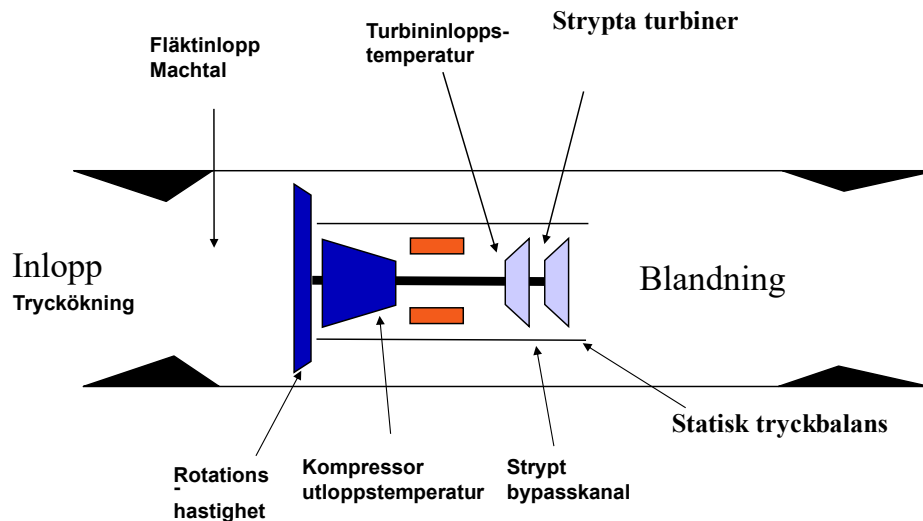


Med Ram och Scram mot höga hastigheter

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



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

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

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



René Lorin

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

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



Leduc 010

Ram och Scram

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

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

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

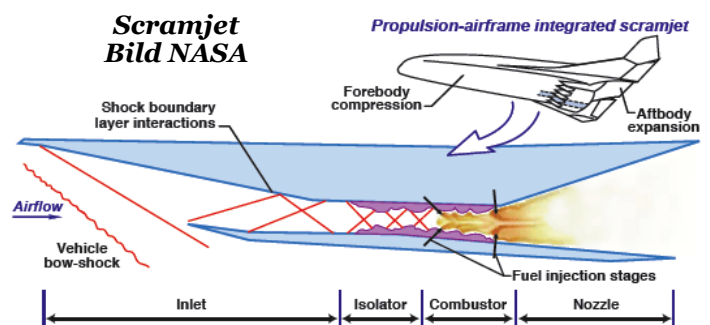
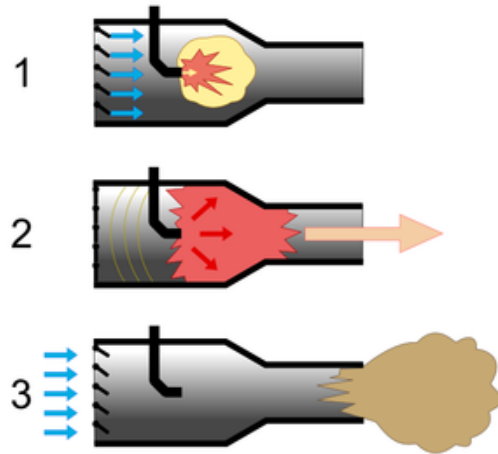
Detta kan undvikas om förbränningen fås att äga rum genom detonation, som fortsätter vid överljudsfart, i stället för explosion, vilket är en subsonisk process. Detta är pulsdetonationsmotorn (PDE). Sådana PDE har utvecklats av flera kommersiella företag och statliga laboratorier.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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



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