

Szilvássy László mk. őrgy.
Békési Bertold mk. őrgy.

REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁK HAJTÓMŰVEI

BEVEZETÉS

A napjainkban alkalmazott modern vadászrepülőgépek leggyakoribb fegyvere a fedélzeti rakéta, melyeket különböző speciális hajtóművek juttatnak célba, legyen a cél akár a levegőben, akár a felszínen.

Ezeken a rakétákon alkalmazott hajtóművek — kevés kivételtől eltekintve szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek (SzHRH), melyekben valamilyen robbanóanyagot — nagyon gyakran lőport — alkalmaznak hajtóanyagként.

A mai követelményeknek megfelelően a hajtóanyag kémiai összetételét úgy választják meg, hogy égése során 5000 kJ/kg nagyságrendű fajlagos hőmennyiséget szabadítson fel, 2000 és 4000 K közötti hőmérsékleten, amelyet a ma rendelkezésre álló hőszigetelő anyagok még kibírnak.

A hajtóanyagoknak több más fontos kritériumot is ki kell elégíteniük. Ezek a következők:

- a hajtóanyag sűrűsége, fajlagos energiája lehetőleg nagy legyen;
- az égési folyamatnak még a lehető legkisebb nyomásnál sem szabad megszakadnia;
- mechanikai szilárdsága nagy legyen, vagy az anyag legyen rugalmas;
- a hajtóanyagban hosszú tárolás után sem szabad vegyi változásnak fellépnie;
- ne legyen nedvszívó és égése ne függjön jelentősen a külső környezeti hőmérséklettől, előállítása legyen olcsó és veszélytelen.

HAJTÓANYAG TÍPUSOK

Homogén hajtóanyagok

Tüzelőanyag és oxidálószer egy molekulát alkotó kémiai vegyülete. Egyik alapvető típusa az úgynevezett füstnélküli lőpor, amelyet tüzérségi lövedékekben is felhasználnak.

A kolloid hajtóanyagok fő összetevője a nitrocellulóz (cellulóz-nitrát) vagy más néven a lögyapot, melyet alkohollal, acetonnal, vagy leggyakrabban nitroglicerinnel mint oldószerrel keverve alkalmaznak. Általában a különböző homogén hajtóanyagoknak a nitrocellulóz tartalma 40-60 % között változik. Ezenkívül a hajtóanyagok különböző adalékokat is tartalmaznak, melyekkel a hajtóanyag fizikai-kémiai tulajdonságait lehet befolyásolni. Ilyenek lehetnek:

- katalizátorok (égésgyorsítók), esetleg flegmatizátorok (égéslasztók), melyek az égési sebességet szabályozzák oly módon, hogy az gyakorlatilag független legyen a nyomástól;
- stabilizátorok, melyek a hajtóanyag tárolása során biztosítják annak kémiai állandóságát;
- plasztifikálók, amelyek az előállítás folyamán elősegítik a zselatinná válást és javítják a hajtóanyag mechanikai sajátságait. Százalékarányuk a 10 %-ot is elérheti.

Kompozit hajtóanyagok

Ezt a típusú hajtóanyagot oxidáló és redukáló molekulák keveréke alkotja. Tulajdonképpen ebbe a csoportba sorolhatjuk a fekete lőport is, amely salétrom (oxidálószer), kén és szén (redukálószer, tüzelőanyag) keveréke. Nyilvánvaló azonban, hogy a fekete lőpor nem elégíti ki a megfelelő szilárdsági követelményeket, ezért hajtóanyagként nem alkalmazható.

Oxidálószer	ρ kg/m ³	Szabad oxigén tömeg %	Bomlási hőfok K	Megjegyzés
Ammónium perklorát NH ₄ ClO ₄	1,95	34,0	> 540	Különböző szemcse- nagyságban fordul elő, olcsó
Káliumperklorát KClO ₄	2,53	46,2	> 770	Az égéstermékek KCl-t tartalmaznak
Ammóniumnit- rát NH ₄ NO ₃	1,72	20,0	igen stabil	Közepes teljesítményű, füstmentes
Káliumnitrát KNO ₃	2,11	40,0	-	Gyenge teljesítményű, olcsó

1. sz. táblázat

A kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oxidálószer

A keverék hajtóanyagok tüzelőanyagaként rendszerint kaucsuk- és gyantaszerű anyagok (természetes és mesterséges kaucsuk, karbamid és fenolgyanták, szurok, polimer-butadének, poliuretánok, stb.) szolgálnak. A robbanóanyag tömegének 10-15 %-át teszik ki.

Összetétel	Hajtóanyag verzió			
	1	2	3	4
KClO ₄	76 %			
NH ₄ ClO ₄		80 %		68 %
NH ₄ NO ₃			80%	
Aszfalt	17 %			
Kőolaj	7 %			
Szerves kötőanyag		20 %	18 %	14 %
Fémpor tüzelőanyag				16 %
Egyéb			2 %	2 %

2. sz. táblázat
Néhány hajtóanyag összetétele

Oxidátorként felhasználhatók, nagy oxigén tartalmú szervesetlen vegyületek (ammónia-, nátrium-, kálium-, lítiumperklorátok és nitrátok). A tömeg 65-70 %-át teszik ki.

A különböző komponenseket összekötő (ragasztó) elem maga a hajtóanyag, vagy speciális adalék lehet.

A hajtóanyag energetikai jellemzői fémporok (alumínium, magnézium, stb.) bevitelével javíthatók, ami elérheti a tömeg 15-20 %-át is.

A táblázatokból a kompozit hajtóanyagokban alkalmazott oldószereket, illetve néhány kompozit hajtóanyag összetételét ismerhetjük meg.

A REAKTÍV HAJTÓMŰVEK OSZTÁLYOZÁSA

A rakétahajtómű a reaktív hajtóművek csoportjába sorolható és két nagy csoportra osztható:

- levegőnyelő
- levegőt nem nyelő

Levegőnyelő hajtóművek

A levegőnyelő hajtóművek közzé sorolják a légsaváros hajtóművet, a gázturbinát és a torlósugarhajtóművet.

A gázturbinás hajtóművet a közepes és nagy sebességű repülőgépeknél, robotrepülőgépeknél lehet alkalmazni (körülbelül 2-2,5 M tartományig).

Az ennél nagyobb sebességeknél már feleslegessé válik a turbókompresszor, mivel a szívócsatornában létesített torlónyomás elegendő az égési reakció jó hatásfokú lefolyásához. Az ilyen típusú hajtóműveket hívják a torlósugar hajtóműnek.

Ez a propulziós rendszer csupán a levegő beömlőcsatornából, az égőtérből és a fúvócsőből áll. Mivel nincsenek benne nagy sebességgel forgó alkatrészek, mint a kompresszor, vagy a turbina, felépítése sokkal egyszerűbb, mint a gázturbinás sugárhajtóművéké. Ezzel szemben viszont nagy hátránya, hogy csak nagy sebességeknél (kb. kétszeres Mach szám elérése után) lehet beindítani. Emiatt a torlósugarhajtóművet mindig gázturbinás sugárhajtóművel vagy rakétahajtóművel kell társítani.

Levegőt nem nyelő hajtóművek

A levegőt nem nyelő hajtóműveket leggyakrabban rakétahajtóműként szokták emlegetni.

"Olyan különleges sugárhajtómű, amely a működéshez nem a környező levegőt használja fel, hanem az üzemeltetéshez szükséges anyagot a fedélzeten viszi magával. Ebből eredően a rakétahajtómű bárhol, még légüres térben is elő tud állítani tolóerőt. A rakétahajtómű lehet: kémiai, atom- és elektromos rendszerű. A kémiai rakétahajtómű munkaközege nagy hőmérsékletű gáz, a rakéta-hajtóanyag égésének v. nagyon gyors bomlásának a terméke. Ma még az atom-rakétahajtómű fejlesztési stádiumban van; az elektromos rakétahajtóművek pedig gyakorlatilag csak az irányító rendszerek orientációs egységeiben fordulnak elő." [14]

A fenti definíciót megvizsgálva a rakétahajtóművek két csoportra oszthatók:

- a kémiai rakétahajtóművekben — az energiaforrás és a kiáramló tömeg szoros összefüggésben van egymással
- a hajtómű energia forrása és a kiáramló tömeg nincsen olyan szoros összefüggésben egymással.

Az első csoport a lényeges, mert a repülőfedélzeti rakétákban ezen az elven működő hajtóműveket alkalmazzák, mivel gyakorlati

megvalósítása az ilyen típusú hajtóműveknek lehetséges viszonylag olcsón és egyszerűen. Ezek a hajtóművek azért is alkalmasak repülőfedélzeti rakétákban való alkalmazásra, mert rövid idő alatt képesek igen nagy sebességeket (akár 3-3,5 M) elérni, így igen nagy távolságokat rövid idő alatt megtenni.

A repülőfedélzeti rakétákban alkalmazott rakétahajtóműveket a következőképpen csoportosítják:

- folyékony hajtóanyagú: – egyfokozatú
– két fokozatú
- szilárd hajtóanyagú: – egyfokozatú
– két fokozatú
- kombinált hajtómű: – két fokozatú

A repülőfedélzeti rakéták csoportosítását megvizsgálva, a következő következtetés vonható le. A nem irányítható rakéták esetében csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet alkalmaznak. Ez a rakéták viszonylag gyakori kis méretével és a hajtómű gyártási hibáiból adódó viszonylag kis szórásból és a hajtómű megbízható működéséből, olcsó előalíthatóságából adódik. Az irányítható rakéták között különbséget kell tenni a légiharc és a felszín elleni rakéták között. A légiharc rakéták között sem található csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű, míg a felszínelleni rakéták között igen nagy a választék. A rakéta harcászati jellegétől, vagy a hatótávolságtól illetve a rakéta méretétől függően ebben a csoportban megtalálható valamennyi korábban felsorolt típus.

A felsorolt reaktív hajtóművek szinte bármilyen kombinációja előfordulhat a rakétákon és ennek függvényében beszélünk egyfokozatú, vagy kétfokozatú hajtóműről.

A hagyományos értelemben vett rakéták között található olyan, amelyik egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkezik. Található viszont olyan is, amely kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, ezek közül az első fokozat — a gyorsító fokozat — szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű. Ezen rakéták második fokozata lehet levegőt nem nyelő, tehát a hagyományos értelemben vett rakétahajtómű, lehet viszont levegőt nyelő torlósugarhajtómű. Ezek között a hajtóművek között is megkülönböztethetünk folyékony és szilárd hajtóanyagú hajtóműveket.

Szilárd és folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek rövid összehasonlítása

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű szerkezetét tekintve igen egyszerű. A szilárd hajtóanyagot — általában különféle lőporokat — hajtótöltet formájában,¹ a tüzelőtérben helyezik el, így tulajdonképpen a tüzelőtér egyben a hajtóanyagtartály, és egyben a rakéta törzse is.

Igen fontos előnye:

- szerkezet, így a gyártása is egyszerű és viszonylag olcsó;
- a hajtótöltet állandóan a rakétában tárolható;
- az indításhoz való előkészítés nem időigényes;

Hátrányai:

- mivel a hajtótöltet tárolótartálya a hajtómű működése során tüzelőtérre változik, és egyben a rakéta törzse is, így a fellépő nagy nyomást és hőmérsékletet a tervezéskor figyelembe kell venni, ami megnövelheti az égőtér méretét;
- viszonylag kis fajlagos tolóerő;
- az égési folyamatot jelentősen befolyásolja a töltet kezdeti hőmérséklete;
- nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oldható meg a hajtómű leállítása.

Figyelembe véve a felsorolt előnyeit — hátrányai ellenére — páncéltörő, tüzérségi, légvédelmi, repülőgép-, helikopter-, hajó- és tengeralattjáró-fedélzeti rakétákban is széleskörű alkalmazást nyert. A korszerű szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek legnagyobb fajlagos tolóereje 3000 Ns/kg, a legnagyobb tüzelőtér nyomás pedig mintegy 20 MPa.

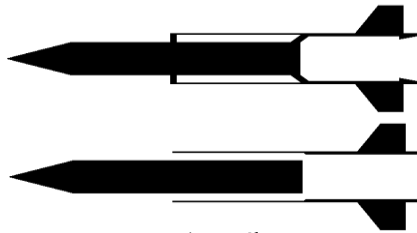
A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművet gyakran alkalmazzák közepes ill. nagy hatótávolságú rakétafegyverekben. Az ilyen típusú hajtóművek szerkezete bonyolultabb, mint a korábban tárgyalt szilárd hajtóanyagú rakétahajtóműveké. Általában hajtóanyag tartályból (vagy tartályokból), hajtóanyag-táprendszerből, hajtóházból (tüzelőtér a fűvókával) és a hajtómű automatikából áll. A hajtóanyagtartályokban tárolt összetevőket (általában oxidálóanyagot és tüzelőanyagot) a táprendszer szállítja a tüzelőtérbe, ahol a meggyulladás után folyamatos égés játszódik le.

A hajtómű-automatika irányítja a hajtómű működését:

- a megindítását;

¹ lásd [16] Szilvássy László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézet Repüléstudományi Közlemények, X. évfolyam 25. szám 1998/2.

- az összetevők begyűjtését;
- a tüzelőtérbe betáplálendő hajtóanyag mennyiségének szabályozását;



1. sz. ábra
A torlósugarhajtómű felépítése

- az összetevők egymáshoz viszonyított mennyiségének megváltoztatását;
- a hajtómű leállítását.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek előnyös tulajdonságai:

- a szabályozás egyszerűsége és pontossága;

- a gyors és pontos leállítás lehetősége;
- viszonylag magas fajlagos tolóerő.

Hátrányai:

- bizonyos típusú hajtóanyag-összetevőket sajátos tulajdonságuk miatt nem lehet a rakéta fedélzeti tartályaiban tárolni huzamosabb ideig;
- az előbbiből következően viszonylag nagy előkészítési idő;
- szerkezete meglehetősen bonyolult;

	Fajlagos tolóerő [Ns/kg]	Kiáramlási sebesség [m/s]	Tüzelőtérnyomás [MPa]
Szilárd hajtóanyagok	2500-3000	1000-2500	15-20
Folyékony hajtóanyagok	3500-4000	2500-4000	6-8

3. sz. táblázat
Hajtóanyagok összehasonlítása

Rakétákon alkalmazott torlósugarhajtómű felépítése

Torlósugarhajtóművel felszerelt rakéták különös ismertetője, hogy rendelkeznek valamilyen levegőbeömlő csatornával, vagy csatornákkal. Ismert olyan rakéta, melynek a levegő beömlő csatornája külső megjelenésében a MiG-21 repülőgép beömlő csatornájára hasonlít. Jobban megvizsgálva a rakéta hajtóművének fel-

építését a hasonlóság fokozódik, ugyanis a rakéta második fokozata nem más, mint az egyik korábbi, MiG repülőgép utánégető fokozata folyékony, kerozin üzemanyaggal. Természetesen mire ez a hajtómű működésbe kezd a rakéta már közel 2 Mach sebességgel repül. Ezt a sebességet négy darab szilárd hajtóanyagú, leváló rakétahajtómű biztosítja.

	EGYFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ			
	SZ	F	I. FOKOZAT		II. FOKOZAT	
			SZ	F	SZ	F
AA-1, -2, -3, -4	X					
AA-5, -6, -7, -8	X					
AA-6, -7, -8	X					
AS-4, -5, -6		X				
AS-15		X***				
SA-4, Ganef			X			X**
SA-6, Gainful			X		X*	
AS.11			X		X	
ASMP			X			X**
Kormoran			X		X*	
ANS			X		X*	
Martel			X		X	
Gabriel III A/S			X		X	
Penguin			X		X	
RB 05A				X		X
ACM		X***				
AGM-86B		X***				
AGM-84A		X***				
AIM-120	X					
ASAT			X		X	
AIM-54	X					
AIM-9	X					
AIM-7	X					

SZ - szilárd; F - folyékony

* torlósugár rakétahajtómű

** kerozin hajtóanyagú, torlósugárhajtómű

*** gázturbinás sugárhajtómű

4. sz. táblázat Néhány rakéta és hajtóműve

A másik igen gyakran alkalmazott torlósugárhajtómű felépítését tekintve eltér az előbb említettől. A különbség az, hogy a levegő beömlő csatorna a rakéta testen kívül, az oldalán helyezkedik el.

A leggyakrabban alkalmazott beömlőcsatorna szám a négy. Éppen ez az, ami nagyon sok félreértésre ad okot ugyanis felületes szemlélő számára ez a négy beömlőcsatorna úgy néz ki, mintha négy gyorsító fokozat lenne. Az ilyen típusú rakétahajtómű általában közös hengeres testben nyer elhelyezést a gyorsító hajtóművel egymás mögötti elrendezésben. A rakéta indulásakor csak a gyorsító fokozat indul és viszonylag rövid idő alatt nagymennyiségű szilárd hajtóanyagot éget el, progresszív égéssel a rakéta gyorsításához. A gyorsító fokozat kiégésével egy időben indul a második, menet vagy utazó fokozat, ami a kiéget indító-hajtóműteret használja égőtérként, ahol megtörténik hajtóanyag elégetése a környező levegő segítségével. A levegő beömlő csatornák addig, míg a gyorsító fokozat működik lezárásra kerülnek egy speciális dugó segítségével. (1. sz. ábra felső rajz). A dugókat a start hajtóműben uralkodó nagy nyomás tartja a helyükön mindaddig amíg a hajtómű nyomása magasabb mint a torlónyomás. Ez pedig a hajtómű kiégésekor következhet csak be. Ekkor a dugók a torlónyomás hatására beesnek az égőtérbe és rendszerint elégnek vagy távoznak a fúvókán keresztül. Az indító hajtómű kiégésével egy időben szükség van a fúvóka keresztmetszetének megnövelésére a menet hajtómű igényeinek megfelelően (1. sz. ábra alsó rajz). Ezt a leggyakrabban egy lerobbantható fúvóka egységgel oldják meg. A menet hajtómű a hajtóanyag tekintetében lehet akár folyékony akár szilárd. Bármelyikről is legyen szó olyan összetételű, hogy az égéshez szükséges oxigént nem, vagy csak hiányos mértékben tartalmazza, így elengedhetetlen a külső levegő betáplálása a tökéletes égéshez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bill GUNSTON: Korszerű harci repülőgépek fegyverzet, Zrínyi Kiadó, Budapest, 1995.
- [2] Haditechnika folyóirat 1996/3. szám
- [3] Haditechnika folyóirat 1997/4. szám
- [4] Hadtudományi lexikon CD-ROM, MHTT 1995, Scriptum Rt. 1998.
- [5] Idegen hedseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök, Magyar Honvédség kiadványa 1993, (Id/16 Szabályzat)

- [6] KAKULA János mk. őrnagy: Rakéták szerkezetana, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1989.
- [7] KAKULA János mk. őrnagy: Robbanóanyagok és a robbanás hatásai, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1990.
- [8] DR. LUKÁCS László: Katonai robbantástechnika és a környezetvédelem, ZMNE HTK, 1997.
- [9] MiG-29 publication by 4+ Publishing Co., Praha, 1995.
- [10] Militair folyóirat I. évf./ 1. szám, Triak gmk, 1996. május
- [11] Militair folyóirat I. évf./ 2. szám, Triak gmk, 1996. június
- [12] NAGY István György-SZENTESI György: Rakétafegyverek űrhajózási hordozórakéták, Típuskönyv, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
- [13] PAPP Bálint-NAGY István György-DR. TAMÁSI Zoltán: Rakétafegyver, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1962.
- [14] SÁRHIDAI Gyula: Robotrepülőgépek, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1986.
- [15] SZENTESI György: Hadászati rakéták, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1987.
- [16] SZILVÁSSY László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1998/2. (43-50) o.
- [17] SZILVÁSSY László - BÉKÉSI Bertold: Rakéta hajtóművek, („Kihívások a repüléstudományban a 3. Évezred küszöbén” tudományos konferencián elhangzott előadás) ZMNE Repüléstudományi Közlemények időszakos kiadvány XI. évfolyam 26., 1999/1. 263. oldal
- [18] SZILVÁSSY László - BÉKÉSI Bertold: A katonai repülőgép fedélzeti rakéták hajtóművei, („The Challenge of Next Millenium on Hungarian Aeronautical Sciences” konferencián elhangzott előadás) „The Challenge of Next Millenium on Hungarian Aeronautical Sciences” című kiadvány 124. oldal
- [19] О. А. ИЛЬИН: Авиационное вооружение, Военное Издательство Министерство Обороны СССР, Москва, 1977.
- [20] Н. Е. КОНОВАЛОВ – Н. И. МЕЛИК-ПАШАЕВ: Теория авиационных двигателей Часть III. Прямоточные ВРД и ракетные двигатели, ВВИА им. Н. Е. Жуковского, Москва, 1974.
- [21] Р. С. САРКИСЯН: Авиационные боеприпасы, ВВИА им. Н.

- Е. Жуковского, Москва, 1978.
- [22] В. А. ЧУМАКОВ: Авиационные ракеты , ВВИА им. Н. Е. Жуковского, Москва, 1974.