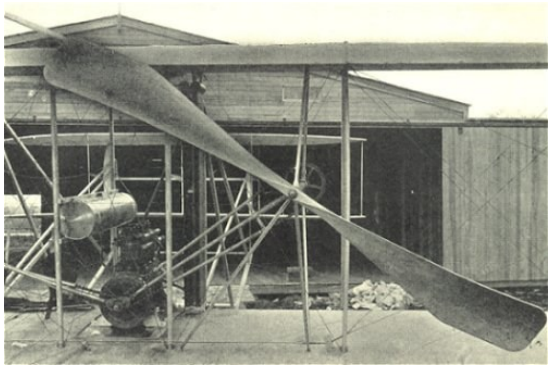
Propellern som sådan är en gammal uppfinning. Den har sitt ursprung i väderkvarnen som uppfanns på 1100-talet och snabbt spreds över Europa som en mer flexibel kraftkälla än vattenhjulen. Väderkvarnarna användes långt in på 1900-talet och det låg nära till hands att köra en sådan baklänges för att ge 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 over Paris med den svindlande hastigheten av 10 km/tim. Propellrar för marin användning utvecklades också av den svenske uppfinnaren John Ericsson och användes framgångsrikt av Nordsidan i det amerikanska inbördeskriget.

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

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

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



Bröderna Wrights propeller

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

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

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

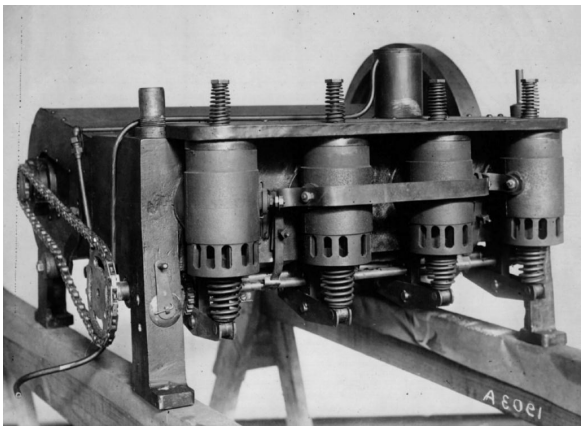
I de ångmaskiner, som man använde på den tiden, sker förbränning och kokning av vatten till ånga utanför cylindern, vars kolv driver axeln. Sedan lång tid tillbaka hade man försökt utveckla motorer där förbränningen skedde inne i cylindern. Den förste att experimentera med sådana motorer var den holländske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

Det dröjde emellertid ända till 1859 innan den franske ingeniören J. J. Étienne Lenoir lyckades bygga en motor med inre förbänning, 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 ingeniör, hade utvecklat en tvåtakts bensinmotor redan 1873 men den var för stor och tung för att vara användbar.

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

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

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



Bröderna Wights 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 aluminumlegeringen (Duraluminium) där härdningen sker genom en så kallad upplösningsvärmebehandling som gör materialet mjukt följd 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 avsvalningen under själva gjutningen och senare också tillsammans med temperaturexponeringen under provkörningarna av motorn härdades materialet genom en speciell härdningsmekanism som kallas spinodalt sönderfall som inträffade i temperaturområdet mellan 130 ° C och 200 °C. En ovanlig härdningsmeknism, 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 brödrapar, 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 fälls 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

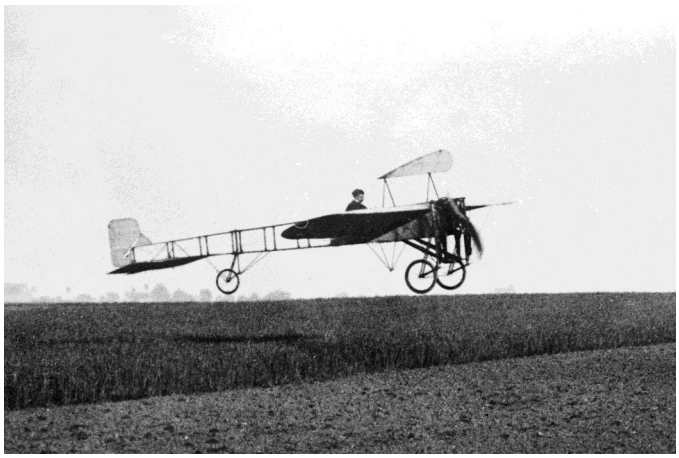
I Frankrike var man särskilt aktiva och 1909 blev Louis Blériot först över engelska kanalen i sin Blériot XI. Blériot var ursprungligen maskiningenjör och uppfann en del förbättringar inom bilområdet. 1906 började han ägna sig åt flygning och konstruktion av flygplan. Efter flera misslyckade försök, 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. Miltärer i alla länder var förstås också intresserade. I Italien var man först med att använda flygplan militärt. De var först med bombning och luftfotografering och de var också de första att få ett flygplan nedskjutet.

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

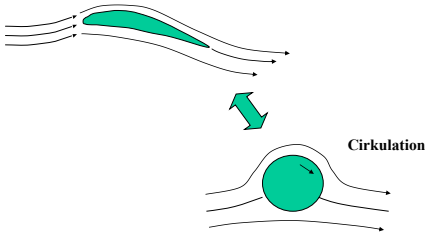
Två olika motortyper användes under första världskriget. Den stationära vattenkylda motorn med 4, 6, 8 eller 12 cylindrar var inte olik dagens bilmotorer. Den roterande motorn däremot hade cylindrarna radiellt och roterade runt sin egen vevaxel, som satt fast i flygplanet. Denna motor var lätt och kyldes 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 uppfinningen 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 ide' 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

Enoch Thulin.

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

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

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

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

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

En flygare kunde på den tiden flyga och få betalt av åskådarna. I juni 1913 köpte Enoch ett nedgånget 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 företaget 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-verkstaden och med stöd av bland annat uppfinnaren av AGA-fyren Gustav Dalén skapade han industriföretaget AB Thulin Aeroplanfabrik och började licensbygga franska flygplan av typen Morane-Saulnier. Gustaf Dalén, som grundade AGA och var blind sedan 1912 efter en laboratorieolycka, hade troligen träffat Enoch Thulin flera år tidigare. Dalén var född 1869 och blev lite av en mentor för Enoch Thulin.

Framtidsutsikterna verkade ljusa men i samband med första världskrigets utbrott förbjöds plötsligt all privat flygtrafik. I ett slag omintetgjordes 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, Aktiebolaget Enoch Thulins Aeroplanfabrik. Enoch flög inte lika mycket som förr men under sommaren 1915 lyckades han utverka ett begränsat flygtillstånd vilket möjliggjode uppstart av flygskolan i Ljungbyhed där förare till försålda 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 chanstagning 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 avsade 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 begravningståg 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 framtidssatsning 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 (Ingenjörs Vetenskaps Akademin) .

Thulinmedaljen

Inte bara Thulin

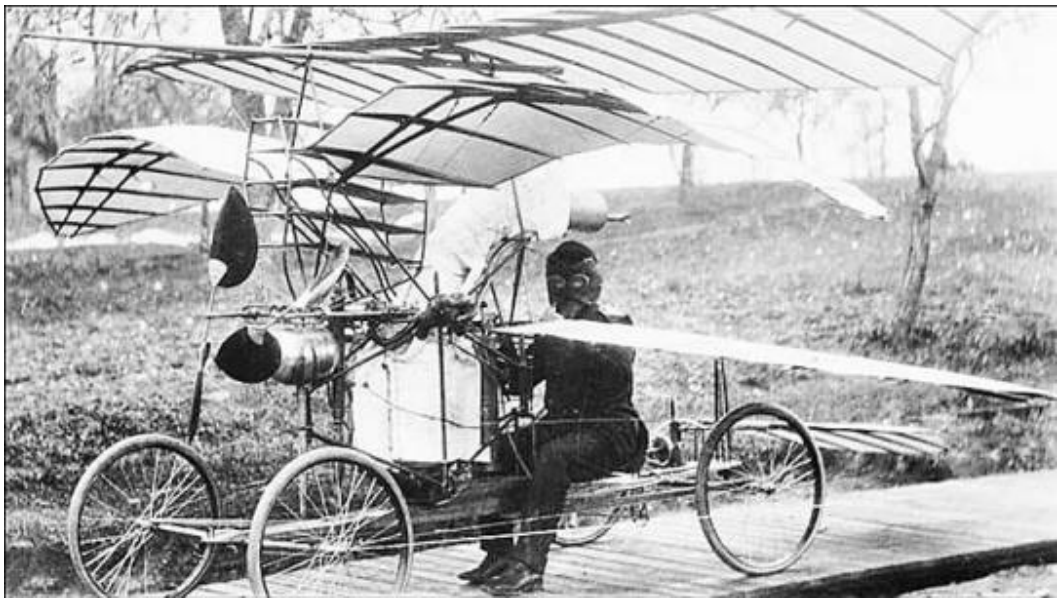
Även före Enoch Thulin fanns det folk i Sverige som sveptes med i intresset för flyg under tiden runt sekelskiftet 1900. En sådan var Carl Richard Nyberg, (1858—1939) , kallad "Flyg-Nyberg".

Han var en av många uppfinnare inom maskinteknik, som verkade i Sverige omkring sekelskiftet 1900. Han fick patent på en blåslampa 1881 och konstruerade också många andra maskiner. År 1882 startade han egen tillverkning av blåslampor i en tvättstuga på Luntmakargatan i Stockholm. År 1884 flyttades tillverkningen till Sundbyberg, där den till en början skedde i ett uthus under blygsamma förhållanden. Affärerna gick dock bra och Nybergs lampfabrik blev före första världskriget Sundbybergs näst största företag i 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 Täcka udden 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 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 vingspetsarna 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 pionjärerna 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.

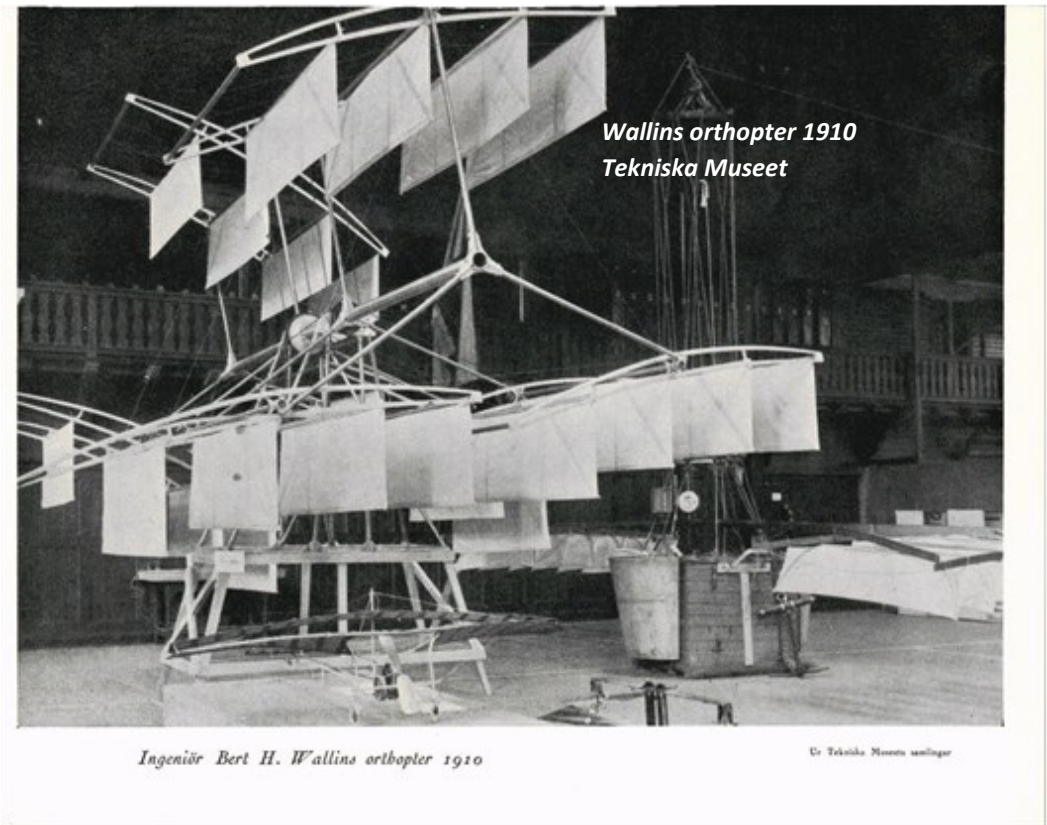


Carl Richard Nyberg var även en pionjärer inom aerodynamiken och i hur flygplanets vingar skulle vara konstruerade. Han fastställde till exempel sambanden mellan dragkraft, lyftkraft, strömningsmotstånd och stabilitet i en egen vindtunnel för modeller.

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.

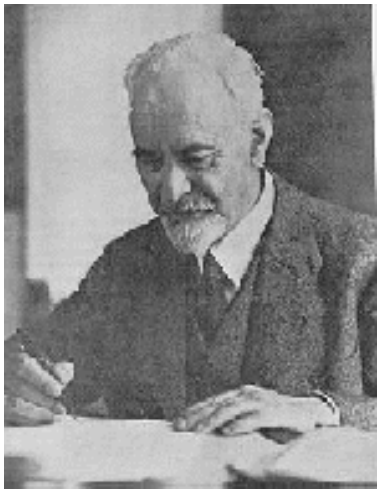


Den första svensk som flög ett flygplan (800 m) var civilingenjören Georg Unné medan han var bosatt i Frankrike Han var flygplans- och motorkonstruktör, sedermera chef för Salmson flygplans- och motorfabrik.

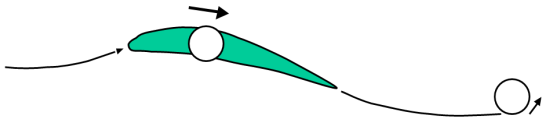
Sveriges första bolag för tillverkning av flygplan bildades emellertid 1910 av Oscar Ask och Hjalmar Nyrop. Företaget AB Nyrop & Ask byggde i Landskrona det första svensktillverkade aeroplanet, Ask-Nyrop Nr 1, ”Gräshoppan”. Det liknar mycket mer en flygmaskin av idag än Wallins maskin. Vid de första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

Ludwieg 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 Ludwieg 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 strömningsfältet finnas en annan med samma styrka men motsatt riktning. Den förste som upptäckte denna andra virvel var Ludwieg Prandtl. I en vindtunnel lyckades han fotografera virvlar som lösgjordes från bakkanten på vingen och följde med strömmen bakåt.



Ludwieg 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.

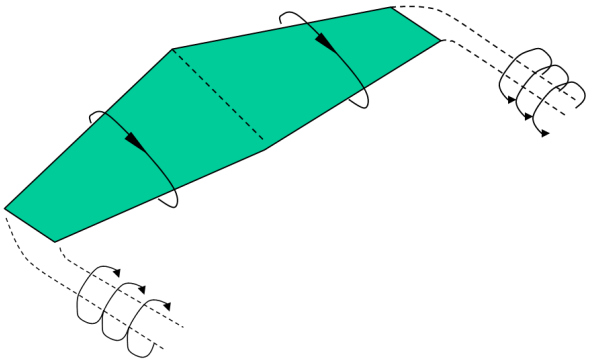
Från början studerade Prandtl mekanik i Munchen och doktorerade för August Föppl. Senare blev han Föppls svärson. Det sägs att när Prandtl närmade sig fyrtio tyckte han att det var dags att gifta sig. Han skrev ett brev till Föppl och bad att få gifta sig med en av hans döttrar. Föppl hade två döttrar 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. Tydligen levde de lyckligt tillsammans resten av livet. Så kunde det gå till på den tiden.

Prandtls största bidrag till strömningsläran 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-årige Ludwieg Prandtl. På tio minuter lyckades han presentera en av de viktigaste genombrotten i strömningsläran.

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 over 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 motströvige 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:

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

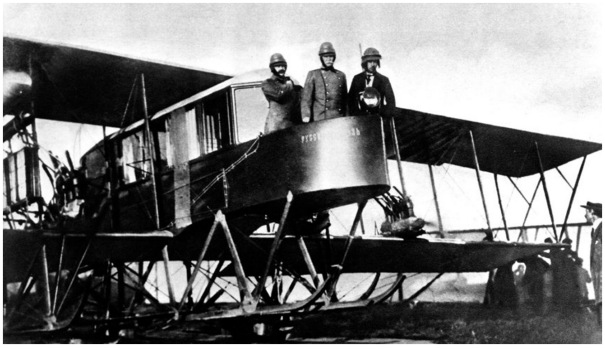
Som vi sett i kapitlet om fåglarna så kommer ett flygplan som släpps på höjd att glida en sträcka L/D när det faller en meter. Förhållandet mellan lyftkraft och motstånd L/D brukar därför kallas för glidtalet och är ett mått på hur effektiv aerodynamiken är. För låg bränsleförbrukning ska man ha ett 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 ½ 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 skjuvbelastningarna.

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 mås 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 over 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 fyrarätters 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 over 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 passengerare 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. Sjuttio år senare flög mer än tusen DC-3 fortfarande.

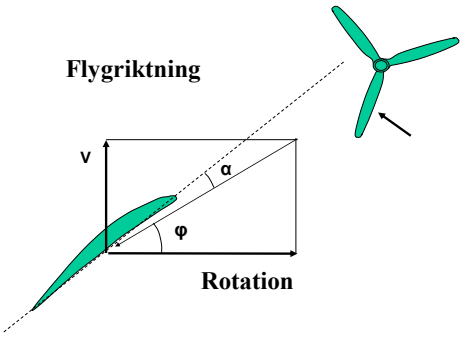
Från 1930-talet hade formen på flygplanen hållit sig i stort sett oförändrad. Men framdrivningen stod inför en revolution. Innan Lindbergh gjorde sin flygning hade motortekniken avancerat mycket. Wright Flyers motor hade en effekt av 12 hk, vilket innebar 26 W per kg flygplan. Spirit of Saint Louis motor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

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 vridet i längsled.

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



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

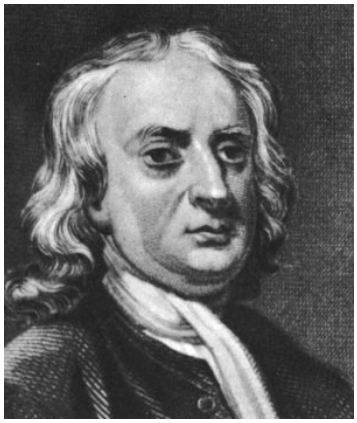
Som USA: s ledande propelleringenjör och designer under flygrevolutionen på 1920-talet och 1930-talet, var Frank Walker Caldwell (1889-1974) en viktig bidragande orsak till utvecklingen av framdrivningstekniken. Caldwell övervakade utvecklingen av metalliska ställbara propellrar under sin tid som Förenta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

Propellern vid ljudhastigheten

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

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



En störning i luften sprids med den så kallade ljudhastigheten. Den förste som försökte beräkna värdet på ljudhastigheten var Isaac Newton. Den engelske kemisten Robert Boyle, 1627-1691, hade funnit att produkten av trycket ”p” hos en gas ökar när volymen ”v” minskar på ett sådant sätt att pv=konstant. Det kallas Boyles lag och utgående från den beräknade Newton ljudhastigheten till 290 m/s.

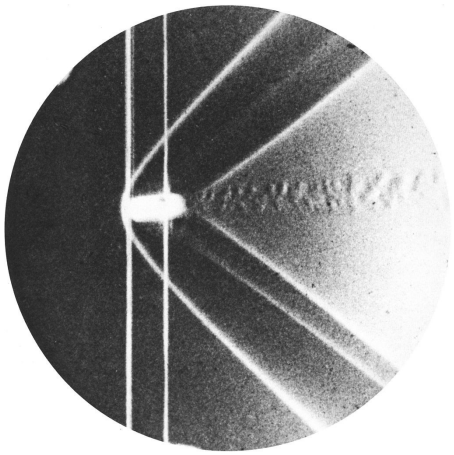
Tyvärr är det en bra bit under det värde på 340 m/s, som man mätte upp från tidsskillnaden mellan mynningsflamman och knallen från en kanon. Newton antog att det berodde på damm och vattenånga i luften men i själva verket visste han inte tillräckligt mycket. Man måste vänta på utvecklingen inom värmeläran, 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 γ=1.4 och R=287 m2/s2 K där R=Ř/M och Ř= 8314 är den allmänna gaskonstanten och “M” är molekylvikten hos gasen. Ljudhastigheten beror alltså bara på temperaturen i luften. Temperaturen mäts i grader Kelvin räknat från den absoluta nollpunkten – 273 grader Celsius. Vid den absoluta nollpunkten T=0 har all inre energi och all arbetsförmåga försvunnit. Ljudhastigheten är noll. Världen har frusit fast.

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

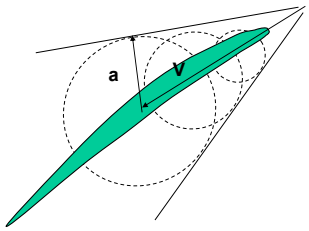


en projektil i överljudsfart i form av en kon kring projektilens nos. Ernst Mach’s historiska fotografi från 1887 visade en stötvåg kring en gevärskula i överljudsfart.

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

Hur som helst. På ett flygplan är det propellern som först får känning av problemen vid högre hastigheter. Den luft som möter propellerbladen har alltid högre hastighet än flygplanet och när hastigheten på flygplanen ökar hamnar man i ett problem. Luftstötar 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 sträckan ”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.



Luftstötar bildas vid hastighet nära ljudet

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

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

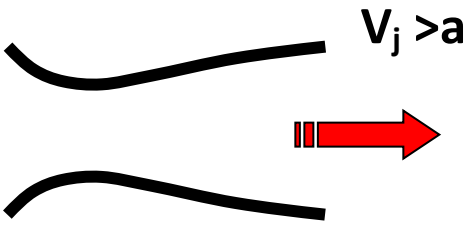
Dags för jetmotorn

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

Att det var möjligt att åstadkomma luftstrålar med högre hastighet än ljudet visades av en svensk ingeniör 1888. Carl Gustaf Patrick de Laval föddes 1845 som son till en armékapten. Efter examen från Uppsala universitet 1866 började han på gruvbolaget Stora Kopparberg och sedan på järnverket Kloster i Tyskland. Medan han arbetade där uppfann han en maskin för att separera grädde från mjölk. Han flyttade 1877 till Stockholm där han startade ett eget företag och under de närmaste trettio åren sålde han mer än en miljon separatorer.

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

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

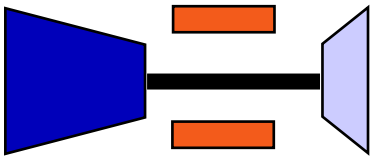


Stodolas beräkningar visade att när trycket ökade så steg hastigheten i halsen på munstycket tills den nådde ljudets. Sedan förblev den konstant där men ökade ut genom munstycket. Hastigheten i utloppet blev därför högre än ljudets. Men för att detta skulle ske visade det sig att trycket före munstycket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

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

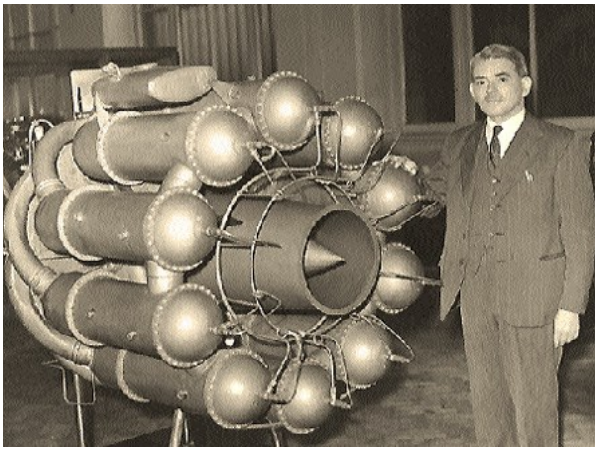
Den första ångturbinen byggdes av italienaren Giovanni Branca 1629. Vatten hettades upp i en kokare och strålen drev ett skovelhjul. År 1791 kopplade engelsmannen John Barber ihop en luftkompressor med en turbin, som drevs av kompressorluften upphettad i en brännkammare. Det var samma princip, som dagens gasturbiner men den stora skillnaden var att hans kompressor drevs av en kedja från turbinen.

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

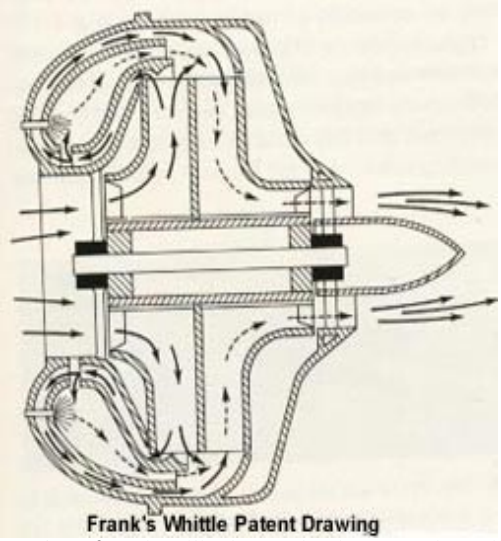


På grund av brist på stöd kunde inte Elling fortsätta utveckla sin gasturbin men han fortsatte sitt arbete på företaget Kongsberg, som senare blev ett turbinföretag och nu ingår i GKN.

Den första användningen av gasturbiner var som överladdare för kolvmotorer bland annat flygmotorer. Engelsmannen Frank Whittle var först med idén att använda den för framdrivning. Född 1907 blev han kadett i Royal Airforce och intresserad av nya motorer för flygplan. Han försökte få stöd för sina idéer men till slut gick han vidare själv och fick sitt första patent i januari 1930.



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



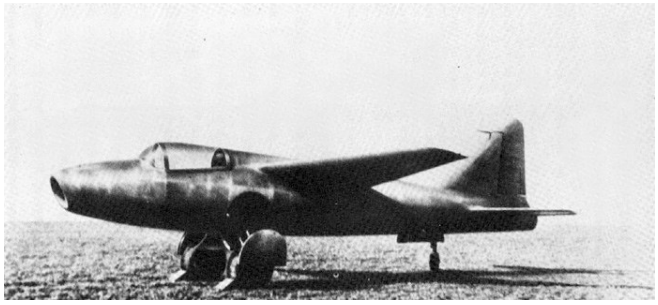
Frank's Whittle Patent Drawing

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

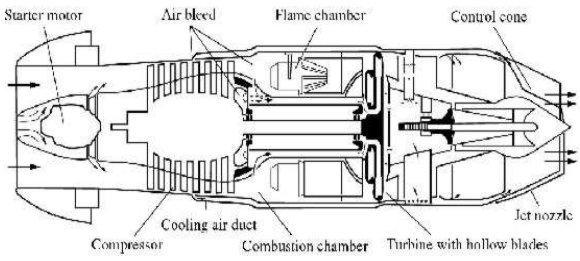
Principen kan verka enkel men att genomföra den stötte på stora problem. För att den skulle fungera måste man utveckla mer effektiva kompressorer och turbiner än man tidigare haft. Brännkammare och turbiner måste också fås att tåla de mycket höga temperaturerna. Eftersom Whittle fick arbeta på egen hand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

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

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



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



Picture from the RAF museum at Cosford, Wolverhampton, England

JUMO 109-004B

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

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

Tidiga svenska flygplan och motorer

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

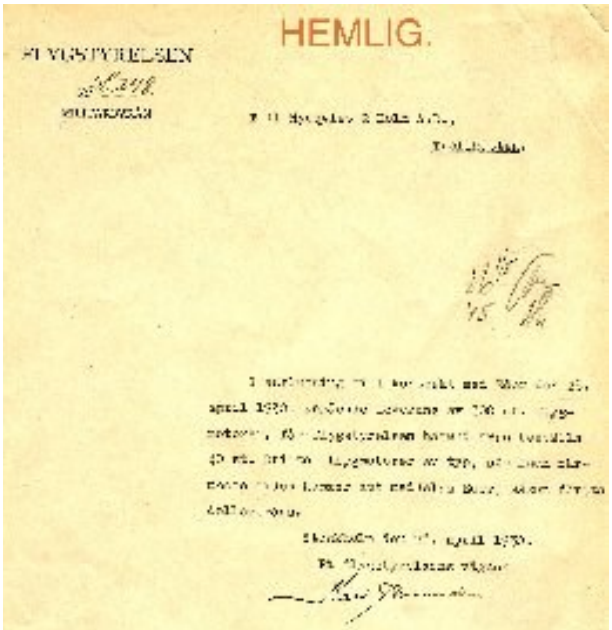
I början hade således både armén och marinen sina egna ”flygvapen”. Så småningom stod det klart att flyget blivit så viktigt att man borde vara en egen vapengren. Ett självständigt flygvapen bildades därför 1926. Som ett led i förberedelserna för detta satte man igång en utredning om vilken typ av flygmotor,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

Nohab Flygmotorfabrikers första verkstäder

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

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

Ett villkor i avtalet mellan staten och NOHAB var att ett fristående bolag skulle bildas för flygmotortillverkningen. Ursprunget till Volvo Aero Corporation, nu GKN, bildades därför 1930 som Nohab Flygmotorfabriker AB, ett dotterbolag till NOHAB. Den svenska flygmotorindustrins historia inleddes i april detta år med sex rader till Nydqvist & Holm AB i Trollhättan gällande en beställning på 40 flygmotorer, avsedda för det blivande Svenska flygvapnet, se ovan.



HEMLIG.

FLYGSTYRELSEN

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

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

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

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

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

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

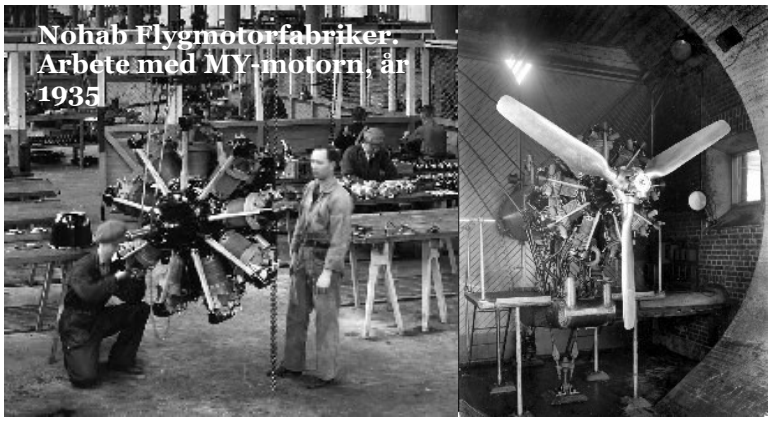
SAAB 17 skulle bli det första svenskkonstruerade flygplanet med modern teknik helt byggt i metall med försänkta nitar. För att klara detta anställdes ett flertal ingenjörer från USA som stod för en stor del av konstruktionsarbetet. Tillverkningen av L 10 kom dock inte igång förrän sammanslagningen med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

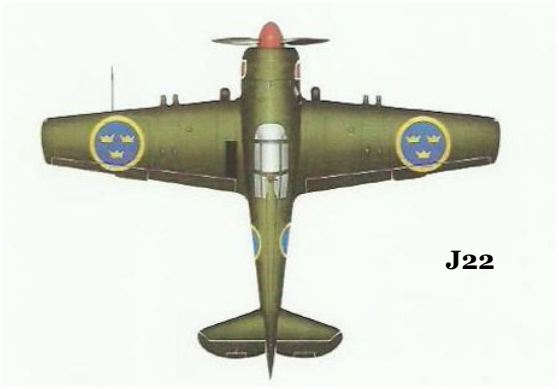
Man fortsatte samtidigt att skaffa en rad utländska flygplan från Storbritannien, USA, Tyskland och Italien. När kriget bröt ut 1939 var det svenska försvaret ändå illa rustat och man beslöt att starta utvecklingen av ett eget nytt bombplan B18 och ett nytt jaktflygplan J22.

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

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

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





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

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

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

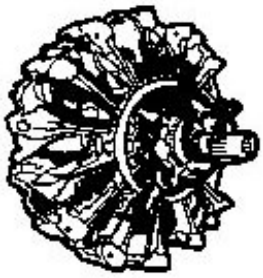
Tidigt på året 1941 började SAAB skissa på ett projekt till J 21, som från början kallades L13 vilket senare blev projekt L21. Den 8 juli 1941 hade SAAB byggt en skalenlig modell av J21A. Den var full av nya tekniska lösningar. Konstruktören Frid Wänström vid SAAB föreslog en skjutande propeller mellan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

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

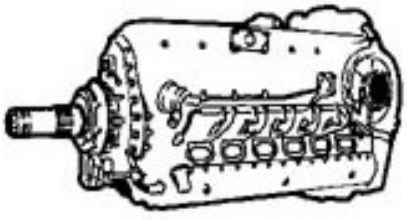
Detta betydde att Svenska Flygmotor kunde se fram mot leveranser av minst 1200 motorer, vilket gav underlag för den verkligt stora satsning som inleddes i början av 1940-talet. Stora investeringar i maskiner och byggnader gjordes. Ett nytt motorlaboratorium togs i bruk för utvecklingsarbeten. Den omedelbara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

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

J22 och STWC3

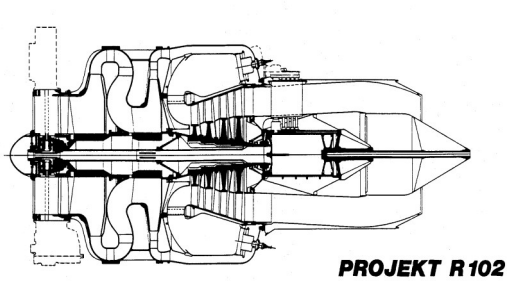


J21 och DB605



Svenska jetåldern börjar

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



PROJEKT R 102

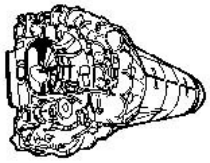
År 1941 hade SFA (Svenska Flygmotor) startat en särskild projektavdelning. Den fanns en tid på NOHAB, flyttade till Göteborg och sedan tillbaka till Trollhättan. Första projektet var en egen 24-cylindrig stjärnmotor på 2000 hk, som kunnat ersätta STWC-3 (1095 hk). Men projektet avbröts och istället växlade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

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

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

För att få tillgång till jetmotorer innan svenska sådana hunnit utvecklas ingick KFF 1946 ett avtal med de Havilland Engine Co i England om licenstillverkning vid SFA av dess turbojetmotor Goblin. Under beteckningen RM1 blev Goblin den första svensktillverkade jetmotorn. RM1A monterades i J21R, en utveckling av J21. Detta dubbelstjärtade flygplan med skjutande propeller blev därmed det första svenska jetflygplanet.

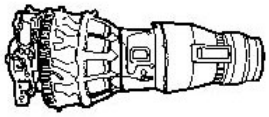
RM1



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

RM1 hade en enstegs centrifugalkompressor, som var kopplad till en enstegs turbin med sexton mellanliggande brännkammare. Motorns dragkraft var 1500 kp men redan i december 1946 fick SFA från de Havilland underlaget till Ghost, som var en vidareutveckling av Goblin med högre dragkraft. Motorn, med svensk beteckning RM2, användes till J29 Tunnan och försågs även med en svenskkonstruerad efterbrännkammare, vilket gjorde ”Flygande Tunnan” till ett av världens allra första EBK-försedda flygplan i tjänst. Under åren 1951 till 1955 tillverkades totalt 870 motorer, en för våra dagar oerhörd produktion.

RM2

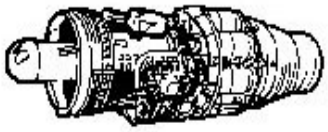


Framtagningen av provmotorerna, R102 och Skuten visade att det var möjligt för svensk industri att utveckla jetmotorer och KFF beställde då en större variant med en dragkraft på 3000 kp för det planerade flygplanet J32 Lansen. SFA utgick även vid utvecklingen av sin andra jetmotor, R201, från radialkompressorer.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

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

SAAB fick i december 1948, några månader efter det att J29 Tunnan flugit första gången, i uppgift av Flygförvaltningen att projektera ett nytt tvåsitsigt flygplan för attack, jakt och spaning, som ersättare för B18. Ett flertal en- och tvåmotoriga projektutkast hade då redan tagits fram av SAAB. Man stannade slutgiltigt för ett enmotorigt alternativ, Lansen, som den tredje november 1952 flög för första gången. Flygplanet hade en slankare flygkropp än J29 och hade en tvärsnittsarea, som ej varierade alltför mycket på grund av vingen. Prestanda gjorde det möjligt att passera ljudfart i lätt dykning. Flygplan 32 blev också det första svenska flygplanet som officiellt passerade Machtal 1.

RM5



Dovern provkördes första gången den 2 februari 1950 men det stod snart klart att utvecklingen av en egen svensk motor skulle kräva allt för stora resurser. Den 8 november 1952 annullerades beställningen av Dovern och kort tid senare även GLAN. Flygförvaltningen föredrog att låta SFA licenstillverka Rolls Royce Avon-motor, som var i stort sett likvärdig med Dovern, men hade uppnått betydligt större drifterfarenhet. Svensk beteckning blev RM5.

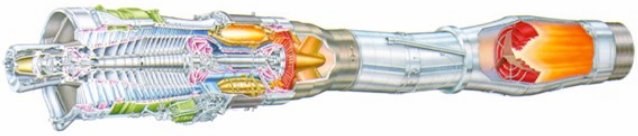
Utan den lyckade flygmotorn Dovern hade Svenska Flygmotor inte kunnat få ett lika bra licensavtal på en modern jetmotor från Rolls Royce. I England hade man 1950 inte varit intresserad av att exportera den senaste versionen av sina jetmotorer till Sverige men saken kom i ett annat läge när de goda resultaten från utprovningen av Dovern blev kända och detta kan ha påverkat engelsmännen så att de 1952 beviljade licenstillverkning.

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

Tillverkningen av RM5 innebar en genomgripande förändring för SFA, som fick stora verkningar inom företaget. Maskinparken fick till stor del bytas ut och kompletteras. Tidigare tillverkade jetmotorer hade haft centrifugalkompressorer, som bearbetades fram ur smidda ämnen i komplicerade fräsmaskiner. RM5 hade däremot en 12-stegs axialkompressor med cirka 2500 skovlar och ledskenor. För bearbetningen av dessa krävdes nya specialmaskiner. Provutrustningarna måste byggas om och den tekniska personalen fick börja brottas med helt nya problem. Utbyggnaden av högtryckslaboratoriet med tillhörande tryckluftanläggning i ett jättestort bergrum, varifrån luften trycktes upp genom vindtunnlarna med hjälp av vattnet i Göta Älv, gav möjligheter att studera strömningsförlopp i motorer vid överljud. Förutom sedvanliga vindtunnlar anskaffades år 1953 en ballistisk vindtunnel för studium av projektiler och flygplansmodeller i överljudshastighet.

RM6

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



RM6 i genomskärning

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

En svensk flygmotorpionjär

Av John Gustav Gudmundson

Flyget var under första halvan av nittonhundratalet en teknik i snabb utveckling och sådana områden brukar dra till sig färgstarka personligheter. En av dessa var Gustaf Gudmundson. Få har betytt så mycket för den svenska flygmotorindustrin som han. Gudmundson ledde personligen kopieringen av den amerikanska motorn TWC3 för svenska flygplan under andra världskriget och utvecklingen av den 4-cylindriska kolvmotorn ”Trollet”, som sedan fick en så unik vidareutveckling som fordonsmotor. Som chef för teknik vid Flygmotor i Trollhättan från 1941 till sin pension 1971 var han huvudansvarig för uppbyggnaden av företagets unika utvecklings- och provningsresurser och för utvecklingen av en lång rad flygmotorer.

Gustaf Gudmundsson föddes 1911 i Rättvik och växte upp under små omständigheter efter att tidigt ha blivit faderlös. Gustafs far avled 1915 efter att ha blivit nedstucken av en psykiskt sjuk man i Vilhelmina. Gustaf var då fyra år och hans bror var sex månader. Deras mor Maria bestämde sig för att pojkarna skulle få en bra utbildning, vilket gjorde att Gustaf kom att gå på Chalmers.

Redan 1933, innan han avlade civilingenjörsexamen vid Chalmers Tekniska Högskola, praktiserade han på NOHAB, senare Svenska Flygmotor i Trollhättan, nuvarande GKN, som ett led i utbildningen till flygingenjör. År 1936 anställdes han efter examen på Chalmers vid företaget och under några månader 1937 var han ansvarig för motorritkontoret. Därefter lämnade han företaget för några år och var motor- och stationsingenjör vid Aerotransport ABA i Malmö. Som motoringenjör bland annat för deras nyinköpta DC3’or med TWC-3 motorer, skaffade han sig värdefull information om dessa motorer, vilket skulle visa sig vara en tillgång för framtiden.

I slutet av 1930-talet inledde nämligen Kungliga Flygförvaltningen förhandlingar med amerikanska flygmotortillverkaren Pratt&Whitney om just licenstillverkning av den 14-cylindriga stjärnmotorn Twin Wasp, TWC3, hos Flygmotor i Trollhättan. Gustaf anställdes då återigen på Flygmotor hösten 1940, för att som det stod i anställningshandlingen ”handhava och leda uppritandet av den nya motortyp, som kommer att tillverkas här”.

Det sades inget om att det var TWC-3 som avsågs. Det var nämligen ett känsligt projekt. Motorerna om 1065 hk var avsedda för störtbombaren Saab 17 och för ett kommande jaktflygplan som skulle beställas hos Saab. Men kriget kom emellan. USA stoppade i juli 1940 all exportleverans av krigsmateriel. Sverige var i ett oerhört trängt läge både beträffande flygplan och flygmotorer och hösten 1940 beslutade Flygförvaltningen att helt enkelt ge Flygmotor, som då ännu var en del av NOHAB, uppdraget att kopiera P&W-motorn TWC3! Det blev den unge civilingenjören Gustaf Gudmundsson, då inte 30 år fyllda, som fick denna närmast omöjliga uppgift. Men Gudmundsson och hans medarbetare lyckades mot alla odds!

Vissa förberedelser hade förstås gjorts. När det blev uppenbart, att förhandlingarna med P&W om licenstillverkning av TWC3-motorn ej skulle kunna slutföras fick ABA i juli 1940 i uppdrag att ordna en 2 ½ månads stipendiebaserad studieresa för Gustaf till USA med besök hos ett antal tillverkare av flygmotorer eller annan utrustning plus flera flygbolag. Troligen hade Gustaf till uppgift att skaffa så goda kunskaper som möjligt om just TWC3-motorn för att förbereda för en kopiering av den. Pratt & Whitney var därför med på listan, och besöket där var inplanerat till 14 dagar. Direkt efter hemkomsten från USA anställdes Gustaf på NOHAB Flygmotor och beslutet att kopiera TWC3-motorn togs samtidigt av Flygförvaltningen.

Det var ett mycket kvalificerat kopieringsarbete med några originalmotorer från Pratt & Whitney som enda underlag. Uppgiften

löstes av Gustaf Gudmundsson och hans medarbetare på ett sätt som kom P&W att häpna - utan ritningar, materialnormer, värmebehandlingsdata, ja utan toleranstabeller, med bara en hel och ett par havererade motorer att plocka med. Det handlade inte enbart om att göra en uppmätning av varje enskild komponent och från detta ta fram ett komplett ritningsunderlag, vilket i sig var en tillräcklig utmaning, utan man var dessutom tvungen att göra komplicerade analyser för att fastställa de olika metallegeringarna och vilka värmebehandlingar materialet skulle genomgå för att man skulle kunna tillverka en fungerande och driftsäker motor. Och till råga på allt skulle det dessutom ske under stark tidspress. Den tekniska insatsen räknas som en av de mest meriterande i företagets historia och jämförbar med utvecklingen av Viggens motor RM8A — som Gustaf också var ansvarig för långt senare.

De svenskbyggda Twin Wasp (STWC3) som P&W senare förklarade stå helt i klass med originalet, blev räddningen för flygplanstyperna 17A, 18A och 22. Leveranserna av STWC3 kunde fullföljas nära nog i samma takt som om vi hade fått licensunderlag.

Efter freden förväntades en efterfrågan på mindre motorer för civilt bruk. Svenska Flygmotor ville utnyttja de erfarenheter, som erhölls under arbetet med STWC3, och beslöt att börja konstruera en egen fyrcylindrig luftkyld flygmotor kallad ”Trollet” efter Trollhättan.

Då SAAB något tidigare börjat konstruera sitt privatflygplan »Safir», diskuterades effektfrågan med dem, och därvid kom man överens om att motorn borde ge en starteffekt av minst 140 hk. För att ha en marginal fastställdes effekten till 145 hk. En sådan motor utvecklades också av Flygmotor under Gustafs ledning och visades upp vid flygutställningen i Paris 1946.

John Gustav forts

Saab 91 Safir, var ett enmotorigt lågvingat flygplan från SAAB, som flög första gången 20 november 1945. Safiren användes av Flygvapnet med de svenska militära beteckningarna Tp 91, Sk 50B och Sk 50C mellan 1946 och 1993. Safiren var, om man ser till antalet sålda flygplan, fram till Saab 340 Saabs största exportframgång. Den användes av ett flertal flygskolor och flygvapen. Totalt tillverkades med alla versioner 323 stycken.

Ursprungligen skulle flygplanet alltså drivas med "Trollet", men så blev av någon anledning inte fallet. Istället användes motorn till stridsfordon, bland annat en infanterikanonvagn, men dessa motorer skiljde sig rejält från flygmotorn. Bland annat hade de svänghjul. Skandiaverken i Lysekil tillverkade motorerna på licens från Flygmotor eftersom man inte hade kapaciteten i Trollhättan. Skandiaverken var en komplett numera nedlagd motorfabrik, som även hade eget gjuteri. Man tillverkade främst större tändkulemotorer och dieselmotorer till båtar .

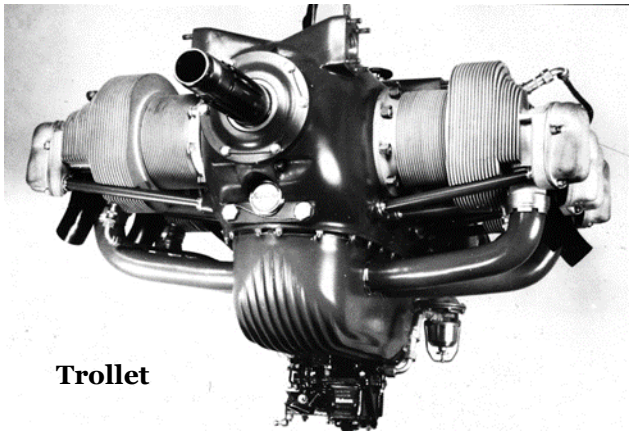
Under 1940-talet började svensk flygplanutveckling komma upp i internationell första klass. Men ända upp i toppen kunde man inte nå med användandet av ”gårdagens motorer". Ambitionerna krävde mer. Enda utvägen syntes vara att satsa på egen motorutveckling där vi i samband med inträdet i jetåldern borde ha goda förutsättningar tack vare svenska konstruktioner, erfarenheter och patent på de områden som berörde jetmotorns ädlare delar: kompressor. turbin och brännkammare.

Försöken att få igång en inhemskflyg motorutveckling måste emellertid överges då man kom till insikt om de ekonomiska konsekvenserna. (Inte ens så stora och världsomspännande företag som Rolls Royce och Bristol kunde behålla sin självständighet i den fortsatta utvecklingen.) Men försöken och de investeringar de krävde var inte bortkastade. Vid Flygmotor skapades under Gudmundssons ledning betydande resurser för utförande av självständiga utvecklingsarbeten. varigenom Flygmotor blev en efterfrågad licenstagare, som kunde medverka vid en ny motors slutliga utveckling och anpassning, varigenom licens kunde erhållas flera år tidigare. Flygvapnet kom härigenom i det gynnsamma läget att kunna välja de avancerade motorer som krävdes för genomförandet av programmet Tunnan – Lansen – Draken - Viggen.

29 TUNNAN. Redan i licensavtalet för Goblin (25 januari 1946) ingick option på den ännu inte färdigutvecklade Ghost. Fyra motorer ur den första prototypserien (experimentmotorer) levererades för provflygplanen av SAAB 29, senare åtföljda av fyra motorer ur prototypserien för den blivande produktionsmotorn Ghost 50, vars "barnsjukdomar" Flygmotor fick vara med om att bota. Med svenskutvecklad ebk fick man 30 procent dragkraftstillskott.

32 LANSEN. Ursprungligen projekterades Lansen för en RR Avon, sedan flygförvaltningen fått option på licensen för denna. Men Air Ministry vägrade att frige den avancerade version av Avon Sverige ville ha och förberedelser vidtogs för installation av Dovern. När Dovern hösten 1952 klarade typproven för 3000 och 3300 kp mjuknade engelsmännen. Under förhandlingarna med Rolls Royce fick företaget klart för sig Flygmotors kapacitet och erbjöd den senaste och mest avancerade versionen, Avon 100 Mk 21 (RM5A) och samarbete i dess fortsatta utveckling. I en senare version utrustades Lansen med Avon 200/300 MK 47A (RM6A) som hade svenskutvecklad ebk.

35 DRAKEN. Denna krävde en motor för högre Machtal och här kom Avon 200 Mk 48A (RM6B) logiskt in i bilden i kombination med framgångsrik ebk-utveckling vid Flygmotor. Senare versioner av Draken fick motorer med ytterligare ökade prestanda, Avon 200/300 Mk 60 (RM6C).



Trollet

37 VIGGEN. I slutet av 50-talet inventerades motoraltarnativ för blivande flygplan 37. Valet föll i början av 1962 på P&W civila turbofläktmotor JTBD-I , utvecklad i en militär version med ebk (RM8). Flygmotor med Gustaf Gudmundsson i spetsen åtog sig att genomföra det krävande utvecklingsarbetet och fick P&W välsignelse och flygförvaltningens uppdrag att genomföra det. Arbetet ledde till full kvalificering och leverans av seriemotorer inom planerad tid och kontrakterade kostnader. Den ursprungliga RM8A följdes av en vidareutvecklad version RM8B för jaktviggen.

Den enastående förmånen för flygvapnet att i ett tidigt skede få välja motor till dessa epokgörande flygplan har varit uttryck för förtroendet för Flygmotors tekniska kapacitet, präglad av Gustaf Gudmundssons kunnande och omdöme.

Gustaf Gudmundsson blev företaget, sedermera Volvo Flygmotor AB trogen under i stort sett hela sin yrkesverksamma tid. 1941 blev han chef för tekniska avdelningen, och 1956 utnämndes han till teknisk direktör. Gustaf pensionerades 1971, 60 år ung och fick då omedelbart konsultuppdrag hos bl.a. den amerikanska flygmotortillverkaren Garret. En redogörelse för alla Gustaf Gudmundsons insatser under mer ån 45 år I företagets tjänst skulle kräva mer utrymme än vad som är tillgängligt. Det må räcka med konstaterandet, att Gustaf Gudmundson hade ansvaret för Volvo Flygmotors tekniska avdelning sedan 1941 och var huvudansvarig för uppbyggnaden av utvecklings- och provningsresurser och för utveckling av en lång rad flygmotorer — både kolvmotorer och jetmotorer. Från 1957 till sin pensionering 1971 var han som teknisk direktör också vice verkställande direktör i Volvo Flygmotor.

Han var känd som en verkligt kvalificerad tekniker med en analytisk förmåga att angripa och lösa tekniska problem. Hans erfarenhet inom flygmotortekniken gjorde honom internationellt känd och respekterad. Hans tekniska begåvning gav honom också många utmärkelser. Redan när han avlade sin civilingenjörsexamen fick han John Ericsson-medaljen. Han tilldelades Thulin-medaljen i silver 1955 och i guld 1964 för sina tekniska insatser.

Han har vidare uppmärksammats genom att kallas till ledamot av Ingenjörsvetenskapsakademien. Han var dessutom medlem av The Royal Aeronautical Society, Society of Automotive Engineers, Flyghistoriska rådet m fl. Även efter sin pensionering gjorde han värdefulla insatser som teknisk konsult — ett uppdrag som han hade fram till sin bortgång. Han var en öppen och rättfram människa med värme och humor och en enastående arbetsförmåga.

John Brodie och svenska jetmotorer

John Gustaf Gudmundsson

1945 bestämde svenska flygvapnet att övergå till jetdrivna stridsflygplan, 1946 köptes licens på Goblin motorn från de Havilland Engine Company i England. Goblin motorn satt i Vampire flygplanet som hade köpts till svenska flygvapnet. Redan i licensavtalet för Goblin (25 januari 1946) ingick option på den ännu inte färdigutvecklade Ghost. John Brodie teknisk direktör och ansvarig för utvecklingen av motorerna på de Havilland, kom att bli en mycket god vän och samarbetspartner till min far Gustaf Gudmundson, som var ansvarig för teknisk utveckling på Svenska Flygmotor AB, under den fortsatta färdigutvecklingen och vidareutvecklingen av Ghost motorn till svenska flygvapnet

John Brodie har varit verksam med utveckling av flygmotorer från början, som assistent till Frank B, Halford konstruktören av alla de Havillands motorer, John Brodie kom att bli hans högra hand i 32 år

1923 fick han frågan av Major Frank Halford att medverka med att konstruera och utveckla motorer. Tillsammans utvecklade de många motorer som bidragit till framsteg i utvecklingen av de moderna flygmotorerna.

I oktober 1926 började Halford och Brodie arbetet med att konstruera och utveckla Gipsy motorn, vilken kom att bl a tillverkas i över 10000 exemplar under andra världskriget. Gipsy motorn användes i många olika flygplan bl a Tiger Moth som under en tid var svenska flygvapnets skolflygplan SK11. Första versionen av SAAB 91 Safir SK50 hade en Gipsy motor som drivkälla.

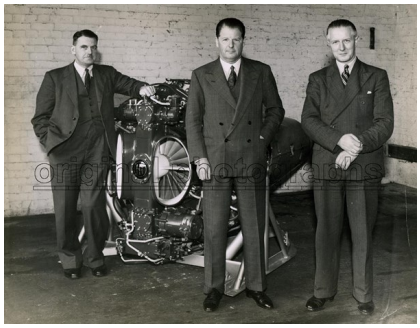
Moth Minor med Gipsy motor 1938 Frank Halford, Geoffrey De Havilland och John Brodie

Brodie deltog också tillsammans med Halford vid konstruktionen av Napier Rapier den sk. H-motorn.

John Brodie blev 1940 ansvarig för ”de Havilland Merlin Repair Department”, där 9000 st av den berömda Rolls-Royce motorn Merlin kom att bli översedda under andra världskriget.

1941 tog John Brodie över tekniska ansvaret för de Havillands Motor och Propeller Division. Tidigt samma år fick Halford, Brodie och Dr. E. S. Moult uppdraget av konstruktionsarbetet, som kom att bli den första serietillverkade jet motorn i England – Goblin.

Den första provkörningen av motorn gjordes 13 april 1942, bara 248 dagar efter första ritningen. Provet skedde under kraftig bevakning. Jetmotorutvecklingen innebar helt nya prov och utvecklings förhållande för att få fram pålitliga motorer.



John Brodie, Frank Halford och Erik Moult vid en Goblin motor

John Brodie blev teknisk Direktör vid de Havilland Engine Co.Ltd. som bildades 1944

Från radial kompressor motorn Goblin kom ett antal framstående motorer att utvecklas – Ghost, senare axial kompressor motorerna Gyron, Gyron Junior och Gnome. Ghost först som ytterligare en militär motor, men senare som motor till första jetdrivna passagerarplanet Comet. Sextio procent av detalj ritningarna måste göras om för att uppnå den civila standarden.

Ghost motorn kom att användas i det svenska jaktflygplanet J29. Svenska Flygmotor utvecklade en efterbrännkammare, som kom att öka dragkraften med ca 30%.

John Brodie kom att vara delaktig / ansvarig av konstruktion och utveckling av kolvmotorn Gipsy till jetmotorerna Goblin (RM1) och Ghost (RM2), som användes inom svenska flygvapnet

Citat Gustaf Gudmundson

”Beslutet att acceptera centrifugalkompressorn vid en tidpunkt då man kunde börja skönja den mer effektiva axialkompressorns genombrott, visade DH:s förutseende att välja det utförande som kunde ge en tillförlitlig tjänst för den då aktuella tidsperioden. Valet av det enkelsidiga kompressorhjulet och brännkammare med rak genomströmning i kombination med det centrala luftintaget gav en hög installerad verkningsgrad jämfört med andra samtida jetmotorer. ”

Citat ur Flyghistorisk revy Nr 27 (Nils Söderberg)

Redan i licensavtalet för Goblin (25 januari 1946) ingick option på den ännu inte färdigutvecklade Ghost. Fyra motorer ur den första prototypserien (experimentmotorer) levererades för provflygplanen av SAAB 29, senare åtföljda av fyra motorer ur prototypserien för den blivande produktionsmotorn Ghost 50, vars "barnsjukdomar" Flygmotor fick vara med om att bota. Med svenskutvecklad ebk fick man 30 procent dragkraftstillskott.

”En betydande del av framgången med J29 vilar på Flygmotor. Det är inte brukligt att licens på en ny motor lämnas ut innan utvecklingen är helt färdig och viss tjänsteerfarenhet har vunnits. Det förhållandet att De Havilland Engine Company lämnade ut licensen för Ghost innan serietillverkningen ännu påbörjats, visade ett synnerligen stort förtroende för Flygmotors tekniska ledning och uppskattning av dess resurser. I själva verket fick Flygmotor medverka i både färdigutvecklingen och vidareutvecklingen av Ghost. Värdet att få licensrätten på så tidigt stadium utgör en tidsvinst som kan räknas i år. Därmed grundlades ett förfaringssätt som kom att användas även i fortsättningen med motsvarande modernitetsvinst ”

Minnes ord av Nils Söderberg:

”Den enastående förmånen för flygvapnet att i ett tidigt skede få välja motor till dessa epokgörande flygplan har varit uttryck för förtroendet för Flygmotors tekniska kapacitet, präglad av Gustaf Gudmundssons kunnande och omdöme.”

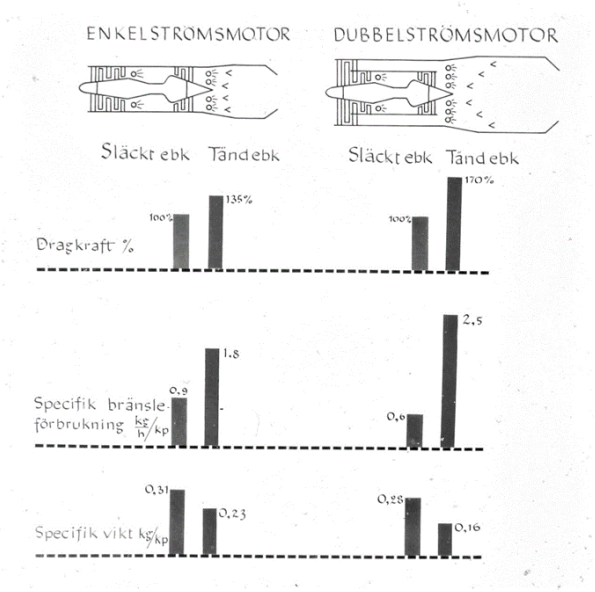
Motorval till Viggen /Uppstart RM8 projektet

John Gustaf Gudmundsson

Flygförvaltningens val av JT8D- 1 såsom motor för flp 37 hade föregåtts av omfattande undersökningar av lämpliga typer under flera år. Önskemålen om ett enhetsflygplan beredde mycket stora svårigheter ur motor synpunkt på grund av de skiftande prestanda som är nödvändiga för de olika flyguppdrag som måste förutses.

För attackuppdrag erfordras låg bränsleförbrukning vid underljudflygning för att uppnå lång aktions radie samt ett kraftigt dragkrafttillskott för snabb acceleration och flygning med hög hastighet i samband med anfall och undanflygning. För jaktuppdrag krävs hög dragkraft för snabb acceleration och god stigförmåga jämte hög hastighet. För spaningsuppdrag krävs avancerade allroundprestanda. För start med STOL-prestanda erfordras mycket hög dragkraft och för landning en effektiv strålbroms.

Fordringarna på låg bränsleförbrukning och stor dragkraft (eller dragkrafttillskott) kunde inte tillgodoses med en motor av enkelströmstyp, d v s av samma principutförande som dittills producerade motorer i Sverige.



Fröet till den planta som utvecklades till en leveransfärdig RM8-motor sattes för Flygmotors del en höstdag 1961, när Mr Robert Baer, president för United Aircraft International, vid ett besök i Trollhättan informerade om att företagets Pratt & Whitney Aircraft Division hade en motor under utveckling för ett civilt transportplan, vilken motor skulle vara mycket lämplig för det nya enhetsflygplanet system 37 – som sedan några år varit under utredning. Motorn var i sitt ursprungliga utförande endast avsedd för underljudfart och fordrade för sin militära applikation modifiering med hänsyn till ökade prestanda och miljöförhållanden. Då företaget hade en liknande men något mindre motor TF30 under utveckling för ett nytt amerikanskt attack- och bombflygplan F 111 hade de icke själva kapacitet att utveckla motorn och önskade därför Flygmotors medverkan. De ansåg, att företaget skulle kunna genom föra en dylik uppgift och pekade på, att man under kriget kopierat deras 14-cylindriga kolvmotor samt att man under 1950-talet utvecklat egna efterbrännkammare för jetmotorer. Vidare ansågs befintliga provningsresurser vara mycket användbara för arbetets genomförande. Det var ett både hedrande och lockande erbjudande, som fordrade ett omsorgsfullt övervägande.

Under senare hälften av 50-talet hade dubbelströmsmotorn visat, att en låg bränsleförbrukning kunde uppnås vid underljudfart. Genom dessa motorers större luftmängd i förhållande till enkelströmsmotorn skulle ett betydande dragkrafttillskott kunna uppnås genom en på densamma apterad efterbrännkammare. Såvitt bekant gjordes ett första försök med efterbrännkammare på en dubbelströmsmotor år 1960, medan något egentligt utvecklingsarbete inte kom igång förrän 1961. Dessa arbeten påvisade möjligheten att lösa de problem, som är förknippade med en dylik efterbrännkammare.

Vilka var då Flygmotors möjligheter att kunna genomföra ett så omfattande utvecklingsarbete? Man var väl medvetna om de ödesdigra konsekvenser ett misslyckande skulle medföra för det svenska försvaret.

A Flygmotor hade alltsedan företagets start 1930 tillverkat ett flertal kolvmotorer och jetmotorer på licens. Därigenom fanns en grundläggande kunskap om de noggrannhets och kvalitetskrav som måste uppfyllas. Vidare fanns många värdefulla erfarenheter från samarbete med licensgivare och tillverkningar hade skaffat företaget respekt hos såväl licensgivare som andra flygmotortillverkare.

B Flygmotor hade bedrivit visst utvecklingsarbete sedan början av andra världskriget, först på kolvmotorer men sedan mitten av 1940-talet på olika typer av jetmotorer Denna senare utveckling hade inte lett till serietillverkning av kompletta motorer men väl av komponenter som efterbrännkammare med tillhörande bränslesystem. I och med beslutet 1951 att den motor som då var under utveckling icke skulle serietillverkas utan ersättas av en licensbyggd motor gjordes en viss neddragning av utvecklingskapaciteten dock med bibehållande av en kärna för kommande uppdrag. Dessa skulle snart visa sig växa så att avdelningen måste nära nog fördubblas till slutet av 1950-talet. Man hade genom de många varierande arbetsuppgifter man fått utföra på bla licensmotorer, efterbrännkammare, rammotorer, raketmotorer m m fått fram flera skickliga konstruktörer, beräkning och utvecklingsingenjörer, som kunde bilda kärnan till en grupp för utvecklingen av RM8.

C För att genomföra utvecklingen av en jetmotor erfordras dessutom omfattande provningsanordningar. Dylika hade skapats i samband med den tidigare utvecklingen och dessa kunde med vissa kompletteringar motsvara behovet för denna nya utveckling.

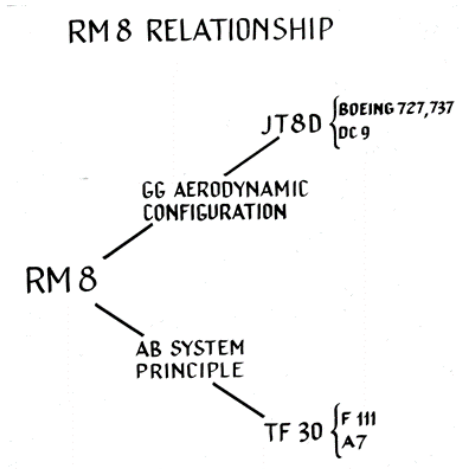
Efter en noggrann prövning av dessa faktorer kom man därför till uppfattningen, att man skulle kunna åtaga sig uppgiften att utveckla RM8 motorn i samarbete med PWA.

Flygmotor hade under de undersökningar, som föregick motor valet, huvudsakligen deltagit i bedömningen av tillverkningsmöjligheter, kostnader och motorernas allmänna egenskaper. Däremot hade man i mycket liten utsträckning inkopplats på prestandakraven för den aktuella installationen, önskemålet att åstadkomma ett enhetsflygplan för ett flertal olika flyguppdrag ställde stora krav på motorns egenskaper bl a Hög dragkraft för kort startsträcka och snabb acceleration till överljudfart, låg bränsleförbrukning vid hög underljudhastighet och låg vikt.

Dessa krav tillgodoses av en s k dubbelströmsmotor, en motortyp som började utvecklas under 1950- talet för huvudsaklig användning i civila transportflygplan och stora bombplan med underljudfart. Undersökningar av möjligheten att använda denna motortyp i kombination med en efterbrännkammare i flygplan för överljudfart hade just påbörjats i England och USA och Flygmotor hade genom deltagande i vissa diskussioner skaffat sig grundläggande kunskaper, som visade att erfarenheterna från rammotorutvecklingen skulle kunna användas för lösning av förbränningsproblemen. Regleringen av en dubbelströmsmotor med efterbrännkammare däremot skulle kräva ett mycket komplicerat reglersystem, som skulle fordra stora reglertekniska insatser. Det visade sig senare en möjlighet att utnyttja ett specialföretag, som redan var i färd med en dylik utveckling.

RM8 var en dylik dubbelströmsmotor och fyllde de uppställda kraven, Dragkraft och bränsle-förbrukning var avsevärt förbättrade i förhållande till RM6 motorn. Vikten var 0,17 kg/kp maximal dragkraft mot 0, 27 för RM6.

Ansvarsfördelningen mellan PWA och Flygmotor blev en mycket betydelsefull punkt i samband med förhandlingarna, som slutade med ett formellt licensavtal mellan Flygmaterielförvaltningen och PWA den 28 maj 1962. Samma dag tecknades också ett avtal mellan Flygmaterielförvaltning en och Flygmotor. Licensgivaren skulle lämna projektutslag på erforderliga modifieringar samt kompletta detaljritningar på den civila motorversionen och kunde endast garantera, att överlämnat material skulle motsvara deras bästa kunnande. Då slutresultatet kom att bero på Flygmotors kunnande och förmåga att genomföra utvecklingsarbetet kunde de inte ta något ansvar härför men var beredda att biträda vid eventuella problem. Flygmotor å sin sida kunde ej ta fulla ansvaret för slutresultatet, då detta i hög grad berodde på kvaliteten i grundmaterialet från PWA, Samarbetet blev emellertid hela tiden mycket gott och några problem ur ansvarsfördelningssynpunkt uppstod ej.



Att programmet kunde genomföras i mycket nära anslutning till det ursprungliga tidsprogrammet berodde i hög grad på det intresserade och oegennyttiga arbete, som utfördes av alla deltagande och det goda samarbete som rådde. Detta gäller även licensgivarens och Flygmaterielförvaltningens representanter.

Slutresultatet blev att Flygvapnet fick ett flygplan med dragkraft/startvikt förhållande i nivå med och i vissa fall överträffande motsvarande flygplantyper i Väst, Motorn hade också en betydande utvecklingspotential och dragkraften kunde ökas avsevärt. En sådan vidareutvecklad motor kunde vara aktuell för inbyggnad i flygplan ända till början av 80-talet, vid vilken tidpunkt den kom att möta konkurrens från de nya avancerade motortyper, som var under utveckling i utlandet. Det största problemet med en sådan vidareutveckling var kostnadsfrågan, då vi här i landet inte vant oss vid de stora kostnader en sådan vidareutveckling betingade och som ej ansågs onormala i de länder, där flygmotorutveckling bedrevs.

RM8 SERIEMOTORPRESTANDA. H=0 M=0
FÖRSTA MOTORLEVERANS (NR 9002)

	MAX SLÄCKT		MAX TÄND	
	F – kp	b – kg/h / kp	F – kp	b – kg/h / kp
SPECIFIKATION	6690	0.62 +3%	11790	2.47 +3%
MOTOR 9002	6690	0.605	11930	2.57 *)

*) VID DRAGKRAFTEN 11790 kp INNEHÅLLES SPEC b

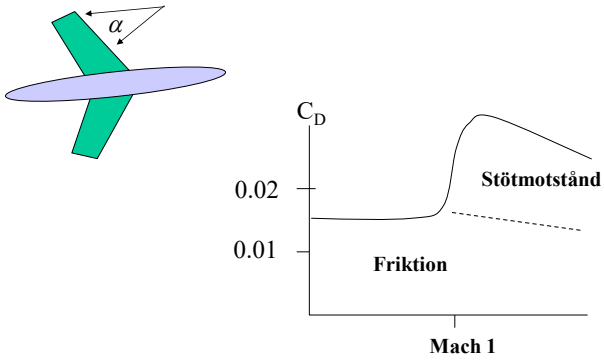
MOTORVIKT : SPECIFIKATION 2102 kg
MOTOR 9002 2050 kg

Citat från generalmajor Nils Söderberg i flygvapnet:
”37 VIGGEN. I slutet av 50-talet inventerades motoralternativ för blivande flygplan 37. Valet föll i början av 1962 på P&W civila turbofläktmotor JTBD-I , utvecklad i en militär version med ebk (RM8). Flygmotor med dess tekniske direktör Gustaf Gudmundsson i spetsen åtog sig att genomföra det krävande utvecklingsarbetet och fick P&W välsignelse och flygförvaltningens uppdrag att genomföra det. Arbetet ledde till full kvalificering och leverans av seriemotorer inom planerad tid och kontrakterade kostnader. Den ursprungliga RM8A följdes av en vidareutvecklad version RM8B för jaktviggen. Den enastående förmånen för flygvapnet att i ett tidigt skede få välja motor till dessa epokgörande flygplan har varit uttryck för förtroendet för Flygmotors tekniska kapacitet, präglad av Gustaf Gudmundssons kunnande och omdöme”.

Ljudvallen-var det en vall?

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

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



Ljudvallen innebär ett starkt ökat luftmotstånd

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

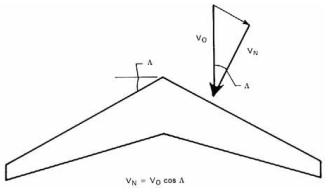
När temperaturerna blir för höga är man tvungen att göra sig av med kompressorer och turbiner. Då är motorn i princip bara ett rör med tryckluft, som man eldar i. Det kallas för en rammotor eftersom den fungerar så att man rammar in luften i inloppet så att trycket ökar. Det kan ju låta enkelt men tyvärr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

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

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

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

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



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

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

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

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

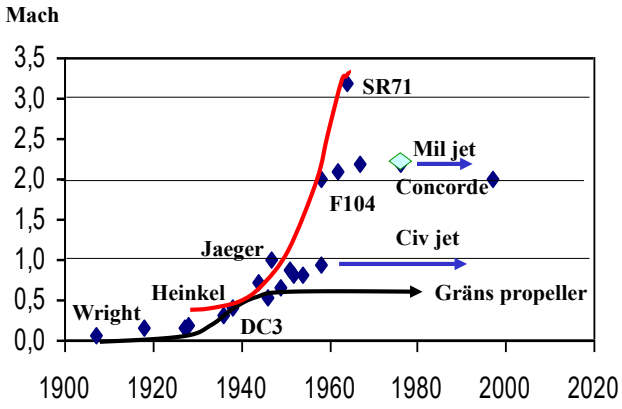
Ljudvallen visade sig inte vara någon vall. Första gången ett svenskt flygplan passerade ljudvallen var 25 oktober 1953. Planet var en Saab Lansen och piloten hette Bengt Olow.

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

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

Under femtio och sextiotalen gjordes en mängd prov med högre hastigheter. På slutet av femtiotalet passerades dubbla ljudhastigheten av det amerikanska F104. År 1962 gavs också klarteckenen för utvecklingen av det hittills enda passagerarplan som flugit med Mach 2, det fransk-engelska Concorde. Trots att det sedan några år tagits ur bruk så liknar det fortfarande ett flygplan från framtiden.

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



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

Kan man flyga överljud med propeller?

av Claes Eriksson

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

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

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

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

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

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

XF-88B forskningsflygplan

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

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

XF-84H Thunderscreech

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

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

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

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

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

Även om The Guinness Book of Records registrerade XF-84H som det snabbaste propellerdrivna flygplanet någonsin med en designhastighet på Mach 0,9 och Mach 0.83 under prov så har dessa siffror ifrågasatts. Den inofficiella rekordhastigheten enligt National Museum of United States Air Force ger en toppfart på Mach 0.70, men gör ändå XF-84H till det snabbaste enmotoriga propellerdrivna flygplanet ända till 1989 när " Rare Bear ", en högmodifierad Grumman F8F Bearcat, nådde Mach 0.71.

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

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

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

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

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

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

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

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

Referenser:

http://hartzellprop.com/can-propeller-driven-aircraft-break-speed-sound/
https://en.wikipedia.org/wiki/Republic_XF-84H
http://www.jefflewis.net/aviation_theory-theo_prop_eff.html
https://history.nasa.gov/SP-445/ch4-6.htm

Hitlers flygande vinge

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

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

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

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

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

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

Horten 229 (Horten Ho IX, "Flygande vingen"), var världens första jetplan utan stjärtroder. Planet flög första gången redan 1945 och dess design var mycket futuristisk och långt före sin tid. Planets ursprungliga form ritades av de båda bröderna Walter och Reimar Horten. Båda hade sedan tidigare visat sin förkärlek för eleganta plan helt utan eller med minimala stjärtroder, då de försökte få bort det motstånd i lyftkraft som rodret ger på vanliga plan. Flygande vingen-designen avlägsnade all "onödig" yta och detta ledde, åtminstone i teorin, till lägsta möjliga motstånd.

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

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

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

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

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

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

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

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

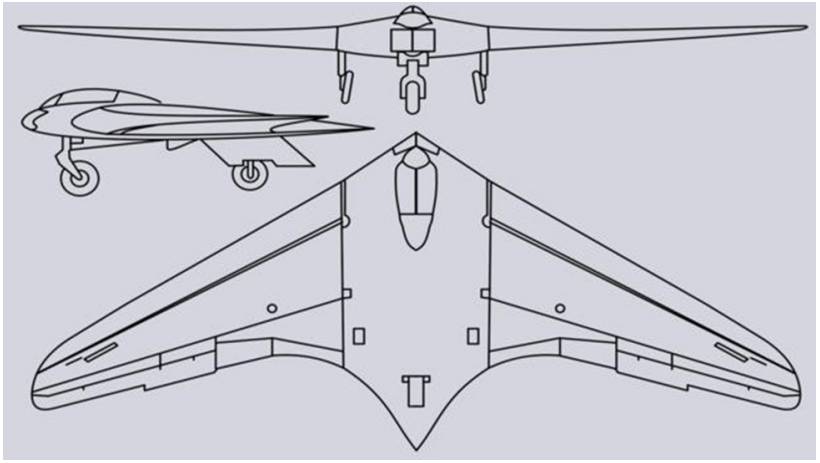
Bröderna Hortens kunde hålla sina flygplan stabila genom att göra vingen lång och tunn. Detta sprider flygplanets vikt över en större yta och minskar även den andel av luften, som skapar en virvel runt vingen, vilket ökar motståndet och bromsar flygplanet.

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

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

Möjligen som ett uttryck för tysk desperation lades trots haveriet en order på fler prototyper och 20 förserieplan och den 12 mars 1945 blev Ho 229 inkluderat i Jäger-Notprogrammet för en ökad produktion av billiga "Wunderwaffen" (mirakelvapen).

Ho 229 som det kunde ha sett ut



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

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

Ett Horten segelplan och en Ho 229 V3 beslagtogs och skickades i all hemlighet till Northrop Corporation i USA för utvärdering. De övriga plan som upptäcktes vid monteringsbandet i Friedrichsroda slogs sönder för att hindra att de hamnade i sovjetiska styrkors ägo.

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

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

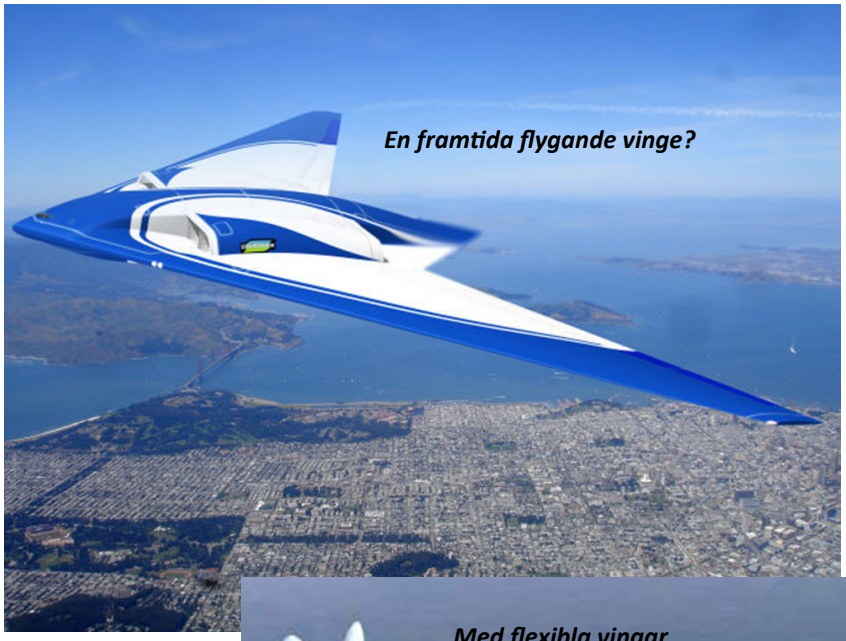
Northrops misslyckade YB-35 flygande vinge bombplan från det sena 1940-talet var lamslagna av massiva vibrationsproblem orsakade av de propellerdrivna motorerna. Det visade att Hortens hade rätt i att använda jetmotorer i Ho 229. Northrops senare jetdrivna YB- 49 kom visserligen aldrig i drift, men banade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

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

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

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

Ett NASA-koncept, som kallas "N3-X," använder ett antal supraledande elmotorer för att driva de distribuerade fläktarna för att sänka bränsleförbrukningen, utsläppen och bullret. Effekten för att driva dessa elektriska fläktar genereras av två vingspets monterade gasturbindrivna supraledande elektriska generatorer.



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

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

Konventionella flygplansvingar är en kompromiss i fråga om prestanda. Medan de tillåter flygplanet att flyga i en rad olika flygförhållanden, har de mindre än optimala prestanda vid varje tillstånd. Ett konventionellt flygplan kan ändra geometrin av sina vingar för att anpassa sig till olika omständigheter, såsom att öka lyftkraften för start och landning, men endast i begränsad omfattning.

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

Segelflygets historia

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

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

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

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

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

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

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

Hans Gutermuth

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

Första världskrigets slut 1918 kom på sitt sätt att bli startskottet för den utveckling som sedan följde vad gäller glid och segelflygplan. Freden i Versailles 1919 blev som kant hård för det besegrade Tyskland och bland annat satte det praktiskt taget stopp för i stort sett all motorflygning. Redan samma år publicerade tidskriften Flugsport ett upprop om att återuppta glidflygsporten, man hade redan 1913 börjat försöka utveckla glidflygning som en sport. Centrum för den nya sporten blev Wasserkuppe.

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

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

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

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

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

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

I juni 1941 hölls den första utbildningen på Ålleberg. De första åren fanns inga andra byggnader än en hangar, som används än idag och bland annat hyser segelflygmuseet, en mindre cafélokal samt en startbrygga med tillhörande trappor och bana uppför bergssluttningen för gummirepsstarter. Vinschning var under den första tiden på berget den vanligaste startmetoden jämte gummirepsstart. När andra världskriget var slut upphörde praktiskt taget all vinschning till förmån för flygbogsering.

”Vampyren” på ett västtyskt frimärke från 1979.

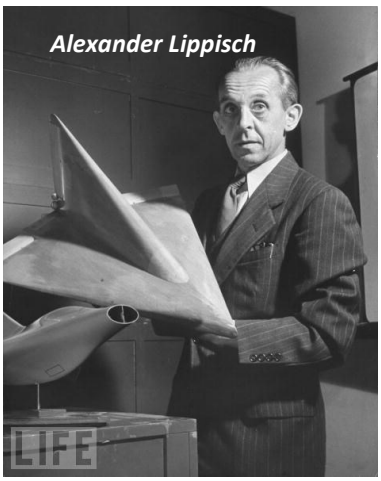
Skolan förblev en central segelflygskola även med avseende på grundutbildning ända fram till 1966. Efter 1966 blev skolan en utbildningscentral för instruktörer och för högre kurser som instrument- och avancerad flygning. Här finns också landets enda segelflygmuseum.

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

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

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

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



Alexander Lippisch

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

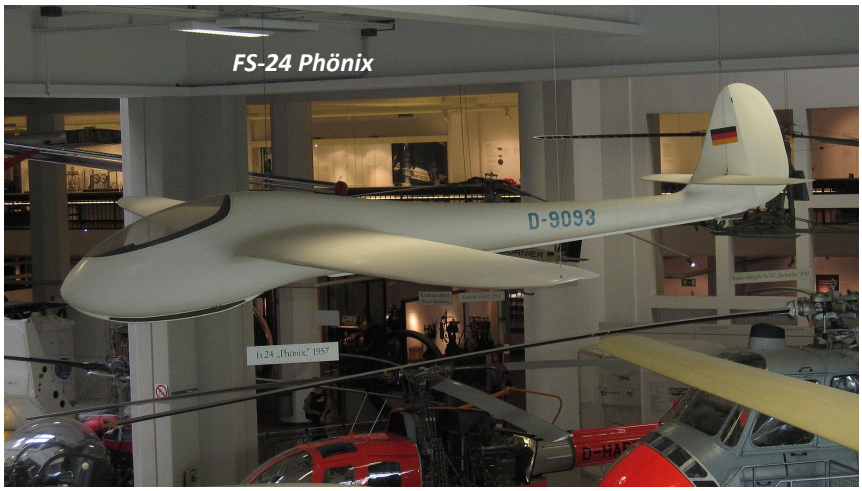
Under den här tiden hade Tyskland fått se ett ödesdigert maktskifte i landets ledning (1933) och det hade också Wasserkuppe. Det blev Hitlerjugend som tog över segelflygverksamheten eftersom nazisterna hade förstått att segelflygare var en utmärkt mänsklig råvara att producera flygvapenpersonal av. Riktigheten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

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

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

Vindtunnelförsök 1939 hade visat att deltaformade plan var optimala vid farter över 1000 km/h och Lippisch arbetade på konstruktionen Lippisch P.13a om skulle drivas med en ramjetmotor. När freden kom var man långt ifrån färdiga.
Ett glidflygplan med deltavingar DM-1 var byggt, men ingen provflygning var inledd.

Efter kriget erbjöds Lippisch att komma till USA, och Convair, som arbetade med F-92, ett flygplan som drevs av en hybrid av raket och jetmotor. Man anlitade honom för att komma åt hans kunskaper om aerodynamiken runt deltavingar. Åren 1950-64 arbetade Lippisch vid Collins Radio Companys flygavdelning i Cedar Rapids, Iowa. Det var här han forskade och konstruerade flygplan som kunde utnyttja markeffekten. Resultatet blev flygplan med VTOL-egenskaper. Han startade sitt eget forskningsföretag 1966 Lippisch Research Corporation, där han producerade några prototyper med VTOL-egenskaper. Han dog 11 februari 1976 i Cedar Rapids, Iowa, USA



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

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

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

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

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

Perlan 2 över bergen i Patagonien

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

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

Perlan 2 är i huvudsak en rymdfarkost med en 84-fots vinge, konstruerad för att flyga i förhållanden som liknar Mars yta. Det har som mål att nå 90 000 ft (27,4 km). Försöken startade i Redmont i Oregon 2015 och i juli 2017 startade Airbus Perlan Mission 2 sin andra säsong av flygprovning i El Calafate, Argentina. Denna patagoniska region är en av några få platser på jorden där en kombination av bergvindar och polarvirvlar skapar världens högsta "stratosfäriska bergsvågor", stigande luftströmmar, som Perlan-piloterna tror så kan småningom bära deras experimentella flygplan mot randen av rymden.

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

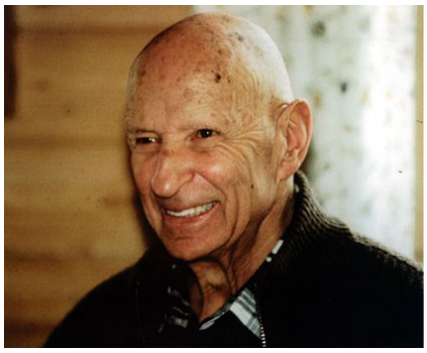
Perlan är inte lika bra på låg höjd som ett vanligt segelflygplan, men på mycket höga höjder skulle ett vanligt plan inte alls kunna flyga. Vid låga höjder har Perlan 2 ett glidtal på cirka 40. Det är en lägre prestanda än ett typiskt tävlingssegelflygplan, som har minst 60, men på 60 000 fot, precis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

Perlanprojektet är delvis ett miljöprojekt. Det kommer att undersöka växelverkan mellan troposfären, jordens lägsta lager och skiktet ovanför stratosfären, samt samla in data om ozonskiktets uttunning, vilket ökar skadliga UV-strålar. Uppdraget kommer att ge ovärderliga uppgifter för forskare världen över för att hjälpa till att uppdatera och förbättra befintliga klimatmodeller.

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

Bypassmotorn revolutionerade luftfarten

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



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

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

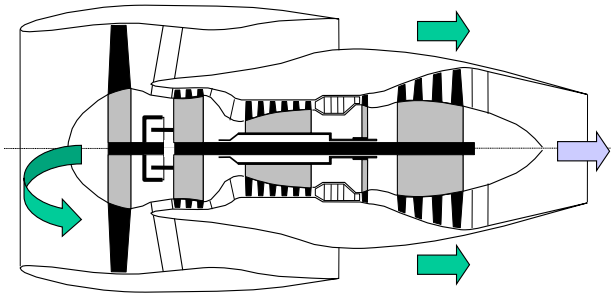
I slutet av kriget år 1946, fick Gerhard Neumann medborgarskap i USA på grund av sina tjänster i kriget, gifte sig med en amerikanska och bosatte sig i Kina. Men snart fick det hotande kommunistiska övertagandet av Kina Neumann och hans hustru att ge sig av därifrån. De byggde en fungerande Jeep från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

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

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

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

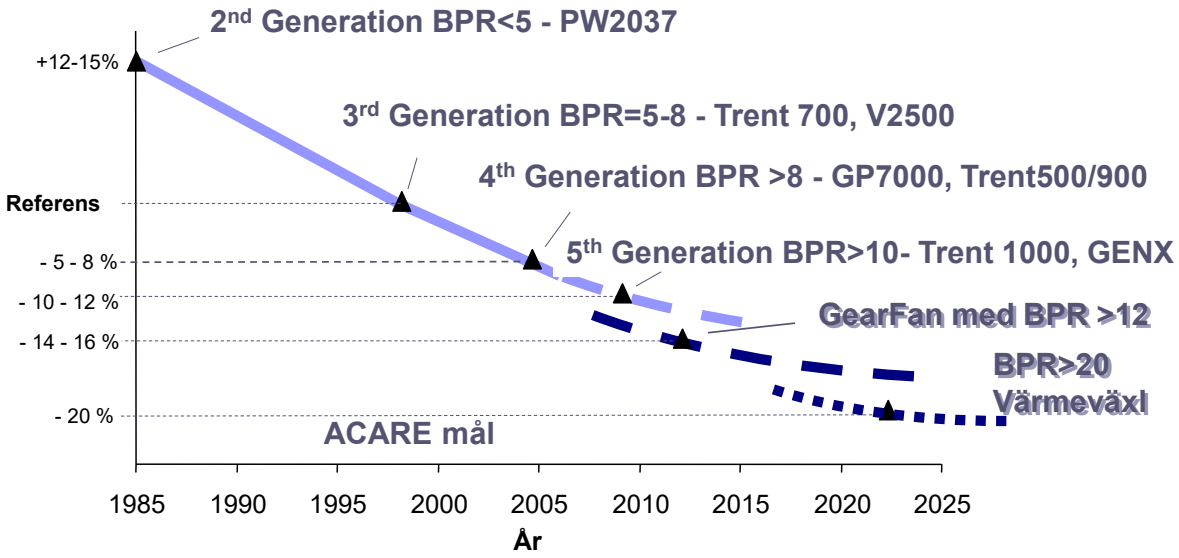
Gerhard Neumann låg också bakom en annan uppfinning. Tidiga jetmotorer var benägna till kompressorstall (kompressorn storknade helt enkelt) och andra driftproblem vid låga hastigheter, särskilt under acceleration. En ny lösning, som utarbetats av Gerhard Neumann var ett automatiskt



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

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

From MTU-presentation in NEWAC



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

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

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

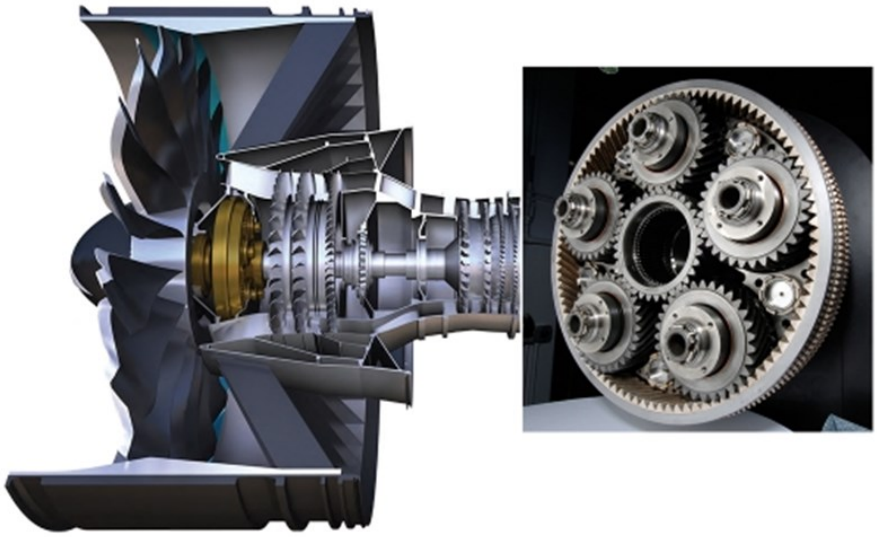
Samtidigt skapar detta problem vid lägre hastigheter, eftersom om all tillgänglig kraft i motorn används för att skapa en stråle så blir strålhastigheten mycket högre än flyghastigheten och därmed framdrivnings– och den totala verkningsgraden låg även om den termiska verkningsgraden hos själva cykeln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

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

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

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

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



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

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

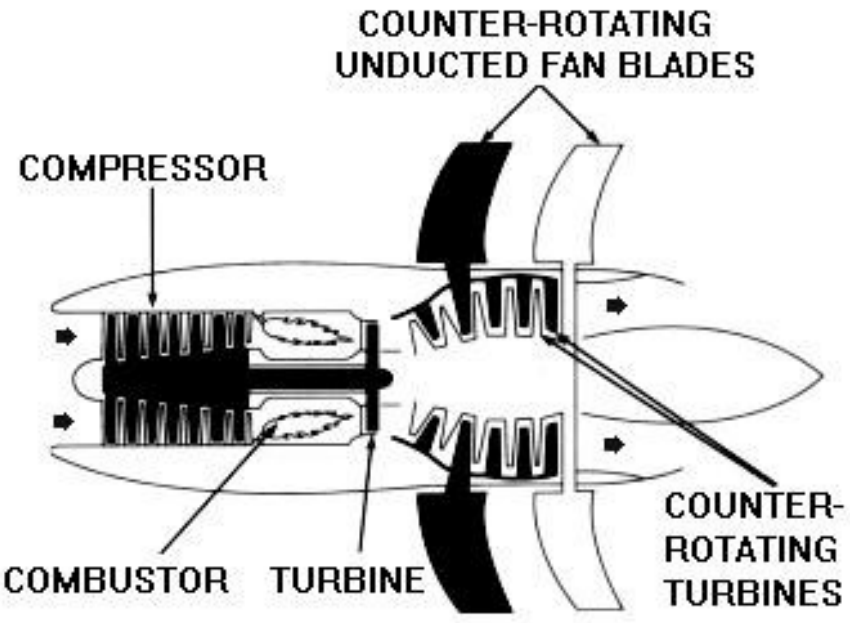
Det finns en tendens att öka fläktdiametern och bypassförhållandet för att öka effektiviteten. Ett problem är då att varvtalet på fläkten måste minska för att undvika tryckstötar på bladtopparna och höga mekaniska påkänningar. Samtidigt måste turbinen som driver fläkten ha ett högt varvtal för att vara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

Konceptet, som tidigare framgångsrikt försökts på lågtrycks motorer som Honeywell TFE731 och LF502 , gör det möjligt för motorn att bli effektivare genom att låta fläkten köra långsammare och lågtrycks-kompressorn och turbinen att köra snabbbare. Rolls-Royce planerar också att använda konceptet för sin framtida UltraFan högdragkrafts motor.

Ett annat problem då bypassförhållandet ökar är att kåpan blir allt större och tyngre. Man försöker därför utveckla propellrar för effektiv drift vid transsoniska flyghastigheter (de som närmar sig ljudets hastighet), mycket högre än vad som tidigare uppnåtts-upp till Mach 0,85. Detta innebär en högre belastning på propellern, vilket kompenseras genom en ökning av antalet blad i propellern (från 6 till 12 istället för de vanligare två till fyra bladen i lägre varvtal). Bladen är kroksabelformade, se figur nedan, med bakåtsvepta ledande kanter för att klara de stora Machtalen vid propellerbladens spetsar vid den höga rotations- och flyghastigheten. Sådana höghastighetsmotorer kallas propfans. De lanserades på 60– och 70-talet när oljepriset var högt men övergavs när priset sjönk. På senare år har de åter blivit aktuella.

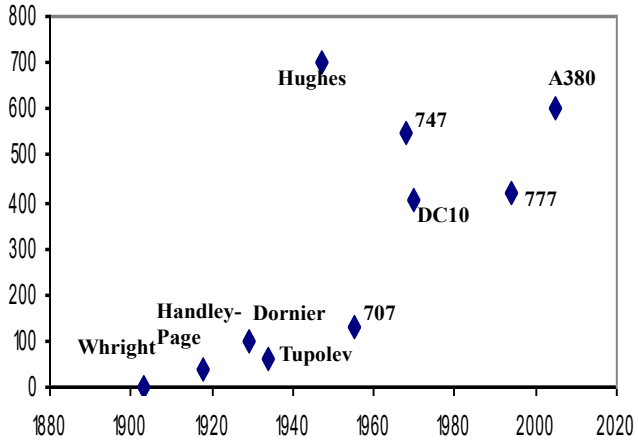
En variant av propfans är den så kallade UnDucted Fan (eller UDF), som innebär att två koncentriska propellrar drivs av motroterande turbiner, som gör att varje propeller roterar i en riktning motsatt den andra. Sådana motroterande propellrar klarar av betydligt högre framdrivningseffektivitet och högre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

I de flesta installationer är drivmotorn monterad på vingen (så kallad "traktor"-layout). Med propfans är det mer fördelaktigt att montera motorn i den bakre delen av flygplanet för att undvika störningar från propellern. Detta arrangemang kallas "pusher"-layout. Troligen är det sådana motorer vi kommer att se på framtidens flygplan för att ytterligare minska bränsleförbrukning och miljöbelastning.



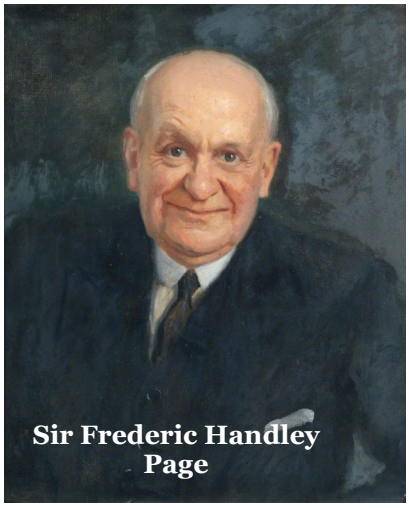
Större och större dag för dag

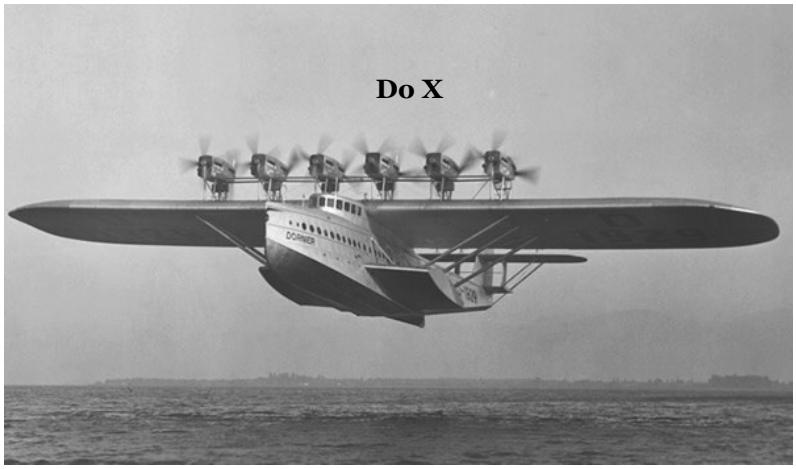
Bypassmotorn med dess ökande effektivitet orsakade en spektakulär ökning av storleken på civila flygplan. Detta märks mycket tydligt i figuren här bredvid, som visar den största storleken på flygplan i antalet passagerare varje decennium.



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

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


Sir Frederic Handley Page

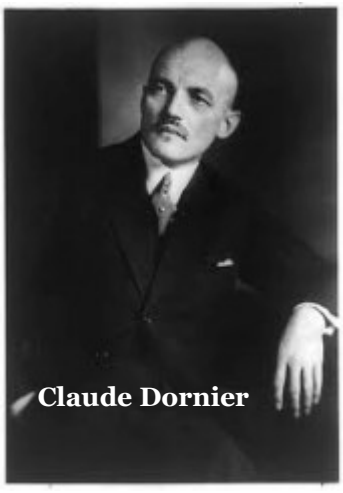


På 1920-talet insåg man att tekniken vid den tiden inte tillät byggandet av mycket stora flygplan med start från marken. Detta var skälet till flygbåtarna, där Dornier "Do X" och Hughes "spruce Goose" var de största.

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

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

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


Claude Dornier

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

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

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

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

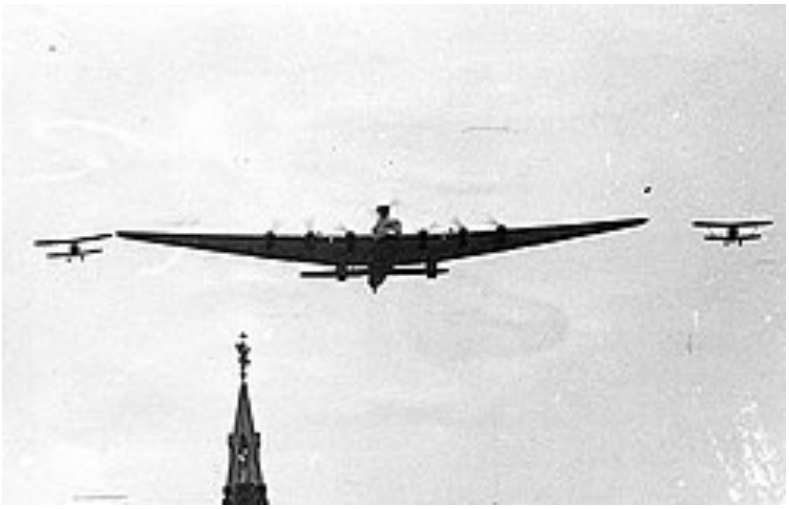
Han gjorde en roll och sedan drev han, när han kom ut ur den, rakt in i "Maxim Gorkijs" vinge. 49 människor dog i kraschen. Ryssarna hade en annan "Maxim Gorkij" klar 1939, men den var meningslös i en värld, som behövde snabbrörliga militära flygplan.

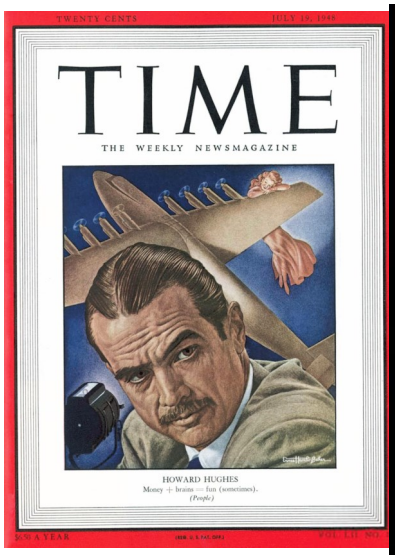
Tupolev gick på gymnasiet i Tver och tog studenten 1908 och började sedan studera på Moskvas tekniska universitet där han intresserade sig mycket för flyget. Han kom att utses till ledare för universitets vindkanal som han varit med och konstruerat. Han stängdes senare av för att ha varit med i en förbjuden politisk organisation och var bannlyst under flera år. Han kunde komma tillbaka 1914 och kom efter Oktoberrevolutionen 1917 att få en ledande position på konstruktionsavdelningen på Luftfartens huvudförvaltning.

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

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

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





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

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

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

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

1938 slog han ännu ett rekord genom att i juli flyga jorden runt på 3 dagar, 19 timmar och 17 minuter. Han hyllades vid hemkomsten med en storslagen parad. 1939 blev han huvudägare till flygbolaget Transcontinental and Western Air Inc (TWA). Som 1950 ändrade namnet till Trans World Airlines.

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

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

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

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

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

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

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

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

A380

Airliner history notes

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

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

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

Flygplanstypen är, med sin operationsradie på cirka 13 570 kilometer, en marschfart på cirka 900 kilometer per timme och en standardflyghöjd på 9 000–10 000 meter, främst avsedd för interkontinentala flygningar. Vissa versioner kan till exempel flyga New York–Tokyo utan mellanlandning.

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

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

Historien om helikoptern

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

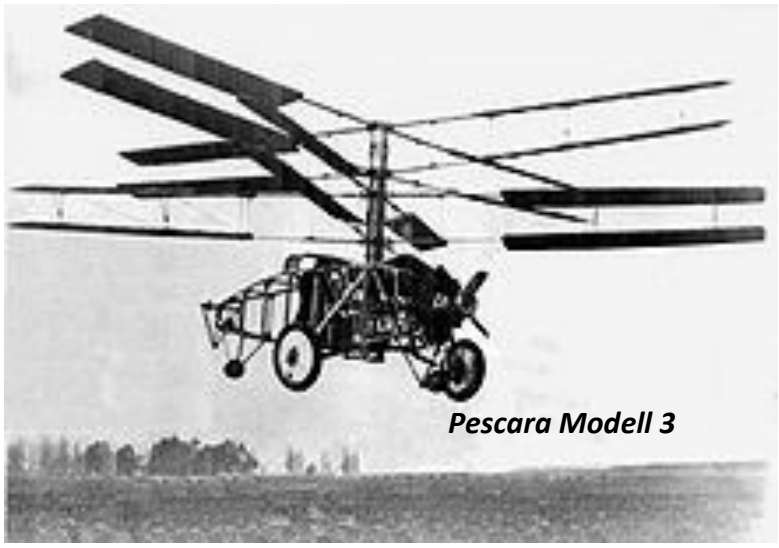
Europa var platsen för rotorcraft uppfinningar under de första decennierna av 1900 -talet. I september 1907 lyfte Gyroplane nr. I i Frankrike, byggd av bröderna Jacques och Louis Breguet, två fot upp i luften i en minut. Men den var instabil och okontrollerad så vad som anses vara den första bemannade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

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

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

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

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



Pescara Modell 3

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

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

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

Den sovjet-georgiske ingenjören Nicolas Florine, som arbetade i Belgien, utformade den första framgångsrika tandemrotorhelikoptern - en konfiguration som senare förbättrades av Frank Piasecki. I Florines design roterade båda rotorerna i samma riktning, och vridmomentreaktionen motverkades genom att luta rotordiskarna i motsatta riktningar. Florins andra helikopter flög 1933 och slog både flyguthållighets- och höjdrekord.

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

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

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

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

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

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

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

Autogiron Pitcairn PCA-2

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

Den andra helikoptern att flyga i USA var Piaseckis enrotoriga PV-2 av år 1943 och han uppnådde berömmelse genom att utveckla en transporthelikopter med tandemrotor, HRP Rescuer, som först flög 1945 och ledde till Boeing CH- 47 Chinook, fortfarande i produktion 55 år senare.

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

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

Sikorsky VS-300

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

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

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

Allt eftersom prestanda förbättrades ökade också storleken. Vid första flygningen 1961 hade tandemrotorn CH-47A Chinook en maximal startvikt på 15 ton och en nyttolast på 4.5 ton. Dagens CH-47F väger 22.5 ton med en 11 ton nyttolast. Sikorskys singelrotor CH-53A vägde in på 16 ton men slog 1968 ett rekord genom att lyfta 23 ton inklusive en 13 tons nyttolast, ett rekord för en icke-sovjetisk helikopter.

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

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

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

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

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

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

En väg till högre hastighet går tillbaka till Sikorsky XH-59A Advancing Blade Concept. Detta nådde 263 kt. år 1973. Den var snabb, men bullrig, skakig och komplex att flyga, vilket krävde två piloter för att styra fyra motorer: två turboaxlar som driver de koaxiala styva rotorerna och två turbojets för framdrivning.

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

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

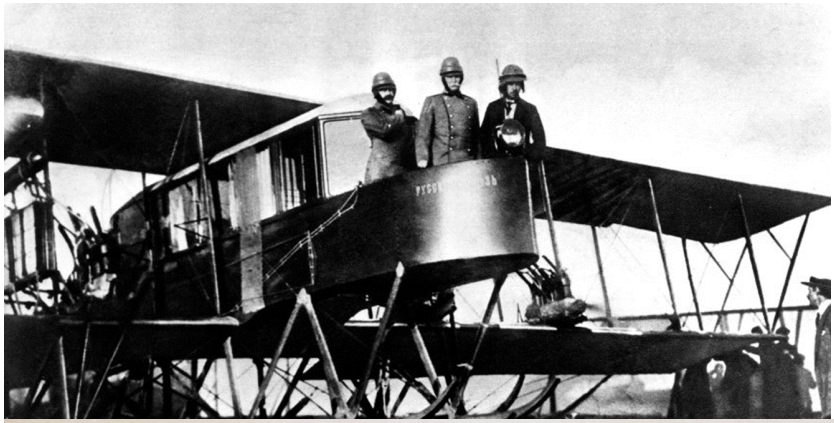
Mils V-12 i flygmuseet i Monino Moskva

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

Passagerarflygets historia

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Från 1978 förde Concorde sina passagerare på överljudshastighet till sin destination. Planet som kallades "The Queen of the Skies" var mycket populärt och erbjöd affärsresenärer möjlighet att korsa Atlanten för ett möte och flyga tillbaka samma dag. Bara tre timmar tog ett flyg från New York till London.

Trots det var Concorde ett kommersiellt misslyckande. Oljekrisen gjorde att ett bränsleslösande supersoniskt flygplan snart ifrågasattes, miljövänner protesterade också mot buller och föroreningar. Dussintals flygbolag avbröt sina order. De 14 levererade flygplanen flög dock ända till 2003 för British Airways och Air France tills ett haveri satte punkt.

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

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

I början av nittiotalet blev så

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

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

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

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

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

Ändå lanserades flygplanet en gång för att klara den ökade tillströmningen av passagerare. Lösningen på det problemet verkar dock inte bli större flygplan utan fler avgångar. Hur det slutar för A380 är en öppen fråga, men det billiga massflyget verkar vara här för att stanna. Om inte hårdare miljökrav sätter stopp, förstås. Även om allt flyg lades ner skulle det bara ta bort tre centimeter på en meterstock av koldioxid, men för vissa verkar det ändå vara en vagel i ögat.

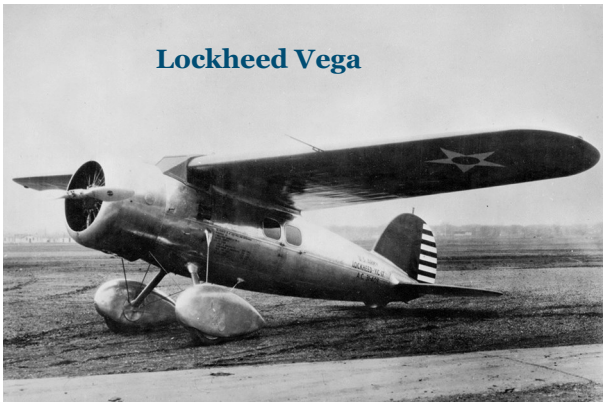
Hur man byggde flygplan förr

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

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

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

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



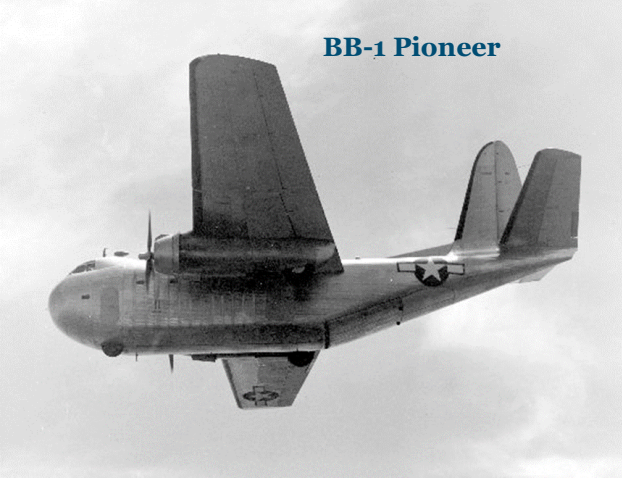
Efter kriget utvecklade Loughead- (senare Lockheed-) bröderna och Jack Northrop en metod för att forma skal av laminerad gran i betongformar och producerade Vega, Orion och andra framgångsrika monoplan, men efterhand ersattes trä av metall. Under de första decennierna efter kriget ändrades tillverkningen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

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

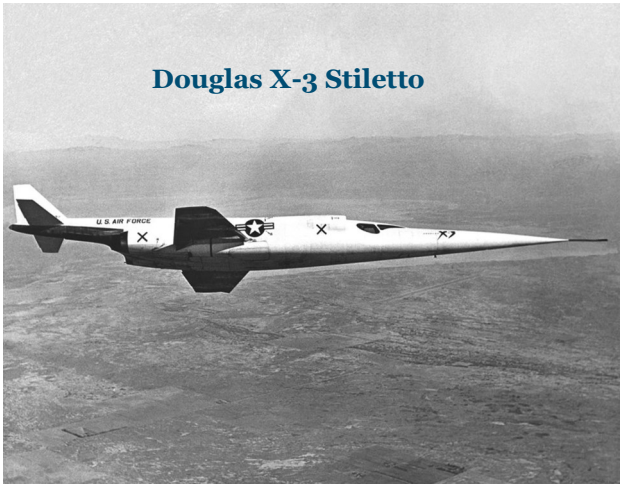
Den första nitade aluminiumstrukturen - Hall Aluminium Aircraft Co.s XFH-sjöfartskrigs prototyp flög 1929. Försänkta nitar i stället för kupolnitarna som tidigare användes, reducerade motståndet i Hughes H-1, det strömlinjeformade helmetall monoplan i vilket Howard Hughes 1935 satte världsrekord i hastighet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

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

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



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



Titans låga vikt, höghållfasthet och värmebeständighet gjorde det idealiskt för höghastighetsflygplanen från 1950-talet och 60-talet. Det första titanflygplanet var Douglas X-3 Stiletto (bild), som flög 1952, konstruerat för Mach 2, där temperaturen krävde titans värmebeständighet. Med kapacitet för Mach 3.2 var också Lockheeds A-12 och SR-71 huvudsakligen i titan, och materialet skulle också användas för det avbrutna Boeing 2707 supersoniska passagerarflygplanet, avsett för Mach 2,7-snabbare och varmare än den konventionellt konstruerade Concorde.

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

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

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

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

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

Rolls Royce RB211

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

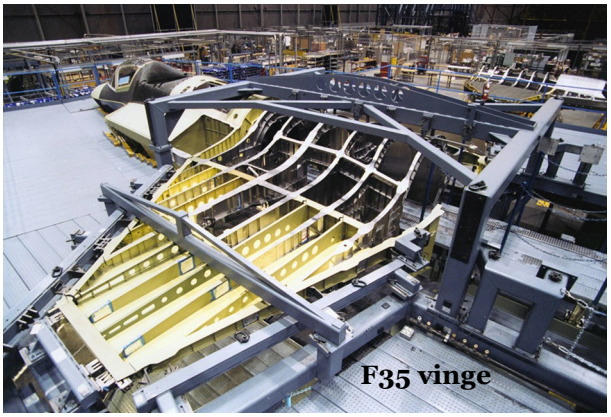
Industrin tar in mobila, modulära och flexibla robotar på sammansättningslinjerna och är särskilt inriktad på att utveckla system som kan samverka med människor på komplexa uppgifter. Exempelvis kan man använda mekaniska exoskelett för att hjälpa tekniker att bära tunga laster eller arbeta i svåra utrymmen.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

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

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

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

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


F35 vinge

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

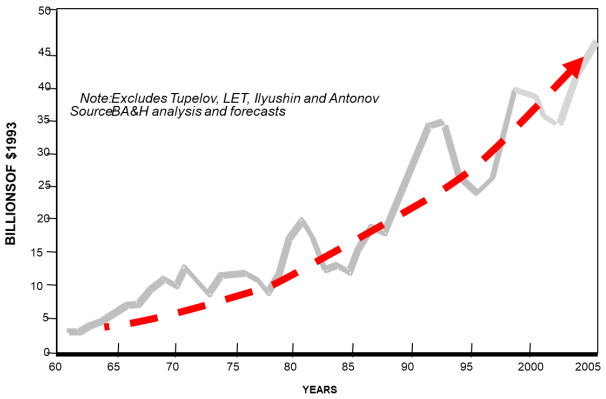
Små obemannade flygplan tillverkas rutinmässigt additivt och kan snart 3-D tryckas på begäran, till exempel kan ett fordon skräddarsys för ett specifikt uppdrag och produceras över natten för en användare. Tekniken kommer att migrera till större flygplan, liksom mer komplexa och kritiska delar när erfarenheten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

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

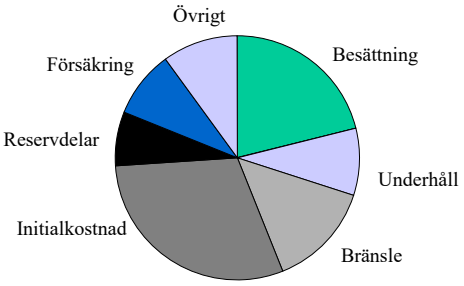
Miljö och bränsle gav nya begränsningar

Under de senaste årtiondena har flygtrafiken växt med ca 5% per år. Bidragande till denna utveckling var dels den sänkning av bränsleförbrukningen, som bypassmotorn medförde, dels att man lyckades minska bullret så att man kunde bygga ut flygplatserna i takt med efterfrågan.

Revolutionen inom flyget efter tillkomsten av jetmotorn återspeglas inte bara i storleken på flygplan utan också i trafiken och antalet flygplan. Som framgår av figur nedan har försäljningen inom den civila luftfartsindustrin vuxit snabbt och framtida prognoser tyder på att efterfrågan på flygresor kommer att fortsätta att öka i linje med tillväxten i världsekonomin. Den långsiktiga trenden är en tillväxt på 5% per år, vilket innebär att trafiken kommer att vara nästan tre gånger så hög tjugo år från nu.

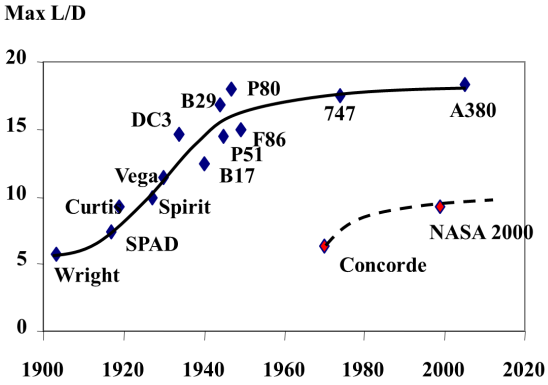


Man ser dock också att försäljningen av flygplan har varierat ganska mycket. Detta tyder på att flygtrafiken är mycket känslig för ekonomiska förhållanden. Den direkta driftskostnaden är ett vanligt mått på ett flygplans ekonomi. Den består av de element som visas nedan.

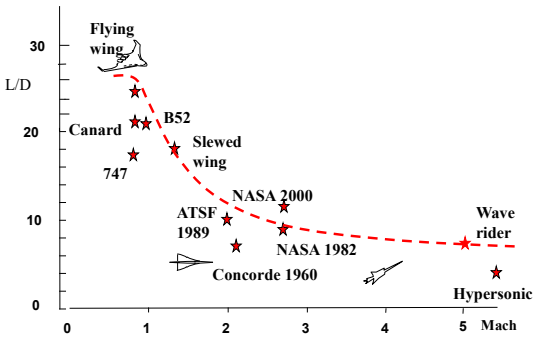


Även om bränslekostnaderna tar upp en relativt liten del av den totala flygplanskostnaden är det mycket svårt att förutsäga hur de kommer att utvecklas. Sedan 1970-talet har bränslepriset fluktuerat ganska mycket. Flygindustrin arbetar med mycket små marginaler och fluktuationer i bränslepriset kan därför äventyra den tillväxt som förutspåddes i diagrammet ovan. För att minska denna risk bör flygplanets bränsleförbrukning minskas.

Förutom motorns effektivitet är förhållandet mellan lyftkraft och dragkraft L/D den viktigaste parametern, som bestämmer bränsleförbrukningen för trafikflygplan. Som framgår av figur nedan så ökade maximala L/D snabbt under första halvan av 1900-talet och har sedan stagnerat vid under 20. Anledningen till detta är att formen på flygplanen i stort sett varit oförändrad samtidigt som man inte i någon större utsträckning har kunnat påverka friktionsmotståndet.

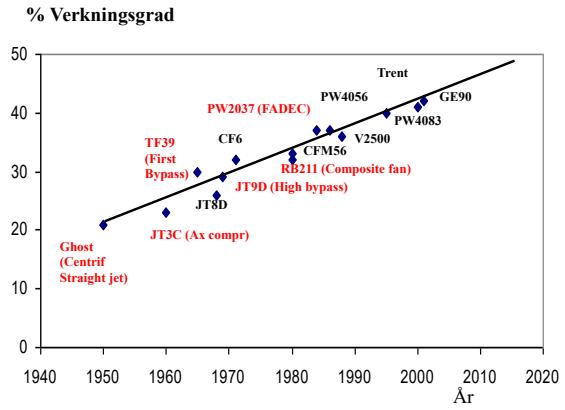


L/D faller dessutom snabbt vid högre hastigheter på grund av överljudsstötar. Detta motstånd börjar visa sig lokalt på kroppen av flygplanet även under Mach 1 så att redan efter ungefär Mach 0,85 börjar L/D att sjunka och bränsleförbrukningen att öka. För ett Mach 2 flygplan som Concorde, var L/D mindre än hälften av värdet för ett underljudsplan som 747 och detta var den huvudsakliga orsaken till att man aldrig fick någon ekonomi i överljudsflygning.

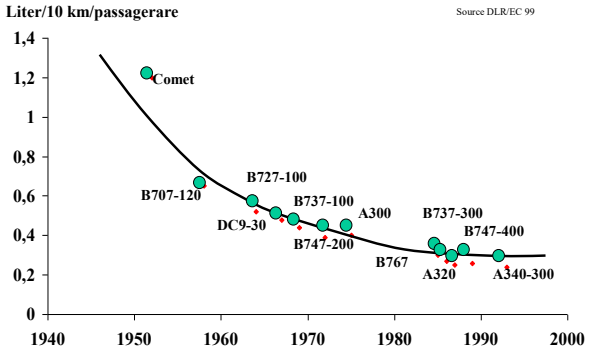


Concorde som representerar tidig 1960-talsteknik har ett L/D på ca 7 vid Mach 2. För moderna överljudsplan, till exempel den 1989 konstruerade amerikanska ATSF, förväntas L/D vara ca 10. Detta uppnås genom att öka vingspannet och förfina flygkroppens form . Ännu större förbättringar kan kanske erhållas genom laminär flödeskontroll av vinggränsskikten, men naturlagarna hindrar helt enkelt överljudsplan att bli ekonomiska för annat än exklusiva affärsflygplan, där kunderna är beredda att betala merkostnaden för att komma snabbt fram till sin affärsmiddag.

Det som har räddat flygets ekonomi är bypass-motorn. Verkningsgraden mätt som förhållandet mellan dragkraftseffekten och den effekt som bränslet tillhandahåller har hela tiden ökat som ses nedan. Effektiviteten hos jetmotorer har mer än fördubblats.



Flygplanens bränsleförbrukningen för att transportera en passagerare en kilometer har därför minskat mycket sedan bypass- motorns genombrott, se nedan. Kanske i motsats till vad de flesta tycks tro, gör man nu av med mindre bränsle om man flyger än om man åker bil.



Eran av kommersiella jetmotorer inleddes i början av 1950-talet med Ghost Engine från de Havilland Company, som senare skulle bli en del av Rolls-Royce. Ghost drev de Havilland Comet DH106. Med smärre modifieringar, under namnet RM2, blev det också motorn för det svenska jaktplanet SAAB J29 Tunnan.

De tidiga motorerna som Ghost hade lågt tryckförhållande och centrifugalkompressorer. Dock insåg man snart att den axiella kompressorn gav både högre tryckförhållande och lägre frontal area. Med den axialkompressorn var det också möjligt att använda korta ringformiga brännkammare. Sådana turbojetmotorer, som JT3, användes på Boeing 707 och amerikanska flygvapnets KC135.

Olika företag koncentrerade sig efterhand till antingen två rotorer (PWA) eller tre rotorer (RR) och kompressorer med fast geometri eller en enda rotor med ställbara ledskenor i kompressorn (GE). Dessa framsteg banade väg för högre bypass-förhållanden med minskad strålhastighet för att närmare matcha flygplanets flyghastighet och öka framdrivningsverkningsgraden.

Det sena 1960-talet såg uppkomsten av motorer med mycket höga bypass-förhållanden. GE TF39, världens första hög-bypass turbofläktmotor, utvecklades som svar på Förenta staternas flygvapens önskan om ett nytt transportflygplan. Denna höga bypass turbofläkt var ett gigantiskt språng i motordesign med sådana banbrytande tekniska prestationer som ett 8-till-1 bypass-förhållande och ett 25-till-1 kompressortryckförhållande.

TF39 blev förälder till GE: s mycket framgångsrika CF6 familj av kommersiella motorer för widebody flygplan. Mer CF6 motorer har producerats och har flugit mer timmar än någon annan högbypass motor. Den har drivit flygplan som Boeing 747 och 767, Airbus A300 och A310, och McDonnell Douglas MD-11.

Pratt & Whitneys JT8D-motor är dock den mest populära moderna kommersiella motorn som någonsin gjorts. Mer än 14000 av dem byggdes och uppnådde mer än en halv miljard driftstimmar mellan 1964 och 2004. Mer än 350 operatörer använder JT8D för att driva mer än 4500 flygplan, nästan en tredjedel av världens kommersiella flotta, såsom Boeing 727 och 737 och McDonnell Douglas DC-9 och MD-80.

Pratt & Whitneys JT9D öppnade upp en ny era inom kommersiell luftfart. Den introducerade många avancerade tekniker i konstruktioner, aerodynamik och material för att förbättra bränsleeffektiviteten och tillförlitligheten. Sedan den kom i tjänst på Boeing 747 år 1970, har JT9D visat sig vara arbetshästen för tidiga 747, 767, A300, A310 och DC-10 flygplansmodeller. JT9D har flugit mer än 150 miljoner timmar.

CFM56 är för närvarande den mest populära motorn i världen för mindre trafikflygplan, inklusive Boeing 737 och Airbus A320. Den produceras genom ett joint venture mellan Safran, tidigare Snecma Moteurs, i Frankrike och GE. Företagen etablerade 1971 CFM International för att bygga motorer baserade på Snecmas fläktteknik och kärntekniken i GE: s F101 motor. GE/Snecma samarbetet grundades på en önskan att få en del av den mindre till medelstora flygplansmarknaden, dominerad i början av 1970-talet av lågbypassmotorer. GE ville utveckla en motor för att konkurrera med Pratt & Whitneys lågbypass JT8D motor på Boeing 737 och McDonnell Douglas DC-9, liksom Boeing 727.

Med uppkomsten av widebodies i slutet av 1960-talet lanserade Rolls-Royce RB211 för Lockheed L-1011 Tri-Star. Misslyckade försök att införa kompositfläktblad på RB211 ledde till att Rolls Royce fick tas i statlig ägo med separation av bilbranschen 1973, men den treaxliga RB211 etablerade sig som hjärtat i Rolls-Royce familj av motorer. En avancerad version har omfattande användning av avancerad dator-designad aerodynamik, särskilt i sin wide -chord fläkt.

Pratt & Whitneys PW2000 var den första att erbjuda full-authority digital elektronisk kontroll (FADEC). Denna motor trädde i tjänst i 1984 på Boeing 757. PW4000 har valts ut för att driva mer Boeing 777 flygplan än någon av dess konkurrenter. Med hjälp av ihåliga fläktblad av titan ger PW4000 hög verkningsgrad och låg ljudnivå.

Rolls Royce Trent-familjen är utformad för att driva den nya generationen av stora flygplan inklusive Airbus A380. Trent 500 har utformats speciellt för att uppfylla kraven från den fyrmotoriga Airbus A340. Med sin design som härrör från den pålitliga RB211 familjen av treaxliga motorer ger Trents avancerade layout flygplan lättare vikt och bättre nyttolast eller räckvidd.

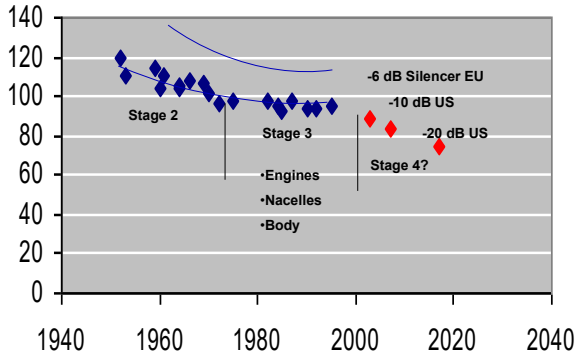
GE90 slutligen är världens mäktigaste jetmotor. Dess fläktblad är tillverkade av kompositmaterial (fibrer och harts). De svepta fläktbladen tillför ungefär ett ton till motorns dragkraft och ger bättre bränsleförbrukning.

Medan man lyckades sänka bränsleförbrukningen med ny teknik förblev bullret ett problem vid den utbyggnad av flygplatserna, som krävdes för flygets expansion. De höga bullernivåerna kändes naturligtvis av människor, som bodde i de samhällen som omgav flygplatserna. Inte bara var de tidiga jetflygplanen bullrigare än de gamla propellerplanen, men den ökade flygtrafiken, som berodde på det utbredda införandet jetplan, resulterade i en ökad frekvens av flygplan på de flesta större flygplatser.

Den nuvarande certifieringsprocessen för transportflygplan innebär experimentella mätningar av flygplansbuller under kontrollerade förhållanden. Ljudnivån mäts vid specificerade positioner under flygplanets inflygning-och stigning och vid ett angivet läge vid sidan av banan. De tillåtna bullernivåerna varierar i viss utsträckning med flygplanets bruttovikt och återspeglar därmed vad som är tekniskt möjligt och realistiskt.

På 1970-talet etablerade ICAO internationella standarder för bullercertifiering. De första normerna för jetplan konstruerade före 1977 är kända som kapitel 2. Nyare flygplan måste uppfylla de strängare normer som angavs i kapitel 3.

Minskning av flygbuller har varit föremål för intensiv forskning och utveckling under de senaste decennierna. Flygplans-och motortillverkare samt olika statliga forsknings-och regleringsorganisationer har deltagit i detta arbete. Som ett resultat har man lärt sig mycket om metoder för bullerdämpning och en betydande litteratur finns i ämnet. Bullernivåerna har också minskat avsevärt, se diagram nedan.



Fyra metoder har följts i de olika studierna, som syftar till att minska flygplansbullret. För det första har mycket arbete riktats mot att få en förståelse för den grundläggande frågan hur buller bildas och ökar. För det andra har nya koncept inom motorkonstruktion utvecklats för att minska mängden buller, som alstras vid källan. För det tredje har metoder för att dämpa och absorbera en del av bullret som härrör från motorn hittats. För det fjärde har flygplanets operativa tekniker utformats för att minimera bullerpåverkan på samhällen, som omger flygplatsen.

De tidiga jetplanen drevs med raka turbojetmotorer. Den heta jetstrålen med hög hastighet är den främsta källan till buller i denna typ av framdrivningssystem. Mängden energi i avgassystemet som omvandlas till buller varierar som ungefär hastigheten upphöjt till åtta och frekvensspektrumet hos bullret är relaterat till omkretsen av utloppet. Den relativa mängden bullerenergi i de lägre frekvenserna ökar när omkretsen ökar.

Många av de tidiga metoderna att dämpa bullret från turbojetmotorer byggde på konceptet att bryta upp den stora jetstrålen till ett antal små så att den relativa mängden buller vid de lägre frekvenserna minskade. Dämpningen vid överföring av bullret genom atmosfären ökar när buller frekvenserna ökar. Sålunda, genom att bryta upp en stor stråle i ett antal små, kunde mängden energi som överförs som buller över en given sträcka minskas.

En annan typ av bullerdämpning, som användes på de tidiga turbojetmotordrivna flygplanen var att blanda in fristrømsluft i jetstrålen. Hastigheten minskas och bullret reduceras därmed vid källan. Bypassmotorn ger just den effekten.

Tillkomsten av turbofläktmotorer med högt bypassförhållande hade en viktig effekt på arten av flygplans bullerproblem. Utvinning av energi från gasgeneratorn i syfte att köra en fläkt i en högbypassmotor kunde förväntas minska bullret från fläktmotorn jämfört med en rak turbojet för samma dragkraft. Själva fläkten visade sig dock utgöra en ny och mycket störande bullerkälla. Det visade sig att bullret från inloppet och fläktkanalen var större än från höghastighets avgaser.

En hel del information har samlats om hur de olika komponenterna i motorn bör utformas för att minska bullret som genereras av dem. Bullret från fläkten kan kraftigt minskas genom korrekt konstruktion och genom användning av akustisk behandling inom vissa viktiga områden av inlopp och utlopp. Akustisk behandling består i användning av ljudabsorberande material i motorns inre passager. De flesta moderna högbypassmotorer använder någon form av akustisk behandling.

Under sin historia har flygindustrin uppnått stora minskningar av bullret från kommersiella jetplan. Ett flygplan idag är typiskt 20 dB tystare än ett jämförbart flygplan för 30 år sedan. I praktiken motsvarar detta en minskning av bullret på cirka 75%. Aktuella forskningsprogram förväntas leverera teknik för ytterligare 10 dB minskning inom nästa decennium. En minskning med 10 dB uppfattas av det mänskliga örat som en halvering av det upplevda bullret.

Som framgår ovan har motorernas effektivitet successivt ökat och bullret sänkts med tiden och det skulle vara frestande att anta att det kunde fortsätta så här. Men det är viktigt att förstå att det i verkligheten alltid finns fysiska eller andra gränser. Således tenderar en teknik som utvecklas mot en fysisk gräns att följa en S-kurva. Detta är ett fenomen som märks för alla typer av teknik. Typiskt är att det finns en första period av långsam tillväxt följt av en period av snabb, ibland exponentiell tillväxt, med ett senare avtagande mot någon gräns.

Som framgår av diagrammen ovan har den grundläggande tekniken bakom flyget börjat nå sin gräns och behöver ersättas av något helt nytt så som när jetmotorn ersatte propellern. Detta är så mycket nödvändigare som miljöfrågorna fått en helt annan betydelse än tidigare. När jetmotorn startade revolutionen i flygresor på 1960-talet fanns det i stort sett inget intresse för miljön. Sedan dess har de växande miljöproblemen blivit en viktig faktor som blockerar vägen till flygresor i allmänhet och höghastighetsflyg i synnerhet. Luftfarten bidrar bara med några få procent av de skadliga utsläppen och om alla andra källor åtgärdas lär världen kunna stå ut med det på grund av flygets betydelse för världsekonomin, men det är mycket osäkert hur bränslepriset kommer att utvecklas. Det kan öka på grund av ökad brist på olja, men om andra minskar sitt oljeberoende kanske det minskar. Om flyget ska fortsätta att utvecklas trots denna osäkerhet så är en fossilfri teknik nödvändig bara av denna anledning.

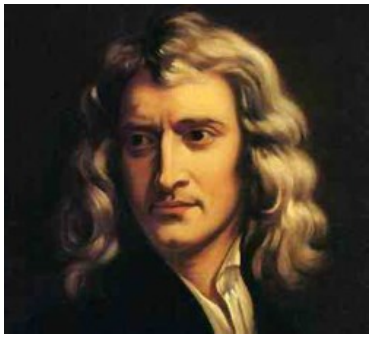
Historien om luftmotståndet

Som framgått tidigare har det maximala glidtalet L/D stagnerat vid under 20. Anledningen till detta är att i underljuds flygning av ett väl utformat flygplan, består det mesta av motståndet av hudfriktion. Maximala L/D för ett under ljuds flyg plan ges av ekvationen:

$$(\frac{L}{D})_{max} = \sqrt{\frac{\pi e}{4C_{fp}} \frac{b^2}{S} \frac{S}{S_{wet}}}$$

Där C_{fp} är den så kallade friktionskoefficienten, b vingbredden, S vingarean och S_{wet} den ”våta” ytan på flygplanet.

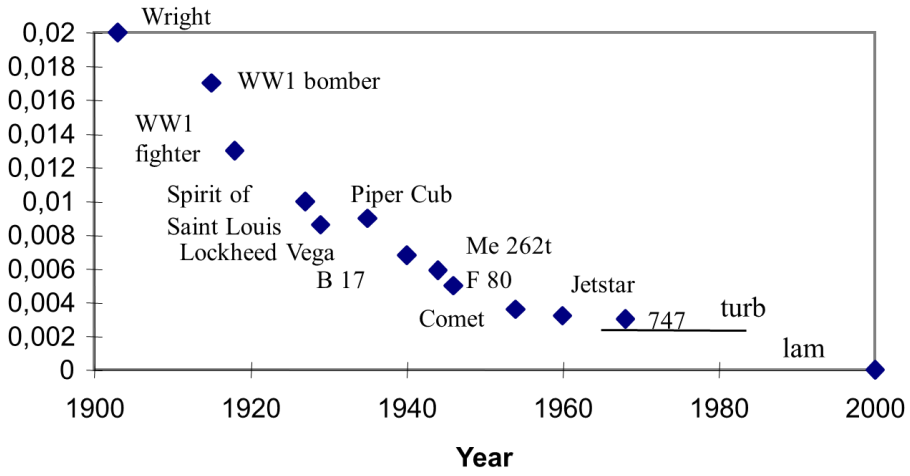
Som framgår av figuren härintill närmar sig moderna flygplan det teoretiskt bästa uppnåeliga värdet för friktionskoefficient i turbulens. Samtidigt har formen på flygplan varit mer eller mindre densamma sedan DC3. Detta innebär att L/D inte har vuxit så mycket under de senaste



40 åren.

Det motstånd som orsakas av flödande vätskor var länge en gåta. Isaac Newton var förmodligen den förste att formulera en ekvation för aerodynamiskt motstånd. I sin bok "Principia"av 1687, antog han att flödet var en ström av partiklar som påverkar en yta. Om ytan lutar i en vinkel α så är flödesarean proportionell mot sinusα. Om partiklarna antas följa ytan efter att ha stött emot den med hastigheten V , så förlorar de hastighetskomponenten Vsinusα vinkelrätt mot den. Därför kommer kraften vinkelrätt mot ytan att vara proportionell mot sinusα i kvadrat.

Newtons flödesmodell är inte korrekt vid vanliga hastigheter eftersom strömlinjerna inte är raka och parallella tills de träffar kroppen. Den är dock mer användbar vid mycket höga hastigheter. Newtons kvadratlag används därför för att uppskatta det aerodynamiska motståndet hos hypersonisk farkoster, en typ av maskin som man inte ens drömde om på Newtons tid. En vätska, som följer Newtons antaganden kallas ofta en newtonsk vätska.



Ytterligare försök att förstå fluiddynamiken gjordes av den franska matematikern Jean Le Rond D' Alembert (1717-1783). D' Alembert fick namnet Jean Le Rond för att han som spädbarn hittades övergiven på trappan till St. Jean Baptiste le Rond kyrka. Han placerades i vård hos fosterföräldrar, som han förblev lojal mot hela sitt liv, även efter att det upptäcktes att hans naturliga mor var en aristokratisk dam, Madame de Tencin, och hans naturliga far artillerigeneralen Chevalier Destouches. D' Alembert växte upp till att bli en berömd matematiker och vetenskaps man, känd för sin utveckling av partiella differential ekvationer.

Under åren från 1751 till 1772 samarbetade han med Denis Diderot på den berömda "Encyclopedia", där han bidrog med förord och de flesta av artiklarna om vetenskap och matematik. Detta var ett ambitiöst försök att samla och presentera alla de då existerande kunskaperna för allmänheten. Det var ett revolutionärt företag, eftersom kyrkans och statens makt vid den tiden byggde mer på traditioner och övertygelser än på vetenskapligt bevisade kunskaper. Med hjälp av den tidens mest hyllade författare som Voltaire och Montesquieu, använde den skeptiske och rationalistiske Diderot "Encyclopedia” som ett kraftfullt propagandavapen mot den tidens myndigheter. År 1759 drogs de första tio volymerna in och ytterligare publikation förbjöds. Trots detta fortsatte Diderot att arbeta med resterande volymer och lät dem i hemlighet tryckas.

D' Alembert löste ekvationerna för en inkompressibel friktionsfri strömning runt en sfär. I ett friktionsfritt flöde är hastighetsfältet symmetriskt före och efter sfären. D' Alembert förväntade sig därför att kraften på sfären skulle närma sig noll för mycket små viskositeter och han utförde en serie experiment för att bevisa detta. Men till hans förvåning verkade nettokraften konvergera mot ett icke -nollvärde trots att viskositeten närmade sig noll. Detta blev känt som D' Alembert`s Paradox.

Anledningen till detta är att all viskositet, oavsett hur liten, kommer att resultera i att hastigheten sjunker till noll på ytan och därmed ger en kraft på sfären. Det var inte förrän ett sekel senare som effekten av friktion infördes i de ekvationer som beskriver vätskeflödet av Claude-Louis Navier och George Stokes. Emellertid är d' Alemberts lösning av friktionsfritt flöde viktig på grund av den så kallade Joukowski-transformationen, som gör det möjligt att omforma flödet runt en cylinder till det runt en vingprofil.

Som specialist på väg-och brobygge var Claude-Louis Navier först med att utveckla en teori för hängbroar. Han levde under en period då det fanns stora politiska rörelser i hela Europa och i Frankrike i synnerhet. Navier trodde på en industrialiserad värld där vetenskap och teknik skulle lösa de flesta problemen. Han tog också ställning mot krig och mot blodsutgjutelsen under den franska revolutionen och Napoleons krig. De två män som hade störst inflytande på Naviers politiska tänkande var Auguste Comte, den franske filosofen känd som grundaren av sociologi och positivism, och Henri de Saint-Simon som startade Saint-Simon-rörelsen byggd på en socialistisk ideologi, som byggde på att samhället utnyttjade vetenskap och teknik.

Men Navier är inte ihågkommen för sina politiska intressen eller som den berömda byggaren av broar, utan snarare för de så kallade Navier-Stokes ekvationer som idag utgör själva grunden för fluiddynamiken. Navier utvecklade dessa ekvationer för en inkompressibel vätska 1821 och 1822 utvidgade han sina ekvationer till viskösa vätskor. Det ironiska är att även om Navier inte hade någon uppfattning om skjuvkrafter och inte var ute efter ekvationer, som skulle beskriva rörelse med friktion, så kom han ändå fram till rätt form för sådana ekvationer. Han gjorde detta genom att ta hänsyn till krafter mellan molekylerna i vätskan.

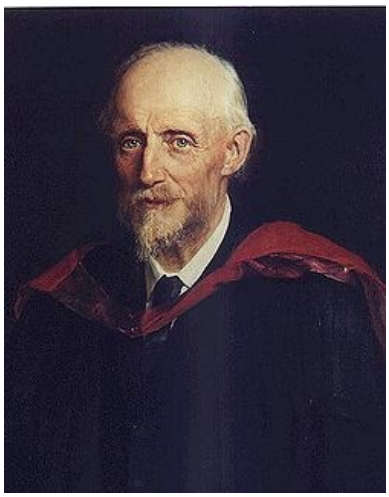
George Stokes var en engelsk matematiker vid Cambridge intresserad av hydrodynamik. Efter att han hade utvecklat de korrekta

ekvationerna för vätskerörelse, upptäckte Stokes att han inte var den första att få fram dessa ekvationer eftersom Navier och andra franska vetenskapsmän redan hade studerat problemet. Denna dubblering av resultaten berodde på bristen på kunskap vid Cambridge om det arbete som gjordes av kontinentala matematiker vid den tidpunkten. Stokes bestämde sig emellertid för att hans resultat erhölls med tillräckligt olika antaganden från Naviers för att motivera publiceringen 1845 och han har sedan dess fått sitt namn tillagt till Naviers som grundare av Navier-Stokes ekvationer.

Studiet av vätskor var förvisso inte det enda område där George Stokes gjorde stora bidrag. 1845 hade Stokes också publicerat ett viktigt arbete om avvikelse av ljus. Detta var den första av ett antal viktiga arbeten om vågteorin av ljus, såsom ett om diffraktion 1849. Han använde också sitt arbete på rörelse av pendlar i vätskor för att undersöka variationen av gravitationen vid olika punkter på jorden. Detta ledde till en grundläggande uppsats om hydrodynamik 1851 där han publicerade sin lag om viskositet, som beskriver hastigheten hos en liten sfär genom en trög flytande vätska. Stokes namngav också och förklarade fenomenet fluorescens 1852.

Stokes utnämndes till professor i matematik vid Cambridge 1849 och blev sekreterare i Royal Society 1854. Professuren i Cambridge betalades mycket dåligt så Stokes behövde tjäna extra pengar och han gjorde detta genom att arbeta extra som professor i fysik vid Government School of Mines i London. Efter att ha gift sig 1857 tröttnade han på naturvetenskap och flyttade efter sin mycket aktiva teoretiska forskningsperiod till bättre avlönade yrken, där han blev mer involverad i administration och experimentellt arbete.

Nästa genombrott kom 1883 när Osborne Reynolds, Professor i ingenjörsvetenskap vid University of Manchester i 37 år fram till sin pensionering 1905, upptäckte att en vätska kan ha två slag av rörelse, laminär och turbulent. I den förstnämnda följer partiklarna i vätskan definierade och ordnade vägar. I den senare är däremot strömningen ganska slumpmässig och oförutsägbar. Reynolds visade att omslaget från laminär till turbulent strömning skedde när en dimensionslös parameter nådde ett visst värde. Den här parametern kallas efter honom för Reynolds tal. Den är proportionell mot vätskans täthet, hastigheten och den genomsnittliga aerodynamiska längden på den överflutna kroppen och omvänt prootionell mot den så kallade dynamiska viskositeten $Re=\rho Vc/\mu$.



Reynolds sägs ha haft ett mycket intressant förhållningssätt till problemlösning. Han började aldrig med att läsa vad andra hade tänkt om saken, vilket är den etablerade metoden för vetenskapligt arbete. I stället tänkte han först ut det själv. På detta sätt nådde han ofta mycket originella lösningar på svåra problem. Nackdelen var att det tog mycket tid och krävde mycket arbete. Detta var ibland ett problem för hans elever. Han var känd för att komma på nya idéer mitt under en föreläsning och tillbringa resten av timmen arbetande med dem på tavlan till synes omedveten om eleverna i klassrummet.

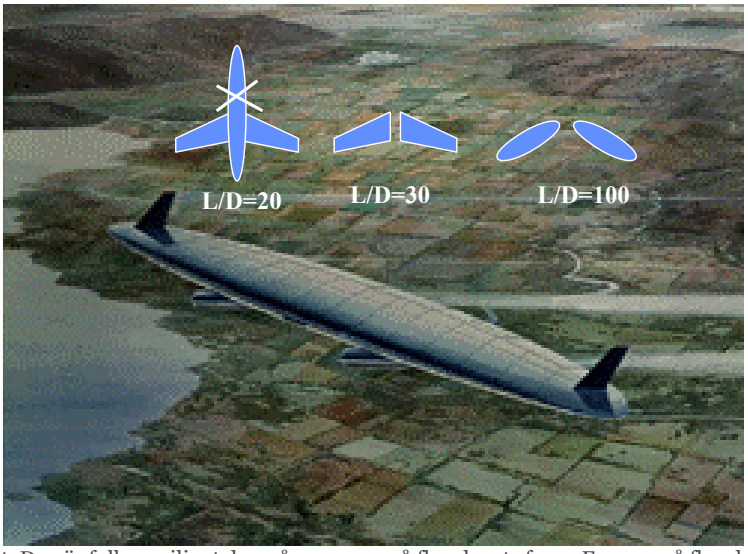
Navier-Stokes ekvationer är mycket olinjära och mycket svåra att lösa även för laminärt flöde. Men 1904 framförde Ludwieg Prandtl tanken på ett gränsskikt, som gränsar till ytan av en kropp som rör sig genom en vätska. Det är kanske den smartaste idén i fluidmekanikens historia. Han insåg att hastigheten var noll på ytan av en kropp och ökade till friflödeshastighet inom ett tunt lager. Friktionens påverkan är begränsad till detta tunna skikt, vilket gör att Navier-Stokes ekvationer kan förenklas avsevärt. Under 1908 löste Prandtl och Blasius, en av hans elever, dessa förenklade ekvationer för laminärt flöde. De fann att hudfriktionskoefficienten är omvänt proportionell mot kvadratroten ur Reynolds tal.

Det verkliga flödet är dock oftare turbulent än laminär. Till denna dag har inga exakta teoretiska resultat framtagits för turbulenta gränsskikt. Turbulens är fortfarande ett av de stora olösta problemen inom fysiken och vi måste förlita oss på experimentella resultat. Därifrån kan hudfriktionskoefficienten i turbulent strömning approximeras genom mer eller mindre enkla samband mellan Reynolds tal och Machtal.

Det laminära motståndet visar sig vara betydligt lägre än det turbulenta. För samma Reynoldstal är den laminära hudfriktionskoefficienten cirka tio gånger lägre än den turbulenta. Ett helt laminärt flygplan kommer dock troligen aldrig att uppnås. En viss turbulens uppstår på ytan oavsett form och storlek. Luften flyter ofta smidigt ett tag, men även om ytan är helt slät, bryts den så småningom upp och skapar en turbulent vak, som ökar motståndet. Mycket av arbetet med att minska motståndet rör metoder för att fördröja denna avlösning av flödet.

Paradoxalt nog, ger en helt slät yta inte nödvändigtvis ett mindre motstånd. Detta beror på att avlösningen av flödet fördröjs om gränsskiktet blir turbulent på grund av ojämnheter i ytan. Detta kan ses i en golfboll, där gropar på ytan minskar motståndet avsevärt genom att skapa turbulens.

Vind-och vattentunnelprov har visat att små, räfflade kanaler i ytan kan minska motståndet med så mycket som åtta procent. Naturen har redan upptäckt detta. Den grova ytan hos en hajs hud har visat sig avsevärt minska motståndet i vattnet. Hajens hud är grov på ett mycket speciellt sätt. Den är full av miljontals små, vassa, tandliknande upphöjningar, vilket ger en textur som sandpapper. Hammarhajar och några andra typer av hajar kan simma upp till 75 km/h tack vare det minskade motståndet.



Hajens hudtänder är knutna till små muskler. Hajar kan använda dessa muskler för att röra tänderna i mönster som optimerar motståndsminskningen under vattentryck, turbulens och andra villkor. En liknande idé undersöks nu på flygplan. Den består av mikroelektromekaniska system som består av en mängd sensorer för att detektera luftmotstånd, en uppsättning magnetiskt styrda mikroställdon för att avböja ytvirvlar, och kretsar som analyserar sensorernas resultat och sänder styrsignaler till manöverdonen. En alternativ teknik är inblåsning eller utsugning genom miljontals laserborrade hål vid frekvenser anpassade till de instabila fluktuationerna i gränsskiktet. Växelverkan mellan det sekundära flödet och primärflödet stabiliserar gränsskiktet och bibehåller laminärt flöde.

Nästa stora steg i aerodynamisk motståndsminskning kan komma från ett av dessa områden eller det kan uppstå från forskning inom andra områden, såsom, elektromagnetism eller magnetohydrodynamik (MHD). På mycket lång sikt har det till exempel föreslagits att använda strålar av mikrovågor för att ändra egenskaperna hos atmosfären framför flygplanet för att minska motståndet.

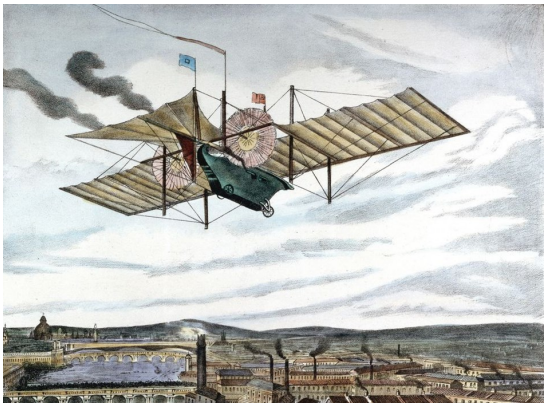
L/D-förhållandet beror emellertid inte bara på friktionskoefficienten utan också på flygplanets form. Formen på flygplan har varit mer eller mindre densamma sedan DC3. Detta kan nu vara på väg att förändras. Kroppen på ett konventionellt flygplan medför en hel del motstånd men mycket lite lyftkraft. Det skulle därför vara en bra idé att avskaffa kroppen och sätta passagerarna i vingarna. Detta är ett så kallat "Flygande vinge" eller "Blended Body" flygplan.

Naturligtvis kan var och en av vingarna då fortsätta på egen hand. Allt som krävs är att svepvinkeln bibehålls. En bra regel för all design är att den vackraste formen också är den mest effektiva. Detta är förmodligen något som är inbyggt i våra hjärnor. Ellipsen är en av de vackraste formerna. Det är därför ingen överraskning att en smal elliptisk flygande vinge har det högsta L/D-förhållandet både vid underljud och överljud. Detta leder oss till flygplansformer, som påminner om de berömda flygande tefaten även om de inte skulle vara runda utan långsträckta.

Sökandet efter högre L/D leder uppenbarligen till konstiga och oortodoxa konfigurationer. Många sådana kan uteslutas genom de negativa effekterna av deras geometri på vikt, stabilitet och passagerarkomfort. Om passagerare vill ha dem, är frågan. De flesta platser skulle vara långt ifrån ett fönster, och evakuering i en nödsituation kan vara svårt. Det gäller också att passa in i den befintliga infrastrukturen för globala flygplatser. För en långsträckt helt laminär elliptisk form med spännvidd fem gånger bredden, kan dock den maximala L/D vara så hög som 100 mot cirka 20 för dagens flygplan.

Historien om den flygande bilen

Ett flygplan i varje garage har länge varit en dröm. Utmaningen är de motstridiga kraven för transporter på marken och i luften. Flygplanen måste vara lätta, vilket kan göra dem känsliga att köra på väg. En bil behöver å andra sidan säkerhetsfunktioner som stötdämpare och tunga vindrutor och tyngd är flygningens fiende. Trots detta har man länge försökt att göra flygande bilar.



William Samuel Henson och John Stringfellow patenterade den här flygbilen 1841 långt före bröderna Wright fanns. De kunde dock aldrig bygga en funktionell version av sitt monoplan, som hade en teoretisk vinge på 150 fot.

Den första funktionella flygbilen anses vara Autoplane tillverkad av flygpionjären Glenn Curtiss. Även om fordonet kunde lyfta från marken, uppnådde det aldrig full flygning. Autoplane hade en aluminiumskropp, plastfönster och en värmare för passagerare. Det var ett triplan med en liten förvinge monterad

på flygplanets nos. Det hade tre platser med piloten / chauffören sittande i framsätet och de två passagerarna sida vid sida i baksits. Det använde en fyrbladig skjutande propeller och ett fyrhjuligt underrede, med de främre två hjulen styrbara. Vingarna och stjärten kunde tas av för användning som bil.

Fordonet färdigställdes i slutet av 1916 eller början av 1917 och gjorde några kortflygningar, men ytterligare test- och produktionsplaner skrotades på grund av första världskriget.

Autogyros är de sanna föregångarna till flygbilar och Harold F. Pitcairns PCA-2 såldes på massmarknaden. Det var det första roterande vingen att uppnå typcertifiering i USA och i en kampanjstunt landade den på Vita huset gräsmatta under Herbert Hovers presidentskap på trettiotalet.

Waterman Arrowbile var ett flygande vinge flygplan med löstagbar vinge och propeller. Det flög 1937 men kom aldrig i produktion. Waterman modifierade en 6-cylindrig upprätt 100 hk Studebaker för att bygga den här flygbilen. Endast fem Aerobiles tillverkades, men Waldo Waterman försökte tillverka färdiga versioner under hela 40-talet och 50-talet.

Det hade en stagad högvinge på en trubbig kropp med ett trehjuligt underrede monterad under den. Dess vingar hade metallribbor och var tygbelagda med triangulära ändar med upprätta roder . Skrovet var stålramat och täckt av aluminium. Den drevs med en 4-cylindrig Menasco B-4 Pirate pushermotor monterad högt i bakkroppen.

Flygande bilar...

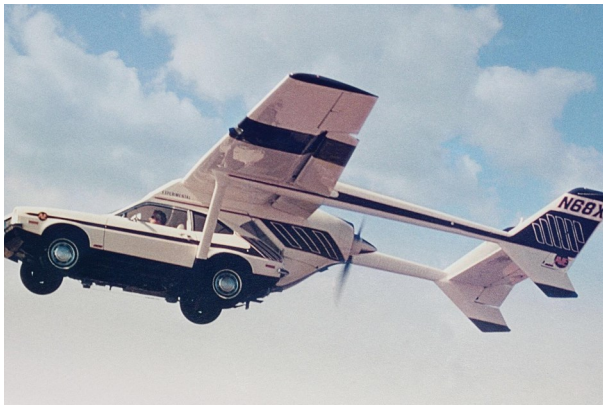
Flygplanstillverkaren Consolidated Vultee producerade ConVairCar, som var en tvåsitsig bil med avtagbar vinge. Stjärt och motor var monterade på taket. En ConVairCar modell 118 flög under en testflygning i Kalifornien, november 1947, men gick aldrig i produktion. Hybridfordonet designades av Theodore P. Hall. Den en timme långa demonstrationsflygningen avbröts tidigt på grund av lågt bränsle med en nödlandning, som förstörde bilen och skadade vingarna. Alla överlevde, det vill säga alla utom ConVairCar-drömmen.

Aerocar I-flygbilen konstruerades av Moulton "Molt" Taylor i slutet av 1940-talet. År 1949 färdigställde Taylor en prototyp och senare fyra produktionsklara Aerocars, som hade vingar och en stjärt som kunde vikas in i en släpvagn. Taylor övervägde också att bygga ett fordon med en bilkropp och en roterande vinge för att ge vertikal lyftkraft som en helikopter eller autogyro.

Taylors design av ett körbart flygplan går tillbaka till 1946. Under en resa till Delaware träffade han uppfinnaren Robert E. Fulton, Jr., som hade utformat ett tidigare flygplan, Airphibian. Det var en bil med avtagbar flygkropp och monterbara vingar och stjärt. Det flög 1950. Taylor insåg att Fultons avtagbara vingar kunde ersättas med vikbara vingar. Hans prototyp Aerocar utnyttjade vikningsvingar som gjorde att vägfordonet kunde omvandlas till flygläge på fem minuter av en person. När en bakre platta vreds upp, kunde operatören ansluta propellerns axel och fästa en skjutande propeller. Samma motor drev framhjulen genom en treväxlad manuell växellåda. När man körde som ett flygplan var växeln helt enkelt kvar i neutralt läge (även om det var möjligt att backa under taxning med hjälp av bakväxeln.) På vägen var vingarna och stjärten konstruerade för att bogseras bakom fordonet. Aerocars kunde köra upp till 100 km per timme på väg och hade en topphastighet på 150 km per timme i luften.

Civilcertifiering uppnåddes 1956 i USA under civila luftfartsmyndigheters regi och Taylor nådde en överenskommelse med Ling-Temco-Vought för serieproduktion, förutsatt att han kunde locka 500 kunder. När han kunde hitta bara hälften så många köpare skrotades produktionsplanerna och endast sex exemplar byggdes, med en som fortfarande flyger och en annan, som byggdes om av Taylor till den enda Aerocar III.

Ford Motor Co.s Levacar Mach visades upp våren 1959, som en prototyp. Det var en enmans "flygbil" som "leviterade" flera centimeter från marken med tre kraftiga luftstrålar på undersidan av dess chassi. Planerad att drivas av en liten turbojetmotor, var Levacar avsedd att nå en toppfart på nästan 800 km per timme! Ingen av bilarna byggdes någonsin.



Svetsa en Cessna Skymaster till toppen av en Ford Pinto och du har en flygbil. AVE Mizar (uppkallad efter stjärnan Mizar) byggdes mellan 1971 och 1973 av Advanced Vehicle Engineers (AVE) i Van Nuys , Los Angeles. Företaget startades av Henry Smolinski och Harold Blake , båda forskare från Northrop Institute of Technology Aeronautical Engineering School. AVE Mizar använde både flygplanets och bilens motorer för start, medan de fyra hjulen gjorde det möjligt att landa säkert i teorin. En testflygning 1973, som följdes av en ful krasch avslutade dock AVE-drömmen.

Flygande bilar...

Försök med flygande bilar hade pågått i ett antal årtionden tills ett team av Boeing-ingenjörer beslöt att äntligen försöka knäcka problemet. Utgående från Fords Levacars syn på ett rymdåldersfordon erbjöd Flight Innovations Sky Commuter 1990 ett fordon, som krävde liten förändring för att växla mellan land och luft. Företaget investerade miljoner dollar i utvecklingen av Sky Commuter, men bara tre skapades innan konceptet slopades.

En "VTOL" (vertikal start och landning) flygbil var M400, resultat av ett livslångt arbete av uppfinnaren Paul Moller. Tyvärr är vägen till kommersiell framgång fortfarande lång (och ojämn). Ingen Moller Air Vehicle har framgångsrikt flugit. M400 skulle transportera fyra personer. En upp till sex-sits variant planerades också. Den beskrevs som en bil eftersom den syftade till att vara ett populärt transportmedel för alla som kunde köra, med automatiserade flygkontroller, där föraren bara matade in riktning och hastighet.

Wankel-motorer drev fläktar i Kevlar-fodrade höljen i fyra naceller vardera med två datorstyrda motorer. Alla åtta motorerna fungerade självständigt.

Terrafugia är ett kinesiskt företag, baserat i Woburn, Massachusetts, USA som utvecklar ett trafikerbart flygplan som kallas TF-X. Det är utformat för att kunna vika sina vingar, vilket gör det möjligt för fordonet att även fungera som vägfordon.

Terrafugia grundades av utexaminerade från Department of aeronautics och Astronautics vid Massachusetts Institute of Technology och utexaminerade från MIT Sloan School of Management. I juli 2017 köptes företaget av Zhejiang Geely Holding Group, ett kinesiskt företag, som också äger Volvo. Fordonet ska kunna köra i normal gatutrafik till en flygplats där vingarna fälls ut genom att trycka på en knapp för flygning inom en räckvidd på 740 km. Det kommer att bära två personer plus bagage. Efter att ha genomgått provkörning och tester med höga hastigheter gjorde en prototype sin första flygning den 23 mars 2012. Första leveransen väntas under 2019.

Trots en krasch 2015, fortsätter Slovakiens Aeromobil utveckling av en flygande "roadster". Aeromobil är en prototyp designad av Štefan Klein och flögs 2013. Prototypen utformades som ett fordon som kan konverteras från en bil till ett flygplan. Den första versionen tog 20 år att utveckla. Tidigare versioner saknade vikbara vingar, medan senare versioner har fällbara vingar och fenor runt hjulen.

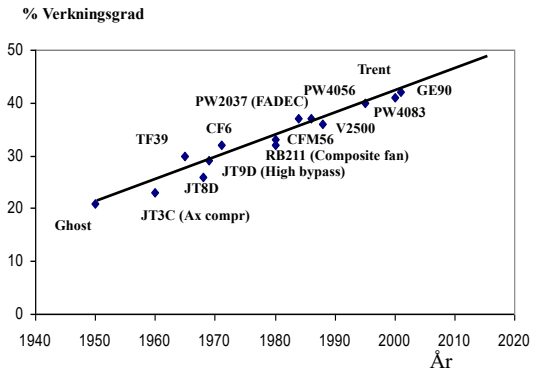
AeroMobil 5,0 VTOL konceptet har två elektriskt drivna rotorer för att säkerställa säker vertikal start och horisontell dragkraft som tillhandahålls av en eldriven bakmonterad skjutande propeller. Det kommer att ta fyra passagerare som kommer att ha tillgång till en personlig Inflight-upplevelse, med flyg-eller kördata och avancerad kommunikation och media för att säkerställa att passagerarna förblir uppkopplade i luften eller på vägen.

AeroMobil passar in i en standard parkeringsplats, kör på vanlig bensin och kan ta av och landa på någon gräsmatta eller belagd yta bara några hundra meter lång. Under 2010 fick flygbilen certifiering från Slovakiska federationen för Ultra-Light Flying (SFUL)

Inte mindre än 70 företag designar, bygger och provar nu olika versioner av flygbilar. Människor har pratat om flygande bilar i åratal, med lite resultat. Till viss del beror det på att de tog tanken på att vara billiknande för bokstavligen. Det berodde också delvis på att tekniken ännu inte var tillgänglig för att bygga dem. Vi får se hur det går. De fordon för urbana transporter som nu konstrueras är snarare flygplan än bilar.

Jetmotorns utveckling

Jet-motorernas effektivitet har mer än fördubblats sedan de först kom fram som visas i figur nedan. Den kommersiella jetmotoreran inleddes i början av 1950-talet med Ghost Engine från de Havilland Company, som senare skulle bli en del av Rolls-Royce. Den drev de Havilland Comet DH106 Airliner. Med smärre modifieringar, under namnet RM2, blev det motorn för det svenska jaktplanet SAAB J29 tunnan.

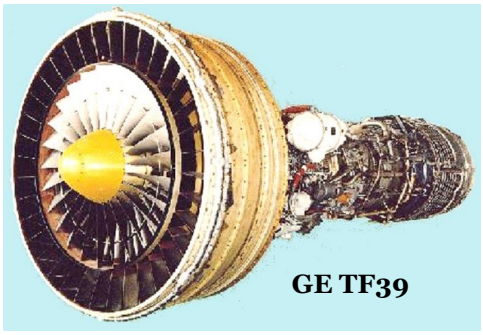


Jetmotorns verkningsgrad har ökat mycket

De tidiga motorerna som Ghost var raka turbojet med låga tryckförhållanden och centrifugalkompressorer. Man insåg dock snart att den axiella kompressorn gav både högre tryckförhållande och lägre frontalarea än centrifugalkompressorn. Med den axiella kompressorn var det också möjligt att använda korta ringformiga brännkammare. Sådana turbojetmotorer, som JT3, användes på Boeing 707 och KC135 US Air Force tanker.

Motordesignen blev gradvis polariserad av företag med antingen två rotorspolar (PWA) eller tre rotorspolar (RR) med kompressorer med fast geometri eller en enda rotor med variabla kompressorledskenor (GE). Dessa framsteg banade väg för högre bypass-förhållande för att minska strålhastigheten så att den närmare matchade flygplanets flyghastighet, vilket minskade bränsleförbrukningen.

Slutet av 1960-talet såg uppkomsten av sådana motorer med höga bypass-förhållanden. GE TF39, världens första hög-bypass turbofläktmotor, utvecklades som svar på USA: s flygvapens önskan om ett nytt transportflygplan. Denna hög-bypass turbofläkt var ett jättesprång i motordesign och erbjöd sådana banbrytande tekniska prestationer som ett 8:1 bypass-förhållande och ett 25:1 kompressor-tryckförhållande.



TF39 blev förälder till GE: s mycket framgångsrika CF6 familj av kommersiella motorer för bredkropps-flygplan. Mer CF6 motorer har producerats och har flugit fler timmar än någon annan hög-bypass motor. Den har drivit flygplan som Boeing 747 och 767, Airbus A300 och A310, och McDonnell Douglas MD-11.

Pratt & Whitneys JT8D med lägre bypass-förhållande är dock den mest populära moderna kommersiella motor som någonsin gjorts. Mer än 14000 av dem har byggts och uppnått mer än en halv miljard servicetimmar mellan 1964 och 2004. Mer än 350 operatörer använder JT8D för att driva mer än 4500 flygplan, nästan en tredjedel av världens kommersiella flotta, såsom Boeing 727 och 737 och McDonnell Douglas DC-9 och MD-80. I en militär version framtagen vid Volvo Aero drev den det svenska stridsflygplanet Viggen.

Jetmotorns utveckling forts

Pratt & Whitney ' s JT9D öppnade upp en ny era i kommersiell luftfart för hög-bypass-motorer som driver wide-body flygplan. Den introducerade många avancerade teknologier i konstruktion, aerodynamik och material för att förbättra bränsleeffektiviteten och tillförlitligheten. Efter att ha tagits i tjänst på Boeing 747 år 1970 blev JT9D arbetshästen för tidiga 747, 767, A300, A310 och DC-10 flygplansmodeller.

CFM56 blev den mest populära motorn i världen för narrow-body flygplan, inklusive Boeing 737 och Airbus A320. Den producerades genom ett joint venture mellan Snecma Moteurs i Frankrike och GE. År 1971 valde Snecma GE som partner i utvecklingen av en mindre kommersiell turbofläktmotor. Företagen etablerade CFM International för att bygga motorer baserade på Snecmas fläktteknik och kärnteknologin i GE ' s F101. GE/Snecma samarbetet grundades på en önskan att få en del av marknaden för flygplan med kort till medellång räckvidd, som dominerades i början av 1970-talet av låg-bypass-motorer. GE ville utveckla en motor för att konkurrera med Pratt & Whitney JT8D på Boeing 737 och McDonnell Douglas DC-9, samt Boeing 727.

Med framväxten av wide-body flygplan i slutet av 1960-talet lanserade Rolls-Royce RB211 för Lockheed L-1011 Tri -Star. Misslyckade försök att introducera komposit-fläktblad på RB211 ledde till att Rolls Royce togs i statlig ägo med separation av bilbranschen under 1973. Men det treaxliga konceptet för RB211 har nu etablerat sig i hjärtat av Rolls-Royce familj av motorer. En avancerad version hade omfattande användning av avancerad datordesignad aerodynamik, särskilt i fläkten.

Pratt & Whitneys PW2000 var den första som erbjöd Full-Authority digital elektronisk kontroll (FADEC). Denna motor trädde i tjänst i 1984 på Boeing 757. En senare version, PW4000 har drivit mer Boeing 777-flygplan än någon av dess konkurrenter sedan den togs i tjänst 1995. Ihåliga shroudless fläktblad av titan gav PW4000 hög verkningsgrad och låg ljudnivå.

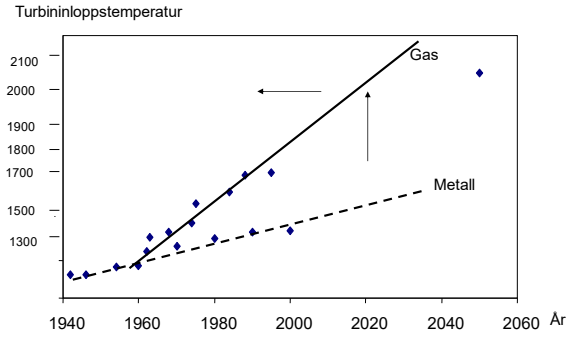
Rolls Royce Trent-familjen var konstruerad för att driva den nya generationen av wide-bodies inklusive Airbus A380. Trent utformades särskilt för att uppfylla kraven från den fyrmotoriga Airbus A340. Med sin design som härrör från den pålitliga RB211 familj av treaxliga motorer gav Trent flygplanen lägre vikt och bättre nyttolast eller räckvidd.

GE90 är världens kraftfullaste jetmotor. Dess kraftigt svepta fläktblad är tillverkade av kompositmaterial (fibrer och harts). De svepta fläktbladen tillför ungefär ett ton till motorns dragkraft och ger mindre bränsleförbrukning.

Ett högre tryckförhållande i motorn kommer i allmänhet öka effektiviteten och minska bränsleförbrukningen upp till en punkt där kompressorns utloppsluft blir för varm för effektiv kylning av turbinen. Det är därför också nödvändigt att öka den temperatur turbinen kan tåla. En hög turbintemperatur kommer att leda till högre specifik dragkraft och därmed lägre motordimensioner utan att förlora för mycket i effektivitet.

Materialteknik har därför bidragit mer till stadiga och dramatiska framsteg i prestanda, hållbarhet, underhållsmässighet och kostnad hos jetmotorer än någon annan teknik. Under olika perioder har så mycket som 50 procent av de förbättringar som gjorts i prestanda berott på framsteg inom materialteknik, särskilt förbättringar i högtemperatur nickelbaserade superlegeringar för den heta delen och hög hållfasthet-till-vikt titanlegeringar för den kalla delen (mindre än 875 K) av motorn. I de ursprungliga Whittle-och von Ohain-motorerna begränsades turbininlopps temperaturen till ca 1000 º K. Dagens kommersiella motorer fungerar vid mer än 1800 º K. Även förbättrad kylning har säkerligen bidragit till dessa anmärkningsvärda förbättringar, men det mesta av den ökade kapaciteten fortsätter att komma från materialteknik. En ökning av turbinens inloppstemperatur är den enskilt mest kraftfulla faktorn för att bibehålla den stadiga ökningen av specifik dragkraft.

Den maximala gas och metalltemperaturen i turbinens inlopp har ökat mycket sedan de tidiga jetmotorerna. Figuren nedan ger temperaturer vid fullt pådrag vid take-off. Målet är att nå stökometrisk turbininloppstemperatur på 2300 K. Demonstratormotorer har körts på 2100 K. Men utöver denna temperatur kommer NOX-föroreningarna att öka mycket snabbt. Det har antagits att kravet på låga utsläpp gör att en maximal temperatur på 2300 K är gränsen. Detta har använts för att konstruera det logistiska diagrammet i figuren. En motor för de nya civila flygplanen på 2020-talet bör då kunna ha en temperatur i turbininloppet vid take-off på ca 2000K.



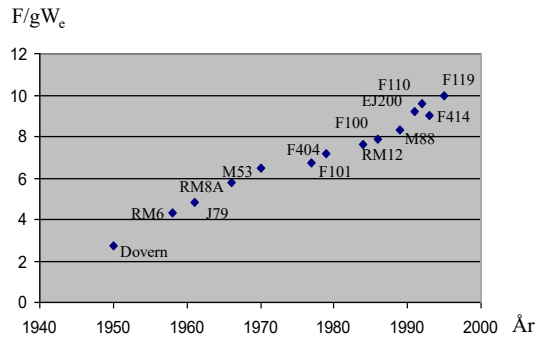
Ökningen av turbininloppstemperaturen

Som framgår i figuren finns det en växande klyfta mellan gastemperatur och metalltemperatur. Denna har överbryggats av avancerade kylsystem. Kylluften tvingas ut ur många små hål i turbinbladet. Denna luft förblir nära bladet och hindrar det från att smälta. Avancerade turbinmaterial plus avancerad turbinkylning och avancerade termiska barriärbeläggningar (tbc) på turbinbladen är och kommer att vara avgörande för ökade turbintemperaturer. För närvarande används 10 till 20 procent av kärnflödet för att kyla turbinens metalldelar. Detta innebär en avsevärt minskad prestanda då luften, som komprimeras med turbinenergi inte kan användas i cykeln för att producera dragkraft eller axeleffekt.

Jetmotorns utveckling forts..

Jämfört med en civil motor, är bypass-förhållandet på en militär motor mycket lägre för att få en hög specifik dragkraft. Dessutom finns det en tryckförlust i inloppet i snabba motorer. För att kompensera för dessa förluster måste strålen ha en hög rörelseenergi vilket innebär en hög strålhastighet. Det innebär att det mesta av luften måste gå igenom den heta kärnan så att bypass-förhållandet ska vara lågt.

Dragkraft/vikt förhållandet är ett vanligt mått på hur avancerad en militär motor är. Kraven i en fighter på acceleration, svängar och hög hastighet dikterar en hög dragkraft i förhållande till vikten. Accelerationsprestanda är direkt relaterad till dragkraften för samma flygplansvikt. Att öka motorns dragkraft/vikt-förhållande kommer därför direkt att påverka flygplanets prestanda.



Ökningen av dragkraft/vikt

Figuren här bredvid visar att den maximala dragkraften i förhållande till vikten har tredubblats sedan början av jeteran. "Dovern" var ett tidigt svenskt projekt som aldrig kom i produktion. RM6 var ett derivat av RR Avon och användes i den svenska Mach 2 fightern "Draken". RM8 var ett derivat av den kommersiella JT8D Pratt & Whitney och användes för att driva den svenska "Viggen".

J79 var en av de första motorerna med fullt utbytbara moduler som möjliggjorde enklare och flexiblare underhåll. Utbytbara moduler sparar tid och pengar genom att minska reservdelskraven, motorns underhållstid och den grad av skicklighet som underhållspersonalen måste ha. Variabla statorer var också en av de viktigaste utvecklingarna med denna motor. De hjälpte kompressorn att klara de stora variationerna i luftflödet från take-off till höga supersoniska hastigheter. J79 användes på flygplan som F -104 Starfighter och F-4 Phantom. På Convair 880 trafikflygplan användes ett derivat av J79 motorn, CJ805, som markerade GE: s inträde på den civila flygmarknaden.

Framsteg inom kompressor, förbränning och turbin på 1960-talet ledde till en mer kompakt motor med en enstegs turbin och endast två lagerområden jämfört med tre, vilket resulterade i GE:s F101 motor för det amerikanska flygvapnets B-1 bombplan. Med samma design som F101 skapades derivaten F110 och F118 genom att lägga till olika fläktar och efterbrännkammare för att skräddarsy motorns prestanda till önskat flygplan. GE F110 har varit det dominerande motorvalet för F-14 och F-16 fighters som ett alternativ till Pratt & Whitney F100, som driver alla F-15.

GE F404 motorn driver flera flygplan från låghöjds attack till höghöjds jakt. RM12 för Gripen är en anpassning av F404 till svenska flygplanskrav. F414 är den amerikanska flottans avancerade fightermotor för F-18. Den innehåller avancerad teknik med beprövad design från sin föregångare F404.

Pratt & Whitneys F119 driver det amerikanska flygvapnets nya Air dominance fighter, F-22. F119 var den första produktionsmotorn som hade dragkraftsvektorisering, vilket ger flygplanet exceptionell kontroll och manövrerbarhet. Motorn har också avancerad smygteknik, vilket bidrar till att förhindra att flygplanet upptäcks av fiendens radar. Ett derivat av F119, F135, driver Lockheed Martins F-35 Joint Strike Fighter.

Motorns vikt kan minskas genom högre Mach-tal i de olika komponenterna. Vikten kan också minskas genom att öka belastningen i kompressorer och turbiner, vilket minskar antalet steg. Ökat tryckförhållande per steg i kompressorn från 1,3 till 1,5 minskar antalet steg från 12 till 8 för ett övergripande tryckförhållande på 25. Detta kan åstadkommas genom att öka bladtoppshastigheten.

Motorns vikt är också direkt beroende av materialens specifika hållfasthet. Fiberförstärkta komponenter kan utformas för minimal vikt genom att ge ökad styrka i önskad riktning. Materialet kommer då att behöva utformas tillsammans med komponenten i stället för sekventiellt som med metaller. Innovativ design kan dra nytta av styrkan i en riktning t ex genom att bygga upp materialet på samma sätt som biologiska material, som är mycket starka och lätta.

Det som försvagar material internt är dislokationer och korngränser. På mycket lång sikt verkar det möjligt att designa felfria material med tio gånger den nuvarande styrkan för samma densitet som dagens material. Enkristaller i turbinen är kanske de mest perfekta materialen för närvarande. I vissa fall innehåller de inga observerbara defekter alls.

Kompressorn är en tung del av en motor eftersom den innehåller ett stort antal steg. Ett sätt att minska antalet steg och därmed vikten skulle kunna vara att låta strömningen ske med överljud genom hela kompressorn. Den första aktiva studien av en överljudskompressor ägde rum i Tyskland runt 1935 och några år senare i USA. Studier av axiella kompressor utfördes omkring 1940 av Kantrowitz på NACA. En av de mest intressanta resultaten av hans studier var att den högsta verkningsgraden i kompressorn inträffade vid gränsen till överljud. Detta ledde till den efterföljande utvecklingen vid NACA av transsoniska kompressorer. Studier av överljudsströmning i kompressorer har också bedrivits vid von Karman Institutet t ex av Breugelmans, men problem med stötar i gränsskikten med resulterande dåliga off-design prestanda har förhindrat användningen av supersoniska kompressorsteg.

När det gäller civila motorer kommer den framtida utvecklingen troligen att koncentreras på att minska bränsleförbrukningen t ex genom värmeväxlare. Militärt kommer man troligen att se en utveckling mot variabla cykler så att motorerna kan anpassa sig till olika driftkrav.

Raketflygplan

Av Claes Eriksson

Flygplan drivna av raketmotorer har funnits länge. Fördelen är massiv dragkraft men nackdelen är begränsad räckvidd om man inte har bränsle och oxidator nog för att nå omloppsbana.

Väsentliga skillnader för flygning i höga hastigheter till förmån för raketdrift är att det rena flytande syret LOX kommer i en jämn ostörd ström från dess tank och turbopump i jämförelse med motorer, som använder luft som innehåller endast 20% syre och kan få snedanblåsning, fukt, hagel, luftföroreningar, salthaltig luft och F.O.D. som fåglar,... En annan fördel är att LOX inte innehåller kväve som vid höga temperaturer bildar kväveoxider NOX.

En jetmotor bränner endast ca 20% av luftens syre som är 20% av luftmassan då resten av insugsluften som går genom kärnmotorn används för kylning av turbindetaljer och brännkammare. Det sänker snabbt förbränningstemperaturen för att minska NOX och ge en lägre temperatur in i turbinen. En raketmotor bränner allt syre ”stökiometrisk förbränning” (ofta med ett överskott av bränsle som flytande väte LH2 för att hålla förbränningstemperaturen inom vissa gränser). Väte som förbränns stökiometriskt i syrgas uppnår en temp av 3200C.

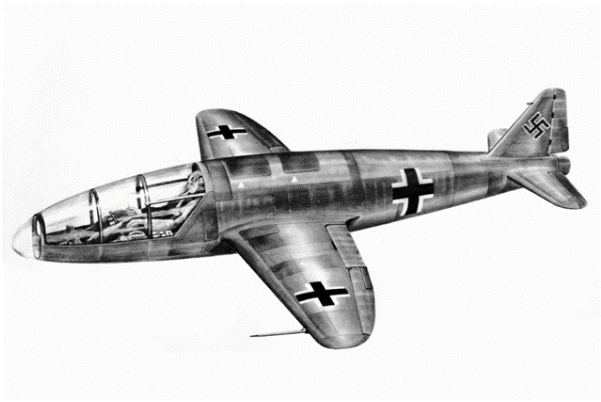
Nackdelen med raketmotorer är att de är strukturellt mycket högt belastade. Brännkammartrycket är lite högre än jetmotorer upp till 70bar jmf med 50-60bar i de senaste jetmotorerna. Raketmotorns roterande bränslepumpar är högt belastade och drivs av förbränningsgaser från en liten förbrännkammare under högt tryck. Avgaserna, som ofta är väterika för att hålla ned förbränningstemperaturen, leds vidare efter pumpturbinen in i huvudbrännkammaren där de bränns. Raketmotorns förbränningsgaser är mycket heta och brännkammarens och raketmunstyckets keramskiktklädda väggar kyls av det flytande kalla bränslet på väggarnas utsida i rör eller mantlar innan det går in i brännkammaren. Ofta används LH2 som bränsle med en temperatur på -272C ned till -279C jämfört med förbränningsgasens upp till +3200C på andra sidan väggen. Många metaller är vätesprödkänsliga där vätemolekyler vandrar i metallen och diffunderar till korngränserna och gör dem spröda. Andra raketmotorer använder RP-1 som liknar bensin eller en alkohol som SpaceX nya Raptor-motor som använder flytande kyld metan.

En kyld metall har mindre och mindre kritisk spricklängd under belastning dvs. små områden med defekter som sprickor, porer eller inneslutningar kan medföra en kort spricktillväxt till under en mm kritisk spricklängd innan den högt belastade kylda detaljen havererar. Detta ställer stora krav på tillverkningsprocess och oförstörande provning.

Även värmen är ett problem där man måste gå till extremt värmetåliga material för att ta värmelasten och har kraftigt kyld baksida av samma detalj. Dock har man en fördel av att det inte finns några rörliga delar efter raketbrännkammaren som i en jetmotor även om hela motorpaketet kan riktas med hydraulkraft för att styra dragkraftsvektorn där styrsystemet är mycket viktigt då den ska balansera den långa raketen med skjutande motorer i basen.

Man vill tanka raketen så sent som möjligt för att minimera att ytterskalet kyls och den fuktiga luften kondenseras och fryser till is som snabbt kan bygga centimetertjocka lager som bryts upp efter take-off. Detta gör att en vätskeraket, som också ska vara så lätt som möjligt, har låg tillförlitlighet för att klara en uppskjutning till omloppsbana där historiskt en på 100-150 raketer havererar under sin uppskjutning. En flygmotor ”In flight shut down rate” är ca 0.002 per 1000 flygningar.

Heinkel He 176 var världens första enbart flygplan med endast raketdrift dess första flygning 20 Juni 1939 med Erich Warsitz vid spakarna. Det var en privat satsning av Heinkel bolaget. Prestanda var inte övertygande.



Det första massproducerade raketplanet var **Messerschmitt Me 163 Komet.** Det var byggt för närförsvar med enorm stigprestanda med glidflög till landning.

Bell X-1, (Bell Model 44), var ett raketplan designat 1944 och byggt 1945, det nådde nästan 1,000 miles per hour (1,600 km/h; 870 kn) 1948. En utvecklad version Bell X-1A med mera bränsle passerade 1,600 miles per hour (2,600 km/h; 1,400 kn) 1954.

Raketflygplan forts..

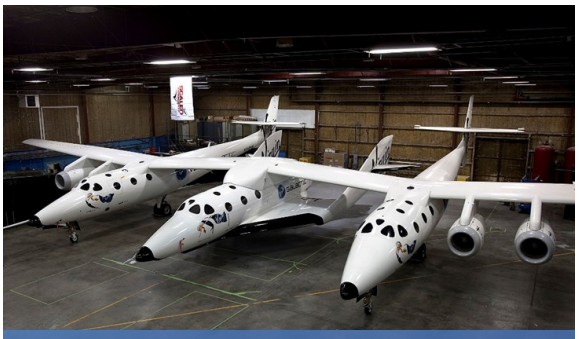
Saunders-Roe SR.53 var en engelsk prototyp med både jet och raketmotor på 1950-talet. Den skulle använda raketmotorn för att snabbt komma ikapp fienden och då de var nedskjutna eller raketbränslet slut tända sin jetmotor och flyga hem.

North American X-15 och X-15A2 flög för NACA/NASA under 10 år och nådde Mach 6.7 samt över 100 km höjd. July 17, 1962 tog Americans test pilot Robert White X-15 till 314,688 ft höjd.

Project Isinglass och **Project Rheinberry** var ett Mach 20 (24,500 km/h; 15,220 mph) raketplan som gledflöd till marken och var tänkt som ersättare till SR-71 McDonnell Aircraft tog fram ett koncept för Project Rheinberry åt CIA. Det var ett litet raketdrivet plan med bra glidtal som skulle släppas från en B-52 över Atlanten och flyga över Sovjet Unionen i Mach 20 på över 200,000 feet (61 km) och fortsätta över Stilla Havet för en glidlandning på Groom Lake, Nevada.

Simuleringar visade att det skulle vara ostoppbart med den tidens Sovjetteknologi. Även om de skickade upp missiler med kärnladdningar skulle den klara sig då den kunde manövrera och då missiluppskjutningar är relativt lätta att upptäcka. Se två skalmodeller under varsin B-52 vinge (liknar Saab J-35 Draken..)

Scaled Composites Model 339 SpaceShipTwo (SS2) är ett "suborbital spaceplane" konstruerat för rymdturism. Det är tillverkat av The Spaceship Company, som ägs av Virgin Galactic.
SS2 hänger i mitten av bärplanet White Knight Two, det tar SS2 upp till höjd och släpps, SS2 tänder då sin raketmotor och flyger upp till 360,000ft (110km) för att sedan glidflyga för landning. Den första prototypen havererade med dödlig utgång för ena piloten.
Fédération Aéronautique Internationale FAI har definierat Kármán linjen på en höjd av 100 km (62 mi) som gränsen till rymden. USA erkänner människor som färdas över höjd på 50 miles (80 km) astronauter. NASA's Space Shuttle använder 400,000 feet (76 mi, 122 km) som sin "re-entry altitude" som grovt är gränsen då luftmotståndet börjar märkas.



Raketflygplan forts..

The Dream Chaser Cargo System är ett amerikanskt rymdflygplan utvecklat av Sierra Nevada Corporation Space Systems. Dream Chaser Space System ska kunna ta upp till sju personer till rymden men först ska den obemannad flyga till ISS. Den lyfts av en Vulcan Centaur raket och landar som ett flygplan på landningsbanan.

SpaceX utvecklar **Superheavy**. Tidigare kallad ”BFR” Big Falcon Rocket, En tvåstegs raket med ett rymdflygplan som översta steget.
Första prototypen “**Starship prototype Mk1**” visades nyligen och är tillverkad i rostfritt stål. Dess uppdrag är att testa tre stycken Raptor motorer upp till 20km “66 000ft”, Nästa prototyp ska blir mera lik en produktionsmodell men också ha tre motorer, men Mk3 kommer ha sex motorer av samma sort. Den landar vertikalt och ska kunna göra snabba flygningar i atmosfären. Dock är Starships huvud-uppgift att kunna ta 100 passagerare ut i rymden. Den första kommersiella flygningen är med en japansk miljardär och hans vänner runt månen.

Skylon är en datadesign av ett rymdflygplan av Brittiska Reaction Engines Limited (REL), som använder SABRE motorn, tidigare beskriven i Bevingat. Planet drivs av flytande väte och lättar från en ”vanlig” flygplats och accelererar till Mach 5.4 vid 26 km höjd (85,000 ft) innan den byter oxidator från luftens syre till flytande syre LOX ombord och gör ett skutt upp till low Earth orbit (LEO) tex till International Space Station.

En drönande historia

Det enda som nästan alla som sysslar med obemannade flygsystem (UAS) kan enas om är att de hatar ordet "drönare". "UAS" är mer omfattande och förkroppsligar det faktum att systemet är mycket mer än en farkost. Men vi har kommit in i drönarnas tidsålder och nu kallas även flygande bilar för drönare. Det kan beteckna alla flygplan som drivs utan en mänsklig pilot ombord och har funnits sedan andra världskriget när de först användes för militära uppgifter.

Ordet drönare började användas i slutet av 1945 eller början av 1946. Det verkar mest troligt att den som först använde ordet inom luftfarten var US Navy Cmdr. Delmer Fahrney 1936, när han fick i uppdrag att utveckla pilotlösa målflygplan. Inspiration och mönster för projektet var Royal Navy, vars målflygplan utformade av de Havilland, hade insektsnamn som ”Queen Bee”.

Churchill vid en Queen Bee

Den första alternativa benämningen av "drönare" som fick officiellt godkännande var "fjärrstyrda fordon" (RPV) år 1970 i titeln på en sekretessbelagd konferens anordnad av Rand Corp. och US Air Force. Men det är varken nödvändigt eller vanligen önskvärt för obemannade flygsystem (UAS) att vara "fjärrstyrda" och det kan ofta vara omöjligt. Med stigande kapacitet och fallande kostnader för tröghetssensorer och automatiserade system för flygning, navigering och fordonshantering blir UAS alltmer självständiga.

Efter en nästan två decennier lång boom i militära obemannade flygsystem (UAS), kom en explosion av kommersiella drönare och experter på flygledning måste nu bestämma hur framtida flygledningssystem ska arbeta. Teknik från universitet och flygindustri kommer att fortsätta att driva utvecklingen för kommersiella, militära och offentliga tillämpningar. De kommer att sträcka sig från miljöövervakning till polis och säkerhetsuppdrag. En nyckel till explosionen i antalet "civila" drönare är utvecklingen av billiga attitydsensorer för smartphones, och en annan är kommersiellt driven batteriteknologi.

De flesta konsumentdrönare är quadrotors med fyra mekaniskt oberoende rotorer med fast stigning, spegelställda och kontrollerade i sex frihetsgrader genom digitalt varierande motorvarvtal. Denna utveckling har sina rötter i den tidiga historien.

Militära UAS har funnits under mycket lång tid. Storbritanniens Royal Navy hade sex baser för de Havilland Queen Bee målflygplan på 1930-talet och köpte 420 flygplan. Den amerikanska marinen lekte med en torpedbärande UAS under andra världskriget. Under 1950 -talet var jet-drivna mål drönare använda för att stödja utvecklingen av missiler och den amerikanska armén utvecklade spaningsplan. På 1960-talet satte den amerikanska flottan in Gyrodyne QH-50 Lightning Bug, en drönare med roterande vingar som kunde leverera en nukleär sjunkbomb eller målsökande torped. US Air Force använde Teledyne Ryan AQM-34 jetdrivna strategiska spaningsplan över Vietnam och Ryssland utvecklade monstret Tupolev Tu-123 Yastreb.

Gyrodyne QH-50

Besättningarna som stöttade Lightning Bugs uppdrag blev chockade när, efter att Vietnamkriget var över, verksamheten överfördes från Strategic Air Command till Tactic Air Command, som snabbt lade drönaren i malpåse. Var och en av dess "obemannade" uppdrag involverade tre flygplan (drönaren, en Lockheed DC-130 för lansering och kontroll och en helikopter för återhämtning), med en total flygbesättningen på nära tio personer. Inte särskilt obemannat alltså.

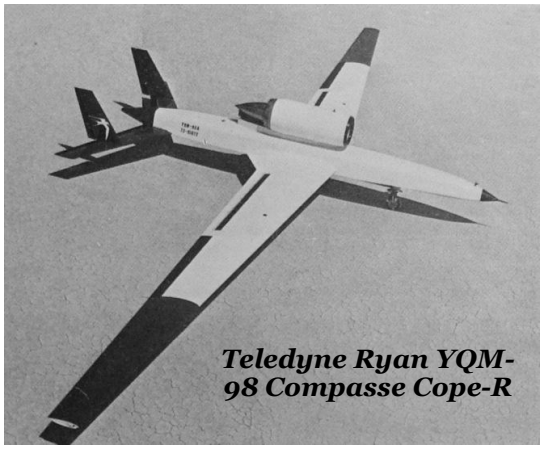
Många tidiga taktiska UAS skulle vara armésystem, vilket innebar inga startbanor och (ofta) icke-flygare som besättningar. De lanserades från katapulter, monterade på lastbilar och återvanns antingen genom fallskärm (med en hög risk för missöde) eller i nät, som bars av en annan lastbil. De var krångliga system som befälhavare ofta frestades att lämna åt sidan.

Knivskarpa bilder av målet är också av begränsat värde om du inte vet var det är, och en UAS måste hitta sin väg hem, så navigering är viktigt. I brist på luftburna line-of-sight sikten och målsökare var det ett svårt problem, bara delvis löst på 1980-talet.

Även om den moderna UAS-eran oftast kan spåras tillbaka till åren 1950-70 var teknik, som var robust nog för strid med en kapabel motståndare, inte tillgänglig förrän början av 1990-talet.

En drönande historia

En naturlig roll för UAS, "ensam, obeväpnad och orädd", är spaning och en av de egenskaper, där en UAS lättast kan överträffa ett bemannat flygplan, är uthållighet. Teledyne Ryan YQM-98 Compasse Cope-R utförde t ex en 28 timmars flygning i november 1974.



Teledyne Ryan YQM-98 Compasse Cope-R

Compasse Cope var utformad för att samla elektroniska underrättelser. Digitalkameror med hög skärpa var under utveckling vid den tiden men var hemliga (de var avsedda för spionsatelliten KH-11) och bilder som skrivs ut när flygplanet landar efter mer än 24 timmar är av begränsat värde. Man behövde en omedelbar nedlänk.

Följaktligen förblev även med digitala sensorer UAS beroende av en datalänk och genom tidigt 1980-tal av en luftburen satellitterminal för att hantera bilderna, som var mycket större än någon UAS kunde hantera. Så antingen var räckvidden begränsad till linje-of-sight till en antennmast monterad på en höjd eller så behövdes ett andra flygplan för att fungera som en luftburen relä.

Även i slutet av 1980 med Recon / Optical CA-990 luftburna hemligstämplade digitala långväga kamera gick man runt lagringsproblem genom att sända komprimerade bilder till marken, där de lasertrycktes i realtid på våt film.

Dessa begränsande villkor förmådde Israel att göra en flygande start på sin UAS-utveckling under 1970- och 80-talen. Tunga och oväntade förluster av människor och flygplan i 1973 års arabisk-israeliska krig gav motivation att flytta spaning till obemannade plattformar. De viktigaste motståndare var nära till hands, så line-of-sight datalänkar kunde tillgodose operativa behov, tillsammans med enkla kortdistans luftfarkoster som tog fart och landade på en kort bit mark. Inte heller fanns det något behov för lastbilssystem.

Israel Aerospace Industries (IAI) Scout och Tadiran Electronic Systems Mastiff UAS visade sitt värde i att sondera det syriska luftförsvaret i Libanonkriget 1982, där luft-försvarssystem som hade visat sig så dödliga nio år tidigare lockades att avge sina första salvor mot lockbeten för att sedan bekämpas systematiskt med styrda vapen och flyganfall.

Israel Aerospace Industries (IAI) Scout

Israel höjde sig över resten av världens i allmänhet klumpiga hantering av UAS utveckling. Med lite intresse från flygvapnen var den till stor del kvar hos arméerna. I USA var det bäst finansierade programmet i början av 1980-talet arméns Lockheed MQM-105 Aquila, som lanserades av en hydraulisk katapult och återhämtades med ett gigantiskt fällbart nät. Det hade en stealth-liknande flygande vingform. Programmet avbröts dock 1987.

MQM-105 Aquila

Ännu mindre framgång hade brittiska GEC-Marconi Phoenix, likaledes utformad för en artillerikårs krav. Designad efter 1980 års krav, var den utan tvekan föråldrad när den trädde i tjänst i slutet av 1990 tillsammans med General Atomics Predator . I andra Gulfkriget fick den smeknamnet "Bugger Off" på grund av den frekvens med vilken den helt enkelt försvann över horisonten efter lanseringen.

Aquila hade förbrukat en miljard 1980-dollar innan den avbröts och amerikanska kongressen och Pentagon svarade med att inrätta ett gemensamt program för UAS inom marinens kryssningsrobotkontor. Dess första beslut var att koncentrera sig på några krav som verkade brådskande och kunde uppnås. Man prioriterade ett taktiskt system med kort räckvidd UAV (SR-UAV) för armén och Air Force / Navy Medium-Range UAV, ett jet-drivet penetrerande obemannat flygplan med hög hastighet, som skulle kunna startas från ett flygplan eller en kort ramp och återtas med fallskärm. SR-UAV fullbordades av IAI / TRW RQ-5 Hunter. Det senare Teledyne Ryan BQM-145 var ett lågprioriterat program för båda de avsedda användarna som slutligen vissnade bort.

En drönande historia

Man trodde nu att UAS-tekniken var mogen och att forskning och utveckling borde finansieras av industrin. Men myndigheternas behov av UAS var för små för att intressera de stora företagen, medan små företag behövde kontrakt för att överleva. Innovationen bleknade bort med några få undantag, ett av dem viktigt.

Ett tidigt 1980 DARPA program Teal Rain hade tittat på potentialen hos små, turboladdade kolvmotorer för UAS framdrivning. Det var ett resultat av DARPAs samarbete med Abe Karem, en israelisk ingenjör, som hade flyttat till Kalifornien, och vars företag arbetade på relativt små UAS, som kombinerade hög hastighet och lång uthållighet. Man utvecklade en serie experimentella fordon under projektnamnet Amber.

Karem insisterade på att specialbygga alla komponenter i systemet, inklusive elektronik och (för Amber) motorn, och hans prototyper hade höga prestanda inklusive en 38 timmars uthållighet i flygning. Karem sålde verksamheten till privatägda General Atomics , baserat i San Diego. Den nya Aeronautical Systems Inc. fokuserade på Gnat-750, UAS-tekniskt mindre ambitiöst än Amber och ursprungligen konstruerat för att exporteras med stöd från CIA och det amerikanska flygvapnets Big Safari kontor.

Inledningsvis använde CIA luftburna reläer, men utvecklingen av ett SATCOM-system, det första på en UAS av något liknande Gnat storlek, fortsatte snabbt. Gnats utveckling sammanföll också med tillgång till små, billiga GPS-mottagare.

Under tiden skapade kongressen, Pentagon och underrättelseorganisationer den nya Airborne Reconnaissance Office (DARO) i början av 1994. Gnat togs i tjänst i en version med ett integrerat satcomsystem. DARO kallade den nya Gnat-versionen Tier 2 men den blev bättre känd som RQ-1 Predator.

Predator blev en ikon av flera skäl. Det var och förblev General Atomics egen produkt, och företaget var villiga att investera sina egna pengar i förbättringar-inklusive nya luftfarkoster-utan att vänta på statliga kontrakt. Programledning på regeringssidan var också smidig. Till exempel, när flygvapnet insåg under Operation Allied Force i Kosovo 1999 att en laser skulle övervinna samordningsproblemen mellan Predators operatörer och piloter, så installerades den snabbt med resultatet att integrationen av en Hellfire-missil (som ledde till den nya benämningen MQ-1) också gick relativt lätt och snabbt.

Som ett moget system 2001, då det spaningsledda kriget i Mellanöstern bröt ut, fann Predator sin roll. Predators utveckling sammanföll också med en ökning i kommersiell elektronisk teknik, som överträffade prestandan hos militärt finansierade system. Predator var väl lämpad att utnyttja denna trend. Elektrooptiska lasrar förbättrades snabbt och små högupplösta radar dök upp.

Denna trend har inneburit en press nedåt på UAS storlek. Några handlanserade UAS är särskilt utformade för att gå tillräckligt nära målet för att känna igen individer. I början av UAS-boomen för 15 år sedan var General Atomics, israeliska IAI och Elbit de största aktörerna i branschen och de är så fortfarande. Vid sidan av General Atomics är den mest kommersiellt framgångsrika amerikanska UAS-byggaren Insitu.

De flesta UAS använder inte kostsam teknik så varför finns det inte flera tillverkare? Det är svårt att undvika slutsatsen att det viktigaste är erfarenhet. Med mängder av flygtimmar vet de etablerade vad som fungerar och vad som inte gör det, hur man justerar motorer för att överleva timmar med full effekt, när de kan luta sig mot leverantörer för att minska kostnaderna och när man ska prioritera prestanda.

Detsamma kommer att gälla för den nya generationen av mini-drönare baserad på konsumentteknik. Precisionslantbruk, infrastrukturinspektion, byggande, fastigheter, flygfotografering - små obemannade flygplanssystem (UAS) är redan en vardaglig verklighet på många marknader, men med regler som strikt begränsar hur de kan användas.

Reglerande myndigheter är redan under press att snabbt tillåta deras användning att expandera utöver de initiala gränserna för dagsljus och visuell synlinje till flyg bortom siktlinjen och på natten. När de en gång har tillåtits att flyga bortom operatörens siktlinje förväntas små UAS på mindre än 50 kg bruttovikt möta huvuddelen av den närmaste efterfrågan på kommersiella obemannade flygplan.

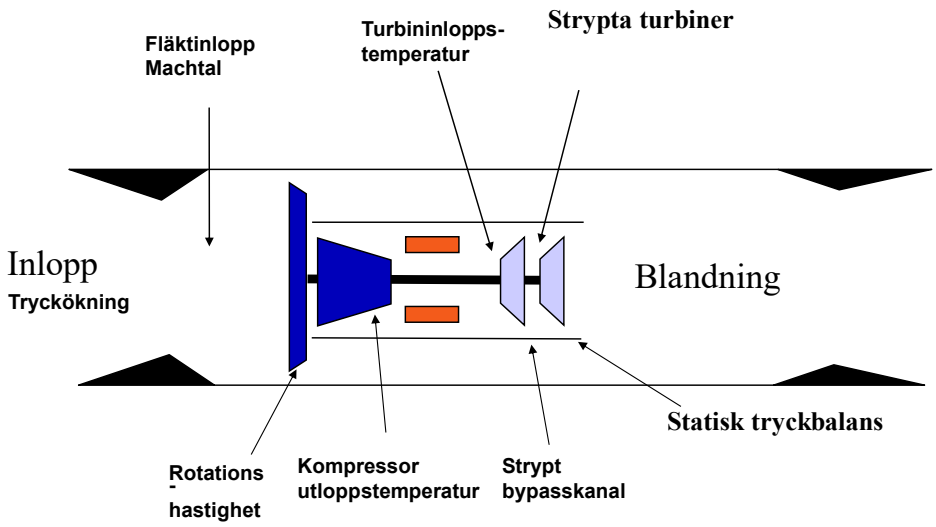
Marknaden ser ut att domineras av en affärsmodell, där kunder vill ha data. Nästa i raden kan vara leveranser av paket i städer eller medicinska förnödenheter i katastrofzoner, men detta kräver ett sätt att möjliggöra säker och effektiv tillgång till luftrum i låg höjd med flera flygplan, obemannade och bemannade. NASA driver detta under sitt UAS Traffic Management-projekt. Civilt utvecklar Facebook och Google solenergidrivna stratosfäriska UAS, och även i Europa utvecklas sådana "pseudosatelliter" på hög höjd som Airbus Zephyr

Pentagons kontor för strategiska förmågor planerar för 3-D-tryckta mikro-UAS som kan skickas iväg av soldater för att bilda svärmar och utföra övervakning av luftrummet eller överväldiga en motståndares försvar. Med Raytheon provar Office of Naval Research svärmar av samarbetande autonoma små UAS för att mäta deras effektivitet när det gäller att samla underrättelser, dra på sig fiendens eld eller försvara sig.

Som ett sätt att tränga igenom och överleva i starkt försvarade luftrum, bedriver flygvapnens forskningslaboratorier demonstrationer av både billiga, obemannade stridsflygplan med begränsad livslängd och autonoma luftfarkoster, som fungerar som "loyal wingmen" för bemannade flygplan. Som ett resultat av forskningsprogram som dessa förväntas nästa generation stridsflygplan, planerat att gå i tjänst i USA och Europa 2030-40, vara ett system av system - en bemannad fighter som kontrollerar en flotta av samarbetande UAS med olika uppdragskapaciteter.

Med Ram och Scram mot höga hastigheter

Turbojetmotorer är föremål för många begränsningar i de förhållanden under vilka de kan fungera effektivt. Viktiga sådana begränsningar anges i figur nedan och de innebär att turbojetmotorn är begränsad till hastigheter upp till ca Mach 3. Ibland finns det behov av att flyga ännu fortare och det ledde till de så kallade ram och scrammotorerna.



En lösning för att nå högre hastigheter är att kringgå turbomaskinerna när de blir överhettade och fortsätta att köra på endast bypasskanal och efterbrännkammare. Denna kombination av turbojet och ramjet kallas vanligtvis en turboramjet. Om man tar bort turbomaskinerna helt får man en så kallad rak ramjet.

Ramjet är en mycket enkel enhet som består av ett inlopp, en brännkammare och ett munstycke. Den har ingen kompressor eller turbin. Rammotorer har mestadels använts för missilframdrivning men de kan också användas som ett steg till mer avancerade höghastighets framdrivningssystem för nya typer av rymdbärraketer.

René Lorin från Frankrike var 1913 förmodligen den förste att inse möjligheten att använda ramm-tryck för framdrivning. Han hade ingen möjlighet att prova sin uppfinning i praktiken för vid den här tiden fanns inga flygplan, som kunde nå tillräckligt höga hastigheter, upp mot Mach 1, där trycket i inloppet blir tillräckligt för att en rammotor skall börja fungera.

René Lorin

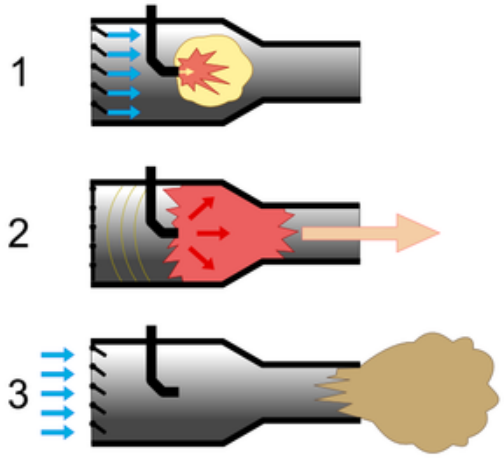
Albert Fono från Ungern fick ett tyskt patent 1928 på en enhet med alla delar av en modern ramjet. Det finns inga bevis för att någon byggdes, men 1938 ställde den franska flygingenjören René Leduc ut en modern av en ramjet i Paris. Det resulterade efter kriget i ett experimentellt flygplan, Leduc 010. Den 21 april 1949 släpptes detta flygplan från ett moderflygplan och flög för första gången.

Leduc 010

År 1953 inledde Frankrike ett projekt som syftade till ett flygplan som kunde flyga upp till Mach 2, Griffon II. Det var den första turborammotorn, där en ramjet lindades runt en SNECMA Atar-motor. Griffon II satte ett världsrekord på 1640 km/h 1959.

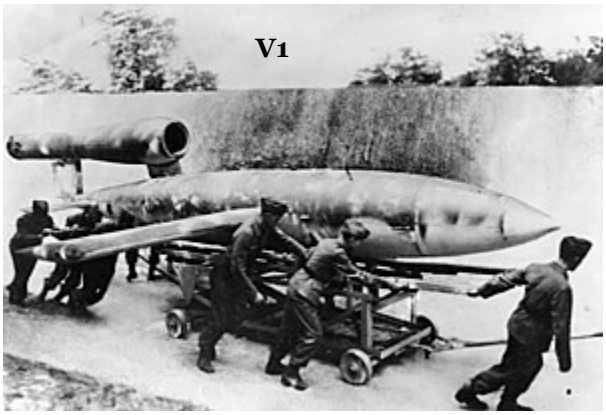
Den största bristen hos en ramjet är uppenbar, nämligen att dragkraften försvinner vid låg hastighet. Det är därför omöjligt att använda den från start. Den behöver en annan motor för att ge den hastigheten där den kan börja fungera bra, vilket är över Mach 2.

En intressant variant av ramjet för att råda bot på detta är en pulsjet, se figur. Den kan betraktas som en okontinuerlig ramjet, men med betydande skillnader i sitt sätt att fungera. En diskontinuerlig ejektoreffekt kan erhållas genom pulserande förbränning som i den tyska V1 (Vergeltungswaffe I) från andra världskriget, som använde flapperventiler i inloppet så att luften tvingades att strömma i endast en riktning.



En pulsjet kan fungera från stillastående, men utströmningen som genererades av explosionen i V1 var inte tillräckligt stark för att klara av den fria strömmens ejektorverkan. Därför sögs lågan ut i hastigheter över Mach 0,5, vilket därmed var den maximala hastigheten.

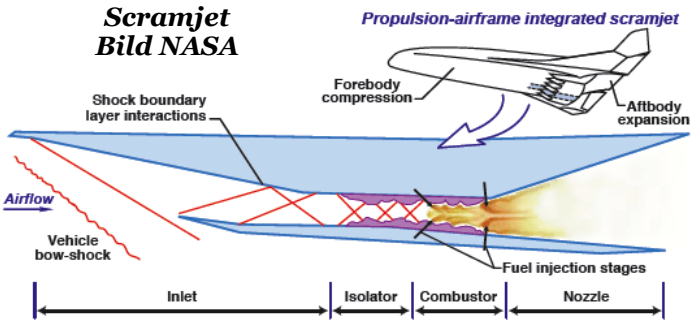
Detta kan undvikas om förbränningen fås att äga rum genom detonation, som fortsätter vid överljudsfart, i stället för explosion, vilket är en subsonisk process. Detta är pulsdetonationsmotorn (PDE). Sådana PDE har utvecklats av flera kommersiella företag och statliga laboratorier.



PDEn har den fördelen att den har ungefärligt konstant volymförbränning, som är effektivare än den konstanta tryckförbränningen som används i turbojet- och ramjetmotorer. Samtidigt är motorsystemet betydligt enklare än nuvarande motorkonstruktioner eftersom den inte har några kompressorer och turbiner.

Pulsdetonationsmotorn lovar att ge betydande prestandafördelar jämfört med ramjets och turbojets samt minskad komplexitet, hög dragkraft/vikt och minskad enhetskostnad. En annan fördel med konstant volymförbränning är risken för mindre kväveoxider NOX på grund av minskad uppehållstid i förbränningszonen.

Ramjets och pulsjets, som kan betraktas som en okontinuerlig ramjet, kan fungera till runt Mach 6 där inloppstemperaturen blir för hög. Tanken bakom scramjet-motorn är att hålla inloppstemperaturen på ett föreskrivet värde genom att tillåta överljudsfart i förbränningen. Friktionsförluster, intern stötkontroll och svårigheterna att injicera och bränna ett bränsle i ett mycket snabbt flöde begränsar dock förmodligen hastigheten på en scramjet till runt Mach 10.



Scramjetkonceptet uppfanns i slutet av 1950-talet och från 1955-1965 gjordes en hel del framsteg i scramjetframdrivning. Intresset för scramjets uppmuntrades av tidiga förespråkare av tekniken som Antonio Ferri i USA. De första testerna av scramjets i vindtunnlar utfördes av Jim Swithenbank vid University of Sheffield (England) med början på 1960-talet. Ett brett utbud av scramjets byggdes och testades, vilket bekräftade genomförbarheten av konceptet.

Ram och Scram

I mitten av 1960-talet inledde det amerikanska flygvapnet aerospaceplane-programmet, som var avsett att utveckla ett flygplan från start till omloppsbana med hjälp av scramjetframdrivning. Det gjordes betydande motorutveckling i vindtunnlar upp till Mach 8. Även vid ryska institut gjordes mycket arbete.

Ett experimentellt flygplan X-15 flögs i USA till Mach 6,72 1967, men projektet avslutades 1968 på grund av tekniska problem som särskilt gällde blandning och förbränning. På 1970-talet visade NASA grundläggande scramjetteknik med modeller av hypersoniska (över Mach 6) farkoster i vindtunnel men det hade nu blivit klart att många problem fortfarande behövde lösas.

Provanläggningar var fortfarande knappa och nationell uppmärksamhet var fast inriktad på kapplöpningen till månen så programmet ställdes så småningom in. NASA inledde sedan en mer blygsam insats för att utveckla en scramjetmotor för provning på X-15-flygplanet vid upp till Mach 8. Efter annulleringen av X-15-programmet 1968 var motorprogrammet begränsat till provning av två motormoduler, en strukturell utvärderare och en prestationsutvärderare. Dessa tester utfördes från 1972 till 1974.

Så småningom ledde framsteg inom material, strukturer och andra viktiga teknikområden till ett återuppvaknande intresse för farkoster, som kunde ta sig med ett steg till omloppsbana. Detta intresse kulminerade i ett nationellt program, National Aero Space Plane (NASP) 1986, men detta avbröts också några år senare. En del arbete utfördes också i f.d. Sovjetunionen av Central Institute for Aviation Motors (CIAM), som testade en kombinerad ramjet/scramjet 1992 på toppen av en raket under vilken motorn drevs till Mach 5,5. Samma prov genomfördes några år senare i USA.

Scramjets antas komma att drivas av kryogent väte eller metan i stället för ett flytande kolväte. Den främsta orsaken är att man vill utnyttja den större energin per vikt hos bränslen som har ett högre förhållande mellan väte och kolatomer än vanliga fraktioner av petroleum, även om denna vinst måste vägas mot den högre volymen hos sådana bränslen. Ett annat incitament för att använda ett mycket kallt bränsle är att det kan användas för kylning av motor och flygplan vid de mycket höga hastigheterna.

Scramjetmotorn är därför termodynamiskt enkel men i praktiken kanske det mest komplexa och tekniskt krävande av alla motorkoncept. En scramjet är mycket känslig för intagets, förbränningens och munstyckets effektivitet. Förluster på grund av friktion, stötvågor och blandning särskilt i förbränningen minskar snabbt effektiviteten i motorn. Eftersom avgashastigheten bara är något större än den inkommande friströmshastigheten kommer en liten minskning av tryckåtervinningen eller förbränningens fullständighet sannolikt att omvandla en nettodragkraft till ett litet nettomotstånd. Komponenternas effektivitet är dessutom beroende av den detaljerade fysiken i dåligt förstådda områden som turbulens, stötvågor och gränsskikt.

Scramjets har framgångsrikt testats i laboratorier sedan 1960-talet, men att få dem upp i luften är en annan sak. En av de största utmaningarna med att utforma en scramjet är att undvika att generera överljudsljuds stötvågor inuti motorn. Något så enkelt som att injicera bränsle i en överljudsström blir mycket komplext.

För att hålla temperaturen i brännkammaren på rimliga värden måste dessutom Machtalet i brännkammaren öka med flyghastigheten. Eftersom gaserna då förblir under en kortare tid i brännkammaren, tenderar förbränningen att bli ofullständig vilket kommer att minska effektiviteten.

Scramjetmotorer har en relativt låg specifik dragkraft på grund av den måttliga ökningen av temperatur och tryckförhållande i brännkammaren. Därför krävs ett mycket stort luftflöde för att ge tillräckligt med dragkraft. Följaktligen behöver hela farkostens frontområde, se figur nedan, fungera som intag och hela undersidan av bakkroppen är ett avgasmunstycke. Således upptar motorn ett stort område under farkosten samtidigt som denna måste rymma en stor mängd bränsle, vilket allt ställer stora krav på farkostens utformning.

Teoretiskt räknar man med att en scramjet kan nå upp till cirka mach 24, det vill säga 24 gånger ljudets hastighet eller 25000 km/h och den börjar fungera vid omkring Mach 6. Teoretiskt skulle en sådan farkost kunna ersätta raketer för att lyfta laster till rymden. Fördelen är att man skulle ta syret från luften istället för att bära det med sig. Men det är svårt att konstruera en farkost- och motorgeometri som är aerodynamiskt effektiv över ett mycket stort hastighetsintervall. NASA's X-43A uppnådde Mach 10 i november 2004 efter att ha accelererats av en Pegasus raket till en hastighet där scrammotorn kunde börja fungera. Så vitt känt har man sedan inte gått vidare med programmet.

Superplanen som kom av sig

Flyget har ökat vår förmåga att röra oss runt om i världen oerhört, men långväga resor är fortfarande en ganska tråkig verksamhet, eftersom vi är begränsade till flyghastigheter under den lokala ljudhastigheten. Varje person som har tillbringat tjugo timmar på ett flyg till Australien kan förlåtas för att vilja ha högre hastigheter. Det skulle vara bra om problemet med att möta den ökande efterfrågan på långresor kunde lösas på det sättet.

Concorde

Bristol Aeroplane Company studerade i slutet av 1950-talet och början av 1960-talet ett antal förslag som en del av en stor brittisk insats, som finansierades av regeringen. Detta kulminerade så småningom i typ 223 för cirka hundra passagerare med en hastighet runt Mach 2. Samtidigt utvecklade Aerospatiale i Frankrike sin "Super Caravelle". För att spara kostnaderna kombinerades utvecklingsprojekten, och resultatet blev den engelsk-franska Concorde.

Concorde var det första stora gemensamma europeiska flygprojektet. Den 29 november 1962 undertecknade Storbritannien och Frankrike ett fördrag om att dela kostnader och risker. British Aerospace och det franska företaget Aérospatiale var ansvariga för skrovet, medan Storbritanniens Rolls-Royce och Frankrikes SNECMA (Société Nationale d'Étude et de Construction de Moteurs d'Aviation) utvecklade motorerna. Resultatet blev ett tekniskt mästerverk, den deltavingade Concorde, som gjorde sin första flygning den 2 mars 1969 och sin första transatlantiska överflygning den 26 september 1973. Den invigde världens första reguljära överljudspassagerartrafik den 21 januari 1976.

Concorde, mer än dubbelt så snabb som ljudet med Mach 2,04, gjorde att en typisk London till New York flygning tog mindre än tre och en halv timme i motsats till cirka åtta timmar i underljud. Concordes snabbaste transatlantiska överflygning var den 7 februari 1996 när den gjorde New York till London på 2 timmar 52 minuter och 59 sekunder.

Komponenter för Concorde tillverkades på flera platser i Storbritannien och Frankrike, och det fanns två monteringslinjer, en i Filton och en i Toulouse. Den första brittiska prototypen gjorde sin första flygning från Filton den 9 april 1969, 38 dagar efter den franska prototypen. Totalt byggdes tio i Filton och tio i Frankrike.

Concorde drevs av fyra Rolls-Royce/ SNECMA Olympus 593 motorer. Efterbrännkammare producerade den extra dragkraft, som behövdes för starten och övergången till överljudsfart.

Concorde förlängdes mellan 15 och 25 cm under flygning på grund av uppvärmning av skrovet. Detta målades i en specialutvecklad vit färg för att klara dessa förändringar och för att minska den värme som genererades vid överljudsfart.

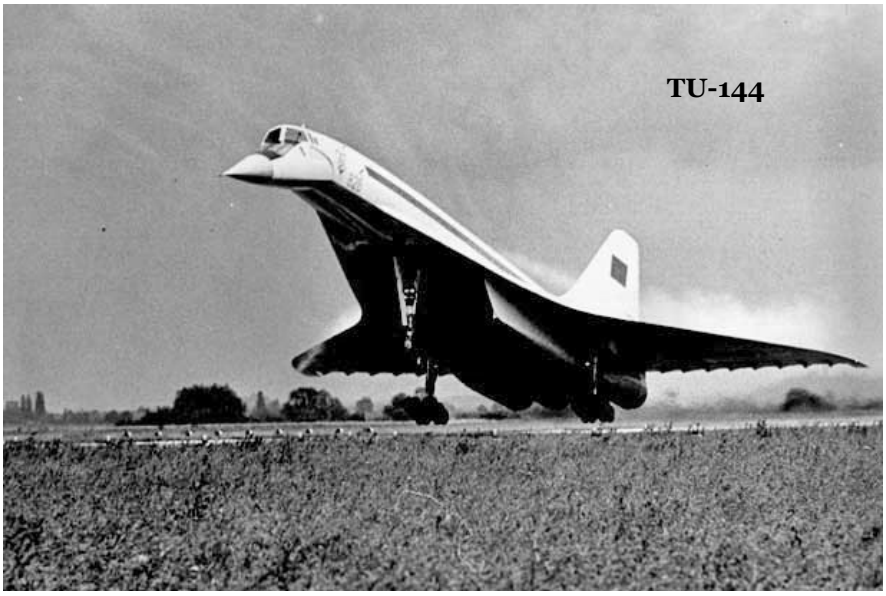
Flygplanets buller- och driftskostnader begränsade dock dess användning. Concordes utvecklingskostnader var så stora att de aldrig kunde återvinnas från verksamheten och flygplanet var aldrig ekonomiskt lönsamt. En annan faktor var dess höga bränsleförbrukning, särskilt i jämförelse med befintliga alternativ som Boeing 747 och 707. Concorde hade en passagerarkapacitet på 100 personer och konsumerade över 89 000 liter bränsle för en transatlantisk flygning medan Boeing 747, med en kapacitet på mer än 400 passagerare, drog omkring 59 000 liter över samma avstånd. Oljekrisen 1977 drev upp de globala oljepriserna till aldrig tidigare skådade nivåer och förvärrade saken ytterligare.

Bullret vid överljudsfart gjorde att den amerikanska kongressen begränsade Concorde till att endast använda Washington Dulles Flygplats och New Yorks John F. Kennedy Airport, vilket hindrade Concorde från att utnyttja de främsta nordatlantiska destinationerna.

En annan viktig händelse, som ökade motståndet mot Concorde, var en olycka i juli 2000, där en Concorde kraschade i Frankrike och alla passagerare och besättningen ombord omkom. Terroristattackerna den 11 september 2001 ledde också till en minskning av antalet flygpassagerare. Den 10 april 2003 tillkännagav British Airways och Air France offentligt att Concorde-verksamheten upphörde. Tjugo Concorde flygplan byggdes, sex för utveckling och 14 för kommersiell service.

Concorde var egentligen inte först. Tupolev Tu-144 var faktiskt det första passagerarplanet som flög mer än dubbelt så fort som ljudet. Dess första flygning kom tre månader innan Concorde. Jämfört med Concorde var Tu-144 mycket större. Den var över 67 m lång - 3,7m längre än sin anglo-franska rival. Den var som Concorde utformad för att flyga på precis över Mach 2 och var och en av de fyra motorerna, med efterbrännkammaren tänd, kunde generera mer än 20 tons dragkraft – 2.7 ton mer än Concordes motorer.

Det är ingen tvekan om att sovjetiskt tänkande på Tu-144 var starkt påverkat av Concorde. Frånvaron av horisontella stjärtfenor var till exempel en radikal avvikelse från tidigare sovjetiska mönster. Men det fanns också många skillnader och flera problem kom snart att plåga Tu-144. Det var ett projekt kanske 10 till 15 år före vad den sovjetiska flygindustrin kunde på den tiden. Två av de viktigaste områdena, där Tu-144 låg efter var bromsar och motorstyrning.



Concorde var ett av de första flygplanen, som hade bromsar av kolfibrer, vilket klarade av den enorma värmen som genererades när flygplanet saktade ner efter landning (Concorde hade en hög landningshastighet med omkring 300 km/h). Ryssarna hade inget liknande. Ett ännu större problem var motorn. Concorde var det första passagerarplanet, där systemet helt kontrollerades av en dator. Det förändrade ständigt luftinloppets form för att säkerställa att motorerna fungerade så effektivt som möjligt. Concorde hade också ett flygkontrollsystem som kunde justera vingformen för att minska motståndet när den flög vid supersoniska hastigheter. Sådana datorstyrda vingar var okända före Concorde - nu har dagens subsoniska flygplan också sådana.

Medan Tu-144 var kraftfullare, krävdes det också mer för att den skulle komma i luften. Tom vägde Tu-144 strax under 100 ton - mer än 20 ton tyngre än en tom Concorde. En del av detta berodde på det enorma landningsstället. Concorde hade två hjul fram och två uppsättningar av fyra hjul under vingarna. Tu-144 hade två på framsidan men tolv under vingarna på grund av att ryska däck var gjorda av syntetgummi och mer benägna att gå sönder (tanken var att om en eller två gick sönder skulle det ändå vara tillräckligt för att klara flygplanets vikt).

Ryssarna kunde inte heller hitta en lösning för att minska bruset inne i passagerarkabinen. Motorerna och luftkonditioneringen, som drog luft från motorinloppen, skapade båda enormt oljud. Luftkonditionering var viktigt - kabinen skulle annars ha blivit farligt varm på grund av värmen, som genererades av luftfriktion på planets utsida. Concorde använde sitt bränsle som ett kylmedium för att hålla temperaturen nere. Då behövde inte så kraftfulla luftkonditioneringsapparater - och det höll ljudet nere på acceptabla nivåer.

Sedan slog katastrofen till vid 1973 Paris Air Show inför all världens press. Tu-144 steg snabbt med motorer på fullt pådrag. Sekunder senare slog planet över och dök in i en närliggande by. Alla sex i besättningen och åtta personer i byn dödades. Det var flera teorier om varför Tu-144 kraschade. Några trodde att piloten hade manövrerat för hårt med låg hastighet, vilket ledde till att planet förlorade lyftkraft. Andra sade att de molniga förhållandena kunde ha förvirrat besättningen. En annan teori var att planet hade måst undvika ett franskt Mirage-stridsflygplan, som flög nära för att ta bilder.

Det tog sedan fram till 1977 för Tu-144 att börja flyga passagerare, men en gång i tjänst verkade det som om planet var mer problem än det var värt. Efter att en modifierad Tu-144 kraschade på en provflygning i juni 1978 slutade Aeroflot använda planet. Det hade flugit endast 102 kommersiella flygningar, och endast 55 av dem hade transporterat passagerare. Concorde flög i jämförelse i mer än 25 år. Tu-144s produktion slutade officiellt år 1982. De 14 återstående Tu-144 hade ett kort sekundärt liv för att utbilda besättningar för den planerade sovjetiska rymdfärjan Buran.

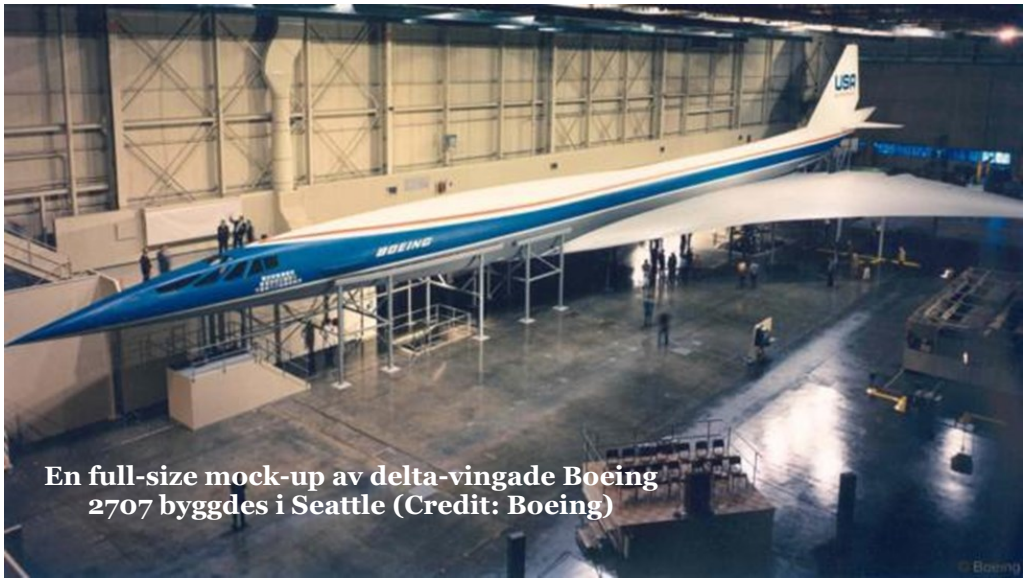
Redan innan Concorde såg amerikanska flygbolag seriöst på genomförbarheten av ett supersoniskt passagerarplan, en supersonisk transport (SST). Ett företag, Douglas Aircraft, gjorde ett koncept 1961 för ett flygplan, som kunde flyga vid tre gånger ljudets hastighet (Mach 3). Douglas trodde inte bara att ett sådant flygplan skulle kunna flyga före 1970, men att det skulle finnas en marknad för hundratals flygplan.

USA: s president John F Kennedy såg Concorde och Tu-144 som en utmaning. Amerika skulle skapa sitt eget överljudsplan ansåg han. Sökandet efter ett supersoniskt flygplan blev nästan lika viktigt för USA som kapplöpningen till månen. Det statligt sponsrade projektet valde mellan två alternativ, ett från flygbolagsjätten Boeing och ett annan från Lockheed.

På 1960-talet var Boeing och Lockheed två av de mest erfarna flygplansproducenterna i världen. Boeing hade revolutionerat flygresor med allt mer pålitliga jetflygplan. Lockheed hade konstruerat det första flygplanet som kunde flyga vid mer än dubbelt så hög hastighet som ljudet, F-104 Starfighter, och arbetade med ännu snabbare militära plan.

Kennedys morot till Lockheed och Boeing var att regeringen skulle ta 75% av kostnaden för programmet om man kunde producera en design som kunde konkurrera med Concorde. Båda företagen hade gjort "papperstudier" på supersoniska pasagerarplan sedan slutet av 1950-talet. De flesta av dessa studier speglade den ryska och europeiska forskningen mot deltavingade flygplan. Raka vingar skapade för mycket motstånd och den triangulära formen hos deltavingar gav en stabilitet som kunde motstå påkänningarna vid hög hastighet - flygplan som den franska Mirage III och den ryska MiG-21 hade redan visat att deltaformen lätt kunde gå till Mach 2 och bortom.

Lockheed valde deltautformningen för sin design, som syftade till att flyga strax under Mach 2 med 270 passagerare. Boeings design skulle kunna flyga på Mach 2.7 med 270 passagerare och man valde vad som kallas "variabel geometri". Vingarna skulle vara raka vid låga hastigheter för att förbättra flygplanets hantering vid start och landning och sedan svänga tillbaka närmare flygplanets kropp vid högre fart. Efter en hel del prov valdes Boeings koncept 2707 ut som vinnare den 1 januari 1967.



En full-size mock-up av delta-vingade Boeing 2707 byggdes i Seattle (Credit: Boeing)

2707-projektet var Boeings största prioritet under slutet av 1960-talet. Men det var allt annat än lätt. Det faktum att 2707 skulle flyga snabbare än Concorde hade stora konsekvenser. Vid sådan hastighet upplever flygplanet enorm uppvärmning - delar av Concorde uppvärms till väl över kokpunkten för vatten. Nosspetsen kan bli 127 C vid Mach 2. Allting från tätningsmedel, till elektriska ledningar till fönstren måste speciellt utformas för värmen.

Nationell stolthet var på spel, men den politiska viljan var inte tillräcklig för att lösa de enorma utmaningarna. Vissa militära flygplan hade redan konstruerats för sådana hastigheter, men de var små, och de hade högst två besättningsmedlemmar. Att skala upp till något som kunde bära nästan 300 personer var en stor utmaning. Problemet Boeing hade var att deras konstruktion innebar en enorm mängd extra vikt. Lagren i vingarna måste vara väldigt tunga, och tyngden blev nästan orimlig.

Även när konstruktörerna övergick till en deltavingeform, kunde de fortfarande inte lösa några av de viktproblem som det innebar att flygplanet drog mycket bränsle. Bränslet var relativt billigt när 2707 konstruerades på 1960-talet, men med lågkonjunkturen 1971 och oljekrisen 1973 började kostnaden för olja att stiga. Ljudbangen, som 2707 skulle skapa när den bröt ljudvallen, var ett annat problem. Beställningarna från flygbolagen smälte bort när det visade sig att miljöhindren skulle begränsa flygplanets användning till att flyga över havet, långt ifrån befolkade områden. Det var därför Concorde bara flög till destinationer på USA: s östkust.

Trots att projektet misslyckades lärde sig Boeing några saker som t ex den superkritiska vingen, som nu används rutinmässigt på moderna flygplan för att begränsa stötvågor och minska motståndet. I USA har man heller inte helt gett upp supersonisk flygning. På 1990-talet började Nasa ett projekt om flera miljarder dollar för att bygga nästa generation av supersoniska flygplan, kallat High Speed Research (HSR). Lockheed hade också ett samarbete med Nasa för att designa ett tystare supersoniskt flygplan, som en dag skulle kunna bära passagerare, projektet High Speed Civil Transport.

High Speed Civil Transport (HSCT) var ett NASA-program för att utveckla den teknik, som behövs för att utforma och bygga ett överljudsplan, som skulle vara miljömässigt acceptabelt och ekonomiskt genomförbart. Flygplanet skulle vara ett framtida överljuds passagerarflygplan, som skulle flyga vid Mach 2.4, eller mer än dubbelt så snabbt som ljudet. Projektet startade 1990 och avslutades 1999, men NASA bedriver fortfarande forskning främst för att minska bullret. Några företag har också projekt på affärsflygplan upp till 55 passagerare, som ska kunna flyga direkt från New York till Sao Paulo eller London till Beijing.

Så varför stannade hastigheten på transportflygplan vid underljudshastighet? Tekniskt sett finns det ju en gräns för jetmotorn så hög som Mach 4. Motoreffektiviteten ökar till och med något med hastigheten, fast inte särskilt mycket över Mach 1.

Men förutom motorns effektivitet är förhållandet mellan lyftkraft och motstånd L/D den viktigaste parametern för flygplan, vilket påverkar viktiga ekonomiska prestanda såsom maximal räckvidd, nyttolast och bränsleförbrukning.

Förhållandet L/D faller snabbt vid högre hastigheter på grund av stötar i överljud. Det börjar lokalt på kroppen av flygplanet även under Mach 1. Redan vid Mach 0,85 börjar L/D att sjunka. För ett Mach 2 flygplan som Concorde är L/D = 7, mindre än hälften av värdet för ett Mach 0.85 flygplan som 747 på L/D=18. För moderna överljudsplan kan L/D förväntas vara ca 10. Detta skulle kunna åstadkommas genom att öka vingens spännvidd, förbättra flygkroppens form och kanske genom laminär flödeskontroll av vinggränsskiktet. Särskilda konfigurationer för flygning på Mach 1,2-1,4 kan kanske ha värden upp till 12 eller mer. Men sådan teknik kan också användas för att öka prestanda i underljud och det är ett säkert antagande att överljudsplan alltid kommer att ha betydligt lägre L / D värden än underljudsplan.

Därför bör vi inte förvänta oss att överljudsflygplan ska bli ekonomiska även inom en mycket avlägsen framtid. Den direkta driftskostnaden per passagerarkilometer för Concorde på 1980-talet var två gånger så hög som för ett underljudsflygplan som 747 och bränslekostnaden var tre gånger så stor. Denna skillnad kommer förmodligen att bestå för framtiden på grund av den lägre L/D för överljudsplan. Dessutom, på grund av sin högre relativa bränsleförbrukning, är ett överljudsflygplan mer känsligt för miljöavgifter och dessa kommer förr eller senare att baseras på hur mycket flygplanet förorenar atmosfären i stället för att tas som landningsavgifter. Troligen kommer därför överljudsflygning i första hand att användas för affärsflygplan, där kunderna är beredda att betala ett högt pris för att komma fram snabbt.

Robotvapnens historia

En robot ibland också kallad missil är ett styrt självgående flygande vapen, som vanligtvis drivs av en jetmotor eller raketmotor. De första markrobotarna utvecklades i Tyskland och sattes in mot Storbritannien under andra världskriget. Senare har utvecklingen letts av Sovjetunionen och USA.

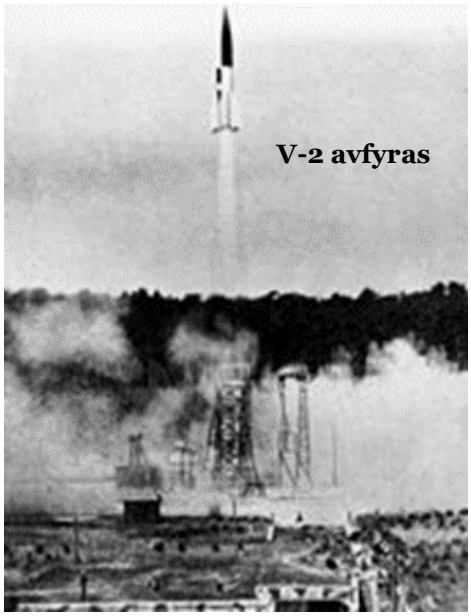
Robotar har fyra systemkomponenter: inriktning el-
ler styrning , flygsystem, motor och stridsspets. De finns i många typer anpassade för olika ändamål: yt-till-yta och luft -till-yta (ballistiska , kryssnings , anti-ship ,anti-tank , etc.), yta-till-luft (och anti-ballistiska), luft-till-luft och anti-satellitvapen .

Den vanligaste motortypen är raketer. Även om det kan verka som om raketen är en modern uppfinning, kom den faktiskt till för över tre årtusenden sedan. Raketer idag kan flyga över hela världen och ut i rymden och bära utrustning, satelliter och bomber, men den första raketen bar en särskilt ovanlig passagerare: en träduva. Denna träduva drevs med ånga längs ledningar i södra Italien omkring 400 f.Kr.

Användningen av ånga som drivmedel varade emellertid inte länge för snart utvecklade kineserna krutdrivna raketer. Dessa enkla raketer fungerade genom att man tände på bamburör fyllda med krut, vilket drev raketen framåt. Dessa vapen utvecklades på 1200-talet för att skjutas genom luften under de kinesiska och mongoliska krigen.

På 1600-talet möjliggjorde en mer avancerad kunskap om fysiken en djupare vetenskaplig utforskning av raketer. Under denna tid resulterade framsteg gjorda av en man vid namn William Congreve i användningen av raketer inom den brittiska militären. Detta var dock vapen för korta distanser och utvecklingen av kanonen gjorde dem snart onödiga.

Först fram på 1900-talet återkom raketvapnen. Den första ballistiska roboten var V-2-raketen, som skapades i Nazi-Tyskland under andra världskriget. Den uppfanns av Walter Dornberger och Wernher von Braun och användes första gången 1944 för att attackera London. Fram till slutet av kriget i Europa sköts över 3000 V-2 raketer mot de allierade städerna. Ett decennium senare hade Sovjetunionen och USA med hjälp av tillfångatagna tyska tekniker utformat interkontinentala ballistiska robotar (ICBM), som kunde nå andra sidan världen.



En "ballistisk" robot måste styras under korta perioder av sin flygning, men den följer främst en ballistisk flygväg. Detta innebär att dess bana påverkas mest av gravitationen. Ballistiska robotar är utformade för att lanseras i så hög vinkel att de lämnar atmosfären innan de återvänder till jorden. Även V-2-raketer nådde randen av rymden.

Det som gjorde V-2-raketen annorlunda än tidigare robotar var att den använde ett flytande bränsle. Raketer som använder fast bränsle, som krut, måste för förbränningen dra in en stor mängd syre från luften runt dem. Istället innehöll V-2 en tank med mycket kallt, flytande syre för att bränna bränslet. Vätskan som brändes var en blandning av alkohol och vatten.

När andra världskriget var nära sitt slut i Europa, överlämnade sig Wernher von Braun och Walter Dornberger till USA: s militär. Andra ingenjörer som arbetade på V-2-konstruktionen infångades och fördes till USA och Sovjetunionen. Många delar till V-2 samlades också in.

Wernher von Braun, Walter Dornberger och många andra togs till USA i ett uppdrag som hette Operation Paperclip. De sattes i arbete på att utforma robotar och raketer, inklusive dem som kom att användas för NASAs rymdprogram.

Missilernas historia

Utvecklingen av den ursprungliga tyska V-2 möjliggjorde skapandet av många andra militära robotar, även om dessa vanligtvis är mycket större än den tidigare V-2. Idag används och utvecklas fortfarande raketer kontinuerligt för att utkämpa krig och förstöra mål av intresse.

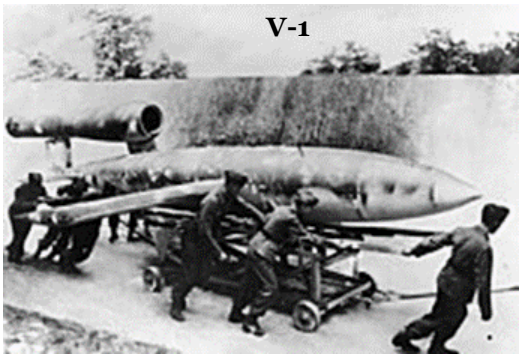
Ballistiska robotar används till stor del för landattacker. Även om de normalt är förknippade med kärnvapen, är vissa konventionellt beväpnade ballistiska robotar i tjänst, såsom MGM-140 ATACMS .

V2 visade att en ballistisk robot kunde leverera en stridsspets till ett mål utan att kunna hindras och införandet av kärnvapen innebar att den kunde vålla stor skada, när den kom fram. Dessa systems noggrannhet var ganska dålig, men efter hand förbättrades det grundläggande tröghetsnavigeringssystemet till en punkt där det kunde användas för styrning av interkontinentala ballistiska robotar över tusentals kilometer.

Idag representerar den ballistiska roboten den enda strategiska avskräckningen i de flesta militära styrkor även om vissa ballistiska robotar är anpassade för konventionella roller, såsom det ryska Nder eller den kinesiska DF-21D anti-ship roboten.

Ballistiska robotar lanseras främst från silos, men också från mobila enheter som fartyg eller ubåtar. Även luftlansering är teoretiskt möjligt som var fallet med amerikanska Skybolt, som var en flygburen ballistisk robot som började utvecklas i slutet på 1950-talet. Tekniska problem i kombination med att andra robotsystem togs i tjänst gjorde att projektet lades ner 1962.

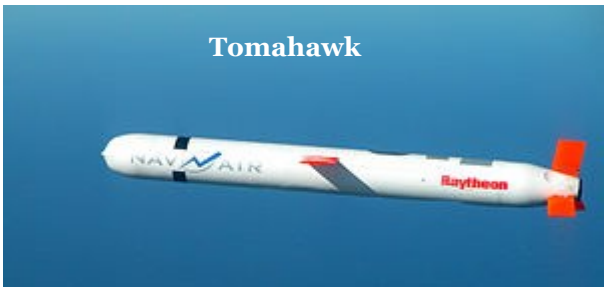
Till skillnad från ballistiska robotar färdas en kryssningsrobot mot sitt mål på låg höjd, oftast med hög hastighet och navigerar på vägen dit. De första kryssningsrobotarna, som användes operationellt, utvecklades av Nazi-Tyskland under andra världskriget . Mest känd av dessa var den flygande bomben V-1, som drevs av en pulsjetmotor och använde en mekanisk autopilot för att hålla sig längs en förut vald rutt. Mindre välkända var en serie anti-ship- och anti-flygplansrobotar, vanligtvis baserad på ett enkelt radiokontrollsystem för operatören. Dessa tidiga system under andra världskriget byggdes dock bara i litet antal.



Kryssningsrobotar kan bäras av fartyg eller flygplan, eller avfyras från marken, och förekommer både försedda med konventionell laddning och som massförstörelsevapen såsom kärnvapen. Utmärkande för de flesta kryssningsrobotar är lång räckvidd, så lång att de avfyras när målet inte är i sikte. De kan därför inte enbart använda en målsökare för att träffa rätt, vilket förklarar varför någon form av navigering är nödvändig. Om kryssningsroboten fälls från ett flygplan fäller den ut vingarna, startar motorn och stabiliserar sin flykt på en förinställd höjd över underlaget. Denna höjd är normalt något hundratal meter och följs sedan under hela färden.

V1 bekämpades framgångsrikt under andra världskriget , men det gjorde inte konceptet helt värdelöst. Efter kriget satte USA ut ett litet antal kärnvapenbärande fartygsbaserade kryssningsrobotar i Tyskland, men dessa ansågs vara av begränsad användbarhet.

Fortsatt forskning om mycket längre och snabbare versioner ledde till USA: s SM-64 Navaho och sovjetiska motsvarigheter som kryssningsraketerna Burya och Buran. Dessa blev emellertid till stor del föråldrade vid införandet av de interkontinentala ballistiska robotarna (ICBM) och ingen användes operationellt. Kryssningsrobotar för kortare distanser har däremot blivit allmänt använda som mycket noggranna attacksystem, till exempel USA Tomahawk och ryska Kh-55 .



Kryssningsrobotar kan vara både subsoniska och supersoniska. Supersoniska vapen som BrahMos (Indien) är svåra att skjuta ner, medan subsoniska vapen tenderar att vara mycket lättare och billigare så att de kan skjutas iväg i större antal.

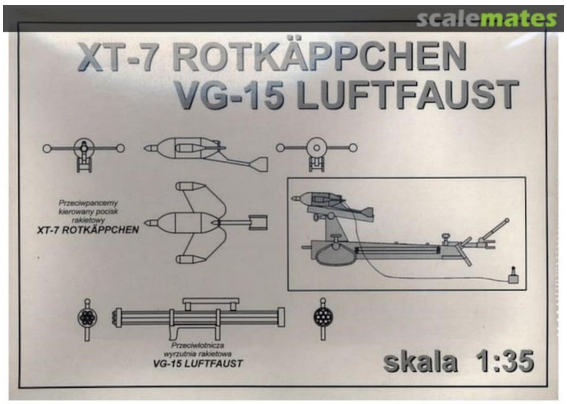
Kryssningsrobotar är generellt förknippade med landattacker, men har också en viktig roll som anti-ship vapen. De är främst lanserade från luft-, havs- eller ubåtsplattformar i båda rollerna även om det finns landbaserade lanseringar.

Ett stort tyskt utvecklingsprojekt under andra världskriget var anti-ship-robotar som Fritz X och Henschel Hs 293, som var avsedda att stoppa varje försök till en invasion över Engelska Kanalen. Efter kriget utvecklades dessa vapen mot sjöfarten långsamt, men blev en viktig klass på 1960-talet med introduktionen av de lågflygande jet- eller raketdrivna kryssningsrobotarna. Dessa blev berömda under Falklandskriget när en argentinsk Exocet-robot sänkte ett fartyg från Royal Navy.

Ett antal anti-ubåtsrobotar finns också. Dessa används i allmänhet för att leverera ett annat vapensystem såsom en torped eller djupladdning till platsen för ubåten.

Missilernas historia

I slutet av andra världskriget hade alla styrkor i stor utsträckning infört ostyrda raketer med högexplosiva stridsspetsar som sitt viktigaste vapen mot stridsvagnar, så kallade Panzerfaust eller Bazookas. Dessa hade emellertid ett begränsat användningsområde på hundra meter eller så. Tyskarna utökade detta med användning av trådstyrning i X -7 Rotkäppchen, den första antistridsvagnsroboten.



Efter kriget utvecklades detta under 1950 och 1960-talet till praktiskt taget det enda antistridsvagnsvapnet i allmänt bruk. Under Yom Kippur-kriget 1973 mellan Israel och Egypten, visade sig den sovjetiska bärbara Malyutka 9M14 (aka "Sagger") ha stor verkan mot israeliska stridsvagnar. Andra styrsystem har testats, men den grundläggande tillförlitligheten hos trådstyrning har gjort att detta kommit att förbli det primära sättet att styra antistridsvagnsrobotar. Sådana robotar kan lanseras från flygplan, fordon eller av mark trupper.

År 1944 sände amerikanska och brittiska flygstyrkor enorma flygflottor över det ockuperade Europa, vilket ökade trycket på Luftwaffe. Erfarenheter visade att det var ganska svårt att förstöra ett stort flygplan och tyskarna investerade stora ansträngningar i luft-till-luft robotsystem för att göra detta. Deras Messerschmitt Me 262 : s jetplan bar ofta R4M-raketer, och andra typer av "bombardödande" plan hade också styrda raketer.

Under efterkrigstiden fungerade R4M som mönster för ett antal liknande system, som användes av nästan alla under 1940- och 1950-talet. De flesta raketer (med undantag för amerikanska AIR-2 Genie på grund av dess kärnvapenhuvud med en stor sprängradie) måste försiktigt riktas in på relativt nära håll för att nå målet framgångsrikt.

Den amerikanska marinen och det amerikanska flygvapnet började använda styrda robotar i början av 1950-talet. Mest känd var US Navy AIM-9 Sidewinder och USAF: s AIM-4 Falcon. Dessa system har fortsatt att utvecklas för modernt luftkrig. I Falklandskriget kunde brittiska Harrierplan besegra snabbare argentinska motståndare med AIM-9L-robotar från USA.

De senaste värmesökande konstruktionerna kan låsas på ett mål från olika vinklar, inte bara bakifrån, där värmesignaturen från motorerna är starkast. Andra typer är beroende av radarstyrning. Luft-till-luft-robotar har också ett brett spektrum av storlekar, allt från helikopterlanserade självförsvarsvapen med ett område på några kilometer, till långväga vapen designade för avlyssningsflygplan som R-37.

Under kriget försökte tyskarna också få ett användbart markbaserat antiflygplansystem i drift. Flera system var under utveckling, men ingen nådde operativ status. Den amerikanska marinen startade också forskning för att hantera det japanska Kamikaze-hotet. Under 1950-talet började system baserade på denna tidiga forskning nå operativ tjänst, inklusive amerikanska arméns MIM-3 Nike Ajax och marinens '3T s' samt den sovjetiska S-25 Berkut och S-75 Dvina och franska och brittiska system. Antiflygvapen finns för praktiskt taget alla möjliga lanseringsplattformar från ubåtar till manövrerbara dragbara landburna system.

Under 1950- och 1960-talet började man i Sovjet arbeta med ett antisatellitvapen, kallad Istrebitel Sputnik , som bokstavligen betyder "fångar upp satelliter" eller "satellitförstörare". Efter en lång utvecklingsprocess på ungefär tjugo år beslutades slutligen att utprovningen av Istrebitel Sputnik skulle avbrytas. Det var då USA började testa sina egna system. Brilliant Pebbles försvarssystem under 1980-talet skulle ha använt kollisioner där kinetisk energi ersatte sprängämnen. Antisatellitvapen kan lanseras antingen av ett flygplan eller en ytplattform. Hittills har endast ett fåtal kända prov utförts. Endast fyra länder - USA, Indien, Ryssland och Kina antas ha operativa antisatellitvapen.

Smygflygplan

Stealth är en komplex designfilosofi för att minska förmågan hos en motståndares sensorer att upptäcka, spåra och attackera ett flygplan. Smygflygplan är utformade för att undvika upptäckt med hjälp av en mängd tekniker som minskar reflektion eller emission av radar, infrarött och synligt ljus, radiofrekvens och ljud, gemensamt känt som stealth-teknik .

Tanken är inte ny. Under första världskriget experimenterade tyskarna med användning av Cellon (Cellulosaacetat), ett transparent täckmaterial, i ett försök att minska synligheten för militära flygplan. Enstaka exempel är Fokker E.III Eindecker monoplan, Albatros CI -ett tvåsitsigt spaningsplan och Linke-Hofmann RI- ett experimentellt bombplan.

Det var ingen större framgång. I själva verket gjorde solglimtar från täckningen att flygplanen blev ännu mer synliga. Det visade sig också att materialet snabbt försämrades både av solljus och temperaturförändringar under flygning så försöket att göra smygflygplan fortsatte inte.

Engelsmännen försökte också. År 1916 ändrade man ett litet luftskepp för att nattetid flygspana över tyska linjer på västfronten . Utrustat med en tyst motor och ett svart hölje var farkosten både osynlig och onåbar från marken, men nattflygen över tyskt territorium gav lite upplysningar så projektet lades ner.

Nästan tre decennier senare under andra världskriget, när radarn hade uppfunnits, gjordes mer allvarliga försök till "osynlighet". Horten Ho 229 flygande vinge var ett fighter-bombplan, som utvecklades i Nazityskland under de sista åren av kriget. Förutom flygplanets form, som i sig gav låg radarsignatur, var större delen av Ho 229:s kropp av trä sammanfogad med kolimpregnerade plywoodhartser i avsikt att absorbera radarvågor. Prov utförda i början av 2009 av Northrop-Grumman konstaterade att detta tillsammans med flygplanets form, skulle ha gjort Ho 229 praktiskt taget osynligt för Storbritanniens tidiga varningsradar förutsatt att planet färdades i hög hastighet (ungefär 900 km/h) på extremt låg höjd (15–30 m). Planet fick dock aldrig någon större användning innan kriget slutade.

Utvecklingen av stealth-teknik började alltså på allvar på 1940-talet, men det var inte förrän på 1950-talet som man faktiskt började ta hänsyn till ett flygplans radarsignatur. U-2, spionplanet, som byggdes på 1950-talen av Lockheed Aircraft Company, var tänkt att vara ”osynligt” genom att flyga på mycket hög höjd, men de första U-2:orna, som flög över sovjetiskt territorium upptäcktes ändå omedelbart.

Detta föranledde amerikanerna att hitta andra sätt att minska radarsignaturen för flygplanet. Dessa inkluderade fina trådnät som var gjutna över planet och trådar sträckta från nosen till stjärten täckta med en färg som innehöll järn. Men ingen av dessa ansträngningar minskade flygplanets radarsignatur särskilt mycket. Istället satsade man på hög hastighet i SR71, som ersatte U2.

Moderna stealth-flygplan blev först möjliga när Denys Overholser, en matematiker på Lockheed under 1970-talet, tog upp en matematisk modell utvecklad av Petr Ufimtsev , en sovjetisk forskare, för att utveckla ett datorprogram, som gjorde det möjligt att förutsäga radarsignaturen hos ett flygplan tillverkat med platta paneler, kallade fasetter.

År 1975 fann Lockheed Skunk Works ingenjörer att ett flygplan med sådana facettytor hade en anmärkningsvärt låg radarsignatur eftersom ytorna strålade bort nästan all radarenergi från mottagaren. För första gången var det möjligt att göra ett flygplan som var praktiskt taget osynligt för radar.

I början av 1977 fick Lockheed ett kontrakt för att bygga och testa två modeller i liten skala av ett smygande flygplan känt som Have Blue. Lockheeds plan såg ut som en låg pyramid med vingar och två stjärtar vinklade inåt. När det placerades på en hög stolpe utomhus och en radar pekade på det var det praktiskt taget osynligt. Lockheeds ingenjörer utvecklade snart Have Blue till ett större bombplanflygplan med beteckningen F117.

Smygflygplan historia

Tidiga stealth-flygplan designades med fokus på minimalt radartvärsnitt (RCS) snarare än aerodynamisk prestanda. Stealth-flygplan som F-117 Nighthawk är aerodynamiskt instabila i alla tre axlarna och kräver ständiga flygkorrigeringar från ett fly-by-wire system för att upprätthålla kontrollerad flygning. I B-2 Spirit, ett bombplan, som togs i bruk 1989, möjliggjorde detta ett stabilt flygplan utan vertikal stjärt.

Den första användningen i strid av stealth-flygplan var i december 1989 under Operation Just Cause i Panama. Då bombade två amerikanska F-117 en panamansk kasern i Rio Hato. År 1991 användes också F-117 för att attackera de mest förstärkta målen i Irak under öppningsfasen av Operation Desert Storm.

I NATO-bombningen 1999 av Jugoslavien användes två F-117 Nighthawk, och den nyinförda B-2 Spirit strategiska stealth-bombaren. F-117 utförde sin vanliga roll att slå mål med högt värde med precision även om en F-117 sköts ner av en serbisk missil. Under detta krig flög B-2 direkt till Kosovo från sin hemmabas i Missouri och tillbaka. Den då nya B-2 var mycket framgångsrik och förstörde 33% av utvalda serbiska bombmål under de första åtta veckorna av kriget.

Vid invasionen av Irak 2003 användes F-117 Nighthawks och B-2 Spirits . F-117 släppte satellitstyrda vapen på utvalda mål, med hög framgång och det var sista gången F-117 skulle slåss. B-2 Spirits genomförde 49 uppdrag under invasionen och användes också i militärinsatserna 2011 i Libyen.

Tidiga stealth-flygplan som F-117 och B-2 saknade efterbrännkammare i motorn, eftersom de heta avgaserna skulle öka deras infraröda signatur. Att flyga snabbare än ljudet skulle också ge luftstötar och ytvärme på flygplanet, vilket skulle öka den infraröda signaturen. Deras manövrerbarhet kunde därför aldrig matcha prestandan hos ett vanligt flygplan.

Nyare tekniker möjliggör emellertid en stealthy design som F-22 utan att kompromissa med aerodynamiska prestanda. F-22 gjorde sin stridsdebut över Syrien i september 2014 som en del av den USA-ledda koalitionen för att besegra ISIS .

F-22 har utformats för att dölja infraröda utsläpp och göra det svårare att upptäcka för värmesökande missiler. Man talar också om att göra flygplanet mindre synligt för blotta ögat samt att kontrollera radiosändningar och brusreducering.

En mängd olika tekniker kan kombineras, t.ex. "flygande vinge"-design, radarabsorberande material och elektroniska motåtgärder. Motorerna är begravda i flygkroppen med luftintag och avgaskanaler placerade på toppen av flygplanet. Detta minskar värmespåret och döljer jetmotorns kompressorblad från radardetektering. Inloppen till jetmotorerna är täckta med fina skärmar för att förhindra att radarenergi når turbinernas yta. För att undvika värmedetektorer leds avgaserna genom långa smala kanaler fodrade med värmeabsorberande material så att de kyls ner innan de lämnar planet.

Denna ”passiva” teknik kombineras vanligtvis med ”aktiva” åtgärder som att noggrant planera alla uppdragsmanövrer för att minimera flygplanets radarsignatur. Hårda svängar kan mer än fördubbla denna.

Lockheed Martin F-35 Lightning II eller Joint Strike Fighter (JSF) är ett femte generationens stridsflygplan, med smygteknik. Planet är avsett att fungera som multirollflygplan det vill säga kunna lösa både attack-, spanings- och jaktuppdrag.

F-35 användes för första gången i strid 2018 då Israel genomförde ett antal uppdrag i Syrien och till och med infiltrerade iranska luftrummet utan upptäckt.

USA använder nu F-22 Raptor , B-2 Spirit och F-35 Lightning II för att utföra olika operationer.

Smygflygplan historia

Stealth-flygplan flygs även av Ryssland och Kina.
Kina började flygprova Chengdu J-20 stealth multiroll flygplan runt 2011 och flygplanet togs i bruk 2017. En annan femte generationens stealth multirole fighter FC-31 är också under utprovning.

Den ryska Sukhoi Su-57 stealth multi-roll fighter introducerades 2019 för att utföra olika uppdrag.

Även om inga flygplan är helt osynliga för radar, gör stealth-flygplan det svårare för konventionell radar att upptäcka eller spåra flygplanet, vilket ökar oddsen att framgångsrikt undvika upptäckt.

Stealth-flygplan kommer att fortsätta spela en värdefull roll i luftstriden. Nyare stealth-flygplan, som F-22, F-35 och Su-57, har prestandaegenskaper som uppfyller eller överträffar de vanliga flygplanen på grund av framsteg inom teknik som flygkontrollsystem, motorer, konstruktion av flygplan och material.

Naturligtvis försöker man också utveckla motmedel. Stealth är en kombination av passiva lågobservativa funktioner och aktiva sändare med låg sannolikhet för att fånga radar , radiovågor och laser. Det åstadkoms genom att använda en komplex designfilosofi för att hindra motståndarens sensorer att upptäcka, spåra eller attackera stealth-flygplanet.

Denna filosofi tar också hänsyn till värme, ljud och andra utsläpp från flygplanet eftersom dessa också kan användas för att lokalisera det. Det finns sensorer som gjorts för att minska påverkan av nuvarande tekniker med låg observerbar teknik eller har föreslagits såsom IRST-system (infraröd sökning och spår) för att upptäcka ännu minskade värmeutsläpp, långvåglängdsradar för att motverka stealthformning och RAM fokuserat på kortare våglängdsradar eller radarinställningar med flera emittrar för att motverka utformning av stealth. Men dessa innebär nackdelar jämfört med traditionell radar mot icke-stealth flygplan.

Den höga datoriseringen och den stora mängden elektronisk utrustning som finns i stealth-flygplan påstås ofta göra dem sårbara för passiv detektion. Detta är högst osannolikt och säkerligen är system som Tamara och Kolchuga , som ofta beskrivs som anti-stealth-radar, inte utformade för att upptäcka avvikande elektromagnetiska fält av denna typ. Sådana system är utformade för att upptäcka avsiktliga, höga effektutsläpp som radar och kommunikationssignaler. Stealth-flygplan används medvetet för att undvika eller minska sådana utsläpp.

Aktuella radarvarningsmottagare letar efter de regelbundna pingarna av energi från mekaniskt svepande radar medan femte generationens jetkämpar använder låg sannolikhet för att avlyssna radar utan regelbundet repetitionsmönster.

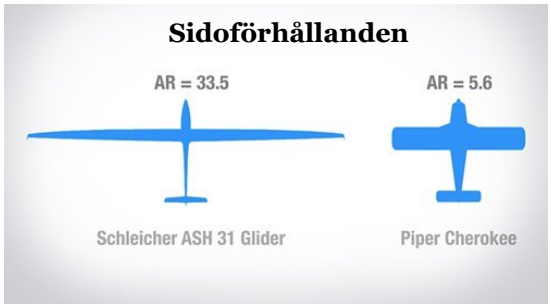
Stealth-stridsflygplan i full storlek flygs av USA sedan 1977, Ryssland 2010 och Kina 2011 och ett antal andra länder utvecklar sina egna. Det finns också andra flygplan med reducerad detekterbarhet, antingen oavsiktligt eller som en sekundär funktion. Under operationen i maj 2011 för att döda Osama bin Laden kraschade till exempel en av helikoptrarna. Från vraket avslöjades att denna helikopter hade stealth-egenskaper, vilket gjorde detta till den första offentligt kända operativa användningen av en stealth-helikopter .

Historien om variabla vingar

Den traditionella stela strukturen hos ett flygplan har inneburit att dess vingar inte kan fungera med sin fulla effektivitet i olika skeden av flygningen. Man har därför varierat formen på ett flygplan och dess vingar beroende på deras avsedda användning.
Bio-inspired - Aerospace America
(PDF) A Review of Morphing Wing - ResearchGate
Shape shifters - Royal Aeronautical Society

Sedan starten av flyget har man strävat efter att skapa en i stort sett stel struktur som kan motstå påfrestningarna vid flygning, inklusive sådana faktorer som hög hastighet, ogynnsamt väder och höga och låga temperaturer. Flygplanskonstruktioner är också så lätta som möjligt för att maximera hastighet, räckvidd och bränsleeffektivitet.

Formen på ett flygplans vingar påverkar dess prestanda. Vingformer definieras ofta av sidoförhållandet, vingspannet dividerat med medelvärdet av kordan (avståndet mellan fram- och bakkant). Flygplan med stort sidoförhållande har bra räckvidd och bränsleeffektivitet men är långsammare och mindre manövrerbara. Flygplan med lågt sidoförhållande är snabbare och mer manövrerbara men har mer aerodynamiskt motstånd.



Till exempel har långsamma segelflygplan långa tunna vingar medan stridsflygplan har korta avsmalnande vingar för snabb flygning. Dessutom måste flygplan också kunna starta, landa och manövrera och därför har de rörliga kontrollytor i roder och vingar samt klaffar eller lameller för att ändra vingarnas geometri.

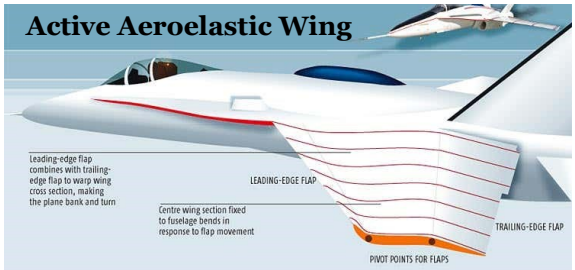
När fåglar är i luften sträcker de ut sina vingar för att minska luftmotståndet och hålla sig högt – på liknande sätt som ett segelflygplan, som försöker öka lyftet och minska motståndet. När fåglar vill röra sig snabbare stänger de sina vingar – som rovfåglar gör i ett attackdyk för att fånga bytesdjur.

Det skulle finnas många fördelar om flygplan kunde efterlikna fåglarna och ändra sin vingform i olika flygstadier. Adaptiva eller ”morphing” vingar kunde ge en betydande ökning av prestanda, inklusive bränslebesparing, längre räckvidd och minskat buller. Olika vingformer kan också hjälpa flygplan att flyga mer effektivt vid förändringar i vikt och viktfördelning, t ex på grund av att bränsle förbrukas under flygningen.

Formbara vingar är ingen ny idé. Den ursprungliga bröderna Wright Flyer 1 från 1903 styrdes med hjälp av vajrar och remskivor som kontrollerades av piloten, vilket böjde och vred vingarna av trä och duk. Det har också funnits exempel på "polymorfa" flygplan, inklusive Westland Pterodactyl IV från 1931 och ett ryskt jaktplan IS-1 från 1940, som kunde byta från en biplanskonfiguration till ett snabbare monoplan.

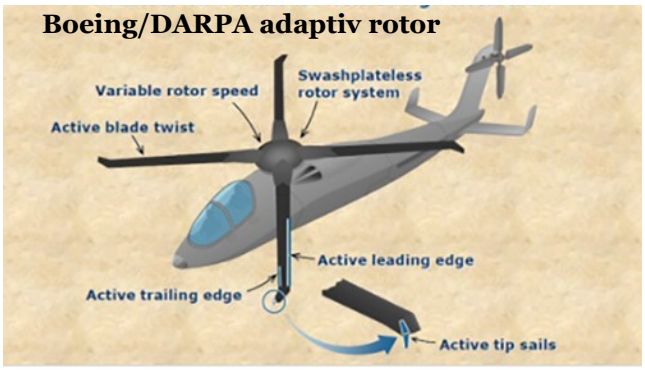
Ett antal militära stridsflygplan har utrustats med vingar med variabelt svep i syfte att maximera prestanda vid både låga och höga hastigheter. De inkluderar General Dynamics F-111, Grumman F-14 Tomcat, Panavia Tornado, Sukhoi Su-22 och Su-24, Mikoyan Mig-23, Tupolev Tu-160 Blackjack, samt Rockwell B-1 Lancer bombplan. Även om variabelt svep kan ge många fördelar, särskilt vad gäller startsträcka och lastbärande förmåga, så medför det också ett avsevärd straff i vikt och komplexitet.

På 1980-talet genomförde Rockwell programmet Active Flexible Wing (AFW) som anpassade konventionella kontrollytor för att användas som aerodynamiska klaffar för att kontrollera vingens aeroelastiska vridning, vilket gjorde det möjligt för flygplanet att operera bortom det dynamiska trycket där konventionella skevroder börjar användas. AFW följdes av forskningsprogrammet Active Aeroelastic Wing (AAW), finansierat av US Air Force och NASA mellan 1996-2005 som använde AFW-teknik på en modifierad F/A-18.



Sådana smarta strukturer är ingen ny idé. En DARPA-artikel publicerad 1993 om smarta flygplansstrukturer konstaterade att idén om smarta material och strukturer går tillbaka till koncept som publicerades av Henry Clauser 1968.

Ingenjörer från USAF Research Laboratory och NASA:s Armstrong Flight Research Center i Kalifornien flög 22 forskningsflygningar mellan 2012 och 2014 med hjälp av ACTE-flygkontrollytor (Adaptive Compliant Trailing Edge) monterade på ett Gulfstream III-provflygplan, som kunde ändras till ett brett spektrum av positioner och vinklar under flygning och erbjöd betydande effektivitetsförbättringar jämfört med konventionella flygplansklaffar.



Traditionella klaffar skapar luckor mellan framkanten, sidorna av klaffarna och vingytan när de sänks. En böjbar vingkonfiguration ger en nivå av kontroll över hur och var vingen reagerar på vindbyar. Denna konstruktion kan avsevärt minska en stor källa till skrovbuller, vilket gör start och landning tystare.

De senaste åren har också sett utvecklingen av flygfarkoster, som är designade för att ändra form under olika faser av flygningen. Många konstruktioner inom den nya generationen av "flygande taxi" för urban luftmobilitet kan förvandlas från roterande vinge under start och landning till fast vinge under flygning.

Morphing-teknologi har också tillämpats på flygplan med roterande vingar. Helikopterbladen utsätts för ett komplext flödesfält där varje sektion av rotorbladet möter olika inkommande flödeshastigheter. Precis som med fasta vingar har ingenjörer varit tvungna att kompromissa mellan olika optimala lösningar för olika flygförhållanden och designa bladet med en förbyggd vridning för att kompensera för detta.

Helikoptrar har försetts med rotorer med variabel diameter, som använder centrifugalkraft för att öka rotorns spännvidd med rotorhastigheten. Tilt-rotor-konstruktioner har motorer, som kan rotera i olika vinklar, vilket gör det möjligt för flygplan att både starta och landa vertikalt och att flyga vertikalt. Kordan på en fast flygplansvinge kan ändras med hjälp av främre eller bakre kantklaffar, men den smala bredden på ett helikopterblad gör detta svårt, eftersom sådana mekanismer lägger till vikt och komplexitet.

Under 2009 genomförde DARPA forskning om Mission Adaptive Rotor (MAR) för att designa en rotor som kan ändra sin konfiguration mellan ett uppdrag och även under flygning. Projektet identifierade en rad sätt att omkonfigurera rotorn under flygning, inklusive varierande bladdiameter, svep och korda, spetsformer, varierande bladvridning, spetshastighet, styvhet och dämpning. Målet var att öka rotorfarkosternas nyttolast med 30 % och räckvidden med 40 % samtidigt som bullret minskade med 50 % och vibrationerna med 90 % jämfört med rotorer med fast geometri.

Morphing-tekniker har också tillämpats på inloppssystemen för jetmotorn på F-15-jaktplanen. Projektet bestod av mark- och vindtunnelprov av en F-15 med ett fast geometriinlopp där luften, som kommer in i motorn varierar under olika flygförhållanden som hastighet, höjd, anfallsvinkel och motorluftflöde. Vid låga hastigheter, såsom start, är det önskvärt att ha stora inlopp med trubbiga läppar för att tillåta höga luftflöden i inloppet utan flödesseparering. Vid marschhastigheter ger skarpare inloppsläppar mindre motstånd. Vid överljudshastigheter måste luftflödet bromsas från överljuds- till underljudshastighet, vilket resulterar i en förlust av tryck och dragkraft. F-15 var utrustad med inlopp med variabel geometri som förbättrade prestandan under en rad förhållanden men dess mekaniska komplexitet ökade vikt och kostnad.

De senaste åren har sett ett förnyat intresse för flygplanskonstruktioner, som kan ändra form med hjälp av konventionell teknik. Att öka vingbredden minskar luftmotståndet på vingen, vilket kan möjliggöra ökningar av ett flygplans räckvidd. Det finns dock ett problem eftersom ett längre spann är mer utsatt för vingrotsböjning och vingen måste vara tillräckligt stark och flexibel för att motstå de ökade krafter den utsätts för. En stor vinge kommer inte heller att ha samma strukturella styvhet som en liten vinge.

Det har också förekommit svårigheter med försök att vrida och deformera vingar. Vingar på högpresterande flygplan är medvetet styvare än de i långsammare flygplan, eftersom för mycket flexibilitet kan orsaka negativ aeroelastisk vridning, som försämrar kontrollen vid höga aerodynamiska tryck. Modifierande versioner av sådana flygplan måste ha en struktur som inte bara är svårare att böja utan som också är tillräckligt stark för att motstå de extra belastningarna och påfrestningarna. På grund av detta, förutom för variabelt svep, har de flesta formbara vingmorphing -applikationer begränsats till lätt belastade, relativt låga hastigheter.

Jetpaket

Ett jetpaket , raketbälte eller raketpaket , bärs på ryggen och använder strålar av gas eller vätska för att driva bäraren genom luften. Idén har funnits i science fiction i nästan ett sekel men slog igenom på 1960-talet. Verkliga jetpaket har utvecklats, men deras användning är mycket mer begränsad än deras fiktiva motsvarigheter på grund av utmaningarna i jordens atmosfär, tyngdkraften, den låga energitätheten hos användbara bränslen och att människokroppen inte passar för flygning. De har dock använts av astronauter vid arbete I rymden.

Begreppet jetpack, jetpaket, dök upp i populärkulturen, särskilt science fiction, långt innan tekniken blev praktisk. I romanen ”The Point of the Fired Firs” 1896 nämns en "dimformad" man, som svävar lågt med ett paket på ryggen och som "fladdrar bort som ett löv, som vinden tar med sig".

I en science fiction-roman med titeln "The Skylark of Space" 1928 ser författaren Edward E. Smith en framtid i rymden, där människan upptäcker ett nytt verktyg, som gör att hon kan flyga. Denna vision ses på omslaget till tidskriften "Amazing Stories" från augusti 1928, som också innehåller verk av HG Wells. Det blev en inspiration för framtida jetpack-baserad flygning.

Några år efter The Skylark of Space tog en jetpaketdriven hjälte sig in på film i form av "Rocket Man". En forskare skapade en raketryggsäck med jacka och hjälm för att hjälpa honom att slåss mot den onda skurken Dr. Vulcan. ”Escapades of the Rocket Man” släpptes i tolv avsnitt 1949 och skulle fortsätta inspirera kommande generationer.

Ett jetpaket gör att användaren kan flyga genom en dragkraft riktad nedåt. Den måste räcka för att övervinna vikten hos användaren, själva jetpaketet och dess bränsle. Fri flygning kräver att allt bränsle ska transporteras i paketet. Detta begränsar den maximala flygtiden till några minuter, snarare än den ihållande flygning som förekommer i science fiction.

Det första paketet utvecklades 1919 av den ryske uppfinnaren Alexander F. Andreev. Han fick patent, men uppenbarligen byggdes det aldrig eller provades. Det var syre- och- metandrivet (mest sannolikt en raket) med vingar som var ungefär en meter långa.

Under åren efter andra världskriget arbetade Thomas T. Moore tillsammans med Werhner von Braun på raketer för personlig flygning. Med en liten summa finansiering från armén lyckades Moore skapa en fungerande proto-

typ som kallades "Jetvest" och flög den för första gången 1952, men bara i några sekunder. Tyvärr drogs medlen in kort därefter och projektet måste överges.

Justin Capră hävdade att han uppfann en "flygande ryggsäck" i Rumänien 1956, och utan att väcka något intresse informerade han den amerikanska ambassaden om sin idé. År 1962 skapades dock en ryggsäck på Bell Laboratories efter Justin Capräs prototyp. Den finns nu i ett museum någonstans.

USA: s armé började undersöka tekniken för raketpaket 1949 i Redstone Arsenal i Alabama. Ordnance Rocket Center i Redstone var byrån som ansvarade för programmet. Deras mål var en ryggburen enhet, som kunde lyfta en soldat upp i luften. En sådan som kallades Jumpbelt demonstrerades 1958 men det var inte förrän Bell Rocket Belt på 1960-talet, som idén blev verklighet. Den var utvecklad för den amerikanska armén, som hade hittat olika användningsområden som spaning , korsning av floder, amfibisk landning, åtkomst till branta bergssluttningar etc. Konceptet fick namnet "Small Rocket Lift Device ", SRLD.

Rocket Belt uppstod alltså ur ett amerikanskt arméprojekt som syftade till att få soldater att kunna hoppa över små avstånd och röra sig i snabbare hastighet. 1958 demonstrerades hoppbältet vid Fort Benning och gjorde det möjligt för en person att kunna hoppa sex meter upp i luften och springa hundra meter på bara nio sekunder.

1960 presenterades ”Bell Rocketbelt” för allmänheten. Gasstrålen tillhandahölls av en väteperoxiddriven raket, men strålen kunde också drivas av en turbojetmotor , en kanalfläkt eller andra typer av raketer med fast eller flytande bränsle eller komprimerad gas (vanligtvis kväve). Detta är den äldsta kända typen av fungerande jetpaket.

På 1960-talet kolliderade fiktion och verklighet när Bell Aerosystems "Rocket Belt" användes av James Bond i filmen Thunderball. Efter att Bond mördat Jacques Bouvar använder han

där ett jetpaket för att fly med en kort flygning över tornen på ett slott. Det var en fantastisk användning av ett jetpaket, som tände massorna, men själva raketbältet hade faktiskt en mycket begränsad användning eftersom det bara var kapabelt till cirka 21 sekunders flygning. Detta tidiga jetpaketprojekt avbröts också snart på grund av de skyhöga kostnaderna.

Jetpack

En väteperoxidmotor är baserad på nedbrytningsreaktionen av väteperoxid. Nästan ren (90% i Bell Rocket Belt) väteperoxid används. Den är relativt stabil, men i kontakt med en katalysator (till exempel silver) sönderdelas den i en blandning av överhettad ånga och syre på mindre än 1/10 millisekunder och ökar i volym 5000 gånger. Den stora nackdelen är den begränsade driftstiden. För närvarande kan sådana raketbälten bara flyga i cirka 30 sekunder (på grund av den begränsade mängden bränsle som användaren kan bära utan hjälp).

År 1965 fick därför Bell Aerosystems ett nytt kontrakt med Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) för att utveckla ett jetpaket med en turbojetmotor istället. Detta projekt kallades "Jet Flying Belt", eller helt enkelt "Jet Belt". Den flög 1968.

Bell fortsatte sedan med att utveckla ett jetpaket med en liten Williams WR19 turbofläkt för framdrivning. Williams Research Corporation (nu Williams International) designade och byggde en ny turbojetmotor enligt Bells specifikationer 1969. Den kallades WR19, hade en nominell dragkraft på 1 900 newton och vägde 31 kg. Jetbältet flög första gången den 7 april 1969 vid Niagara Falls Municipal Airport. Piloten Robert Courter flög cirka hundra meter i en cirkel på en höjd av sju meter och nådde en hastighet på 45 km/h. Följande flygningar var längre, upp till fem minuter. Teoretiskt sett kunde detta nya paket flyga i 25 minuter med hastigheter upp till 135 km/h.

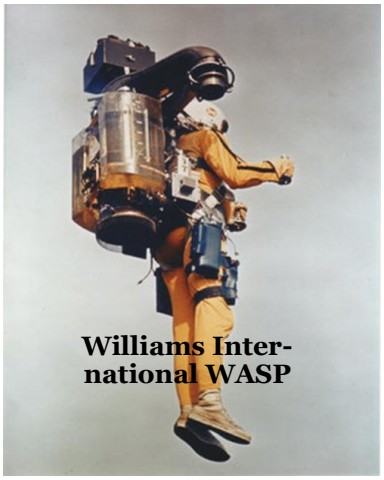
Trots dessa framgångsrika prov förlorade den amerikanska armén intresset. Förpackningen var komplex att underhålla och för tung. Att landa med vikten på ryggen var farligt för piloten och förlusten av ett turbinblad kunde ha varit dödlig. Alltså förblev Bell Jet Flying Belt en experimentell modell. Företaget sålde teknik och patent till Williams International. Paketet finns nu i Williams företagsmuseum.

"Jetbältet" använde en liten turbofläktmotor, som monterades vertikalt med luftintaget nedåt. Fotogenbränsle lagrades i tankar bredvid motorn. Insugsluften delades i två flöden. Det ena flödet gick in i brännkammaren, det andra flödet gick förbi motorn och blandades sedan med de varma turbingaserna, kylde dem och skyddade piloten från de höga temperaturerna.

I motorns övre del delades avgaserna i två rör, som ledde till munstyckena. Munstyckenas konstruktion gjorde det möjligt att flytta strålen till vilken sida som helst. Manövrering skedde genom att röra munstyckena. Genom spakar kunde piloten flytta strålarna på båda munstyckena framåt, bakåt eller i sidled. Piloten roterade åt vänster/höger genom att vrida det vänstra handtaget. Det högra handtaget styrde motorns dragkraft.

Jetmotorn startades med hjälp av en krutpatron. Under testningen av denna startmotor användes en mobil starter på en specialvagn. Det fanns instrument för att styra motorns dragkraft och en bärbar radio för att ansluta och överföra telemetridata till markbaserade ingenjörer. På toppen av förpackningen fanns en vanlig hjälpfallskärm, som var användbar på höjder över tjugo meter.

Bell Aerosystems Company fortsatte att bygga olika modeller av jetpaket under följande år och Bell Pogo-systemet testades under åren 1967 till 1969. Det utvecklades ursprungligen för NASA under Apollo-projektet för att tillåta astronauter att röra sig på månen, men NASA bestämde sig till slut för att Rover-bilen var ett säkrare alternativ.



Williams International WASP

Williams International fortsatte också med jetpaket. X-Jet, även känd som "The Flying Pulpit" eller "WASP", var ett lättviktigt vertikalt start- och landningssystem (VTOL), som använde en modifierad flygmotor. Denna design gjorde det möjligt för användaren att lyfta och landa med lätthet samt röra sig i höga hastigheter (upp till 60 km / h), sväva och rotera på sin axel. X-Jet kunde också flyga i cirka 45 minuter vilket gjorde den till en av de bästa personliga flygfarkosterna för sin tid. En förbättrad Williams X-jet flög 1980 men övergavs.

Men tanken levde vidare. Jetpaket skulle fortsätta att populariseras på film och inom science fiction och 1982 bevisade Rocketeer, en då populär serietidningsserie, att den också hade funnit sin väg till videospel och filmer.

Personlig flygning har inte heller alltid handlat om jetpaket. Under åren har det funnits många olika tekniker, som alla varit avsedda att hjälpa människor att ta sig till himlen. Även om dessa transportformer kan ha sitt ursprung i science fiction, är deras science faktiskt också ganska intressant.

1954 skapades HZ-1 Aerocycle för den amerikanska armén som en enmans "personlig helikopter" som var avsedd att flygas av infanterister som spaningsfarkost. Den kom aldrig till slagfältet eftersom ett antal krascher orsakade att projektet övergavs. Designen var dock ganska intressant. HZ-1 Aerocycle kunde nå hastigheter på 75 km/h med en 20 km räckvidd och ett flygtak på 1500 meter. Flygningen var tänkt att pågå i upp till 40 minuter efter bara 20 minuters träning.

Jetpack

Hiller VZ-1 Pawnee var en annan design av personligt flygfordon som använde rotorer. Det var unikt på många sätt, inte minst riktningskontrollen genom skiftande av kroppsvikt. Det ursprungliga konceptet för denna design började på 1940-talet men skulle inte flyga förrän 1955. Olika prototyper skapades men sattes aldrig i full produktion.

Raketpaket kan också vara användbara för rymdpromenader . Eftersom mycket lägre kraft behövs för att flytta sig i rymden än i atmosfären i jordens gravitation, så är säkerhet och temperatur mycket mer hanterbara.

1984 lanserade NASA en jetpaketteknologi i form av Manned Maneuvering Unit, MMU. Detta nya system gjorde det möjligt för astronauten Bruce McCandless att våga sig hundra meter bort från sitt skepp, längre än någon astronaut före honom. Men MMU används ändå bara i nödfall.

Vid den här tidpunkten upphörde allvarlig industriell utveckling av jetpaket. Nästan alla jetpaket sedan dess har skapats av amatöruppfinnare eller oberoende företag, och de används främst för offentliga demonstrationer vid spännande shower eller för stuntscener i filmer.

Ett utmärkt exempel på detta är Rocketman. Det finns faktiskt inte en enda person som kallas Rocketman, utan det är snarare en franchise, som arbetar över hela världen och ger demonstrationer av ett raketbälte baserat på Bell Aerosystems-modellen. Rocketman kan hyras för reklamarbete och filmstuntarbete, inklusive anpassad reklam och speciella föreställningar.

Powerhouse Productions tillverkar den 30 sekunders flygande Rocketbelt och organiserar Rocketbelt-föreställningar. Sedan 1983 har Powerhouse Productions utfört flygningar i över fyrtio länder som vid karnevalen i Rio. Powerhouse Productions Rocketbelt användes av Michael Jackson på hans Dangerous World Tour och imponerade utan tvekan på publiken med farliga flygningar över scenen.

Tecaeromex Rocket Belt släpptes 2006 och presenterades av företaget som en helt skräddarsydd Rocket Belt-design, som kunde byggas i en mängd olika layouter och med olika alternativ för att möta användarens behov. Detta inkluderade olika raketmotorer för att ta hänsyn till pilotens vikt och storlek. Det var kanske första gången som allmänheten kunde få ett egen jetpaket om de hade råd med ett.

Jetpaket används av diverse äventyrare. Den 25 oktober 2005 i Lahtis i Finland hoppade Visa Parviainen från en luftballong i en wingsuit med två små turbojetmotorer fästa vid fötterna. Varje turbojet gav cirka 160 N dragkraft och gick på fotogen (Jet A-1). Parviainen uppnådde uppenbarligen cirka 30 sekunders horisontell flygning utan någon märkbar höjdförlust.

Den schweiziska militärutbildade piloten och jetpack-entusiasten Yves Rossy blev " Jetman " 2006 när han flög med en jetmotordriven dräkt. Detta jetpaket var bara en av en serie experimentella sådana, som Yves Rossy hade utvecklat och byggt själv. Hans dräkt har styva kolfibervingar som spänner ca 2,4 m och fyra små fotogenbrännande Jetcat P400 jetmotorer, som är versioner av en typ konstruerad för flygplansmodeller. Han bär en värmebeständig dräkt, som liknar en brandmans eller tävlingsförares för att skydda honom från jetstrålens avgaser och som ytterligare skydd har motorerna en värmesköld av kolfiber runt avgasröret.

Efter att ha lyfts av ett flygplan tänder han motorerna precis innan han lämnar planet med vingarna vikta. Vingarna fälls ut i fritt fall, och han kan sedan flyga vågrätt i flera minuter och landa med hjälp av en fallskärm . Systemet sägs av Rossy vara mycket lyhört och reaktivt under flygning, men han måste noggrant kontrollera huvud-, arm- och benrörelser för att undvika en okontrollerad roll.

I händelse av en roll kan vingenheten lossas från piloten, och pilot- och vinge sjunka ner till jorden separat, var och en med en fallskärm. Motorerna på vingen måste justeras exakt under installationen för att förhindra instabilitet. Ett elektroniskt startsystem säkerställer att alla fyra motorerna tänds samtidigt.

Den 26 september 2008 flög Yves Rossy framgångsrikt över den engelska kanalen från Calais till Dover på 9 minuter och 7 sekunder. Hans hastighet nådde 300 km/h. Sedan dess har han - i flera flygningar lyckats flyga i en formation med tre militära jetflygplan och korsa Grand Canyon, men misslyckats med att flyga över Gibraltarsund.

Med en liten budget och stora drömmar gick tyske Fritz Unger och hans vänner in på att bygga sin egen jetdrivna bevingade dräkt kallad "Skyflash". Inspirerad av Yves Rossys "Jetman" wingsuit, var Skyflash avsedd att bli bättre genom att tillåta en markstart snarare än att behöva släppas från ett flygplan. Skyflash hade styva vingar på cirka 3,4 m vingbredd och två turbojets drivna med dieselbränsle. Den kan starta från marken med fyra underredshjul på framsidan av bröstet och buken.

Den 3 november 2015 demonstrerade Jetpack Aviation sin JB-9 i New York framför Frihetsgudinnan. JB-9 bär 4,5 kg fotogenbränsle som driver två vektoriserade AMT Nike-jetmotorer i upp till tio minuter beroende på pilotens vikt. Stigningshastigheten börjar med 150 m per minut men fördubblas när bränslet förbränns. Hastigheten för denna modell har begränsats till 100 km/h, men prototypen JB-10 sägs flyga med över 200 km/h.

Detta är ett riktigt jetpaket. Det mesta av volymen är bränsletanken, med dubbla turbojetmotorer monterade på vardera sidan. Styrsystemet är identiskt med Bell Rocket Belt. Jetpack Aviations jetpaket är unikt på flera sätt, inte minst har det godkännande för offentlig flygning av amerikanska Federal Aviation Administration (FAA). JB-9 jetpack har använts för privata evenemang, militära och industriella kontrakt osv.

År 2018 satte den brittiske uppfinnaren Richard Browning ett nytt Guinness-världsrekord. Med en jetdräkt med Gravity Industries jetpaket lyckades han uppnå en hastighet på över 32 km/h över vattnet i Lagoona Park i Reading, Storbritannien. Denna personliga flygdräkt är förmodligen det närmaste någon har kommit till Iron Man-liknande flygning med handledsmonterade jetmotorer. Gravity-flygdräkten har en exoskelettdesign som möjliggör vertikal start och säker höghastighetsflygning.

Flyboard Air , uppfunnen av Franky Zapata , tillåter flygning upp till 3000 meter och har en toppfart på 150 km / h. Zapata deltog med sin uppfinning under militärparaden för Bastiljdagen 2019 . Han försökte också korsa den engelska kanalen och lyckades under det andra försöket den 4 augusti 2019. Denna speciella innovation drivs av fem små jetmotorer fästa på en platta på vilken piloten står.

2000-talet har sett en ny typ av jetpaket där vatten används för framdrivningen. Flera olika så kallade ”hydrojet -pack” har testats och tagits i produktion. En signifikant egenskap med hydrojets är att de kan manövreras både under vattenytan och ovanför den. Från och med 2013 är många företag med uthyrning av hydrojetpaket verksamma på olika platser runt om i världen.

JetLev var det första hydrojetpaketet på marknaden och tilldelades det första patentet 2008. JetLev ser ut som ett typiskt jetpaket med två munstycken på en ryggsäck, men till skillnad från konventionella jetpaket använder det en framdrivning med vatten. Detta innebär att Jetlev kan leverera stora mängder styrbar kraft mycket mer effektivt än traditionella gasdrivna motorer. Naturligtvis är användningen begränsad, men Jetlev-designen ger allmänheten tillgång till en jetpaketupplevelse som annars sannolikt skulle vara utom räckhåll för dem. Brandmän i vissa delar av världen använder Jet-Lev för att bekämpa bränder.

Varför har utvecklingen av jetpack gått så långsamt? Bränsleviktsfrågan har kraftigt begränsat nyttan av jetpaket. Trettio sekunder flygtid räcker inte för att göra något annat än att leta efter en bra plats att landa. Det andra stora problemet med jetpaket är säkerhet. Att fästa en raket eller jetmotor på ryggen är i sig farligt. Den sista problemet med jetmotorer är ett som de flesta inte tänker på när de fantiserar om att sväva smidigt genom luften: buller. Om du någonsin har varit nära en jetmotor eller en stor raket när den går, vet du att de är otroligt högljudda.

En av de tidigt föreslagna militära användningsområdena för jetpaket var för spaning; Men så snart den amerikanska armén insåg att en soldat, som spanade med jetpack, skulle höras av fienden flera mil bort, så visste de att det aldrig skulle fungera.

Det visar sig helt enkelt att det inte finns mycket användning för jetpaket. Alla användningar av ett jetpaket kan åstadkommas med en mycket billigare och mer pålitlig teknik. Det är inte särskilt effektivt att transportera en enda person med flyg och att flyga är mycket svårt - piloten måste navigera i tre dimensioner, och en människa som bär en raket är inte en särskilt stabil flygplattform. Jetpaket lär nog få nöja sig med att bli just en del av nöjesindustrin.

Atomflygets historia

Under det kalla kriget undersökte USA och Sovjetunionen kärnkraftsdrivna bombplan. Den större uthålligheten troddes kunna förbättra kärnkraftsavskräckningen, men det blev aldrig några operativa flygplan. Ett otillräckligt löst problem var behovet av tung avskärmning för att skydda besättningen och de på marken från strålningen. Ett annat problem var hanteringen av haverier. Interkontinentala robotar och atomubåtar minskade också i hög grad den strategiska fördelen med sådana flygplan.

I maj 1946 startade amerikanska arméns flygstyrkor projektet Nuclear Energy for the Propulsion of Aircraft (NEPA), som genomförde studier tills ett annat program, Aircraft Nuclear Propulsion (ANP), ersatte NEPA år 1951. ANP planerade att modifiera två flygplan B-36 under projektet. Ett av dem, NB-36H, användes för att studera skärmningskrav för en luftburen reaktor, medan det andra skulle vara operativt. Programmet avbröts dock 1961 innan det andra flygplanet byggdes.

Det enda amerikanska flygplanet, som hade en kärnreaktor ombord var därför NB-36H. Den 5 september 1951 beviljade USAF Convair ett kontrakt för att flyga en kärnreaktor ombord på NB-36H. Avsikten var att avgöra om ett nukleärt flygplan var genomförbart. Detta är det enda kända luftburna reaktorexperimentet i USA med en operativ kärnreaktor. Reaktorn var dock aldrig ansluten till motorerna eftersom det primära syftet med flygprogrammet var avskärmningen. Man flög totalt 47 gånger och testade reaktorn över västra Texas och södra New Mexico. Baserat på resultaten övergavs hela programmet 1961.Den totala kostnaden 1946 till 1961 var cirka en miljard dollar.

ANP-programmet innehöll studier av två olika typer av kärnkraftsdrivna jetmotorer: General Electrics Direct Air Cycle och Pratt & Whitneys Indirect Air Cycle. Avsikten var att göra en jetmotor som skulle värma luft med atomklyvning istället för brinnande bränsle.

Kärnkraftsmotorer med direktcykel liknade en konventionell jetmotor men utan brännkammare. Luften från kompressorn leddes in i reaktorkärnan, kylde denna och värmdes upp. Den gick sedan genom en turbin för drivning av kompressorn och ut genom ett munstycke för att ge dragkraft.

General Electric-programmet i Evendale, Ohio använde konventionella jetmotorkomponenter och den första operationen av en kärnkraftsflygmotor ägde rum den 31 januari 1956 med en modifierad General Electric J47 turbojetmotor. General Electric använde först en reaktor känd som värmeöverförings-reaktorförsök 1 (HTRE-1), som använde vertikalt orienterade styrstavar och som konfigurerades om med en borttagbar kärna för att bli HTRE-2. Senare byggdes också en HTRE-3 för att testa horisontellt orienterade styrstavar som ansågs lämpligare för användning i flygplan.

Indirekt cykel innebar att trycksatt vatten eller flytande metall skulle gå genom reaktorn för att sedan värma upp kompressorluften i en värmeväxlare. Programmet drevs av Pratt & Whitney vid en anläggning nära Middletown, Connecticut. Detta koncept skulle ha producerat mycket mindre radioaktiv förorening, men omfattade en hel del forskning och utveckling av många lättviktssystem för användning i flygplan, såsom värmeväxlare, turbopumpar med flytande metall och radiatorer. Programmet kom heller aldrig i närheten av att producera flygande hårdvara.

Den 5 februari 1957 gjordes i alla fall en reaktor kritisk vid Oak Ridge National Laboratory. Den kallades PWAR-1, Pratt och Whitney Aircraft Reactor-1. Syftet var att experimentellt verifiera de teoretiskt förutsagda egenskaperna hos en PWAC-reaktor. Experimentet blev kort, i slutet av februari 1957 hade all information tagits och demonteringen börjat. Experimentet kördes med väsentligen noll kärnkraft. Arbetstemperaturen hölls vid för jetmotorer låga 675 ° C beroende på konstruktionstemperaturen för PWAR-l-reaktorn.

De amerikanska projekten innehöll inte bara jetmotorer. År 1957 avtalade flygvapnet och USA: s atomenergikommission Lawrence Radiation Laboratory att undersöka genomförbarheten av att applicera värme från kärnreaktorer på ramjet-motorer. Denna forskning blev känd som Project Pluto. Målet för detta program var att tillhandahålla motorer för en obemannad kryssningsmissil, kallad SLAM, för Supersonic Low Altitude Missile. Programmet lyckades åstadkomma två testmotorer som kördes på marken. Den 14 maj 1961 kördes världens första kärnkraftsramjetmotor, "Tory-IIA", monterad på en järnvägsvagn, men bara i några sekunder. Den 1 juli 1964, sju år och sex månader efter att det föddes, avbröts "Project Pluto".

Det fanns också flera studier och förslag på kärnkraftsdrivna luftskepp. Det började med en studie 1954 av FW Locke Jr för US Navy. År 1957 publicerade Edwin J. Kirschner boken ”Zeppelin in the Atomic Age”, som propagerade för användningen av atomluftskepp och 1959 presenterade Goodyear en plan för kärnkraftsdrivna luftskepp för både militärt och kommersiellt bruk. Flera andra förslag och artiklar publicerades under de kommande decennierna, men inga realiserades.

Atomflygplan

I slutet av 1940-talet, när det kalla kriget hettade till, började också Sovjetunionen forska om kärnreaktorer för att driva flygplan och 1955 gick vissa grupper inom flygindustrin samman i denna forskning. Tupolev och Myasishchev utsågs att utveckla och producera flera flygplan avsedda att drivas av kärnkraft medan Kuznetsov och Lyulka fick i uppdrag att utveckla motorerna.

Flera typer av kärnkraftsdrivna motorer provades, ramjet, turboprop och turbojet, med olika mekanismer för överföring av kärnkraftsgenererad termisk energi. Efter omfattande experiment drog de sovjetiska ingenjörerna slutsatsen att turbojetmotorn med direkt cykel erbjöd det bästa alternativet.

Att skydda besättningen och minska storleken och vikten på reaktorerna för att passa i ett flygplan blev det viktigaste tekniska hindret i projektet. Tupolev, med vetskap om komplexiteten i den uppgiften, uppskattade att det skulle dröja två decennier innan programmet kunde producera en fungerande prototyp. De antog att det första operativa kärnkraftsdrivna flygplanet kunde flyga i slutet av 1970-talet eller början av 1980-talet. Den första fasen var emellertid att designa och prova en liten kärnreaktor och det arbetet tog fart i slutet av 1955.

För att få erfarenhet av operativa problem beställde Sovjetunionens ministerråd i mars 1956 ett flygande testbäddsplan så snart som möjligt. Tupolev bestämde sig för att ta ett befintligt Tu-95M-bombplan och använda det som laboratorium. Det kallades Tupolev Tu-95LAL och var en modifierad Tu-95M försedd med en liten forskningsreaktor i bombutrymmet, vilket krävde en modifiering av flygkroppen med en utbuktning på ovansidan. Reaktorn drev aldrig planet, utan det drevs med konventionella motorer, men prototypen visade att planet förmådde lyfta med en reaktor och att reaktorn fungerade under flygning. Dessutom studerades olika utformningar av strålskärmning för att skydda både personal och tekniska system. Under 1961 gjorde planet 34 flygningar, de flesta med reaktorn avstängd.

Resultaten var lovande. Strålningsnivåerna var så låga i besättningskabinen att man började konstruera ett nytt flygplan Tupolev Tu-119 som i grund och botten var ett modifierat Tupolev Tu-95. Den stora skillnaden var att två av dess fyra motorer, de inre, skulle vara nya NK14a turboprops med värmeväxlare. NK14a fungerade mycket likt motorer med direkt cykel, men efter att ha passerat genom kompressorn gick inte luften till reaktorn utan till en värmeväxlare. Samtidigt transporterades värmen som alstrades av reaktorn i en vätska till värmeväxlaren. Det var alltså egentligen en indirekt cykel som Pratt&Whitneys. Förmodligen hade man kommit fram till att denna indirekta cykel gav bättre strålskärmning.

Tu-119 var och förblev endast ett experiment, och någon serietillverkning påbörjades aldrig då svårigheterna med strålskärmning och prestanda var betydande. Samtidigt övertogs den tänkta uppgiften för planen att vara i luften långa tider som kärnvapenavskräckning av andra vapensystem som till exempel interkontinentala robotar. Utvecklingen fortsatte dock på ritbordet fram till 1966.

Ett annat kärnkraftsdrivet flygplansprojekt startades av

Myasishchev sommaren 1955. Det var en supersonisk bombare med kodnamnet M-60, som skulle använda en Lyulka motor med direkt cykel. Flygplanet skulle starta och landa på ett kemiskt blandningsbränsle och när den önskade höjden uppnåtts skulle kärnkraftssystemet aktiveras. Besättningen skulle placeras i mitten av flygkroppen i en helt sluten, blyavskärmad kabin. Reaktorn var placerad på flygplanets baksida för att erbjuda ytterligare skydd. Kärnkrafts/jetmotorerna skulle placeras sida vid sida i flygkroppen. Senare introducerades en svept vingvariant med båda motorerna placerade under vingarna, men program M-60 kom aldrig ur planeringsfasen.

Annulleringen av dessa projekt innebar dock inte att Sovjetunionen avslutade sin forskning om ett kärnkraftsdrivet flygplan. Flera försök gjordes att utforma ett kärnkraftsdrivet, supersoniskt bombplan, projekt Tu-120. Flygplanet skulle utrustas med två turbojetmotorer under utveckling av Kuznetsov. Reaktorn skulle installeras nära planets bakre del, så långt från kabinen som möjligt. Besättningen skulle vara innesluten i en kraftig avskärmningskabin av bly. Det skulle ha en konventionell aerodynamisk konfiguration med en högmonterad 45 grader svept vinge och ett trehjuligt landningsställ. Tupolevs mål var att nå testfasen för Tu-120 i slutet av 1970-talet, men programmet avslutades av samma skäl som Tu-119.

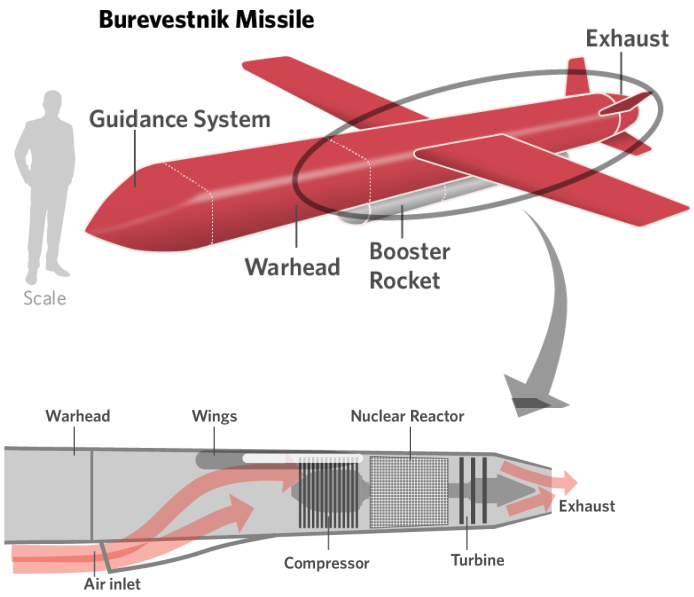
Nästa försök av Tupolev var flygplanet Tu-132. Det skulle ha rymt reaktorn och två turbojetmotor i bakkroppen av flygplanet. Motorerna skulle utformas för att fungera med kärnkraft, men med konventionell fotogen för start- och landning. Bränslet skulle förvaras i en tank installerad framför reaktorn. Som med Tu-120 skulle Tu-132 ha haft en konventionell konfiguration med kabinen återigen starkt skärmad. Det skulle ha varit ett deltavingeplan, men som med de andra projekten avbröts Tu-132 i mitten av 1960-talet pga budget- och framför allt tekniska svårigheter.

Ett sista försök gjordes av Tupolev med ett supersoniskt, långväga bombplan konstruerat för att konkurrera med Convairs B-58 Hustler, men den här gången kom flygplanet inte ens till ritbordet. I slutet av 1960-talet beslutade Sovjetunionen att överge ytterligare forskning om kärnkraftsdrivna flygplan.

Klart är att man under sovjettiden byggde upp ett avsevärt kunnande, som man skulle kunna dra nytta av i andra projekt. Sovjetunionen och senare Ryssland har varit osäkra sedan 1980-talet i vilken utsträckning deras kärnvapenarsenal skulle klara mötet med USAs anti-ballistiska missiler. Man har därför försökt utveckla vapen som skulle flyga under den ballistiska vapenskölden.

Atomflygplan

I februari 2018 hävdade den ryske presidenten Vladimir Putin att Ryssland hade utvecklat en ny, kärnkraftsdriven kryssningsmissil med kärnvapenhuvud som kunde undvika luft- och missilförsvar och träffa vilken punkt som helst i världen. Den skulle kunna bära kärnvapen eller konventionella vapen vart som helst på jorden och undvika robotförsvar under vägen. Den skulle även kunna kretsa runt omkring världen i flera dagar, om det behövdes.



Stratfor , en amerikansk geopolitisk underrättelseplattform, antar att denna missil, kallad Burevestnik, använder en turbojetmotor och en vätskedriven startraket. Kärnreaktorn driver en elektrisk motor som i sin tur driver en turbin och en kompressor som trycker in luft i reaktorn och hindrar denna från att överhettas. Kärnreaktorn tar över först sedan roboten getts tillräcklig hastighet av en vätskeraketmotor.

Det som kännetecknar Burevestnik är dess obegränsade räckvidd. Samtidigt är dess syfte något liknande USA: s långväga kryssningsmissiler Tomahawk, förutom att deras maximala räckvidd är begränsad till 2 500 km.

Dess förmåga att uppnå praktiskt taget vilken som helst räckvidd kommer att kombineras med en lika häpnadsväckande obegränsad förmåga att manövrera. Det kommer att göra missilen extremt svår att spåra medan den penetrerar fiendens försvar. Om vapnet kommer i full drift kommer Moskva att kunna lansera missiler från det asiatiska fastlandet, programmera dem att korsa Stilla havet, gå runt Sydamerika och tränga in i amerikanska luftrummet från Mexikanska golfen.

Kärnkraftsframdrivning, i en eller annan form, är en verklighet och forskare dammar regelbundet av tanken på kärnkraftsdrivning för oändlig uthållighet. År 2014 avslöjade NASA studier av framdrivningssystem och flygplanskoncept med kärnreaktioner med låg energi, ibland kallad kallfusion och Lockheed Martins Skunk Works arbetar för att utveckla en kompakt fusionsreaktor som är tillräckligt liten för att driva ett C-5-flygplan.

Fördelarna med atomdrivna flygplan speglar atomubåtarnas. Atomubåtar behöver inte komma upp för att tanka och kärnvapenflygplan skulle inte behöva landa. Överljudsflygning runt världen skulle bli möjlig. Idén om ett kärnvapendrivet bombplan är en strategisk dröm för militären. Det skulle kunna stanna uppe i dagar och nå ett antal mål i hela världen.

Men kärnkraften har visat sig komma med sina egna problem. USA tillbringade sexton år med försök till ingen nytta. Sovjetunionen mötte samma problem.

Reaktorn måste vara tillräckligt liten för att få plats på ett flygplan, vilket innebär att den släpper ut mycket mer värme än en vanlig. Värmen riskerar att smälta reaktorn och planet tillsammans med den och störta en radioaktiv klump av flytande metall mot jorden.

Problemet med att skydda piloterna från reaktorns strålning har visat sig vara ännu svårare. Vad skall man med ett plan som dödar sina egna piloter?

För att skydda besättningen mot radioaktivitet behöver reaktorn tjocka och tunga lager av avskärmning. Men för att lyfta behöver planet vara så lätt som möjligt. Tillräcklig avskärmning verkar oförenlig med flygning även om den vikt som sparas av att inte behöva något bränsle i viss mån kompenserar reaktorn och dess avskärmning.

Nu finns det andra sätt att använda kärnkraft än för framdrivning av flygplan. Ett skulle vara att använda de avancerade små modulära reaktorerna, som nu är under utveckling, för att generera elektrisk kraft på flygbaser eller flygplatser. Dessa mobila mikroreaktorer kan användas för att ladda batterierna i elektriska flygplan.

Man skulle också kunna använda den elektriska kraften från en sådan reaktor för att generera väte genom elektrolysering av vatten och sedan kombinera detta med koldioxid som fångas från atmosfären för att producera flytande bränslen som ersättning för dagens fossila jetbränsle. Bl a Rolls-Royce har studerat sådana system.

I rymden kan kärnkraften också ha en roll. NASA utvecklar en obemannad farkost för att utforska Saturnus måne Titan driven av en radioisotopisk termoelektrisk generator. Kärnkraftsdrivna raketer skulle också kunna förkorta restiden till Mars.

“Flygande tefat”-en gammal historia

Det vi kallar ”flygande tefat” är inget nytt. Människor har sett och stött på oidentifierade flygande föremål i årtusenden. Det enda som har förändrats är hur människor har tolkat dessa oförklarliga händelser. I sin bok 2010: *Wonders in the sky* analyserar den franske ingenjören och astronomen Jacques Vallee 500 historiska rapporter om flygfenomen. Se också: *https://www.britannica.com/topic/unidentified-flying-object.*

Oidentifierade flygande föremål, på engelska Unidentified flying object (UFO) är ett begrepp, som infördes av det amerikanska flygvapnet i början av 1950-talet, men sedan urminnes tid finns det bilder och anteckningar om oförklarliga fenomen. Några av dem var säkert kometer, asteroider, meteorer och andra atmosfäriska optiska fenomen, som var vetenskapligt okända för våra forntida förfäder, men andra trotsar fortfarande moderna förklaringar.

Den tidigaste kända berättelsen, med anor från nästan 3500 år sedan i dagens Sudan, kommer från en stela (granitplatta), som berättar historien om hur en fallande stjärna "liknande inget som hänt tidigare" slog ner i den nubiska hären under ett krig med Egypten. För de egyptiska segrarna sågs det som ett mirakel och ett gudomligt ingripande.

Något liknande inträffade den 15 december 1547. Då såg sjömännen ombord på skeppen i Hamburgs hamn mitt i natten ett glödande klot i luften, ljusare än solen. Det rullade över himlen mot norr och utsände så mycket hetta att människor inte kunde stanna i sina skepp utan var tvungna att ta skydd. Vad var det? En meteor skulle ha varit så högt upp i atmosfären att hettan inte hade nått marken och under alla förhållanden hade den passerat på några sekunder. Var det en kulblixt? Inte troligt i avsaknad av åskmuller och stormigt väder.

Skivliknande flygande föremål rapporteras ibland under de sista tusen åren. De dyker ofta upp i religiösa konstverk. Från år 1290 finns till exempel noteringar om en silverskiva, som flög över en by i Yorkshire i England och 1561 rapporterades skivor och sfärer från stora cylindrar vid en massobservation över Nürnberg.

Dessa mystiska observationer finns genom hela den mänskliga historien, men i slutet av 1800-talet började människor flytta sin tolkning av det okända från en religiös ram till en teknisk. De oförklarliga luftfenomenen sågs mer och mer som moderna tekniska underverk. Vid slutet av 1800-talet var vätefyllda luftskepp under utveckling och några år senare, 1900, skulle den första Zeppelinaren göra sin jungfrufärd. Under slutet av 1800-talet sågs följaktligen många mystiska ”luftskepp” över hela USA. Således syntes 1879 ett fenomen i Dubuque, Iowa. Det var ett stort, oförklarligt luftskepp, som var synligt i en timme över staden innan det försvann bortom horisonten.

Verklig fart på observationerna blev det under och efter andra världskriget, då ju flygtekniken fick sitt stora genombrott och folk mer började hålla reda på vad som hände på himlen. Redan i november 1944, sent in i kriget, började amerikanska stridsflygare observera orangea, glödande ljus. Några veckor senare såg en pilot ett rött, vinglöst cigarrformat föremål. Piloterna kallade dessa fenomen “foo fighters” efter en nonsensfras som användes i en populär tecknad film om brandmän.

Tefat i Massachusetts 1952
GETTY IMAGES

Teorierna började nu hagla. Kunde det vara optiska illusioner? Eller hallucinationer på grund av stridströtthet? Eller kunde dessa luftfenomen vara superhemliga nazistiska vapen? Den sista teorin var den, som mest fångade allmänhetens uppmärksamhet. Massor av rykten kretsade den tiden omkring tyskarnas vetenskapsprojekt, inte bara V2-raketer och jetflygplan utan rent av en nazistisk månbas.

Observationerna fortsatte efter kriget och inte bara av amerikaner. Den 18 maj 1946 påstod svensken Gösta "Pollenkungen" Carlsson, grundare av företaget Cernelle och dotterföretaget Allergon, som idag är miljonindustrier i hälsokostbranschen, att han mött ett UFO och dess besättning i Sibirienskogen i utkanten av Ängelholm (Utvälinge). Vid platsen står idag ett monument i betong i form av ett tefat, ty att de mystiska flygande föremålen hade tefatsform skulle snart bli vedertaget.

Den teorin startade på allvar den 24 juni 1947. Medan han letade efter ett försvunnet transportflygplan avvek den erfarne piloten Kenneth Arnold från sin ursprungliga flygväg för att söka i den sydvästra sluttningen av Mount Rainier i USA. Under sökningen observerade han nio ”märkliga” och möjligen ”helt runda” föremål som flög i en formation som påminde honom om gäss. Arnold uppskattade hastigheten på de halvmåneformade föremålen till flera tusen km i timmen och sa att de rörde sig "som tefat som hoppar över vatten." I tidningsrapporten som följde påstods det felaktigt att föremålen var tefatformade, därav termen flygande tefat. Inom några dagar kom andra vittnen med stöd för Arnold och sa att de sett liknande luftfenomen.

Uttrycket "flygande tefat" blev snabbt förankrat, trots att Arnold själv beskrev de föremål han sett som visserligen tefatsliknande, men inte perfekt runda utan mera som tunna, platta och halvmåneformade. Men bilden av det cirkulära tefatet fixerades i allmänhetens medvetande kanske beroende på att skivformade flygande föremål hade setts sedan medeltiden och var vanliga i 1900-talets science-fiction-berättelser. En illustration i den japanska berättelsen från 1910-talet, Tale of the Bamboo Cutter, visar t ex en rund flygande maskin, som liknar en flygande skiva.

Den första användningen av termen "flygande tefat" för ett oidentifierat flygande objekt var kanske när en trolig meteor föll över Texas och Oklahoma den 17 juni 1930. Några som såg det konstiga ljuset beskrev det som en enorm komet, ett flammande flygande tefat, en stor röd glöd, en eld-kula. Arnolds observation sågs kanske snarare som en be-kräftelse.

De flesta av de oförklarade fenomenen har ju också verkat vara linsformiga även om andra former också observerats till exempel trianglar som i Belgien den 29 november 1989. Det dokumenterades av över trettio olika grupper av vittnen och tre separata grupper av poliser. Alla rapporterna relate-rade till ett stort föremål, som flög på låg höjd. Det hade en platt, triangulär form med ljus under och gav inget ljud ifrån sig, när det långsamt rörde sig över landskapet.

Svarta trianglar var också involverade i "Phoenix Lights" - händelserna då flera oidentifierade föremål observerades nära Phoenix, Arizona och filmades av både lokala medier och invånare från och med torsdagen den 13 mars 1997. Några av de observerade föremålen eller ljusen tycktes grupperade i en stor "V" -formation, som dröjde kvar i flera minuter. Några invånare rapporterade att en av de svarta trianglarna var över en kilometer bred och att den långsamt drev över deras hus och blockerade stjärnorna på natthim-len.

Många andra former har alltså observerats, men tefatet stod sig. Arnolds observation 1947 följdes av tusentals liknande över hela världen. Under den heta sommaren 1952 inträffade en provocerande serie av radar och visuella observationer nära National Airport i Washington, DC. Det kalla kriget var vid den tiden på väg att hettas upp genom prov av atombomber, hemliga militära övningar och vapenupprustning av alla möjliga slag. Många antog därför att det var ryssarna som låg bakom, fast experter påpekade att det var otänkbart att de kunde ha så extremt avancerad teknik.

Som svar på observationerna i slutet av 1940-talet hade amerikanska flygvapnet startat ett hemligt projekt med kodnamnet "Sign" för att undersöka dessa incidenter. Inom ett år ersattes detta av Project Grudge. För att lugna allmän-heten ersattes det nu 1952 av den längsta av de officiella utredningarna, Project Blue Book, med huvudkontor vid Wright-Patterson Air Force Base i Dayton , Ohio. Från 1952 till 1969 sammanställde Project Blue Book rapporter om mer än 12 000 observationer eller händelser. Var och en klassificerades slutligen som "identifierad" med något känt astronomiskt, atmosfäriskt eller artificiellt orsakat av män-niskor. Men ungefär 6 procent av totalen var

Bild tagen 1952 i New Jersey.

"oidentifierade". Det inkluderade fall, där det inte fanns tillräcklig information för att identifiera dem med något känt fenomen. Ju mer man undersökte, desto mer mystiskt blev det.

Flera officiella utredningar har alltså under åren tillsatts. De har alla liksom den senaste från i juni i år utmynnat i att de absolut flesta observationerna kan förklaras med astrono-miska och meteorologiska fenomen som ljusa plane-ter och stjärnor, meteorer , aurorer, jonmoln eller sådana jordiska föremål som flygplan, ballonger, fåglar och strål-kastare, samt att det inte finns något uppenbart säkerhets-hot och inga bevis för utomjordingar.

Bortsett från de amerikanska ansträngningarna, så har UFO rapporterats i både Ryssland och Kina. I Kanada finns ganska fullständiga register över cirka 750 UFO-observationer överförda 1968 från det kanadensiska depar-tementet för nationellt försvar till Canadian National Rese-arch Council. Mindre fullständiga register finns i många andra länder.

Försvarsmakten i Sverige insamlade, undersökte och följde upp UFO-observationer centralt från mitten av 1940-talet. I mitten av 1970-talet överfördes denna funktion till dåva-rande FOA numera FOI (Totalförsvarets Forskningsinsti-tut). Riksorganisationen UFO-Sverige undersöker dessutom rapporter om ufofenomen sedan 1970.

Trots alla officiella utredningar har många svårt att släppa tanken att det kan röra sig om besökare från rymden. Tan-ken har kanske snarare förstärkts av de senaste årens upp-täckter av ”maskhål i rymden” och jordlika planeter i andra solsystem. Det finns rent av de som har försökt konstruera sina egna flygande tefat, vilket bara det är en intressant historia (se sidan 15).

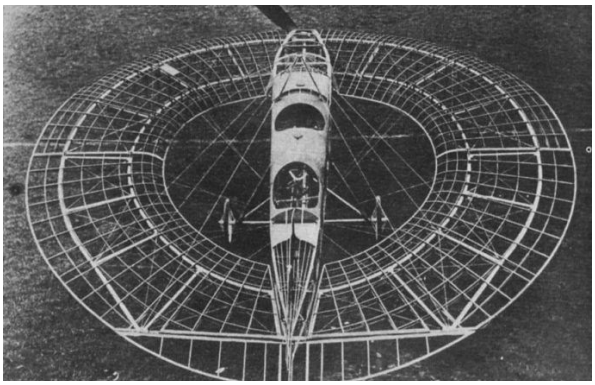
Jordiska “flygande tefat”

Alla är bekanta med begreppet flygande tefat och de påstås ha överlägsna flygegenskaper. Många har försökt att göra tefatsliknande flygplan, men hittills har det inte lyckats särskilt bra.
History of Flying Saucers: Real Flying Saucer Aircraft Examples
10 bästa riktiga försöken på flygande tefat

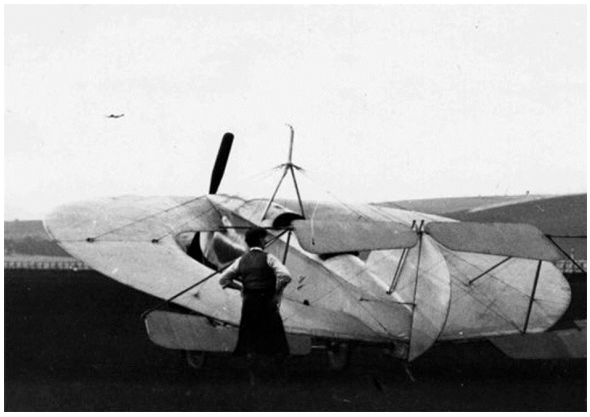
Det flygande tefatet är ett av de mest kända formerna av flygfarkoster, kanske mer känd än alla stridsflygplan eller bombplan. Observatörer av okända "flygande tefat" beskriver dem ofta som silverfärgade eller metalliska, täckta av navigationsljus eller omgivna av glödande ljus, svävande eller rörande sig snabbt, antingen ensamma eller i täta formationer och med hög manövrerbarhet.

Många flygplansdesigners har under årens lopp försökt få sådana skivor att flyga, men först efter andra världskriget, då människor på allvar blev fascinerade av tefaten, började man verkligen försöka efterlikna dem. De första försöken var emellertid inte inspirerade av ”flygande tefat” utan var en del av experimenten under flygets barndom i början av 1900-talet.

Ett av de tidiga försöken var Lee-Richards ringformade biplan och monoplan med en 50 hk Gnome-motor. Det utvecklades av Cedric Lee och George Tilghman Richards (1911 - 1914) från en



prototyp byggd av GJA Kitchen, som hade patenterat konceptet med ett ringformat flygplan. Det är fortfarande oklart om motoriserade flygningar lyckades fullbordas av denna maskin, men utvecklingsprogrammet ledde så småningom till de relativt framgångsrika ringformiga monoplanen. Uppgifter tyder på att flygplanet bara flögs som ett segelflygplan.



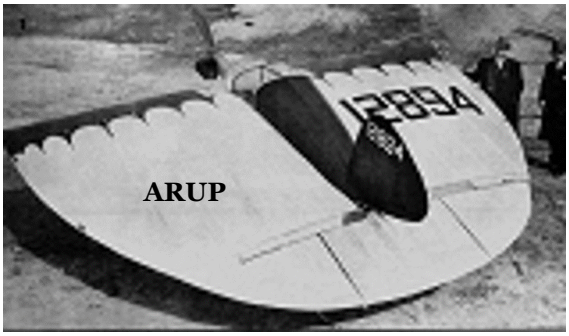
Kanske var den verkliga betydelsen av Lee-Richards ringformade biplan demonstrationen att vingarna i denna planform kunde ligga till grund för en flygmaskin.

Lee och Richards genomförde ett detaljerat program för experiment och forskning, inklusive experiment med modellglidflygplan. På grundval av dessa designades ett ringformat monoplan och byggdes i Shoreham. Detta flygplan flög framgångsrikt den 23 november 1913. Planet kraschade och byggdes om åtminstone två gånger. De tre versionerna av flygplanet flögs totalt 128 timmar, och det sades vara lätt att flyga och kontrollera och kunna starta med full last vid endast 30 km/h. Det ursprungliga flygplanet följdes av order på ytterligare två, men projektet avbröts av första världskrigets utbrott i juli 1914.

En stor modell av ett flygplan, som kallades Umbrella Plane eller Roundwing designat av Steven Paul Nemeth provades i vindtunneln vid University of Michigan 1929 med uppmuntrande resultat, vilket i sin tur resulterade i utvecklingen av ett flygplan i full storlek. Byggandet av flygplanet slutfördes 1934 och genomfördes som ett studentprojekt. Man kan inte annat än känna en viss avund vid denna möjlighet för studenterna. Det hade en parasollvinge med cirkulär form ovanför en konventionell flygkropp och stjärt, och det drevs av en dragande propeller.

I sin ursprungliga form baserades flygplanet på den förlängda flygkroppen på ett Alliance Argo lätt flygplan och drevs av en 90 hk Lambert-motor. År 1934 provflögs flygplanet framgångsrikt och modifierades avsevärt under de kommande två åren. En kraftfullare Warner Scarab-motor på 120 hk installerades och vingens bakkant förfinades avsevärt. Planet hade extremt korta start- och landningssträckor på 63 fot och 25 fot, men det var kanske inte riktigt ett flygande tefat ändå...

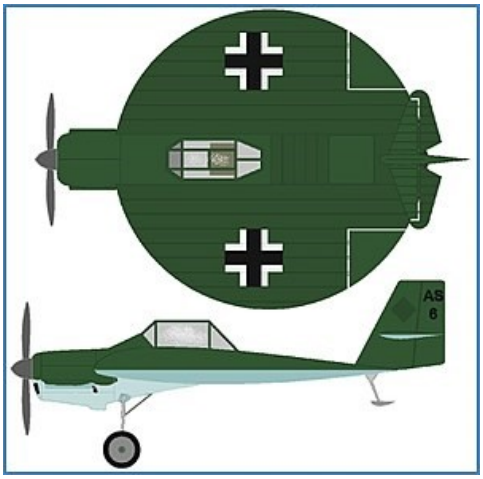
Jordiska tefat



Snyder ARUP var ett försök av Cloyd Snyder assisterad av Raoul Hoffmann att skapa ett lättfluget flygplan för massorna under mellankrigstiden. ARUP valdes som ett namn för flygplanet från en sammandragning av 'Air Up'. Man började med balsaträmodeller, följt av utveckling av ett segelflygplan och sedan monterades en liten motor på segelflygplanet.

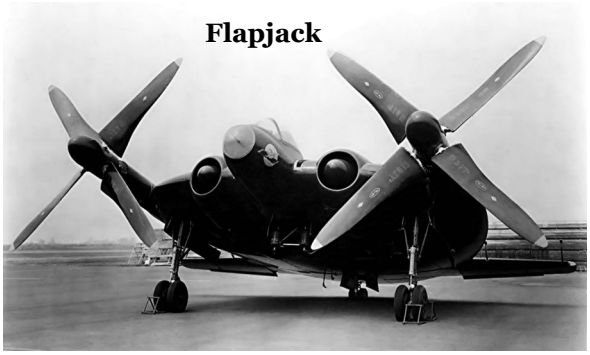
Den ursprungliga S-1-designen var ingen stor framgång, eftersom den visade sig vara svår att kontrollera. Ändå var resultaten tillräckligt uppmuntrande för att leda till utveckling av ytterligare tre flygplan, ARUP S-2, S-3 och S-4. S-2 flög för första gången 1933 och var en liten enkelsits med en halvmåneformad vinge med rak framkant och rundad bakkant.

S-2 flög bra och kunde flyga upp till 35 graders anfallsvinkel. S-3-varianten av flygplanet gjorde bara en flygning innan den förstördes av en brand. S-4 var väldigt lik S-2 och S-3 och flög först 1935 och förblev i bruk fram till andra världskriget. Med en stor vingyta och förmågan att flyga i mycket låga hastigheter var det ett flygplan som var både lätt att flyga och som kunde operera från små fält. Med ett lågt vingspann var flygplanet enkelt och billigt att lagra när det inte användes, men styreffekten vid låg hastighet var ett problem.



Under andra världskriget föreslogs ett antal skivformade flygplan i Tyskland. Ett av få, som kom längre än ritbordet, var Sack AS-6 , ett experimentellt lättplan med en rundvingad planform som först flög 1944. Flygplanet visade sig misslyckat och skrotades i början av 1945.

Pearl Harbor utlöste ett intresse från den amerikanska flottan för ”diskoidala” flygplan, som liksom ARUP hade vingar

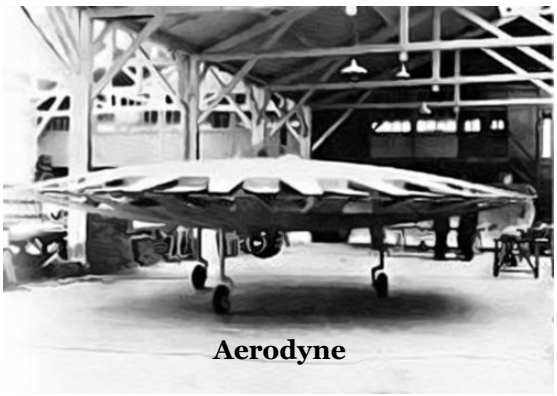


med mycket lågt sidoförhållande. En av egenskaperna hos denna typ av flygplan är deras förmåga att flyga i låga hastigheter, en egenskap som var användbar för flottans fartygsbaserade flygplan.

Vought V 173 uppstod som ett resultat av US Navys intresse för Charles H. Zimmermans idéer. Zimmerman genomförde prov vid NASA Langley (då Langley Memorial Aeronautical Laboratory) 1935 av diskoidala vingar med lågt sidoförhållande. Det ledde till ett proof-of-concept-flygplan, Vought V 173. För att ge tillräcklig sikt placerades piloten längst fram i flygplanet och undersidan av nosen gjordes genomskinlig för att underlätta sikten vid landning. Flygplanets styrning underlättades av dubbla fenor och roder placerade i linje med propellrarna, stjärtfenor med styrytor fästa på baksidan av vingen och ett par rörliga styrytor belägna vid vingens bakkant.

Det var ett av de första flygplanen som, uttryckligen utformades som en skiva av aerodynamiska skäl. Vought V-173 och dess ättling, Vought XF5U-1 "Flying Flapjack", var de mest framgångsrika av de ”diskoidala” flygplanen. Som med den tidigare Vought V-173 , var Flapjacks motroterande propellrar placerade i vingarnas ändar för att motverka motståndsinducerande virvlar som normalt skulle bli resultatet av en vinge med ett så lågt sidoförhållande.

US Navy valde Flapjack även kallad Pancake framför ett liknande förslag från Boeing av år 1943, men när den rullade ut från fabriken i juni 1945 kom den för sent för att tjäna i andra världskriget. Under efterkrigstiden hade jetmotorer gjort den föråldrad och marinen förlorade intresset. Jetdrivna flygplan var mycket snabbare än traditionella propellerplan, och den kärleksfullt döpta "Flying Pancake" blev föråldrad praktiskt taget över natten.



Aerodyne

Efter kriget blev försöken mer lika de ”flygande tefaten”. Couzinet RC-360 Aerodyne var kanske det mest tefatslika. 1955 inledde fransmannen René Couzinet ett projekt för att bygga ett vertikalt startande flygplan, Aerodyne, och registrerade ett patent, som kom att publiceras 1957 efter hans död. En icke-flygande 60% skalmodell av Aerodyne byggdes och visades för pressen. Det var en liten radiellt symmetrisk farkost med ett par kontraroterande skivor, som omgav en stationär cockpit, där varje skiva bar 96 små vingar på sin omkrets. De vingade skivorna var inneslutna i en kåpa och skulle drivas av tre par Lycoming-motorer. Dessutom tillsattes en liten turbojet för att ge horisontell dragkraft. Aerodyne byggdes inte i full storlek och flög aldrig.

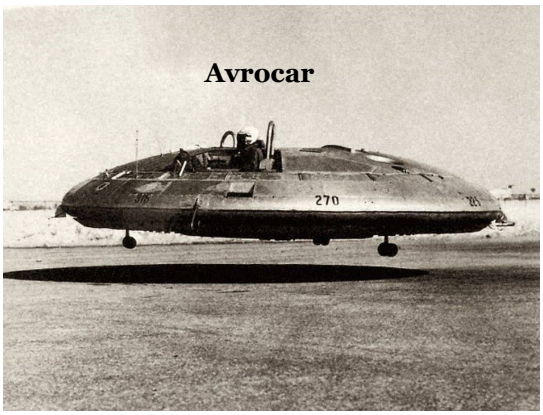
Spinnskivorna var av goda skäl. Genom att ha ett par skivor som roterar i olika riktningar kan det vridmoment som krävs för att driva skivorna balanseras ut så att flygplanet inte roterar. Samma tillvägagångssätt används i Kamov-serien av helikoptrar för att slippa en stjärtrotor.

Dynafan

Ett annat exempel var Astro V Dynafan, som använde Coanda-effekten. Den är uppkallad efter den rumänska uppfinnaren Henri Coanda. Luft, som kommer ut från en mynning, kommer att följa en intilliggande plan eller krökt yta, vilket får ett område med lågt tryck att utvecklas. Henri Coanda gjorde till och med en liten skalmodell som flögs 1932 och patent beviljades 1935.

I Astro Kinetics Dynafan användes en Chevrolet Corvair-motor för att driva en tvåbladig propeller. Den tryckte luft genom en konvergerande kanal så att den passerade över den välvda ytan och gav en kraft uppåt från det högre inre trycket. Att det fungerade visades vid en flygning i San Antonio den 16 december 1964 och sedan gjordes nio framgångsrika "flygningar" inför publik.

Stora saker förväntades av Dynafan. Det verkliga målet var helikoptermarknaden, där dess enkelhet i design och konstruktion påstods leda till drastiskt minskade produktions- och driftskostnader. Skycrane-typen av tunga lyftoperationer betraktades som en idealisk applikation, och företagets pressmeddelande hävdade att en 100 meters diameter Dynafan skulle kunna lyfta en nyttolast på över hundra ton. Det är dock oklart huruvida Dynafan någonsin uppnådde en fri flygning.



Avrocar

Avrocar är kanske det koncept, som mest liknar den populära bilden av ett flygande tefat bara matchad av den opraktiska och misslyckade Aerodyne. Projektet startade med det ambitiösa målet att göra ett stridsflygplan, som kunde starta vertikalt, övergå till framåtflygning, accelerera till supersonisk hastighet och gå tillbaka till vertikal landning. Projektet utvecklades inom en specialprojektgrupp på Avro och finansierades initialt av USAF. Tidiga mål inkluderade en förmåga att nå en hastighet på Mach 3,5 vid 100.000 fot.

Nyckelelementet i Avrocar var dess turbomotor, som ligger i mitten av den radiellt symmetriska farkosten. Tre Continental J69-motorer anordnades så att deras avgaser drev en turbin till en fläkt, som drog luft genom ett centralt intag och fördelade den nedåt för att ge lyft och styrning. Styrsystemet involverade användning av Coanda-effekten för att hjälpa till att omdirigera den radiella strålen genom användning av en cirkulär ringliknande yta nedsänkt i strålen. En intressant aspekt var utnyttjandet av de gyroskopiska krafterna, som genererades av den stora turborotorn för att hjälpa till att stabilisera farkosten.

Markprov av detta nya framdrivningssystem visade sig vara svår och farlig, vilket gjorde att Avrocar bara blev en liten proof-of-concept-demonstrator, som dock både kunde fastställa framdrivningssystemets livskraft och visa att tillfredsställande stabilitet och kontroll kunde uppnås.

Två Avrocars byggdes och flygprov 1959 avslöjade en rad problem. Under subsonisk flygning var Avrocar aerodynamiskt instabil eftersom tyngdpunkten, i mitten av den cirkulära farkosten, låg bakom lyftkraftens centrum. Den snurrande turborotorn gav visserligen en viss gyroskopisk stabilisering, ungefär som en frisbee, men i kombination med de aerodynamiska krafterna resulterade det i en periodisk svängning, som visade sig svår att hantera och aldrig löstes helt. Projektet avbröts 1961.

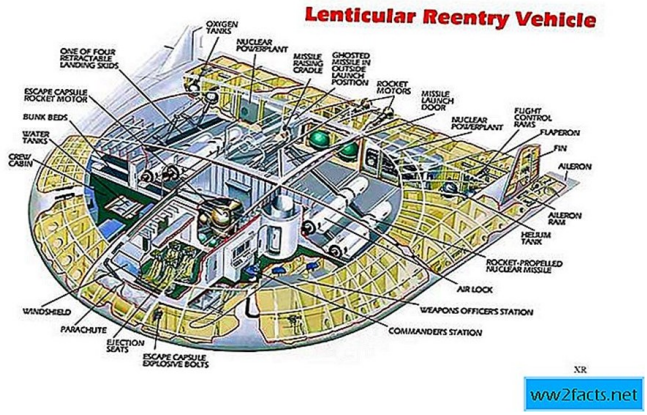
David Rowes UFO, för ”Useless Flying Object”, är ett modernt exempel på ett lätt flygplan med en cirkulär vinge. Liksom de tidigare exemplen startade UFO som modell och utvecklades sedan genom en serie prototyper. Det första flygplanet i full storlek var Rowe Wild Thing, som registrerades 1995. Planet visade sig vara lite baktungt, vilket ledde till en omplacerad cockpit och motor. Det resulterade i ett förbättrat flygplan som flögs i 13 år, med början år 2000. Försök att skapa en tvåsitsversion fick dock överges när inträde till flygplanet visade sig vara för svårt.

The Feast Circle är ett flygplan väldigt mycket i andan av Lee-Richards monoplan. Efter experiment av Ron J Feast med hjälp av en serie flygande modeller designades och byggdes ett litet ringformat enkelsitsplan av trä och tyg, som gjorde sin första flygning i juli 2001.

Flygplanet visade sig kunna flyga ganska framgångsrikt, men som man kunde förvänta sig hade det en mycket låg landningshastighet. Sidokontroll vid den låga landningshastigheten visade sig vara svår, vilket ledde till ett antal modifieringar. Dessa inkluderade ett trehjuligt underrede och en ganska drastisk revidering av vingplanformen. Flygplanet flögs framgångsrikt i sin nya konfiguration 2005, men i januari 2009 donerades det till ett museum.

Den amerikanska militären under det kalla kriget hade mycket större ideer. Från slutet av 1950-talet studerade man linsformade obemannade fordon. Dessa inkluderade Lenticular Defense Missile (LDM), Pye Wacket och den atombombslevererande Lenticular Reentry Vehicle .

Projektet "Pye Wacket", officiellt känt som LDM-programmet (Lenticular Defense Missile) med projektnummer WS-740A , inrättades 1958 för att skydda de föreslagna B-70 Valkyrie strategiska bombplanen. B-70 krävde en luftlanserad defensiv missil, som kunde engagera inkommande missiler med relativa hastigheter upp till Mach 7. Efter initiala studier och vindtunnelprov ansågs den linsformiga designen ha de bästa hanteringsegenskaperna vid extremt höga angreppsvinklar. B-70: s höga kostnad och upplevda sårbarhet ledde emellertid till beslutet att ersätta den med interkontinentala ballistiska missiler och därför avbröts B-70-projektet i början av 1961. Pye Wacket tros ha avbrutits strax därefter.



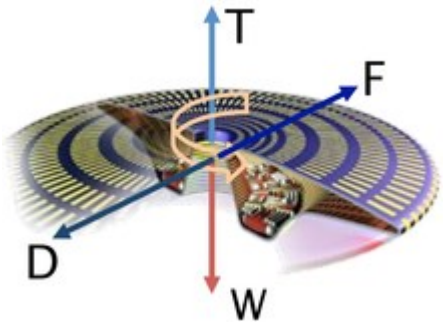
Även om Pye Wacket avslutades 1961, hade forskningen visat att linsformade fordon hade goda egenskaper för återinträde i atmosfären. Under fyra år genomfördes vetenskaplig forskning i underjordiska hangarer, vilket gjorde det möjligt 1963 att presentera det första utkastet till ett nytt autonomt rymdskepp, Lenticular ReEntry Vehicle Orbital Bomber.

Lenticular Reentry Vehicle (LRV) var ett experimentellt atombombsleveranssystem. Projektet klassificerades som hemligt 1962 och godkändes för offentlig publicering den 28 december 1999.

Förekomsten av LRV-programmet kan ge viss trovärdighet åt teorier att en del oidentifierade flygande föremål var militära projekt. LRV: s flygegenskaper, som de beskrivs i dokument, liknar dock mer en standard rymdkapsel i omloppsbana än de snabba rörelserna och de plötsliga hastighetsförändringsegenskaperna hos många rapporterade ”flygande tefat”.

Enligt projektdokument hade LRV en diameter på 12,2 meter, och dess höjd i den centrala delen översteg inte 2,29 meter. Rymdskeppet hade en egen vikt på 7730 kg, men kunde bära 12 681 kg nyttolast ombord, inklusive fyra besättningsmedlemmar. Det skulle levereras till bana med en Saturn C-3 raket och kunna patrullera där i minst sex veckor.

Farkosten skulle också ha haft en egen liten kärnreaktor ombord för elproduktion. Tack vare sitt eget kraftverk och flera raketmotorer kunde den inte bara ändra sin bana utan också dyka från rymden mot ett markmål som ett riktigt ”flygande tefat”. I farkosten skulle ha funnits en tvåsitsig skyttel, med vilken astronauter kunde besöka vilken obemannad satellit som helst, reparera den eller förstöra den. Huvuduppgiften var dock att skjuta atombombsmissiler mot markmål. Vid den tiden kunde inget luftförsvarsvapen motstå den oväntade attacken av Lenticular Reentry Vehicle. Med dagens förmåga att bekämpa satelliter hade den kanske inte fått stanna länge ostörd på himlen. Det finns inte heller någon officiell bekräftelse på att någon Lenticular Reentry Vehicle någonsin flög.



Fortfarande pågår en del experiment med tefatsliknande farkoster. En professor vid University of Florida, Dr Subrata Roy, har börjat arbeta med en Wingless Electromagnetic Air Vehicle (WEAV) för NASA som har likhet med ett flygande tefat. WEAV använder en mängd små elektroder som täcker hela kroppen av flygplanet. Dessa elektroder joniserar omgivande luft med hjälp av högspänning av några tiotals kilovolt även vid standardtryck av en atmosfär. Den resulterande plasman accelereras som en jonvind nedåt och ger lyftkraft. En tidig prototyp av WEAV kunde upprätthålla svävande flygning några millimeter över marken i ungefär 3 minuter.

M200G Volantor är en prototyp av en svävare i flygande tefat stil, designad av flygingenjören Paul Moller. M200G Volantor använder ett system med åtta datorstyrda kanalfläktar för att sväva upp till 3 m över marken. Volantor är en term som myntats av Moller som betyder "ett vertikalt start- och landningsflygplan ."

Mer exotiskt arbetade British Rail med planerna för British Rail "Space Vehicle", ett föreslaget tefatformat fordon baserat på hittills oupptäckta tekniker som kärnfusion och supraledning. Det skulle ha kunnat transportera flera passagerare mellan planeterna, men gick aldrig längre än patentstadiet.

Som synes har flera försök gjorts, med begränsad framgång, att producera bemannade fordon baserat på flygande tefat. Medan vissa, som Avrocar, har tillverkats i begränsat antal, lämnade de flesta inte ritbordet.

Några av flygplanen som Frankrikes Couzinet Aerodyne och kanadensiska Avrocar såg ut precis som traditionella ”flygande tefat” UFO. Ju närmare likheten är mellan det mänskliga och det (förmodligen) främmande föremålet, desto mindre sannolikt verkar det tyvärr vara att det mänskliga är framgångsrikt.

Ett skivformat flygplan innefattar vanligtvis en cirkulär vinge och en vanlig eller blandad kropp. I vissa fall är flygkroppen helt inbäddad i en tjock vinge, vilket ger ett äkta tefatliknande utseende med bara sittbrunnen som sticker ut från toppen.

Skivformen utgör stora problem rent praktiskt. Flygande tefat tenderar t ex att placera piloten mot flygplanets centrum, vilket begränsar sikten under flygplanet. Men det största problemet har med aerodynamiken att göra, nämligen att lyftkraft hos en vinge också genererar motstånd. Långa slanka vingar ger mindre motstånd för samma lyftkraft. Det är därför som segelflygplan har långa smala vingar och backhoppare numera vinklar skidorna utåt. Cirkulära vingar är helt enkelt ineffektiva.

När ett skivformat flygplan genererar lyft skapar de cirkulära vingarna mycket motstånd som flygplanet behöver övervinna för att uppnå flygning. Detta har konsekvenser för själva flygplanet (särskilt vibrationer) och ökar mängden kraft som krävs för att få planet flygbart. En cirkulär vinge kräver större vinkel mot luftflödet för att generera samma lyftkraft som en slankare vinge. Så förutom att ha högt lyftberoende motstånd kan vi förvänta oss att cirkulära vingar, vid låg hastighet, har hög anfallsvinkel, vilket ger problem med stabilitet och kontroll. Den cirkulära skivan kommer att vara instabil i längdriktningen, eftersom tyngdpunkten ligger i centrum medan lyftcentrum vid subsoniska hastigheter kommer att ligga framför denna. Tyngdpunkten måste placeras för att undvika detta problem, till exempel genom att ha en framåt lokaliserad motor.

Vid de relativt höga vinklar, som kan krävas för start och landning är det troligt att virvlar från den högt svepta ytterkanten kan vara destabiliserande och kräva någon form av roderkontroll. För radiellt symmetriska konstruktioner är stabilitet vid låg hastighet sannolikt ett betydande problem, såvida inte hela flygplanet snurras, som en frisbee, så att en kombination av vinkelmoment och gyroskopisk precession ger ett mått på längsgående stabilitet. Frisbees glider ju över betydande avstånd och är relativt stabila under flygning.

Det kanske går bra för en obemannad applikation, men en mänsklig pilot behöver vara stilla i flygriktningen, och att behålla det med en snurrande vinge kommer att bli svårt. Tyngdpunkten kommer nödvändigtvis också att vara rotationscentrum för att säkerställa att enheten är rotationsbalanserad. Konsekvensen av detta är att snurrskivor är aerodynamiskt instabila vid subsoniska hastigheter, när lyftcentrum ligger före tyngdpunkten.

Ringformade vingar, i form av en skiva med ett cirkulärt hål i mitten, har visat sig vara en populär form för innovatörer, men de aerodynamiska egenskaperna kommer sannolikt att likna de hos en cirkulär vinge. För en given diameter kommer en ringformad vinge att ha mindre yta än en cirkulär vinge och skulle sannolikt ha en mer komplex och tyngre struktur. Eventuellt kan något lägre lyftberoende motstånd visa sig fördelaktigt.

Flygande tefat rör sig ju också i överljud. Ingen har försökt göra ett sådant cirkulärt flygplan och luftmotståndet skulle bli högt på grund stötarna vid vingens framkant.

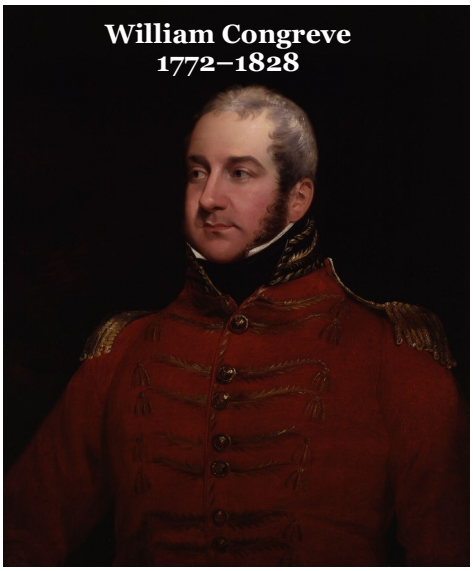
Kort sagt, den inneboende svårigheten att producera ett "flygande tefat" innebär att vi nog aldrig kommer att se ett mänskligt utformat sådant. Eventuella utomjordingar kommer naturligtvis att stöta på samma problem om de ger sig in i vår atmosfär och de har dessutom säkert inte utformat sina farkoster för just våra regionala förhållanden. Men de kanske har en teknik, som vi inte alls känner till..

Krutraketens historia

De tidigaste raketerna hade fast bränsle och drevs med krut. De användes i krigföring av kineserna redan på 1200-talet, men spred sig sedan över världen. De användes militärt framförallt under 1700-talet, men kom sedan att ersätas av kanonerna. De används fortfarande i missiler och rymdraketer, men ersätts alltmer av raketer med flytande drivmedel, som är mer effektiva och kontrollerbara utom i större applikationer där krutraketernas enkelhet och tillförlitlighet är en fördel.

Illustrationer och beskrivningar i den kinesiska militäravhandlingen Huolongjing från 1300-talet av Ming-dynastins militära författare och filosof Jiao Yu bekräftar att kineserna 1232 använde krutraketer som då kallades " eldpilar " för att driva tillbaka mongolerna under dessas belägring av Kaifeng. Varje pil hade en primitiv form av ett enkelt raketrör med fast drivmedel som var fyllt med krut. En öppen ände gjorde det möjligt för gasen att släppas ut och röret fästes på en lång pinne, som fungerade som ett styrsystem för flygriktningskontroll. Allt liknade dagens fyrverkeriraketer.

Raketer förekommer först i arabisk litteratur 1258, som beskriver mongoliska inkräktares användning av dem för att erövra Bagdad. Araberna upptog snabbt raketen bland sina egna vapen och använde dem mot de europeiska arméerna under korstågen.



Svartkrutstekniken överfördes även till Europa längs handelsvägarna och här kan även Marco Polo (1254–1324) ha spelat en roll. Den nådde nämligen först de så kallade sjörepublikerna Venedig, Genua, och Amalfi. Senast år 1300 hade raketerna hittat in i europeiska arméer och i kampen om ön Chiozza (i dag Chioggia) 1379 mellan Genua och Venedig användes krutraketer för att sätta ett försvarstorn i brand. Genom att förstöra tornet vann genuaflottan slaget men förlorade till slut ändå kriget mot den venetianska flottan. Ordet ”raket” påstås komma från det italienska ordet "rocchetto" (trådrulle). Det var en liten smällare skapad av den italienske artilleristen Muratori, som användes i striden om Chiozza.

Under renässansen hade varje armé en raketkår. Den italienske ingenjören Giovanni De Fontana författade 1405 en bok som beskriver torpeder drivna av raketer. Beskrivningar från 1429 visar också att raketer var i bruk vid den franska belägringen av Orleans under hundraårskriget mot engelsmännen.

När 1700-talet grydde började europeiska militära experter få ett ännu allvarligare intresse för raketer. Anledningen var att de hade hamnat på den förlorande sidan i ett raketkrig. Då britterna under 1700-talet försökte ta kontrollen över Indien blev de engagerade av mongoliska styrkor under sultanen Tippoo av Mysore, som under de två striderna i Seringapatam 1792 och 1799 använde raketer mot dem.

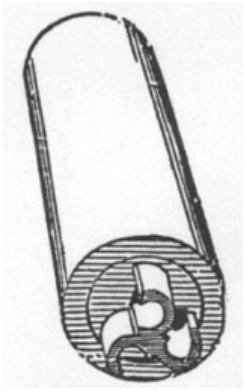
Dessa raketer hade rör av gjutjärn i stället för som tidigare kartong eller bambu. De hade omkring 2 km räckvidd och stabilitet uppnåddes genom att fästa raketen till ett 3 m långt bambuspjut. Spjutspetsen var ett svärd eller det vässade spjutskaftet.

Det andra Mysore-kriget slutade i ett förödmjukande nederlag för det brittiska imperiet och de indiska raketerna fångade intresset hos den brittiske artilleriöversten William Congreve. Han satte igång att utforma raketer för den brittiska militären. När britterna äntligen erövrade fortet Srirangapatam 1799 transporterades hundratals raketer till Royal Arsenal nära London för att omarbetas. Detta ledde till den första industriella tillverkningen av militära raketer med Congreve-raketen 1804. Dessa raketer användes mycket i Europa under Napoleonkrigen och mot de amerikanska rebellerna.

Congreves raketer var mycket framgångsrika i strid, men trots hans ansträngningar hade träffsäkerheten hos raketerna inte förbättrats mycket från de första dagarna. Den förödande karaktären hos raketerna var inte deras noggrannhet utan deras antal. Under en typisk belägring kunde tusentals av dem avfyras mot fienden.

Raketer fortsatte i alla fall att användas med framgång i strider över hela den europeiska kontinenten. Drivna av svartkrut användes raketerna för bombardemang som kulminerade 1807 i attacken mot Köpenhamn av den brittiska flottan. Danskarna utsattes då för en störtflod av 25000 raketer, som brände ner många hus i staden.

Över hela världen experimenterade raketforskare nu med sätt att förbättra precisionen. Slutligen utvecklade en engelsman, William Hale, en teknik som kallas spinnstabilisering. Hale patenterade 1844 en ny form av roterande raket som förbättrade den tidigare Congreve-raketen. Hale tog bort styrstången och införde istället små ledskenor på botten av raketen, vilket fick den att snurra som en kula i luften. Variationer av principen används fortfarande idag. Dessa raketer kunde väga upp till 30 kilo.



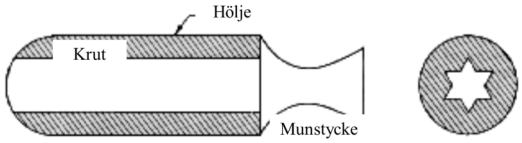
Hales raketer användes först av USA:s armé i det mexikansk –amerikanska kriget 1846–1848. I amerikanska inbördeskriget 1861-1865 satte unionens styrkor in raketgevär, ett metallrör som sköt 7-tums och 10-tums långa spinnstabiliserade raketer upp till 2000 meter. Britterna själva använde dem inte officiellt förrän 1867 även om den brittiska armén experimenterade med Hales raketer under Krimkriget 1853–1856 .

Naturligtvis var prestandan hos dessa tidiga raketer dålig och inte av modern standard eftersom det enda tillgängliga drivmedlet var svartkrut, vilket inte är idealiskt för framdrivning. Det är den äldsta typen av krut, som troligen uppfanns i Kina på 800-talet. Man insåg snart att kanoner med räfflade projektiler och exploderande stridsspetsar var mycket mer effektiva krigsvapen än de bästa raketerna. I ett krig med Preussen visade sig de österrikiska raketbrigaderna underlägsna preussarnas nyutvecklade artilleripjäser.

Det kinesiska svartkrutet, som producerade mycket skadlig rök, användes under århundraden som vapenkrut och ersattes först mycket sent av rökfria drivmedel. Svartkrut användes i kanoner och raketer fram till 1900-talet, då dubbelbaskrut (40 procent nitroglycerin, 60 procent nitrocellulosa) kom i bruk. Det första allmänt använda rökfria fasta drivmedlet för raketer i världen togs fram 1925 av S.A. Brouns i Ryssland. Det baserades på Pyroxylin (en mycket brandfarlig blandning av kväve och kol) och 1933 ersattes det av ett effektivare dubbelbasdrivmedel. Andra moderna fasta drivmedel är gjutna perklorat (med perklorat som oxidationsmedel och olika oljor eller gummin som bränsle) och sammansatta drivmedel (med hjälp av ett plastbindemedel med ammoniumpicrat, kaliumnitrat eller natriumnitrat).

Trots den tidigare storskaliga aktiviteten skedde övergången till modern fast raketframdrivning faktiskt vid två ganska distinkta punkter i tid och rum: Caltech i Kalifornien under perioden 1936–1944 och Institutet för kemisk fysik, Moskva, under perioden 1960–1980.

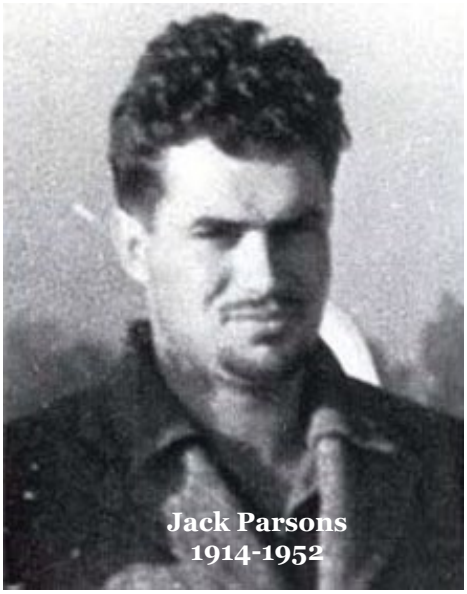
De tidigaste raketerna brann från ändan av krutladdningen. Denna konfiguration är neutral med avseende på förbränningsområdet och dragkraften, men har några andra viktiga nackdelar. Den viktigaste är att förskjutningen av tyngdpunkten är stor. Man utvecklade därför så småningom andra konfigurationer som det stjärnformade radiella förbränningsområdet, se figur nedan.



Genom att på lämpligt sätt välja konfigurationen av detta kan drivkraften justeras till vad som krävs. Detta innebär att dragkraft som funktion av tid inte är mottaglig för mycket avsiktlig modifiering efter tillverkning, och de flesta uppdrag med fasta raketer är utformade för att dra nytta av detta snarare än att reglera dragkraften under flygning. Det är dock också klart att om processen råkar ur kontroll, så kan katastrofala dragkraftsvariationer förekomma. Vätskeraketmotorn framtogs som ett svar på dessa nackdelar med fasta drivmedel.

Moderna gjutbara fasta drivmedel uppfanns av den amerikanske flygingenjören Jack Parsons 1942, när han ersatte dubbelbasdrivmedlen med takläggningsasfalt och kaliumperklorat . John Whiteside (Jack) Parsons född 1914 och död i en explosion 1952 var kemist. Vid California Institute of Technology (Caltech) var Parsons en av de främsta grundarna av både Jet Propulsion Laboratory (JPL) och Aerojet Engineering Corporation.

Parsons var en självutbildad och excentrisk men också mycket fantasifull kemist, som kombinerade en organisk matris (asfalt) och en kristallin oorganisk oxidator (kaliumperklorat) och lyckades göra det första gjutbara fasta bränslet. Detta möjliggjorde långsamt brinnande raketer av tillräcklig storlek och med tillräcklig hållbarhet.



Charles Bartley, anställd på JPL (Caltech), ersatte sedan den kladdiga asfalten med härdande syntetiskt gummi, vilket skapade en flexibel men geometriskt stabil bärande bränslekropp, som fäste säkert i motorhöljet. Detta möjliggjorde mycket större fasta raketer. Ammoniumperklorat ersatte kaliumperklorat som oxidationsmedel i slutet av 1940-talet och nya bindemedel utvecklades.

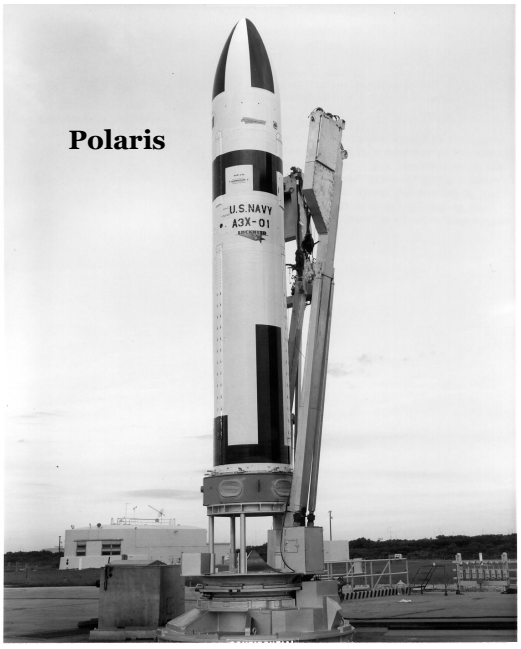
Användning av aluminium som högenergibränsle förespråkades först av Friedrich A.Tsander, i Ryssland, 1909. Efter många ansträngningar och misstag provades det första aluminiserade drivmedlet framgångsrikt av Charles Henderson och Keith Rumbel vid Atlantic Research Corporation (ARC) runt 1955. Atlantic Research ökade mängden pulveriserat aluminium i drivmedlet till så mycket som 20%. Upptäckten att lägga till stora mängder aluminium ökade avsevärt den specifik impulsen hos gjutbara kompositdrivmedel.

Raketteknik med fast drivmedel fick sitt största lyft som teknisk innovation med de olika regeringsinitiativen vid mitten av 1900-talets för att utveckla alltmer kapabla militära missiler. WW II-forskning om stora fasta bränsleämnen gjorde det möjligt för företag att dra nytta av arbetet inom gjutbara dubbelbas drivmedel.

Efter Parsons genombrott 1942 utvecklades kompositdrivmedel aktivt i USA, men längs en rad olika riktningar. För var och en av de nya ingredienserna behövdes många år för att flytta från experiment i laboratorier till fullskaliga operativa system. Dessa separata forskningslinjer ledde till utvecklingen av stora fastbränsleraketer för missiler och rymdraketer.

Utvecklingen av gjutbara kompositdrivmedel ledde således till produktion av Polaris- och Minuteman-missiler. Avgörande för utvecklingen av dessa missiler var Edward Halls förespråkande av Minuteman inom amerikanska flygvapnet.

Efter inledande konstruktioner av militära ballistiska missiler med flytande drivmedel på 1940- och 1950-talet, började både Sovjetunionen och USA göra stora insatser för att utveckla lokala, regionala och interkontinentala ballistiska fastbränslemissiler, som kunde skjutas upp från luft eller hav. Många andra regeringar har också utvecklat denna militära teknik under de senaste 50 åren. Vid slutet av 1980-talet och fram till 2020 har dessa högeffektiva fasta teknologier tillämpats även inom rymdflygning, oftast som boosterraketer för att ge extra dragkraft under den tidiga uppstigningen av raketer med flytande bränsle. Vissa konstruktioner har dock också haft fast bränsle i övre steg.



Exempel på sådana rymdraketer inkluderar ryska Proton, europeiska Ariane, amerikanska Atlas V och rymdfärjan och Japans H-II. De största fastbränsleraketerna, som någonsin byggts, är Aerojets tre monolitiska massiva motorer gjutna i Florida. Motorerna 260 SL-1 och SL-2 var 6,63 meter i diameter, 24,59 meter långa, vägde 842900 kg och hade en maximal dragkraft på 1600 ton. Bränntiden var två minuter. Munstyckshalsen var tillräckligt stor för att en människa skulle kunna gå igenom den stående. Motorn kunde tjäna som ersättning för månraketen Saturn I:s första steg med flytande drivmedel och åtta motorer, men användes aldrig som sådan. Motor 260 SL-3 hade samma längd och vikt men hade en ännu större maximal dragkraft på 2400 ton och en kortare varaktighet.

Fast bränsle används fortfarande i missiler och rymdraketer, men ersätts alltmer av raketer med flytande drivmedel, som är mer effektiva och kontrollerbara utom i större applikationer där fasta bränslens enkelhet och tillförlitlighet är en fördel.

Vätskeraketen blir till

Om fastbränsleraketen uppfanns redan på 1200-talet så är vätskeraketen ett barn av 1900-talet. Sitt genombrott fick den i Tyskland under andra världskriget och i samband med erövringen av rymden.

Raketens dragkraft är oberoende av flyghastighet, inom eller utanför atmosfären. Detta gör den särskilt väl lämpad för rymdresor. Gaserna för raketstrålen kan framställas av fasta eller flytande drivmedel. I det senare kan trycksatta tankar eller turbopumpar användas för att transportera vätskorna till förbränningskammaren innan de matas ut genom munstycket.

Motorer med flytande bränslen har vissa egenskaper, som gör att de är att föredra framför fasta system som en högre strålhastighet och förmågan att kontrollera dragkraftsnivån under flygning. Nedstängning kan också lätt åstadkommas med flytande raketer genom att helt enkelt stänga drivmedelsventilerna.

Uppfinnare av den flytande raketmotorn var Robert H. Goddard, en amerikansk vetenskapsman, som från 1908 till 1945 genomförde ett brett spektrum av raketexperiment. Goddards många bidrag till teori och konstruktion av raketer gör att han betraktas den moderna raketteknikens fader. Hans arbete fick inget genomslag i hemlandet USA, men ledde så småningom till de stora tyska raketerna under andra världskriget och erövringen av rymden under andra halvan av 1900-talet.

Goddards intresse för raketer började 1898 när han som sextonåring läste den brittiske science fiction-författaren H.G. Wells. Han började arbeta med raketer 1915 och år 1919 publicerade han en artikel med titeln "Method of Reaching Extreme Altitudes." I den drog han slutsatsen att en raket skulle fungera bättre i ett totalt vakuum än i atmosfären. Detta var mot den populära tron att en raket behövde luft att ta spjärn mot.

I början ägnade han sig åt fastbränsleraketer, men han fortsatte experimentera och den 16 mars 1926 flög han den första flytande raketen. Driven av flytande syre och bensin, flög den bara två och en halv sekund, steg till 12,5 meter och landade 56 meter bort i en kålåker. Med dagens mått mätt var flygningen föga imponerande, men liksom det första motordrivna flygplanet av bröderna Wright 1903 var Goddards

bensinraket föregångare till en helt ny era i raketflygning.

Efter denna första framgång, flög han andra raketer på landsbygden i Massachusetts tills de började krascha i grannarnas betesmarker. Den lokala brandkåren förklarade raketerna som en brandrisk och han fick avsluta sina prov. Charles Lindbergh kom då till Goddards undsättning genom att hjälpa honom att få ett bidrag från Guggenheimstiftelsen. Med dessa pengar på fickan flyttade Goddard till Roswell, New Mexico, där han kunde experimentera utan att utsätta någon för fara. Där utvecklade han det första gyrostyrda raketstyrsystemet och flög så småningom raketer snabbare än ljudet och på höjder upp till 2500 meter.

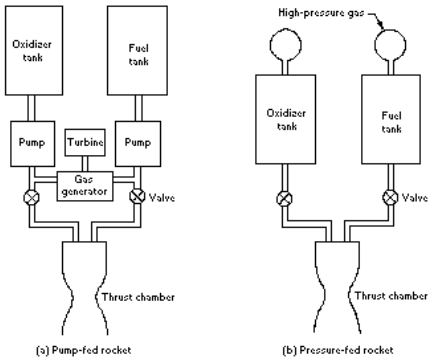
Goddards arbete fick inget genomslag i hans hemland USA, men däremot i Tyskland under andra världskriget. Forskningen om militära tillämpningar av långdistansraketer började när studier av doktoranden Wernher von Braun väckte den tyska arméns uppmärksamhet. En av anledningarna till att Tyskland började utveckla V-2:an och andra raketer under 1930-talet var att raketer inte var förbjudna vapen för Tyskland enligt bestämmelserna i Versaillesfreden.

Wernher Magnus Maximilian, Freiherr von Braun, född 23 mars 1912 i Wirsitz, Tyskland, död 16 juni 1977 i Alexandria, Virginia, var Nazitysklands ledande raketforskare och mannen bakom de första lyckade uppskjutningarna av raketer i atmosfären. Han kallas därför ibland "rymdens besegrare". Han var 1937–1945 teknisk chef för utvecklingen av V-2-raketen, som i andra världskrigets slutskede användes av Tyskland mot Storbritannien.

Efter andra världskriget blev han tillfångatagen av den amerikanska armén, sedan hans bror Magnus von Braun, som kunde engelska, kontaktat amerikanerna. Efter krigsslutet fortsatte han sitt arbete i USA, till en början under internering. År 1955 blev han amerikansk medborgare och övergick till att leda USA:s utveckling av raketer för rymdprogrammet, bland annat Saturn I, Saturn IB och Saturn V.

Aggregat 4 (A4), mer känd som Vergeltungswaffe 2 eller bara V-2, var den första guidade ballistiska långdistansroboten. Roboten, som drevs av en raketmotor med flytande bränsle, utvecklades under andra världskriget i Tyskland som ett "vedergällningsvapen", skapat i syfte att attackera allierade städer som hämnd för de allierades bombningarna mot tyska städer. V-2:an blev också det första konstgjorda objektet som reste ut i rymden genom att korsa den s k Karmanlinjen på 100 km höjd med en vertikal uppskjutning den 20 juni 1944.

Vätskeraketen



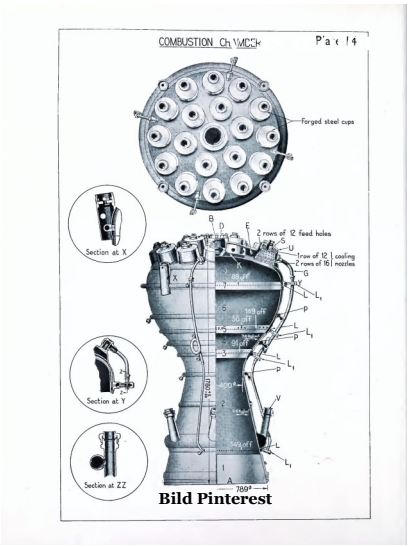


Bild Pinterest

Vätskeraketer bär drivmedlen i behållare skilda från brännkammaren. De flesta av dessa motorer använder flytande oxidationsmedel och bränsle, som överförs till brännkammaren med pumpar eller genom tryck i tankarna. De två systemen visas i figuren ovan. Drivmedlen injiceras i brännkammaren på ett sätt, som säkrar atomisering och snabb blandning. Där brinner de för att skapa en ström av heta gaser med högt tryck och hög hastighet. Dessa gaser strömmar genom ett munstycke som accelererar dem ytterligare, och lämnar sedan motorn som en drivstråle.

I det tryckmatade systemet trycksättes tankarna med inerta gaser för att verka mot trycket i brännkammaren. I denna typ av motorer är bränsle och gastankar mycket tunga, vilket förklarar varför denna princip endast används för mindre raketer med kortare brinntid. För kryogena drivmedel som flytande väte och syre är det inte ett alternativ alls på grund av vätets låga densitet och motsvarande stor bränsletankstorlek. Å andra sidan kan borttagningen av pumputrustningen höja den totala tillförlitligheten.

Hybridmotorer representerar en mellangrupp mellan fasta och flytande drivmedelsmotorer. Ett av ämnena är fast, vanligtvis bränslet, medan den andra, vanligtvis oxidationsmedlet, är flytande. Vätskan sprutas in på det fasta bränslet, som också fungerar som brännkammare. Sådana motorer har prestanda liknande de hos fasta drivmedel, men förbränningen kan moderas, stoppas eller till och med startas om. Det är dock svårt att använda sig av detta koncept för mycket stora raketer och därför används hybridmotorer sällan.

I pumpmatade motorer används en gasgenerator för att driva turbopumpar, som levererar bränsle och oxidator till brännkammaren. Pumparna måste generera extremt höga tryck för att övervinna det tryck, som det brinnande bränslet skapar i brännkammaren.

Motorn till V-2 var en teknisk prestation genom att använda snabba pumpar för att snabbt flytta stora volymer bränsle in i tryckkammaren. V-2: s flytande syre- och alkoholdrivmedel gav en drivkraft på 25 ton, vilket gav raketen ett maximal räckvidd på 350 km. Tyskland gjorde cirka 6000 V-2 under 1944-1945 och skickade mer än 2600 mot London, Antwerpen, Liège, Bryssel, Paris och Luxemburg.

V-2 motorn var den största och mest kraftfulla raketmotorn fram till den tiden. Mycket avancerad på 1940-talet banade den vägen mot mer kraftfulla raketer som utvecklades på 1950-talet och senare.

Två kritiska motordelar var turbopumparna och brännkammaren. Stora flytande raketmotorer kräver att stora mängder drivmedel matas in i brännkammaren snabbt och under högt tryck. Detta åstadkoms på V-2 genom att använda höghastighets gasturbinpumpar eller turbopumpar. Dessa pumpar - den ena för flytande syre, den andra för alkohol - var ångdrivna. Ångtryck kom från den kemiska reaktionen mellan två vätskor, natriumpermanganat och vätperoxid. Turbinen utvecklade 580 hästkrafter och drev pumparna med cirka 3 800 varv per minut. Höghastighets turbopumpar har varit en kritisk komponent i raketmotorer i många decennier, och även de senaste raketerna använder dem.

En annan viktig komponent i V-2-designen var dess brännkammare. De två turbopumparna tvingade alkohol och flytande syre genom små munstycken under högt tryck till att blandas högst upp i kammaren. Dessa innovativa munstycken sprutade en dimma av små droppar, vilket fick blandningen att brinna effektivt och med enorm kraft.

Temperaturen inuti brännkammaren var cirka 2700 grader Celsius, tillräckligt för att smälta stål. Kylning av kammaren var därför avgörande för att hindra motorn från att förstöra sig själv. V-2: s konstruktörer uppfann två metoder för att kyla motorn: regenerativ kylning och filmkylning.

Regenerativ kylning använde raketens vatten / etylalkoholbränsle för att avlägsna överflödig värme. Denna vätska cirkulerade mellan brännkammarens dubbla väggar och kylde dem innan den gick genom injektorns munstycken. Samtidigt användes ett tunt lager alkohol för att filmkyla de inre brännkammarväggarna. Denna alkoholfilm injicerades genom små hål i kammarväggen och bildade en barriär mellan lågan och väggen.

Vätskeraketen

Regenerativ och filmkylning användes på senare raketer med stor framgång. De massiva raketmotorerna för månprojektet Apollo, rymdfärjans huvudmotorer och många militära flytande raketmotorer litade på dessa grundläggande tekniker när raketerna utvecklades under årtiondena efter andra världskriget.

Det finns tre grundläggande sätt att ordna pumpmatade system. Expandercykeln använder ingen separat gasgenerator utan turbinen drivs av bränslet efter att det värmts upp genom att kyla huvudbrännkammaren. Detta begränsar turbinens inloppstemperatur som i sin tur begränsar det uppnåeliga brännkammartrycket. Denna motor används därför främst som en rymdmotor, där den kan expandera till vakuum och få ett högt expansionsförhållande trots det låga brännkammartrycket.

I den så kallade integrerade cykeln används en bränslerik gasgenerator för att generera turbinens drivgaser. Dessa gaser injiceras sedan i brännkammaren. Bränsle används för att kyla huvudbrännkammaren. Resultatet är högt tryck (20 Mpa) och hög specifik impuls. Detta system användes i Rymdskyttelns Main Engine av den amerikanska rymdstyrelsen NASA åren 1981–2011 för att frakta rymdfarare och last till och från omloppsbana runt jorden.

Motorerna för Rymdskytteln hade en dragkraft i vacuum av 2090 kN och en strålhastighet av 4500 m/s. De tre motorerna, som drev huvudsteget i Rymdskytteln hade en sammanlagd effekt av 27000 MW, vilket motsvarar ca 30 konventionella kärnkraftverk.

Den mest kända integrerade motorn är kanske F-1, som tillverkades av Rocketdyne. F-1 var den kraftigaste vätskedrivna raketmotor som byggts med dragkraften 6770 kN. Fem F-1-motorer användes i Saturn V raketens första steg.

Saturn V (Saturn C-5), månraketen var en flerstegsraket med tre raketsteg avsedda att användas endast en gång, Saturn V var en vidareutveckling av de tidigare raketerna i serien Saturn, som utvecklades under Wernher von Braun. Den användes av NASA för Apolloprogrammet och Skylab under åren 1967-1972.

Gasgeneratorcykeln slutligen används i Vulcainmotorn för första steget i Ariane 5. Turbinavgaserna används här för att kyla munstycket och matas sedan ut i drivstrålen. I detta system är prestandan lägre på grund av det lägre brännkammartrycket och förskjutningen i brännkammarens blandningsförhållande som är nödvändigt för att balansera effekten av de bränslerika turbinavgaserna.

Vulcain-motorn visas på bilden med turbiner och utloppsmunstycke utvecklade och tillverkade av dåvarande Volvo Aero. Från utsidan ser en vätskeraketmotor ofta ut som en labyrint av rör, som kopplar tankarna till pumparna, bär kylvätskeflödet till och från kylmantlarna, och förmedlar pumpade vätskor till injektorn i brännkammaren. Dessutom är motorerna i allmänhet monterade på gångjärn så att de kan vridas några grader för att kontrollera riktningen på dragkraften med ställdon anslutna mellan motorn och farkostens struktur.

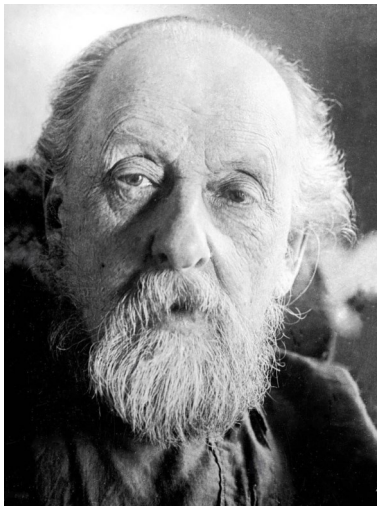
Problemet med de konventionella raketmunstyckena är att de är optimerade för en fast operativ punkt. Eftersom det atmosfäriska trycket minskar konstant medan raketen stiger genom luften medan flödesförhållandena inom munstycket förblir desamma, så ändras motorns prestanda under flygningen. Motorer med aerospike-munstycken utvecklade av Rocketdyne på 1950-talet, var ett försök att undvika detta problem. I aerospike-motorer styrs inte de heta gaserna längs motormunstyckets insida utan strömmar längs den yttre ytan av en munstyckesramp som har en öppen sida mot atmosfären. Rampen fungerar som den inre väggen i munstycket, medan det omgivande atmosfärstrycket fungerar som en osynlig yttervägg.

Rocketdyne genomförde en lång rad prov på 1960-talet av olika konstruktioner. Trettio år senare återupplivades deras arbete för användning i NASA:s X-33-projekt. Lockheed Martin X-33 var en obemannad demonstrator av ett suborbitalt rymdplan utvecklat på 1990-talet under den amerikanska regeringens Space Launch Initiative. Utvecklingen stoppades formellt i början av 2001 när X-33-programmet inte fick fortsatt finansiering.

När man började flyga till rymden

Klockan 20.28 svensk tid fredagen den 4 oktober 1957 dundrade Sputnik ut i rymden från rymdbasen Bajkonur i Sovjetunionen. Snart kunde de som var ute och spanade på natten se en punkt röra sig över himlen. Med en hastighet på 29 000 kilometer i timmen for den runt jorden på cirka 95 minuter. Det var början på rymdåldern.

För att komma in i en satellitbana nära en planet måste man nå den så kallade cirkulära hastigheten erhållen från balansen mellan centrifugal och gravitationskrafter på ett visst avstånd från jordens centrum. Denna hastighet är mycket hög, nästan 8 km/s. Fram till slutet av 1800-talet hade man ingen aning om hur sådana hastigheter kunde uppnås. Allt förändrades 1898, när en okänd grundskolelärare i en liten stad utanför Moskva kom med idén om rymdutforskning med raketer. Eftersom denna typ av motor är oberoende av atmosfären är den idealisk för rymdflygning.



I sina många skrifter föreslog Konstantin E. Tsiolkovsky (1857-1935) flytande drivmedel, flerstegsraketer och rymdstationer. Under sina senare år fick han uppskattning för sitt arbete, blev en favorit hos Stalin och tilläts förklara sina idéer om rymdfärder för respektfulla men förmodligen klentrogna folkmassor vid ett 1 maj-firande på Röda torget.

Den hastighet som kan uppnås med en viss mängd drivmedel härleddes först av Tsiolkovsky 1895 för rak raketrörelse med konstant utloppshastighet. Detta kallas numera Tsiolkovsky-ekvationen och utgör grunden för raketflygning. Tsiolkovsky uppgav att raketens hastighet och räckvidd endast begränsades av utloppshastigheten..

Det visar varför hög utloppshastighet historiskt har varit en drivkraft för raketdesign. Raketerna på Tsiolkovskys tid var av fast drivmedelstyp. En typisk utloppshastighet för ett fast drivmedel är under 2500 m/s. Detta är inte tillräckligt för rymdresor och en kraftfullare motor behövdes. Svaret var flytande drivmedel.

I en skrift, som han publicerade 1903 hade Tsiolkovsky föreslagit användning av flytande drivmedel för raketer för att uppnå större räckvidd och hastighet, men den verkliga uppfinnaren av den flytande raketmotorn var, som vi såg i förra kapitlet, amerikanen Robert Goddard.

Förutom att uppfinna den flytande raketmotorn uppgav Robert Goddard också att flerstegs- raketer var svaret på att uppnå höga höjder och den hastighet som behövdes för att undkomma jordens gravitation. Tanken är att utbrända steg kastas bort för att lätta raketen, när den stiger genom atmosfären. Det blir också möjligt att använda effektivast möjliga munstycken när raketen stiger genom allt tunnare luft.

I USA fick inte Goddard något större erkännande för sina ideer men i Europa skrev den rumänskfödde Hermann Oberth 1923 en mycket profetisk bok, där han bevisade att flygning bortom atmosfären kan vara möjlig. I en annan bok från 1929 föreslog Oberth flerstegsraketer med flytande bränsle. Dessa böcker fängslade många med drömmar om rymdfärd, inklusive en tysk tonåring, Wernher von Braun, som läste den första boken 1925. Fem år senare hade von Braun anslutit sig till Oberth och hjälpte till med raketexperiment.

Vid 22 års ålder hade von Braun avlagt sin doktorsexamen i fysik. Två år senare ledde han Tysklands militära raketutvecklingsprogram. Tyskarna tog Goddards idéer och förvandlade dem till riktiga vapen. Raketforskarna växte snabbt ur sina anläggningar i Kummersdorf i utkanten av Berlin och 1936 överfördes verksamheten till den avlägsna ön Peenemuende vid Tysklands Östersjökust.

På grund av de tidiga pionjärernas arbete och en mängd raketexperiment uppfattades potentialen av raketframdrivning åtminstone vagt före andra världskriget, men det fanns många tekniska hinder att övervinna. Utvecklingen påskyndades dock under slutet av 1930-talet och särskilt under krigsåren.

Under von Braun fulländade tyskarna den stora vätskedrivna raketen, som kulminerade i en ballistisk långdistansmissil, Vergeltungswaffe nummer två, V2. Det var den första framgångsrika ballistiska långdistansroboten, och Wernher von Braun var dess främste utvecklare.

Efter två misslyckade försök, den 3 oktober 1942, vrålade en tredje V2 upp från Peenemuende, följde sin programmerade bana perfekt och landade på ett mål 190 kilometer bort. Denna uppskjutning kan ganska sägas markera början av rymdåldern.

V2 var den största raketfarkost, som dittills tillverkats. Den var 14 m lång, 1,6 m i diameter och utvecklade 25 ton dragkraft. Den uppnådde sin stora dragkraft genom att bränna en blandning av flytande syre och alkohol med en hastighet av cirka ett ton var sjunde sekund.

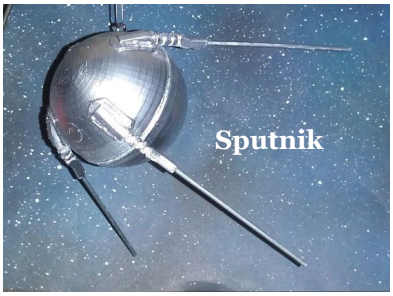
När V2 lanserades var den ett formidabelt vapen som kunde ödelägga hela kvarter. Ändå var V2-raketen liten i jämförelse med dagens raketer. De viktigaste framstegen var kanske utvecklingen inom framdrivningen med pumpar, injektorer och kylsystem för flytande drivmedel och högenergidrivna fasta drivmedel som kunde göras i stora bitar med tillförlitliga brännegenskaper.

När andra världskriget närmade sig sitt slut ledde von Braun sin kontingent av flera hundra raketforskare och ingenjörer till amerikanska linjer. Andra tyska forskare hamnade i Sovjetunionen och i Frankrike. Bland dem som hamnade i Sovjetunionen var Helmut Gröttrup som varit von Brauns assistent. Senare skickades de tyska ingenjörerna tillbaka, de blev inte en del av det sovjetiska rymdprogrammet som von Braun blev inom Nasa. Efter 1955 drevs verksamheten i Sovjet av ryska ingeniörer. Även till Frankrike kom tyskarna. Viking-motorerna, konstruerade i Frankrike för de europeiska raketerna Ariane 1-4, och delvis tillverkade av Volvo var baserade på tysk krigstidsdesign.

I juni 1945 godkände general Eisenhower den sista serien av V2-uppskjutningar i Europa. En av dem som såg på, när de tre V2:orna steg från sin avfyrningsplats i Kuxhafen, var en rysk arméöverste, Sergej Koroljov. Tio år senare skulle Koroljov hyllas som Sovjetunionens främste raketkonstruktör och den person som ansvarade för att bygga rymdfarkosterna Vostok, Voshkod och Sojuz, som efter 1961 förde alla sovjetiska kosmonauter till omloppsbana.

Koroljov (1907-1966) deltog i studierna före andra världskriget av raketer i Sovjet, gick igenom Stalins fängelser och deltog senare i sökandet efter raketvapen i det ockuperade Tyskland. Hans otroliga energi, intelligens, tro på utsikterna för raketekniken, chefsförmåga och nästan mytiska färdigheter i att hantera beslutsprocessen gjorde honom till chef för det första sovjetiska raketutvecklingscentret. Han gjorde raketvapnen till ett instrument för rymdutforskning och Sovjetunionen till världens första rymdnation.

Den 4 oktober 1957 chockades världen av nyheten om en konstgjord satellit i omloppsbana runt jorden uppskjuten av Sovjetunionen. Den före detta gulagfången Sergej Koroljov hade själv konstruerat satelliten, övervakat varje steg i tillverkningen och krävt att den skulle poleras tills den sken, eftersom det skulle reflektera solljuset och minska risken för överhettning. Efter att ha laddat den 83,6 kilo tunga kulan i en bärraket gick han själv i täten den 1,5 kilometer långa vägen från uppskjutningsrampen och tog plats i kontrollrummet på Bajkonur Cosmodrom.



Satelliten kallad Sputnik I var det första lyckade bidraget i en kamp om rymden mellan de två supermakterna. Den nypolerade aluminiumkulan var inte större än en badboll med sina 58 centimeter i diameter och hade bara tagit en månad att rita och bygga. Inuti fanns två radiosändare av simpel modell och på utsidan var fyra antenner fästa.

Nedräkningen inleddes och på klockslaget 20.28 svensk tid dundrade Sputnik ut i rymden. Världen över började radioamatörer fångat upp det utomjordiska ljudet från satelliten. Signalerna som spelades upp i radion var bara pip, pip, piip, men det visade sig så småningom att signalerna var mycket enkelt kodade. Längden på pipen var temperaturen och hur ofta de kom var trycket ombord i kulan

Knappt hade världen hämtat sig förrän Sputnik 2 var i luften en månad senare. Denna gång med en passagerare, en hund som hette Laika. Medan den första satelliten fortfarande snurrade runt jorden byggde man en sex gånger större kapsel med plats för en Laika. Då blev det ännu större rubriker och ännu större engagemang. Hundens öde var angeläget för alla. Skulle hon överleva?

Tyvärr inte. Laika dog av överhettning i kapseln innan man hunnit med alla mätningar man tänkt. I dag vet vi att hon aldrig hade en chans. Även om hon klarat hettan hade hon ändå aldrig kommit tillbaka eftersom man fortfarande inte visste hur man landar en rymdfarkost.

Sovjetunionens intåg i rymden ledde till en kapplöpning med USA. Några månader efter den första Sputniken följde USA efter Sovjetunionen med en egen satellit. Von Braun och hans team hade utvecklat vad som i huvudsak var en super-V2-raket, uppkallad efter Redstone, den amerikanska arméns arsenal där den konstruerades.

1956 grundades Army Ballistic Missile Agency vid Redstone Arsenal under von Brauns ledning för att utveckla den ballistiska medeldistansroboten Jupiter. En version av Redstone-raketen, känd som Jupiter C, användes den 31 januari 1958 för att skjuta upp USA:s första satellit, Explorer I. Tre år senare sände USA Alan Shepard och Virgil Grissom på suborbitala rymdflygningar, vilket banade väg för John Glenns första omloppsflygning.

Men Sovjet hade tydligt och klart tagit ledningen i rymdkapplöpningen och de krönte sin framgång med den första bemannade rymdfärden den 12 april 1961. Det var den 5 ton tunga Vostok-rymdfarkosten med kosmonauten Jurij Gagarin ombord. Hans flyg varade i 1 timme och 48 minuter innan kapseln landades med fallskärm någonstans i Sibirien. Gagarin överlevde men omkom senare i en flygolycka 1968.

Rymdflygning

Sovjetunionen skickade även upp den första kvinnan i rymden, Valentina Teresjkova den 16 juni 1963, när hon lyfte med rymdfarkosten Vostok 6 från kosmodromen i Bajkonur.

Sovjetunionen fortsatte att fira framgångar med månprogrammet Luna. Programmet pågick mellan 1959 och 1976 och samtliga rymdfärder var obemannade. Många av uppdragen misslyckades, men man gjorde också många framsteg, som att ta de första fotografierna av månens baksida och första

Gagarin och Koroljov

lyckade landningen på månen. Man låg också bakom den första rymdstation som kom i omloppsbana runt Jorden. Saljut 1 sköts upp 19 april 1971. Av de nio stationer som skickades upp kom sex att vara bemannade under olika lång tid. den sista brann upp i jordens atmosfär den 7 februari 1991.

Alla bemannade flygningar till och från stationerna skedde med Sojuz-raketen. Den var kanske det mest långvariga resultatet av de ryska ansträngningarna. Den introducerades 1966 och var ursprungligen en trestegsraket, men en variant tillverkades med ett fjärde raketsteg för att nå höga elliptiska banor. Den var baserad på raketen Vostok som i sin tur var baserad på kärnvapenroboten R-7 utvecklad av Koroljov.

Tillverkningen av Sojuzraketer nådde sin höjdpunkt på 1980-talet, då 60 tillverkades varje år. Med sina 1 700 flygningar är den världens mest använda raket, långt fler än någon annan. Den har en gammal utformning, men har relativt låga kostnader och mycket hög tillförlitlighet, vilket är attraktivt för kommersiella kunder. Den använder fotogen och flytande syre som drivmedel.

Sedan 2011 skjuter Sojuzraketer upp kommersiella satelliter från den europeiska raketrampen i Franska Guyana och efter nedläggningen av den amerikanska rymdfärjan användes den

Sojuz

i flera år för transporter till den internationella rymdstatioen.

Men det var USA, som visade mest handlingskraft i rymdkapplöpningen. Redan i oktober 1958 organiserade USA formellt sitt rymdprogram genom att skapa National Aeronautics and Space Administration (NASA). NASA blev en civil myndighet med målet att samordna de amerikanska ansträngningarna i rymden. Någon motsvarighet fanns inte på den ryska sidan. Där var verksamhetan betydligt mer uppsplittrad på olika ingeniörsbyråer och efter Sergej Koroljovs död 1966 hade man svårt att få fram de medel och kunskaper som behövdes.

Helt avgörande var att år 1961 beslöt president Kennedy att USA skulle vara först på månen, det så kallade Apolloprogrammet. För att nå månen behövde man nya, stora bärraketer och NASA:s Marshall Space Flight Center fick i uppdrag att utveckla familjen av jätteraketer som skulle ta USA dit.

Saturnusraketerna var de mest kraftfulla rymduppskjutningsfarkosterna någonsin. Trestegsraketen Saturnus V:s första steg använde fem motorer om vardera 680 tons dragkraft och brände cirka 14 ton fotogen och flytande syre per sekund i 2,5 minuter. 2000 ton bränsle gick åt. Saturn V var en imponerande maskin med sin höjd på 110,6 m och 10 m i diameter. Den vägde 3 038,5 ton och kunde ta en last på 118 ton till låg omloppsbana runt Jorden och 47 ton till månen.

Snart kretsade astronauter runt jorden på långvariga uppdrag och 1969 nådde USA månen och vann rymdkapplöpningen. Efter flera misslyckanden ställde Sovjetunionen 1971 in arbetena med N1-raketen, dess motsvarighet till Saturnus V.

Saturn V

Den 17 juli 1975 skrevs rymdhistoria då en Sojuz- och Apollokapsel dockade med varandra. Detta var första gången rymdfarkoster från de två länderna dockade med varandra och kan ses som slutet på rymdkapplöpningen.

Rymden öppnades plötsligt för utforskning och kommersiellt utnyttjande. Satelliter gjorde det möjligt att undersöka världen, förutsäga vädret och kommunicera omedelbart runt om i världen. Robotfarkoster reste till planeterna. I takt med att efterfrågan på fler och större nyttolaster ökade måste ett brett utbud av kraftfulla och mångsidiga raketer byggas. Sedan de första dagarna av upptäckter och experiment har raketerna utvecklats från enkla krutanordningar till gigantiska farkoster.

Europa följde i spåren av USA och Sovjet. Den europeiska Ariane är idag en av världens mest framgångsrika kommersiella raketer med ungefär hälften av världsmarknaden för satellituppskjutningar. Det är en mycket pålitlig flytande väte/ flytande syredriven bärraket i kombination med två gigantiska solida strap-on boosters. Den lanseras från Kourou Space Center i Franska Guyana av Arianespace, det första rymdtransportföretaget i världen, bestående av ett konsortium av europeiska flygföretag.

Arianespace har följts av flera privata uppskjutningsbolag. Nya supermakter som Kina och Indien och många mindre länder har också följt efter och rymden är på väg att bli en drivkraft i världsekonomin.

Rymdflygplanens historia

Drömmen om att flyga hela vägen till rymden började när det första flygplanet flög vid Kitty Hawk 1903. Trots många planer, prototyper och experimentella flygningar sedan dess har endast två rymdplan någonsin tagits i bruk, rymdfärjan och den topphemliga lilla obemannade Boeing X-37B. Endast den senare är kvar i tjänst, men kan rymdplanet komma igen under 2000-talet?

BBC Future: Återuppliva det återanvändbara rymdplanet
Project 921-3 Tengyun Space Plane - GlobalSecurity.org
ESA - Space Rider

Det är enkelt att se fördelarna med rymdflygplan. Idén är att flyga till en rymdstation och tillbaka precis som man flyger i ett flygplan från Göteborg till London. Eftersom rymdflygplan använder landningsbanor kan de starta och landa oftare. Och om man vill hämta ner en satellit, är ett rymdplan och inte en kapsel med besättning, som återvänder till jorden via fallskärm den enda lösningen. Rymdflygplan kan också användas för att testa militär utrustning och till och med för att fånga fiendens satelliter.

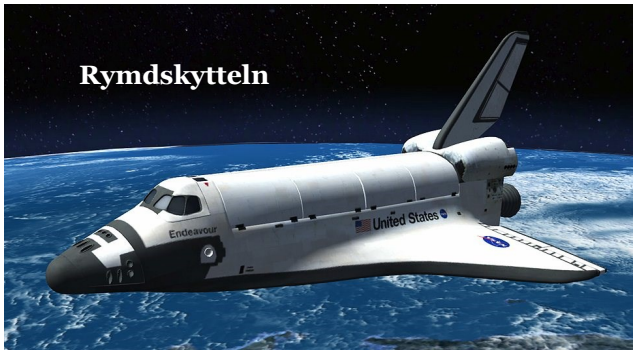
Tanken är inte ny. Ryssen Friedrich Zander publicerade redan 1911 planer på ett interplanetärt rymdflygplan byggt av brännbara legeringar av aluminium. Det skulle starta som ett konventionellt flygplan och sedan bränna upp sina vingar som bränsle när det nådde den övre atmosfären och inte längre behövde dem. År 1921 presenterade han rent av idén för Vladimir Lenin på en uppfinnarkonferens, som denne av någon anledning hade hamnat på.

Den ryske rymdpionjären Tsiolkovskiy påpekade 1929 att ett flygplans höjd inte behöver begränsas till atmosfären om raketframdrivning användes. Detta inspirerade raketentusiaster i Sovjetunionen och ledde till utveckling av experimentella och militära raketplan under 1930-talet.

Lite senare 1944 under andra världskriget föreslog två tyska forskare, Eugen Sänger och Irene Bredt, ett koncept för ett hypersoniskt raketdrivet flygplan som kunde bomba USA. Ett sådant flygplan skulle stiga till cirka 40 km innan det stängde av sina motorer och seglade tillbaka till kanten av atmosfären. Där skulle det återigen avfyra sina luftandande motorer och hoppa tillbaka ut i rymden. Farkosten skulle upprepa denna hoppande rörelse längs kanten av jordens atmosfär ungefär som en sten som hoppar över vatten, tills den nådde sin destination, New York. Uppenbarligen tände inte Hitler på idén, fast han vid det laget behövde alla möjliga slags vapen efter att ha gett sig i krig med resten av världen. Förslaget påverkade kanske ändå formen på det första amerikanska rymdflygplanet, X1, det första raketdrivna flygplanet, som bröt ljudbarriären den 14 oktober 1947.

På 1950-talet lade raketpionjären Wernher von Braun fram sin vision av en "raket med vingar" och US Air Force dammade av Sängers idé. Inom X-15-programmet gjordes nästan 200 flygningar från 1959 till 1968 och man nådde Mach 6.7, den högsta hastigheten hittills i ett bemannat flygplan.

Boeing X-20 Dyna-Soar var ett amerikanskt program för att utveckla ett rymdplan, som skulle kunna användas för en mängd olika militära uppdrag, bland annat flygspaning, bombning , rymdräddning, satellitunderhåll och för att sabotera fiendens satelliter. Programmet avbröts dock 1963 till förmån för det raketbaserade Gemini-programmet



för att man snabbare skulle få upp människor i rymden.

Den ursprungliga Gemini-rymdfarkosten skulle flyga ut i rymden på en raket och landa på en landningsbana som en skärmflygare, men man insåg att det var lättare att landa med fallskärm i vatten. Hemliga sovjetiska projekt misslyckades också. MiG-105, till exempel, var en bemannad provfarkost utvecklad för ett sovjetiskt rymdflygplan. Det flög första gången 1976 men avbröts två år senare.

Dyna-Soar programmets teknik ledde fram till Space Shuttle, eller officiellt Space Transportation System. Det var en bemannad rymdfarkost, som användes av USA:s rymdstyrelse NASA mellan åren 1981 och 2011 för transporter till låg rymdbana. Den första rymdfärjan, Columbia, sändes upp 1981. Totalt har fem exemplar av Space Shuttle tagits i bruk, varav två förolyckats (Columbia och Challenger) och tre tagits ur drift (Discovery, Endeavour och Atlantis). Systemet lades ner 2011. Den sista flygningen var med Atlantis som lyfte fredagen den 8 juli 2011.

USA är inte det enda land som är intresserat av rymdflygplan. Den sovjetiska Buran var inspirerad av NASA: s rymdfärja. Den flög obemannad 1988, men fullbordade aldrig ett bemannat uppdrag före Sovjetunionens fall. Japan började forska om rymdflygplansteknik 1987. Europeiska rymdorganisationen har haft liknande tankar och Tyskland gav sig på 1990-talet in på det senare inställda Sänger-konceptet med ett tvåstegs rymdflygplan. Storbritannien har utvecklat flera rymdflygplanskoncept, varav några daterar sig till 1950-talet. Planerna för europeiska och japanska rymdflygplan var fortfarande bara planer och Kinas avsikt att bygga ett eget rymdflygplan hölls tillbaka av att raketer var en snabbare väg ut i rymden. Kina lanserade sina första taikonauter i rymden 2003 istället för som planerat 2020.

Den senaste amerikanska forskningsinsatsen var det högprofilerade National Aerospace Plane (NASP), eller X-30, som avbröts 1994 på grund av budgetnedskärningar. Motiveringen till NASP var att det skulle göra det möjligt för mycket korta flygtider från USA:s västkust till Japan.

Trots allt slutade USA inte att drömma om ett återanvändbart rymdplan och 1994 inleddes ett tredelat teknikdemonstrationsprogram. DC-X, Delta Clipper, gjorde fyra framgångsrika flygningar som demonstrerade dess vertikala landningsförmåga. Testerna avslutades dock den 31 juli 1996, då fordonet välte och exploderade efter sin fjärde flygning. X-33 lyftkroppskonceptet kallades Venture Star. Den hade en ny aerospikemotor och skulle starta vertikalt men landa som ett flygplan. X-34 var en enstegs raket med korta vingar och en liten stjärtyta som kunde flyga till Mach 8. Den skulle bäras upp ombord på ett L-1011-flygplan. Båda avslutades i slutet av 1990-talet.

Ur dessa projekt föddes den obemannade Boeing X-37B . Boeings förslag om en större, bemannad version avvisades dock. Boeing X-37 är en obemannad återanvändbar experimentrymdfarkost tillhörande USA:s flygvapen och bygger på Boeing X-40, som började utvecklas 1999 av NASA. År 2004 övertog USA:s försvarsdepartement projektet i sin helhet. Från början var det tänkt att farkosten skulle skjutas upp med USA:s rymdfärjor, men efter olyckan med rymdfärjan Columbia bestämdes att man skulle använda en Delta II-raket för uppskjutningen. Senare byte man till en Atlas V-raket då denna rakettyp klarar större aerodynamiska påfrestningar än vad Delta II gör. X-37 omges av mycket hemlighetsmakeri. Det uppges att den skall kunna stanna i omloppsbana i upptill 270 dygn. Vad den gör där vet bara de invigda.

Den europeiska rymdorganisationen ESA har kontrakt med de italienska Thales Alenia Space och Avio för Space Rider - Europas första rymdplan - för uppskjutning 2023 på en förbrukningsbar Vega C-raket. Enligt kontraktet kommer Thales Alenia Space Italy att bygga Space Riders återanvändningsmodul medan Avio levererar en förbrukningsbar servicemodul och framdrivningssystem.

Space Rider är en vidareutveckling av ESAs Intermediate eXperimental Vehicle (IXV), suborbital återinträdesfarkost, som flög sitt första och enda uppdrag 2015 och tillbringade nästan en timme i rymden innan en landning på vatten och återhämtning. Space Rider kan bära upp till 800 kg nyttolast. Dess förbrukningsbara servicemodul kommer att förlänga Space Riders vistelse i omloppsbana, så att rymdflygplanet kan fungera som en fritt flygande plattform för ett brett spektrum av uppdrag, som liknar det amerikanska X-37B.

En sak är dock säker. Oavsett vilken framtid rymdplanet har kommer det att involvera Kina. Kina avslöjade Tengyun-projektet 2016, som syftar till att utveckla ett återanvändbart rymdplan. Rymdplanet består av två steg med det större flygplanet som bärflygplan, som kommer att landa precis som ett normalt plan,

En liten modell visades vid Zhuhai Airshow 2018. Demonstration och verifiering av rymdskeppet Tengyuns horisontella start, horisontella landning (HTHL) ska vara färdigt 2025 och den första flygningen för det kinesiska rymdplanet ska ske 2030. Enligt tidigare rapporter kommer Tengyun att kunna bära både besättning och last till omloppsbana. Det kommer också att kunna lyfta upp satelliter. I oktober 2019 genomförde den kinesiska akademin för rymd och aerodynamik framgångsrikt ett vindtunnelexperiment,

där det andra stegets flygplan fritt lossnade från första steget.

Rymdplanet skall använda en motor med kombinerad cykel som gör att det kan starta från en flygplats och flyga till omloppsbana. Den horisontella starten skulle drivas av en turbofläkt eller turbojetmotor följt av en ramjetmotor för att ta planet uppåt genom atmosfären. När rymdfarkosten når överljudshastigheter byter den sedan till en scramjet-motor som tar den genom atmosfären från 20 kilometer till 100 kilometer över havet. När det väl är genom denna "nära rymd" -miljö kommer rymdplanet äntligen att använda sina inbyggda raketmotorer för att manövrera till omloppsbana.

Rymdplanet liknar brittiska Skylon, som också använder en kombinerad cykelmotor och raketmotor för att uppnå hypersoniska hastigheter. I stället för en scramjet för hypersonisk flygning använder den brittiska versionen av rymdplanet förkylda jetmotorer. Båda rymdplanen är under utveckling och förväntas börja flygprovningen 2020 med utplacering före eller före 2030.

Rymdindustrin har inte utvecklats på det sätt som förespråkare av rymdflygplan tänkte sig. Robotiseringen innebär att man inte behöver skicka så många människor till rymden. Det finns också, enligt vissa analytiker, liten efterfrågan för närvarande på att föra satelliter tillbaka till jorden eftersom de har längre hållbarhet och har blivit billigare att bygga och ersätta. Raketer är faktiskt allt vi behöver för tillfället.

Men det är ändå bara med vingar som något som liknar flygtrafik kan uppnås i rymden. Drömmen om de graciösa rymdplanen är fortfarande levande, även om ambitionen för deras faktiska roll kan ha krympt. Vi litar fortfarande på raketer för att skicka ut astronauter i rymden och föra dem tillbaka till jorden i kapslar upphängda i fallskärmar.

Så finns det då en framtid för rymdplanet? Rymdflygplan innebär ju stora och dyra tekniska utmaningar. Material behövs som är tuffa och lätta nog för att överleva täta returresor till rymden och det är problem med att integrera de två eller tre olika typerna av framdrivningssystem, som behövs för olika steg i flygningen.

Men rymdplan kan användas för att testa militär utrustning och till och med för att fånga fiendens satelliter. Rymdplanens teknik överlappar också hypersoniska vapen och flygplan. Ett rymdplan är ett avgörande framtidsvapen och representerar trenden med att integrera luftfart och rymdteknik. Många länder har utvecklat rymdplan, inklusive USA med sin X-37B, som många militära observatörer hävdar är en prototyp till en rymdfighter.

Ett rymdplan kan användas för rekognosering, som antisatellit-vapen, för att upptäcka-ballistiska missiler och markattacker. Och det kan också skicka satelliter och astronauter till rymden till en lägre kostnad än raketer, eftersom de kan återanvändas och använda standardflygplatser.

Tvåsteg till bana (TSTO) betyder att rymdplanet består av två flygplan, med det första steget som bär det andra steget. Det första steget kommer att ge kraft till rymdplanet vid start och när det når en viss höjd och hastighet kommer det andra steget att lossas från det första och driva sig vidare ut i rymden, medan det första steget kommer att landa precis som ett normalt plan.

Det finns två typer av "riktiga rymdplan". Den enklaste versionen är när rymdplanet skjuts ut i rymden fäst på en traditionell vertikal startraket, som rymdfärjan. Det svåraste är när startfarkosten lyfter horisontellt och när båda stegen är rymdplan.

För verklig återanvändbarhet och flexibilitet och för minskad dragkraft kommer bevingade flygplansfarkoster att behövas. Det är bara med vingar som något som liknar flygtrafiken kan uppnås i rymden.

En av de främsta fördelarna med vingarna är att de hjälper till att lyfta farkosten. Med en vertikalt avfyrad raket måste motorn ge en acceleration som är högre än ett "g" för lyft. Med vingar är det bara nödvändigt att ha tillräckligt med dragkraft för att accelerera på landningsbanan för att göra starten tillräckligt kort. Ett typiskt värde för horisontell startflygplan är acceleration av g/2 eller mindre än hälften av vad som krävs för vertikal start. Den dragkraft som krävs från motorerna är därför mindre i samma utsträckning. Vingar gör också farkosten mer lämpad för återhämtning följt av en konventionell landning..

Men om ett bevingat rymdflygplan skulle ha många fördelar, finns det också många problem. Den ena är att den i motsats till raketen måste hålla sig inom atmosfären under sin uppstigning till rymden. Det innebär att uppvärmningen och belastningen av kroppen är högre. Stagnationstemperaturerna kommer att vara mycket höga jämfört med vad typiska material tål. Hypersoniska flygplan måste lindas in i en värmebeständig, flexibel hud som eventuellt består av exotiska keramiska kompositer. Eftersom stora cockpitfönster gör det möjligt för värme att stråla in i cockpit, måste små fönster av porthålstyp användas vid starter och landningar. Piloten förlitar sig på videoskärmar anslutna till externa sensorer.

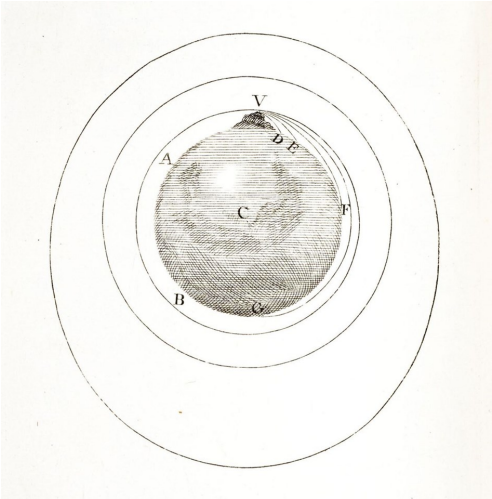
Lyft-till-motstånds-förhållandet L/D är mycket viktigt. En typ av fordon som har föreslagits för att maximera detta är "waveriders". Nonwieler, 1963, utformade begreppet vågridare som en överljuds- eller hypersonisk farkost, som har en stötvåg längs hela sin framkant. På grund av detta kan högtrycket bakom stötvågen under farkosten inte läcka till den övre ytan. Det höga trycket under fordonet bevaras vilket resulterar i högre lyft. Faekosten verkar köra ovanpå sin egen stötvåg, därav termen vågridare.

Det hastighetshöjdsband där flygning som upprätthålls av aerodynamiska krafter är tekniskt möjlig kallas flygkorridoren. Vanligtvis antas det att fordonen flyger med ett konstant dynamiskt tryck q. Om q är för litet kan vingytan som krävs för lyft bli mycket stor. För att hålla upp dragkraften bör q också vara så hög som möjligt. Därför vill man flyga hela vägen med högsta tillåtna q utan att de strukturella krafterna och fordonets motstånd bli för stora. Ett typiskt värde kan vara q=50 kPa. Detta gör banan för ett luftandande rymdflygplan mycket annorlunda än för en raket.

Satellitens historia

En satellit är ett föremål i rymden, som kretsar runt eller cirklar runt ett större föremål. Det finns två typer av satelliter: naturliga (som månen som kretsar runt jorden) eller konstgjorda (som den internationella rymdstationen som kretsar runt jorden). Den 4 oktober 1957 lanserade Sovjetunionen världens första konstgjorda satellit, Sputnik 1 . Sedan dess har cirka 8 900 satelliter från mer än 40 länder skjutits upp.

Den förste, som använde termen "satellit", var den tyske astronomen Johannes Kepler (1571–1630) för att 1610 beskriva månarna, som kretsar kring Jupiter. Han utvecklade också de tre lagarna för planetrörelse, och hans noggranna astronomiska tabeller gav bevis för att jorden kretsade runt solen. Kepler insåg att planeternas banor kunde vara elliptiska snarare än cirkulära och med hjälp av en annan astronoms, Tycho Brahes, data om Mars rörelse utvecklade han sina lagar för planetrörelse.



Den första publicerade matematiska studien av möjligheten av en konstgjord satellit var ett tankeexperiment av Isaac Newton i hans Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687). En projektil, skjuten med gradvis högre hastighet från toppen av ett berg, skulle så småningom kretsa kring jorden eftersom jordytan krökte sig under den lika fort som den själv föll ner mot den. I den verkliga världen skulle friktion mot jordens atmosfär sakta ner projektilen långt innan den kunde cirkulera runt jorden och återvända till berget. Men några mil upp i rymden, där luften var knapp, skulle projektilen fortsätta att kretsa runt jorden. Det leder oss till den största svårigheten att sätta en satellit i omlopp: att få tillräckligt med horisontell hastighet.

Oavsett om man tittar på enorma Saturn V-raketer som bär människor till månen eller raketer, som skjuter ut mindre rymdfarkoster, så producerar raketerna enorma mängder dragkraft. Det mesta av raketbränslet driver dock rymdfarkosten i sidled, inte uppåt. Lutningen mot horisontalen börjar nästan omedelbart efter att raketen lämnat startplattan.

Hur snabbt går dessa rymdfarkoster? Den första konstgjorda satelliten, Sputnik-1 som Ryssland skickade upp 1957, kretsade omkring 8 km/s över jordens yta och den internationella rymdstationen susar förbi med en hastighet av 7,7 km/s , eller cirka 17 000 km/ h. Som jämförelse flög överljudsplanet Concorde med bara cirka 1500 km/h.

Jordens rotation ger raketer extra horisontell fart i östlig riktning, och ju närmare ekvatorn, desto större skjuts. Det är delvis därför USA: s uppskjutningsplatser ligger i de södra delarna av landet och europeiska rymdfarkoster skjuts upp från Guiana Space Center i Sydamerika, nära ekvatorn.

Den första fiktiva skildringen av en satellit som skjuts upp i omloppsbana var en novell av Edward Everett Hale , " The Brick Moon " (1869). Idén dök upp igen i Jules Vernes 's ”The Begum Fortune” (1879).

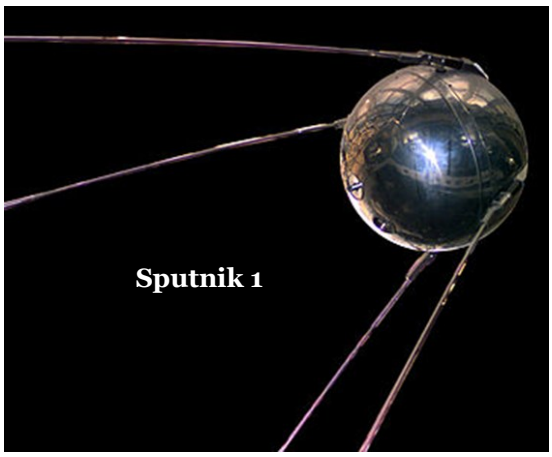
År 1903 publicerade Konstantin Tsiolkovsky (1857–1935) ”Exploring Space Using Jet Propulsion Devices”, som är den första akademiska avhandlingen om användningen av raketer för att skjuta upp rymdfarkoster. Han beräknade den omloppshastighet som krävs för en minimal omloppsbana, och att en flerstegsraket, som drivs av flytande drivmedel kunde uppnå detta.

År 1928 publicerade Herman Potočnik (1892–1929) sin enda bok, ”The Problem of Space Travel – The Rocket Motor ”. Han beskrev användningen av kretsande rymdfarkoster för observation av marken och beskrev hur de speciella förhållandena i rymden kan vara användbara för vetenskapliga experiment. Han beskrev också en rymdstation i detalj och användningen av kretsande rymdskepp för detaljerad observation av jorden och vetenskapliga experiment.

Den engelske science fiction-författaren Arthur C. Clarke brukar emellertid nämnas som upphovsmannen till idén om satelliter. I en artikel i Wireless World från 1945 beskrev han i detalj den möjliga användningen av kommunikationssatelliter för masskommunikation. Han föreslog att tre geostationära satelliter skulle ge täckning över hela planeten.

Satellitens historia

I maj 1946 släppte United States Air Force 's Project RAND sin preliminära design av ett experimentellt World-Circling Spaceship, där det angavs att en satellit med lämplig instrumentering kunde bli ett av de mest potenta vetenskapliga verktygen i det tjugonde århundradet. Man ansåg dock att satelliten var ett verktyg för vetenskap, politik och propaganda, snarare än ett militärt vapen.



I samband med aktiviteter som planerades för det internationella geofysiska året (1957/58), meddelade Vita huset att USA hade för avsikt att skjuta upp satelliter till våren 1958. Detta blev känt som Project Vanguard. Men ryssarna hann före. Den första konstgjorda satelliten var Sputnik 1, uppskjuten av Sovjetunionen den 4 oktober 1957 med Sergej Korolev som chefsdesigner.

Sputnik 1 mätte tätheten hos höga atmosfäriska lager genom förändringarna i satellitens omloppsbana och gav data om radiosignalfördelning i jonosfären. Det oväntade tillkännagivandet om Sputnik 1:s framgång utlöste Sputnik-panik i USA och startade den så kallade rymdkapplöpningen under det kalla kriget .

Världens första konstgjorda satellit, Sputnik 1, på svenska ”reskamrat”, som blev starten på rymdåldern, mätte 58 centimeter i diameter, vägde 83 kg och färdades ett varv runt jorden på 94 minuter i en bana på 230–940 kilometers höjd. Satelliten låg kvar i omloppsbanan till i början av 1958, när den störtade och brann upp i atmosfären.

Sputnik 2 sköts upp den 3 november 1957 med den första levande passageraren ombord, en hund vid namn Laika. Explorer 1 blev USA:s första konstgjorda satellit den 31 januari 1958. Den vägde bara 13 kilo, men sedan gick det fort. I juni 1961, tre och ett halvt år efter lanseringen av Sputnik 1, katalogiserade United States Space Surveillance Network 115 satelliter, som kretsade runt jorden.

1960 – Första framgångsrika vädersatelliten.
NASA skjuter upp Tiros-1, den första vädersatelliten, som anses vara en framgång. Den sände infraröda bilder av jordens molntäcke och kunde upptäcka och kartlägga orkaner. Detta inledde Tiros-programmet, som följs av Nimbus-programmet för vädersatelliter.

1962 – Första kommunikationssatelliten.
Den första direktsända transatlantiska telesändningen var med Telstar-1, en satellit med låg omloppsbana. Senare bildades ett internationellt satellitkonsortium (Intelsat), som förvaltar en konstellation av kommunikationssatelliter för internationella sändningstjänster.

1970 – Kina skjuter upp sin första satellit.
Kina sköt upp sin första satellit Dongfanghong 1 i jordens omloppsbana på sin Long March-raket, och blev den femte nationen att uppnå oberoende uppskjutningskapacitet. De andra nationerna är Sovjetunionen (1957), USA (1958), Frankrike (1965) och Japan (1970).

1971 – Första rymdstationen.
Sovjet blev först med en bemannad rymdstation, Saljut 1. Den var konstruerad och uppskjuten i ett stycke. När alla dess förnödenheter och utrustning var förbrukade övergavs den. Salyut-programmet fortsatte till 1986. USA:s första rymdstation, Skylab, användes 1973-1974.

1972 – Början av Landsat-programmet.
Earth Resources Technology Satellite lanseras och börjar det längsta pågående programmet för satellitbilder av jorden, senare omdöpt till Landsat. Landsat-instrument tar miljontals bilder som används för att utvärdera naturliga och mänskliga förändringar på jordytan.

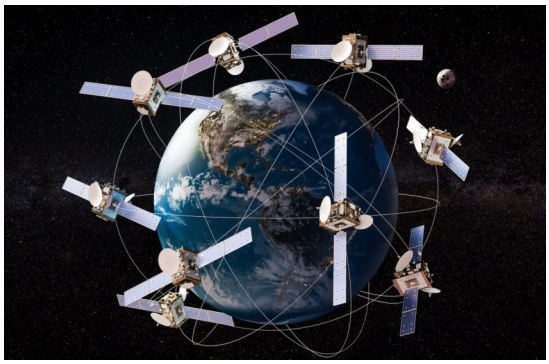
1979 – ESA:s första uppskjutning.
Europeiska rymdorganisationen (ESA) skjuter upp Ariane-1 för att sätta två telekommunikationssatelliter i omloppsbana. Detta inleder ESA:s rymdprogram som fortsätter in i nuet.

1981 – Rymdfärjan.
Den första rymdfärjan Columbia skjuts upp med astronauterna John W Young och Robert L Crippen. Detta är början på det amerikanska rymdfärjeprogrammet, som tar astronauter och satelliter i omloppsbana runt jorden. Detta program pågår i 30 år.

1983 – Spacelab.
Den första trycksatta Spacelab-modulen sänds upp ombord på rymdfärjan Columbia. Spacelab var ett rymdlaboratorium som utvecklades av ESA. Det bestod av både trycksatta och trycklösa moduler, som rymdes i lastutrymmet på rymdfärjan. I de trycksatta modulerna kunde man genomföra forskning i en miljö som liknade den på en rymdstation.

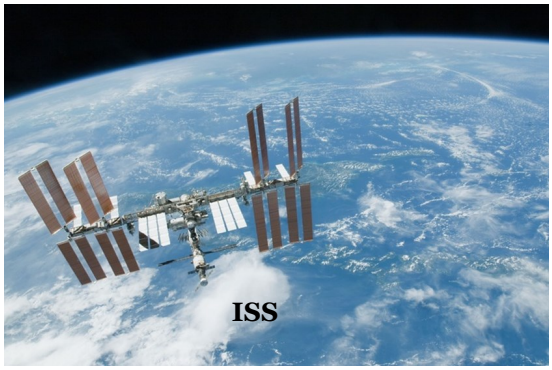
1990 – Rymdteleskopet Hubble.
Rymdteleskopet Hubble bärs ut i rymden av rymdfärjan. Dess bana utanför jordens atmosfär gör det möjligt att ta skarpa bilder som leder till genombrott inom astrofysik , till exempel genom att bestämma hastigheten hos universums expansion.

1994 – Första GPS-konstellationen.



Den första konstellationen av globala positioneringssystem tas i drift. Den består av 24 geosynkrona satelliter. GPS är ett rymdbaserat satellitnavigeringssystem, som ger plats- och tidsinformation i alla väder, var som helst på eller nära jorden.

1998 – Internationella rymdstationen ISS.



Spacelab togs ur bruk när man kunde lyfta över forskningen till den internationella rymdstationen ISS. Rymdstationen är ett internationellt samarbete mellan Ryssland, USA, EU, Japan och Kanada. Den fungerar som ett forskningslaboratorium för mikrogravitation och rymdmiljö. Den internationella rymdstationen kretsar runt jorden på en höjd av cirka 360 km. Den färdas i 28 000 km/h och tar 90 minuter för varje omlopp. Den klarar en besättning på sex astronauter.

ISS är den största satelliten i omloppsbana och tog över ett decennium att bygga. Bit för bit bidrog 15 nationer med finansiell och fysisk infrastruktur, som sattes ihop mellan 1998 och 2011. Man förväntar sig att ISS ska fortsätta vara igång till åtminstone 2024. Kina lanserade 2021 en egen rymdstation, Tiangong.

2021 – 3500 satelliter kretsar runt jorden.
Sedan Sputnik sköts upp 1957 har antalet rymduppskjutningar och artificiella objekt i omloppsbana ökat. Under nästan 65 år har omkring 7 000 rymdfarkoster skjutits upp. Cirka 3 500 är fortfarande i omloppsbana. Idag är bara cirka 1 000 av dessa rymdfarkoster fortfarande funktionella.

Satelliter används för många ändamål. Vanliga typer inkluderar militära och civila jordobservationssatelliter, kommunikationssatelliter, navigationssatelliter, vädersatelliter och rym dteleskop . Rymdstationer och mänskliga rymdfarkoster i omloppsbana är också satelliter.

Vädersatelliter förbättrade väderprognoserna även för avlägsna områden. Observationssatelliter som Landsat spårade förändringar i skog, vatten och andra delar av jordens yta över tiden. Telekommunikationssatelliter gjorde långdistanstelefonsamtal och så småningom, direktsändningar från hela världen till en normal del av livet. Senare generationer hjälpte till med internetanslutningar.

Satelliter kan fungera för sig själva eller som en del av ett större system, satellitkonstellationer. Med miniatyriseringen av datorer och annan hårdvara är det nu möjligt att skicka upp mycket mindre satelliter som kan utföra vetenskap, telekommunikation eller andra funktioner i omloppsbana. Det är vanligt nu för företag och universitet att ha "CubeSats", eller kubformade satelliter som ofta befolkar låg omloppsbana runt jorden.

Det finns flera accepterade banor runt jorden. Den ena kallas Low-Earth Orbit LEO och sträcker sig från cirka 160 till 2 000 km. Detta är zonen där ISS kretsar och där rymdfärjan brukade göra sitt arbete. Faktum är att alla mänskliga uppdrag förutom Apollo-flygningarna till månen ägde rum i denna zon. De flesta satelliter ligger också här. Vissa kretsar runt ekvatorn, andra i mer polära banor så att deras täck-

ningszoner inkluderar nord- och sydpolen. Exempel på satelliter, som kretsar runt polen är vädersatelliter och spaningssatelliter.

Geostationär eller geosynkron bana GEO är dock den bästa platsen för kommunikationssatelliter. På denna höjd av ca 36000 km är hastigheten runt jorden ungefär densamma som jordens rotation, vilket gör att satelliten kan stanna ovanför samma plats på jorden nästan konstant och hålla kontakt med en fast antenn på marken. När geostationära satelliter når slutet av sitt liv, måste de flyttas ur vägen för att en ny satellit ska ta deras plats. Det beror på att det bara finns så mycket utrymme, eller så många "slots" i den geostationära omloppsbanan, för att satelliterna ska kunna fungera utan störningar.

Satellitens historia

Ungefär 63% av operativa satelliter befinner sig i låg omloppsbana, 6% befinner sig i medelhög omloppsbana vid 20 000 km, 29% är i geostationär omloppsbana vid 36 000 km och de återstående 2% är i olika elliptiska banor .

Framtida prognoser uppskattar att upp till 65 000 nya satelliter kommer att skjutas upp under de kommande tio åren. De kommer att föra internet till platser utan nuvarande uppkoppling, och ökningen av internethastighet och räckvidd kommer att vara bra för företag och katastrofhantering.

SpaceX Starlink service närmar sig 1000 satelliter i sin konstellation , på väg till mer än 2200. Amazons Project Kuiper planerar 3200 satelliter. OneWeb föreställer sig hela 48 000 satelliter. Företag baserade i Kanada, Ryssland och Kina planerar också konstellationer.

Den exponentiella ökningen av rymdobjekt i omloppsbana kommer också att öka sannolikheten för kollisioner med rymdskrot. Det börjar bli trångt däruppe. Det finns uppskattningsvis en halv miljon konstgjorda föremål i jordens omloppsbana idag i storlek från färgfläckar upp till fullfjädrade satelliter. Var och en färdas med hastigheter på tusentals km i timmen. Endast en bråkdel av dessa satelliter är användbara, vilket betyder att det finns mycket "rymdskräp" som flyter runt där ute. Med allt som hamnar i omloppsbana ökar risken för en kollision.

Därför fokuseras allt mera forskning på teknik- och rymduppdrag, som kan ta bort skräp från omloppsbana. Rymdorganisationer måste också överväga omloppsbanor noggrant när de skjuter upp något i rymden. Byråer som United States Space Surveillance Network håller ett öga på skräp från marken och varnar NASA och andra enheter om en felaktig pjäs riskerar att träffa något viktigt. Det betyder till exempel att ISS då och då behöver göra undanmanövrar för att komma ur vägen.

Men kollisioner förekommer. En av de största bovarna till rymdskrot är resterna av ett anti-satellitprov från 2007 som utfördes av kineserna, vilket genererade skräp som förstörde en rysk satellit 2013. Det året slog också satelliterna Iridium 33 och Cosmos 2251 in i varandra och genererade ett moln av skräp. Ett ryskt nedskjutande av en satellit 2021 ställde till problem för ISS och den kinesiska rymdstationen.

NASA, European Space Agency och många andra enheter överväger åtgärder för att minska mängden orbitalskräp. Vissa föreslår att man ska ta ner döda satelliter på något sätt , kanske med hjälp av ett nät eller luftskurar för att störta skräpet från dess omloppsbana och föra det närmare jorden. Andra funderar på att tanka döda satelliter för återanvändning, en teknik som har demonstrerats robotiskt på ISS .

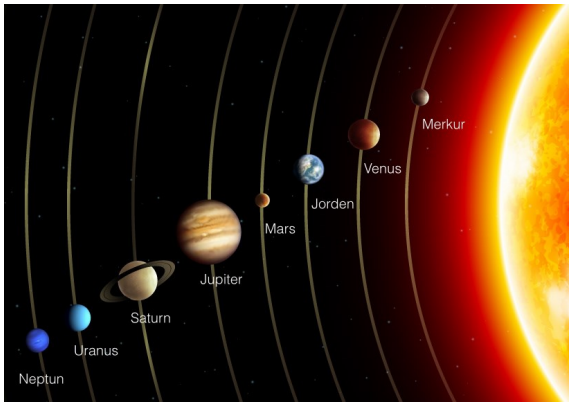
Många länder började skicka sina egna satelliter ut i rymden när fördelarna strömmade genom samhället. Så även Sverige, Den första svenska raketen, Plutnik, sköts upp 1961 från en försvarsanläggning i Lappland. Raketen var byggd för att på 80 km höjd detonera en sprängladdning som skulle skapa ett konstgjort moln, vilket in sin tur skulle låta forskare studera bildandet av så kallade nattlysande moln. Raketen flög som planerat, men någon explosion verkar man inte ha fått till. Sedan dess har Sverige bland mycket annat skjutit upp en egen satellit (Viking, 1986), landat på månen (Smart 1, 2006), och förstås sett sin första astronaut i rymden (Christer Fuglesang, 2006).

Interplanetär historia

När människan landade på Månen den 21 juli 1969 trodde nog många att interplanetära resor skulle bli vardagsmat runt 2010, men så blev det inte. Däremot har man med obemannade rymdsonder utforskat stora delar av solsystemet. Mariner 2 flög förbi Venus i december 1962. Mariner 4 nådde Mars 1965. Den första sonden att utforska de yttre planeterna var Pioneer 10 som flög förbi Jupiter år 1973. Vissa sonder, som Voyager 1, har redan lämnat solsystemet medan andra är på väg att göra det. Däremot är bemannad interplanetär rymdfart ännu en dröm.

Solsystemet består av solen och de åtta planeterna Merkurius, Venus, Jorden, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus och Neptunus. Den längst bort belägna Pluto räknas inte längre.

Massorna är mycket ojämnt fördelade. Solen innehåller 99,85% av all materia i solsystemet och Jupiter innehåller mer än dubbelt så mycket som alla andra planeter tillsammans. Planeterna Venus, Jorden och Mars har betydande atmosfärer medan Merkurius nästan inte har någon. Dessa planeter har också en kompakt, stenig yta som Jordens. De andra planeterna är alla gigantiska jämfört med Jorden, men de är av gasformig natur även om vissa eller alla av dem kan ha små fasta kärnor.

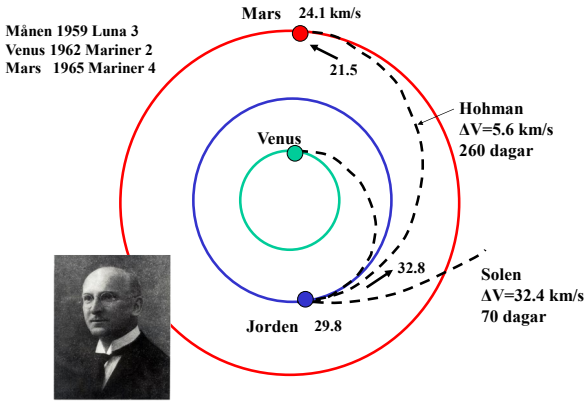


Planeternas banor är ellipser med solen i fokus, även om alla utom Merkurius och Pluto är mycket nära cirkulära. Planeternas banor är alla mer eller mindre i samma plan (kallas ekliptikan och definieras av planet i Jordens omloppsbana). Ekliptikan lutar 7 grader från solens ekvatorplan. Pluto är ett specialfall eftersom dess omloppsbana är den mest lutande (18 grader) och den mest elliptiska av alla planeter. På grund av detta, för en del av sin omloppsbana, är Pluto närmare solen än dess inre granne Neptunus.

Alla planeter rör sig i samma riktning (moturs om man tittar ner på solens nordpol). Alla utom Venus, Uranus och Pluto roterar runt sina axlar i samma riktning. Rotationsaxeln för de flesta planeterna är nästan vinkelrät mot ekliptikan. Undantagen är Uranus och Pluto, som lutar tungt åt sidan.

Många mindre kroppar finns också i solsystemet som planeternas satelliter, asteroidbältet mellan Mars och Jupiters banor och de många små isiga kropparna i Kuiperbältet bortom Neptunus. Det finns också kometer, små isiga kroppar som kommer och går genom solsystemet i mycket långsträckta banor och slumpmässiga riktningar till ekliptikan.

Om hastigheten ökas över den cirkulära omloppsbanan, kommer rymdfarkosten att röra sig in i en elliptisk bana runt tyngdpunkten. Walter Hohmann 1880-1945 var en tysk ingenjör, som i en bok publicerad 1925 visade att elliptiska banor är



Walter Hohman

de mest effektiva för att flytta en rymdfarkost mellan två olika banor i rymden. Detta kallas nu en Hohmannsk överföringsbana. Tyvärr tar en Hohmannbana också den maximala transittiden. För Jorden till Mars är transittiden 260 dagar med en total hastighetsförändring av 5.6 km/s innefattande en acceleration ut ur jordbanan och en inbromsning till marsbanan.

Sedan starten på rymdåldern har en stor del av utforskningen av solsystemet skett genom användandet av rymdsonder som sänts ut på fjärrstyrda obemannade uppdrag. Alla planeter i solsystemet har nu i varierande grad fått besök av rymdsonder uppsända från Jorden. Däremot har människor bara besökt Månen och ingen av planeterna.

Klockan 03:56, svensk tid, den 21 juli 1969, tog amerikanen Neil Armstrong sitt berömda steg på Månen. USA landsatte sammanlagt 12 amerikanska astronauter där. Apolloprojektet pågick 1961-1972 och kostade omkring 20 miljarder US-dollar.

Rymdfärderna började annars med de första bilderna på Månens baksida av den sovjetiska rymdfarkosten Luna 3 1959. Mariner 2 var sedan den första framgångsrika sonden, som flög förbi Venus i december 1962, och den returnerade information som bekräftade att Venus är en mycket varm (500 grader C) värld med en molntäckt atmosfär som främst består av koldioxid.

Interplanetär historia

Mariner 4 nådde Mars 1965 och tog de första närbilderna av marsytan, när den flög förbi planeten. Sonden hittade en kratervärld med en atmosfär, som var mycket tunnare än man tidigare trott.

Merkurius fick besök för första gången år 1974 av sonden Mariner 10 och den första sonden att utforska de yttre planeterna var Pioneer 10 som flög förbi Jupiter år 1973. Pioneer 11 blev den första sonden som besökte Saturnus, vilket skedde 1979. Voyagersonderna genomförde en långresa till de yttre planeterna efter uppskjutningen år 1977. De båda sonderna passerade Jupiter 1979 och Saturnus år 1980–1981. Voyager 2 fortsatte därefter med att på nära håll undersöka Uranus 1986 och Neptunus 1989. De båda Voyagersonderna är nu långt bortanför Neptunus bana.

År 1966 blev Månen den första himlakroppen i solsystemet, bortsett från jorden, att få en människoskapad satellit, Luna 10, kretsande runt sig. Mars var den första planeten att få det då Mariner 9 år 1971 gick in i bana, Venus följde 1975 med Venera 9, Jupiter år 1995 med sonden Galileo och Saturnus år 2004 med Cassini–Huygens. Sonden Messenger lade sig i en bana runt Merkurius i mars 2011, och sonden Dawn runt dvärgplaneten Ceres i mars 2015.

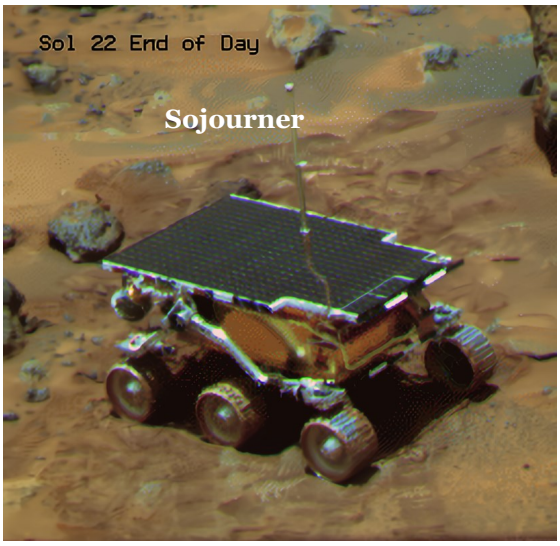
Den första sonden att landa på en annan himlakropp var den sovjetiska Luna 2, som slog ned på Månen år 1959. Sedan dess har planeter belägna allt längre bort nåtts av sonder, som har landat på eller slagit ned på ytan. Venus nåddes år 1966 av Venera 3, Mars år 1971 av sonden Mars 3 (även om en helt perfekt landning inte skedde förrän Viking 1 landade år 1976).

NEAR Shoemaker besökte år 2001 asteroiden 433 Eros. Saturnus måne Titan fick besök av sonden Huygens, som hade separerats från moderfarkosten Cassini, kometen Tempel 1 fick besök av Deep Impact år 2005. Kretsaren Galileo släppte även ned en sond i Jupiters atmosfär år 1995. Då Jupiter saknar fast yta förstördes den av den ökande temperaturen och trycket då den dalade nedåt.

Till dags datum (2022) har endast två andra himlakroppar, Månen och Mars, besökts av mobila så kallade rovers. Den första rovern att besöka en annan himlakropp var den sovjetiska Lunochod 1 som landade på Månen 1970. Den första att besöka en annan planet var Sojourner som år 1997 landade på Mars och färdades cirka 500 meter över dess yta. De enda bemannade roveruppdragen som besökt en annan värld är NASA:s månbil som togs dit vid Apollo 15-, 16- och 17-uppdragen, som varade mellan 1971 och 1972.

Efter många uppdragsmisslyckanden gick Sovjetunionens rymdfarkost Mars 3 in i omloppsbana runt planeten i november 1971. En landare, som kastades ut från rymdfarkosten, nådde planetens yta, men tappade kontakten efter några sekunder. NASA:s Viking I-landare var därför den första rymdfarkosten som framgångsrikt landade på Mars den 20 juli 1976. Skarpa svartvita bilder, de första som någonsin tagits från Mars yta, visade ett panorama lika ödsligt som månlandskapet.

NASA:s rymdfarkost Mars Observer sköts upp den 25 september 1992 efter en sjuttonårig lucka i uppdrag till planeten.



Orbitern var utformad för att fungera som en bro mellan den första Mars-utforskningen på 1960- och 70-talet och förberedelser för mänsklig utforskning av planeten, som man tänkte sig för början av 2000-talet. Det slutade i ett misslyckande när kontakten med rymdfarkosten förlorades, när den var på väg in i omloppsbana runt Mars den 21 augusti 1993.

NASAs Mars Pathfinder uppnådde emellertid den första landningen på planeten på 21 år den 4 juli 1997 och avslutade en lång lucka i vetenskaplig utforskning av den röda planeten och vad som kunde vara början på en utökad kunskap om Mars. Pathfinders Sojourner-rover blev det första fordonet som färdades över ytan på en annan planet.

NASA:s Mars Global Surveyor, som utformats för en långsiktig studie av Mars yta med oöverträffad detaljrikedom, lanserades den 7 november 1996 och påbörjade sitt kartläggningsuppdrag på Mars 1999. Den upptäckte vad som verkade vara en terräng, som kunde ha åstadkommits av vatten.

Rymdfarkostens uppdrag varade fram till den 14 november 2006, men redan 2003 lanserade NASA två tvillingrovers, Spirit och Opportunity, för att söka efter tecken på vatten på Mars. Opportunity skulle komma att skicka information tillbaka till Jorden fram till 2018. Spirit överträffade också sitt planerade 90-dagars uppdrag och skickade sin slutliga sändning 2010. Uppdragen avslöjade att Mars var blötare för länge sedan och hade förhållanden som kunde ha upprätthållit mikrobiellt liv. För att fortsätta undersöka detta landade NASA: s Mars Science Laboratory Curiosity rover i Mars Gale Crater den 5 augusti 2012 och letade efter bevis på tidigare organiskt material och miljöer, som kunde vara lämpliga för att stödja mikrobiellt liv.

I februari 2021 anlände tre nationer till Mars. NASA:s Perseverance rover landade i Mars Jezero Crater den 18 februari. Det var det nionde NASA-uppdraget att landa på Mars. Bara dagar tidigare den 9 februari hade Förenade Arabemiratens Hope orbiter anlänt till planeten och den 10 februari kom Kinas Tianwen-1.

Målet med Förenade Arabemiratens Hope orbiter är att få en fullständig bild av den marsianska atmosfären. Tianwen-1 landade den 14 maj och placerade ut sin Zhurong-rover den 22 maj för att utforska marsytan vid Utopia Planitia. Det gjorde Kina till den enda nationen förutom USA som landstigit och drivit en rymdfarkost på den röda planeten.

NASAs två kilo tunga Marshelikopter, Ingenuity, sköts upp från Perseverance-rovern i Jezero Crater den 19 april på ett 39 sekunders jungfruuppdrag. Det var den första motordrivna flygningen på en annan planet och visade att det är möjligt att driva och kontrollera flygningar i Mars tunna atmosfär.

I april extraherade Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment, eller MOXIE, 5 gram syre från atmosfärisk koldioxid, vilket visade att det var möjligt att framställa syre på Mars, en kritisk förmåga för framtida mänskliga uppdrag

Under de kommande två åren kommer Perseverance att borra i marsiansk sten och samla in jordprover som kan innehålla bevis på tidigare mikrobiellt liv. Proverna lagras och skall skickas tillbaka till jorden 2031 med den europeiska Mars Sample Return Earth Return Orbiter.

Hittills har bara en rymdsond besökt Merkurius, Mariner 10, och den kom så nära som 327 km från ytan. I själva verket försökte Mariner 10 inte ens hinna ifatt Merkurius. Istället kretsade den kring solen i motsatt riktning mot Merkurius, så att den passerade förbi planeten tre gånger under tolv månader.

Mariner 10 sköts upp den 3 november 1973. Den utnyttjade ett sällsynt tillfälle i början av 1974, då Jorden, Venus och Merkurius låg på en rät linje. Den flög först till Venus, där den utnyttjade Venus tyngdkraft för att sakta in och ändra kurs mot Merkurius bana. Trots en del problem under resans gång passerade sonden Venus den 5 februari 1974 och närmade sig Merkurius för första gången mot slutet av mars. Den fotograferade 40 % av planetens yta och upptäckte Merkurius magnetfält och atmosfär. Efter sex månader passerade den Merkurius för andra gången och då fotograferade den Merkurius sydpol och ytterligare sex månader senare flög den förbi en sista gång och sände tillbaka mer information om planeten. Än idag cirkulerar den kring solen.

Två rymdfarkoster från europeiska rymdorganisationen ESA fick också fart av Venus gravitation bara timmar efter varandra i augusti. Solar Orbiter, ett gemensamt uppdrag med NASA, är på väg mot solen, och BepiColombo, ett gemensamt projekt med japanska JAXA, är på väg till Merkurius. BepiColombo telesände senare bilder från sin inflygning på 552 kilometer höjd över Merkurius yta.

Då man på 1960-talet påbörjade de första försöken att utforska Venus fann man att planeten föreföll lika oåtkomlig som dess mytologiska karaktär. Sovjetunionen var först med att utveckla ett Venusuppdrag, och i februari 1961 lyckades man sända ut den första av allt som allt sexton Venerasonder.

Venera I blev den första som någonsin passerade Venus. Syftet var att samla in data om solvindar och kosmisk strålning, men drygt tre månader senare förlorade man kontakt med sonden, vilket innebar att en hel del data gick förlorade. Rymdkapplöpningen var då i full gång, och således var amerikanerna inte sena med att kontra, men Mariner 1 gick förlorad redan vid uppskjutningen. Mariner 2 lyckades desto bättre genom att bli det första lyckade interplanetära uppdraget.

Det var Mariner 2 som gav oss en första ledtråd om Venus' egentliga ytförhållanden, och då man mätte upp yttemperaturen till över 400 °C upphörde till slut alla hypoteser om liv på ytan. Venera 4, den första sonden som framgångsrikt lyckades tränga igenom Venus' tjocka atmosfär, lyckades samla in data som både Mariner 2 och den kraschade Venera 3 misslyckats med. Yttemperaturen visade sig vara närmare 500 °C, och tryckmätaren visade på 18 bar innan man förlorade kontakt med sonden cirka 25 km ovanför ytan.

I juli 2021 genomförde Parker Solar Probe en förbiflygning av Venus som förberedelse för en nära inflygning till solen. Parker doppade sig i Venus jonosfär och samlade in mätningar av dess atmosfäriska radiosignaler. Detta bekräftade jordbaserade observationer att Venus jonosfär är mycket tunnare under vissa solfaser än andra. Det tyder på att atmosfären, som en gång liknande Jordens, har blivit ett varmt, giftigt gasmoln och att den potentiellt kan gå förlorad.

Utforskningen av Jupiter har hittills genomförts genom nära observationer av robotrymdsonder. Det började med ankomsten av Pioneer 10 1973 och från och med 2008 har det fortsatt med ytterligare sju sonduppdrag. Alla dessa uppdrag utfördes av NASA, och alla utom en har varit passager, som har gjort detaljerade observationer utan att sonden landar eller går in i omloppsbana. Dessa sonder gör Jupiter till den mest besökta av solsystemets yttre planeter. Planerna på ytterligare uppdrag till Jupiter är under utveckling, men innebär många tekniska svårigheter, särskilt på grund av sondens höga bränslebehov och effekten av planetens hårda strålningsmiljö.

Den första rymdfarkosten som besökte Jupiter var Pioneer 10 1973, följt av Pioneer 11 några månader senare. Förutom att ta de första närbilderna av planeten upptäckte dessa sonder dess magnetosfär och dess stora flytande inre. Voyager 1- och Voyager 2-sonderna besökte planeten 1979 och studerade månar och ringsystem och upptäckte vulkanisk aktivitet på Io och avlagringar av vattenis på Europas yta. Ulysses rymdsond studerade Jupiters magnetosfär 1992 och sedan igen år 2000. Cassini-sonden anlände till planeten år 2000 och tog mycket detaljerade bilder av atmosfären. Rymdfarkosten New Horizons passerade Jupiter 2007 och gjorde förbättrade mätningar av planeten och dess månar.

Rymdsonden Galileo är den enda som faktiskt gick in i en bana runt Jupiter när den gick in i omloppsbana 1995 och studerade planeten fram till 2003. Under denna period samlade Galileo in stora mängder information om Jupitersystemet, gjorde närmanden till alla de fyra stora månarna och fann bevis på en tunn atmosfär på tre av dem, liksom möjligheten till flytande vatten under ytorna. Den upptäckte också ett magnetfält runt månen Ganymedes.

Juno är en rymdsond från NASA som sköts upp den 5 augusti 2011 för att gå in i bana runt Jupiter. Rymdsonden inträdde i sin bana runt planetens poler 5 juli 2016 för att studera dess magnetiska fält. Juno kommer också att leta efter bevis för att Jupiter har en stenkärna och utforska hur mycket vatten som finns i atmosfären. Den kommer även att studera Jupiters vindar, som kan nå hastigheter upp till 600 km/h.

Saturnus är annars den mest studerade planeten efter Mars. I september 1979 passerade Pioneer 11 20 000 km över Saturnus molntoppar. Bilder togs av planeten och några av månarna, men upplösningen var för låg för att urskilja ytdetaljer. Rymdsonden studerade också ringsystemet och avslöjade den tunna F-ringen och det faktum att de mörka luckorna är ljusa när de ses i högfasvinkel (mot solen). Det vill säga de innehåller fina ljusspridningsmaterial. Pioneer 11 utförde också temperaturmätningar av månen Titan.

I november 1980 besökte Voyager Saturnus-systemet. Den skickade tillbaka de första högupplösta bilderna av planeten, tillsammans med bilder av ringarna och månarna. Formationer på ytan av olika månar sågs således för första gången. Ett nära passage av Titan bidrog till ökad kunskap om månens atmosfär. Det visade sig att Titans atmosfär är ogenomtränglig i synliga våglängder, så inga ytdetaljer sågs.

I augusti 1981 fortsatte Voyager 2 studien av Saturnussystemet. Flera närbilder av månarna togs, och bevis på förändringar i atmosfären och ringarna samlades in. Tyvärr fastnade sondens vändbara kamera i två dagar under överflygningen, så några planerade bilder gick förlorade. Saturnus gravitation användes sedan för att styra sondens omloppsbana mot Uranus. Sonderna upptäckte och bekräftade flera nya månar som kretsade nära eller inom ringarna, liksom det lilla Maxwell gapet inom C-ringen och det breda Keeler-gapet i A-ringen.

Den 1 juli 2004 gick rymdsonden Cassini in i omloppsbana runt planeten. Före det hade Cassini redan studerat systemet i stor utsträckning. Under passage av Titan fångade Cassini radarbilder av stora sjöar och tillhörande kustlinjer med en mängd olika öar och berg. Sonden passerade Titan två gånger innan sonden Huygens släpptes den 25 december 2004. Huygens sjönk till Titans yta den 14 januari 2005 och återsände en ström av data under nedstigningen genom atmosfären och efter landning. Cassini har sedan dess genomfört flera överflygningar av Titan och andra ismånar.

Sedan början av 2005 har forskare spårat blixtar på Saturnus. Blixtens kraft är ungefär tusen gånger högre än på Jorden. År 2006 rapporterade NASA att Cassini hade hittat bevis på att reservoarer med flytande vatten hade brutit ut i gejsrar på Saturnusmånen Enceladus. Strålar av ispartiklar kastades ut i omloppsbana runt Saturnus från månens södra polarområden.

Även andra månar i solsystemet har hav av flytande vatten täckta av kilometerlånga isskorpor. Skillnaden här är att fickorna med flytande vatten kanske inte är mycket mer än några tiotals meter under ytan. Enceladus verkar vara den mest beboeliga platsen i solsystemet som vi känner till förutom Jorden.

I Juli 2006 visade bilder från Cassini sjöar av kolväte nära Titans nordpol. Detta bekräftades i januari 2007. I mars 2007 visade ytterligare bilder från närheten av Titans nordpol "hav" av kolväten, varav det största var nästan lika stort som Kaspiska havet. I Oktober 2006 upptäckte sonden en storm med en diameter av 8000 km nära Saturnus södra pol.

Från 2004 till november 2009 upptäckte och bekräftade sonden åtta nya månar. Huvuduppdraget slutfördes 2008 efter 74 banor runt planeten. Uppdraget förlängdes till september 2010 och sedan till 2017 för att studera en hel period av Saturnus årstider.

Voyager 2 utförde den närmaste passagen av Uranus den 24 januari 1986, och var då 81 500 km över molntopparna. Detta var sondens första planetära överflygning ensam efter att Voyager 1 ställde in sin resa bland de yttre planeterna vid Saturnus måne Titan.

Voyager 2 är också den enda rymdsond, som passerat Neptunus. Den passerade förbi planeten den 27 augusti 1989. Eftersom detta var den sista stora planeten Voyager skulle passera så valde man att göra en förbiflygning av månen Triton, likt den förbiflygning Voyager 1 gjorde vid Saturnus och dess måne Titan. Under förbifarten upptäcktes sex nya månar och ett ringsystem. Den ena av dessa månar, Proteus, är den näst tyngsta av Neptunus månar. Trots det är dess vikt bara en procent av Tritons.

Eftersom detta var den sista planeten som Voyager 2 skulle passera, så tog man risken att flyga närmare än någon av de andra tre planeterna den passerat, på 5 000 kilometers avstånd ovanför planetens nordpol. Några timmar senare passerade den Triton på 40 000 kilometers avstånd, vilket gjorde att man kunde ta högupplösta bilder av månens varierande yta och göra precisa mätningar av dess radie och yttemperatur.

Interplanetär historia

New Horizons var en obemannad rymdsond, som NASA sände iväg mot Pluto, dess månar och andra himlakroppar i Kuiperbältet av asteroider bortom Pluto. Resan startade 2006 från Cape Canaveral och passerade Pluto den 14 juli 2015. Den fortsatte sedan mot Kuiperbältet, som passerades 2019. Därmed blev New Horizons den av människan byggda farkost, som besökt en himlakropp längst ut i solsystemet (6490 miljoner km från solen).

Charon är Plutos största måne med en diameter som är drygt hälften av Plutos på ca 2400 km, vilket gör den till den största kända månen i förhållande till sin moderplanet i vårt solsystem. Pluto och Charon kretsar båda kring ett gemensamt masscentrum som ligger mellan dem, så egentligen är Pluto och Charon en dubbel planet. En observatör på Charons Pluto-vända halvklot skulle alltid se Pluto på samma plats ovanför huvudet.

New Horizons passerade inom 12 500 km från Pluto och var som närmast den 14 juli 2015 då den hade en relativ hastighet på 13,78 km/s och kom så nära som 28 800 km från Charon. Plutos yta visade sig vara ganska varierad, med stora skillnader i både ljusstyrka och färg. Slätterna på Plutos yta består av mer än 98 procent kväveis, med spår av metan och kolmonoxid. Bergen är gjorda av vattenis. En anmärkningsvärd geografisk formation var ett hjärtformat stort ljust område på sidan mittemot Charon. New Horizons avslöjade också en rad spektakulära formationer på Charon. Ett bälte av taggiga berg och kanjoner skär över det halvklot, som är vänt mot Pluto.

New Horizons är nu på väg mot de yttersta delarna av solsystemet och passerade asteroiden Arrokoth januari 2019. Sista kontakten med Pioneer 10 skedde den 23 januari 2003. Den antas nu vara slut och inga ytterligare planer på att kontakta sonden föreligger. Den sista kontakten me Pioneer 11 skedde 1995. Sondens antenn kan inte styras till att åter riktas mot Jorden och det är okänt om den fortfarande sänder. Inga ytterligare försök att kontakta den är planerade. Voyager 1 nådde augusti 2012 som första sond heliopausen, heliosfärens ändpunkt, där solvinden är så svag att kosmisk strålning blåser bort den. Sonden lämnade alltså slutligen solsystemet då. Sonden är ännu i regelbunden kontakt och sänder vetenskapliga data och förhoppning finns att kontakten skall fortsätta fram till åtminstone 2025. Samma gäller Voyager 2, som nådde heliopausen i november 2018.

Atomraketens historia

Det är uppenbart att för uppdrag med högt delta-V behöver vi raketmotorer med höga strålhastigheter för att kunna transportera en tillräcklig slutvikt. Ett alternativ till den konventionella kemiska raketmotorn övervägs för närvarande för rymdresor, kärnkraftsmotorn.

Denna motor är mer fördelaktig än den traditionella kemiska motorn på grund av den större strålhastigheten. Det traditionella och mest praktiska tillvägagångssättet för utformningen av en kärntermisk framdrivningsraket är användningen av en kärnreaktor med fast kärna som värmeväxlare. I denna konstruktion pumpas drivmedlet, flytande väte, genom alla extra-kärnkomponenter för kylning. Efter att alla komponenter har kylts pumpas drivmedlet genom reaktorkärnan för att värmas upp till en temperatur som bestäms av kärnans materialgränser och expanderas genom munstycket för att producera dragkraft.

Vanligtvis begränsar kärnmaterialet avgastemperaturen till 2500 till 3000 K. De två huvuddragen som leder till fördelarna med en nukleär termisk raket jämfört med en kemisk är den enorma tillgängliga energin per kilogram fissionsbränsle (eller fusionsbränsle), och också att i ett kärnvärmesystem är det energiproducerande mediet skilt från det tryckproducerande drivmedlet. Detta gör det möjligt för kärnsystem att använda drivmedel med låg molekylvikt, vilket ger nukleära termiska system en större strålhastighet, det vill säga dragkraften dividerad med massflödet, än kemiska.

Den större strålhastigheten för kärnraketen gör det möjligt för den att bära en större nyttolast i rymden och att utföra sina uppdrag inom en reducerad tidsperiod. Den andra fördelen är att rymdfarkosten kan uppnå överföringsbanor som minskar restiden till destinationen.

En kemisk raket kan uppnå en strålhastighet på cirka 4500 m / s, medan en solid kärna kärnraket kan nå cirka 9000 m /s. För långvariga uppdrag eller bemannade uppdrag till en planet, såsom Mars, är därför kärnmotorn mer fördelaktig att använda än den kemiska.

Det finns indikationer på att det kan vara möjligt att konstruera kärnmotorer med dragkraft-till-vikt-förhållanden som kan ge tillräckligt hög acceleration. Från 1955 till 1973 investerade USA 1,5 miljarder dollar i utvecklingen av kärnraketmotorer. Som ett exempel på rekordprestanda under detta NERVA-program nådde en motor en dragkraft på 930 kN, en termisk effekt på 4100 MW vid en specifik massa på 2,3 kg/MW och strålhastigheter på 8400 m/s. Detta skulle ge ett dragkraft/viktförhållande på ca 10. Det verkliga värdet är förmodligen mindre än hälften på grund av strålningssköldar och annan utrustning.

De vikter som måste minimeras är kärnans neutronabsorberande material, neutronmodererande komponenter, höganrikat uranbränsle, en neutronreflektor för att minimera neutronförluster från kärnan och de totala kärndimensionerna.

En av de viktigaste aspekterna av motorn är bränslet den använder. Det viktigaste som ska beaktas vid valet av reaktorbränslematerial är att materialet måste ha tillräcklig hållfasthet vid hög temperatur. Exempel på vissa material med mycket höga smälttemperaturer är hafniumkarbid 4170 K, tantalkarbid 4140 K, grafit 3900 K och volfram 3640 K.

Bränslematerialet bör också innehålla ett tvärsnitt med låg neutronabsorption, hög värmeledningsförmåga, kompatibilitet med högtemperatururan, kompatibilitet med varmt väte och låg massa och molekylvikt.

Huvudproblemet med kärnraketer är uppvärmning av motorkomponenter genom kärnstrålning som härrör från kärnan. Eftersom kärneffekten och effekttätheten är höga och systemstorleken minimeras är de resulterande neutron- och röntgenläckagen höga. Dessa läckage är orsaken till uppvärmningen av komponenterna och kan endast motverkas genom effektiv kylning av alla komponenter.

Andra metoder att använda fissionsreaktorn har föreslagits för att undvika det allvarliga materialproblemet samtidigt som värme överförs till gasen direkt av de extremt heta reaktorväggarna. En möjlighet kan vara att innehålla det heta klyvarbränslet i gasformigt tillstånd i en genomskinlig vägg av smält kiseldioxid. Vätedrivmedel som strömmar utanför kiseldioxidväggen värms upp av strålning och avgaser genom munstycket. Strålhastigheter på mellan 16000 och 20000 m/s sägs vara möjliga, vilket skulle motsvara vätetemperaturer på 4500 K.

Ett annat koncept är en uranplasma som innesluts av vätedrivmedlets hydrodynamiska flödesmönster. Eftersom inget fast material finns i kärnan kan de potentiella avgashastigheterna nå 50000 m/s. Att innehålla bränslet är dock ett stort hinder.

Man kan också placera gasformigt klyvbart material i mitten av en öppen reaktor, som håller den på plats med magnetiska medel. Då skulle drivgasen värmas upp genom strålning från det heta gasformiga klyvbara materialet utan en fast vägg emellan. Genomförbarheten av en sådan anordning är fortfarande föremål för utredning.

Redan 1944 övervägde Stanisław Ulam och Frederic de Hoffmann idén att kontrollera kraften i kärnexplosionerna för att driva rymdfarkoster. Efter andra världskriget började den amerikanska militären utveckla interkontinentala ballistiska missiler (ICBM) baserade på de tyska V2 raketkonstruktionerna. Några stora raketer var utformade för att bära kärnstridsspetsar med kärnkraftsdrivna framdrivningsmotorer. Redan 1946 utarbetades hemliga rapporter för det amerikanska flygvapnet, som en del av NEPA-projektet, av North American Aviation och Douglas Aircraft Companys Project Rand. Dessa banbrytande rapporter identifierade en reaktormotor där en arbetsvätska med låg molekylvikt värms upp med hjälp av en kärnreaktor som den mest lovande formen av kärnframdrivning, men identifierade många tekniska problem som behövde lösas.

I januari 1947, utan att känna till denna hemliga forskning, publicerade ingenjörer från Applied Physics Laboratory sin forskning om kärnkraftsframdrivning och deras rapport hemligstämplades så småningom.

I maj 1947 presenterade den i USA utbildade kinesiska forskaren Hsue-Shen Tsien sin forskning om "termiska jetstrålar" som drevs av en porös grafitmodererad kärnreaktor vid Nuclear Science and Engineering Seminars LIV organiserad av Massachusetts Institute of Technology.

1948 och 1949 producerade fysikern Leslie Shepherd och raketforskaren Val Cleaver en serie banbrytande vetenskapliga artiklar som övervägde hur kärnteknik kan tillämpas på interplanetära resor. De undersökte där både kärntermisk och kärnelektrisk framdrivning.

USA hade för ett halvt sekel sedan ett mycket aktivt program för att utveckla fissionsreaktordrivna raketmotorer. Det innebar många mycket framgångsrika prov av kärnraketmotorer på marken, mellan 1958 och 1973, ända fram till den punkt då man använde dessa för att driva rymdfarkoster. Detta inkluderade Kiwi (markprov av motorer uppkallade efter den vinglösa fågeln), Phoebus och PeeWee-programmen.

Sovjetunionen hade också ett aktivt kärnvapenutvecklingsprogram mellan 1965 och 1986, men det slutade efter Tjernobylkatastrofen. Släppta rapporter hävdar att man markprovade en "RD-0410" kärnraketmotor.

Medan hittills ingen kärnklyvningsreaktor raketmotor har använts för att driva en rymdfarkost så har reaktorer placerats i jordens omloppsbana för så mycket som ett halvt sekel sedan, när USA 1965 använde en av sina "SNAP 10" fissionsreaktorer för att ge el till en satellit.

Sovjetunionen drev ett dussin olika satelliter med sin "Topaz" fissionsreaktor. I båda fallen omvandlades värme från reaktorn direkt till elektricitet med fasta tillstånd (thermioniska) medel. Forskning bedrivs nu aktivt för att utveckla stirlingmotorer för att omvandla sådan värme till elektricitet och därmed få en fyrafaldig ökning av effektiviteten jämfört med nuvarande metoder och få något lätt och pålitligt nog att användas i ett djupt rymduppdrag.

Efter andra världskriget blev ingenjörer intresserade av att utnyttja den massiva kraften i atomklyvning för flygplan och missilframdrivning. År 1945 började militären sponsra ansträngningar för att utveckla ett atomflygplan. Ingenjörer kunde dock inte övervinna problem med den nödvändiga avskärmningen för besättningen eller rädslan för strålning vid kraschplatser. År 1955 samarbetade militären med Atomic Energy Commission (AEC) för att utveckla reaktorer för kärnraketer under Project Rover. Kärnraketen skulle vara ett övre steg som inte avfyrades förrän den kom in i rymden - vilket minskade hotet om kraschinducerad förorening på jorden. Kärnraketen skulle använda fission för att värma flytande väte och utvisa det som dragkraft i hastigheter som skulle ersätta kemiska raketer.

Utvecklingen av NTR med fasta kärnor startade 1955 under Atomic Energy Commission (AEC) som Project Rover och pågick till 1973. Arbetet med en lämplig reaktor utfördes vid Los Alamos National Laboratory och Area 25 (Nevada National Security Site) på Nevada Test Site. Fyra grundläggande konstruktioner kom från detta projekt: KIWI, Phoebus, Pewee och Nuclear Furnace. Tjugo enskilda motorer provades, med totalt över 17 timmars motorkörningstid.

1959 ersatte NASA flygvapnet och uppdraget ändrades från en kärnvapenmissil till en kärnvapenraket för långvarig rymdflygning. Rover-programmet började med forskning om grundläggande reaktor- och bränslesystem. Detta följdes av en serie Kiwi -reaktorer byggda för att testa kärnraketprinciper i en icke-flygande kärnmotor. Nästa fas, Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application (NERVA), försökte utveckla en flygbar motor. Den sista fasen av programmet, kallad Reactor-In-Flight-Test, skulle vara ett faktiskt lanseringstest.

AEC arbetade för att utveckla reaktorn för motorn vid sina anläggningar i New Mexico och Nevada, och Lewis koncentrerade sina ansträngningar på det flytande vätesystemet. Rocket Systems Area tillhandahöll resurser för att bedriva grundforskning om kärnmotorsystem och för att prova vätepumpsystem. En serie Kiwi-A-reaktorer på 300 megawatt testades på Nevada Test Site 1959 och 1960. Kiwi-B-reaktorerna, som dramatiskt ökade effekten utan att öka den totala storleken, provades mellan 1961 och 1964.

KIWI var den första med början i juli 1959 med KIWI 1. Reaktorn var inte avsedd för flygning. Kärnan var helt enkelt en stapel obelagda uranoxidplattor på vilka vätet dumpades. Värmeeffekten på 70 MW vid en avgastemperatur på 2683 K genererades. Ytterligare två prov av grundkonceptet, A1 och A3, lade man till beläggningar på plattorna för att testa bränslestavskoncept.

KIWI B-serien drevs av små urandioxidsfärer (UO_2) inbäddade i en grafitmatris med lite bor och belagda med niobkarbid och med nitton hål genom vilka det flytande vätet flödade. Vid de första avfyrningarna knäckte enorm värme och vibrationer bränslebuntarna. Grafitmaterialen som användes i reaktorns konstruktion var resistenta mot höga temperaturer men eroderade under strömmen av överhettat väte, ett reduktionsmedel. Bränslet byttes senare till urankarbid och den sista motorn kördes 1964. Bränslebunterosionen och sprickbildningsproblemen förbättrades men löstes aldrig helt, trots lovande materialarbete vid Argonne National Laboratory.

I januari 1965 modifierade Rover-programmet avsiktligt en Kiwi -reaktor (KIWI-TNT) för att snabbt bli kritisk, vilket resulterade i omedelbar förstörelse av reaktorns tryckkärl, munstycke och bränsleaggregat. Reaktorn placerades på en järnvägsvagn i Jackass Flats-området på Nevada Test Site. Avsedd att simulera ett värsta scenario av ett fall från höjd i havet, såsom kan uppstå vid ett boosterfel efter uppskjutning, skulle den resulterande strålningen ha orsakat dödsfall inom upp till 183 m och skador inom 610 m.

Kiwi B-1-munstycket förbereds för prov

Phoebus-serien byggde på KIWI-serien men med mycket större reaktorer. Det första 1A-testet i juni 1965 pågick i över 10 minuter vid 1090 MW och en avgastemperatur på 2370 K. B-körningen i februari 1967 förbättrade detta till 1500 MW i 30 minuter. Det sista 2A-testet i juni 1968 pågick i över 12 minuter på 4000 MW, vid den tiden den mest kraftfulla kärnreaktorn som någonsin byggts.

En mindre version av KIWI, Pewee byggdes också. Den avfyrades flera gånger vid 500 MW för att testa beläggningar gjorda av zirkoniumkarbid (istället för niobkarbid) men Pewee ökade också systemets effekttäthet.

Provade motorer inkluderade Kiwi, Phoebus, NRX / EST, NRX / XE, Pewee, Pewee 2 och Nuclear Furnace, ett vattenkylt system känt som NF-1 som användes i Pewee 2. Proven av den förbättrade Pewee 2-designen avbröts 1970 till förmån för den billigare NF-1.

NERVA-programmet 1961 var avsett att leda till att kärntermiska raketmotorer infördes i rymdutforskning. Till skillnad från AEC-arbetet, som var avsett att studera själva reaktordesignen, var NERVA: s mål att producera en riktig motor som kunde användas på rymduppdrag. NERVA-designen på 334 kN baserades på KIWI B4-serien.

Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications (NERVA) var ett gemensamt projekt mellan NASA och Atomic Energy Commission, som strävade efter att utveckla en kärnkraftsdriven raket för både långdistansuppdrag till Mars och som ett möjligt övre steg för Apollo-programmet.

Los Alamos hade de primära provanläggningarna i Nevada och New Mexico, men NASAs Lewis Research Center var involverat från början med både utformningen av motorns reaktor och bränslesystemet för flytande väte, särskilt turbopumpen som pumpade bränslena från lagringstankarna till motorn och var det primära verktyget för att starta om motorn i rymden.

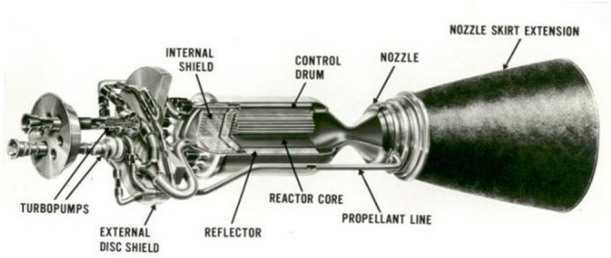
NERVA NRX (Nuclear Rocket Experimental), började provas i september 1964. Den sista motorn i denna serie var XE, konstruerad med flygrepresentativ hårdvara och avfyrad i en lågtryckskammare för att simulera ett vakuum. NERVA NRX/XE startades tjugoåtta gånger i mars 1968. Serien genererade 1100 MW, och många av proven avslutades först när det tog slut på vätedrivmedel. NERVA NRX / XE producerade 334 kN dragkraft som Marshall Space Flight Center krävde i Mars uppdragsplaner. Den sista NRX-avfyrningen förlorade 17 kg kärnbränsle under 2 timmars provning, vilket bedömdes tillräckligt för rymduppdrag.

Finansieringen av NERVA minskade dock i slutet av 1960-talet och programmet avbröts 1973 innan några flygprov av motorn ägt rum då det amerikanska kärnraketprogrammet avslutades officiellt våren 1973. Under detta program ackumulerade NERVA över 2 timmars körtid, inklusive 28 minuter vid full effekt.

Ett antal andra solid-core-motorer har också studerats till viss del. Small Nuclear Rocket Engine, eller SNRE, designades vid Los Alamos National Laboratory för användning i övre steget både på obemannade bärraketer och rymdfärjan. Den innehöll ett delat munstycke som kunde roteras åt sidan, så att det kunde ta mindre plats i Shuttle-lastutrymmet. Konstruktionen gav 73 kN dragkraft och fungerade med en specifik impuls (dragkraft/massflöde) på 875 sekunder och det var planerat att öka detta till 975 sekunder .

En relaterad design som såg lite arbete, men aldrig kom till prototypstadiet, var Dumbo. Dumbo liknade KIWI/NERVA i konceptet, men använde mer avancerade konstruktionstekniker för att sänka reaktorns vikt. Dumboreaktorn bestod av flera stora tunnliknande rör som i sin tur var konstruerade av staplade plattor av korrugerat material. Korrugeringarna var uppradade så att den resulterande stapeln hade kanaler som löpte från insidan till utsidan. Några av dessa kanaler var fyllda med uranbränsle, andra med en moderator, och vissa lämnades öppna som en gaskanal. Väte pumpades in i mitten av röret och skulle värmas upp av bränslet när det färdades genom kanalerna och arbetade sig till utsidan. Det resulterande systemet var lättare än en konventionell design för en viss mängd bränsle.

Mellan 1987 och 1991 studerades en avancerad motordesign under Project Timberwind, under Strategic Defense Initiative, som senare utvidgades till en större design i Space Thermal Nuclear Propulsion (STNP) -programmet. Framsteg inom högtemperaturmetaller, datormodellering och kärnteknik resulte



NERVA solid core kärnraket.
Bild: Los Alamos National Laboratory

rade i allmänhet i dramatiskt förbättrad prestanda. Medan NERVA-motorn beräknades väga cirka 6803 kg, erbjöd den slutliga STNP drygt 1/3 av dragkraften från en motor på endast 1650 kg genom att förbättra specifika impulsen från 930 till 1000 sekunder.

Utan ett mänskligt uppdrag till Mars är behovet av en nukleär termisk raket oklart. Ett annat problem är allmänhetens oro över säkerhet och radioaktiv förorening, men det fanns också ett antal tekniska problem.

Kärnraketmotorer är konstruerade för att arbeta vid extremt heta temperaturer för att maximera effektiviteten. Det regenerativa kylsystemet, som strömmar kallt flytande väte genom rör som omger munstycket, är ett viktigt inslag i konstruktionen. Till skillnad från kemiska raketer använder kärnmotorer ett munstycke som smalnar kraftigt innan det expanderar. Det var svårt att kyla sammandragningsområdet. Forskarna använde testresultaten från många avfyrningar av motorn för att skapa en matematisk formel för att förutsäga överföringen av värme från avgaserna till munstycket. De utökade sedan utredningen genom att avfyra motorn med olika drivmedel och injektorformer och visade att injektorn behövde skräddarsys efter munstyckets form.

Kärnraketmotorerna inkluderade en moderator för att sakta ner snabbrörliga neutroner. Detta förbättrade effektiviteten hos reaktorklyvningen. En värmeväxlare kylde moderatorn genom att överföra värmen från moderatorns vatten till det kryogena flytande vätet. Växlaren var ett rör i ett rör. Det heta moderatorvattnet flödade genom innerröret och det kalla vätet flödade genom ytterröret. Isbildningen på värmeväxlarens yta utgjorde ett potentiellt problem, särskilt när drivmedelstillförseln var låg. Man genomförde en flerårig insats för att mäta isnivåerna och studera förhållandena som skapade isen. Uppskattningar för när is var närvarande visade sig vara signifikant låga.

I denna trestegs kärnraket skulle besättningen vara inrymd i det övre steget med ett kraftigt avskärmat skott som skiljer dem från motorerna (1964).

Historien om elektriska raketer

Trots den relativt tidiga mognaden hos vissa elektriska koncept försenades deras systematiska användning på kommersiella rymdfarkoster till de senaste två decennierna av nittonhundratalet. Den första elektriskt drivna rymdfarkosten gick inte ut i rymden förrän nästan ett sekel efter de första uppfinningarna.

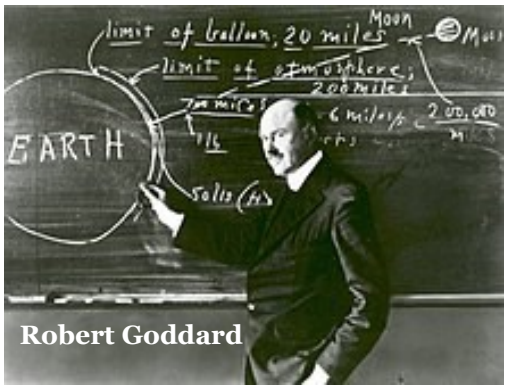
Elektrisk framdrivning använder, som namnet antyder, elektrisk energi för att värma och mata ut drivmedlet. När en gas placeras i ett starkt elektriskt fält, delas dess positiva och negativa element upp så att den positiva laddningen är lika med den negativa. Detta nya fysikaliska tillstånd hos gasen kallas ett "plasma" och processen kallas "jonisering". Plasmat reagerar på elektriska och magnetiska fält och kan accelereras till extremt höga hastigheter (upp till 100 000 m/sek). Ju större den elektriska energin som tillhandahålls, desto större blir strömtätheten som orsakar ett starkare magnetfält och därmed en större utloppshastighet.

Huvudskillnaden mellan ett termiskt och ett elektriskt system är att raketstrålen inte accelereras av värmeenergi utan av elektrisk energi. Detta gör att elektriska framdrivningssystem når högre strålhastigheter än något annat tillgängligt framdrivningssystemen. En elektrisk motor gynnas också av att den är mycket effektiv på att omvandla effekt till dragkraft.

Studier och utveckling av elektriska motorsystem har pågått länge. Trots det har deras resa till att användas på rymdfarkoster varit lång. Den tyske fysikern Eugen Goldstein observerade redan 1886 att förutom katodstrålar finns det i katodstrålerör strålning, som färdas bort från anoden. Dessa kallades "kanalstrålar" eftersom de härrörde från hål (kanaler) i katoden. Insikten att det här är atomer, som har fått elektroner bortskalade, kom inte förrän efter upptäckten av den fotoelektriska effekten och demonstrationen av den tyske fysikern Philipp Lenard 1902 att effekten berodde på utsläpp av elektroner från metall, vilket pekade på slutsatsen att atomer innehöll elektroner. Därefter föreslog Ernest Rutherford 1914 att de positiva strålarna var positivt laddade atomstora partiklar. Hans senare experiment, som ledde till upptäckten av protonen 1920, bekräftade detta och ledde till en slutlig acceptans av tidigare spekulationer om att atomen består av positivt laddat material omgivet av negativt laddade elektroner.

Idén om elektrisk framdrivning för rymdfarkoster introducerades 1911 av Konstantin Tsiolkovsky, en självlärd rysk lärare, men redan tidigare hade amerikanen Robert Goddard noterat en sådan möjlighet i sin personliga anteckningsbok. Goddard delade en passion för rymdresor med Tsiolkovsky, "drömmaren från Kaluga", trots att han aldrig hade hört talas om honom eller hans idéer. Goddards anteckning angående möjligheten till elektrisk framdrivning dateras till den 6 september 1906. Han nämnde där möjligheten att accelerera elektriskt laddade partiklar till mycket höga hastigheter utan behov av höga temperaturer. Hans verk, nästan uteslutande teoretiska, publicerades ursprungligen på hans egen bekostnad och många av hans tidigare skrifter förblev i form av opublicerade manuskript årtionden efter att de skrevs.

Den tjugofyraårige Goddard bestämde sig för att ta itu med problemet med att producera "reaktion med elektroner som rör sig med ljusets hastighet" och skrev ner sina tankar om detta problem i sin anteckningsbok. Goddard visade på dessa handskrivna sidor daterade 6 och 9 september 1906 att han var ganska medveten om den senaste utvecklingen inom fysiken när det gäller katodstrålarnas natur. Mellan 1906 och 1912 ledde utvecklingen av hans tankar honom till att uppskatta fördelarna med att förlita sig på jonernas reaktion i en elektrostatisk accelerator och behovet av att neutralisera de laddade avgaserna med en ström av motsatt laddade partiklar. År 1917 lämnade Goddard, som då hade blivit biträdande professor i fysik vid Clark University, in en amerikansk patentansökan med titeln "Method of and Means for Producing Electrified Jets of Gas". Det är världens första dokumenterade elektrostatiska jonaccelerator avsedd för framdrivning.



År 1918-1919 nämnde ryssen Jurij Kondratyuk i ett manuskript, liksom Tsiolkovsky och Goddard före honom, om elektrisk framdrivning i samband med katodstrålar. Hermann Oberth ägnade också i sin klassiska bok ”Wege zur Raumschiffahrt ” publicerad 1929 hela det sista kapitlet med titeln ”Das elektrische Raumschiff” åt elektrisk framdrivning. I det kapitlet förutspådde han dess framtida roll i framdrivning och attitydkontroll utanför atmosfären och förespråkade elektrostatisk acceleration av elektriskt laddade gaser skapade från avfall på den rymdstation i omloppsbana, som var ett huvudtema i boken.

Ett sidospår kom i Ryssland. Den 15 maj 1929 påbörjade det sovjetiska forskningslaboratoriet Gas Dynamics Laboratory (GDL) utvecklingen av elektriska raketmotorer. Under ledning av Valentin Glushko skapades världens första exempel på en elektrotermisk raketmotor. Under perioden 1929-1933 ledde det till utvecklingen av en elektrisk motorprototyp där dragkraft producerades av termisk expansion (precis som i en vanlig kemisk raket) av produkterna från elektriskt exploderade metalltrådar.

Detta var inte bara den första elektrotermiska motorn av något slag, utan troligen den första elektriska motor, som byggdes, om än för laboratoriebruk, med rymdframdrivning i åtanke. Det är sannolikt också den första elektriska motorn någonsin som provats på ett stativ för att mäta dragkraft. Detta tidiga arbete av GDL fortsatte och elektriska raketmotorer användes på 1960-talet ombord på rymdfarkosten Voskhod 1 och sonden Zond-2 till Venus.

Bortsett från detta sidospår från början av 1930-talet gick elektrisk framdrivning in i en paus på mer än femton år under vilka den bara dök upp i science fiction-litteraturen. Även om några dedikerade raketforskare, särskilt de berömda Robert Goddard och Konstantin Tsiolkovsky, studerade tekniken under början av 1900-talet, ansågs jonframdrivning vara mer science fiction än verklighet fram till 1950-talet, då intresset för raketer efter andra världskriget ledde in i det kalla kriget.

Nästa gång vi stöter på ett omnämnande i den internationella vetenskapliga litteraturen är vid krigets slut i en kort och kvalitativ artikel i decembernumret 1945 av Journal of the American Rocket Society. Där såg en ung ingenjörsstudent, Herbert Radd, framför sig en framtid av rymderövring med solenergi och jonframdrivning.

Om det fanns en enda individ som hade de egenskaper som behövdes för att koppla den tidigare eran av visionärer till utveckling, så var det utan tvekan Ernst Stuhlinger. Han hade tjänstgjort i två år på den ryska fronten under andra världskriget innan han kom till V-2-projektet i Peenemünde, där han arbetade med Wernher von Braun. Väl i Amerika blev Stuhlinger en del av laget, ledda av von Braun, som utvecklade de amerikanska rymdraketerna. Han bidrog också till de inledande faserna av rymdteleskopprojektet samt till studier av elektrisk framdrivning och av vetenskapliga nyttolaster för rymdfärjan.

Stuhlinger hävdade att lättare elektriska framdrivningssystem skulle göra planetresor mer genomförbara än kemisk framdrivning. Men innan Stuhlinger publicerade sin första artikel om elektrisk framdrivning 1954 skulle andra inspirera honom och bana väg för hans arbete. Den första bland dessa var en uppsats, ”Zur Theorie der Raketen” författad av Jakob Ackeret och publicerad 1946, som även om den aldrig nämnde elektrisk framdrivning eller behandlade den uttryckligen, hade ett stort inflytande på Stuhlinger. Ackerets artikel presenterade en generalisering av Tsiolkovkys raketekvation genom att inkludera relativistiska effekter för att utforska de ultimata gränserna för raketframdrivning.

En annan studie av de brittiska fysikerna L.R. Shepherd och A.V. Cleaver behandlade inte direkt aspekter av jonraketer, även om de föreställde sig en elektrostatisk accelerator som skulle producera en avgasjonstråle (som i den moderna versionen) i motsats till en avgas med en ström där laddning har injicerats (som de tidiga visionärerna föreställde sig). Emellertid presenterade de den första kvantitativa analysen av genomförbarheten av elektrostatisk framdrivning för interplanetära uppdrag.

Shepherd och Cleaver drog dock slutsatsen att jonraketen var för opraktisk med tanke på de massiva kraftbehov som den krävde. Lyckligtvis kom en motsatt åsikt från den amerikanske astrofysikern Lyman Spitzer som två år senare, i en rapport inför den andra internationella kongressen om astronautik i september 1951, fann att jonframdrivning var fullt genomförbar.

I en annan rapport från 1952 av den brittiska forskaren H. Preston-Thomas valdes jonmotorn som en möjlig teknik för en fissionsdriven "bogserbåt", som skulle föra sällsynta metaller från utomjordiska källor till jordens omloppsbana. Även om detta arbete, liksom dess föregångare, ännu inte beskrev i detalj utformningen av jonmotorer, är det av historisk relevans på grund av att det förutsåg vikten av näterosion genom att påverka joner, inverkan av fördelningen av laddnings-till-massförhållande på prestanda och fördelarna med att använda radiofrekventa elektrodlösa urladdningar som joniseringskällor.

År 1954 var scenen satt för Stuhlinger att lansera elektrisk framdrivning. Hans första uppsats, som publicerades det året, skilde sig starkt från alla tidigare publikationer i ämnet genom dess djup, detaljer och omfattningen av de varaktiga bidrag som den gjorde. Artikeln presenterade ett elektriskt drivet rymdskepp inklusive detaljer om jonmotorn och strömförsörjningen (turboelektriska generatorer som drevs av en solkoncentrator) och regler för prestandaoptimering.

Den rapporten och två följande publicerade 1955 och 1956, där Stuhlinger beskrev en liknande farkost, men med en mer fördelaktig kärnreaktor, markerar kulmen på en era där huvudmålet var att utvärdera genomförbarheten av elektrisk framdrivning. Den så demonstrerade genomförbarheten skulle nu ta jonframdrivning från ett intellektuellt tidsfördriv hos några få förutseende forskare till en seriös och livlig teknisk och vetenskaplig disciplin med sina egna utövare.

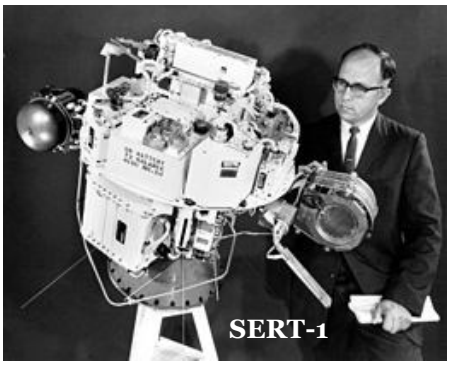
Stuhlinger var den förste och, i mer än ett decennium, den ledande personen bland dessa professionella specialister. Han spelade således både rollen som en pionjär vid slutet av en era av konceptuell utforskning och som en ledande utredare i den följande utvecklingen. För det första handlade även de mer analytiska bidragen främst om genomförbarhet snarare än om detaljerade anordningar. För det andra, med undantag för Glushko och hans exploderande trådelektrotermiska thruster, var de tidiga utövarnas fokus nästan uteslutande på den elektrostatiska grenen av elektrisk framdrivning.

Detta kan spåras till teknikens rötter i katodstrålefysik vars stationära gasformiga urladdningar, med sin gåtfulla monokromatiska glöd, och sitt löfte om elektrostatiskt producerade höga partikelhastigheter, fängslade många av de bästa sinnena i slutet av artonhundratalet. Experimentell magnetohydrodynamik (med dess elektromagnetiska acceleration av plasma) uppstod inte förrän under andra hälften av förra seklet. Dessutom var de tidiga visionärerna och pionjärerna främst intresserade av utsikterna till mänskligt bemannade interplanetära resor. Kanske kunde dessa mäns rastlösa fantasi inte förutse värdet av de mer stillasittande kommersiella satelliterna och robotuppdragen nära jorden. Det var först med tillkomsten av solceller och de relativt vardagliga intressena för kommersiell telekommunikation och militär övervakning som siktet sänktes och en utveckling mot tillämpningar inleddes.

Ernst Stuhlinger
1913-2008

Först efter 1957 genomfördes faktiska småskaliga experiment i statliga laboratorier och många oberoende företag främst i USA. Vid den tiden insåg man att elektrisk framdrivning inte var begränsad till elektrostatik eller jonmotorer, som under de tidigare åren, utan kunde utvidgas till elektrotermiska och elektromagnetiska system. De första proven av en elektrostatisk jonmotor, gjordes i mitten av 1964. Sådana jonmotorer används nu för styrning av satelliter och som primär framdrivning av djupa rymdsonder. Det stora antalet framgångsrika uppdrag, som redan har använt ett elektriskt framdrivningssystem stöder dess genomförbarhet för långvariga rymduppdrag.

Den första demonstrationen av elektrisk framdrivning var en jonmotor ombord på rymdfarkosten NASA SERT-1 (Space Electric Rocket Test). Den sköts upp den 20 juli 1964 och var i drift i 31 minuter. Ett uppföljningsuppdrag inleddes den 3 februari 1970, SERT-2. Den bar två jonmotorer, en som drevs i mer än fem månader och den andra i nästan tre månader.

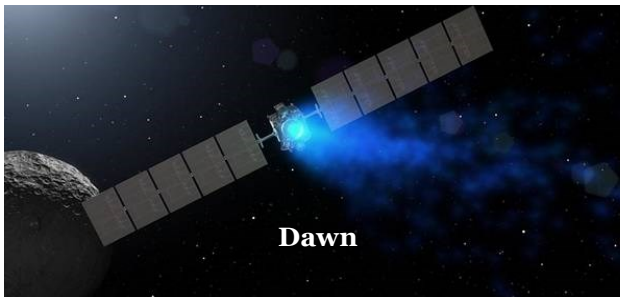


SERT-1

Elektrisk framdrivning

Man insåg nu att elektrisk framdrivning kunde användas som det primära systemet för krävande djuprymdsuppdrag, vilka skulle ta mycket längre tid med kemiska drivmedel. Detta skulle kunna möjliggöra högeffektiva (bemannade) interplanetära uppdrag och lastöverföringar. Delsystemen för elektrisk framdrivning kunde också användas för positionering och exakt attitydkontroll.

År 1998 testade NASA: s Deep Space 1 (DS1) olika avancerade tekniker för framtida interplanetära uppdrag. Den obemannade rymdsonden Dawn blev 2007 sedan det första uppdraget som möjliggjordes av ett jonframdrivningssystem, en otrolig teknisk prestation utan vilken Dawns multivärldsuppdrag skulle ha varit omöjligt. Dawns tre jonmotorer var baserade på DS1:s system. Dawns uppdrag, att utforska Vesta och dvärgplaneten Ceres i asteroidbältet, hade inte varit möjligt utan det. Inte bara skulle ett konventionellt kemiskt system ha varit dyrt, men det skulle inte heller ha gett den manövrerbarhet, som gjorde det möjligt för Dawn att kretsa kring dessa två mål, en aldrig tidigare skådad och oerhört värdefull prestation.

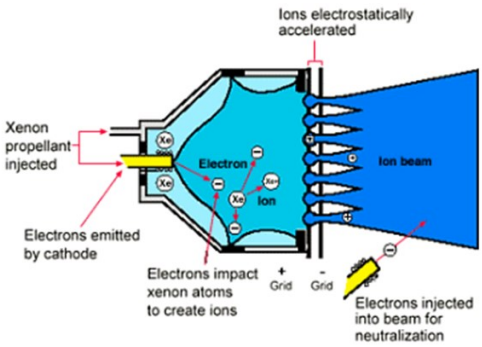


Tidiga jonmotorer, som de för SERT I och II, använde kvicksilver som drivmedel. Även om kvicksilver är tungt och därför kan ge rymdfarkosten större fart, gör dess toxicitet det besvärligt att använda och kan ibland förorena rymdfarkosten. Jonframdrivningssystem joniserar (laddar) atomer och utnyttjar sedan deras icke-neutrala laddning för att driva ut dem från rymdfarkosten, vilket skapar dragkraft. Dawns jonmotorer uppnådde detta genom att accelerera xenon, joniserat av en elektronstråle, genom en spänning mellan två laddade nät. Xenon, som används på geosynkrona satelliter såväl som interplanetära uppdrag som Deep Space 1 och Dawn, är nu ett vanligt drivmedel för jonframdrivningssystem eftersom det är både tungt och inert, vilket innebär att det inte kommer att reagera med något av rymdfarkostens material och kan ge tillräcklig fart.

Dawns arv som det första uteslutande vetenskapliga uppdraget att använda sådan innovativ och effektiv teknik kommer att ha stor inverkan på rymdflygningens framtid. När vi utökar vår förståelse av universum med ännu mer komplexa uppdrag till destinationer nära och fjärran, är det troligt att jonframdrivning, banbrytande av DS1 och avancerad av Dawn, kommer att ta oss dit.

Jonframdrivning kräver mindre drivmedel än traditionella kemiska system, så jonframdrivningssystem adderar mindre massa till rymdfarkosten, vilket gör dem mycket effektivare. Och även om dragkraften de producerar är låg (Dawns system, till exempel, producerar en dragkraft som motsvarar vikten på ett papper), kan de gradvis uppnå otroligt höga hastigheter.

Denna effektivitet gör jonframdrivning lämplig för uppdrag som kräver stor manövrerbarhet för banförändringar. Även om jonframdrivningens potential att fungera som det primära framdrivningssystemet för djupa rymduppdrag inte realiserades fullt ut förrän nyligen, används det också för att justera rymdfarkosters orientering och skifta bana. Rymdfarkosten måste fungera under vakuumliknande förhållanden, eftersom dragkraften som genereras av jonframdrivning är för låg för att övervinna betydande luftmotstånd.



Ion rocket engine

I de olika anordningarna för jonframdrivning joniseras varje molekyl av drivmedlet och accelereras till mycket höga hastigheter genom ett munstycke med hjälp av ett elektriskt fält. Prestandan hos en sådan jonmotor är mycket bra med värden på specifik impuls som uppskattas vara så höga som 200 km/s. Mängden elkraft som krävs är dock mycket stor, så vikten på kraftgenereringsutrustningen blir ett stort hinder för en effektiv farkost.

Gasen som används som drivmedel i denna typ av motor är antingen argon eller xenon eller den förångade formen av kvicksilver eller cesium. Joniseringskammaren till vilken strömförsörjningen är ansluten är platsen för partikelacceleration. Drivmedlet pumpas in i joniseringskammaren där det förs över uppvärmda metallnät som joniserar det. Det elektriska fältet mellan gallren accelererar drivmedlets positiva joner. En neutraliserare, som också är ansluten till strömförsörjningen, avfyrar elektroner vid de accelererade bränslepartiklarna. Syftet med dessa elektroner är att motverka partiklarnas positiva laddning och att säkerställa att raketens avgaser är elektriskt neutrala. Annars skulle de dras tillbaka till rymdfarkostens positiva ytor och avbryta dragkraften.

Med förnyat intresse för jonframdrivning för bankontroll av satelliter och för framdrivning av interplanetära rymdfarkoster investerar NASA i framtiden för jonframdrivning. Både NASAs Evolutionary Xenon Thruster (NEXT) och X3, nya system under utveckling, är kraftfullare än Dawns motorer. Detta skulle kunna ge större acceleration, vilket minskar flygtiden till de avlägsna världar som dessa rymdfarkoster utforskar. En dag kan dessa motorer flyga djupt ut i rymden och kanske till och med kunna driva mänskliga uppdrag.

Den elektriska kraften används nu för att jonisera och accelerera drivmedlet, via en mängd olika metoder. Av dessa är flera tekniskt mogna nog att användas på rymdfarkoster, inklusive resistojet, bågstrålen, elektronbombardemangsmotorn (särskilt xenonjonmotorn), Hall-motorn och den pulserade plasmamotorn. Andra som Magneto Plasma Dynamics-motorer och pulserade induktionsmotorer har inte utvecklats utöver laboratoriestudier.

I resistojeten används en resistiv elektrisk värmare för att tillsätta värme till en gasström. Temperaturgränserna för de material som används begränsar resistojetens strålhastighet till mindre än 10 km/s för väte. Eftersom lagring av väte är svårt har ammoniak använts som ett alternativ. Jethastigheter på 3,5 km/s har uppnåtts men effektiviteten hos denna typ av motor börjar sjunka snabbt när jethastigheten höjs på grund av den energi som krävs för att sönderdela drivmedlet. Typiskt för resistojets är att 40 % av den effekt, som produceras av systemet, omvandlas till stråleffekt.

Elektrisk framdrivning

Jethastighetsbegränsningar kan övervinnas genom att tillsätta värme direkt till gasen i en högintensiv elbåge. På så sätt kan temperaturen höjas till kanske 10000 K och jethastigheter på 10 -30 km/s kan nås. Vid dessa temperaturer sker märkbar dissociation och jonisering av gasen, vilket absorberar energi, som inte kan återvinnas i munstycket. Detta minskar effektiviteten hos elbågemotorer till 20–40 %.

Hall-motorn användes i årtionden för stationshållning av Sovjetunionen. Den använder Hall-effekten för att accelerera joner för att producera dragkraft. Hall-effekten är en potentiell spänningsskillnad på motsatta sidor av ett tunt ark av ledande eller halvledande material genom vilket en elektrisk ström flyter, skapad av ett magnetfält applicerat vinkelrätt mot Hall-elementet. En Hall-motor arbetar vanligtvis med cirka 50–60% effektivitet och ger jethastigheter på 12–18 km / s.

Magnetoplasmadynamiska (MPD) motorer använder Lorentzkraften (en kraft som utövas på laddade partiklar av magnetiska och elektriska fält i kombination) för att generera dragkraft. Således kommer en elektron att accelereras i samma linjära orientering som det elektriska fältet. MPD-motorer kan fungera i steady state-läge eller i pulserat, kvasi-stabilt läge. De har varit under utveckling sedan slutet av 1960-talet i Ryssland och i USA, där flera varianter av det primära konceptet undersökts.

I en MPD-motor joniserar bågströmmen som skapas mellan en central katod och en ringformig perifer anod drivmedlet och inducerar ett azimutalt magnetfält. Den genererade Lorentzkraften komprimerar och accelererar en kvasi-neutral plasma längs centralaxeln. Eftersom det självinducerade magnetfältet endast är signifikant vid mycket hög effekt, behöver MPD-motorer med låg effekt ofta ett externt applicerat magnetfält.

Den stora skalbarheten hos MPD-motorer gör att de kan täcka från några kW till flera MW effekt, från några mN till flera hundra N dragkraft och från 20 till 50 km/s jethastighet. MPD-motorer är mest effektiva vid hög effekt och kan ha upp till 40% effektivitet. Trots sina potentiella fördelar hindras utvecklingen av MPD-motorer fortfarande av långvariga katoderosionsproblem som begränsar deras livslängd till några hundra timmar i bästa fall.

Inom de olika system för elektrisk framdrivning, som har utvecklats, är jonframdrivning det som för närvarande bäst uppfyller kraven på ett framdrivningssystem för ett långvarigt rymduppdrag. Förutom att ha den bästa effektiviteten (cirka 60 %) bland de elektriska framdrivningssystemen, är det ett av de mest utvecklade systemen som för närvarande finns tillgängliga.

I vägen för eldriven mänsklig utforskning av planeterna står den frustrerande bristen på höga nivåer av elektrisk kraft i rymden. Jonmotorer tar mycket energi, dels för att jonisera drivmedlet, men mest för att accelerera jonerna till extremt höga hastigheter. Avgashastigheter på 50 km/s är inte ovanliga. Det finns också ett problem med motorns relativt korta livslängd. Jonerna träffar ofta gallren på väg genom motorn, vilket leder till att gallret förfaller. Mindre nät minskar risken för dessa oavsiktliga kollisioner, men minskar mängden laddning de kan hantera och sänker därmed accelerationen.

För närvarande hämtar elektriska framdrivningssystem sin kraft från solcellspaneler men kärnkraft kan också användas för yttre planetuppdrag där den tillgängliga solenergin är för låg. På jordens genomsnittliga avstånd från solen får en kvadratmeter 130 W solstrålning. På Venus avstånd är denna mängd 240 W och vid Mars 55 W. Av detta kan kanske 10 % tas upp av solpaneler. En 10-kilowatt Mars rymdfarkost som förlitar sig på solenergi skulle kräva en solpanel på cirka 2000 m2 så bemannade rymdskepp till Mars och bortom kräver förmodligen en kärnreaktor. Soldrivna jonmotorer är begränsade till det inre solsystemet, där solljuset är rikligt. Det uppskattas att ett kärnkraftverk för elektrisk framdrivning inklusive reaktor, värmeväxlare, kylare och turbingenerator skulle kunna byggas med en specifik effekt på 300 W/kg.

USA:s ansträngningar att utveckla kärnkraft för rymdfarkoster har varit fyllda med upprepade cykler av budgetmässiga, politiska och programmatiska bakslag under de senaste fem decennierna. Den sista och hittills enda amerikanska reaktorn i rymden, SNAP-10A med 650 W effekt, sköts upp 3 april 1965. Rekordet för den mest kraftfulla kärnkraftskällan i rymden hålls fortfarande på cirka 5 kW av 1987 års sovjetiska Topaz 1-fissionsreaktor ombord på rymdfarkosten Cosmos.

Historien om kärnkraft i rymden har på det hela taget inte varit någon framgångssaga. Det amerikanska 2SP-100-programmet, syftande till 100 kW effekt, förbrukade en halv miljard dollar och avslutades 1993. Nuclear Electric Propulsion Spaceflight Test Program centrerat kring den ryska Topaz II-reaktorn (40 kWe) mötte samma öde ungefär samma år. Medan radioisotoptermoelektriska generatorer (RTG) har använts på ett tillförlitligt sätt på 24 amerikanska rymdfarkoster, gör deras eleffekt och specifika effekt dem helt otillräckliga för bemannade eller tunga lastuppdrag.

Elektrisk framdrivning med en kärnreaktor övervägdes för det interstellära projekt Daedalus 1973, men tillvägagångssättet avvisades på grund av vikten av den utrustning som behövdes för att omvandla kärnenergi till el och som ett resultat en liten acceleration, som gjorde att det skulle ta ett sekel att uppnå önskad hastighet.

Sammanfattningsvis ger elektrisk framdrivning mycket lägre dragkraft än termisk framdrivning, men vid mycket högre jethastigheter. Optimistiska uppskattningar av elkraftförsörjningsvikt visar att kraftenheten skulle väga ungefär ett ton för varje Newton dragkraft som produceras. Därför kan en jonraket accelerera sig endast mycket långsamt.

Detta innebär att de måste arbeta under en längre period för att producera en önskad förändring i bana eller hastighet. Den högre jethastigheten gör det emellertid möjligt för dem att utföra ett uppdrag med relativt lite drivmedel och, i fallet med en djuprymdssond, att bygga upp en hög sluthastighet. Elektrisk framdrivning möjliggör också stora nyttolaster, men vid driftstider mätt i månader snarare än dagar som med termisk framdrivning.

I början av 2010-talet erbjöd många satellittillverkare elektriska framdrivningsalternativ på sina satelliter - mestadels för attitydkontroll i omloppsbana - medan vissa kommersiella kommunikationssatellitoperatörer började använda dem för geosynkron baninsättning i stället för traditionella kemiska raketmotorer.

Flexibiliteten med avseende på kraftkällan gör elektrisk framdrivning till en kandidat för ett stort antal uppdragsapplikationer. Elektrisk framdrivning har nu länge använts för stationshållning av kommersiella telekomsatelliter. Nyligen har helt elektriska rymdfarkoster visat kommersiell lönsamhet. Dessa system använder det elektriska framdrivningssystemet för att höja omloppsbanan till driftsbanan, något som tidigare utfördes av det övre steget i raketen. Detta har potential att dramatiskt förändra ekonomin för kommersiella uppdrag.

Eftersom jonframdrivning kräver nära vakuumförhållanden och inte producerar tillräckligt med dragkraft för att lyfta, behövs det kemiskt drivna raketer för att starta en sådan rymdfarkost. Trots detta har elektrisk framdrivning varit en framgångssaga: Nästan tvåhundra soldrivna satelliter i jordens omloppsbana och en handfull rymdfarkoster bortom jordens gravitation har hittills gynnats av de massbesparingar, som elektrisk framdrivning genererat.

Historia elektriska flygplan

Eldrivna flygplan har en lång historia. De kan transportera människor relativt långa sträckor utan att bränna något fossilt bränsle, de kan göra det tyst drivna av batterier och det finns ett stort antal modeller på marknaden idag. Eldrivna modellflygplan har flugits åtminstone sedan 1970-talet och var föregångarna till de små obemannade flygfarkosterna (UAV) eller drönarna, som har blivit allmänt använda för många ändamål.

Användningen av el för flygplansframdrivning experimenterades först med under utvecklingen av luftskeppen under senare delen av artonhundratalet. Även med ett luftskepps lyftkapacitet begränsade emellertid de tunga batterierna kraftigt hastigheten och räckvidden.

Man försökte också använda el för att driva helikoptrar. Den österrikisk-ungerska PKZ-1 eldrivna helikoptern flög 1917. Den hade en specialdesignad 190 hk (140 kW) elmotor tillverkad av Austro-Daimler och fick sin kraft med en kabel från en markbaserad likströmsgenerator. En andra version PKZ-2 flög 1918, men motorn brann upp efter bara några flygningar och man bytte snart till en bensinmotor.

År 1909 påstås en elektrisk modell av ett flygplan ha flugits i åtta minuter, men detta har betvivlats. Den första bemannade fria flygningen med ett elektriskt drivet flygplan, MB-E1, gjordes inte förrän 1973 och de flesta bemannade elektriska flygplan idag är fortfarande bara experimentella prototyper.

Den 21 oktober 1973 flög Militky MB-E1, ett Brditschka HB-3 motorglidflygplan konverterat av Fred Militky och Heino Brditschka, i nio minuter från Linz i Österrike. Det drevs av nickel-kadmiumbatterier (NiCad), som har en högre energitäthet än blybatterier.

Hur man får tillräckligt med elektricitet är förstås en nyckelfråga för elflygplan. Ett sätt var att använda solceller, som utvecklades under samma period som NiCad-batterier. Den 29 april 1979 blev Mauro Solar Riser det första personbärande, soldrivna flygplanet som flög, med solceller som levererade 350 W (0,47 hk) vid 30 volt och laddade ett litet batteri som drev motorn. Efter en laddning på 1,5 timmar kunde batteriet driva flygplanet i 3 till 5 minuter för att nå en glidhöjd. Det följde på ett framgångsrikt prov med ett modellflygplan 1974.

Under ledning av arkitekten Freddie To designades ett annat soldrivet plan, Solar One, av David Williams och producerades av Solar-Powered Aircraft Developments. Ursprungligen ett pedaldrivet motorglidflygplan för att försöka korsa kanalen, visade det sig vara för tungt för att framgångsrikt drivas av mänsklig kraft och omvandlades sedan till solenergi med en elmotor som drevs av batterier. De laddades före flygning av en solcellsuppsättning på vingen. Jungfruflygningen av Solar One ägde rum den 13 juni 1979.

Solair 1, utvecklad av Günther Rochelt, flög 1983 i 5 timmar och 41 minuter, mestadels på solenergi och även termik. Det använde 2499 vingmonterade solceller, som gav en effekt på mellan 1,8 och 2,2 kilowatt.

Det tyska soldrivna flygplanet Icaré II designades och byggdes av institutet för flygplansdesign (Institut für Flugzeugbau) vid universitetet i Stuttgart 1996. Ledaren för projektet och ofta piloten på flygplanet var Rudolf Voit-Nitschmann, institutets chef.

Det första kommersiellt tillgängliga, ickecertifierade eldrivna flygplanet, Alisport Silent Club, ett självstartande segelflygplan, flög 1997. Det drivs valfritt av en 13 kW likströmsmotor som körs på 40 kg batterier som lagrar 1,4 kWh energi.

Det första luftvärdighetsbeviset för ett eldrivet flygplan beviljades Lange Antares 20E 2003. Ett elektriskt, självstartande segelflygplan med en 42 kW motor och litiumjonbatterier kan det klättra upp till 3000 m med fulladdade batterier.

NASA: s Pathfinder, Pathfinder Plus, Centurion och Helios var en serie sol - och bränslecelldrivna obemannade flygfarkoster (UAV) utvecklade av AeroVironment. Den 11 september 1995 satte Pathfinder ett inofficiellt höjdrekord för soldrivna flygplan på 15 000 m under en

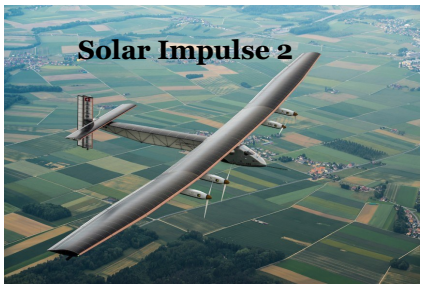
12-timmars flygning från NASA Dryden. Efter ytterligare modifieringar flyttades flygplanet till den amerikanska flottans Pacific Missile Range Facility (PMRF) på den hawaiiska ön Kauai. Den 6 augusti 1998 höjde Pathfinder Plus det nationella höjdrekordet till 24 445 m för soldrivna och propellerdrivna flygplan. Den 14 augusti 2001 satte Helios ett höjdrekord på 29 524 meter. Den 26 juni 2003 bröts Helios -prototypen upp och föll i Stilla havet utanför Hawaii efter att flygplanet stött på turbulens och programmet avslutades.

År 2005 flög Alan Cocconi från AC Propulsion, med hjälp av flera andra piloter, ett obemannat flygplan med namnet SoLong i 48 timmar non-stop, helt drivet av solenergi. Detta var den första sådana dygnet runt-flygningen, på energi lagrad i batterier monterade på flygplanet.

QinetiQ Zephyr är en lätt soldriven obemannad flygfarkost (UAV). Från och med den 23 juli 2010 innehar den uthållighetsrekordet för en obemannad flygfarkost på över 2 veckor (336 timmar). Den är av kolfiberförstärkt polymerkonstruktion, 2010-versionen väger 50 kg. Under dagen använder den solljus för att ladda litium-svavelbatterier, som sedan driver flygplanet på natten.

Elflygplan

I slutet av 1900-talet utvecklade och testade den kinesiska tillverkaren av radiostyrda modeller Yuneec International flera batteridrivna bemannade flygplan med fasta vingar. De inkluderade E430, det första elektriska flygplanet som var avsett att serieproduceras. Man misslyckades med att kommersialisera dem (endast prototyper byggdes) och vände sig istället i mitten av 2010-talet till den lukrativa konsumentdrönarmarknaden.



Det Boeing-ledda FCD-projektet använde ett Diamond HK-36 Super Dimona motorglidflygplan som en forskningsbädd för ett vätgasbränslecellsdrivet lätt flygplan. Framgångsrika flygningar ägde rum i februari och mars 2008.

EU har finansierat många projekt med innovativa el- eller hybriddrivna flygplan. ENFICA-FC är ett sådant projekt för att studera och demonstrera ett helelektriskt flygplan med bränsleceller som huvud- eller hjälpkraftsystem. Under det treåriga projektet konstruerades ett bränslecellsbaserat kraftsystem och flögs först i ett Rapid 200FC ultralätt flygplan den 20 maj 2010.

2013 visade Chip Yates att världens snabbaste elektriska flygplan, en Long ESA, en modifierad Rutan Long-EZ, kunde överträffa en bensindriven Cessna och andra flygplan i en serie försök verifierade av Fédération Aéronautique Internationale.

Long ESA visade sig vara billigare, ha en högre maxhastighet och högre stigningshastighet, delvis på grund av flygplanets förmåga att bibehålla prestanda på höjd eftersom låg lufttäthet inte försämrar elmotorns prestanda.

Taurus Electro var det första tvåsitsiga elflygplanet, som någonsin flugit. Taurus Electro G2 är produktionsversionen, som introducerades 2011. Det drivs av en 40 kW elmotor och litiumbatterier för självlansering till en höjd av 2000 m, varefter motorn kopplas ur och flygplanet sedan svävar som ett segelflygplan. Det är det första tvåsitsiga elflygplanet som har uppnått serieproduktion.

År 2012 gjorde den första Solar Impulse 1 den första interkontinentala flygningen med ett solflygplan från Madrid, Spanien till Rabat, Marocko. Färdigställt 2014 hade Solar Impulse 2 fler solceller och kraftfullare motorer. I mars 2015 lyfte flygplanet på den första etappen av en planerad jorden runt-resa och flög österut från Abu Dhabi. I juli 2016 återvände det till Abu Dhabi och fullbordade sin världsomsegling. Solar Impulse 2 drivs av fyra elmotorer. Energi från solceller på vingarna och en horisontell stabilisator lagras i litiumpolymerbatterier och används för att driva propellrar.

Eftersom pilotutbildningen betonar korta flygningar tillverkar flera företag lätta flygplan lämpliga för inledande flygutbildning. Pipistrel tillverkar lätta sportelektriska flygplan som Pipistrel WATTsUP byggd i Slovenien, en prototyp av Pipistrel Alpha Electro, först visad på en flygutställning i Frankrike 2014. Fördelen med elflygplan för flygutbildning är den lägre kostnaden för elektrisk energi jämfört med flygbränsle. Buller och avgasutsläpp minskar också jämfört med förbränningsmotorer.

Ett modifierat extra EA-300 akrobatiskt flygplan, 330LE, utrustat med Siemens-elektriska drivsystem nådde i november 2016 en höjd av 3 000 m på bara fyra minuter och 22 sekunder med en hastighet av 11,5 m/s, vilket officiellt erkändes som ett världsrekord i klättringsprestanda. Det nådde en toppfart på 337,5 km/h över en sträcka på tre kilometer och var också det första flygplanet som bogserade segelflygplan av LS8-neo-typ upp till en höjd av 600 m på 76 sekunder i mars 2017.

Bye Aerospace eFlyer 2 (tidigare Sun Flyer 2) är ett lätt elektriskt flygplan designat och under utveckling av Bye Aerospace i Denver, Colorado. Flygplanet introducerades först offentligt den 11 maj 2016 och flög första gången den 10 april 2018.

Den amerikanska/brittiska startupen ZeroAvia utvecklar bränslecells framdrivningssystem med nollutsläpp för små flygplan och testar sin HyFlyer på Orkney med stöd av den brittiska regeringen. I september 2020 uppnådde HyFlyer-projektet världens första vätgaselektriska flygning

Den 10 juni 2020 var Velis Electro-varianten av det tvåsitsiga PipistrelVirus det första elflygplanet som fick typcertifiering från EASA. Det drivs av en 58 kW elmotor utvecklad av Emrax och erbjuder en nyttolast på 170 kg, en kryssningshastighet på 170 km/h och en 50 min uthållighet.

Den 12 oktober 2021 tillkännagav Diamond Aircraft utvecklingen av eDA40, med inriktning på en första flygning 2022 och en EASA/FAA Part 23-certifiering 2023, skräddarsydd för flygutbildningsmarknaden. Det fyrsitsiga flygplanet ska kunna flyga i upp till 90 minuter, med 40% lägre driftskostnader än med kolvmotorer.

I september 2017 meddelade det brittiska lågprisföretaget EasyJet att det utvecklade en elektrisk 180-sitsare för 2027 tillsammans med Wright Electric grundade 2016. Wright Electric byggde en tvåsitsig demonstrator med 272 kg batterier och tror att den kan skalas upp med betydligt lättare nya batterier. En räckvidd på 540 km skulle räcka för 20% av Easyjet-passagerarna och målet är 50% lägre buller och 10% lägre kostnader.

Den 19 mars 2018 meddelade Israel Aerospace Industries att de planerar att utveckla ett kortdistansflygplan internt eller tillsammans med Israel Eviation, US Zunum Aero eller Wright Electric.

Australien-baserade MagniX har utvecklat en elektrisk Cessna 208 Caravan med en 540 kW motor för flygtider upp till en timme. Den 28 maj 2020 flög MagniX eldrivna nio passagerares Cessna 208B eCaravan på elkraft, mot certifiering för kommersiell drift.

En 560 kW MagniX elmotor installerades i en de Havilland Canada DHC-2 Beaver sjöflygplan. Harbour Air, baserat i British Columbia, hoppades kunna introducera flygplanet i kommersiell tjänst 2021, för att transportera fyra passagerare och en pilot på 30 minuters flygningar med en 30 minuters reserv tills räckvidden ökar när bättre batterier introduceras. I april 2022 försenades flygprovning av en certifierbar version till slutet av 2023

Elflygplan

Scylax E10 är ett tiositsigt helelektriskt flygplansprojekt av det tyska nystartade företaget Scylax Aircraft. Det syftar till att ersätta nyttoflygplan för flygtaxi, ambulansflyg, frakt, företag, reguljära passagerare och privata ägare. Motorerna på 260 kW tillåter en kryssning på 300 km/h och det ska fungera från 300 m landningsbanor.

Den 22 mars 2021 tillkännagav Toulousebaserade Aura Aero utvecklingen av sitt ERA (Electric Regional Aircraft), ett elflygplan med 19 passagerare, som planeras att certifieras 2026.

Det förväntas att nästan alla lokala och regionala flygningar kommer att börja använda elflygplan antingen helt eldrivna eller hybridflygplan, som kommer att kunna köras på endast elkraft när de landar och lyfter. Detta kommer att bidra till att minska buller runt flygplatser, och kommer också att göra det möjligt att bygga ett stort antal små flygplatser precis intill befolkningscentra.

Hybridflygplan gör det också möjligt att placera mindre elmotorer i vingarna och sedan större turbinmotorer i planets kropp. Detta kommer att bidra till att förbättra aerodynamiken i framtida flygplan.

Det Göteborgsbaserade Heart Aerospace meddelade 2022 att man kommer att bygga ett 30-sitsigt hybridelektriskt regionalt flygplan som heter ES-30 och släppa tidigare planer på en 19-sitsig som heter ES-19. Även om ES-30 behåller fyrmotorlayouten hos sin ES-19-föregångare, har designen nu ett vingkroppsstag och ett stort batterifack under flygkroppen. Planet kommer att drivas helt elektriskt på batterier. ES-30 kan flyga upp till 200 km med 30 passagerare i helelektriskt läge, eller 400 km när batteriet kompletteras med två turbogeneratorer och 800 km om endast 25 passagerare transporteras.

Förbättringar av soldrivna flygplan kan också leda till skapandet av exceptionellt högflygande flygplan som kan stanna högt i atmosfären månader i taget. Detta gör det möjligt att bättre observera vädermönster, och de kan till och med bli en billig ersättning för telekommunikationssatelliter.

Mer grundläggande forskning pågår också. Projektet Leading Edge Asynchronous Propeller Technology (LEAPTech) är ett NASA-projekt som utvecklar en experimentell elektrisk flygplansteknik som involverar många små elmotorer, som driver enskilda små propellrar fördelade längs kanten på varje flygplansvinge. År 2015 marktestade NASA-forskare en 9.4 m spännvidd vingsektion av kolkomposit med 18 elmotorer, som drivs av litiumjärnfosfatbatterier.

Experimentet föregår X-57 Maxwell X-plan demonstratorn som föreslagits under NASA: s Transformative Aeronautics Concepts-program. Experimentet går ut på att ersätta vingarna på en tvåmotorig italienskbyggd Tecnam P2006T (ett konventionellt fyrsitsigt lätt flygplan) med vingar, som bär elektriskt drivna propellrar.

Den tänkta X-57 Maxwell

För nästan ett decennium sedan antog NASA-forskare att vertikalt startande och landande flygplan eVTOL skulle innehålla distribuerad elektrisk framdrivning. Distribuerad elektrisk framdrivning använder flera propellrar och en effektiv vingdesign för säkerhets-, buller- och utsläppsfördelar.

eVTOL-flygplan uppstod 2009 när en video av NASA Puffin eVTOL-konceptet blev viral. Sedan dess har det skett en betydande ökning av intresset bland flygplanstillverkare för eVTOLs, och företag som Boeing, Airbus och Bell har arbetat med tekniken.

År 2014 introducerades eVTOL officiellt av American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) samt AHS International, men tanken på flygande bilar går tillbaka till Henry Ford, den berömde bilmagnaten.

EHang

Kinas EHang kanske inte var den första som flög en eVTOL, men debuten 2016 av dess "passagerardrönare" på Consumer Electronics Show i Las Vegas tände allmänhetens intresse för flygtaxi.

Airbus A^3 Vahana introducerades sedan 2017 på Paris Air Show med första flygning i januari 2018. Boeing - Aurora Flight Sciences PAV, var under utveckling sedan 2017 med första flygning 2019. Bell Nexus 6HX presenterades 2019.

Förutom dessa stora flygplanstillverkare har nystartade företag i USA, Europa och Kina spelat en viktig roll i utvecklingen av dessa luftfordon och har ibland varit ledande inom tekniska framsteg.

Först var det teknik och sedan reglerna för operationer och pilotutbildning, som behövdes för att få flygtaxi till marknaden. Nu är utmaningen mest tillgången till vertiport-terminaler och luftrumsinfrastruktur för att stödja driften av fordon i de mängder, som tillverkarna planerar. Ett växande antal nystartade företag kommer in på marknaden för att utveckla så kallade vertiports för flygtaxi.

Med tanke på att flygplatstransfer till stadskärnor och affärsdistrikt sannolikt är de första passagerarmarknaderna för flygtaxi, spelar flygplatsoperatörer en viktig tidig roll i planering och utveckling av infrastruktur. Detta gäller särskilt i Europa, där många av de största flygplatsoperatörerna är baserade.

Historia vätgasdrivna flygplan

Vätgasdrivna flygplan kan visa sig vara det bästa sättet för flygindustrin att uppnå nettonollutsläpp av koldioxid senast 2050, ett mål som fastställdes 2021 av International Air Transport Association, en flygbolagsorganisation. Nu pågår en intensive utveckling på området, men tanken är inte ny. Den härstammar ända från femtiotalet.

Martin B-57B

Under det kalla kriget på 1950-talet använde amerikanerna regelbundet spionplan för uppdrag över Sovjet. Det krävde flygplan, som kunde flyga på höjder utanför räckvidden för sovjetiska mark-till-luft -missiler. Med standard JP-4 jetbränsle hade det då använda Lockheed U-2 ett absolut tak på cirka 20 km, vilket ansågs vara i lägsta laget. Ett plan sköts också ner 1960. Piloten Gary Powers räddade sig, men det blev en internationell skandal.

Ingenjörer hade redan tidigare funnit att det absoluta taket för ett plan kunde vara så högt som 27 km, när man använde väte som bränsle. Med kodnamnet "Projekt B" gavs uppgiften att driva ett flygplan med väte till National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Eftersom vindtunnelproven utfördes med en Wright J65 turbojetmotor, valdes Martin B-57B Canberra som provflygplan. Planen var att utrusta planet med ett oberoende vätebränslesystem separerat från det vanliga jetbränslesystemet. Motorerna behövde också modifieras för att fungera med antingen jetbränsle eller väte.

Tanken var att flygplanet skulle lyfta med vanligt jetbränsle för att när det väl kom till en höjd av 15 km, låta en av motorerna köra på väte. När vätgasflygningen var över skulle planet byta tillbaka till jetbränsle för landning. Under flygplanets ombyggnad utrustades det med två specialbyggda vingspetstankar, en innehållande väte och den andra helium. Heliumet skulle användas för att trycksätta vätetanken för att mata motorn.

I februari 1957 flög en Martin B-57B från NACA på väte i 20 minuter. B-57-flygningarna visade inte bara att väte kunde driva jetmotorer, ännu viktigare var att den kryogena vätskan kunde lagras och pumpas säkert. Trots projektets framgång slutade proven eftersom flygvapnet inte längre behövde flygplan för att flyga på så hög höjd. Det var bättre att använda satelliter för att spana på fienden.

Det blev istället Sovjet som fortsatte experimenten med vätgasdrivna flygplan. Den 15 april 1988 flög Tu-155, ett anpassat Tu-154-flygplan, som användes som en testbädd för alternativa bränslen. Det var världens första experimentella flygplan som opererade på väte och senare flytande naturgas. Den liknande Tu-156 byggdes dock aldrig.

Under perioden som följde lyfte Tu-155 från Schukowski på mer än hundra provflygningar. Den gjorde dock bara en del av dessa med väte ty från januari 1989 provade Tupolev främst naturgas som ersättning för fotogen. Det fanns tillgängligt billigt och i stora mängder i Sovjetunionen. Till skillnad från idag baserades arbetet mera på ekonomiska än på ekologiska skäl. På den tiden trodde man att råoljan skulle kunna bli en bristvara senast i början av 2010-talet – och fotogen därför dyrt. Vätgas kunde däremot produceras relativt billigt med hjälp av kärnkraft.

Tupolev-ingenjörerna stötte dock redan då på en central utmaning vid användningen av väte. Det kan endast lagras i flytande form med rimlig volym, men det behöver då konstant kylning vid minst minus 253 grader Celsius. Även om det då ger tre gånger mer energi per kilo än fotogen, så tar det ändå upp fyra gånger utrymmet. Det är därför det måste förvaras under högt tryck, vilket i sin tur kräver cylindriska eller sfäriska tankar - och dessa kan inte längre rymmas i vingarna som med fotogen.

Tupolev löste volymproblemet på ett pragmatiskt sätt. Kabinen på Tu-155 hade inga säten. Istället, förutom provutrustningen, fanns det hela batterier av tankar av väte eller naturgas. Ingenjörerna måste också anpassa tre dussin andra system och komponenter för att projektet skulle lyckas.

En produktionsversion av Tu-155, Tu-156, var redan under planering. Där tänkte man sig lagring av tankar i den bakre tredjedelen av kabinen, separerade från passagerarområdet med ett tryckskott. Det var mycket likt vad Airbus för närvarande överväger med två av sina tre vätgasflygplansprojekt. Tu-156 var tänkt att flyga cirka 1997, men avbröts på grund av Sovjetunionens fall.

Tu-155 använde Kuznetsov NK-88-motorer och flög fram till Sovjetunionens fall och det lagras för närvarande på Ramenskoye flygplatsen nära Zhukovskiy. Tu-155 flög cirka hundra flygningar innan den ställdes av.

Tu-155

Historia vätgasdrivna flygplan

Studierna av vätedrivna flygplan fortsattes istället inom EU. Europeiska unionens forskningsprojekt CRYOPLANE i samarbete med Airbus och 34 partnerföretag bedömde den tekniska genomförbarheten, säkerheten, miljökompatibiliteten och den ekonomiska lönsamheten med att använda flytande väte som flygbränsle. Detta avslutades 2002 (och slutrapporten offentliggjordes 2003).

Cryoplane-projektet gjorde en övergripande systemanalys av väte som flygbränsle som en del av ett tvåårigt femte ramprogram kallat Liquid Hydrogen-fuelled Aircraft System Analysis på 7,29 miljoner euro (10,4 miljoner dollar) som slutfördes 2002.

Forskare fann att flygplan skulle kräva bränsletankar fyra gånger större än dagens. Beräkningar visade att de större yttre ytorna skulle öka energiförbrukningen med 9% till 14% och de totala driftskostnaderna med 4% till 5%. Studien drog dock slutsatsen att vätgasdrivna motorer var lika energieffektiva som fotogenmotorer, att konventionella turbofläktmotorer kunde konverteras för att köras på väte och att genomförandet kunde "ske inom 15 till 20 år

På kort sikt hade emellertid intresset ökat för att använda bränslecellsflygplan som personliga flygfordon. I ett försök att utveckla miljövänlig teknik för flyg- och rymdtillämpningar planerade Boeing-forskare i Madrid och industripartners i hela Europa att genomföra experimentella flygprov av ett bemannat flygplan som endast drevs av en bränslecell och lätta batterier. Huvudsyftet med detta projekt var att demonstrera bemannad flygning med bränsleceller som enda kraftkälla.

Boeing konverterade en 2-sitsig Diamond DA20 för att köras på en bränslecell. Diamond Aircraft Industries i Österrike byggde planet för att inkludera ett hybridsystem bränslecell / litiumjonbatteri, som drev en elmotor i kombination med en konventionell propeller.

Den flög första gången den 3 april 2008. Under tre provflygningar klättrade flygplanet till en kilometers höjd. Efter att ha nått marschhöjd och kopplat bort batterierna flög piloten rakt och jämnt med

en marschfart på 62 km/h i 20 minuter på kraft som enbart tillhandahölls av bränslecellerna. Bränslecellssystemet var den viktigaste strömkällan och levererade tillräcklig elektrisk kraft för nivåflygning. För start och klättring gick flygplanets batterier in för att ge en extra boost.

I juli 2010 presenterade Boeing sin vätgasdrivna Phantom Eye UAV, som använde två konverterade Ford Motor Company kolvmotorer.

Under 2010 avslutade Rapid 200FC, ett tvåsitsigt civilflygplan designat i Tjeckien, sex flygprov, som drevs av gasformigt väte. Flygplanet och el- och energisystemet utvecklades inom EU:s ENFICA-FC-projekt som samordnades av Politecnico di Torino. Vätgasen lagrades vid 350 bar och matade en 20 kW bränslecell, som drev en 40 kW elmotor tillsammans med ett 20 kW litiumpolymerbatteripaket.

Huvudmålet med ENFICA-FC-programmet var att studera och demonstrera möjligheten att få ett mer elektriskt flygplan genom integrering av bränslecellsteknik som huvudströmförsörjningssystem. Under den treåriga forskningsverksamheten kom ett bränslecellsbaserat kraftsystem att konstrueras, utvecklas och installeras i ett ultralätt flygplan för att uppnå den första bränslecells bemannade flygningen.

Den 11 januari 2011 slutförde ett obemannat flygplan från AeroVironment Global Observer sin första flygning som drevs av ett vätgasdrivet framdrivningssystem. AeroVironment Global Observer var ett koncept för en obemannad flygfarkost med hög höjd och lång uthållighet, designad av AeroVironment (AV) för att fungera som ett stratosfäriskt geosynkront satellitsystem med regional täckning.

Fyrsitsiga DLR HY4 utvecklades av Tysklands DLR Institute of Engineering Thermodynamics och drevs av en vätebränslecell. Dess första flygning ägde rum den 29 september 2016. Den har möjlighet att lagra 9 kg väte, har 4x11 kW bränsleceller och 2x10 kWh batterier. Flygplanet kan användas i regional transport som en elektrisk flygtaxi och fungera som ett hållbart lufttransportalternativ till konventionell transport. HY4: s dubbla flygkroppsdesign är baserad på Pipistrel Taurus G4-flygplanet. Varje flygkropp har plats för två passagerare och är ansluten med en mittvingesektion som innehåller framdrivningsenheten.

Flera andra projekt rörande mindre flygplan har startats de senaste åren. Under ledning av Cranfield Aerospace Solutions (CAeS) startade Project Fresson (uppkallad efter den skotske pionjärflygaren Ted Fresson) den 1 oktober 2019. Planen är att konvertera en Britten Norman BN-2 Islander till vätgasbränslecellsdriven elektrisk flygning.

Från och med 2021 utvecklar ZeroAvia aktivt flygplan med en bränslecellsdrivlina, som kan transportera upp till 20 passagerare. I december 2021 presenterade UK Aerospace Technology Institute (ATI) stödda av bl a Airbus, Rolls-Royce, GKN och General Electric, sin FlyZero-studie av kryogent flytande väte som används i gasturbiner för ett flygplan med 279 passagerare med 9 720 km räckvidd.

I september 2020 presenterade Airbus tre ZEROe vätgasdrivna koncept som syftade till kommersiell service till 2035. Det var en turboprop med 100 passagerare, en turbofläkt med 200 passagerare och en futuristisk design baserad på en blandad vingkropp.

Forskare vid Pennsylvania State University i USA trodde redan 2006 att stora kommersiella vätgasflygplan skulle kunna byggas 2020, men som det nu ser ut kommer de förmodligen inte att tas i bruk förrän närmare 2040.

Flygplatshistoria

Kraven på flygplatser har ökat i komplexitet och omfattning i takt med flygets utveckling. Före andra världskriget var landning ochstartavståndet för de flesta passagerarplan som mest 600 meter. Ytterligare fria områden tillhandahölls för blinda landningar eller körningar i dåligt väder, men den totala ytan som var involverad översteg sällan 200 hektar.

De tidigaste start- och landningsplatserna för flygplan var gräsbevuxna fält. Planet kunde närma sig i vilken vinkel som helst som gav en gynnsam vindriktning. En liten förbättring var det grusade fältet, som eliminerade motståndet från gräset. Detta fungerade dock bara bra under torra förhållanden. Senare skulle betongytor tillåta landningar i regn eller solsken, dag som natt.

Det var inte förrän den allmänna introduktionen av tunga monoplan för transport, som Douglas DC-3 , under slutet av 1930-talet som omfattande start- och landningssträckor behövdes. Förkrigsflygfälten La Guardia i New York City, Croydon i London , Le Bourget i Paris och Tempelhof i Berlin anlades på platser nära stadskärnorna. Eftersom även transportflygplan då var relativt lätta, var asfalterade landningsbanor en sällsynthet. Croydon, Tempelhof och Le Bourget, till exempel, opererade alla endast från gräs.

Tidiga flygplatser var också stora fritidsområden, som ofta lockade fler besökare än passagerare. 1939 lockade La Guardia flygplats nästan 250 000 besökare per månad och nådde en topp på 7 000 på en dag jämfört med en maximal daglig genomströmning på endast 3 000 passagerare. 1929 rapporterade Berlins flygplats 750 000 besökare och stoltserade med en restaurang, som hade plats för 3 000 personer på passagerarterminalens tak.

Förkrigsflygplatsernas status som stora sociala centra återspeglades i deras design, särskilt där kraven på catering, observationsdäck och parkering var avgörande. Kraven på flygplan och passagerare var faktiskt inte alls dominerande på tidiga flygfält.

Mycket långväga flygtransporter sköttes av de stora sjöflygplanen. Även om dessa flygplan var långsamma och med begränsad räckvidd, erbjöd de en nivå av komfort som var nödvändig för långdistansresor. Flygterminaler byggdes därför nära stora öppna vattensträckor. La Guardia flygplats och Santos Dumont Airport i Rio de Janeiro är exempel på flygplatser som fortfarande verkar på platser som ursprungligen valts för sin förmåga att hantera stora sjöflygplan. De stora anläggningarna vid Southampton Water i Storbritannien har nu försvunnit, men den konstgjorda sjön vid Linate flygplats nära Milano , Italien , finns fortfarande

nära de nuvarande administrationsanläggningarna.

De allra flesta flygfält i hela världen är fortfarande relativt enkla anläggningar. Många har obehandlade landningsbanor eller på sin höjd lätt asfalterade banor med små terminal- eller administrationsbyggnader, ett rudimentärt kontrolltorn och grova landningshjälpmedel. Sådana anläggningar kan endast hantera lätta flygplan och ett försumbart flöde av passagerare eller gods. Tung flygtrafik, å andra sidan, hanteras nu nästan helt av sofistikerade flygplatsanläggningar som kan tillgodose behoven hos besättning, passagerare och frakt och det stora utbudet av flygplanstyper som har utvecklats för att möta behoven hos moderna flygtransporter och allmänt flyg .

Mer än 100 flygplatser runt om i världen hanterar nu minst 10 miljoner passagerare varje år. Nästan hälften av dessa finns i USA . Dussintals flygplatser flyttar regelbundet mer än 30 miljoner passagerare på årsbasis, och några som Hartsfield Atlanta International Airport i den amerikanska delstaten Georgia, London Heathrow flygplats i Storbritannien och Beijing Capital International Airport i Kina, kan var och en hantera mer än 50 miljoner.

USA har det största, mest omfattande flygsystemet i världen med mer än 18 000 flygplatser, allt från stora kommersiella transportcentra som flyger mer än 30 miljoner passagerare årligen, till små gräsränder som endast betjänar ett fåtal flygplan varje år.

Moderna stora flygplan kräver dock omfattande markanläggningar, landningsbanor, taxibanor, brand- och räddningstjänst, passagerar- och lasthanteringsanläggningar, tillgång till bilparkering och kollektivtrafik, belysning, navigerings- och inflygningshjälpmedel och olika stödfaciliteter som catering, meteorologi och statlig inspektion. För att vara attraktivt bekväm måste en modern flygplats placeras tillräckligt nära viktiga befolkningscentra. Samtidigt måste de ligga tillräckligt långt borta, så att miljöproblemen i samband med bullret från stora flygplan och aktiviteterna för ett stort antal passagerare, arbetare och besökare inte blir outhärdliga för de städer som betjänas.

De största flygplatserna i världen sysselsätter mer än 100 000 arbetare var. De är oerhört komplexa enheter med avseende på de fysiska anläggningar som de omfattar , de organisationer som är aktiva inom deras gränser och de tjänster som tillhandahålls i samband med deras verksamhet.

Flygplatskapacitet, eller brist på sådan, är en av de viktigaste frågorna för civil luftfart. Mycket uppmärksamhet har under de senaste åren ägnats åt att få ut mer kapacitet på flygplatser som redan finns. Detta kan göras genom att lägga till landningsbanor, taxibanor och landningshjälpmedel, eller kanske genom att ändra avgångs- och inflygningsmönster. Dessa och andra kapacitetsförbättringar möter dock ofta hårt motstånd från invånare i omgivande samhällen, som ofta vill se flygplatsverksamheten minskad för att minska buller och föroreningar.

Flygledningens historia

Flygkontrolltjänster föddes praktiskt taget samtidigt som kommersiell luftfart, under det första decenniet av förra århundradet. När flygplatser först togs i drift blev det nödvändigt att någon informerade piloterna om banans skick, vindriktningen och förekomsten av andra flygplan eller fordon i området, med hjälp av flaggor, blinkande lampor eller radiokommunikation.

Första världskriget (1914-1918) medförde en stor utveckling inom luftfarten. Det stod snart klart att kommersiell luftfart skulle bli en stor framgång och att regeringar måste fastställa en uppsättning regler så snart som möjligt för att reglera verksamheten. Under paraply av Versaillesfördraget efter kriget skapades International Commission for Air Navigation (ICAN) 1919, som utvecklade det första regelverket för flygtrafik, ursprungligen undertecknat av 19 stater. Denna fråga var särskilt viktig i Europa, där det stora antalet gränser och språk liksom idag hämmade harmoniseringen av regler.

Croydon flygledare

Den första flygplatsen som tillhandahöll en verklig flygkontrolltjänst var Croydon, söder om London. Med det ökande antalet flygplan som korsade himlen och då Croydon blev den mest trafikerade flygplatsen i världen var det ingen överraskning att ett behov av ordning och reglering uppstod efter några incidenter och tillbud.

Den 25 februari 1920 detaljerade Storbritanniens flygministerium specifikationen och konstruktionen av världens första tekniska byggnad för att kontrollera flygtrafiken, "Aerodrome Control Tower", som skulle installeras på Croydon Aerodrome. Detta var också första gången som terminologin "Control Tower" användes. Luftministeriets specifikation uppgav att "tornets plattform ska vara 15 fot över marknivå", "ha stora fönster placerade i alla fyra väggarna", "med en vindflöjel som ska monteras på taket med en nedväxlad indikator placerad inuti så att kontrolltjänstemän kan läsa av vindförändringar". Världens första flygledartorn föddes. Det beställdes den 25 februari 1920 och gav grundläggande trafik-, väder - och platsinformation till piloter.

Flygledningen som vi känner den idag såg alltså sin första utveckling 1920 på Croydon. Det första kontrolltornet togs i drift och strax efter certifierades den första flygledaren. Den snabba tillväxten av flygtrafiken gjorde det nödvändigt att markoperatörer inte bara informerade piloterna utan också gav dem instruktioner när de avgick eller landade för att undvika eventuella kollisioner. Och det var där flygledningens historia började.

År 1922, efter en mindre kollision mellan ett ankommande och ett avgående flygplan, publicerade flygplatsen en NOTAM där det uppgavs att alla piloter var tvungna att få ett sekvensnummer för avgång, samt tillstånd från tornet för att starta. Detta tillstånd gavs med en röd flagga från utsiktstornet.

Croydon flygledartorn

Croydon var också pionjär när det gällde att etablera ett flygradionavigationssystem, mark-luftkommunikation och också en kontrollzon där det krävdes att piloterna hade tillstånd från styrenheten innan de gick in i den. De utvecklade också de första standardprocedurerna för starter, dock mer inriktade på att blidka grannarna som klagade på bullret än av säkerhetsskäl. Från kontrolltornet markerade regulatorn flygplanets situation på en karta med små flaggor enligt radiosignalerna som piloterna skickade och kunde därför varna dem om han beräknade att de skulle flyga för nära varandra.

Den 7:e april 1922 ägde den första kollisionen i luften rum i Frankrike på grund av dimma och sju personer dog. Detta tvingade myndigheterna att fastställa de första flygrutterna över Engelska kanalen och att göra det obligatoriskt att använda radioutrustning ombord och utbyta meteorologisk information mellan flygplatserna.

G.J.H "Jimmy" Jeffs, Croydon Civil Air Traffic Officer, var en av de stora innovatörerna i utvecklingen av den nya disciplinen. Utfärdad med flygkontrollicens nr 1 daterad den 22 februari 1922 utvecklade Jeffs många av de system och förfaranden som godkändes av flygministeriet och fortfarande används. Efter att ha etablerat över tjugofem ATC-enheter i Storbritannien var det USA som bad att Jeffs skulle leda etableringen och organisationen av det nordatlantiska luftrummet under andra världskriget. Jeffs hade en framstående karriär inom civil och militär flygtrafikledning, som kulminerade i tilldelningen av utmärkelser som US Legion of Merit.

Under åren som följde denna revolution i Croydon såg USA en ökning av flygplanstransporter på grund av United States Postal Service. Flygplan var det snabbaste sättet att ansluta USA via post. Större flygplan byggdes och USPS lade ut posttransporter till företag och fler och fler passagerare transporterades med flyg.

Den första flygpostradiostationen (AMRS) skapades 1922 efter första världskriget, när det amerikanska postkontoret började använda tekniker som utvecklats av armén för att styra och spåra spaningsflygplanens rörelser. Med tiden förvandlades AMRS till flygservicestationer. Dagens flygservicestationer utfärdar inte kontrollinstruktioner, men förser piloter med många andra flygrelaterade informationstjänster.

Det första flygkontrolltornet, som reglerade ankomster, avgångar och ytrörelser för flygplan på en specifik flygplats, öppnade i Cleveland 1930. Efter några kollisioner i luften av kommersiella flygplan, började ett konsortium av flygplan övervaka driften av sina egna flygningar. År 1935 i Newark (New Jersey) skapade flera flygbolag det första flygkontrollcentret för att tillsammans övervaka sina flygrutter. 1936 öppnas ytterligare två centra i Cleveland och Chicago. Handelsdepartementet tog sedan kontrollen över operationerna och öppnade kort därefter ytterligare åtta enheter för att täcka USA: s luftrum.

Vid den tiden använde man tavlor för att registrera de positioner som piloterna rapporterade och kartlägga flygplanens läge för att undvika kollisioner i luften. Med hänsyn till flygplanets hastighet och flygtiden kunde flygledarna förutse planens framtida position och varna piloterna om en konflikt upptäcktes.

Denna metod för att beskriva och separera trafiken, baserat på uppskattade positioner och tider som rapporterats av piloterna, kallas "procedurkontroll". Denna typ av kontroll används fortfarande på liknande sätt i havsområden där det inte finns någon radartäckning eller på flygplatser med låg arbetsbelastning. Nästa steg för flygledningen skulle komma 1950, då flygledningscentralerna försågs med långväga direktkommunikation mellan piloten och flygledaren.

Flygledning

Radarns ankomst i mitten av 50-talet skakade om flygledningssystemet. Precisionen i detta verktyg, de moderna flygnavigationssystemen och förbättringen av mark-luftkommunikationen gör det möjligt att flygplan som flyger i över 1000 km/h, idag bara behöver separeras med 5 km, vilket gör att systemet säkert kan anta och integrera det ständigt ökande antalet flygoperationer över hela världen.

De första civila flygledarna i Sverige hade en bakgrund som trafikpiloter i Aktiebolaget Aerotransport, ABA. De var till en början också anställda av ABA, men den 1 juli 1939 förstatligades all civil flygledning och samlades i en organisation, en enhet inom Kungliga Väg och vattenbyggnadsstyrelsens järnvägs- och luftfartsbyrå. Personalen inom flygledningen uppgick då till 12 personer. De första militära flygledarna, som då kallades trafikledare, började anställas på flottiljerna 1942. De hade tidigare varit piloter. Affärsverket Luftfartsverket bildas 1947.

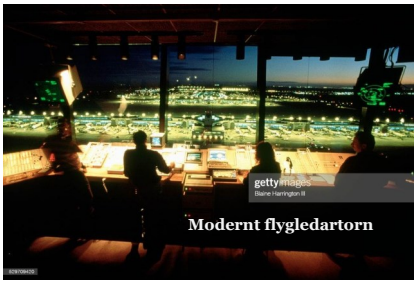
1966 tillsattes den statliga utredningen Flygtrafikledningskommitén (FTK), som tog ett helhetsgrepp om flygtrafiktjänstens utveckling. Dess förslag ledde fram till ett beslut i riksdagen 1973. Resultatet blev bland annat följande:

All flygtrafiktjänst, både civil och militär, samlades från och med 1978 i en gemensam organisation i Luftfartsverket. detta var en mycket framsynt lösning, som fortfarande är unik i Europa. En gemensam utbildning för alla flygledare vid den nya flygtrafikledningsskolan SATSA, Swedish ATS Academy, startade 1974.

Efter kollisionen i luften över Grand Canyon 1956, som dödade alla 128 ombord, fick FAA flygtrafikansvaret över USA 1958, och detta följdes av andra länder. 1960 inrättade Storbritannien, Frankrike, Tyskland och Beneluxländerna Eurocontrol, med avsikt att slå samman sina luftrum.

Eurocontrolkonventionen undertecknades 1960 och ratificerades 1963. Redan innan konventionen trädde i kraft 1963 fanns det indikationer på att frågan om nationell suveränitet skulle komplicera ett fullständigt genomförande av organisationens grundande uppdrag. Den första europeiska planen för ett harmoniserat flygkontrollsystem (ATC), som föreslogs 1962, bromsades av Frankrikes och Storbritanniens vägran på grund av skäl som var nära kopplade till deras nationella militära luftrumskontroll.

De övriga fyra ursprungliga medlemmarna Tyskland, Belgien, Nederländerna och Luxemburg enades 1964 om att inrätta ett enda internationellt flygkontrollcentrum. Det första och enda försöket att slå samman kontrollanter mellan länder blev Maastricht Upper Area Control Centre (MUAC), som grundades 1972



Modernt flygledartorn

av Eurocontrol och omfattar Belgien, Luxemburg, Nederländerna och nordvästra Tyskland.

Europaparlamentet uttryckte då oro över bristen på tydliga mellanstatliga avtal för att säkerställa gemensamma flygkontrolltjänster över hela kontinenten. År 1979 undertecknade Eurocontrol ett samarbetsavtal med Europeiska kommissionen i ett försök att skapa synergi mellan Eurocontrols tekniska expertis och EU:s tillsynsmyndigheter.

År 1986 var trycket på det europeiska nätverket så stort att ett nytt, bredare mandat övervägdes. En reviderad Eurocontrolkonvention undertecknades 1997, vilket överträffade den ursprungliga visionen i 1960 års konvention. I juni 1998 undertecknade Eurocontrol, Europeiska rymdorganisationen (ESA) och Europeiska kommissionen (EG) också ett avtal som formaliserade samarbetet på området för satellitnavigeringssystem och satellitnavigeringstjänster.

År 1999 lade Europeiska kommissionen fram sin plan för ett gemensamt europeiskt luftrum för Europaparlamentet, följd av två högnivågrupper. Högnivågruppens rapporter om det gemensamma europeiska luftrummet ledde till inrättandet av Europeiska byrån för luftfartssäkerhet (Easa) och stärkte Europeiska kommissionens roll som den enda europeiska tillsynsmyndigheten för luftfartssäkerhet, samtidigt som Eurocontrols tekniska expertis när det gäller genomförandet av dessa förordningar erkändes.

Det tidiga 2000-talet störddes av flera dödsolyckor i Europa, såsom katastrofen på Linateflygplatsen 2001 och Überlingen -kollisionen i luften 2002, som båda var relaterade till brister i flygtrafiken. Trycket förvärrades ytterligare av attackerna den 11 september, vilket ökade behovet av ett snabbt europeiskt reglerings- och samordningsorgan.

År 2001 siktade EU därför på att skapa ett "gemensamt europeiskt luftrum" i hopp om att öka effektiviteten och uppnå stordriftsfördelar. I maj 2003 hade Eurocontrol och Nato undertecknat ett samarbetsmemorandum, följt av ett liknande memorandum med Europeiska kommissionen i december 2003. I februari 2004 inledde Eurocontrol arbetet med de första mandaten från Europeiska kommissionen och i april 2004 antog Eurocontrol förordningarna om det gemensamma europeiska luftrummet. I mars 2006 lanserade Europeiska kommissionens Sesarprogrammet (Single European Sky ATM Research) av Stakeholder Consultation Group (SCG) under Eurocontrols överinseende.

Även om Eurocontrol inte är ett EU-organ har EU delegerat delar av sina förordningar om det gemensamma europeiska luftrummet till Eurocontrol, vilket gör det till den centrala organisationen för samordning och planering av flygkontroll för hela Europa. Alla EU:s medlemsstater är för närvarande också medlemmar i Eurocontrol. Organisationen samarbetar med nationella myndigheter, leverantörer av flygtrafiktjänster, civila och militära användare av luftrummet, flygplatser och andra organisationer. Dess verksamhet omfattar alla flygnavigeringstjänster från gate till gate, strategisk och taktisk flödeshantering, flygledarutbildning, regional kontroll av luftrummet, säkerhetssäkrad teknik och säkerhetssäkrade förfaranden samt uppbörd av flygtrafikavgifter.

En ny teknik för fjärrstyrd flygledning har nu börjat utvecklas. Sverige blev först i världen med att fjärrstyra flygledartorn i riktig drift genom ett nära samarbete mellan Luftfartsverket (LFV) och Saab. LFV utarbetade och utvecklade de operativa koncepten och Saab utvecklade de tekniska lösningarna. Säkerheten har ifrågasatts men intresse finns i flera europeiska länder.

Systemet använder ett antal kameror, ljud och andra sensorer för att ge en kontinuerlig, heltäckande bild av en flygplats. Denna information och data matas till en central (Remote Tower Center) där videon strömmas direkt till en styrenhet och projiceras på flera LCD-skärmar. Flygledaren har fullständig kontroll över alla sensorer tillsammans med integrerade flygdata, flygplatsutrustning, elektroniska ”strippar” och andra hjälpmedel. Tanken är att till en central kunna knyta ett antal flygplatser och därifrån styra flygtrafiken, starter och landningar på distans.

Ett antal flygplatser, som inte är statliga, som Örnsköldsvik, Sundsvall Timrå, Linköping och Sälens flygplats, är idag fjärrstyrda. Luftfartsverket och Swedavia skrev 2017 ett avtal om flygtrafikledning på distans gällande fyra flygplatser. Under 2021 blev Kiruna flygplats och Åre Östersund fjärrstyrda. Från februari 2023 fjärrstyrs Umeå flygplats växelvis och i slutet av året väntas Malmö också gå över till växelvis fjärrstyrning. På sikt kan alla plan komma att fjärrstyras från Stockholm eller kanske från Bryssel.

Historien sammanfattad

Luftfartens historia sträcker sig i mer än två tusen år, från de tidigaste försöken att flyga som insekter och fåglar till supersonisk och hypersonisk flygning både på jorden och i rymden.

Med upptäckten av draken, som kunde flyga i luften, av kineserna började människor tänka på att flyga. Drakflygning i Kina går tillbaka till flera hundra år f.Kr. och spred sig långsamt över hela världen. Det tros vara det tidigaste exemplet på konstgjord flygning. Drakar användes av kineserna i religiösa ceremonier. De byggde många färgglada drakar. Mer sofistikerade drakar användes för att testa väderförhållandena. Drakar har varit viktiga för uppfinningen av flygning eftersom de var föregångaren till ballonger och segelflygplan.

Leonardo da Vinci gjorde de första riktiga studierna av flygning på 1480-talet. Han hade över 100 teckningar som illustrerade hans teorier om flygning, men han förlitade sig på dålig vetenskap.

Upptäckten av vätgas på 1800-talet ledde till uppfinningen av väteballongen nästan exakt samtidigt som bröderna Montgolfier återupptäckte luftballongen och började bemannade flygningar. Bröderna, Joseph Michel och Jacques Etienne Montgolfier använde röken från en eld för att blåsa varm luft i en silkespåse, som fästes vid en korg. Den varma luften steg sedan och gjorde att ballongen kunde vara lättare än luft.

År 1783 var de första passagerarna i den färgglada ballongen ett får, en tupp och en anka. Den klättrade till en höjd av cirka 2000 meter och flög mer än en kilometer. Efter denna första framgång började bröderna skicka upp män i ballonger. Den första bemannade flygningen var den 21 november 1783, passagerarna var Jean-Francois Pilatre de Rozier och Francois Laurent. Ballonger, både fritt flygande och bundna, började användas för militära ändamål från slutet av 1800-talet, och den franska regeringen inrättade ballongföretag under revolutionen.

Olika teorier inom mekanik av fysiker under samma tidsperiod, särskilt vätskedynamik och Newtons rörelselagar, ledde till grunden för modern aerodynamik, framför allt av Sir George Cayley. George Cayley arbetade för att upptäcka sätt på vilka människan kunde flyga. Han konstruerade många olika versioner av segelflygplan, som använde kroppens rörelser för att kontrolleras. En ung pojke, vars namn inte är känt, var den förste, som flög en av hans segelflygplan.

Under femtio år gjorde han förbättringar av segelflygplanen. Han ändrade vingarnas form så att luften skulle strömma över dem korrekt. Han konstruerade en stjärt för segelflygplanen för att hjälpa till med stabiliteten. Han försökte en biplandesign för att ge styrka till segelflygplanet. Han insåg också att det skulle finnas ett behov av kraft om flygningen skulle vara i luften under lång tid.

Experiment med segelflygplan gav grunden för tyngre än luftfarkoster, framför allt av Otto Lilienthal. Efter mer än 2500 flygningar dödades han när han tappade kontrollen på grund av en plötslig stark vind och kraschade i marken.

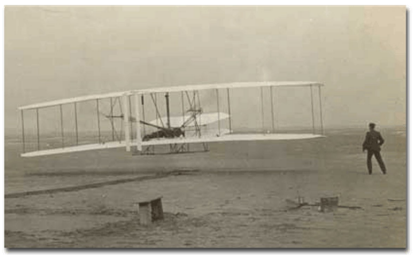
Han fascinerades av tanken på flygning. Baserat på hans studier av fåglar och hur de flyger skrev han en bok om aerodynamik, som publicerades 1889, och denna text användes av bröderna Wright som grund för deras design.

I början av 1900-talet gjorde framsteg inom motorteknik och aerodynamik att kontrollerad, driven flygning blev möjlig för första gången. Orville och Wilbur Wright läste om all tidigare utveckling av flygning. De bestämde sig för att göra "ett litet bidrag" till studien av flygkontroll genom att vrida sina vingar under flygning. Sedan började de testa sina idéer med en drake. De lärde sig om hur vinden skulle hjälpa till med flygningen och hur det kunde påverka ytorna väl uppe i luften.

Nästa steg var att prova ut segelflygplanens former ungefär som George Cayley gjorde, när han provade de många olika formerna som skulle flyga. De tillbringade tre år med att testa och lära sig om hur segelflygplan kunde kontrolleras vid Kitty Hawk, North Carolina. De konstruerade och använde en vindtunnel för att testa vingarnas former och segelflygplanens stjärtar. År 1902, med en perfekt glidform, vände de sin uppmärksamhet åt hur man skapar ett framdrivningssystem som skulle skapa den dragkraft som behövdes för att flyga. Den tidiga motorn och propellern som de konstruerade genererade nästan 12 hästkrafter. Det är samma kraft som två handdrivna gräsklipparmotorer!

De gjorde till slut den första kontrollerade, ihållande flygningen av ett drivet, tyngre än luften flygplan med sin Wright Flyer den 17 december 1903. Under den första flygningen flög de trettio meter på tolv sekunder. De två bröderna turades om att flyga den dagen och den fjärde och sista flygningen blev på 250 meter på 59 sekunder.

Bröderna återvände till Dayton, Ohio, där de arbetade i ytterligare två år för att göra sin design perfekt. Slutligen, den 5 oktober 1905, styrde Wilbur Flyer III i 39

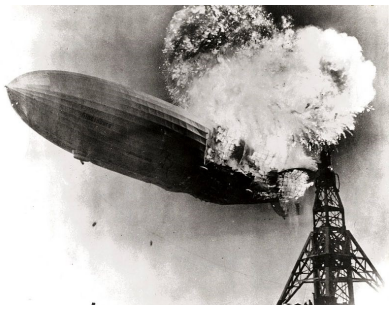


minuter och cirklade runt Huffman Prairie. Han flög det första praktiska flygplanet tills det tog slut på bränsle.

Men Flyer var instabil och väldigt svår att kontrollera. Det moderna flygplanet med sin karakteristiska stjärt etablerades först 1909 och från och med då blev flygplanets historia knuten till utvecklingen av fler och kraftfullare motorer och propellrar.

Första världskriget blev den första stora konflikten, som använde flygplan i stor skala och utvidgade deras användning i aktiv strid. Nationer utsåg högt uppsatta generaler för att övervaka luftstrategin, och en ny typ av krigshjälte uppstod: stridspiloten eller "flygande esset".

Men det fanns också de som gick vidare med ballongerna. De första stora luftskeppen var de styva styrbara ballongerna som Ferdinand von Zeppelin var pionjär för. De dominerade långdistansflygning fram till 1930-talet, då löftet om de ångdrivna, vätefyllda luftskeppen försvann efter den ökända Hindenburg-katastrofen 1937. Det var då gasen inuti Zeppelin -företagets flaggskepp Hindenburg exploderade under ett landningsförsök, dödade 35 passagerare och besättningsmedlemmar och brände majoriteten av de 62 återstående överlevande svårt.



Stora flygbåtar blev istället populära. Efter andra världskriget ersattes flygbåtarna i sin tur av landflygplan, och den nya och oerhört kraftfulla jetmotorn revolutionerade både flygresor och militärflyg.

Tidiga passagerarflyg var bullriga, kalla, obekväma och skakiga, eftersom flygplanen flög på låga höjder som förde dem genom och inte över vädret. När den brittisktillverkade de Havilland Comet gjorde sin första flygning 1949 med fyra turbinmotorer, tryckkabin, stora fönster och en relativt bekväm sittgrupp markerade det ett avgörande steg i moderna kommersiella flygresor.

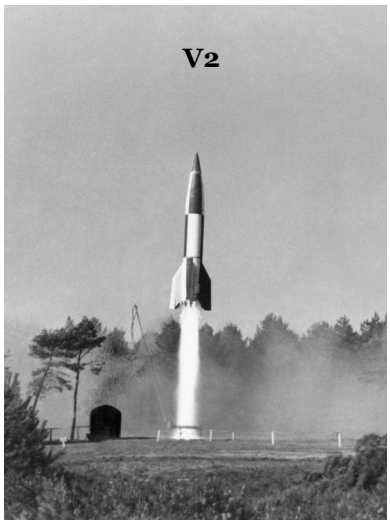
Med debuten av det eleganta 707-flygplanet med sin komfort, hastighet och säkerhet, inledde sedan Seattle-baserade Boeing moderna flygresor. Pan American Airways blev det första kommersiella flygbolaget som tog emot de långsträckta, svepta flygplanen och lanserade dagliga flygningar från New York till Paris.

Chuck Yeager fick titeln "Fastest Man Alive" när han gick genom ljudvallen medan han testade det experimentella X-1 supersoniska raketplanet för amerikanska militären över Mojaveöknen 1947. Han blev därmed den första personen som reste snabbare än ljudets hastighet.

Under senare delen av 1900-talet innebar tillkomsten av digital elektronik stora framsteg inom flyginstrumentering och "fly-by-wire" -system. Det amerikanska flygvapnet utvecklade och debuterade det första fly-by-wire-operativsystemet för sitt F-16 Fighting Falcon-jaktplan. Systemet, som ersatte flygplanets manuella flygkontrollsystem med ett elektroniskt, inledde luftfartens "Information Age", där navigering, kommunikation och hundratals andra operativsystem automatiserades med datorer. Detta har lett till utveckling av obemannade flygfarkoster och drönare, missiler och smygflygplan. Med digitala kontroller blev i sig instabila flygplan som flygande vingar möjliga.

Rymdfärder började andra halvan av 1900-talet efter teoretiska och praktiska genombrott av Konstantin Tsiolkovsky, Robert H. Goddard och Hermann Oberth. Raketteknikken, som användes, är dock mycket äldre än så. Den uppfanns i Kina för kanske tvåtusen år sedan som ett militärt vapen och i mitten av 1700-talet började Hyder Ali, sultanen av Mysome i Indien, tillverka raketer klädda i järn och inte kartong eller papper, för att förbättra deras räckvidd och stabilitet.

Dessa raketer använde krut som drivmedel, men den 16 mars 1926 sköt amerikanen Robert Goddard upp den första framgångsrika vätskedrivna raketen. De första framgångsrika storskaliga raketprogrammen initierades i 1920-talets Tyskland av Fritz von Opel och Max Valier, och så småningom i Nazityskland av Wernher von Braun. Den 3 oktober 1942 lanserade Tyskland framgångsrikt den första ballistiska missilen, A4, mer allmänt känd som V-2, och använde den sedan till slutet av andra världskriget.

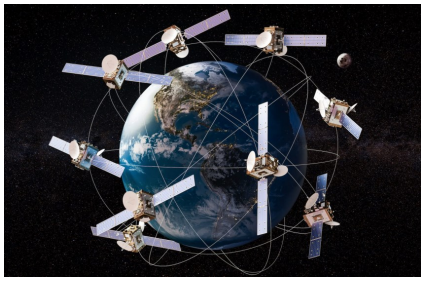


Sedan började den så kallade rymdkapplöpningen. Under 1950- och 1960-talet tävlade Sovjetunionen och USA med varandra om att vara först med olika bedrifter. 1957 lanserade Sovjetunionen Sputnik 1, den första konstgjorda satelliten. 1961 blev den sovjetiske kosmonauten Yuri Gagarin den första personen som kom ut i rymden och kretsade runt jorden med Vostok 1 och 1969 var den amerikanske Apollo 11-astronauten Neil Armstrong den förste, som satte sin fot på månen. Efter apolloprogrammets slut 1972 har ingen människa sedan dess rest bortom låg omloppsbana runt jorden.

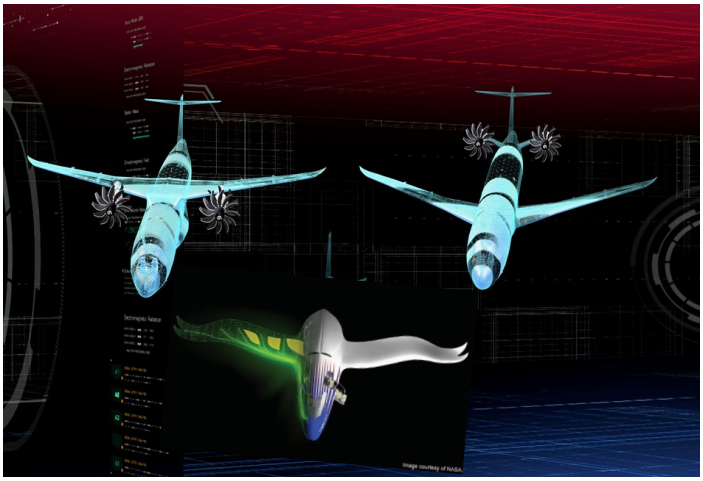
Under 1970-talet började Sovjetunionen bygga rymdstationer, där människor kunde stanna allt längre tid. På 1980-talet började USA skjuta upp sina rymdfärjor, farkoster som möjliggjorde större besättningsstorlekar och därmed ett större antal människor i rymden vid en given tidpunkt. Efter deras första avspänningsuppdrag på Apollo-Soyuz-projektet 1975 samarbetade Sovjetunionen och USA sedan med varandra om Shuttle-Mir-initiativet, ansträngningar som ledde till den internationella rymdstationen (ISS) som kontinuerligt har varit bebodd av människor i över 20 år.

Dussintals länder har skickat minst en resenär till rymden, och 1963 var Valentina Tereshkova den första kvinnan i rymden ombord på Vostok 6. Under hela 1900-talet var rymdfärder myndigheternas domän, men detta började förändras i början av 2000-talet när privata företag kom in på fältet. År 2004 blev rymdplanet SpaceShipOne i omloppsbana den första privatfinansierade farkosten som kom ut i rymden och 2020 blev SpaceX Dragon 2 den första privatutvecklade orbitala farkosten och färjade en besättning till ISS.

Efter rymdkapplöpningens slut har rymdfärderna präglats av ökat internationellt samarbete, billigare tillgång till låg omloppsbana runt jorden och en expansion av kommersiella satsningar. Interplanetära sonder har besökt alla planeter i solsystemet, och människor har stannat i omloppsbana under långa perioder ombord på rymdstationer som Mir och ISS. Senast har Kina framstått som den tredje nationen med förmågan att starta oberoende bemannade uppdrag, medan operatörer inom den kommersiella sektorn har utvecklat återanvändbara system. Från och med 2022 är den obemannade sonden Voyager 1 det mest avlägsna konstgjorda objektet från jorden, en del av en liten klass av farkoster, som lämnat solsystemet.



Flygindustrin har alltid legat i framkant av förändringar. Frågan är vilken väg utvecklingen nu kommer att ta. Det är alltid svårt att förutse framtiden. För det mesta händer något helt annat än man tänkte sig, men det finns några megatrender som ganska säkert kommer att påverka framtiden.



Hållbarhet

IATA, International Air Transport Association, har nyligen förbundit sig till nollutsläpp till 2050 genom en kombination av ny flygplansteknik och arkitektur, hållbara bränslen, förbättrad verksamhet och marknadsbaserade åtgärder (t.ex. kompensationer och koldioxidskatter). Även om industrin är väl insatt i att forska om flygplansteknologier som elektriska system och nya flygplansarkitekturer, har den mindre erfarenhet av nya flygplansoperationer och har ännu inte fördjupat sig i hållbara bränslen, vilket kommer att kräva samarbete med kemitekniska kollegor. Det finns också ett brett utbud av framdrivningsteknologier, från förbättrade konventionella gasturbiner till nya tillvägagångssätt inklusive väte, hybridelektriska och helelektriska. Tillverkare av flygmotorer måste utforska alla dessa och bedriva grundläggande forskning. Så småningom kommer man sedan att behöva begränsa sitt fokus allt eftersom hållbara lösningar dyker upp.

Digital teknik

Utvecklingstiden och kostnaderna för nya flygplan, motorer och många rymdfarkoster ökar i en ohållbar takt. Digitala processer kan angripa detta problem genom att koppla ihop konstruktion, utveckling, produktion och underhåll. Denna integration kommer oundvikligen att leda till certifiering redan vid konstruktion. Nya datorparadigm kan undersökas för att öka säkerheten i förutsägelser av allt mer komplexa system. Data kommer att spela en allt viktigare roll, och nya verktyg behövs för att integrera modeller och data för att möjliggöra snabba och realtidsoperativa funktioner. Modellbaserad systemteknik (MBSE) kommer att bli en stöttepelare för flygingenjörer.

Kommersialisering av rymdindustrin

Rymdindustrin har förändrats avsevärt de senaste tjugo åren. Nya aktörer har engagerat sig i hård konkurrens om uppskjutningstjänster, sänkt kostnaderna och minskat inträdesbarriärerna. Detta har gjort plats för små, billiga satelliter, nya rymdutforskningsuppdrag och ny rymdteknisk utveckling. Elektrisk framdrivning växer för rymdfarkoster och är den ledande kandidaten för långtidsuppdrag, samtidigt som alternativa medel baserade på kärnkraftsframdrivning studeras. Planer på att skapa en månbas ger nya möjligheter för rymdfarkoster, robotik, material och rymdutforskning. Även rymdturismen håller på att bli verklighet.

Autonoma system

Tekniken tillsammans med marknadskrafterna inleder en tid präglad av autonoma system. Militären anammar autonomi som ett sätt att förbättra effektiviteten, och år 2050 förväntas upp till 50 % av militärflygplanen vara autonoma eller knutna till flygplan med besättning understödda av koncept som loyal wingmen. Autonomi i dynamiska och ostrukturerade miljöer och cybersäkerhet är forskningsområden av allt större betydelse. Flygingenjörer måste exponeras för mjukvara, autonomi och robotik för att komplettera teoretiska grunder. Beräkningsmässiga och teoretiska framsteg för motståndskraftig och säker drift av storskaliga nätverkssystem och storskalig autonomi och optimering, bland annat, ger fruktbara riktningar för forskningen.

Avancerad luftmobilitet

Autonom teknologi används allt mer för kommersiella drönare och kommer så småningom att möjliggöra denna femte megatrend, som lockar hundratals nya aktörer och miljarder dollar i investeringar. Möjligheten och utmaningarna här kräver betydande tekniska framsteg inom flygledningstjänst, sensorer och datanätverk, framdrivning och styrning av obemannade flygsystem, nyttolaster och kollektiv dynamik. Behovet av starka forskningsprogram inom dessa områden understryks av framväxande industri- och försvarsbehov.

Framtidens flygteknik

Av Ulf Olsson

Denna artikel är utdrag ur boken "Aerospace Propulsion from Insects to Spaceflight", som kan laddas ner från Flygtekniska Föreningens hemsida. Den försöker beskriva den framtida flygteknik, som skulle kunna skaka flygets grundvalar och sätta branschen på en annan kurs.

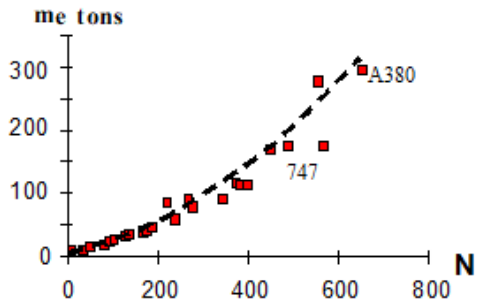
Den starkaste kraften som formar dagens värld är kravet på effektivitet, som till stor del drivs av ekonomi men i allt högre grad också av miljöfrågor. Produkterna måste utformas för att optimera produkternas totala miljöpåverkan under deras livscykel.

För den närmaste framtiden kommer prioriteringen att vara att maximera effektiviteten i flygverksamheten för att möta kraven på ett hållbart samhälle. Flyget står bara för några få procent av utsläppen och de senaste 20 åren har flygets bränsleförbrukning per flygning minskat med 30-40 procent. Nya minskningar är dock svårare och svårare att uppnå.

Datorsimulering och datorbaserad modelleringsteknik möjliggör att kompletterande och motstridiga behov kan övervägas tillsammans. Till exempel hur ett nytt flygplan skulle passa nya flygplatser, hur ny flygplanskapacitet skulle matcha nya operativa förfaranden och ge miljöförbättringar, hur trängsel skulle kunna lindras av ny flygplanskapacitet som fungerar i ett nytt flygkontrollsystem etc. På detta sätt kommer det att peka vägen till mer effektiva och optimerade system.

Många nya tekniker måste utvecklas för att säkerställa produktens funktionalitet under hela livscykeln. Det är lätt att se att det mesta av detta är centrerat på sensorer och informationsteknik. Mekaniken har dock en fortsatt stor betydelse för hur framtidens flygplan kommer att se ut. Nya och effektivare konstruktioner måste hittas för att spara knappa resurser som bränsle.

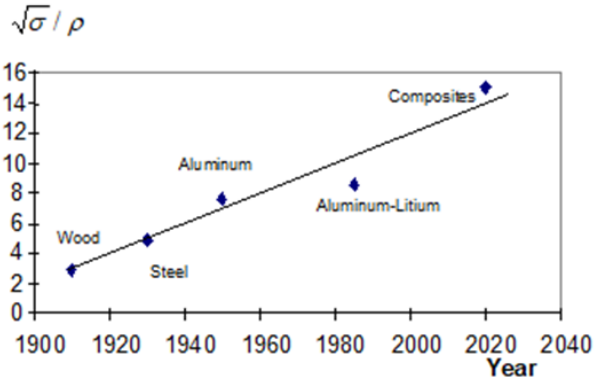
Alla prognoser pekar på ett ökat flygande. Detta skulle kunna mötas med större flygplan, men som framgår av figuren nedan ökar tomvikten på befintliga flygplan gradvis med storleken. Detta innebär att för ett större flygplan transporteras mer tomvikt med varje passagerare.



Att vikten beter sig så här är inte förvånande eftersom det är en allmän lag i naturen att mycket stora saker tenderar att brytas ner under sin egen vikt. Denna lag gäller för alla mekaniska strukturer och den stoppar den ultimata tillväxten i storlek förutsatt att tekniken är statisk. Detta beror på att vikten tenderar att vara proportionell mot volymen, dvs längden upphöjt till tre, medan bärförmågan tenderar att vara proportionell mot ytan, dvs längden upphöjt till två. Detta är den så kallade "lagen om två tredjedelar". Det borde därför finnas en gräns för hur stora flygplan kan bli.

Det kan dock antas att tomvikten är omvänt proportionell mot den specifika styrkan $\sqrt{\sigma}/\rho$ hos flygplanets hudmaterial. Motiveringen för detta är att tjockleken på en platta som utsätts för ett böjmoment är omvänt proportionell mot kvadratroten av spänningen σ och att vikten ökar med materialdensiteten ρ .

Figuren nedan visar utvecklingen av den specifika styrkan hos flygplansmaterial med tiden. Överlägsenheten hos dagens material jämfört med 1903 är mycket tydlig, liksom de vinster som kan erhållas med kompositer. Kompositer har i allmänhet en mycket högre specifik styrka än det konventionella aluminiumet.



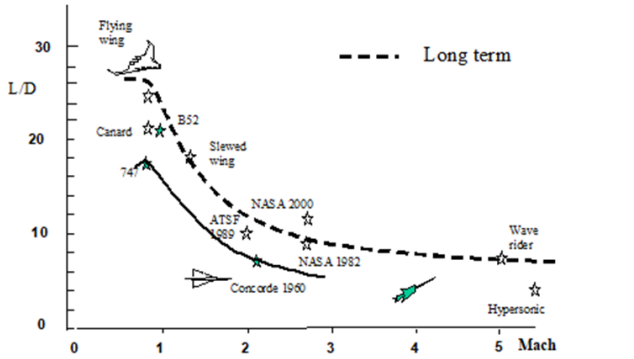
På mycket lång sikt verkar det möjligt att konstruera felfria material med tio gånger den nuvarande hållfastheten för samma densitet jämfört med idag. Morrhårskristallerna är möjligen det mest perfekta exemplaret som för närvarande finns tillgängligt. I vissa fall innehåller de inga observerbara defekter alls. Tricket skulle vara att uppnå sådan perfektion även med bulkmaterial. Kanske kan detta erhållas genom att bygga materialen atom för atom.

Förr eller senare kommer dock två-tredjedelslagen att slå igenom och sätta en gräns för storleken. A380 blev aldrig någon succe' och vi kan nog anta att den ökande trafiken inte kommer att mötas med större flygplan.

Transportkapaciteten för ett givet antal flygplan är antalet passagerarkilometer som kan produceras under en viss tid, dvs N x V, där N är antalet passagerare och V är hastigheten. Den ökade trafiken kan därför mötas antingen med större flygplan eller med fler flygplan och högre hastighet, vilket senare också skulle leda till tätare flygningar. Tekniskt sett finns det en gräns för jetmotorn så hög som Mach 4. Ändå har det enda civila höghastighetsflygplanet varit Concorde omkring Mach 2 och ännu är ingen efterträdare till det i sikte.

Flyget har ökat vår förmåga att röra oss enormt runt om i världen. Men långväga resor är fortfarande en ganska tråkig verksamhet eftersom vi är begränsade till flyghastigheter under den lokala ljudhastigheten. Varje person som har tillbringat 20 timmar på ett flyg till Australien kan förlåtas för att vilja ha högre hastigheter. Det vore bra om problemet med att möta den ökande efterfrågan på resor kunde lösas med högre hastighet. Så varför förblir troligen transportflygplanets hastighet subsonisk?

Förutom motorns effektivitet är förhållandet mellan lyft L och motstånd D den viktigaste parametern för trafikflygplan och påverkar viktiga ekonomiska prestanda som maximal räckvidd, nyttolast och bränsleförbrukning. Det bestämmer väldigt mycket flygplanets form och hastighet. Lyftkraften bestämmer hur mycket flygplanet kan lyfta och motståndet hur mycket bränsle som går åt. L/D för vissa befintliga och föreslagna luftfartyg för olika hastigheter visas i figuren nedan.



Lyft-till-motstånds-förhållandet L/D ses falla snabbt vid högre hastigheter på grund av supersoniskt vågmotstånd. Detta börjar dyka upp lokalt vid flygplanets kropp även under Mach 1, där bildandet av luftstötar väsentligt påverkar motståndet. Detta Mach-tal ligger på cirka Mach 0,85. Bortom detta Mach-tal börjar L / D sjunka och det är på grund av detta som trafikflygplan flyger vid ungefär den hastigheten.

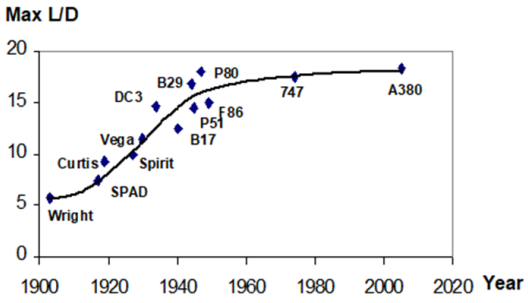
För ett Mach 2-flygplan som Concorde kommer L / D att vara mindre än hälften av värdet för ett underljudsflygplan som 747. Concorde, som representerar tidig 1960-talsteknik, har en L/D på cirka 7 vid Mach 2. För moderna supersoniska flygplan förväntas lyft-till-motstånds-förhållandet vara cirka 10. Detta skulle uppnås genom att öka vingspannet och förfina flygkroppens form och landningsställets stuvning. Ytterligare större ökningar kan erhållas genom laminär flödeskontroll av vinggränsskiktet.

Aktuella studier visar på en ytterligare förbättring på cirka 30 % med hjälp av pilvingeteknik och delvis laminär flödeskontroll. På längre sikt kan förbättringar jämfört med den nuvarande tekniken vara möjliga med innovativa koncept som en trekroppsform. Speciella konfigurationer för flygning vid Mach 1.2-1.4 som vingar med variabel geometri kan realisera värden upp till 12 eller 14 vid låga supersoniska hastigheter. Sådana tekniker kan emellertid också användas för att öka subsonisk prestanda och det är ett säkert antagande att supersoniska flygplan alltid kommer att ha betydligt lägre L / D-värden än subsoniska.

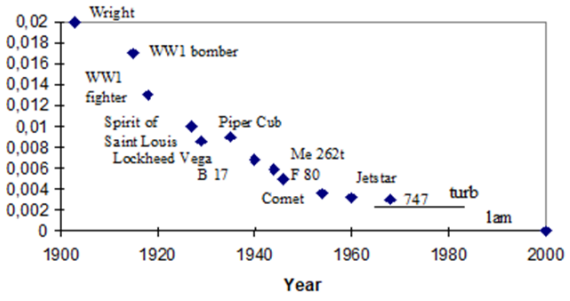
Både räckvidden och bränsleförbrukningen är direkt beroende av L/D-förhållandet och underlägsenheten hos supersonisk flygning blir då uttalad. Motoreffektiviteten ökar något med hastigheten men inte särskilt mycket utöver Mach 1 medan L / D minskar avsevärt. Bränsleförbrukningen är direkt beroende av motståndet. Därför är den potentiella räckvidden för 747 ungefär dubbelt så lång som för Concorde. Följaktligen bör vi inte förvänta oss att överljudsflygplan blir ekonomiska ens i en mycket avlägsen framtid. Den direkta driftskostnaden per passagerarkilometer för Concorde på 1980-talet är två gånger så hög som för ett underljudsflygplan som 747 och bränslekostnaden är tre gånger så mycket. Denna skillnad kommer förmodligen att kvarstå i framtiden på grund av den lägre L / D för supersoniska flygplan.

Dessutom, på grund av sin högre relativa bränsleförbrukning, är ett supersoniskt flygplan mer känsligt för miljöavgifter som översätts till bränslepris och även till priset på själva flygplanet. Miljöavgifterna kommer förr eller senare att baseras på hur mycket flygplanen förorenar atmosfären istället för som landningsavgifter, som minskar föroreningarna runt flygplatser bara marginellt eftersom andra bidrar så mycket mer till föroreningarna där.

Men kommer vi då bara att fortsätta som förut? Kanske inte. Som framgår av figuren har det maximala L/D stagnerat vid under 20. Anledningen till detta är att i subsonisk kryssningsflygning av ett väldesignat flygplan består parasitmotståndet mestadels av hudfriktion.



Som framgår nedan närmar sig moderna flygplan de teoretiskt bästa uppnåeliga värdena för den så kallade hudfriktionskoefficienten i turbulens. Samtidigt har flygplanets form varit mer eller mindre densamma sedan DC3:an. Det betyder att L/D inte har vuxit särskilt mycket under de senaste 60 åren.



Det verkliga flödet är emellertid oftare turbulent än laminärt. Ett typiskt Reynolds-tal för ett stort flygplan är Re = 3 * 10^7, vilket är väsentligt högre än det kritiska värdet på 10^6 där övergång till turbulens sker enligt Reynolds. Hittills har inga exakta teoretiska resultat givits för turbulenta gränsskikt. Turbulens är fortfarande ett av de stora olösta problemen inom fysiken och vi måste förlita oss på experimentella resultat.

Det laminära motståndet visar sig vara betydligt lägre än det turbulenta. För samma Reynolds-tal är den laminära hudfriktionskoefficienten cirka 0,00025, det vill säga tio gånger lägre än det turbulenta värdet. Detta kan tas som det lägsta möjliga värdet av hudfriktionskoefficienten på ett flygplan.

Det helt laminära flygplanet kommer naturligtvis aldrig att nås. En viss luftturbulens uppstår på flygplanets yta oavsett form och storlek. Luft strömmar ofta smidigt över ytan ett tag, men även om ytan är helt slät avlöses den så småningom och skapar en turbulent vak, som ökar motståndet. Mycket av arbetet med att minska luftmotståndet handlar om metoder för att fördröja denna avlösning av flödet.

Paradoxalt nog skulle det inte nödvändigtvis bidra till att minska motståndet att göra en yta helt slät. Detta beror på att avlösningen av flödet fördröjs om gränsskiktet görs turbulent av ytojämnhet. Detta kan ses i en golfboll där groparna minskar motståndet avsevärt genom att skapa turbulens.

Vind- och vattentunneltester har visat att riblets kan minska visköst motstånd med så mycket som åtta procent. Riblets är små, räfflade kanaler som tillverkas i huden på flödesbärande ytor, såsom huden på en vinge. Detta motsvarar den grova ytan på en hajs hud, vilket har visat sig avsevärt minska hajens motstånd i vattnet.

En hajs hud är ganska grov på ett mycket speciellt sätt. Den är inbäddad med miljontals små, skarpa, tandliknande skal, vilket ger den en struktur som sandpapper. Huden ser faktiskt ut som en serie ränder som får vatten att cirkulera på ett visst sätt. Det övergripande resultatet är att huden skapar mindre motstånd i vattnet, en extremt viktig energibesparande effekt för en simmande varelse. Hammarhajar och vissa andra typer av hajar kan simma upp till 75 km/h med hjälp av dessa dentiklar.

Hajens dentiklar är fästa vid små subskinn muskler. Hajar kan använda dessa muskler för att flytta dentiklarna i mönster som optimerar motståndsreducering enligt vattentryck, turbulens och andra förhållanden. En liknande idé undersöks nu på flygplan. Den består av mikroelektromekaniska system som består av en rad sensorer för detektering av luftmotstånd, en uppsättning magnetiskt styrda mikroaktuatorer (millimeterlånga kiselmembran som liknar insektsvingar) för avböjning av ytluftvirvlar och kretsar som analyserar sensoringången och skickar styrsignaler till ställdonen. En alternativ teknik är pulsblåsning eller sugning genom miljontals laserborrade hål vid frekvenser skräddarsydda för instabila fluktuationer i placeringen av gränsskiktsövergången. Interaktion mellan sekundärflödet och det primära luftflödet stabiliserar gränsskiktet och upprätthåller laminärt flöde. Stötdämpning med passiv porositet eller termisk gränsskiktskontroll kan också användas.

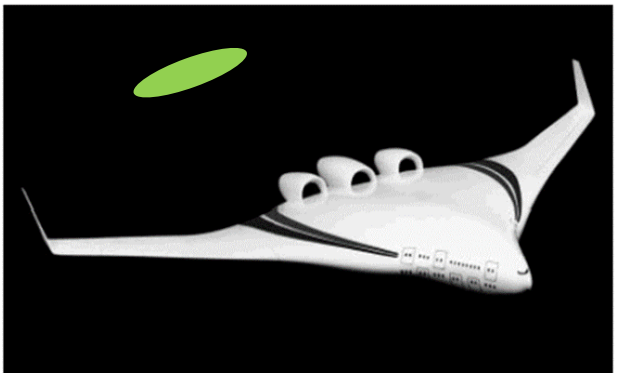
Nästa stora steg i aerodynamisk motståndsreduktion kan komma från ett av dessa områden eller det kan komma från forskning inom andra områden, såsom elektromagnetik eller magneto-hydrodynamik (MHD). På mycket lång sikt har det till exempel föreslagits att man ska använda strålad mikrovågsenergi för att ändra atmosfärens egenskaper framför flygplanet för att minska luftmotståndet.

L/D-förhållandet beror inte bara på friktionskoefficienten utan också på flygplanets form. Flygplanets form har varit mer eller mindre densamma sedan DC3:an. Detta kan nu vara på väg att förändras. Kroppen på det konventionella flygplanet ger mycket motstånd men väldigt lite lyft. Det skulle därför vara en bra idé att avskaffa kroppen och sätta passagerarna i vingarna. Detta är ett så kallat "Flying Wing" eller "Blended Body" -flygplan.

Naturligtvis kan var och en av vingarna fortsätta på egen hand. Allt som krävs är att svepvinkeln bibehålls. En bra regel för all design är att den vackraste formen också är den mest effektiva. Detta är förmodligen något som är inbyggt i våra hjärnor. Ellipsen är en av de vackraste formerna. Det är därför ingen överraskning att en smal elliptisk flygande vinge har det högsta lyft-till-motstånds-förhållandet både vid subsoniska och supersoniska hastigheter. Detta leder oss till flygplansformer som påminner om de berömda flygande tefaten, även om de inte skulle vara runda utan långsträckta.

Sökandet efter högre L/D leder uppenbarligen till konstiga och oortodoxa konfigurationer. Många sådana konfigurationer kan uteslutas av de negativa effekterna av deras geometri på viktförhållandena och passagerarkomforten. Det är alltid sant att kraven på stabilitet och kontroll, struktur och flygdrift alla bidrar till att minska designens L/D-förhållande betydligt under de exotiska värden som kan förutsägas från obegränsad aerodynamisk teori. Icke desto mindre kommer framtiden att se flygplan mycket annorlunda än dagens.

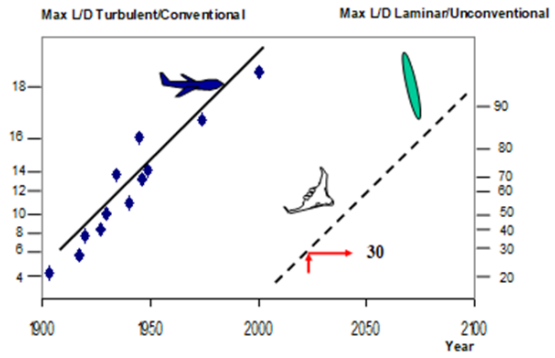
Den integrerade vingkroppen eller ”flygande vinge” anses allmänt vara den mest lovande nya konfigurationen för ett miljövänligt flygplan. Det har använts i bombplan som AVRO Vulcan, B-2 och B-49. Anledningen till att denna typ av flygplan inte har använts kommersiellt är dess aerodynamiska instabilitet. Detta kan lösas med modern styrteknik.



Med samma friktionskoefficient skulle en flygande vinge kunna ha en maximal L/D på 25-30 jämfört med 17-18 för ett konventionellt flygplan. För en långsträckt helt laminär elliptisk form med spännvidden fem gånger bredden kan den maximala L / D vara så hög som 100.

Genom att anta detta som ett maximum kan ett logistiskt diagram för utvecklingen av L/D konstrueras från historiska data, se figur nedan. Gränsen L/D=19 har antagits för nuvarande konventionella flygplan med turbulent flöde och den framtida utvecklingen av laminära okonventionella flygplan antas följa samma takt.

Enligt diagrammet skulle de flygande tefaten komma in vid slutet av detta århundrade. Sådana flygplan kan naturligtvis aldrig landa och starta. De kommer ständigt att befinna sig i luften och nås genom matarflyg.



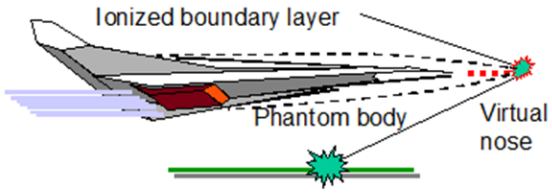
Att minska flygplanets motstånd leder direkt till en högre flygeffektivitet. De laminära flödestekniker som nu utvecklas är en del av detta arbete. På senare tid har det också varit ett stort intresse för möjligheten att använda en joniserad gas (ett plasma) för att minska motståndet. Ryska forskare har visat att motståndet från ett supersoniskt flygplan kan minskas med 30% eller mer genom att bilda ett plasma i luftströmmen före flygplanet med en mikrovågsstråle.

Det finns till och med indikationer på att plasma kan påverka luftflödet vid subsoniska hastigheter. Om så är fallet kan små plasmageneratorer ersätta kontrollytor som skevroder och klaffar. Framtidens flygplan kanske inte behöver några rörliga kontrollytor alls. Plasma kan också ge en osynlighetssköld för stealthflygplan.

På 1960- och 70-talet experimenterade flygingenjörer med framåtvända jetstrålar som ett sätt att bromsa planetariska sonder när de kom in i atmosfären. Till deras förvåning fann de att jetstrålarna faktiskt producerade dragkraft i flygriktningen. Strålarna värmde upp luften och avböjde flödet bort från fordonet, vilket effektivt gav det en mer strömlinjeformad form.

På detta sätt kan man skapa en "fantom" flygplanskropp med minskat luftmotstånd genom användning av kraft eller värmefält. Värme- och kraftfälten måste fördelas mycket försiktigt och måste sträcka sig långt framåt och bakom flygplanet för att säkerställa en korrekt formad fantomkropp.

Utan några förluster är effekten, som krävs för att skapa "fantom" -kroppen, motståndsreduktionen multiplicerad med flyghastigheten. Denna effekt är en betydande del av framdrivningseffekten från motorn. Inte bara måste metoder hittas för att leverera så stora mängder effekt till flödesfältet runt flygplanet, men medel måste också hittas för att extrahera effekten från luften på ett kontrollerat sätt för att upprätthålla en korrekt formad "fantom" kropp. Oregelbundenheter och gradienter i den lokala kraftfördelningen gör detta mycket svårt. Dessutom måste det vara möjligt att ändra fantomkroppens form när flyghastigheten ändras.



Att fördela dragkraften över flygplanets yta och därmed utnyttja den så kallade Coanda-effekten är en annan möjlighet att minska flygplanets motstånd. År 1910 provade en ung rumänsk ingenjör, vid namn Henri Coanda, ett plan som han hade byggt med en jetmotor som han hade uppfunnit. Motorn var inte en turbojet baserad på gasturbinen som senare uppfanns av Frank Whittle och Hans von Ohain, utan hade en bensinmotordriven centrifugalkompressor, en förbränningskammare och ett munstycke.

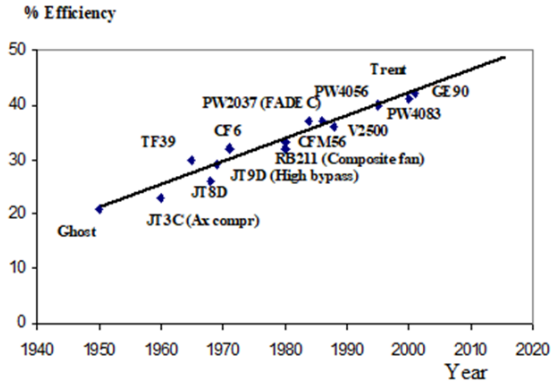
Coanda placerade metallplattor mellan de heta jetgaserna och plywoodkroppen för att skydda den från värmen. Men istället för att strålen avleddes fästes den på plattorna, löpte längs dem och satte eld på planet. Under lång tid förblev detta fenomen av de brinnande gaserna och lågorna som fäster vid flygkroppen ett stort mysterium. Efter studier som varade i mer än 20 år (utförda av Coanda och andra forskare) erkändes det som en ny flygeffekt och namngavs efter honom.

Coanda-effekten är tendensen hos en vätskestråle att fästa sig på en yta. Strålens hastighet evakuerar omedelbart molekylerna mellan den och väggen. Detta lågtrycksområde kan inte lindras av omgivande inflöde eftersom omgivande luft är på andra sidan strålen och därför avböjes strålen snabbt mot och löper längs väggen. Det lägre trycket längs väggen gör att flygplanets tryckmotstånd minskar. Dessutom är medeltrycket över en Coandajet lägre än det genomsnittliga trycket över en obegränsad stråle. Detta innebär att medelhastigheten vid vilken punkt som helst i Coanda-strålen är högre än i en konventionell jet. Därför bör det vara möjligt att använda denna effekt för att öka kraften hos en stråle.

Bielefeld-Brown-effekten är en elektromagnetisk kraft som utövas på en kondensator när den laddas med elektricitet. Även om alla kondensatorer upplever någon typ av inre kraft när de laddas med en högspänning, upptäckte Thomas Townsend Brown på 1950-talet att en kondensator som använder kapacitiva plattor av olika geometriska storlekar kan accelerera den omgivande luften när den laddas. Denna jonvindsteknik har visat sig kräva stora mängder effekt och ge relativt liten dragkraft, men genom att applicera en högspänning på ytan av ett fordon kan det vara möjligt att skapa en elektromagnetisk Coanda-effekt.

Ett flygplans bränsleförbrukning bestäms inte bara av lyftkraft och motstånd utan också av motorns effektivitet definierad som dragkraftsarbetet i förhållande till den energi som tillförs motorn. Motorerna som driver flygplan och raketer är de mest kraftfulla av alla maskiner som produceras av mänskligheten. Det tog oss många hundra år att bygga en Wright Flyer, som med 25 W/kg fordonsmassa gav oss ungefär samma prestanda som en fågel men fortfarande mycket mindre än insekterna. Sedan dess har vi nått en nivå på cirka 20000 W/kg i raketer som Ariane. Framtidens system kommer att kräva ännu högre effekttätheter.

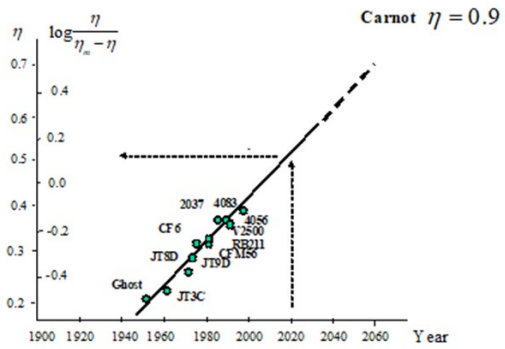
Motorkonstruktionen polariserades gradvis av företag med antingen två rotorspolar (PWA) eller tre rotorspolar (RR) med kompressorer med fast geometri eller en enda rotor med variabla kompressorledskenor (GE). Dessa framsteg banade väg för högre bypassförhållanden som minskade jethastigheten för att närmare matcha flygplanets flyghastighet.



Som framgår av figur ovan har motorns effektivitet gradvis ökat över tiden och det skulle vara frestande att anta att det kan fortsätta så här. Det är dock viktigt att förstå att det i verkligheten alltid finns fysiska eller andra gränser som gör att sådana kurvor böjer sig nedåt förr eller senare.

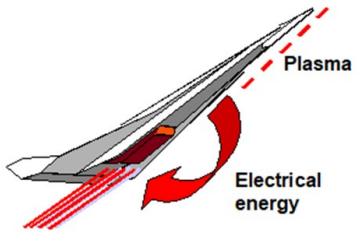
Således tenderar en teknik som utvecklas mot en fysisk gräns att följa en S-kurva. Detta är ett fenomen som märks för alla typer av teknik. Vanligtvis finns det en inledande period av långsam tillväxt följt av en period av snabb, ibland exponentiell tillväxt, med en avmattning mot en viss gräns, vilket innebär att bra förutsägelser kan göras även om vi fortfarande är långt ifrån den övre gränsen.

Den högsta möjliga effektiviteten i en termodynamisk cykel är Carnot-effektiviteten. För en cykel som arbetar mellan atmosfäriska och stökometriska temperaturer är den maximala effektiviteten därför cirka 90%. Detta gör det möjligt att konstruera ett logistiskt diagram, se nedan, från vilket den framtida utvecklingen av jetmotorns effektivitet kan förutsägas. Som framgår är gasturbinens bypassmotor troligen begränsad till verkningsgrader som inte är mycket högre än 50 %. Fortsatt utveckling bortom omkring 2020 kräver därför någon form av ny cykel. Motoreffektiviteten har ökat stadigt men gasturbincykeln närmar sig sina gränser. Tiden börjar bli mogen för ett nytt genombrott liknande det när propellern ersattes av jetmotorn.



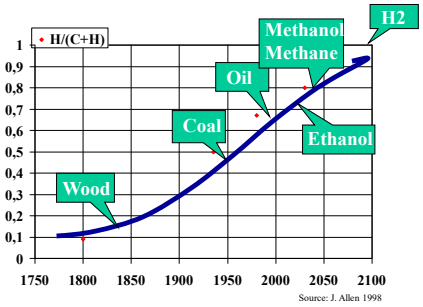
Framdrivningseffektiviteten är högst om jethastigheten ligger nära flyghastigheten. För att maximera framdrivningseffektiviteten under hela flygningen måste jethastigheten därför anpassas till flyghastigheten. Vid låga Mach-tal måste den låga strålhastigheten kompenseras av ett högt massflöde. Det innebär att de nya motorerna måste vara maskiner med variabel geometri. Naturligtvis kan 100 % framdrivningseffektivitet aldrig uppnås. Dragkraften skulle då försvinna eftersom den är proportionell mot skillnaden mellan jethastigheten och flyghastigheten.

Nya koncept som magnetohydrodynamik kan kanske användas för att öka effektiviteten hos motorer med mycket högt varvtal. Vid sådana hastigheter skulle kompressionstemperaturen i inloppet vara så hög att luften blir en plasma. Magnetohydrodynamik kan användas för att producera elektricitet från denna plasma och därmed kyla ner luften så att förbränning kan äga rum. Elen kunde sedan levereras i slutet av motorn för att producera en mer energisk jet, se nedan.



Oavsett termodynamiken hos den framtida motorn är bränslets värmeinnehåll mycket viktigt. Väte är det mest energiska bränslet vi känner till idag och sett över flera århundraden verkar världen verkligen röra sig långsamt och oundvikligen mot det.

Vätgashalten i de bränslen vi har använt har konsekvent ökat från trä över kol, olja och gas. Problemet för flygapplikationer är den låga densiteten av väte. Signifikanta densitetsökningar är emellertid möjliga. En 10% densitetsökning är möjlig med 10% tillsatt etan eller metan, som införs i vätet som frysta partiklar. Dessutom har metalliskt väte producerats i små mängder vid extrema tryck och kan mycket väl vara det ultimata bränslet på lång sikt.



Hydrogen in our future

Det finns därför mycket som talar för vätgas som framtida bränsle. På lång sikt kan detta gynna bränsleceller framför gasturbiner, men mindre för luftfart än för energiproduktion. Bränslecellerna har nu nått en effekttäthet på cirka 2 MW/m3. Om man antar att den erforderliga kompressoreffekten är cirka 2 MW/ton dragkraft, skulle motorvolymen för ett stort flygplan med 100 tons dragkraft vara oöverkomligt hög. Detta kan förändras i framtiden eftersom bränsleceller utvecklas mycket snabbt. Ändå är det troligt att förbränning direkt i mediet för jetstrålen kommer att förbli mer vikteffektiv än någon annan känd process, såsom stora fläktar som drivs av bränsleceller.

Vätgas har en värmehalt på 120 MJ/kg. För att öka värmeinnehållet utöver det värdet måste nya kemiska föreningar utvecklas med hög energitäthet och låg molekylvikt. Om vissa molekyler slits isär, kommer de att ge upp stora mängder energi vid rekombinering. Det har föreslagits att sådana instabila fragment, kallade fria radikaler, skulle kunna användas som bränsle. Svårigheten är dock att dessa arter tenderar att rekombinera så snart de bildas. Därför är ett centralt problem i deras användning utvecklingen av en stabiliseringsmetod. Atomväte är det mest lovande av dessa ämnen. Spinnpolariserat atomärt väte har producerats i laboratorier, men dess livslängd minskar drastiskt med densitet på grund av en ökning av rekombinationskollisioner.

Om låg bränsleförbrukning är det drivande målet för framtidens civila flygplan, så kommer militära flygplan även fortsättningsvis att drivas av hastighet och svängförmåga samt nya krav på smygförmåga, obemannad drift och smidighet.

Smygförmåga, stealth, är en komplex designfilosofi för att minska förmågan hos en motståndares sensorer att upptäcka, spåra och attackera ett flygplan. En mängd olika tekniker kan kombineras, t.ex. en slät yta, "flygande vinge"-design, radarabsorberande material och elektroniska motmedel.

Eftersom framdrivningen i hög grad bidrar till ett flygplans signatur är motorerna begravda i flygkroppen med luftintag och avgaskanaler placerade på flygplanets ovansida. Detta minskar värmespåret och döljer jetmotorns kompressorblad från radardetektering. Jetmotorernas inlopp är täckta med fina skärmar för att förhindra att radarenergi når motorernas yta. För att undvika värmedetektorer kanaliseras avgaserna genom långa smala kanaler fodrade med värmeabsorberande material så att det kyls ner när det lämnar planet.

Detta innebär att det traditionella beroendet av militära flygplan med hög hastighet och hög temperatur måste modifieras. En lågtemperaturstråle ger dock en större munstycksyta och ökad risk för upptäckt, vilket innebär att en avvägning måste göras. En lång avgaskanal för att undvika detektorer innebär också att munstycksförlusterna ökar.

Obemannade luftfarkoster (UAV) har diskuterats länge och har redan börjat användas som så kallade ”loyal wingmen” till bemannade flygplan. Att använda ett obemannat flygplan kräver att man överför och bearbetar en stor mängd information. Det är inte förrän helt nyligen som informationstekniken har utvecklats tillräckligt för att göra ett obemannat flygplan realistiskt i fientliga miljöer.

Det förväntas att UAV:er kommer att användas för en mängd olika uppdrag, som börjar med spaning, övervakning och målsökning, och senare utvidgas till att omfatta stöduppgifter som tankning, elektronisk krigföring, ubåtsjakt och luftburen tidig varning. En del av dessa obemannade flygplan kommer att flyga från flygfartyg och ytstridsfordon, medan andra kan vara baserade på land på stora avstånd från den understödda stridsgruppen eller expeditionsstyrkan. En obemannad spaningsfarkost kan användas antingen som ett oberoende system eller tillsammans med andra luftburna, markbaserade och rymdburna system.

I takt med att UAV:er har blivit mer tillförlitliga och fått operativ acceptans har de också använts för luft-till-luft- och markattacker. En UAV kan sväva subsoniskt över intresseområdet under långa perioder tills den beordras att slå till. En obemannad underljudsfarkost med stor kapacitet och lång livslängd skulle kunna användas för att placera ut och hämta mindre strids-UAV:er. Det kunde också fylla på dem med vapen och drivmedel. I takt med att informationstekniken utvecklas kommer man att se svärmar av UAV, som opererar allt mera självständigt.

Kraven på framdrivningssystemet för en UAV är i princip desamma som för ett stealthflygplan. Eftersom den huvudsakliga källan för detektering förmodligen är avgasstrålen måste motorn konstrueras så att infraröd strålning från avgaserna minimeras. För att hålla nere temperaturen och massflödet i avgaserna måste motorn ha en hög verkningsgrad. Slutligen, när det gäller UAV:er, kan flygplanens accellerationsnivåer vara mycket högre än i bemannade flygplan, vilket ställer särskilda krav på motorn.

När det gäller transporter från planeter till rymden är det troligt att man för överskådlig tid kommer att använda raketer med kemiska bränslen på grund av de krafter som krävs. Det mest exotiska av alla bränslen skulle vara antimateria, som kan ses som spegelbilden av normal materia. En antipartikel har samma massa som vanlig materia men motsatt laddning och spinn. När en partikel och en antipartikel kommer i nära kontakt förintar de varandra genom en serie interaktioner och deras vilomassa omvandlas helt till energi. Vid förintelse med materia erbjuder antimateria den högsta energitätheten av alla material som för närvarande finns på jorden. Cirka 42 milligram antiprotoner (cirka 0,6 kubikcentimeter i form av antiväte) har ett energiinnehåll som motsvarar de 750 ton bränsle och oxidationsmedel som lagrades i rymdfärjans externa tank. Små mängder antimateria skulle också kunna användas för att initiera och upprätthålla fissions- eller fusionsreaktioner i raketer.

När det gäller flygningar i solsystemet har tidigare utveckling av rymdfarkoster fokuserat på drivmedel, som drivs ut av den energi som genereras ombord på farkosten som i elektriska raketer. Det primära övervägandet för att få användbar dragkraft från sådana jon- eller plasmaraketer är konstruktionen av lätta elektriska kraftaggregat.

Rymdfarkoster skulle dock också kunna använda energi som inte finns ombord. Denna energi skulle överföras till rymdfarkosten i form av en radiofrekvens eller laserstråle, vilket kraftigt minskar rymdfarkostens massa. Solenergisatelliter kan byggas för att omvandla solstrålning till elektrisk kraft, som sedan omvandlas till mikrovågor, som fångas upp av en mottagare på det elektriskt drivna rymdskeppet.

Ett antal planer har föreslagits för att använda strålning från solen för att få framdrivningskraft för ett rymdskepp. Solframdrivningssystem kan delas in i två kategorier. I den ena skulle strålningstrycket från solstrålar användas för att ge dragkraft på en stor, lätt yta fäst vid rymdskeppet. Denna enhet har kallats ett solsegel. Det andra tillvägagångssättet är att använda solstrålarna för att värma upp en vätgas, som sedan drivs ut genom ett munstycke för att producera dragkraft. I båda dessa tillvägagångssätt är mekanismens vikt i förhållande till den erhållna dragkraften sannolikt så stor att den allvarligt begränsar användbarheten av solframdrivning.

De flesta planeter i solsystemet har magnetfält som sträcker sig ut i rymden som en gigantisk bubbla. Till exempel ligger jorden i hjärtat av en sådan magnetisk bubbla, som upptar en volym som är minst tusen gånger större än planeten själv. Denna magnetosfär skyddar livet på jorden från solvinden och från potentiellt dödliga solstormar, till skillnad från Mars och månen som saknar egna magnetosfärer.

Förutom att ge avskärmning från solstrålning kan en magnetosfär fungera som ett rymdsegel eftersom solvinden trycker på den hela tiden. En 15 km bred miniatyrmagnetosfär runt en rymdfarkost på jordens avstånd från solen skulle känna tillräckligt med soltryck (1 till 3 Newtons kraft) för att accelerera en 200 kg tung rymdfarkost till 80 km/s på bara tre månader.

Kraften som utövas på en magnetosfär ökar med dess storlek, eftersom solvinden har mer att trycka mot. Magnetosfärer som rör sig längre bort från solen expanderar naturligt när solvindens tryck minskar, av samma anledning som en ballong som blåses upp vid havsnivån kommer att expandera i den mindre täta luften på högre höjder. Solvindens tryck minskar dock med samma faktor som magnetosfärernas tvärsnitt ökar. Därför skulle framdrivningskraften förbli densamma oavsett om rymdfarkosten befinner sig nära solen eller i solsystemets yttre delar.

För snabba rörelser i rymden behövs mer dragkraft än vad som kan åstadkommas genom elektrisk eller extern framdrivning. Den nukleära saltvattenraketen är ett radikalt nytt koncept för framdrivning i rymden. Bränslet skulle vara en lösning av uransalt i vatten. Detta bränsle skulle sprutas in i reaktionskammaren för att skapa en kritisk massa. Det är i grunden en kontinuerligt detonerande kärnreaktion med vatten som drivmedel. Fördelen är att detta är det enda kända framdrivningssystemet som kombinerar hög avgashastighet med hög dragkraft. Den har en uppskattad avgashastighet på 60000 meter per sekund (jämfört med kanske 4500 m/s för en kemisk raket). Den beräknas producera en dragkraft på nästan 1000 ton och ha en effekt på 400 gigawatt. Nackdelen är förstås att den kastar ut högradioaktiva kärnklyvningsprodukter direkt ut i rymden.

Variabla specifika impulsmagnetoplasmaraketer eller VASIMR är en annan hypotetisk form av framdrivning av rymdfarkoster som använder radiovågor och magnetfält för att accelerera ett drivmedel. VASIMR överbryggar gapet mellan framdrivningssystem med låg dragkraft och impulssystem med låg dragkraft och hög specifik impuls, och kan fungera i båda lägena genom att helt enkelt justera sina driftsparametrar.

Drivmedlet, vanligtvis väte, joniseras först av radiovågor och leds sedan in i en central kammare omgiven av magnetfält. Jonerna kretsar i spiral runt magnetfältslinjerna med en viss egenfrekvens och genom att bombardera dem med radiovågor värms de upp till tio miljoner K. Ett magnetiskt munstycke omvandlar spiralrörelsen till axiell rörelse, vilket driver ut vätejonerna på baksidan av raketen och ger dragkraft.

Radiovågorna och magnetfälten skulle kunna produceras av elektricitet, som nästan säkert skulle produceras genom kärnklyvning. Genom att justera uppvärmningssättet och en magnetisk choke kan en VASIMR reglera avgashastigheten. När man stänger choken läggs raketen i en högre växel. Det minskar antalet joner som lämnar drivenheten (vilket ger mindre dragkraft), men håller deras temperatur hög (vilket ökar den specifika impulsen). Att öppna choken har motsatt effekt. En rymdfarkost skulle använda låg växel för att klättra ut ur planetarisk omloppsbana och hög växel för interplanetär kryssning.

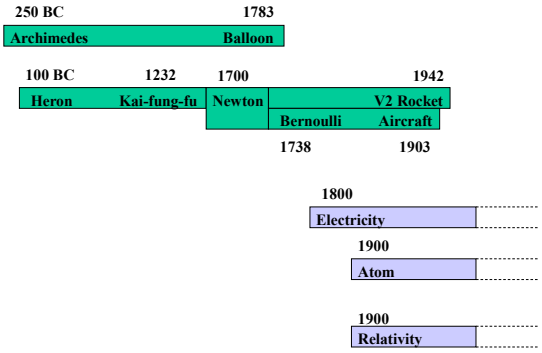
Metoden för att värma plasma som används i en VASIMR utvecklades ursprungligen som ett resultat av forskning om kärnfusion. En möjlig framtida förbättring av VASIMR-systemet kan vara att främja fusion mellan drivmedlets atomer. Detta kan ge en hel del extra värme och därför ge ännu större dragkraft än vad den elektriska ingången till systemet annars skulle tillåta. En VASIMR-driven rymdfarkost skulle kunna skjutas upp med bara tillräckligt med bränsle för att ta sig till sin destination, till exempel Mars, och sedan plocka upp mer väte vid ankomsten för att fungera som bränsle för hemresan. En annan fördel med vätgas är att väte är det mest kända strålningsskyddet, så bränslet till VASIMR-motorn kan också användas för att skydda besättningen från de skadliga effekterna av strålningsexponering under flygningen.

Kärnfusion är renare än fission och det är ett mer spännande perspektiv med sin högre energitäthet och specifika impuls. Forskare kämpar dock fortfarande för att bevisa att en sådan enhet kan erbjuda mer energi än insats, än mindre göra enheten tillräckligt liten för att skickas ut i rymden. Det finns två huvudscheman för att tillhandahålla den inneslutning som krävs för att innesluta en fusionsreaktion, tröghets- och magnetisk. Dessa inneslutningssystem resulterar i två mycket olika utformningar av framdrivningssystemen.

På grund av svårigheten att "tända" fusionsreaktioner har flera system föreslagits för att förenkla eller minska energibehovet för fusionständningsprocessen. Ett schema använder myoner. Myonen är en slags tung elektron, som kan ersätta elektronen i en väteatom (eller molekyl). De resulterande "atomerna" kan komma varandra närmare. Detta ökar i sin tur sannolikheten för fusion. En alternativ antändningsmetod använder en liten mängd antimateria (antiprotoner) för att utlösa en subkritisk fissionsreaktion. Fissionsenergin antänder sedan fusionsbränslena.

Studier tyder på att den främsta fördelen med fusionsframdrivning är potentialen för snabba uppdrag till en mängd olika planetariska mål (t.ex. Mars, Jupiter, Saturnus). En fusionsdriven rymdfarkost skulle kunna genomföra ett 60 till 100 dagar långt tur- och returuppdrag till Mars med 100 ton nyttolast. Bemannade femåriga tur- och returuppdrag till Jupiter och Saturnus verkar också vara genomförbara.

På grund av den stora hastighetskapaciteten och de måttligt höga dragkraftsnivåerna som kan vara tillgängliga från fusionsdrivna rymdfarkoster, påverkas de inte lika mycket av uppskjutningsfönster som befintliga system. Dessutom kan uppdrag som att transportera stora bulklaster, flytta asteroider etc. bli genomförbara med avancerade fusionsframdrivningssystem.



Långt in i framtiden kan ännu okända framdrivningssystem dyka upp. Det tog ungefär två tusen år från de första upptäckterna innan Arkimedes princip och reaktionsprincipen, kanske först använd i Herons ångkula, tillämpades på praktiska framdrivningskoncept. Bland de nyare vetenskapliga upptäckterna kommer elektriciteten, som föddes på 1800-talet, sannolikt att få stor betydelse i framtiden, till exempel för att manipulera joniserade gaser i motorer och runt flygplan. Atomenergi som fission eller fusion kan producera den stora mängd kraft som krävs för interplanetär flygning.

Förståelsen av gravitationen är fortfarande rudimentär trots Newtons och Einsteins arbete. I ett flygplan erhålls lyftkraft genom att deformera det aerodynamiska flödesfältet med en vinge. I en ballong uppnås lyft genom Arkimedes princip. En dag kanske det blir möjligt att göra något liknande med gravitations- eller magnetfälten, men i dagsläget förstår vi inte hur detta skulle kunna göras.

Det finns nu inga utsikter för framdrivning baserad på antigravitation, eftersom negationen eller omkastningen av materiens gravitationella attraktion skulle bryta mot grundläggande fysikaliska lagar så som de för närvarande förstås. Kopplingen mellan magnetism och gravitation var något som Einstein förgäves grubblade på. I väntan på upptäckten av en ny klass av fysikaliska fenomen förblir begreppet antigravitation i ett tillstånd som liknar evighetsmaskinens.

En rymddrift kan definieras som en idealiserad form av framdrivning där de grundläggande egenskaperna hos materia och rumtid används för att skapa framdrivningskrafter var som helst i rymden utan att behöva bära och driva ut en reaktionsmassa. En sådan prestation skulle revolutionera rymdfarten eftersom den skulle kringgå behovet av drivmedel.

Olika hypotetiska rymdfarkoster har analyserats för att identifiera de specifika problem som måste lösas för att sådana system ska bli trovärdiga. De inkluderar möjligheten att skapa en lokal gradient i en bakgrundsskalär egenskap hos rymden (såsom gravitationspotential) genom att ställa diametralt motsatta fältkällor mot varandra över farkosten.

Även om Einsteins speciella relativitetsteori förbjuder objekt att röra sig snabbare än ljuset inom rumtiden, är det känt att rumtiden i sig kan förvrängas även om det kräver en enorm mängd materia eller energi. Som en analogi, även om det fanns en hastighetsgräns för hur snabbt en penna kunde röra sig över ett papper, är rörelsen eller förändringarna av papperet en separat fråga. När det gäller så kallade maskhål i rumstiden görs en genväg genom att vrida utrymmet (vika papperet) för att ansluta två punkter som tidigare var separerade.

Det är också okänt hur snabbt själva rumtiden kan röra sig. Det är som en av de där rörliga trottoarerna på en flygplats. Även om det kan finnas en gräns för hur snabbt man kan gå över golvet (analogt med ljushastighetsgränsen), kan man befinna dig på en rörlig del av golvet som rör sig snabbare än man kan gå (analogt med en rörlig del av rumtiden). Man skulle kunna skapa denna rörliga del av rumtiden genom att expandera rumtiden bakom fordonet (analogt med där trottoaren dyker upp under golvet) och genom att dra ihop rumtiden framför den (analogt med där trottoaren går tillbaka ner i golvet).

Sammanfattningsvis är flygets historia en historia om effekttäthet. Motorerna som driver flygplan och raketer är de mest kraftfulla av alla maskiner som mänskligheten har producerat. Det tog oss många hundra år att bygga Wright Flyer, som med 25 W/kg fordonsmassa gav oss ungefär samma prestanda som en fågel men fortfarande mycket mindre än insekterna. Sedan dess har vi nått en nivå på ca 20000 W/kg i raketer som Ariane. Framtidens system kommer att kräva ännu högre effekttäthet.

Mer om ny teknik hittar du i förteckningen över artiklar i Bevingat på föreningens hemsida. Här några exempel:

2014/5 Är detta framtidens krig? Autonomi innebär att människor delegerar beslut till maskiner.

2015/2 Smygflygplan. Målet med smygteknik är att göra ett flygplan osynligt för radar. Tekniken beskrivs här.

2015/4 Osynliga flygplan. Optisk kamouflageteknik genom att täcka flygplanet med flytande kristaller.

2016/6 Nästa hundra år. Artificiell intelligens kommer att driva allt från kryssningsmissiler till svärmar av drönare.

2016/6 Olösta problem inom flyg. Sid 3. Lägre luftmotstånd, lättare strukturer, effektivare motorer, elektrifiering av system och okonventionella konfigurationer.

2017/2 Flyga med laser eller utan drivmedel.

2017/2 Artificiell intelligens.

2017/5 Ny teknik för stridsflygplan.

2017/6 Antigravitation myt eller verklighet?

2018/4 Tio teknologier som kan förändra flygtekniken. sid 10.

2019/6 En ny tid av flyg-innovation? Sid 12. Biobränslen produktion och användning Sid 14.

2020/1 Kan batterier driva flygplan? Sid 2. Nej, batterier är alldeles för tunga jämfört med flygfotogen. Kan segelflyg ge miljövänliga passagerarplan? Sid 4.

2020/2 Hur minska koldioxidutsläppen från flygplan? Sid 12. Nya former sid 13. Hållbara bränslen sid 14. Framtida motorer sid 16. Hybridelektriska plan sid 18.

2020/4 sid 5: Väte som flygplansbränsle. Väteframdrivning kan minska klimatpåverkan med upp till 75% när det används i motorer för direkt förbränning och så mycket som 90% när det används i bränsleceller.

2020/4 sid 14: Teknologier som formar framtiden. Nya motorer. Bättre aerodynamik. Nya former. Nya material. Additiv tillverkning. Bättre flygledning. Autonoma flygplan. Elektrisk framdrivning. Biobränslen eller väte?

2020/5 Framtida civila passagerarplan. Sid 4. Stagade vingar. Flygande vingkroppar.

2021/5 Elektriska utmaningar. Sid 11. Från batterier och motorer till ledningar och kylning.

2021/5 Väte-hur nära är det? Sid 12. Hur producera vätgas utan utsläpp av växthusgaser? Hur hantera det på flygplatser?

2022/3 Jetmotorer utan CO2-emissioner. Sid 6. Exploderande vågförbränning eller biobränslen från avfall och skog.

2022/4 Väte eller fotogen? Sid 5. Vätgas som bränsle, hållbara flygbränslen (SAF) och elektriska batterier.

2022/5 Väte som bränsle. Sid 4. Hållbara bränslen. Sid 6.

2022/6 Teknik för utsläppsfritt flyg. Sid 16. Aerodynamik, material och batteriteknik.

2023/1 Framtidens flygmotorer. Sid 19. växlade och öppna fläktar, hybridelektrisk kraft, nya cykler, nya material och bränslen.

2019/5 Digital revolution. Detta kan förändra framtida krig.

2020/1 och 2 Framtida teknik. 800 chefers från teknologisektorn tankar och insikter om vår världs framtid.

2020/4 Teknologier som formar framtiden.

2021/1 Hur erövra rymden?

2021/4 Hur flyga till stjärnorna?

2022/3 Framtida rymdteknik. Futuristiska teknikkoncept, som kan hjälpa mänskligheten att sprida sig över hela solsystemet