

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

**Szilvássy László mérnök őrnagy**  
**Békési Bertold mérnök százados**  
**egyetemi tanársegéd**  
**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A szerzők célja bemutatni a repülőgép-fedélzeti rakétákban alkalmazott hajtóművek különböző típusait, többek között a torlósugarhajtóművet is.*

## BEVEZETÉS

A szerzők előző cikkükben a repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagokról írtak, ahol elsősorban a szilárd hajtóanyag formákat mutatták be. Ez a cikk kapcsolódik az előzőhöz, igaz röviden bemutatva szinte a teljes keresztmetszetét a repülőgép-fedélzeti rakétákon alkalmazott rakétahajtóműveknek.

## A REAKTÍV HAJTÓMŰVEK OSZTÁLYOZÁSA

A rakétahajtóműveket fizikai szempontok alapján a reaktív hajtóművek csoportjába sorolhatjuk, melyeket alapvetően két nagy csoportra oszthatunk:

Az egyik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak melyek az atmoszférában található levegőt használják, mint az energiaforrás nélkülözhetetlen komponensét, vagy mint a kiáramló tömeget, vagy mint mindkettőt. Ezeket a hajtóműveket levegőnyelő (aerob) hajtóműveknek nevezzük. Ilyen hajtóműveket találhatunk a repülőgépeken, néhány rakétán és a robot repülőgépeken. Ezeknek a hajtóműveknek az alkalmazási magassága igen korlátozott és bármennyire is szeretnénk, de 30.000 méter fölött már nem alkalmazhatóak.

A másik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak, melyeknek nincsen

szükségük a környezetükben található levegőre sem energiaforrásként, sem pedig a kiáramló tömeghez. Ezek a levegőt nem nyelő (anaerob) hajtóművek. Talán a legismertebb alkalmazási területük űrhajózási hordozó rakéták.

### Levegő nyelő hajtóművek

A légcsavaros hajtóműnél a vonóerőt a légcsvavar keresztmetszetén, az úgynevezett légcsvavartárcsán átáramló levegő felgyorsításával állítjuk elő. A  $v$  sebességgel mozgó repülőgépre szerelt légcsvavar a "beszívott" levegőt  $2w$  sebességnövekedéssel "löki" hátra. Mivel hatása a tárcsa előtt és mögötti térre is kiterjed, amit a sugárkontrakció mutat, bizonyítható, hogy a légcsvavar síkjában sebességnövekmény feleakkora, vagyis  $w$ .

A légcsvart hajthatja dugattyús motor, vagy gázturbina. Mindkét esetben a hajtómű a környezeti levegőt használja az energiaforrás egyik komponensként.

A légcsavaros hajtómű legjobban a viszonylag kis sebességű repülőgépeknél, légijárműveknél alkalmazható.

A gázturbinás sugárhajtómű főalkotó elemei a levegő szívócsatorna, a sűrítő vagy kompresszor, az égőkamra, a turbina és a fűvócső. Az égőkamrában, a sűrített levegőben elégetett üzemanyagból nyert energia egy részét a turbina átalakítja mechanikai energiává a kompresszor hajtására, a megmaradó rész a fűvócsőben átalakul mozgási energiává és tolóerőt fejt ki.

Ezt a hajtómű típust a közepes és nagy sebességű repülőgépeknél, robotrepülőgépeknél kerül alkalmazásra. (körülbelül 2-2,5 M tartományig)

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

Ez a propulziós rendszer csupán a levegő beömlőcsatormából, az égőtérből és a fűvócsőből 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 szoktuk emlegetni. Vizsgáljuk meg mit is nevezünk rakétahajtóműnek.

"Olyan különleges sugárhajtómű, amely a működéshez nem a környező levegőt használja fel, hanem az üzemeltetéshez szükséges anyagot a fedélzeten

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

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 rakétahajtóműveket két csoportra oszthatók:

Az egyikben — a kémiai rakétahajtóművekben — az energiaforrás és a kiáramló tömeg szoros összefüggésben van egymással

A másikban a hajtómű energia forrása és a kiáramló tömeg nincsen olyan szoros összefüggésben egymással. Például használható az atomenergia vagy a napenergia. A kiáramló tömeget gyorsíthatjuk magas hőfokú gázkeverék expanziójával vagy esetleg elektromágneses tér segítségével.

Számunkra az első csoport a lényeges ugyanis a repülőfedélzeti rakétákban ezen az elven működő hajtóműveket alkalmazunk, 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 repülőgép-fedélzeti rakétákban alkalmazott rakétahajtóműveket a következőképpen csoportosíthatjuk:

RAKÉTAHAJTÓMŰ					
FOLYÉKONY HAJTÓANYAGÚ		SZILÁRD HAJTÓANYAGÚ		KOMBINÁLT HAJTÓMŰ	
EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ	EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ

1. sz. táblázat  
A rakétahajtóművek felosztása

Ha csoportosítjuk a repülőgép-fedélzeti rakétákat, és megvizsgáljuk, hogy a különböző csoportokban milyen rakétahajtóművek fordulnak elő, akkor a következő következtetésre jutunk. Nem irányítható rakéták esetében kutatásaim során nem talákoztam csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel. 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 légi harc és a felszín elleni rakéták között. A légi harc rakéták között sem találtam csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet, 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 hajtómű.

A felsorolt reaktív hajtóművek szinte bármilyen kombinációja előfordulhat a rakétákon és ennek függvényében beszélünk egyfokozatú, vagy kétfokozatú hajtóműről. Háromfokozatú hajtóművel egyelőre nem találkoztam, de létezését nem tartom kizártnak, mivel az elektronika igen gyors fejlődésével a lokátorok, egyéb felderítő eszközök hatótávolsága is fejlődik, ami lehetővé teszi az egyre nagyobb távolságból történő rakétaindítást.

A sajtóban robotrepülőgépként vagy cirkálórakétaként emlegetett eszközöknek gázturbinás sugárhajtóműve van esetleg utánégetővel, vagy nélküle. Éppen ezért ha a hajtómű oldaláról közelítjük meg az eszköz elnevezését, akkor a robotrepülőgép a jobb elnevezés, de legtöbb szakmai könyvben rakétaként írják ezekről az eszközökről. Nem tartom tisztelnak az elnevezések közötti ellentmondást feloldani csak rá szeretnék világítani, az elnevezések közötti ellentmondásra.

A hagyományos értelemben vett rakéták között találunk olyat, amelyik egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkezik, melyek felépítését nem tervezem tárgyalni. Találunk viszont olyat, amelyik kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, melyek 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 torlósugárhajtómű. 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,<sup>1</sup> a tüzelőtérben helyezik el, így tulajdonképpen a tüzelőtér egyben a hajtóanyagtartály, és egyben a rakéta törzse is.

Igen fontos előnye:

<sup>1</sup> lásd [15] Szilvássy László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézet Repüléstudományi Közlemények, X. évfolyam 25. szám 1998/2.

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

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

### 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 a tüzelőtér méretét;
- viszonylag kis fajlagos tolóerő;
- az égési folyamatot jelentősen befolyásolja a töltet kezdeti hőmérséklete;<sup>2</sup>
- nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oldható meg a hajtómű leállítása.

Figyelembe véve a felsorolt előnyeit — hátrányai ellenére — páncéltörő, tűzérzési, légvédelmi, repülőgép-, helikopter-, hajó- és tengeralattjáró-fedélzeti rakétákban is széleskörű alkalmazást nyert. A korszerű szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek legnagyobb fajlagos tolóereje 3000 N/kg, a legnagyobb tüzelőtérnyomásuk 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 rakétahajtóművéké. 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;
- az összetevők begyűjtését;
- a tüzelőtérbe betáplálendő hajtóanyag mennyiségének szabályozását;
- az összetevők egymáshoz viszonyított mennyiségének megváltoztatását;

<sup>2</sup> Töltet kezdeti hőmérséklete: a hajtótöltetek lényeges tulajdonsága. A töltethőmérséklet meghatározza a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek tolóerejét, ugyanis a kisebb hőmérsékletű hajtótöltet lassabban ég. A lassabban égés eredményeként egy időegység alatt kevesebb égéstermék keletkezik, tehát kisebb a tolóerő. A töltethőmérsékletnek -30 °C-ról +40 °C-ra való növelésekor a tolóerő, a hajtóanyag fajtajától függően, 40-60 %-kal növekedhet. A töltethőmérsékletet a löelemek megadásakor, illetve a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek üzemeltetése során figyelembe kell venni. [14]

— 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

2. sz. táblázat  
Hajtóanyagok összehasonlítása

A különböző hajtóanyagú rakétahajtóművekről eddig leírtakat figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a gazdaságossági és kezelhetőségi szempontokat figyelembe véve látható, hogy a szilárd hajtóanyagformák térhódítása miatt olyan jelentős a repülőfedélzeti rakéták körében.

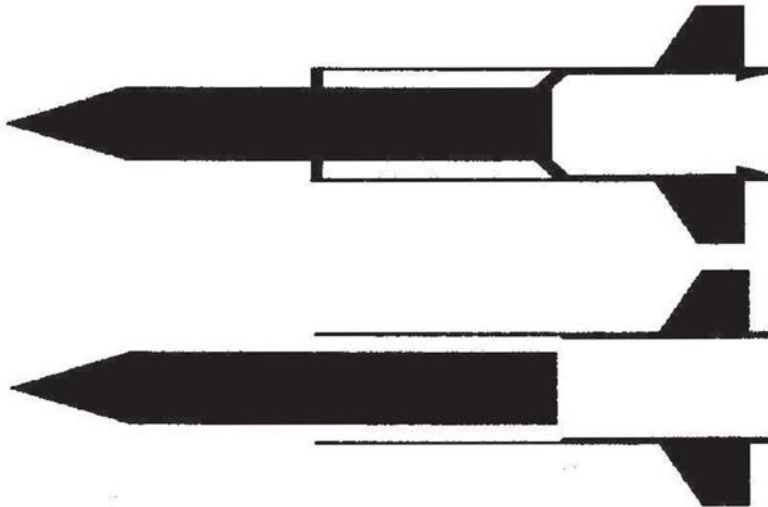
## Rakétákon alkalmazott torlósugarhajtómű felépítése

Torlósugarhajtóművel felszerelt rakéták különös ismertetője, hogy rendelkeznek valamilyen levegőbeömlő csatornával, vagy csatornákkal. Ismerek olyan rakétát, melynek a levegő beömlő csatornája külső megjelenésében a MiG-21 repülőgép beömlő csatornájára hasonlít. Ha jobban megvizsgáljuk a rakéta hajtóművének felépítését a hasonlóság fokozódik, ugyanis a rakéta második fokozata nem más, mint az egyik ismert 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.

A másik igen gyakran alkalmazott torlósugarhajtómű felépítését tekintve eltér az előbb említettől. A különbség az, hogy a levegő beömlő csatorna a rakéta

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

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, amiről fentebb írtam. 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 kiegészével egy időben indul a második menet vagy utazó fokozat, ami a kiegészítő 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. (lásd I. 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 kiegészékor következhet csak be. Ekkor a dugók a torlónyomás hatására beesnek az égőtérbe és rendszerint elégnak vagy távoznak a fűvókán keresztül. Az indító hajtómű kiegészével egy időben szükség van a fűvóka keresztmetszetének megnövelésére a menet hajtómű igényeinek megfelelően (lásd I. sz. ábra alsó rajz). Ezt a leggyakrabban egy lerobbantható fűvóka egységgel oldják meg. A menet hajtómű a hajtóanyag tekintetében lehet akár folyékony akár szilárd. Bármelyikről is legyen szó olyan összetételű, hogy az égés során felhasználásra kerülő oxigén csak egy részét tartalmazza így szükséges a külső levegő betáplálás a tökéletes égéshez.



I. sz. ábra  
A torlósugarhajtómű felépítése

SZILVÁSSY LÁSZLÓ, BÉKÉSI BERTOLD

Végezetül szeretnék néhány példát felsorolni az ismertebb rakétákon alkalmazott különböző rakétahajtóművekre. (Előre bocsátom, hogy a felsorolás csak olyan információt tartalmaz amely az irodalomjegyzékben felsorolt nyílt, szabadon hozzáférhető könyvekben, jegyzetekben fellelhető.)

	EGYFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ			
	SZILÁRD	FOLYÉKONY	ELSŐ FOKOZAT		MÁSODIK FOKOZAT	
			SZILÁRD	FOLYÉKONY	SZILÁRD	FOLYÉKONY
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 <sup>***</sup>				
SA-4, Ganef			X			X <sup>**</sup>
SA-6, Gainful			X		X <sup>*</sup>	
AS.11			X		X	
ASMP			X			X <sup>**</sup>
Kormoran			X		X <sup>*</sup>	
ANS			X		X <sup>*</sup>	
Martel			X		X	
Gabriel III A/S			X		X	
Penguin			X		X	
RB 05A				X		X
ACM		X <sup>***</sup>				
AGM-86B		X <sup>***</sup>				
AGM-84A Harpon		X <sup>***</sup>				
AMRAM, AIM-120	X					
ASAT			X		X	
Phoenix, AIM-54	X					
Sidewinder, AIM-9	X					
Sparrow, AIM-7	X					

\* torlósugár rakétahajtómű

\*\* kerozin hajtóanyagú, torlósugárhajtómű

\*\*\* gázturbinás sugárhajtómű

3. sz. táblázat  
Néhány rakéta és hajtóműve

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bill GUNSTON: Korszerű harci repülőgépek fegyverzet, Zrínyi Kiadó, Budapest, 1995.

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

- [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] О. А. ИЛЬИНА: Авиационное вооружение, Военное Издательство Министерство Обороны СССР, Москва, 1977.
- [18] Н. Е. КОНОВАЛОВ, Н. И. МЕЛИК-ПАШАЕВ: Теория авиационных двигателей Часть III. Прямоточные ВРД и ракетные двигатели, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1974.
- [19] Р. С. САРКИСЯН: Авиационные боеприпасы, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1978.
- [20] В. А. ЧУМАКОВ: Авиационные ракеты, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1974.

*The purpose of the authors is to review rocket engine propellants of on-board missiles and their composition, and also ramjet engine.*