

Framtida civila passagerarplan

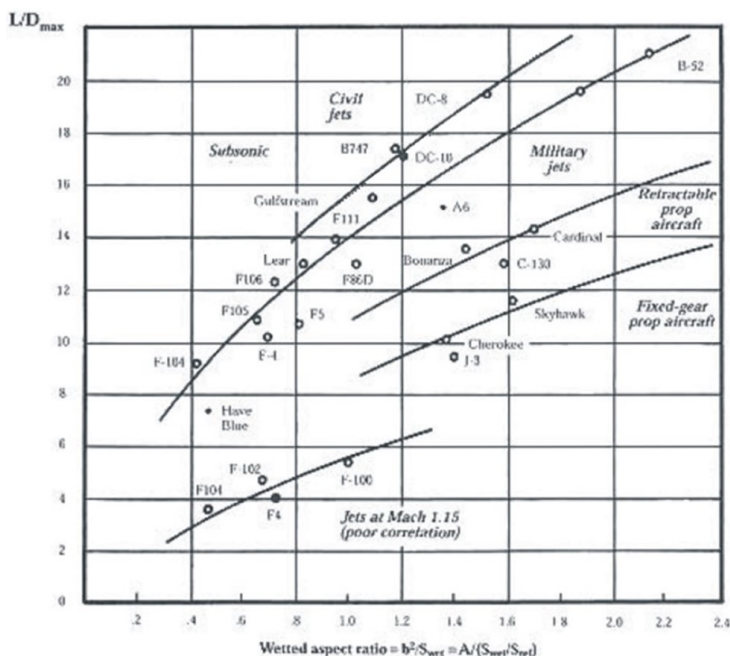
Av C. Eriksson

Tittar du upp i himlen i dag så ser du inte många passerande flygplan och skulle du råka se några så ser de inte så mycket annorlunda ut än sextio år sedan. Då liksom nu hade de flesta två vingar, en cigarrformad kropp och vertikala och horisontella fenor i stjärten. Men det är något som snart kan ändras. Om flyget skall komma tillbaka efter Coronan trots stigande bränslepriser och allt strängare utsläppsgränser måste nu radikalt nya former och motorteknik växa fram. Det kan bli den största omvälvningen i flygtrafiken sedan de första kommersiella jetplanen kom på femtiotalet.

Nu är det naturligtvis fel att säga att ingenting har förändrats under de senaste årtiondena. Det finns så mycket mer teknik i flygplanen nuförtiden.

Tidigare förbättringar gick mestadels obemärkt förbi eftersom de fokuserade på att bygga bättre och tystare turbinmotorer med högre prestanda och minskad bränsleförbrukning. På senare år har utvecklingen inom flygplansstrukturer också gått mot användningen av starka, men lätta kompositmaterial såsom kolfiber, ofta i form av förimpregnerade rullar "Prepreg" som med robotar placeras i verktygsformar och klipps med ultraljud. Man bygger då upp strukturen lager för lager, ofta symmetriskt runt mittskiktet i 45-45 och 0-90 graders prepreg. Sedan vacuumförpackas de och hårdas i autoklav ihop med sina titanfästelement för senare inspektion och bearbetning. På metallsidan har man gått mot skrov i Al-Li legering (bl.a. 777-9), som har bättre hållfasthet och framförallt bättre motstånd mot korrosion. Allt detta för att minska vikten på flygplan och den mängd bränsle, som de behöver förbränna.

Det har också gjorts stora framsteg i datorkontroller och fly-by-wire-system, som gör en stor skillnad för piloten, men inte märks av passagerarna. Avioniken har utvecklats mot mera automatisering och styrning, som underlättar flygningen, men samtidigt ställer högre krav på piloter att förstå hur de olika systemen arbetar och vad som händer då ett eller flera av dem går ned eller får felaktig information (tänk på 737MAX). Samtidigt har man gått från tre i cockpit (kapten, styrman, "flight engineer") till bara kapten och styrman och man jobbar på att gå ned till noll, där besättningen ersätts med datorer och datakommunikation. Troligtvis tillåter man framöver i nästa steg flygning med endast kapten och "datoriserad" styrman. På plan under 19 säten tillåts redan passagerartrafik med endast en kapten i cockpit.



Vad finns det då för ideer och studier på nya passagerarflygplan som ska ersätta dagens 737, A320neo, 787 och A350? I aerodynamiken är lyft-till-motståndsförhållandet L/D den mängd lyft som genereras av en vinge eller farkost dividerat med det motstånd som skapas. Det är samma som glidtalet, dvs hur långt glider planet framåt för given tapp i höjd. Det man vill minimera är luftmotståndet "D" dvs man vill optimera det sk glidtalet L/D . Ett större eller mer gynnsamt L/D -förhållande är typiskt en av de stora målen för flygplans design. Eftersom ett visst flygplans nödvändiga lyft är satt efter dess vikt, levererar ett lägre motstånd direkt bättre bränsleekonomi och mindre bränslelast.

Den så kallade "Breguet ekvationen" visar planets räckvidd.

Range=

$$\frac{V}{g} * \frac{1}{SFC} * \frac{L}{D} * \ln \left(\frac{W_{init}}{W_{final}} \right)$$

För att maximera räckvidd krävs:

- Min specifik bränsleförbrukning SFC
- Max bränslemassa vid start W_{init} och min vid landning W_{final} .
- Max L/D

Det kan visas att det maximala L/D för ett flygplan bestäms av ekvationen:

$$(L/D)_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi \epsilon}{C_{fe}}} \frac{b^2}{S_{wet}}$$

Här är "ε" spänneffektivfaktorn, ett tal mindre än men nära ett för långa, raka kantiga vingar, "b" är vingspannet, C_{fe} är en friktionskoefficient (för ett väl-designat flygplan består zero-lift-drag, eller parasitmotstånd, mestadels av hudfriktion plus en liten andel tryckmotstånd, som orsakas av flödesseparation) och S_{wet} är den så kallade våta arean.

Ekvationen och bilden ovan visar hur viktigt det är att maximera vingspannet samtidigt som man minimerar den våta arean genom att gå ned i kor-dalängd på vingen.

Nya kommersiella transportflygplan har stor spännvidd för att öka deras bränsleeffektivitet, men dessa vingar är mer flexibla, vilket leder till mer aeroelastiska problem. Dessutom flyger dessa flygplan i transoniska hastigheter, där fladdar är svårt att förutsäga. För att bygga lätta, tunna och styva vingar använder man idag ofta kolfiber som har hög styvhet och låg densitet.

Dessa vingar som på Boeing 787 och Airbus A350 XWB måste då skyddas från bl.a. blixtnedslag då kolfiber leder ström ganska dåligt, vilket orsakar lokala brännskador. Det kräver speciella titanlegeringsnitrat samt ett ledande metallnät inbakat i kolfibern ofta som lager #2 från ytan. Man kan ofta se blixtnedslags utgångar på motnacellernas tandade bakkanter.



Vad gäller framdrivningen, så har det genomförts två omvandlingar: från propeller till jetflyg och från turbojet till turboflakt. För att omvandla axel-effekt till dragkraft för flygplan så effektivt som möjligt, så vill man accelerera luften genom motorn så lite som möjligt. Detta minskar även buller då jetstrålen inte bryts upp i så många energirika virvlar.

För att få önskad dragkraft $F = m \cdot a$
där:
 m = massflöde i kg/s
 a = acceleration i m/s^2

måste man då ha ett större massflöde genom motorn. Detta uppnår man genom att låta en större del av luften passera utanför själva den drivande kärnmotorn i en särskild fläkt-kanal. Man har antingen sk "Ultra High Bypass" motorer med nacelle eller "Unducted Fans" utan nacelle. I det senare fallet får man ökat bypass-förhållande med den luft som accelereras av propellern utanför bladdisken, men man har då haft problem med låg verkningsgrad i hastigheter över Mo.80.

En tidig sådan konstruktion är Tu-95 "Bear" bombplanet och dess [Kuznetsov NK-12MV turboprop](#) med

ljudliga kontraroterande propellrar som normalt går i 550km/hr men dess maxfart är 830km/hr. Dess ursprung är en tysk BMW turbopropmotor utvecklad i Spandau som Sovjet tog över genom att hämta in alla ingenjörer och deras familjer samt ge dem beting att flytta hem då motorn var klar.

En tredje utveckling pågår, i form av anpassningsbara motorer med variabel cykel främst för militära överljudsplan där man varierar bypassförhållandet från max vid start för att få bra lågfartsprestanda till min bypass vid överljudsflygning för max effekt i överljudsflygning.

Under alla förhållanden så kommer civila motorers fläkt-diameter att öka så vad finns det då för designstudier med långa slanka vingar och stora fläktmotorer?

Ett exempel är Boeings Sugar Volt (Subsonic Ultra Green Aircraft Research) i olika versioner. Detta plan har

mycket långa, smala, böjliga vingar. De är så långa att man måste staga dem med stöd under vingarna, vilket gör att flygplanet liknar Piper Cub och andra lätta högvingade plan. Vingarna är faktiskt så långa att Boeings konstruktörer kan behöva utrusta dem med "folding wingtips", för att de ska kunna rymmas på befintliga flygplatser 737, A320 Gates.

Ett annat exempel är Lockheed Martin "box wing aircraft". Den konstruktionen är möjlig tack vare lätta fiberförstärkta kompositmaterial. Vingarna är här förbundna med ett stag över flygkroppen för att minska luftmotståndet och öka bränsleeffektiviteten. Dess Rolls Royce Liberty Works Ultra Fan Engine uppnår ett bypass-förhållande nästan fem gånger större än dagens motorer.



Nu finns det dock andra sätt att förbättra prestanda än att bara göra längre vingar. Ett team från MIT i Cambridge, Massachusetts, har förslagit en "dubbelbubbla" kallad D8. "D" efter Prof Mark Drela.

Han och kollegan Giles numera på Oxford var två toppstudenter på MIT som nästan knäckte sina klasskamraterna med sin briljans.



Drela



Giles

Denna flygplansdesign, har en dubbel flygkropp bestående av två cylindrar fästa tillsammans sida vid sida, samt låga svepta vingar, som minskar motstånd och vikt. Tanken med den bredare kroppsformen är att öka lyftkraften, som genereras av flygplanskroppen, snarare än att det som nu mestadels är dödvikt mellan två vingar.

Det är inte enkelt då normalt vingar ger bättre glidtal än en flygplanskropp. Man har då tvärstag genom flygkroppen genom passagerarkabinen för att hållfasthetsmässigt skapa två cylindrar. Om den byggdes idag från vanliga aluminiumlegeringar skulle det ge en minskning av bränsleförbrukningen med 50%, enligt MIT. En polymer-



MIT "dubbelbubbla" D8

komposit version skulle kunna ge 70% effektivitetsvinst. Troligtvis är det inte siffror från Drela utan en 5% bränsleförbrukningsvinst bara genom ändring av vinge/flygkropp är en stor siffra.

Dessutom, eftersom D8:ans turbinmotorer sitter på toppen av flygkroppen i en lådformad stjärt, skulle de minska mängden motorljud ner till marken.

Dessa nya typer av flygplan skulle kunna tas i bruk under 2020-talet och är tre av ett antal projekt, som undersöks av NASA med forskarteam från industri och universitet. Troligtvis behöver man också datoriserad aktiv fladderdämpning för att klara de långa vingarna.

Ett alternativ till de långa vingarna är att göra hela flygplanet till en vinge. D8:ans idé för att generera större lyft tas till sin extrem i en annan konstruktion som kallas N3-X från Nasa. Vid första anblicken ser N3-X ut som en så kallad flygande vinge, som används av USA:s B-2 stealth bombplan. Det innefattar en tjock trekantig vinge, som omsluter hela planet inne-

håll - cockpit, kabin, motorer, bränsletankar och flygtytor. Men, till skillnad från B-2 flygande vinge har N3-X hybrid också två tunna, tämligen konventionella vingar fästa vid sidorna av sin ultrabreda flygkropp.

Ursprungligen förverkligades idén i Tyskland. Horten H.IX, RLM beteckning Ho 229 (eller Gotha Go 229 efter omfattande omdesign som gjordes av Gotha för att förbereda flygplanet för massproduktion) var en tysk prototyp fighter/bombplan ursprungligen designad av Reimar och Walter Horten för att byggas av Gotha Waggonfabrik sent under andra världskriget. Det var det första deltaformade flygande vinge flygplanet, som drevs av jetmotorer.



Gotha Go 229



NASA's N3

Civila flygplan

4

Den främsta fördelen är större bränslemängd i en mindre "våt" yta. Som en flygande vinge producerar planet lyft med hela sitt aerodynamiska skrov och slipper motståndet från den cylindriska flygkroppen och stjärtytorna på ett konventionellt plan. Det är en i USA populär form på bombplan med plats för mycket bränsle och vapen samt med låg radarmålarea. Northrop B-2 och kommande B-21 är av den typen.

En ännu mera extrem flygande vinge är ett Northrop Grumman koncept där man integrerar vinge med kropp och försöker optimera kroppens lyftkraft att vara lika bra som en vingsektion. De fyra Rolls Royce-motorer är inbäddade i den övre ytan av vingen för att uppnå maximal avskärmning av buller. Företaget använde sin expertis i att bygga militärplan utan en stabiliserande stjärt för att föreslå denna design för den kommersiella flygmarknaden.

Lockheed Martin har ett koncept med konventionell stjärt, vilket ger ca 5 % högre motstånd, men underlättar styrningen och lastning av militärt gods i kroppen. NASA utvecklar koncept som dessa för att testa i datorsimuleringar och som modeller i vindtunnlar för att bevisa om de eventuella fördelarna faktiskt inträffar.

Airbus MAVERIC-demonstratorn ska kunna ge upp till 20% bränslebesparingar. Den finns som flygande skalmodell och flyger som modellplan liknande Douglas/Boeing BWB X-48B.

En potentiell nackdel kan vara att både MIT:s D8 och de flygande vingarna kan vara mindre acceptabla för passagerarna på grund av det minskade antalet fönster per säte och deras större säteskapacitet kan även leda till långsammare rutiner både på flygplatsen och i nödlandningssituationer. Ett annat problem med den stora ovansidan med sina motorplaceringar är att avisningen blir omfattande och kritisk.



En verkligt spektakulär idé har presenterats av TU DELFT University och KLM. Planet kallas "Flying-V" och integrerar två stycken passagerarkabiner, lastrummen och bränsletankarna i vingarna. Den förbättrade aerodynamiska formen och den reducerade vikten innebär att den använder 20% mindre bränsle än Airbus A350, dagens mest avancerade flygplan ihop med Boeing 787.

Även om planet inte är så långt som A350, har det samma vingspännvidd. Detta gör det möjligt för Flying-V att användas på befintliga flygplatser och flygplanet kommer också att passa i samma hangar som A350. Dessutom kommer Flying-V att ha samma antal passagerare - 314 i standardkonfiguration - och samma volym last, 160 m³.

Flying-V kommer att vara mindre än A350, vilket ger mindre aerodynamiskt motstånd. Flying-V är tänkt att drivas av de mest bränsleeffektiva turbofläktmotorerna, som för närvarande finns. I sin nuvarande design flyger den fortfarande på fotogen, men den kan anpassas för att utnyttja innovationer i framdrivningssystemet.

Nya flygplansformer går ju bara en del av vägen till målet mot verkligt miljövänliga flygplan. För att verkligen göra skillnad, speciellt när det gäller bränsleförbrukning och motorbuller, så kommer planen också att behöva radikalt nya framdrivningssystem monterade eller integrerade i skrovet på nya sätt.

Boeings Sugar Volt koncept, till exempel, skulle använda ett hybrid-elektriskt framdrivningssystem som kombinerar bränsleförbränning (turbomotorer), elmotorer och batterier på ett sätt, som liknar en Toyota Prius. Hybridsystemet skulle låta operatörerna välja att dra motoreffekten från turbiner eller batterier, beroende på vilket som ger mest nytta vid start, landning och färd.

Många har övergett hybriddrift för flygplan pga vikt, komplexitet och driftskostnader. Dock finns det flera SUGAR-projekt till Boeing från NASA:

SUGAR High är en hög spännvidd, högt sidförhållande, högt lyft-till-motstånd, stagad vinge koncept som har testats aeroelastiskt i vindtunnlar med hög hastighet och förbereds för låg hastighet vindtunnelprov. Det



beräknas för närvarande kunna leverera en 8 procent minskning av bränsle jämfört med en konventionell (icke-stagad) vinge. Dessutom tillåter den höga vingen enklare effektivare integration av fläktar med stor diameter och öppna rotorframdrivningssystem för ytterligare bränslefördelar.

SUGAR Volt är det första konceptet för ett hybriidelektriskt kommersiellt trafikflygplan. Detta spelade en stor roll i att öka det nuvarande intresset för små och stora elektriska flygplan på företag, statliga laboratorier och universitet runt om i världen. Ungefär som en hybridbil ska SUGAR Volt kunna minska bränsleförbrukningen och ersätta elektrisk energi, vilket om den kommer från en förnybar nätkälla (vind, sol, etc.), kan minska växthusgasutsläppen jämfört med ett konventionellt trafikflygplan.

SUGAR Freeze använder flytande naturgas, bränsleceller, kryogent kylda elmotorer, avancerad batterilagring och framdrivning med gränsskiktssugning i bakkroppen för ännu fler potentiella fördelar.

Nyligen tilldelades Boeing ett nytt kontrakt för att fortsätta studera SUGAR Volt och ett NASA hybriidelektriskt koncept som kallas STARC-ABL (single-aisle turbo-elektriskt flygplan med bakkroppens gränsskiktsframdrivning). Boeing är intresserade av att utveckla miljömässiga farkoster, men det är för tidigt att säga om någon av de, som har studerats enligt NASA-avtalet kommer att produktionssättas inom översebar framtid. Med undantag för Boeings egen teknik är den kunskap som NASA fått i samarbete med Boeing från denna forskning tillgänglig för allmänheten.

Nasas N3-X är också utformad kring ett helt nytt motorkoncept, kallat turboelektrisk distribuerad framdrivning. N3-X använder supraledande elmotorer för att driva femton fläktar utbredda över bakkroppen för att sänka bränsleförbrukningen, utsläppen och bullret. Effekten för att driva dessa elektriska fläktar genereras av två gasturbindrivna supraledande elektriska generatorer på vingspetsarna. En sådan konfiguration minskar också luftmotståndet genom att accelerera luften som bromsats upp av friktionen över den övre ytan av flygkroppen.

Ett problem med sådana hybridsystem är att för att uppnå maximal bränsleeffektivitet måste elektronik, generatorer och motorer göras av supraledande (noll-resistenta) material, vilket innebär att elsystemen måste kylas av flytande väte vid -253C eller flytande kväve vid -196C för att få dem att fungera. Denna kryoteknik är ännu inte helt utvecklad och det kan ta årtionden.

Man tittar också på helt elektriska system för 2050-talet. Airbus, har föreslagit ett ganska extremt koncept som kallas Voltaire. Den uppsvällda, 50-sitsiga flygkroppen med två, långa slanka vingar och en gigantisk propeller på stjärten, gör att det liknar en ubåt. Konceptet, som först lades fram under 2011, skulle använda nästa generations batterier för att driva högeffektiva supraledande elmotorer som i sin tur skulle driva den gigantiska motroterande propellern monterad i en cylindrisk kåpa i stjärten. Till skillnad från hybridkoncepten är det avsett att ge noll utsläpp.

Men alla som tror att stora elektriska flygplan som Voltaire kan flyga snart, måste nog tänka om. Fortfarande lagrar fotogen trettio gånger så mycket energi som batterier och utvecklingen av elektriska flygplan beror inte bara på den hastighet med vilken batteritekniken förbättras, utan också på hur snabbt elektrisk utrustning blir bättre. För att eldrivna större flygplan ska bli verklighet krävs enorma förbättringar i effekt-viktförhållande av hela drivsystemet. För mindre flygplan som flyger kortare rutter fungerar dagens teknologi och batterierna blir stadigt bättre, lättare och billigare. Bla. Tesla jobbar hårt på dessa kontinuerliga förbättringar som de sätter i sina nya modeller. Man hoppas att batterier med fast elektrolyt ska konkurrera ut dagens väteelektrolytbatterier.

Airbus UK har presenterat ett futuristiskt konceptuellt trafikflygplan "Bird of Prey" för att inspirera nästa generations ingenjörer. Enligt Airbus inspirerades flygplanet av mekaniken i en örns eller falks vingar och stjärt under flygning. "Bird of Prey" är utformad för att vara utrustad med en hybrid-elektrisk motor och den har även individuellt styrda fjädrar i vingpetsarna för att kontrollera dess inducerade virvlar.

Fåglar kan böja, vrida eller deformera sina vingar för att vända eller ändra sin hastighet. De kan anta olika former för att sväva, dyka, landa eller anpassa sig till vindbyar. Ett konventionellt flygplan, å andra sidan, är utformat för att vara styvt. Dock var de första planen styrda genom "wing-warping" istället för skevroder. Ett konventionellt flygplan kan ändra geometrin på vingarna för att anpassa sig till olika omständigheter som start och landning samt ändra vingform med klaffar i flygningen men endast i begränsad omfattning som på nya A350.

Ända sedan början av luftfarten, har designers tittat på olika sätt att lära sig av naturen och anpassa något av fåg-



larnas teknik till flygplan. Syftet är att ta fram "morphing" flygplan, som kan ändra sin vingform utan att öppna spalter mellan huvudvingen och de rörliga roderytorna som fram- och bakkantsklaff, skevroder och "speedbrakes & liftdumpers" främt för att minska buller.

En morphing vinge kräver tre specifika element: en rörlig konstruktion med en rad kopplingar, ett flexibelt vingskal, som täcker skarvar, och ställdon som skjuter, drar eller roterar för att ändra vingen från en position till en annan. Sensorer behövs också för att upptäcka när den korrekta formen har uppnåtts samt läsningsmekanismer för att hålla vingen i den nya konfigurationen.

Mycket bränsle gör man av med i starten. På kortare sikt kan man försöka minska bränsleförbrukningen och utsläppen genom att utveckla nya uppskjutningssystem, liknande de som finns på hangarfartyg samt att återvinna den kinetiska energin då plan landar. I ett radikalt koncept skulle flygplanet lastas på en vagn, som sedan skulle accelerera på banan och skicka upp planet i luften som alternativ till elkatapult med elektrisk linjärmotor "LIM". En sådan anordning skulle avsevärt minska den initiala effekt som krävs

för ett passagerarplan att starta och motorerna behöver då endast dimensioneras för stigning. Det skulle hjälpa flygplan att starta från kortare banor med högre T-O vikt. Dock kommer säkert militären att först ta fram sådana mobila system att kunna starta tungt lastade attackplan från vägbaser.

Dock kan nya plan som ser radikalt annorlunda ut dröja då man först vill konstruera flygplan liknande dagens trafikflygplan för att sättas ihop av robotar (som man gjort med bilar sedan 80-talet) samt öka deras tillförlitlighet så att man slipper de dyra och tidskrävande checkerna "C-checks" utan det räcker med Line- och Base-checks innan de pensioneras för återvinning eller konvertering till fraktpplan. Motorer och landställ är också dyra att underhålla och hålla med reservenheter. Kanske kan de konstrueras i A320/737 storlek att klara 30 000-40 000 flygningar utan dyrt underhåll och för A350/787 att klara 70 000hr/7000 flygningar i luften innan de ska pensioneras/konverteras. Dagens kolfiberplan har mycket mindre korrosion som minskar arbetsmängden vid tyngre checkar och byte från hydraul- till eldrivna-komponenter kan förenkla konstruktion och drift, dock kan de initialt krängla som de elektriska bromsarna på B787.

