

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.

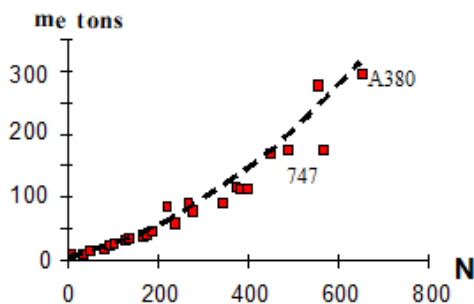
Den starkaste kraften som formar dagens värld är kravet på effektivitet, som till stor del drivs av ekonomi men i allt högre grad också av miljöfrågor. Produkterna måste utformas för att optimera produkternas totala miljöpåverkan under deras livscykel.

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.

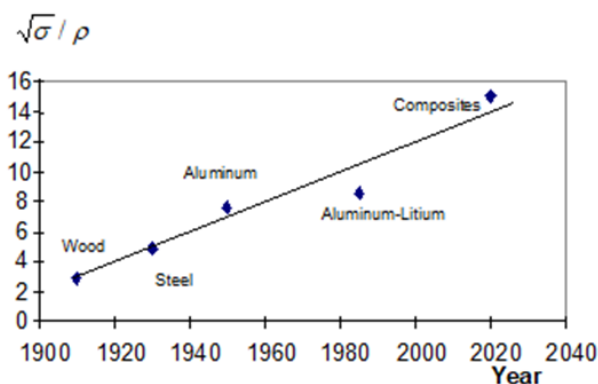


Att vikten betar sig så här är inte förvånande eftersom det är en allmän lag i naturen att mycket stora saker tenderar att brytas ner under sin egen vikt. Denna lag gäller för alla mekaniska strukturer och den stoppar den ultimata tillväxten i storlek förutsatt att tekniken är statisk. Detta beror på att vikten tenderar att vara proportionell mot volymen, dvs längden upphöjt till tre, medan bärformågan 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 kompositmaterial. Kompositmaterial har i allmänhet en mycket högre specifik styrka än det konventionella aluminiummet.



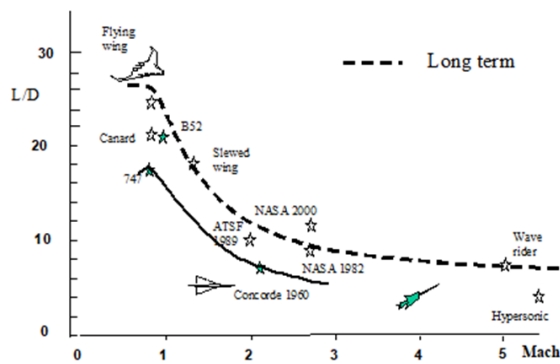
På mycket lång sikt verkar det möjligt att konstruera felfria material med tio gånger den nuvarande hållfastheten för samma densitet jämfört med idag. Morrhårskristallerna är möjligen det mest perfekta exemplaret som för närvarande finns tillgängligt. I vissa fall innehåller de inga observerbara defekter 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 succé 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 $N \times V$, 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-motståndsförhållandet 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 luftstötter 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-motståndsförhållandet vara cirka 10. Detta skulle uppnås genom att öka vingspannet och förfina flygkroppens form och landningsställets stuvning. Ytterligare större öknningar kan erhållas genom laminär flödeskontroll av vinggränsskiktet.

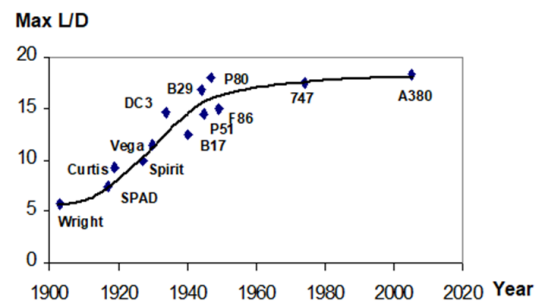
Aktuella studier visar på en ytterligare förbättring på cirka 30 % med hjälp av pilvingeteknik och delvis laminär flödeskontroll. På längre sikt kan förbättringar jämfört med den nuvarande tekniken vara möjliga med innovativa koncept som en tre-kroppsför. Speciella konfigurationer för flygning vid Mach 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

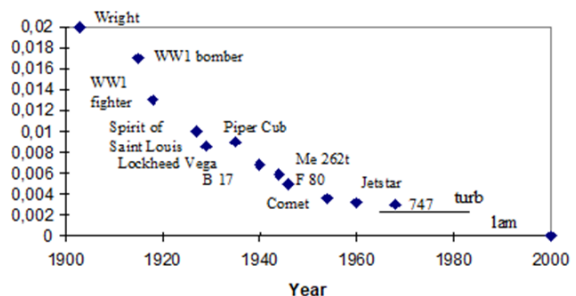
flygning blir då uttalad. Motoreffektiviteten ökar något med hastigheten men inte särskilt mycket utöver Mach 1 medan L / D minskar avsevärt. Bränsleförbrukningen är direkt beroende av motståndet. Därför är den potentiella räckvidden för 747 ungefär dubbelt så lång som för Concorde. Följaktligen bör 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 väl designat 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 $Re = 3 \cdot 10^7$, 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 hajns hud, vilket har visat sig avsevärt minska hajens motstånd i vattnet.

En hajns 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 motståndsreduktion 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 styr-signaler till ställdonen. En alternativ teknik är pulsblåsning eller sugning genom miljontals laserborrade hål vid frekvenser skräddarsydda för instabila fluktuationer i placeringen av gränsskiktsovergången. Interaktion mellan sekundärflödet och det primära luftflödet stabiliserar gränsskiktet och upprätthåller laminärt flöde. Stötdämpning med passiv porositet eller termisk gränsskiktsskontroll 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

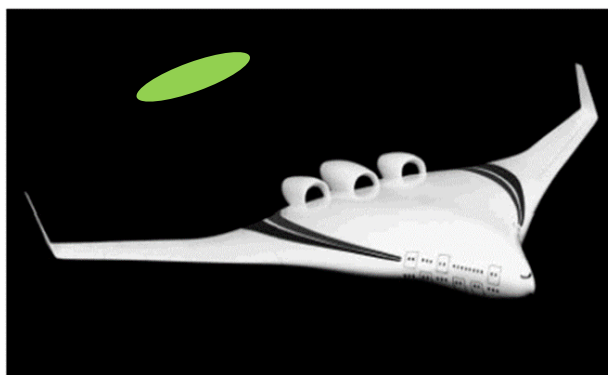
exempel föreslagits att man ska använda strålad mikrovågse-nergi för att ändra atmosfärens egenskaper framför flygplanet för att minska luftmotståndet.

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 vikt-förhållandena 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.

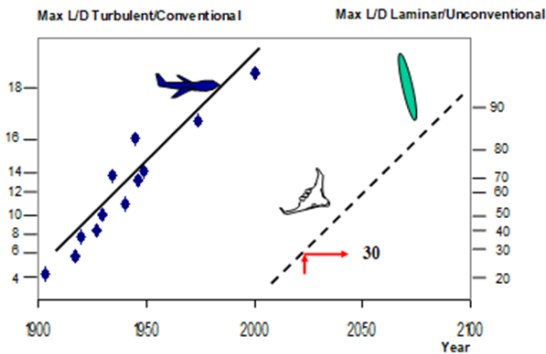
Den integrerade vingkroppen eller "flygande vinge" anses allmänt vara den mest lovande nya konfigurationen för ett miljövänligt flygplan. Det har använts i bombplan som AVRO Vulcan, B-2 och B-49. Anledningen till att denna typ av flygplan inte har använts kommersiellt är dess aerodynamiska instabilitet. 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.

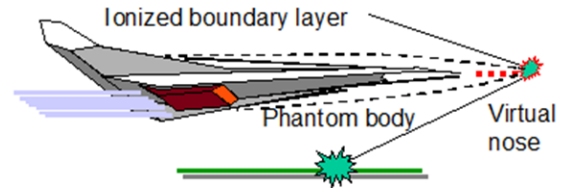
Det finns till och med indikationer på att plasma kan påverka luftflödet vid subsoniska hastigheter. Om så är fallet kan små plasmageneratorer ersätta kontrolllytor som skevroder och klaffar. Framtidens flygplan kanske inte behöver några rörliga kontrolllytor alls. Plasma kan också ge en osynlighetssköld 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 värmdes 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 bensenmotor driven centrifugalkompressor, en förbränningskammare och ett munstycke.

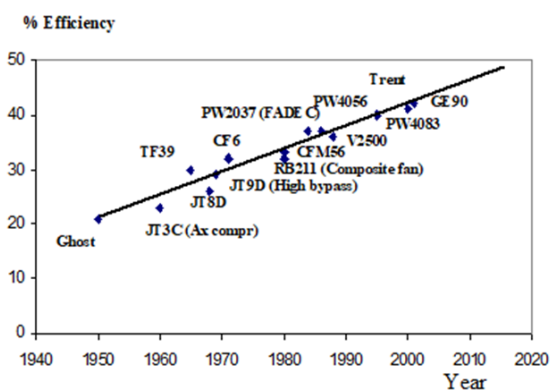
Coanda placerade metallplattor mellan de heta jetgaserna och plywoodkroppen för att skydda den från värmen. Men istället för att strålen avleddes fästes den på plattorna, löpte längs dem och satte eld på planet. Under lång tid förblev detta fenomen av de brinnande gaserna och lågorna som fäster vid flygkroppen 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 Coanda-jet 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 effektiviteter.

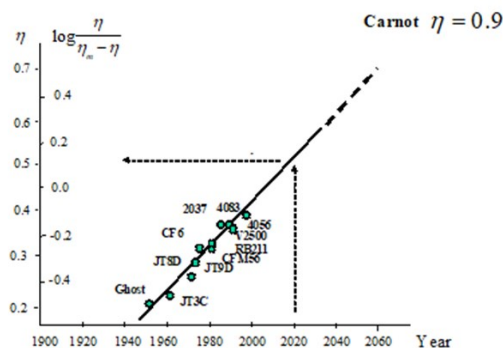
Motorkonstruktionen polariserades gradvis av företag med antingen två rotorspoler (PWA) eller tre rotorspoler (RR) med kompressorer med fast geometri eller en enda rotor med variabla kompressorledskenor (GE). Dessa framsteg banade väg för högre bypassförhållanden som minskade jethastigheten för att närmare 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.

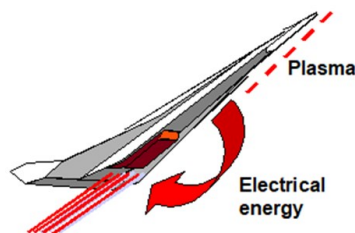
Således tenderar en teknik som utvecklas mot en fysisk gräns att följa en S-kurva. Detta är ett fenomen som märks för alla typer av teknik. Vanligtvis finns det en inledande period av långsam tillväxt följt av en period av snabb, ibland exponentiell tillväxt, med en avmattning mot en viss gräns, vilket 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.



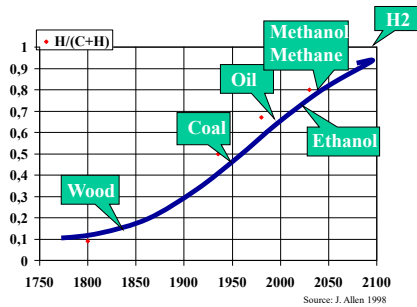
Framdrivningseffektiviteten är högst om jethastigheten ligger nära flyghastigheten. För att maximera framdrivningseffektiviteten under hela flygningen måste jethastigheten därför anpassas till flyghastigheten. Vid låga Mach-tal måste den låga strål-hastigheten kompenseras av ett högt massflöde. Det innebär 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 effektivitet 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 vikeffektiv än någon annan känd process, såsom stora fläktar som drivs av bränsleceller.

Vätgas har en värmehalt på 120 MJ/kg. För att öka värmehållet 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 begrävda i flygkroppen med luftintag och avgaskanaler placerade på flygplanets ovansida. Detta minskar värmespåret och döljer jetmotorns kompressorblad från radar-detektering. 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 expeditionstyrkan. 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 accelerationsnivåer 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 raketerna. 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 tätta luften på högre höjder. Solvindens tryck minskar dock med samma faktor som magnetosfärerens 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 högradi-

oaktiva kärnklyvningsprodukter direkt ut i rymden.

Variabla specifika impuls magnetoplasmaraketer eller VASIMR är en annan hypotetisk form av framdrivning av rymdfarkoster som använder radiovågor och magnetfält för att accelerera ett drivmedel. VASIMR överbryggas 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 raketerna 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 raketerna 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.

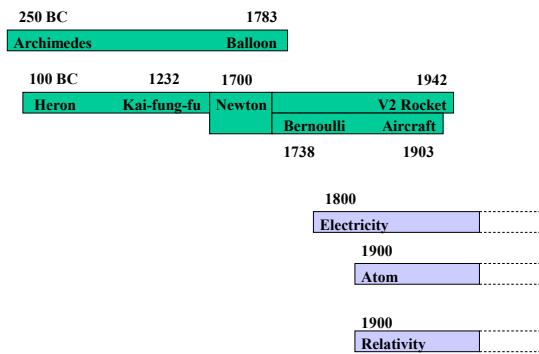
Metoden för att värma plasma som används i en VASIMR utvecklades ursprungligen som ett resultat av forskning om kärnfusion. En möjlig framtida förbättring av VASIMR-systemet kan vara att främja fusion mellan drivmedlets atomer. Detta kan ge en hel del extra värme och därför ge ännu större dragkraft än 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 fusionsständningsprocessen. 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 antigrav-

itation, 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 rumtiden 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 effektivitet. Motorerna som driver flygplan och raketerna 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 raketerna som Ariane. Framtidens system kommer att kräva ännu högre effektivitet.

Framtidens flygteknik

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 chefer 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