

Manövrering i hypersoniska hastigheter

Av C. Eriksson

Idag pratas det mycket om flygplan i hypersoniska hastigheter över Mach 5. Men hur kan man manövrera raket- och scramjet- drivna farkoster i dessa hastigheter i atmosfären och vad är riskerna? Här ges exempel på ett antal projekt och de problem man mött.

[Rocket Physics, the Hard Way: Spacecraft Maneuvering and Control \(marsociety.ca\)](http://marsociety.ca)

Dagens manövrerande jaktrobotar flyger inte hypersoniskt. Rymdraketer som flyger hypersoniskt manövrerar minimalt, följer en förprogrammerad bana och saknar motorinsug. De justerar sin bana genom att med hydraulkraft rikta sina raketmunstycken, speciellt under take-off och den inledande stigningen.

Tilltänkta hypersoniska passagerarplan manövrerar inte mer än minimalt i dessa hastigheter utan följer en förprogrammerad bana. Dock har de motorinlopp liknande snabba överljudsplan som SR-71. Atmosfären de flyger i är inte stilla och under flygning på hög höjd kan de passera in och ut ur jetströmmar och andra väderfenomen. Då måste deras båda motorinlopp kunna kompensera för detta för att ej råka ut för en "unstart" då stöten kliver ur inloppet. Då bildas en stötvåg som missar inloppet så att motorn tappar massivt med dragkraft och ger upphov till ett stort girmoment på en tvåmotorig farkost.

Så riskerna för störning av motorer, som använder luftens syre till förbränning i dessa höga hastigheter, är betydande och de girmoment som uppstår vid enmotorbortfall i hypersoniska hastigheter skapar ett sådant luftmotstånd att hela farkosten riskerar att brytas i bitar på någon millisekund. Att konstruera dessa motorinlopp, som ska kompensera för olika manövrar, lufthastigheter, interna mottryck t.ex. vid tändning av internt bränsle eller justering av gaspådrag eller utloppsarea, är svårt. De är beroende av att de sneda luftstöterna ligger rätt i inloppet och för scramjet-motorer att de inte skapar en rak stöt och att bränsle sprutas in längs med en sned stöt och tänds i en efterföljande sned stöt.

Detta kommer begränsa den civila användningen av mycket snabba civila flygplan. Concorde hade en automatisk "surge recovery mode".

Insugningsinducerad pumpning orsakas av överdriven luftflödesdistorsion eller inducerad turbulens som kan ha ett antal orsaker. En kraftig tryckökning resulterar vanligtvis i en plötslig kraftig ökning av EGT (Exhaust Gas Temperature), en kort sänkning av lågtrycksvarvtalet N_1 i jetmotorer och en nästan total kollaps av lågtrycksturbinens totala utgångstryck P_7 . Mer dramatiskt bildas ganska allvarliga övertryckspulser som färdas framåt, in och ut ur framsidan av inloppet.

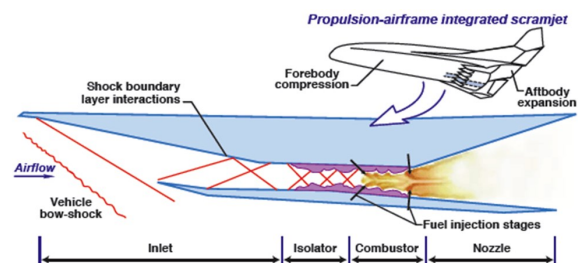
Om en motor pumpar i mörker vid Mach 2+ kan flammor ses som passerar ut ur flygplanet med en kolossal hastighet. En enda pumpning är relativt kortvarig, bara omkring 200 millisekunder eller så men kan utsätta både motorn och inloppet för en allvarlig belastning. Under en typisk pumpning finns det ett initialt övertryck på cirka 50 msek varaktighet som toppar vid ca 0.7 bar övertryck följt av ett undertryck på cirka 150 msek med en topp på cirka -0.15 bar undertryck. Efter detta kommer motorn antingen att återhämta sig eller pumpningen kommer att upprepas. Pumpningar tenderar ofta att vara oscillerande till sin natur och upprepas vanligtvis vid cirka 8-10 Hz. När man beak-

tar inloppsyrtornas relativt höga tvärsnittsarea kan man uppskatta att mycket svåra toppbelastningar induceras i hela inloppet från dessa övertryck. Vid oscillerande pumpning är effekterna ännu allvarligare. I detta fall 'hamras' ytorna av svåra oscillerande luftbelastningar som resulterar i 'orgelpips'- vibrationer med mycket höga toppbelastningar.



Den nya Israeliska hypersoniska antimissilvapnet **Sky Sonic** kommer att vara en del i ett luft- och missilförsvarssystem, snarare än ett fristående system. Sky Sonics stora booster används för att få det andra stegets attackfarkost nära målet. Farkosten kommer sedan att manövrera och närma sig målet, till exempel hypersoniska glidvapen eller kryssningsmissiler. Utmaningen är inte hastigheten, men anfallarens manövrerbarhet, och den andra är banan och höjden som hotet flyger.

Scramjets, eller supersoniska förbränningsramjets, är inte en ny teknik - de har testats i årtionden, men hittills har inget land någonsin lyckats sätta in en operativ scramjet i en missil eller flygplan. Luft som rör sig genom en scramjet strömmar med supersoniska hastigheter, vilket gör tändningen mycket svår - det har av vissa liknats vid att hålla en tändsticka tänd i en orkan.



Scramjets är alltså fortfarande en omogen teknik. Det är verkligen svårt att få dem att fungera rätt, och det finns några grundläggande problem som start, bränsleblandning och flammhållning som man fortfarande räknar på.

Det händer ibland civila passagerarflygplan att de råkar ut för kompressorpumpning men då farten är i underljud blir konsekvenserna ganska milda. Dock kan det vara skrämmande om det sker under take-off som på SAS Boeing 767 i början av dess användning. Sker det däremot i hypersoniska farter i den ena motorn är det överhängande risk för att planet bryts i bitar, eller som Elon Musk kallar det "Rapid unscheduled disassembly"

Se nedan studier av obemannade och bemannade projekt:

Vehicle	Estimated Entry into Service	Speed (Mach)
Spike S-512	2023	1.5
Lockheed Martin QSTA	2030	1.8
Exosonic Concept	2029	1.8
Boom Overture	2029	2.2
Virgin Galactic TSC	2029	3.0
Airbus Concorde 2	Undisclosed	4.5
Boeing Concept	2040	5.0
Hermeus	2035	5.0
JAXA Concept	Undisclosed	5.0
Reaction Engines LAPCAT A2	Undisclosed	5.2
Stratolaunch Talon-A	2023	6.0
STRATOFLY MR3	Undisclosed	8.0
Generation Orbit X-60A	2021	8.0
BlueEdge	Undisclosed	9.0

Vad flyger i dessa hastigheter idag?

Det är främst raketer som skjuts upp till rymden samt raketer som återinträder i atmosfären. Traditionellt för långdistansjaktmissiler har raketer drivit upp farkosten till höga hastigheter för att sedan låta ramm-motorn driva farkosten vidare. Motorer som använder luftens syre har flera fördelar jämfört med raketer. Eftersom den hypersoniska motorn använder syre från atmosfären eliminerar den behovet av att transportera syre ombord på flygplanet, vilket minskar betydande fordonsvikt. Dessutom, för att producera samma dragkraft, kräver motorer som använder luftens syre mindre än en sjundedel av drivmedlet som raketer gör.

Den största utmaningen för utformningen av hypersoniska farkoster är den aerodynamiska strukturen. Även om smal struktur verkar effektiv för att minska motståndet i överljud, kommer skarp framkant att resultera i kraftig uppvärmning. Nedanstående ekvation visar förhållandet mellan statisk temperatur och stagnationstemperatur:

$$\frac{T_0}{T_\infty} = 1 + \frac{(\gamma - 1)}{2} M_\infty^2$$

Så det är ett problem att vingar och deras kontrolltytor värms upp snabbt i dessa hastigheter. Det är därför Rymdskytteln och dess efterträdare bl. a. Boeing X-37, också känd som Orbital Test Vehicle (OTV) har rundade ytor i nosen och vingframkanten.

Raketer manövreras initialt via styrning av dess raketmunstycken och av jetpulser nära nosen på raketerna.

En rymdfarkost kan röra sig på sex sätt. Var och en av dessa rörelsesätt är kända inom kontrollteknik som frihetsgrader. Varje stel kropp i tredimensionellt utrymme har sex frihetsgrader: tre av rotation (eller attityd) och tre av translation (längs x, -y, -z axlarna.)

Medan "Thrust Vector Control" TVC kan vara ett kraftfullt sätt med högt vridmoment för att justera rymdfarkostens attityd, så fungerar det bara medan huvudmotorerna är igång. Det kräver också att motorn monteras på en gimbal med kraftfulla ställdon för att rotera den.



Rocket Labs Rutherford-motor kan justeras med två pneumatiska TVC-ställdon varav en visas i blått ovan.

Av dessa skäl används TVC huvudsakligen för raketer under uppstigning och vanligtvis inte direkt för translationell kontroll. Faktum är att raketer vanligtvis inte förlitar sig på aerodynamisk stabilisering (dvs. fenor), utan på TVC för att hålla kursen. Fördelaktigt är att kontrollen upprätthålls hela vägen genom regionerna i atmosfären och i rymden. För mer exakt manövrering, särskilt när huvudmotorerna är avstängda och farkosten befinner sig i rymden, använder man sig av andra metoder som reaktionskontrollsystem.

Jaktrobotar manövrerar i hastigheter upp till Mach +4 via rörliga roder och ibland vektorutloppsmunstycken. Se Meteor nedan som har luftintag för sitt fastbränsle som förångas och ångorna blandas med insugsluften och denna rammotor ger då dragkraften för +M4 toppfart.

(liknande princip som ett stearinljus fast i mycket högre gashastigheter).



Missilbanan styrs aerodynamiskt med hjälp av fyra bakmonterade fenor. Meteors kontrollprinciper är avsedda att möjliggöra höga svänghastigheter samtidigt som insugnings- och framdrivningsprestanda bibehålls. Fi Actuation Subsystem "FAS" är monterad på baksidan av insugskåporna. FAS-konstruktionen kompliceras av de kopplingar som krävs mellan ställdonet i kåpan och de karossmonterade fenorna.



Den nordamerikanska X-15 är ett hypersoniskt raketdrivet flygplan. Det drevs av USA:s flygvapen och National Aeronautics and Space Administration som en del av X-plan-serien av experimentflygplan. X-15 satte hastighets- och höjdrekor på 1960-talet, nådde kanten av yttre rymden och återvände med värdefulla data som används i flygplans- och rymdfarkostdesign. X-15:s högsta hastighet, (2021 m/s), uppnåddes den 3 oktober 1967, när William J. Knight flög i Mach 6.7 på en höjd av 31 120 m. Detta satte det officiella världsrekordet för den högsta hastigheten som någonsin registrerats av ett bemannat flygplan.

X-15 baserades på en konceptstudie från Walter Dornberger för National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) för ett hypersoniskt forskningsflygplan. Begäran om förslag (RFP) publicerades den 30 december 1954 för flygplanet och den 4 februari 1955 för raketmotorn. X-15 byggdes av två tillverkare: North American Aviation kontrakterades för flygplanet i november 1955 och Reaction Motors kontrakterades för att bygga motorerna 1956.

Liksom många flygplan i X-serien var X-15 utformad för att bäras upp och släppas från vingen på ett B-52-moderfartyg. Air Force NB-52A, "The High and Mighty One" (serie 52-0003), och NB-52B, "The Challenger" (serie 52-0008, alias Bollar 8) fungerade som bärplan för alla X-15-flygningar. Utsläpp av X-15 från NB-52A ägde rum på en höjd av cirka 13,7 km och en has-

tighet på cirka 805 km/h. X-15-flygkroppen var lång och cylindrisk, med bakre kåpor som plattade till utseendet och tjocka, dorsala och ventrala kilfenstabilisatorer. Delar av flygkroppen var tillverkade av värmebeständig nickellegering (Inconel-X 750). Det infällbara landningsstället bestod av en noshjulsvagn och två bakre medar. Skidorna sträckte sig inte bortom ventralfenan, vilket krävde att piloten kastade den nedre fenan strax före landning. Den nedre fenan återvanns med fallskärm.

I november 1960 levererade Reaction Motors XLR99-raketmotorn och genererade 250 kN dragkraft. De återstående 175 flygningarna av X-15 använde XLR99-motorer. XLR99 använde vattenfri ammoniak och flytande syre som drivmedel och väteperoxid för att driva höghastighetsturbopumpen som levererade drivmedel till motorn. X-15 kunde bränna 6 804 kg drivmedel på 80 sekunder. Jules Bergman gav sin bok om programmet titeln "Nittio sekunder till rymden" för att beskriva flygplanets totala flygtid.

X-15-reaktionskontrollsystemet (RCS), för manövrering i lågt trycks- / densitetsmiljön, använde högstetperoxid (HTP), som sönderdelat i vatten och syre i närvaro av en katalysator kan ge en specifik impuls på 140 s (1400 m/s). HTP drev också en turbopump för huvudmotorerna och hjälpkraftenheterna (APU). Ytterligare tankar för helium och flytande kväve utförde andra funktioner. Flygkroppens inre spolades med heliumgas och flytande kväve användes som kylvätska för olika system.



Kilstjärt för hypersonisk stabilitet

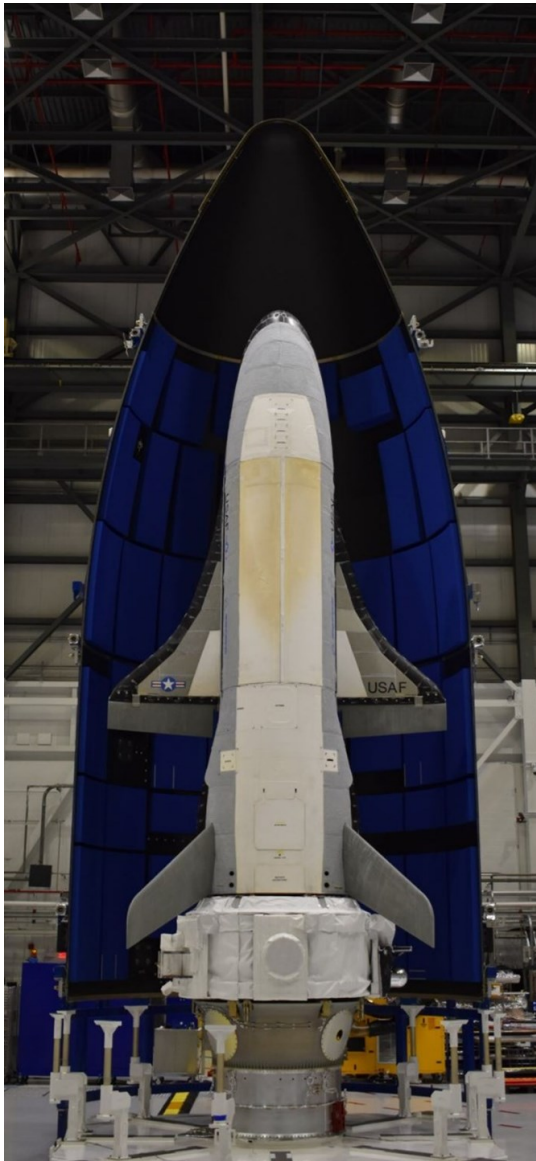
X-15 hade en tjock kilstjärt för att göra det möjligt att flyga på ett stadigt sätt i hypersoniska hastigheter. Detta gav en betydande mängd basmotstånd vid lägre hastigheter. Den trubbiga änden på baksidan av X-15 kunde producera lika mycket motstånd som en hel F-104 Starfighter.

En kilform användes eftersom den är effektivare än den konventionella stjärten som en stabiliserande yta vid hypersoniska hastigheter. En vertikal stjärtyta motsvarande 60 procent av vingytan krävdes för att ge X-15 tillräcklig rikttningsstabilitet (Wendell H. Stillwell, X-15 Forskningsresultat (SP-60)).

Stabiliteten vid hypersoniska hastigheter underlättades av sidopaneler som kunde förlängas från stjärten för att öka den totala ytan, och dessa paneler fördubblades som luftbromsar.

Den 15 november 1967 dödades den amerikanska flygvapnets testpilot major Michael J. Adams under X-15 Flight 191 när X-15 -3, AF Ser. No. 56-6672, gick in i en hypersonisk snurr medan den sjönk och sedan svängde våldsamt när aerodynamiska krafter ökade efter återinträde. Eftersom hans flygplans flygkontrollsystem manövrerade kontrollytorna till sina gränser, byggdes accelerationen upp till 15 g vertikalt och 8 g i sidled. Flygplanet bröt isär på 18 km höjd och spred X-15: s vrakdelar över 130 kvadratkilometer. Den 8 maj 2004 restes ett monument nära Johannesburg, Kalifornien.

Så även med raketdrift utan luftintag är riskerna stora för okontrollerad flygning.



Boeing X-37, även känd som **Orbital Test Vehicle (OTV)**, är en återanvändbar robotfarkost. Den lyfts upp i rymden av en lanseringsfarkost, återgår sedan till jordens atmosfär och landar som ett rymdplan.

X-37 drivs av United States Space Force för rymdfärder i omloppsbana och syftar till att demonstrera återanvändbar rymdteknik. Det är ett 120-procentigt skalat derivat av den tidigare

Boeing X-40. X-37 började som ett NASA-projekt 1999, innan den överfördes till USA: s försvarsdepartement 2004. Fram till 2019 hanterades programmet av Air Force Space Command.

[X-37B lands following 2nd Flight - Bing video](#)

En X-37 flög först under ett droptest 2006. Dess första rymdflygning lanserades i april 2010 på en Atlas V-raket och återvände till jorden i december 2010. Efterföljande flygningar förlängde gradvis uppdragets varaktighet och nådde 780 dagar i omlopp vid det femte uppdraget, det första som lanserades på en Falcon 9-raket. Det senaste uppdraget, det sjätte, sköts upp på en Atlas V den 17 maj 2020 och avslutades den 12 november 2022 och nådde totalt 908 dagar i omloppsbana.

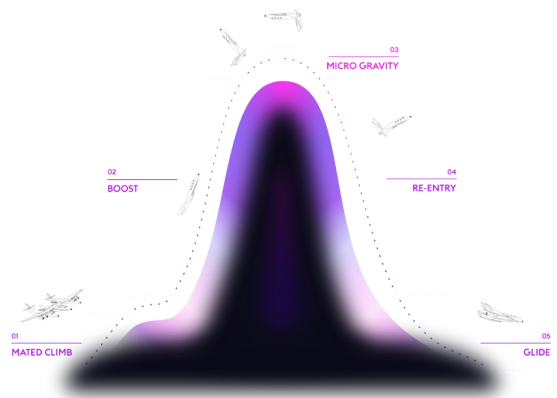


VSS Unity (Virgin Space Ship Unity, registrering: N202VG), tidigare kallad VSS Voyager, är ett suborbitalt raketdrivet rymdflygplan av SpaceShipTwo-klass. Det är den andra SpaceShipTwo som byggts och är en del av Virgin Galactic-flottan. Den nådde först rymden enligt definitionen av USA (över 50 miles eller 80,5 km) den 13 december 2018 på VP-03-uppdraget.

Unity kan nå rymden enligt definitionen av US Air Force, NASA och FAA genom att gå över 50 miles (80,5 km) över havet. Den kan dock inte gå över Kármán-linjen, FAI: s definierade rymdgräns på 100 km.

VSS Unity rullades ut den 19 februari 2016 och slutförde markbaserad systemintegrationsprov i september 2016 före den första flygningen den 8 september 2016. Den är raketdriven upp till Mach 3,2 på 86 km höjd och flöjlar bakkroppen för att skapa en stabil färd ned igen.

[Home | Virgin Galactic](#)



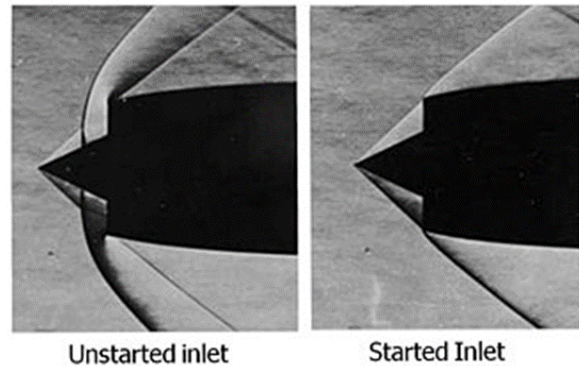


SR-71: Lockheeds tidigare spaningsflygplan var den relativt långsamma U-2, designad för Central Intelligence Agency (CIA). I slutet av 1957 kontaktade CIA försvarsentreprenören Lockheed för att bygga ett oupptäckbart spionplan. Projektet, som hette Archangel, leddes av Kelly Johnson, chef för Lockheeds Skunk Works-enhet i Burbank, Kalifornien. Arbetet med projekt Archangel började under andra kvartalet 1958, med målet att flyga högre och snabbare än U-2. Av elva på varandra följande designers som utarbetades under en period av tio månader var "A-10" den främsta. Trots detta gjorde dess form den sårbar för radar detektering. Efter ett möte med CIA i mars 1959 modifierades designen för att få en 90% minskning av radartvårsnittet. CIA godkände ett kontrakt på 96 miljoner dollar för Skunk Works för att bygga ett dussin spionplan, med namnet "A-12", den 11 februari 1960. Nedskjutningen av Francis Gary Powers U-2 1960 underströk flygplanets sårbarhet och behovet av snabba spaningsflygplan som A-12.

A-12-efterföljaren SR-71 designades för flygning över Mach 3 med en flygbesättning på två i tandemcockpit, med piloten i den främre cockpiten och spaningssystemofficeren som driver övervakningssystemen och utrustningen från den bakre cockpiten och styr navigering på uppdragets flygväg. SR-71 designades för att minimera dess radartvårsnitt, ett tidigt försök till smygdesign. Färdiga flygplan målades mörkblå, nästan svarta, för att öka utsläppen av inre värme och för att fungera som kamouflage mot natthimlen. Den mörka färgen ledde till flygplanets smeknamn "Blackbird".

På framsidan av varje inlopp låstes en spetsig, rörlig inloppskon som kallades en "spik" i sitt fulla framåtläge på marken och under subsonisk flygning. När flygplanet accelererade förbi Mach 1.6 flyttade en intern jackskruv spetsen upp till 26 tum (66 cm) inåt, riktad av en analog luftinloppsdator som tog hänsyn till pitotstatiskt system, stigning, roll, yaw och angreppsvinkel. Att flytta spikspetsen drog chockvågen som skapades av den närmare inloppskonens något in i inloppet. Denna position skapade ett antal sneda stötar av spikens mittkropp och inloppets formade insida och minimerade luftflödesspill (luft som inte sugas in i motorn). Luften bromsades supersoniskt med en sista rak stöt vid ingången till en subsonisk diffusor.

Nedströms denna raka stöt är luften subsonisk. Den saktar in ytterligare i den divergerande kanalen för att ge önskad hastighet vid ingången till kompressorn. Fångst av planets stötvåg i inloppet kallas "att starta inloppet". Avluftningsrör och bypassdörrar konstruerades i inlopps- och motorgondolerna för att hantera en del av detta tryck och för att placera den slutliga stöten så att inloppet kunde förbli "startat".



Schlieren flow visualization at unstart of axisymmetric inlet at Mach 2

Under de första åren kunde de analoga datorerna inte alltid hålla jämna steg med den snabbt föränderliga flygmiljön. Om det inre trycket blev för stort och spetsen var felaktigt placerad kunde stötvågen plötsligt blåsa ut framsidan av inloppet, kallat en "inlopps unstart". Under unstarts var efterbrännkammarsläckningar vanliga. Den återstående motorns asymmetriska dragkraft kunde få flygplanet att gira våldsamt åt sidan. Autopilot och manuella styrimpulser skulle bekämpa girningen, men ofta kom den extrema girmanövern att minska luftflödet i motsatt motor och stimulera "kompressorumpningar". Detta genererade en snabb motgirning, ofta i kombination med höga "bankande" ljud och en skumpig åktur under vilken besättningarnas hjälmar ibland kunde slå i cockpittaket.

Ett svar på en unstart av ett inlopp var att "starta om" båda inloppen för att förhindra girning. Efter vindtunnelprovning och datormodellering av NASA Drydens testcenter installerade Lockheed en elektronisk kontroll för att upptäcka unstartförhållanden och utföra denna återställningsåtgärd utan pilotintervention. Under felsökning av unstartproblemet upptäckte NASA också att virvlarna från "nose chines" kom in i motorn och störde motorns effektivitet. NASA utvecklade en dator för att styra motorns bleed doors som motverkade detta problem och förbättrade effektiviteten. Från och med 1980 ersattes det analoga inloppsstyrsystemet av ett digitalt system, vilket minskade antalet unstarts.

Svenska flygvapnets stridspiloter har lyckats låsa sin radar på en SR-71 vid flera tillfällen inom skjutavstånd. Målbelysningen upprätthölls genom att mata målplatsen från markradar till eldledningsdatorn i JA 37 Viggen. Den vanligaste platsen för lock-on var den tunna sträcka av internationellt luftrum mellan Öland och Gotland som SR-71:orna använde på sina returflygningar.

SR-71 hade ett antal flygningar där flödet in till en motor stördes. Sommaren 1984 var den kallaste delen av kalla krigets sista år, då båda sidor gjorde sitt bästa för att hålla koll på varandra. För besättningen på SR-71 Blackbird nr 61-7974, som flög på 83 000 fot utanför Nordnorge, var himlen mörkt purpurblå. De ljusare stjärnorna var synliga, och jorden långt nedanför gav ingen indikation på deras hastighet. Efter sin sista tankning klättrade "974" tillbaka till höjd och gjorde en lång 270-graders sväng för att förbli väster om ön Novaya Zemlya. Piloten Joseph E. Matthews drev gasreglaget framåt och den enorma svarta pilen accelererade mot sin operativa hastighet på Mach 3,2.

Sittande i en separat cockpit bakom Matthews kontrollerade spaningssystemoperatören (RSO) Curt Osterheld sin ASARS-1-bildradar när Kolahalvön, nu synlig i fjärran, växte sig större. Atlantic Command var extremt intresserad av att hålla reda på den sovjetiska flottans Typhoon-klass ubåtar baserade i Murmansk. Under tiden lät radarvarningsmottagaren Osterheld veta att radarn som kontrollerade Murmansks SA-5-missiler "målade" hans Blackbird.

Vid denna tidpunkt var 974 i internationellt luftrum och fungerade enligt Peacetime Aerial Reconnaissance Programs (PARPRO) regler för engagemang, vilket krävde att rekognoseringsflygningar skulle göras längs samma kurs på samma höjd varje gång. Den snabba, högtflygande Blackbird hade av vissa ansetts som omöjlig att fånga, men en SA-5 - den största och mest kraftfulla av sovjetiska luftvärnsmissiler - skulle inte ha några problem att nå den. Även en nära miss skulle skapa ett skräpfält som var tillräckligt stort för att äventyra SR-71. Lyckligtvis använde sovjeterna Blackbird som en träningsmöjlighet för sina operatörer snarare än ett faktiskt mål.

Osterheld övervakade sin utrustning när de närmade sig sin närmaste punkt till Murmansk. Precis när han registrerade att en annan sovjetisk radar hade börjat följa dem, bröt helvetet lös. "Flygplanet girade åt höger så långt och så snabbt att det kändes som om det gick i sidled!" sa Osterheld. SR-71:s högra motor hade just upplevt en "unstart".

Under accelerationen dras de rörliga konerna, eller spikarna i intagen på Blackbirds två Pratt & Whitney J58-motorer in i inloppskåpan. När flygplanet når maximal hastighet, med spikarna helt indragna, minimeras stötvågspillet som orsakar turbulens över de yttre nacellerna och vingarna, medan stötvågen från själva spetsen reflekteras mellan spikkroppen och inloppets inre, vilket saktar ner den inkommande luften. När trycket byggs upp inuti inloppet öppnas avluftningsrör och bypassdörrar för att hantera det och placera den sista stötvågen så att inloppet förblir "startat". Luft som komprimeras genom interaktionen mellan inlopp och stötvåg avleds sedan direkt till efterbrännkammaren, där den blandas med bränsle och bränns i vad som i huvudsak är en ramjet, vilket ger upp till 70 procent av flygplanets dragkraft i hastighet.

Men om det inre trycket inuti J58-intaget blir för stort blåser stötvågen plötsligt ut framsidan av inloppet. Under en insugningsstart registrerar datorn som styr spetsen bristen på tryck och svarar genom att flytta spetsen framåt till subsonisk flygposition. Luftflödet stannar omedelbart, dragkraften sjunker och avgasttemperaturen stiger.

I den främre cockpiten visste Matthews att deras enda hopp om att undvika katastrof var att starta den vänstra motorn och sedan försöka starta om båda i luften. Eftersom dragkraften dog i vänster J58 startade den också. "Det var som om vi träffade en vägg, inbromsningen var så skarp och så snabb", minns Osterheld.

Utan ström hade den stora Blackbird glidförhållande som en tegelsten. "Vi gick nästan rakt ner", sa han. Under dem var det isiga vattnet i Barentshavet. När 974 föll som en sten gick larm vid det sovjetiska luftförvarshögkvarteret och vid Natos radarplatser i Norge efter flygningen.

"Joe försökte automatisk omstart tre gånger och fick ingenting", minns Osterheld. Vi var nära att skjuta ut oss när han lyckades få motorerna att tända manuellt. Båda männen trycktes ned i sina säten av g-kraften i när de planade ut efter att ha fallit till 18 000 fot på mindre än två minuter. De hade undvikit att gå med nosen före i havet, men nu var frågan om de kunde ta sig hem.

"Vi hade inte bränsle för att försöka accelerera igen, vilket innebär att vi var tvungna att hålla oss nere lågt och vara subsoniska", sa han. SR-71 är mest effektiv vid högre hastigheter och höjder, eftersom flygplanet bränner nästan samma mängd bränsle för att flyga subsoniskt på låg höjd som det gör för att flyga i den övre stratosfären med hypersonisk hastighet när det gäller bränsle per körd kilometer. "Vi började ropa på stöd när vi gick söderut. Normalt, när vi skulle komma från en Barentskörning, skulle vi svänga sydväst och träffa tankflyget där vi hade lämnat dem utanför Norges västkust, men med vår bränsleförbrukning, vad den var nu, skulle vi vara korta med ett par hundra kilometer om de inte kunde komma för att möta oss. Vi funderade på att försöka lägga till på Bannock eller till och med Bodø flygfält i Norge, men det såg inte ut som om vi hade bränsle för att komma dit heller, än mindre ha tillräckligt för att göra en landning.

Precis när Osterheld började spekulera i hur länge han kunde överleva i det iskalla vattnet nedanför, såg Matthews lufttankningsflyget KC-135Q. Vi hade mindre än 10 minuter kvar av bränslet när vi körde in för "refuel", säger han. Eftersom Blackbirds opererade över Europa från RAF Mildenhall i England, fortfarande flera hundra mil söderut vid den tidpunkten, stannade 974 kvar med KC-135 under sin hemflygning och tankade så många gånger att tankfartyget var nära tomt när de landade.

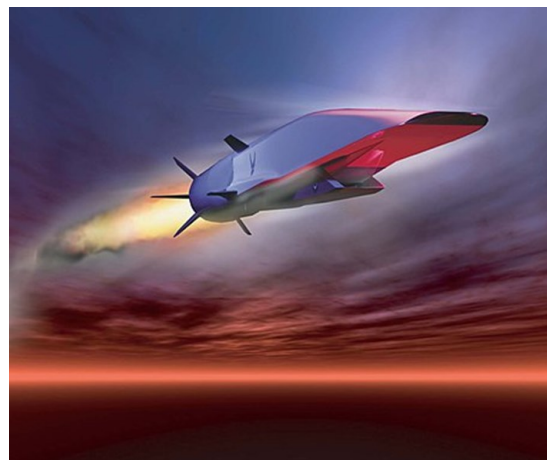
Besättningen på 974 var inte den första som upplevde en insugningsunstart, men ingen kunde förstå hur just detta missöde inträffade.



NASA X-43 var ett experimentellt obemannat hypersoniskt flygplan med flera planerade skalvariationer avsedda att testa olika aspekter av hypersonisk flygning. Det var en del av X-plan-serien och specifikt av NASAs Hyper-X-program. Det satte flera flyghastighetsrekord för jetflygplan. X-43 är det snabbaste jetdrivna flygplanet som registrerats med en flyghastighet i cirka Mach 9,6.

En bevingad boosterraket med X-43 placerad ovanpå, kallad en "stack", släpptes från en Boeing B-52 Stratofortress. Efter att boosterraketen (ett modifierat första steg i Pegasus-raketen) förde stacken till målhastigheten och höjden, släpptes den och X-43 flög fritt med sin egen motor, en scramjet.

Det första planet i serien, X-43A, var en engångsfarkost, varav tre byggdes. Den första X-43A förstördes efter funktionsfel under flygning 2001. Var och en av de andra två flög framgångsrikt 2004 och satte hastighetsrekord, med scramjets i drift i cirka 10 sekunder följt av 10-minuters glidningar och avsiktliga kraschar i havet.



Boeing X-51 Waverider är ett obemannat experimentflygplan för hypersonisk flygning vid Mach 5 (3 300 mph; 5 300 km/h) och en höjd av 70 000 fot (21 000 m).

Flygplanet betecknades X-51 2005. Den genomförde sin första motordrivna hypersoniska flygning den 26 maj 2010. Efter två misslyckade testflygningar genomförde X-51 en flygning på över sex minuter och nådde hastigheter över Mach 5 i 210 sekunder den 1 maj 2013 för den längsta hypersoniska flygningen.

Waverider avser i allmänhet flygplan som utnyttjar det kompressionslyft, som bildas av de egna stötvågorna. X-51-programmet var ett samarbete mellan United States Air Force, DARPA, NASA, Boeing och Pratt & Whitney Rocketdyne. DARPA såg en gång X-51 som en språngbräda till Blackswift, en planerad hypersonisk demonstrator som avbröts i oktober 2008.

I maj 2013 planerade det amerikanska flygvapnet att tillämpa X-51-tekniken på High Speed Strike Weapon (HSSW), en missil som liknar X-51. HSSW förväntades flyga 2020 och tas i bruk i mitten av 2020-talet. Det skulle ha en räckvidd på 500–600 nautiska mil (930–1 110 km), flyga vid Mach 5–6 och passa i en F-35 eller i den inre bombtrummet på ett B-2-bombplan.

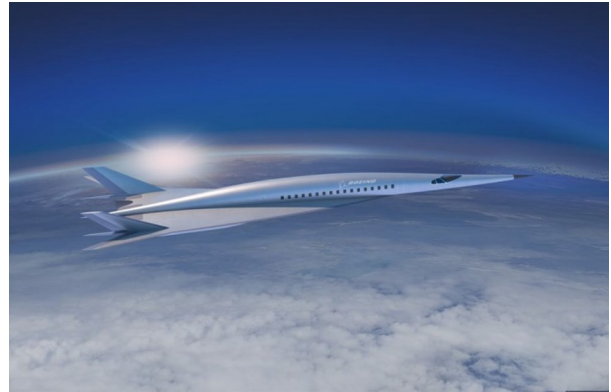
Den första motordrivna flygningen av X-51 var planerad till 25 maj 2010, men närvaron av ett lastfartyg som färdades genom en del av Naval Air Station Point Mugu Sea Range orsakade en 24-timmars försening. X-51 genomförde dock sin första motordrivna flygning framgångsrikt den 26 maj 2010. Den nådde en hastighet av Mach 5 (5300 km/h), en höjd av 21000 m och flög i över 200 sekunder; Det uppfyllde dock inte den planerade flygtiden på 300 sekunder. Testet hade den längsta hypersoniska flygtiden på 140 sekunder under sin scramjet-kraft. X-43 hade den tidigare längsta flygbrinntiden på 12 sekunder, samtidigt som den satte ett nytt hastighetsrekord på Mach 9,68.

Ytterligare tre provflygningar planerades och använde samma flygbana. Boeing föreslog Air Force Research Laboratory (AFRL) att två provflygningar skulle läggas till för att öka det totala antalet till sex, med flygningar som äger rum med fyra till sex veckors intervall, förutsatt att det inte fanns några fel.

Den andra provflygningen var ursprungligen planerad till den 24 mars 2011, men genomfördes inte på grund av ogynnsamma förhållanden. Flygningen ägde rum den 13 juni 2011. Flygningen över Stilla havet slutade dock tidigt på grund av en inloppsstart efter att ha ökat till Mach 5-hastighet. Flygdata från testet undersöktes. En B-52 släppte X-51 på en ungefärlig höjd av 15 000 m. X-51: s scramjetmotor tändes på eten, men övergick inte ordentligt till JP-7-bränsledrift.

Den tredje provflygningen ägde rum den 14 Augusti 2012. X-51 skulle göra en 300-sekunders (5 minuter) experimentell flygning med hastigheter på Mach 5 (5300 km/h). Efter att ha separerat från sin raketförstärkare förlorade farkosten kontrollen och kraschade i Stilla havet. Air Force Research Laboratory (AFRL) bestämde att problemet var att X-51: s övre högra aerodynamiska fena var uppläst under flygningen och okontrollerbar. Alla fyra fenorna behövs för aerodynamisk kontroll. Flygplanet tappade kontrollen innan scramjetmotorn kunde antändas.

Den 1 maj 2013 utförde X-51 sitt första helt framgångsrika flygprov på sin fjärde provflygning. X-51 och boostern släpptes från en B-52H och flögs till Mach 4.8 (5100 km/h) av booster-raketen. Den separerade sedan från boostern och antände sin egen motor. Provflygplanet accelererade sedan till Mach 5.1 (5400 km/h) och flög i 210 sekunder tills bränslet tog slut och den störtade i Stilla havet utanför Point Mugu efter över sex minuter av total flygtid; Detta prov var den längsta lufttandande hypersoniska flygningen. Forskare samlade telemetridata från 370 sekunders flygning. Provet innebar slutförandet av programmet. Air Force Research Laboratory tror att den framgångsrika flygningen kommer att fungera som forskning för praktiska tillämpningar av hypersonisk flygning, såsom en missil, spaning, transport och i första steget för ett rymdsystem.



Boeing Valkyrie II är en utveckling av Boeings 2018-koncept, kallat Valkyrie, för ett hypersoniskt passagerarflygplan som kan resa mellan London och New York på bara två timmar. Det hypersoniska konceptet drar jämförelser med Lockheed Martins eget SR-72-projekt, vilket skulle vara den bokstavligen efterföljaren till sin SR-71 Blackbird.



Lockheed Martin SR-72, som ryktas vara världens snabbaste plan, förväntas göra en provflygning 2025, åtta år efter sitt privata förslag 2013.

SR-72 kommer att bli efterföljaren till SR-71 Blackbird, det snabbaste bemannade flygplanet som slog hastighetsrekord 1974 och pensionerades av det amerikanska flygvapnet redan 1998. SR-72, eller "Son of Blackbird" är tänkt som ett obemannat, hypersoniskt och återanvändbart, spanings-, övervaknings- och attackflygplan. Flygplanet kommer enligt uppgift att stödja Lockheed Martins nya High-Speed Strike Weapon (HSSW). Flygplanets stridsförmåga gör det möjligt att träffa sitt mål i farliga miljöer som anses riskabla för långsammare bemannade flygplan.

I den senaste Top Gun filmen visades en modell som Lockheed Martin byggt åt filmstudion nedan.





Hermeus "Quarterhorse"

"Det Hermeus föreslår är inte riskfritt". Vi inser det, säger överstelöjtnant Joshua Burger från flygvapnets president- och verkställande flygtransportdirektorat. Överstelöjtnant Burger pratar om den hypersoniska drönaren, som det Atlanta-baserade hypersoniska framdrivningsföretaget Hermeus bygger, och USAF: s investering på 60 miljoner dollar i den.

Hermeus slutliga mål är att utveckla ett Mach 5 hypersoniskt kommersiellt plan, som kan transportera 20 passagerare från New York till Paris på 90 minuter, jämfört med de sju och en halv timme det vanligtvis tar idag. Företaget säger att det kommer att flyga det flygplanet 2029. Men först kommer det att arbeta med att utveckla och flyga en obemannad, återanvändbar hypersonisk drönare som heter "Quarterhorse" för flygvapnet.

Se tvåmotoriga ramjet drivna Darkhorse nedan.

De har en något annorlunda inställning till hypersonisk flygning än Mayhem, och utnyttjar en ramjet snarare än en scramjet i sin kombinerade cykelmotor. Detta minskar inte bara den tekniska huvudvärk som är förknippad med hypersonisk flygning, men det minskar också dramatiskt kostnaden.



Sammanfattningsvis så är riskerna med att flyga i dessa hastigheter stora. Därför är flermotoriga hypersoniska civila flygplan inte realistiska med dagens teknologi ty även med datastyrda rörliga inlopp blir riskerna mycket höga.

För att minska riskerna för militära operationer så kan man ha endast en motor centrumplacerad som Quarterhorse ovan för att minska girmoment vid motortfall eller inlet unstart. Man kan ha redundans i styrning av inlopp, motorstyrning och utlopp. Med redundans i sensorer, datorer och elmanöverdon (actuators). Man kan styra placering av lyftkraftscentrum vs. masscentrum vid hypersoniska hastigheter samt ned till landning via trimtankar. Man kan ha stora mängder luftventiler i inloppet, "bleed ventiler" som kan säkerställa stabilt inflöde i motorn för att kompensera eventuella tryckhöjningar i motorinloppet pga motorns operation.

Vid dessa hastigheter riskerar man upphettning av luften så att plasma skapas och detta är svårt att beräkna samt stör kommunikationen med planet (samma problem har rymdraketer som går i dessa hastigheter).

Det finns få vindtunnlar där man kan prova dessa modeller med goda resultat, men dagens superdatorer med avancerade beräkningsprogram tar oss en bra bit på vägen. Sverige hade en hypersonikvindhövel för missiler under lång tid på FFA innan den monterades ned och såldes till främmande makt för deras hypersonikprogram.

Kan man då med motmedel stoppa en scramjetdriven missil? I teorin om motorn suger i sig ett ämne med snabb förbränning och stor energi som magnesiumpulver eller liknande så kommer det snabbt att förbrännas och öka trycket där förbränning sker. Om då motorns reglersystem samt insugets reglersystem ej hinner kompensera tryckökningen så kan en unstart skapas och motorn snabbt tappa dragkraft. Speciellt om det sker i ett av flera insug så skapas ett girmoment som kan bryta sönder missilen av dess aerodynamiska krafter.

Det gäller då att ha is i magen och låta missilen komma tillräckligt nära innan man dumpar metallspån som man då beräknar att den scramjet drivna missilen ska suga i sig.