

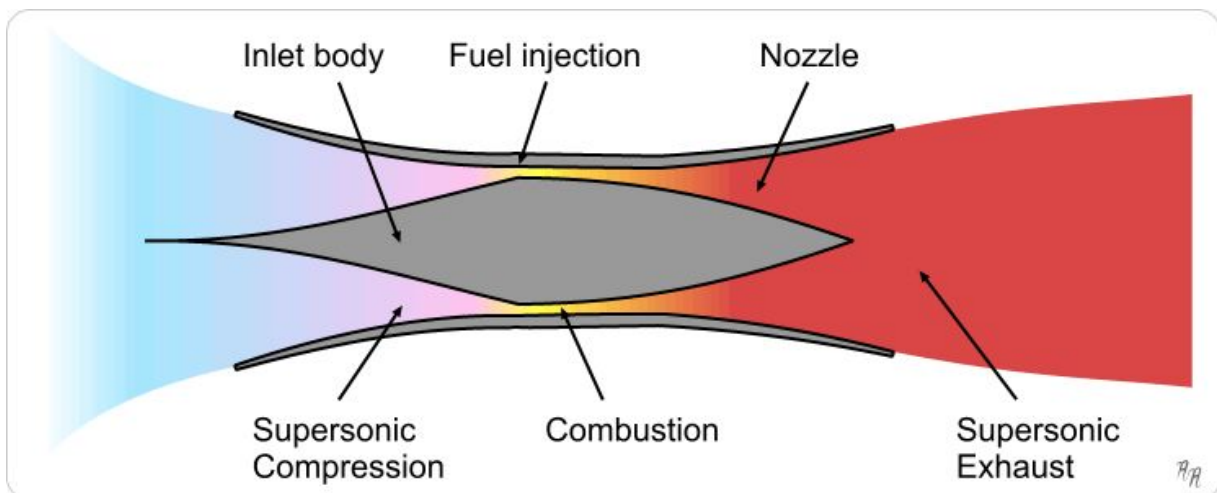
## A hiperszonikus repülőgépek és szívük – a Scramjet

Mára a gázturbinás sugárhajtóművek kezdik elérni (jelenlegi formájukban) lehetőségeik határait, így a leváltásukra irányuló kutatások évről-évre nyernek mind jelentősebb teret. Habár több elképzelés is létezik a továbblépésre szolgáló hajtóművek működési elvét illetően, most az egyik legígéretesebb és egyben legmegvalósíthatóbb verzióval, a Scramjettel foglalkoznék, illetve magukkal a gépekkel, melyeket majdan ezekkel szándékoznak meghajtani.

Az ugrás valószínűleg lesz akkora, mint a dugattyúsmotoros-légcsavaros gépekről a gázturbinás sugárhajtásúakra való áttérés volt – mind technikailag, mind alkalmazási dimenziókban. E hajtóművek ugyanis képesek a hiperszonikus (6 Mach-nál nagyobb sebesség) tartományba eljutni, sőt tulajdonképpen csak ott lépnek működésbe – jelenleg éppen ez a legnagyobb gond alkalmazásuk terén.

### Az alapok

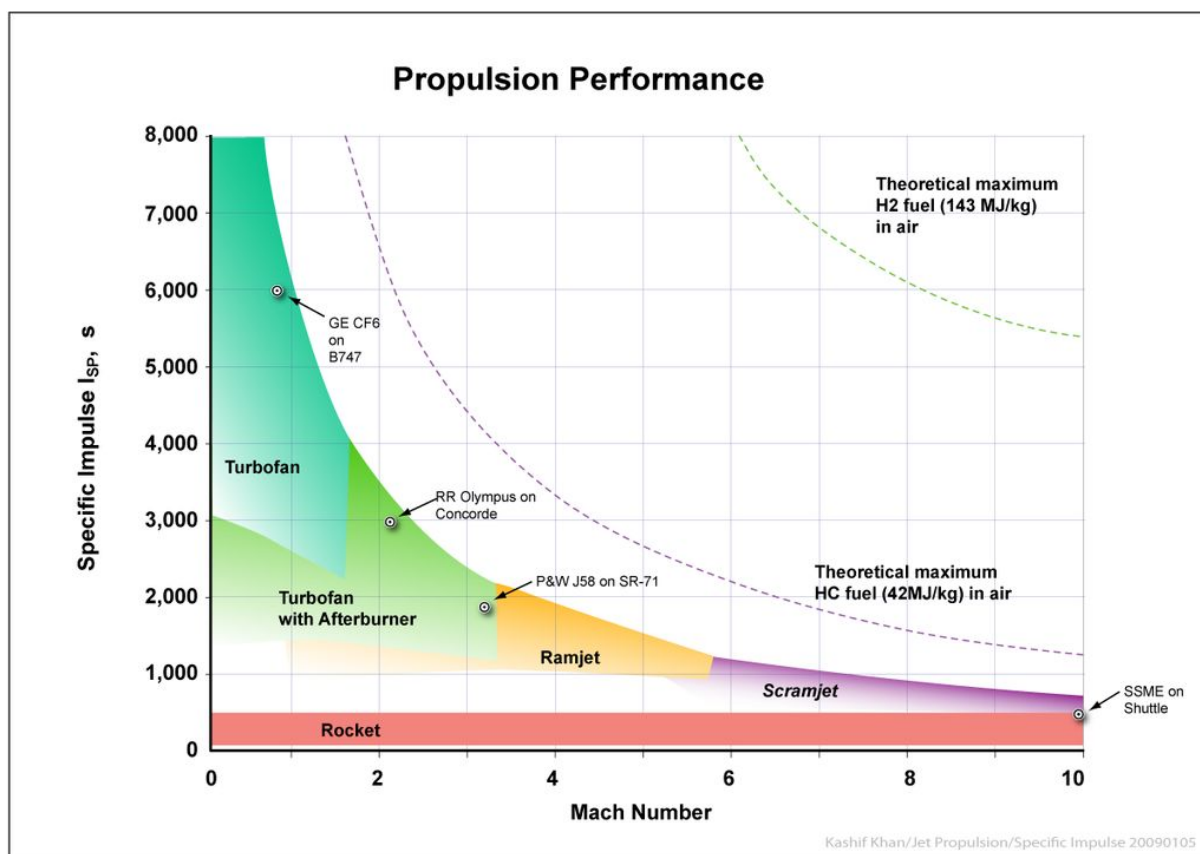
Miről is van szó? A Scramjet hajtómű tulajdonképpen egy igen egyszerű szerkezet, hiszen nincsenek benne mozgó alkatrészek. Lényegében egy cső, ami adott hosszon beszűkül, ahol az így besűrűsödött levegőbe keverik az üzemanyagot, amit aztán begyűjtanak. Éppen emiatt indul csak be 4 Mach felett, hiszen nem maga a hajtómű szívja be a levegőt a kompresszor által, mint a gázturbinás sugárhajtóművek (ezért tudnak azok álló helyzetben, nulla légáramlatban is működni), hanem a haladása folyamán préselődik át rajta, és nagyjából ezen a sebességen jön létre a kritikus sűrítés a szűkületben. Ebből következik, hogy a rakétahajtóművekkel szemben hatalmas előnyt élvez, hiszen nem kell magával cipelni az égéshez szükséges folyékony oxigént – viszont éppen emiatt csak légkörben használható.



Egy Scramjet. Érdekes megfigyelni az átáramló levegő milyen szűk keresztmetszeten préselődik át és mindezt 6 Mach fölött – el lehet képzelni a kialakult nyomást és súrlódást!

Na persze ennek ára van, mégpedig az, hogy a hajtóműben eszméletlen magas hőmérséklet és nyomás uralkodik. Habár a ma használatos ötvözetek valamennyire már kibírják ezeket az állapotokat, egyelőre több a kompromisszum, mint a megvalósítható ötlet. Mivel ezek a leggyorsabb, külső oxigént használó hajtóművek, eddig nem is nagyon volt szükség fejlesztésükre, mivel mostanáig az egy kategóriával lassabb Ramjetek is kielégítették a jelentkező igényeket.

Ez a technológia meglepő módon nem új, már a II. Világháború előtt is foglalkoztak ilyen hajtóművekkel. Például hazánkból Fonó Albert a már említett Ramjettel, ami ennek a hajtóműnek a kistestvére és szerkezetileg valamelyest eltér, főleg áramlástan szempontból (lelassul benne az áramlás hangsebesség alá), de 5 Mach-ig gond nélkül felgyorsulhat. Ramjet-et egyébként ma is széleskörűen használnak sok rakétafajtánál, elsősorban SAM-ek esetében, mint az orosz SA-4, vagy éppen a Sea Dart. Az elv egyszerűsége azonban csak látszólagos, mivel ilyen sebességeknél már olyan vibráció és nyomás lép fel, melynek modellezéséhez szuperszámítógépekre van szükség – e nélkül még kicsinyített próbadarabokat sem lehetne építeni. Másik nagy akadály volt a kezdetektől fogva, hogy ilyen sebességű szélcsatornáról álmodni sem lehetett, így nem kezdhettek részletes kutatásokba. A NASA egyébként éppen emiatt készített ember nélküli modelleket, mivel a mérnökök tudták, az ilyen tesztekhez szükséges körülményeket a földön reprodukálni szinte lehetetlen, vagy legalábbis nincs értelme.



Minek hol a helye a magasság és a sebesség függvényében.

## A NASA, az USAF meg az Auróra

A már említett NASA a légierővel karöltve alaposan vezet az ilyen irányú kutatások területén – hiszen több ország is folytat hasonló programokat. A kooperáció két részből áll: a fehér (publikus) és a fekete (titkos) részből. Az utóbbi számunkra az érdekes, mert míg a NASA a rakéták egyik alternatíváját keresi, addig a Légierő valami sokkal praktikusabbat – nevezetesen az SR-71 méltó utódját.

Amúgy a Blackbird leváltása és a hiperszonikus gépek kérdése az egyik legizgalmasabb összefonódott téma a titkos gépek terén. Az Auróra név régóta ott kering a katonai repülés köztudatában, de mivel tökéletesen titkos program, a világon semmit nem lehet tudni róla. Annyi ismert, hogy Nevadában megfigyeltek különös kondenzcsíkokat és sokan hallottak ismeretlen, teljesen egyedi hajtóműzajt – de sokkal meggyőzőbb az a tény, hogy az USAF kizárt, hogy egy olyan felderítési lehetőséget, mint az SR-71, pótlás nélkül kivont volna. Erről valószínűleg csak akkor kapunk hírt, ha a gépet már kivonták a rendszerből, vagy talán még akkor sem. Mindenesetre ennek a dolognak a oldalága lehet a most folyó, 2018-ig szóló terv, melyben az USAF egy új bombázóval akarja leváltani nehézbombázó flottáját. Ami gyanús, hogy a terv kissé alul van méretezve, és habár stratégiai bombázó, nem igazán interkontinentális bevetésekre szánt gépnek tűnik. A lényeg valahol itt rejtőzik, és mint több forrás is halványan utal rá (főleg az űrhadviseléssel kapcsolatban), valószínű, hogy az USAF a következő generációs nehézbombázót már a légkör peremén repülő, hiperszonikus fejlesztéssel képzelel el.

A B-52 számára a védelmet a nagy magasság jelentette, a B-1 számára az alacsony magasság és a nagy sebesség, a B-2 számára pedig a lopakodás volt a biztonság kulcsa. Szakértők véleménye szerint a jövő ezek kombinációja, vagyis egy nagy magasságú (80 km körül) és sebességű (10 Mach fölött) lopakodó gép, mely órák alatt a Föld bármely pontjára csapást mérhet. Egy ilyen gép fedélzetéről egyaránt megoldható az űrvédelem és rakétavédelem (lézerekkel) illetve a csapásmérés (kinetikus energiával romboló fegyverekkel). Utóbbihoz nem is kell robbanóanyag, ilyen magasságon és sebességnél kioldva egy dió méretű titángolyó (ami túvé deformálódik repülés közben) is képes összeomlasztani egy felhőkarcolót, akkora helyzeti és mozgási energiát kap.

Amúgy a légierő az Auróra mellett egy másik, hasonló tervet is dédelgetett – ez volt a Blackswift. Ez egy normál kifutópályáról fel- és ugyanoda leszállni képes eszköz lett volna, de bevetés közben 6 Mach sebesség folyamatos tartására is alkalmasnak kellett lennie. A tervet azonban tavaly törölték, aminek oka kevéssé ismert, de valószínűleg ez sem marad pótlás nélkül – a szakértők szerint az X-51 terv fogja ezt nem hogy megvalósítani, de alaposan túl is szárnyalni!

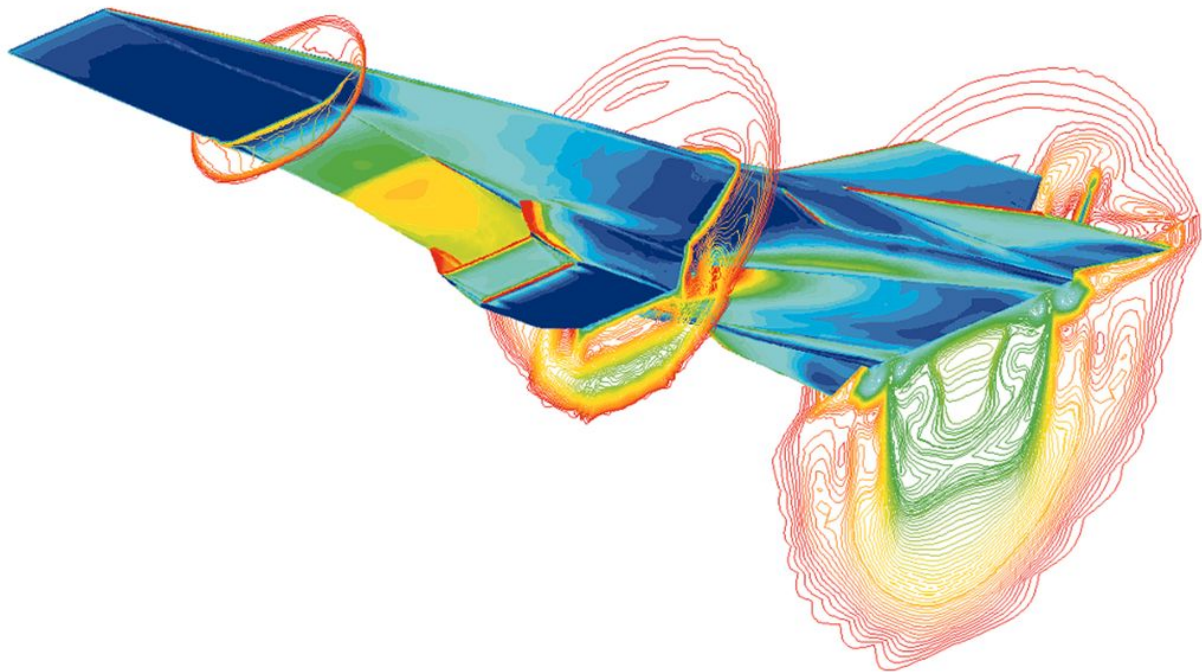
## **Mi a helyzet ma?**

Azért ne merüljünk el ennyire a lehetséges jövőbe, mivel már az is elég izgalmas, ami jelenleg kézzel fogható. Mint említettem, a NASA vezeti a mezőnyt a kutatások terén, egészen pontosan ők alkották meg az első, valóban repülőképes és mérésekre alkalmas hiperszonikus repülőgépet – ez lett az X-43. Habár ez még csak egy pilóta nélküli kis modell, képes volt tartósan (10 másodpercig) folyamatosan repülni, és előbb 7, majd a későbbi verzió 10 Mach sebességet elérni. Tervezik egészen 15 Mach sebességig felgyorsítani, amihez a X-43D verzió állhat rendelkezésre.

Az X-43 formára alig hasonlít átlagos repülőgépre, inkább egy vasalódeszka, apró szárnyakkal és egy lapos hajtóműgondolával az alján. Maga a test termel felhajtóerőt, az apró szárnyak egészen minimális mennyiségben. A szerkezetről sok információ nem került napvilágra, de ezek közül a hűtés igen érdekes. Mivel ilyen

sebességnél minden létező ötvözet megolvadna, így csak belső hűtéssel lehetséges a szilárdság fenntartása, ehhez víz cirkulációját használták fel. A jövőben természetesen ezt az üzemanyaggal végeznék, ami hidrogén vagy valami szénhidrogén lehet.

A több mint egy tonnás kis gépet a Pegasus indítórakéta orrára szerelték, ez gyorsította a hajtómű beindítására alkalmas sebességre, a kettőst pedig egy B-52 emelte a magasba. Maga a kísérlet természetesen a tenger felett zajlott és egyszeri alkalom volt – mivel az X-43 nem rendelkezett futóművekkel, így pusztulása a kezdetektől eltervezett volt. Hiperszonikus útja végeztével siklásban folytatta útját egészen a hullámokig. Ennek ellenére abban a néhány másodpercben, míg a félelmetes sebességen haladt, olyan elképesztő adatokkal látta el a kutatókat, melyek sokszorosán sikeressé tették a programot.



X-43A 7 Mach sebességnél.

Több verzió is megszületett, nézzük át ezeket:

**X-43A** – Az első, a 7 Mach elérésére tervezett példány. Habár az első teszt kudarcot vallott, a második már teljes sikert hozott, és új sebességi rekordot állított fel. A harmadik repülés alkalmával már 9.8 Mach sebességet ért el.

**X-43B** – Egy valódi méretű példány terve, melyet vagy rakétahajtómű (RBCC), vagy valamilyen gázturbina (TBCC) vinne fel egy Ramjet beindításáig (2.5 Mach körül), ami már a Scramjet alkalmazásáig emelné tovább a sebességet.

**X-43 C** – A HyTech (az USAF ilyen hajtóművekkel kapcsolatos programja) hajtómű tesztelésére tervezett példány, de megvalósítása hamar kétségessé vált.

**X-43D** – A 15 Mach elérésére tervezett példány. Rendkívül kevés információ áll rendelkezésre róla.

Az X-43 tehát első körben remekül teljesített, de még csak vegytiszta kísérleti gép volt. A továbblépés nem váratott sokáig magára.

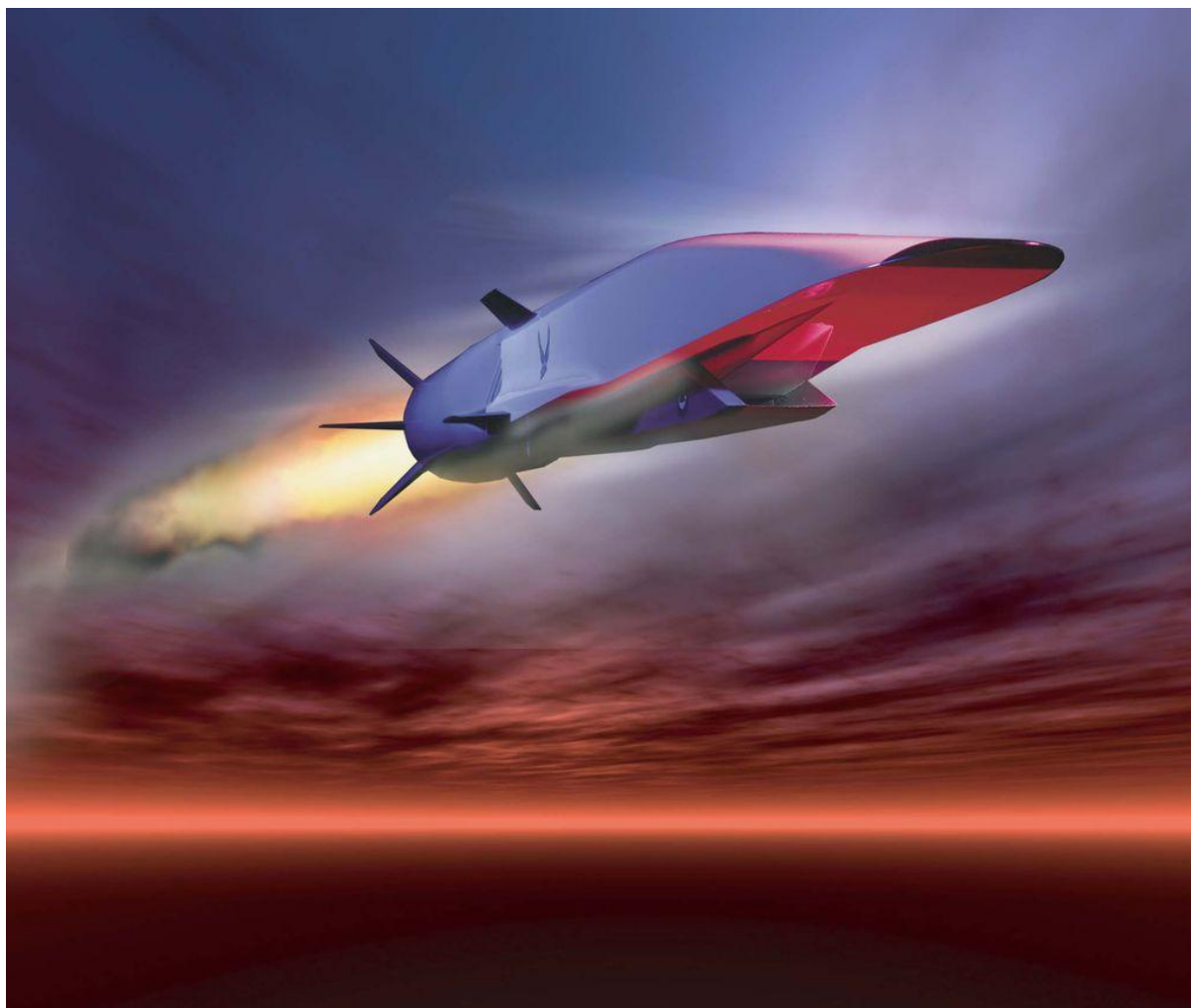


Egy fantáziarajz – amiben kevés mára a fantázia.

### Az újabb irány

Az USAF, a DARPA, a Boeing és a P&W fővállalkozásában már egy sokkal specifikusabb gép készült, melyet szintén Scramjet hajtott, de ezúttal már nem a további sebességnövelés volt a cél – hanem a gyakorlati alkalmazhatóság vizsgálata. Ez a program még csak most indul be, igazából nagyon keveset tudni róla, de annál többet várt tőle minden résztvevő – ez pedig az X-51 WaveRider.

Az **X-51** formára ugyan más, de alapelve ugyan az. Részegységeit már letesztelték, de a teljes rendszer repülésére még várni kell, az pedig hasonlóképpen fog megtörténni, mint az X-43A esetében. Ez is egy B-52-esről indított hordozórakéta orráról startol majd el, még hozzá idén decemberben – ha újabb változás nem történik. Az X-51-esen több aerodinamikai és szerkezeti megoldást tesztelnek, ezek jó része természetesen titkos, ám egy nagyon érdekes eredményt már nyilvánosságra hoztak.



A legújabb reménység, az X-51 – egyelőre keveset mutat magából.

Az X-51 ugyanis egyszerű JP-7-essel fog repülni, vagyis ugyanazzal a repülőüzemanyaggal, amivel a légierő gépei. A Scramjetekben általában mindig hidrogént vagy szénhidrogéneket használnak, mivel ezek igen jól égnek hiperszonikus áramlási viszonyok között is. Ám ezeket az üzemanyagokat igen veszélyes tárolni, ráadásul nagyon drága az előállításuk – vagyis rendszeres, üzemszerű használatra kevésbé alkalmasak. További hátrány, hogy ebből fajlagosan több szükséges – így egy ilyen repülőgépen nagyobb hidrogéntartályokra lenne szükség, ami természetesen lehetetlen (a normál JP-7 sűrűbb). Az X-51 azonban egy lépés a gyakorlatban is alkalmazható hiperszonikus technológia felé, tehát nem az X-43 teljesítményének felülmúlása a cél, hanem eredményeinek finomítása.

Másik előnye ennek a hajtóanyagoknak, hogy alacsonyabb sebességen lehet begyűjtani, aminek előnyei nem csak abban mutatkoznak meg, hogy sokkal egyszerűbb addig felgyorsítani, hanem hogy a turbinára kisebb terhelés jut beindításkor. Éppen ez az egyik kritikus pillanat a tervezők számára, mikor a szuperkompresszorált levegőbe bekeverik az üzemanyagot és az begyullad – a robbanás ugyanis annyira intenzív, hogy jelenleg órákra korlátozza a hajtómű élettartamát. A hőmérséklet a másik, bár nem akkorra probléma, ráadásul még előnye is van. Ilyen sebességnél ugyanis már be sem kell gyűjtani a tüzelőanyagot –

az önmagát lobbantja be. Amennyiben ezt a begyújtási kezdősebességet le lehetne csökkenteni 3-3.5 Mach körülire, azzal kettős eredményt érnének el. Egyrészt a turbinára eső indítási nyomásnövekedés alaposan lecsökkenne, másrészt eddig akár egy jobb gázturbinával is fel lehetne gyorsulni – így a gépből a köztes Ramjet is kihagyható lenne. A légiertők között ezt is vizsgálja majd az X-51-esen, habár elsőre még ez is a tengerben fog landolni, akárcsak testvérei tették korábban.

## **A működés néhány problémájáról**

A Scramjet szerkezetébe nagyon mélyen nem mennék bele, mivel baromi bonyolult, képletekkel telepakolt elméleti fejtegetés az egész, csak néhány érdekesebb gondolatot szúrnák be ide. A Scramjet esetében a Mach-kúp alkalmazása szabályzás szempontjából nem jelent segítséget, mivel az égőtérben nincsenek örvények, az áramlás elvileg laminálisnak tekinthető. Emellett fontos, hogy a nyomás és a hőmérséklet az egész hajtómű hosszán azonos legyen – ha nő a hossz, ezt nehéz biztosítani.

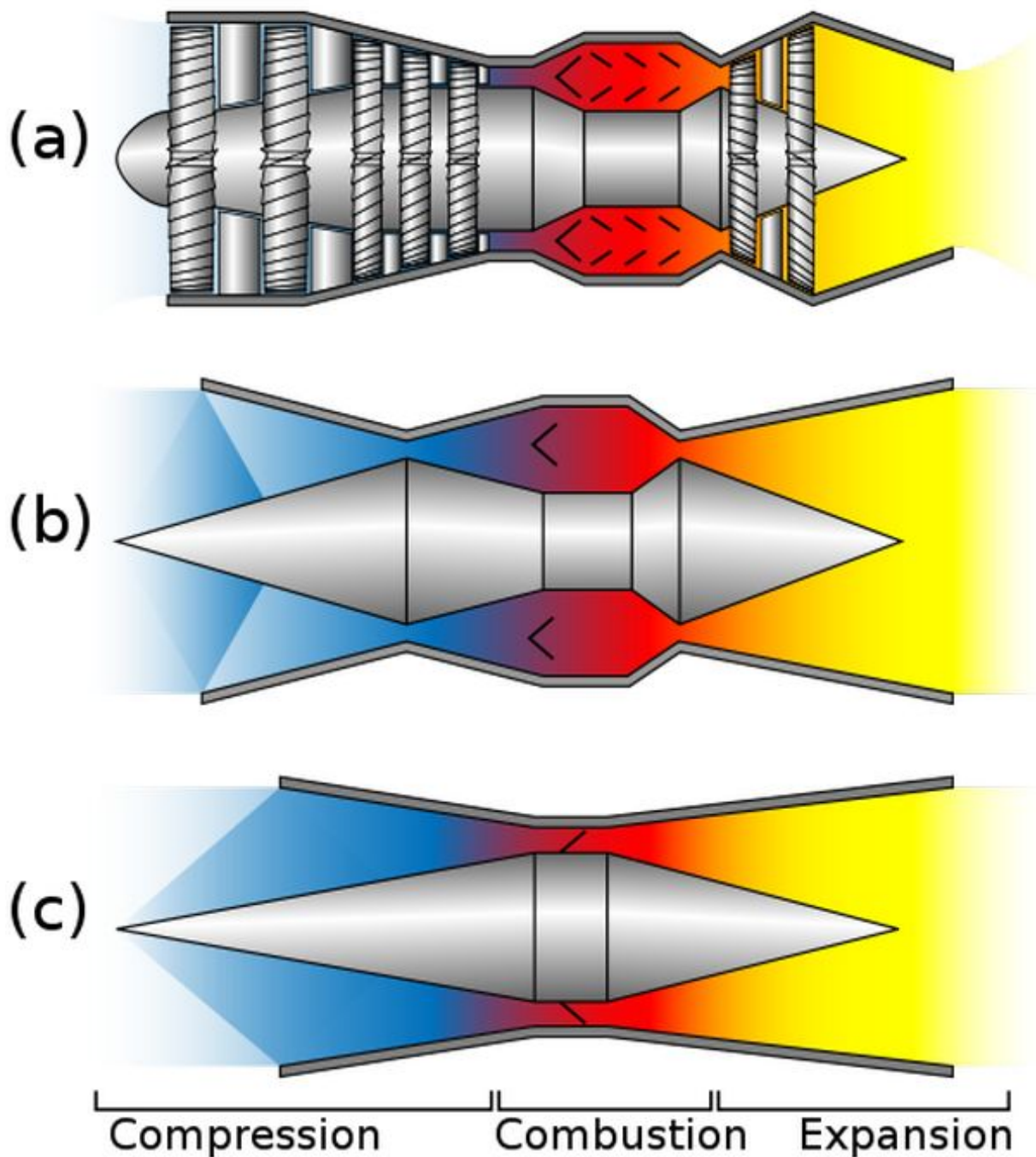
Márpedig a hajtóműnek bizonyos hosszra szüksége van, mivel a bekevert üzemanyagnak időre van szüksége az elégéshez – minél komplexebb az üzemanyag, annál több idő kell neki. Hiperszonikus áramlásba pedig idő erre alig van (éppen ez az említett X-51 egy másik célja, a nem hidrogén alapú üzemanyagokkal való teszt).

Az üzemanyag bejuttatása amúgy is trükkös, mivel oltári nagy nyomáson kell befecskendezni azonos sebességgel, ráadásul lényegében tökéletesen porlasztva, hiszen minél tökéletesebb égés a cél. Az előmelegítést megoldhatják azzal, hogy a hajtómű körül cirkuláltatják az üzemanyagot, de a nyomást vagy külön szivattyú, vagy a megfelelő fúvóka alkalmazásával valósíthatják meg.

Emellett létezik még egy másik megoldási lehetőség is a minimális indítási sebesség leküzdésére. A hajtóműnek kell egy adott kompresszió és hőmérséklet (hogy égjen az üzemanyag), ráadásul a hőlengés sem lehet nagy, mert az a gáz áramlásában olyan kiegyenlítetlenséget okozhat, mely által lökéshullámok indulnak el az égőtérben és a hajtómű felrobban.

Emiatt foglalkoznak az olyan szerkezeti megoldással, mely egyfajta átmenetet képezne a Ramjet és a Scramjet között – így alacsonyabb és magasabb sebességtartományban is egyaránt használható lenne.

Mivel azonban ez mozgó alkatrészeket igényelne, a Scramjet egyik nagy előnye veszne el – habár ha ezt valami áramló réteggel vagy más, nem szilárd felületű elkülönítéssel oldanák meg (például elektromágneses tér), a probléma áthidalható lehet.



Összehasonlítás (a) turbojet, (b) ramjet, and (c) scramjet

### Ahol a jövő elkezdődött

Az űrkutatási célok egyértelműek és nemesek – a jövőben a jelenleginél tízszer nagyobb terheket lehet az űrbe juttatni azonos üzemanyag felhasználással. Ez természetesen az USAF érdeke is, de hogy egy ilyen gépre polgári vagy katonai műholdat pakolnak, az lényegében teljesen mindegy. A tervek szerint ezekkel akár teljesen ki lehet váltani a nehéz és költséges hordozórakétákat (legalábbis első



fokozatként) és több százszorosan le lehet csökkenteni a világűrbe az egy kilogrammra jutó szállítási költségeket. Mivel pedig többször felhasználható, szinte rutinná teheti a világűrbe való kijutást – ami különösen fontos, hiszen a tervezett Mars-expedíció éppen, hogy az űrből (vagy a Holdról) indulna.

A katonák azonban kevésbé romantikusak. A műholdak sebezhetőségét éppen a kínaiak demonstrálták néhány éve, így ha a mindenkor biztos felderítő kapacitást (esetleg némi csapásméréssel kiegészítve) meg kívánják tartani, mindenképpen előnyös egy ilyen repülőgép. Egyes vélemények szerint a Bush kormányzat ideje alatt kezdett NMD program titkos része is tartalmazott ilyen repülő eszközöket, de ez nem nyert megerősítést.

Mindenesetre idén decemberben az X-51 szárnyra kel és újabb ugrásokat tesz ennek a technológiának a mindennapi alkalmazhatósága felé.

## Felhasznált irodalom

- <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/x-51.htm>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/NASA\\_X-43](http://en.wikipedia.org/wiki/NASA_X-43)

## Képek

- [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scramjet\\_operation.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scramjet_operation.png)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Specific-impulse-kk-20090105.png>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-43A\\_\(Hyper - X\) Mach 7 computational fluid dynamic \(CFD\).jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-43A_(Hyper_-_X)_Mach_7_computational_fluid_dynamic_(CFD).jpg)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/File:X43a2\\_nasa\\_scramjet.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:X43a2_nasa_scramjet.jpg)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-51A\\_Waverider.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-51A_Waverider.jpg)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Turbo\\_ram\\_scramjet\\_comparative\\_diagram.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Turbo_ram_scramjet_comparative_diagram.svg)