

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki
Kar
Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK ELSŐ INTERKONTINENTÁLIS ROBOTREPÜLŐGÉPEI

Szerző: **Jakab Krisztián**
Biztonságtechnikai mérnök BSc. szak,
II. évf.

Konzulensek: **Dr. Szűcs Endre**
adjunktus
Dr. Jancsó András
adjunktus

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Bevezetés	3
1. A hadászati rakéták általános meghatározása	4
1.1. Mit nevezünk hadászati rakétának	4
1.2. Idegen szakirodalomban használt szavak jelentése.....	4
1.3. A rakéták csoportosítása fő tulajdonságaik alapján	5
2. A sugárhajtás ismertetése.....	9
2.1. Gázturbinás sugármeghajtás (Turbojet)	9
2.2. Torló-sugármeghajtás (Ramjet)	14
2.3. A Rakétahajtómű	15
2.4. Az után-égető	17
3. Az Egyesült Államok első interkontinentális hatótávolsággal rendelkező robotrepülőgépei.....	19
3.1. Robotrepülőgépek meghatározása	19
3.1.1. Robotrepülőgép definíciója.....	19
3.1.2. Robotrepülőgépek szerkezeti részei.....	20
3.1.3. Robotrepülőgépek meghajtása	21
3.2. Az SM-62 Northrop Snark története	23
3.2.1. Kezdetek, és az MX-775A	23
3.2.2. Az N-25-ös verzió.....	25
3.2.3. Az N-69-es Super Snark verzió	26
3.2.4. A Snark rövid szolgálata és a program vége	29
3.2.5. Konklúzió.....	31
3.3. Az SM-64-es Navaho program története	32
3.3.1. A program kezdete	32
3.3.2. Az X-10-es tesztrepülő.....	34
3.3.3. G-26 Navaho II.	36
3.3.4. Utolsó tesztrepülések: „Fly Five” és R.I.S.E.	39
3.3.5. Az XSM-64A koncepció ismertetése.....	40
3.3.6. Konklúzió.....	41
3.4. A Snark és a Navaho rakéták összehasonlítása.....	42
3.4.1. Kialakítás és méretbeli különbségek.....	42
3.4.2. Működésbeli különbségek.....	44
3.4.3. Sikerek	46
Összegzés	47
Irodalomjegyzék	48

Bevezetés

Témaválasztásomat befolyásolta, hogy a különböző híradásokban, cikkeken, filmekben és egyéb más fórumokban is számos esetben megjelennek a robotrepülőgépek. A híradások felkeltették az érdeklődésemet ezekkel az eszközökkel kapcsolatban

A dolgozat célja, hogy összegyűjtse, és leírja azokat az ismereteket, melyek a Snark és Navaho interkontinentális robotrepülőgépek összehasonlításához szükségesek, majd ezekre támaszkodva hasonlítsa össze azokat.

A dolgozat első részében tárgyalom, milyen esetekben használható egy haditechnikai eszköz leírására a hadászati kifejezés. Magyarázatot adok az idegen és hazai szakirodalmakban használt gyakran eltérő jelentéssel bíró szavakra, továbbá csoportosítom a rakétafegyvereket, az azokat leíró tulajdonságok alapján. A csoportosítást az idegen szakirodalomra támaszkodva végzem el, amely alapján a robotrepülőgépeket a rakétafegyverek egy külön csoportjának tekintem.

A dolgozatban ábrákkal illusztrálva fogom, ismertetni a sugárhajtóműveket. Részletes leírást adok a gázturbinás és torló-sugárhajtómű típusokról, a rakétahajtóműről, illetve az után-égetőről.

A dolgozat második részében az idegen nyelvű és a hazai szakirodalom alapján definiálni fogom a robotrepülőgépeket, feltárom sajátosságaikat, leírom azok szerkezeti elemeit és működését. Átfogó képet adok két különböző, a II. Világháborút követően az Egyesült Államokban fejlesztett típus, a Northrop Snark és a North American Navaho robotrepülőgépek fejlesztésének történeti háttéréről.

A dolgozat befejező részében összehasonlítom az SM-62 Snark és SM-64 Navaho interkontinentális robotrepülőgépeket. Az összehasonlításban rámutatok, hogy bár mindkét eszköz fejlesztése azonos időben és azonos irány mentén történt, mégis az azoknál használt megoldások jelentősen eltérnek egymástól.

1. A hadászati rakéták általános meghatározása

1.1. Mit nevezünk hadászati rakétának

Napjainkban a rakétáknak széles körben jutnak feladatok. Szerves részet képezik az űrkutatásnak és hadi alkalmazásuk is széleskörű. A rakétatechnológia felhasználása a polgári életben is jelentős, hiszen mindünket körülvesz a műholdak által elérhetővé vált technológiák sokasága, mint például a helymeghatározás lehetősége és a távközlés egyszerűsödése. A műholdak megjelenése pedig szorosan összefügg az űrkutatás fejlődésével, amelyet a rakétatechnológia megjelenése és fejlődése tett lehetővé.

Amikor hadászati rakétákról beszélünk, fontos figyelembe vennünk a rakéta célját, hiszen ez alapján dönthető el, hogy egy rakéta a hadászati rakéták közé sorolható-e vagy sem. Szentesi György mérnök alezredes, a Galaktika magazin 37. számában a tömegpusztító fegyverekről és hordozóikról ír. A cikk alapján hadászati jelzővel illethetőek, az olyan nagy hatású fegyverfajták, melyek képesek megsemmisíteni az ellenség hadászati jellegű célpontjait. Az ilyen fegyvereknek két fontos tulajdonságuk van, a hatótávolság és a robbanótöltet.

Tömegpusztító fegyvereknek tekintjük az úgynevezett ABV fegyvereket, azaz atom-, biológiai- és vegyi fegyvereket. Ezen fegyverek hatása összemérhetetlen a hagyományos fegyverek hatásával. Az atomfegyverek vagy nukleáris fegyverek megjelenése új távlatokat nyitott a nagyhatású hadászati fegyverek fejlesztésének terén, és míg az első atombombákat bombázó repülőgépekkel juttatták célba, addig ma erre több eszköz is rendelkezésre áll, melyeknek egyike a hadászati rakéta.

A hadászati rakéták által megsemmisítendő célpontok jelentős része a frontvonal mögött található, ahová más módon igen nehéz lenne támadást indítani, így nagy előnyt jelent, hogy az ilyen nagysebességű rakéták kényelmesen (védett honterületen található rakétabázisokról, biztonságos területen állomásozó tengeralattjárókról, hadihajókról) juttathatják célba az azok megsemmisítésére alkalmas fegyvereket. Ám ezen a ponton fontos leszögezni, hogy a rakéták nem mások, mint az adott fegyverek hordozói, így robbanó töltet nélkül ezeket hordozórakétáknak nevezzük.

1.2. Idegen szakirodalomban használt szavak jelentése

Mielőtt rátérhetnék a hadászati rakéták típusaira és fontosabb specifikációik magyarázataira, fontosnak tartom megmagyarázni, lefordítani ennek a két szónak a jelentését. A *rocket* angol szó, jelentése, egy az egyben magyarra fordítva, annyit tesz rakéta. Ám ez a szó jóval több mindent takar ennél. Az általam felhasznált forrásokban többször találkoztam a

„booster rocket” kifejezéssel, ami lefordítva *indítórakétát*, *gyorsító rakétát* és *hordozó rakétát* jelent. Ezek a „booster” rakéták az előbbiek alapján nem sorolhatók a hadászati rakéták közé, habár alkalmazásuk hadászati célokban is megjelenik, mint például az SM-64 *Navaho* rakéta indítórakétája, vagy Northrop *Snark*jának segéd meghajtásai. A szó több ízben megjelent továbbá a meghajtások vizsgálatánál is, „rocket engine” kifejezésben, ami azt jelenti *rakétameghajtás*. Ilyen rakéta meghajtás például a North American által fejlesztett XLR-71-es meghajtás is.

A *missile* szó *lövedéket* vagy *rakétalövedéket* jelent. Azaz azt az eszközt, amely a fegyvert hordozza, amit célba szeretnénk juttatni. Ez maga a hadászati rakéta. Ez a hordozó eszköz, akkor sorolható a hadászati rakéták közé, ha hatótávolsága eléri az 5500 kilométert, azaz képes az Egyesült Államok szárazföldi területéről indítva az orosz szárazföldet elérni és fordítva (az egykori USA és Szovjetunió viszonylatában értelmelve). Az egykori NATO és Varsói szerződés tagországainak viszonylatában értelmelve, már az 1000 kilométer meghaladó hatótávolsággal rendelkező atomfegyverek hordozására alkalmas rakétaeszközök is hadászati jellegűek lehetnek, hiszen Európából indítva képesek elérni az egykori Szovjetunió területeit, az 5000 kilométer feletti hatótávolsággal rendelkező társaik pedig az USA területeit is elérhetik.

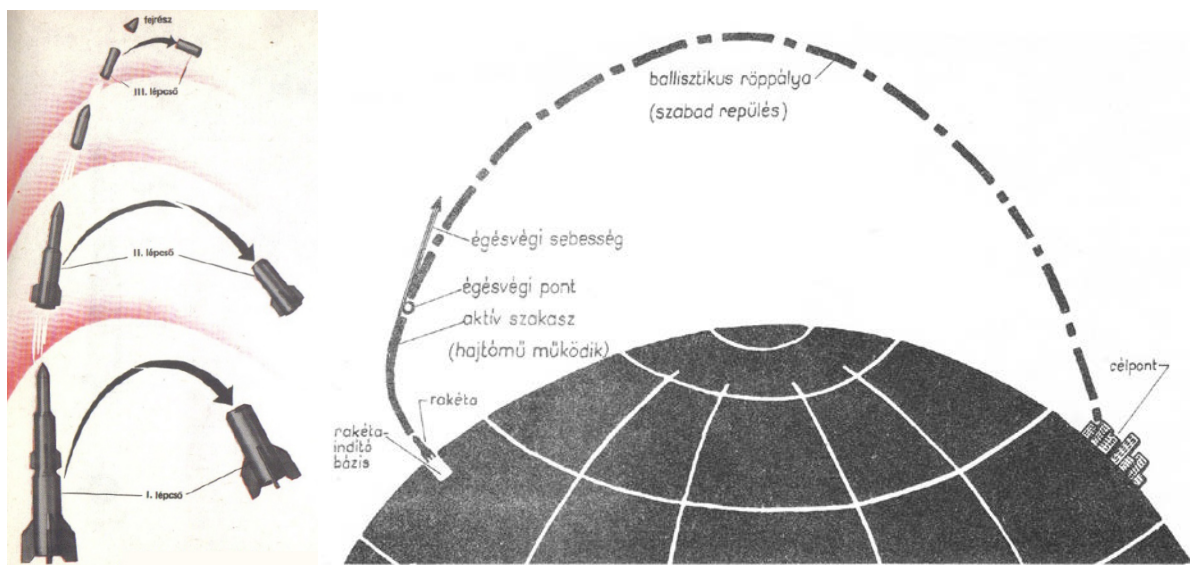
A *missile* szó mégis többet takar, így általánosan jelentése inkább *rakétafegyvereknek* feleltethető meg, mint a fent megfogalmazott *hadászati jelleggel rendelkező rakétáknak*. Ugyanis egy *missile*, továbbiakban *rakéta*, többféle tulajdonságot hordoz magával.

1.3. A rakéták csoportosítása fő tulajdonságaik alapján

A **rakéta típusa** lehet úgynevezett *ballistic missile*, azaz *ballisztikus rakéta*, és *cruise missile*, vagyis *robotrepülőgép*, szakszerűtlen szóhasználatnál élve *szárnyas rakéta* vagy *cirkáló rakéta*

A **ballisztikus rakéták** különleges módon működnek. Jellemzően nagy hatótávolságban használatosak, nagyméretűek, nagy pontossággal és teherbíró képességgel rendelkeznek. A második világháború utáni intenzív rakétafejlesztések eredményeként jöhettek létre. Legfontosabb sajátosságuk, hogy pályájuk egy szakaszán a hajtómű leáll és a rakéta *ballisztikus röppályán* halad tovább. Ilyenkor a rakétára csak a nehézségi erő és a légellenállás hat. A pálya e szakaszát *passzív szakasznak* nevezzük. A *passzív szakaszt* előzi meg az indítás és az emelkedés, melyet *aktív szakasznak* nevezünk. Az *aktív szakasz* a rakéta röppályájának az a része, melynek során a rakéta hajtóműve működésben van. Az *aktív szakasz* során a rakétát a *fedélzeti irányítórendszer* vezérli, melynek feladata, hogy a rakétát

az előre meghatározott pályán tartsa, majd az *aktív szakasz* végéhez közeledve, mikor a rakéta eléri az előre meghatározott sebességet, a hajtóművet leállítsa. Ezt a pontot *égésvégi pont*nak nevezzük. Ezek a rakéták általában két- vagy három *lépcső*ben működnek, ami azt jelenti, hogy a rakétát különböző, egymást követő fokozatokban gyorsítják fel a megfelelő sebességre. Miután az egyes lépcsők részei kiégnek, azok leválnak a rakétáról, hogy begyulladhasson a következő lépcső. Ezeket a lépcsőket angol nyelven *stagenek* nevezik. Mikor az egyes lépcsők leválnak, a rakéta tömege csökken, így tömegmegtakarítás érhető el, ami nagy előny a többi rakétával szemben. Az utolsó lépcső leválása után, a rakéta kúp alakú fejrésze folytatja útját a passzív szakaszon.



1. számú ábra: Rakéta lépcsőinek szétválása és a ballisztikus rakéta röppályája¹

A passzív szakasz ballisztikus röppályája, a ferdehajtás röppályájához hasonló pályagörbét takar. A passzív szakasz meghatározására (*leegyszerűsítve*) elegendő meghatározni az égésvégi pontot, a sebességet az égésvégi pontban, azaz az égésvégi sebességet és az indulószöget, amely az égésvégi pont helyi vízszintesével bezárt szög.

Az ilyen rakéták egyaránt indíthatóak szárazföldi rakétabázisokról, víz alól és a vízfelszínről is.

A **robotrepülőgépek** vagy cirkáló rakéták olyan pilóta nélküli repülő eszközök, melyek nem hagyják el a föld légkörét, folyamatos meghajtással rendelkeznek, és az aerodinamikai felhajtóerőt használják fel repülésük során. Jellemzően sugárhajtóművet használnak, sebességüket tekintve lehetnek szubszonikusak, szuperszonikusak és hiperszonikusak. A

¹ A szerző által szerkesztve: Bal oldali kép: Szentesi György. Hadászati rakéták, 32. oldal, Haditechnika fiataloknak sorozat, Zrínyi Katonai Könyv- és Lapkiadó, ISBN 963 327 025 1

Jobb oldali kép: Galaktika tudományos-fantasztikus antológia. 37. szám 84. oldal 6. ábra, Kozmosz Könyvek, HU ISSN 0133-2430

szubszonikus sebességgel haladó eszközök nem lépik át a hangsebesség határát, jellemzően 0,8 Machos² sebességgel haladnak, míg szuperszonikus társaik képesek elérni a 3 Machos sebességet is. A hiperszonikus repülőgépek még ennél is nagyobb, akár 5 Machos sebességre is képesek. Ezek a robotrepülőgépek mind a szárazföldről, a levegőből, de akár a vízfelszínről vagy az alól is indíthatóak.



1. számú kép: BGM-109 Tomahawk cirkáló robotrepülőgép indítása³

A rakétákat leíró második nagyon fontos tulajdonság az **indítási mód**. Ez a tulajdonság írja le az eszköz indításának illetve célpontjának helyzetét. Ezek az **indítási módok** a következők lehetnek:

Surface-to-surface (missile) olyan rakétákra értendő, melynek indítása a föld felszínéről történik és célpontjaik is egyaránt a föld fejszínén találhatóak.

Surface-to-Air (missile) olyan rakéta, melyek indítása ugyan a földfelszíni, ám a célpontjuk a levegőben található. Többnyire ezek a célpontok az ellenséges légierő harci repülőgépeit, bombázóit takarják, de képesek lehetnek az ellenség által indított rakéták

² Mach-szám: A sebesség egyfajta mérése a hangsebességhez viszonyítva. A repülő eszköz sebességének és a hangsebesség hányadosa adja.
$$Mach\text{-}szám = \frac{V_1(\text{Repülő eszköz sebessége})}{V_s(\text{Hangsebesség})}$$

1 Mach alatti sebességet szubszonikusnak, 1 Mach „körüli” sebességet (a hangsebesség átlépését is) tranzszonikusnak, 1 Mach feletti sebességet szuperszonikusnak, míg az 5 Mach feletti sebességet hiperszonikusnak nevezzük.

³ <http://bosniangenocide.wordpress.com/2011/02/16/u-s-launches-13-tomahawk-cruise-missiles-at-serbs> (Letöltve 2014.02.21.)

megsemmisítésére is. Ezek a rakéták általában a légvédelmi rendszerek (*Anti Air vagy Air Defence*) részeit képezik.

Air-to-Air (missile) kifejezés olyan rakétafegyvert takar, amelyet levegőből indítanak, levegőben lévő célpontok ellen. Ezek a rakéták találhatók meg a harci repülőgépekre csatolva, és légtérért vívott harcokban szerepük kiemelkedő lehet. Ilyen rakéta például az Egyesült Államok AIM-7 *Sparrow* rakétája.

Air-to-Surface (missile), azok a rakétafegyverek tartoznak ebbe a kategóriába, melyek indítása harci repülőgépekről, azaz a levegőből történik, és földfelszíni célpontokkal rendelkeznek, mint például az AGM-65B *Maverick* rakéta is.

Surface(Coast)-to-Sea (missile) rakéták célpontjai kifejezetten az ellenséges hadihajók. Ezeket a rakétákat a szárazföldről indítják és célpontjaik a vízfelszínen találhatóak.

Sea-to-Surface(Coast) (missile) olyan rakétákat takar melyek indítása a vízfelszínről történik, és szárazföldi célpontokkal rendelkeznek.

Sea-to-Sea (missile) kifejezés használatos akkor, mikor a rakétafegyver indítása vízfelszínről történik és célpontja is a vízfelszínen van.

Anti-tank (missile) olyan rakétafegyverekre értendő, melyek feladata az ellenséges páncélozott járművek és harcokcsik megsemmisítése.

A fentebb leírtak alapján számolnunk kell még két fontos tulajdonsággal, melyek segítenek eldönteni, hogy egy adott rakétáról beszélve, használhatjuk-e a hadászati jelzőt. Ezek pedig a hatótávolság és a robbanófej, vagy robbanótöltet.

A rakétákat és a robotrepülőgépeket is, a **hatótávolságuk** szerint öt plusz egy csoportra bonthatjuk:

Harctéri kis hatótávolságú (< 150 km), Kis hatótávolságú (< 800 km), Közepes hatótávolságú (< 2399 km), Nagy (Intermediate) hatótávolságú (< 5500 km) és Interkontinentális hatótávolságú (melyek hatótávolsága meghaladja az 5500 kilométert, de akár a 20000 kilométert is elérheti).

Az öt csoporton kívül megkülönböztetjük még a tengeralattjárókról indított ballisztikus rakétákat és robotrepülőgépeket is (*Submarine Launched*). Hatótávolságuk nem külön meghatározott, jellemzően 3000 és 5000 kilométer között mozog az eszköztől függően. Ezek hordozói nagyméretű, nukleáris meghajtású tengeralattjárók. Rendszerint kétlépcsősen működnek, szilárd hajtóanyagot használnak, tömegük nem haladja meg a 20 tonnát.

2. A sugárhajtás ismertetése

Egy repülő eszköz vagy egy rakéta vizsgálatánál mindenképp szükséges figyelembe vennünk, hogy mi az, ami annak tolóerejét biztosítja, vagyis milyen szerkezet felelős a meghajtásért. Mind a rakéták, mind pedig a robotrepülőgépek kapcsán a hajtómű az egyik legfontosabb szerkezeti egység. A leggyakrabban valamiféle sugárhajtómű látja el ezt a feladatot.

A sugárhajtóművek már a második világháború során is megjelentek, alkalmazásuk és fejlesztésük egyaránt széles körben terjedt el. Megjelenésükre és használatukra azért volt és van szükség, mert nagyobb repülési sebességeken a légszavas megoldás által biztosított vontatás határfoka, és vele párhuzamosan maga a tolóerő is rohamosan csökken. Így a légszavas hajtás nem teszi lehetővé a repülést nagy sebességeken. A sugárhajtóművek megjelenése azonban új távlatokat nyitott meg, és elérhetővé tette a nagysebességű (szuperszonikus és hiperszonikus) repülést.

A sugárhajtásoknak több fajtája is van, és habár ezek szerkezetileg jelentősen eltérnek egymástól, az elv minden esetben megegyezik, tolóerőt hoznak létre, melyhez a gázok áramlását, nyomását és hőenergiáját használják fel.

A sugárhajtások közül három különböző megoldást szeretnék részletes elemezni, ám mindezek előtt fontos leszögezni, hogy egy sugárhajtómű kialakítása szerkezetileg akármennyire bonyolult is legyen, működésének elve, mint minden más hajtóműtípusnak is, egy egyszerű fizikai törvényre épül, ez pedig nem más, mint Newton III. törvénye, a hatás-ellenhatás elve.

„Minden erővel szemben fellép egy vele megegyező nagyságú, azonos hatásvonallal rendelkező, ellentétes irányú ellenő.”

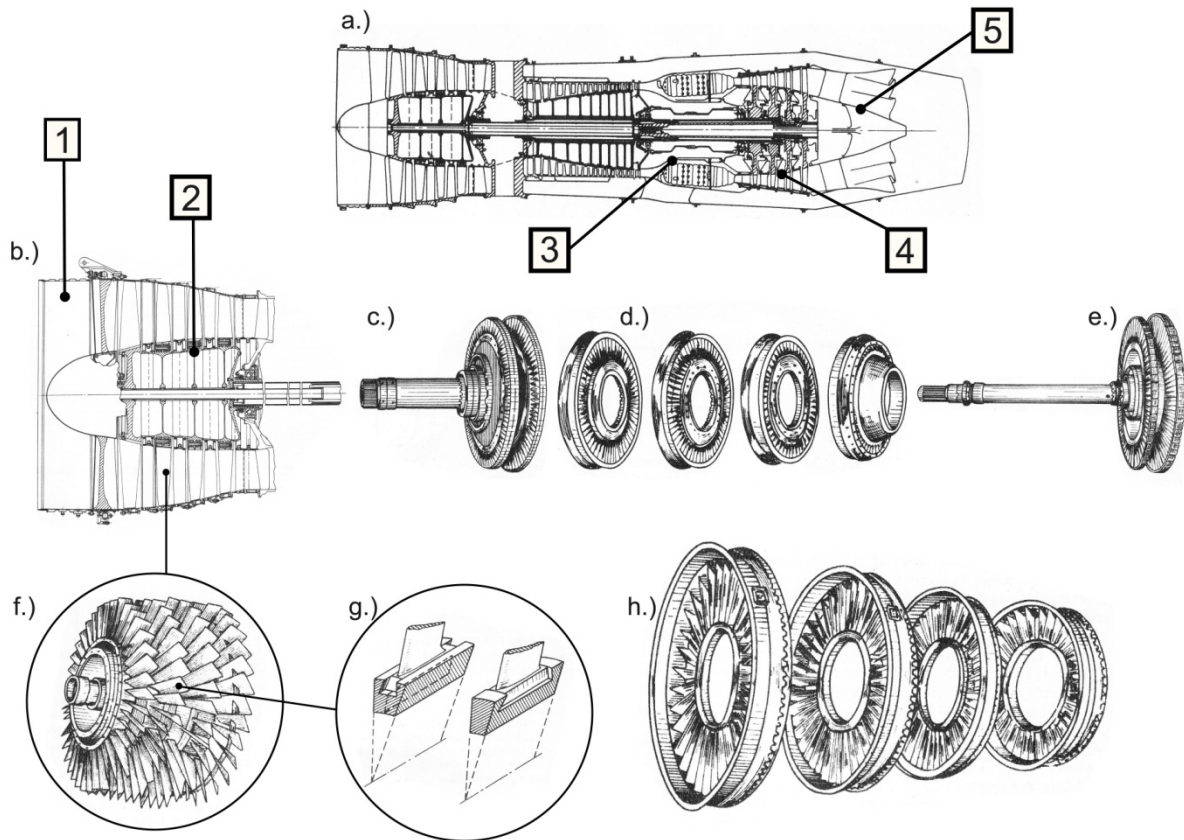
A sugárhajtás mibenléte így már egyszerűen megfogalmazható: a kiáramló gáztömeg hatóerejével ellentétes irányban fellépő erőt használjuk fel tolóerőként az adott repülőeszköz meghajtására.

A sugárhajtás különlegessége abban rejlik, hogy működése során magas hőmérsékletű, nagy nyomású gázokat állít elő, melyek hőenergiáját a fúvócsövén keresztül mozgási energiává alakítja át.

2.1. Gázturbinás sugármeghajtás (Turbojet)

A gázturbinás sugárhajtómű az egyik legegyszerűbb szerkezet a sugárhajtóművek között. A különböző modellek fejlesztése viszonylag gyorsan indult be a második világháború alatt, ugyanakkor ennek a hajtómű típusnak a fejlesztése haladt a leggyorsabb

ütemben. Nagy előnye ennek a típusnak, hogy indítása nem igényel különleges körülményeket, bármilyen hideg, vagy meleg időben könnyedén beindítható. Másik előnye, hogy indítása nincs kötve a sebességhez, azaz ez a hajtóműtípus képes a földön, zérus sebesség mellett beindulni, majd ezek után képes felgyorsítani a repülő eszközt a felszálláshoz megfelelő sebességre.



2. számú ábra: Kétáramú gázturbinás sugárhajtómű⁴

a.) Gázturbinás sugárhajtómű b.) Kisnyomású kompresszor c.) Turbina nagynyomású forgórésze d.) Turbina állólapátjai e.) Turbina kisnyomású forgórésze f.) Kompresszor forgórésze g.) Forgórész járólapátjai h.) Kompresszor állórésze

1. Légtorok 2. Kompresszor 3. Égőkamra 4. Turbina 5. Fúvócső

A 2. számú ábrán egy centrifugál kompresszoros gázturbinás sugárhajtómű és annak fő szerkezeti egységei láthatóak. A gázturbinás sugárhajtómű (a.) működéséhez elengedhetetlen a külső légköri gázok beszívása, majd azok sűrítése. Ezt a feladatot a (b.) kompresszor látja el.

Gázturbinás sugárhajtásról beszélve két féle kompresszor típust különböztethetünk meg. Az egyik a centrifugál kompresszoros megoldás, míg a másik az axiálkompresszoros változat. A centrifugálkompresszoros hajtóművek szerkezetileg egyszerűbbek, tömegük

⁴ Szerző által szerkesztve: Vass Balázs. Repülőgép-, Helikopter-, és Hajtóműtípusok. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1974. ISBN 963 10 0634 4 –37. oldal 23. ábra; 38. oldal 24. ábra; 39. oldal 25. ábra felhasználásával.

kisebb, mint axiális társaiknak, és az üzemanyag igényük is rendszerint magasabb. Azonban az axiálkompresszoros sugárhajtás átmérője rendszerint kisebb, ezért ellenállása is kisebb, aminek következtében az ilyen meghajtások hatásfoka meghaladja társaikét. Ám ezek a hajtóművek bonyolultabbak, és bizonyos körülményekre érzékenyek, mint például az átáramló levegő mennyiségének megváltozására vagy a fordulatszám változására.

A hajtómű működésekor az orr részen található légtorkon vagy beömlőnyíláson (1) át áramoltatja be a gázokat a kompresszorba. Az így beáramló hideg levegő nyomása alacsony. A centrifugálkompresszor (2) malomhoz hasonlító lapátrendszere összenyomja, sűríti az alacsony nyomású levegőt, melynek hatására a gáz nyomása megnő, így hőmérséklete is megnövekszik (van der Waals állapot egyenlet alapján)⁵. Ez a lapátrendszer áll egy forgó részből – alacsony nyomású kompresszor (f.) –, melynek lapátjai megfelelő szögben döntöttek (g.) és egy álló részből – magas nyomású kompresszor (h.). A hajtómű működésekor a kompresszor járólapátjai szinte belepréselik a levegőt az álló lapátokba, így növelve meg a levegő nyomását.

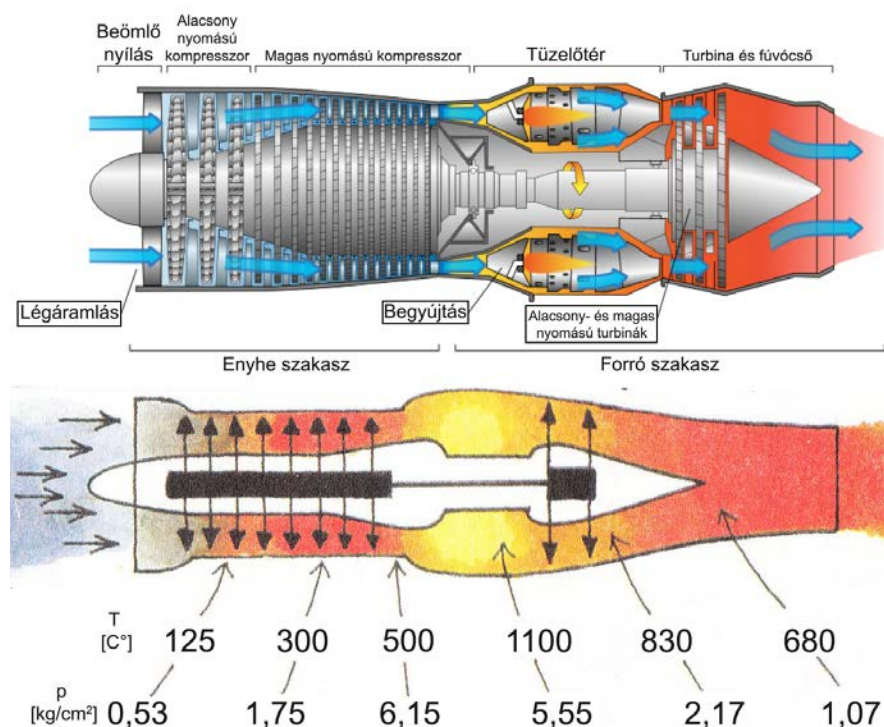
Ezután a tömörített, sűrített levegő az égéskamrába vagy tüzelőtérbe kerül (3), ahol a porlasztott tüzelőanyaggal keveredve elég. Ebben a hajtóműtípusban az égéshez szükséges oxidáló anyagként a levegő oxigénje szolgál. Az égés következtében a hőmérséklet tovább emelkedik, amivel arányosan a gáz nyomása is tovább nő. Végül az így kapott nagynyomású, magas hőmérsékletű gázok a tüzelőtérből a turbinába (4) áramlanak, ahol annak forgatásával a gázok, hőenergiájának és nyomásának kis része mechanikai munkává alakulva hajtják meg a kompresszor lapátjait, hogy a gázok áramlása folyamatos legyen.

A turbinából kiáramolva a gázok a fúvócsőbe (5) kerülnek. A fúvócső feladata, hogy a beérkező, alacsony mozgási-, ám nagy hőenergiával és nyomással rendelkező gázok energiáját tolóerővé alakítsa át. A fúvócső tolócsőszerű formájának köszönhetően, a kiáramló gáz hőmérséklete és nyomása fokozatosan csökken, ám ezzel egy időben mozgási energiája, sebessége arányosan növekszik.

A 3. számú ábrán jól látszik, hogy a beáramló gázoknak, mind a hőmérséklete, mind a nyomása alacsony. A hőmérséklet és a nyomás is fokozatosan nőni kezd az enyhe szakaszon,

⁵ Sugárhajtóművekről beszélve, nem használhatjuk az ideális gázok állapotegyenletét (Egyesített gáztörvény: $pV = nRT$), mivel ezeknek a gázoknak a hőmérséklete és a nyomása is halmozottan magas, azaz nagymértékben eltérnek az ideálistól. Ezért szükséges reális gázokként beszélni róluk. A Van Der Waals állapotegyenlet a reális gázok állapotváltozására felírható matematikai összefüggés: $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$. Az egyenletben (p) jelenti a gáz nyomását, (V) a gáz térfogatát, (T) a hőmérsékletet, (n) a mol-számot. (a) – kohéziós erőből adódó módosítás – és (b) – a részecskék saját térfogata – az ún. Van der Waals-állandók. Műszaki területen, reális gázokról beszélve a leggyakrabban használt egyenlet a Van der Waals-állapotegyenlet, hiszen ez az egyenlet nagyon hasonlít az ideális gázokra vonatkozó Egyesített gáztörvényre.

amint azok áthaladnak a kompresszoron. Az égéstérbe áramlás után, a begyújtást követően ugrásszerű hőmérséklet- és nyomásnövekedés következik be. Majd a forró szakasz végén a nyomás és vele együtt a hőmérséklet is fokozatosan csökkenni kezd, miközben kifejtik hatásukat, és tolóerőt hoznak létre.



3. számú ábra: Az áramlás sugárhajtóműben, a gázok hőmérsékletének illetve nyomásának változása⁶

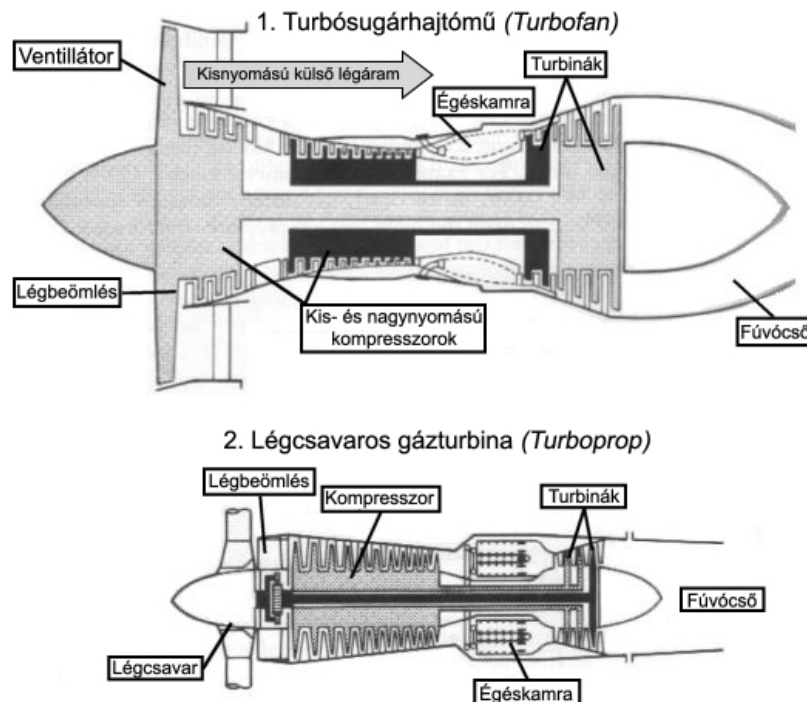
Az egyáramú sugárhajtóművel szemben a kétáramú változatnak több előnye is van. Az egyszerűbb egyáramú gázturbinák ugyanis az indításukkor viszonylag kis hatásfokon képesek működni, ennek ellenére üzemanyag fogyasztásuk magas. Ez a magas tüzelőanyag fogyasztás már nem volt tovább csökkenthető, így elemi változtatásokra volt szükség, mind a hatásfok növelésének, mind az üzemanyag ellátás érdekében.

A kétáramú gázturбина egy külső (szekunder) és egy belső (primer) körből áll. A belső kör megegyezik a fent leírtakkal, azzal a különbséggel, hogy a belső kör turbinája nem csak a kompresszor meghajtását végzi el, hanem a külső áramkör úgynevezett csőlégsavarjait is meghajtja. A csőlégsavar feladata áthajtani a gázokat külső áramkörön a kompresszor és a turbina kikerülésével, majd azok a fúvócsőbe jutva hűtik a hajtóművet. Ezen kívül ez a megoldás tolóerő növekedést is eredményez. A szekunder, vagy külső körön átáramló,

1. ⁶ Szerző által szerkesztve: <http://www.avionslegendaires.net/dossier/la-propulsion-a-reaction/la-propulsion-a-reaction-principes> ábra (Letöltve: 2014.03.05.) és Christopher Maynard. A technika nagy enciklopédiája, 3. fejezet 6. oldal 5. ábra – Aquila könyvkiadó, 1994 – ISBN 963 8276 29 0 – Eredeti cím: The Usborne Young Scientist alapján.

kisnyomású, hideg gázok a fűvócsőben keverednek a turbinából kilépő gázokkal. Hűtik és lecsökkentik azok sebességét, így csökken a gázsugár és a külső levegő közötti különbség, amivel párhuzamosan a mozgási energia veszteség is csökken. Ez pedig tolóerő növekedését eredményezi. (Az 2. számú ábrán c.)-vel jelzett a turbina nagynyomású járólapátos forgórésze, d.)-vel jelzett a turbina nem mozgó állólapátjai, és e.)-vel jelzett a kisnyomású járólapátokkal szerelt forgórész.) A tolóerő növekedésével pedig az üzemanyag fogyasztás is számottevően csökken. Polgári repülések kapcsán előnye, hogy nagyságrendekkel halkabb, mint egyáramú elődje.

A gázturbinás sugárhajtások közé tartozik még az úgynevezett turbó sugárhajtás (angolul Turbofan, 4. számú ábra: 1.) megoldás is. Ezt a sugárhajtás típust jellemzően polgári repülésben használják, katonai célok esetén pedig nagyméretű csapat- és eszközszállító repülőgépeken, esetleg bombázó gépeken jelenik meg. Ebben az esetben a sugárhajtás elején lévő nagyméretű ventilátor felelős a légbeszívásért. A kétáramú sugárhajtáshoz hasonlóan, itt is megjelenik egy külső gázáram, ám ennek útja teljesen a központi egységen kívül van, és nincs szükség külön álló csőlégcsavarra a mozgatásához. Ezután a kiáramló gázokkal keveredve ugyan azt a hatást váltja ki, mint a szekunder kör kiáramló gázai.



4. számú ábra: 1. Turbó sugárhajtómű és 2. Légcsavaros gázturbina⁷

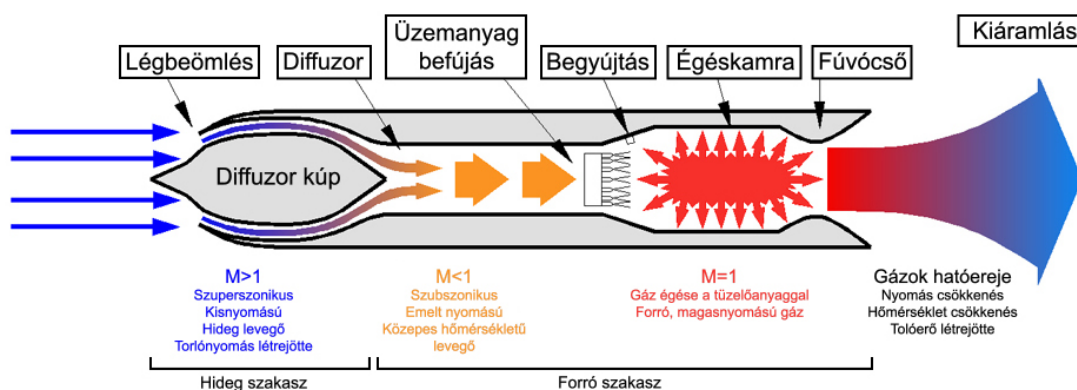
⁷ Szerző által szerkesztve: <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/jet/turbofan.jpg> és <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/jet/turboprop.jpg> képek alapján (Letöltve és szerkesztve: 2014.03.13.)

Egy másik (az üzemanyag használat szempontjából a legvonzóbb) az ún. Turboprop meghajtás (4. számú ábra: 2.), mely lényegében a turbó sugárhajtás és a légsavaros meghajtás ötvözete. A hajtómű elején, és annak testén kívül található légsavár (propeller) helyettesíti a beömlő nyílás ventillátorát. Így a hajtómű működésekor a légsavaros repülés és a sugárhajtás előnyei is érvényesülni tudnak. Az ilyen meghajtás hátránya, hogy működése közben zajos és szubszonikusnál magasabb sebességek nem érhetőek el vele. Ez a típus ugyancsak a polgári repülésben tűnhet fel a legtöbbször.

2.2. Torló-sugármeghajtás (Ramjet)

A torló-sugaras hajtómű az egyik legkorszerűbb hajtómű típus. Ezek a hajtóművek, mind hatásfok, mind az elérhető sebesség, mind a gazdaságosság szempontjából felülmúlják társaikat. Ezekkel a hajtóművekkel könnyedén átléphető a hangsebesség határa, továbbá képesek a szuperszonikus skála felső sávjában, jellemzően 2 és 3 Mach között, megtartani a repülés sebességét.

A torló-sugárhajtómű működése az úgynevezett torló-nyomás kialakulására épül. Ezt a nyomást a magával a hajtóművel szemben fellépő légellenállás hozza létre. Ahogyan a repülő eszköz halad előre, a levegő betorlódik a hajtómű nyitott száján, a diffuzorba. A diffuzor kúp alakjának köszönhetően, a beáramló levegő rendelkezésére álló térfogat fokozatosan lecsökken, melynek hatására (Van der Waals-állapotegyenlet alapján. Lásd 13. oldal) vele párhuzamosan a nyomás és hőmérséklet hányadosa növekszik, azaz a beáramló gáznak mind nyomása, mind hőmérséklete megnő, vagyis a gáz összesűrűsödik.



5. számú ábra: Torló-sugárhajtómű működése⁸

⁸ Szerző által szerkesztve: History of the Talos Ramjet Engine – Phillip R. Hays PhD.
<http://www.okieboat.com/Ramjet%20history.html> 1. ábra alapján. (Letöltve: 2014.03.06.)

Ezután a már nagynyomású és magas hőmérsékletű gáz az égéstérbe kerül, ahol a gázturbinás hajtóműhez hasonlóan, porlasztott tüzelőanyaggal keveredve ég el. Ezek után a fúvócsövön távozó gázok lényegében ugyanazt a hatást váltják ki, mint a gázturbinás sugárhajtás távozó gázai, azzal a különbséggel, hogy míg a gázturbina esetén mindenképpen pozitív hatásfokot érhattünk el, addig a ramjet meghajtás esetén elengedhetetlen, hogy a kiáramló gázsugár hatóerejével szemben fellépő tolóerő meghaladja a hajtómű által létrehozott légellenállásból adódó veszteségeket. Ebből következik, hogy a hajtóműtípus hatásfoka szorosan összefügg a sebességgel. Ezek a hajtóművek jellemzően nem képesek 300 km/h (tengerszinten nézve) sebességnél lassabb járművek meghajtására, így gyakrabban használatosak pilóta nélküli eszközök meghajtására.

A torló-sugaras meghajtás különlegessége, hogy a gázok beáramoltatását és sűrítését nem a hajtómű vagy annak egy szerkezeti egysége végzi el, hanem a mozgásból adódó légellenállás hatására létrejövő torló-nyomás. Ennek okán nincs szükség kompresszorra, aminek következtében turbinára sincs szükség, hogy meghajtsa azt. Vagyis ebben a sugárhajtómű típusban nincs mozgó szerkezeti egység.

Ebből következik hátránya, hiszen a torló-nyomás kialakulásához megfelelő légellenállásra és sebességre van szükség. Így ez a hajtóműtípus, a turbinás meghajtásokkal ellentétben nem képes álló helyzetből beindulni.

Hatalmas előnye ezzel szemben a hatékonysága nagy sebességeken, mely legfőképpen az üzemanyag igényben mutatkozik meg. Ugyanis ezek a hajtóművek jóval gazdaságosabban működtethetőek, mint gázturbinás társaik. Ezen felül, mivel ez a hajtóműtípus is a levegő oxigénjét használja fel az égéshez, így nincs szükség külön oxidáló anyag szállítására.

A torló-sugaras meghajtások egy fejlettebb verziója az úgynevezett Scramjet, vagyis Supersonic Combustion Ramjet, amellyel a még magasabb, hiperszonikus sebességek is elérhetővé váltak.

2.3. A Rakétahajtómű

A rakétahajtómű egy speciális sugárhajtás típust képvisel. A rakétafegyverek esetén a rakéta nem feltétlenül magát a fegyvert jelenti, hanem annak hordozó eszközét, és a hordozó eszköz meghajtásának sajátos típusát. A rakétahajtómű is Newton III. törvénye alapján működik, és a sugárhajtóművekhez hasonlóan hatóerejét a gázok nyomás- és hőmérsékletváltozásának segítségével hozza létre.

A rakétahajtómű különlegessége abban rejlik, hogy az égéskamrában történő tüzelőanyag elégetéséhez nem a levegő oxigénjét használja fel, hanem valamiféle oxidáló

anyagot. Ebből következik előnye, és hátránya is egyaránt, miszerint nincs szükség a levegő oxigénjére a működéshez, azaz ez a hajtóműtípus képes oxigénszegény, vagy oxigéntől teljesen mentes környezetben is működni. Ezzel szemben viszont az égéshez mindenképp szükséges valamilyen oxidáló anyag, és mivel rakétahajtóművek esetén a külső légkör oxigénje nem áll rendelkezésünkre, ezért ez esetben az oxidáló anyagot külön szállítanunk kell, a tüzelőanyaghoz hasonlóan. A rakétahajtómű, minden sugárhajtóműhez hasonlóan, energiaátalakítást végez, a tolóerő létrehozása érdekében.

Az energiaátalakítás rakétahajtóműről beszélve, a tüzelőanyag elégésével kezdődik. Az égés pedig az oxidáló anyag felhasználásával megy végbe a tüzelőtérben. Ennek a kémiai égésnek az eredményeként történik meg a gázképződés, amikor nagy nyomású, magas hőmérsékletű (3000-4000 °C) gázok jönnek létre. Ezután a gázok közvetlenül a fúvócsőbe áramlanak, majd azon át távozva fejtik ki hatásukat.

A rakétahajtómű által felhasznált anyagokat, a tüzelőanyagot és az oxidáló anyagot, hajtóanyagoknak nevezzük. A rakétahajtóművek esetén, a hajtóanyagok halmazállapota alapján két típust különböztethetünk meg, folyékony illetve szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet.

Folyékony hajtóanyagot használó rakétahajtómű szerkezeti elemei közül a legfontosabbak az égéskamra, a fúvócső (együttesen hajtóház) és a hajtóanyagokat tároló tartályok (folyadék nyomásának biztosítása szükséges), továbbá a táprendszer, amely a hajtóanyagokat az égéskamrába juttatja.

A táprendszer a hajtóanyagokat a hajtóházba szállítja, ahol a komponenseket fúvókák segítségével porlasztva fecskendezik a tüzelőtérbe. Ezzel párhuzamosan történik a hajtóanyag komponensek cseppjeinek párologtatása és keveredése, kezdetét veszi az égés. Az égés, vagyis a kémiai reakció, jellemzően külső hatás nélkül megy végbe, nincs szükség az üzemanyag begyűjtására, a hajtóanyag öngyulladó. A folyamat leállításához pedig elegendő a hajtóanyagok adagolásának megszüntetése.

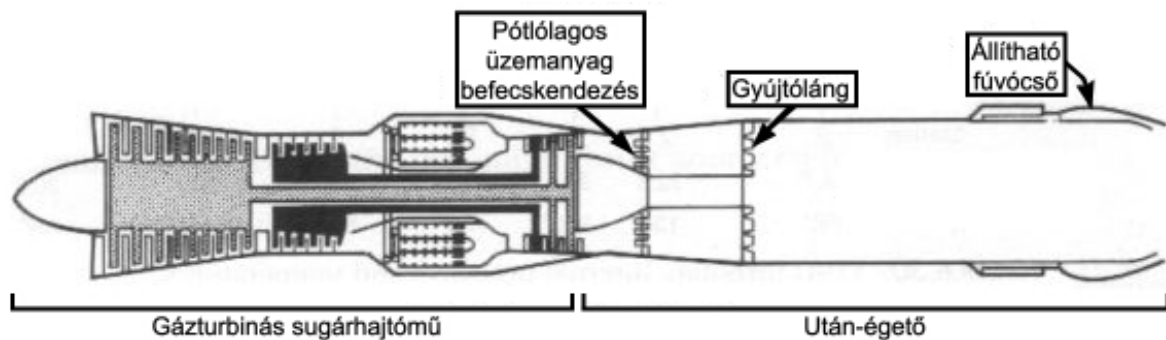
Szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek ezzel szemben valamivel egyszerűbbek. Ebben az esetben a hajtóanyagok különféle keresztmetszetű, szilárd rudak (hajtóanyag töltetek) formájában helyezkednek el a hajtómű égéskamrájában. Így nincs szükség táprendszerre, és tartályokra. Két másik problémát azonban mindenképp érdemes megemlíteni, amelyek feltétlen szükségesek ennek a hajtóműtípusnak a működéséhez.

Az első jelentős probléma a szilárd hajtóanyag töltet közel állandó hőmérsékletéből ered (a hajtóanyag töltet az üzemidő alatt nem melegszik fel). A kritikus keresztmetszet szabályzó feladata, hogy a fúvócső kritikus keresztmetszet méretének szabályozásával a hajtómű tolóerejét állandó (jellemzően előre beállított) értéken tartsa. Erre azért van szükség,

mert a hajtóanyag kezdeti hőmérsékletétől függ a tolóerő nagysága. Ugyanis a hajtóanyagok halmazállapot-változásakor (szilárdból gáz keletkezik) a tömeg nem változik, így a hajtóműből kiáramló gázok mennyisége megegyezik az elégtő szilárd hajtóanyagok mennyiségével. Minél kisebb a hajtóanyagöltet kezdeti hőmérséklete az égés folyamata annál lassabban megy végbe. Ebből az következik, hogy a kiáramló gáz mennyisége is kisebb lesz, azaz csökken a tolóerő. A kritikus keresztmetszetet szabályozó berendezés feladata, a hajtóanyag töltet alacsony hőmérséklete esetén, csökkenteni a keresztmetszetet, magas hőmérséklet esetén pedig növelni azt. Ugyanis a tolóerő tolóerőt (egységnyi idő alatt) a kiáramló gázok mennyiségének és a kiáramlás sebességének szorzata adja. Azaz hideg kezdeti hőmérséklet esetén az égés lassabb, kevesebb a kiáramló gáz mennyisége, a keresztmetszet méretének növelésével az áramlás sebessége megnő, meleg üzemanyag esetén ellentétesen járunk el.

A második problémát a hajtómű leállítása veti fel. Erre kétféle megoldás született az évek során. Az egyik, legegyszerűbb és leggyakrabban használt módszer a nyomás leeresztő szelepek beépítése. A megfelelő pillanatban ezek a szelepek kinyitnak és az égéstermék gázok ezeken keresztül távoznak, így megszűnik a tolóerő termelését. A másik módszer a tolóerő-fordítás módszere. Ebben az esetben kiegészítő fűvőcsöveket szerelnek fel, melyeken, azokat megnyitva, a fűvőcsővel megegyező nagyságú, de ellentétes irányú tolóerő keletkezik. A két létrejövő erő eredője pedig zérus, azaz tolóerő is nulla lesz.

2.4. Az után-égető



6. számú ábra: Után-égetős gázturbina szerkezete⁹

A sugárhajtóművek hatásfokjavításának, a fűvőcsőből kiáramló gázsebesség növelésének egyik módja az ún. után-égetés. Ebben az esetben a fűvőcsőbe kapcsolt segédszerkezet, az után-égető segítségével pótlólag tüzelőanyagot égetünk el. Ez azt jelenti, hogy a hajtóműből kilépő gázok hőmérsékletét tovább növeljük, a megnövekedett hőenergia

⁹ Szerző által szerkesztve: <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/jet/turbojet.jpg> ábra alapján. (Letöltve: 2014.03.16.)

hatására, az energia átalakulás során a kilépő gázáram sebessége és hatóereje is megnövekszik, így a vele ellentétesen fellépő tolóerő nagysága is számottevően nagyobb lesz. Az után-égető alkalmazása jellemzően nagy sebességek esetén gazdaságos, ennek oka a fajlagos tüzelőanyag fogyasztásában fellelhető különbség.

Az után-égetők használata leginkább harci, szuperszonikus repülőgépekre jellemző, de ezekben az esetekben is korlátozott a használata, mivel üzemanyag fogyasztása jelentős, és hajtómű igénybevétele is számottevően megnő, habár ez a segédszerkezet nem tartalmaz mozgó alkatrészeket. Az után-égető ennek következtében jellemzően a hajtómű üzemidejének mindössze 5%-a alatt használható.

Az után-égetőhöz ezen felül hozzátartozik a kilépő gázok szabályozása, állítható keresztmetszetű fúvócső segítségével. Az állítható fúvócső ez esetben is, rendszerint automatikusan működik. Után-égető bekapcsolásakor a fúvócső keresztmetszete az elégetett üzemanyag mennyiségének megfelelően változik.

3. Az Egyesült Államok első interkontinentális hatótávolsággal rendelkező robotrepülőgépei

3.1. Robotrepülőgépek meghatározása

3.1.1. Robotrepülőgép definíciója

Hogy megállapíthassuk a robotrepülőgépek mibenlétét, meg kell ismerkednünk azok szakirodalmi definíciójával, ami a következőképp hangzik:

„Robotrepülőgépnek nevezzük az olyan önműködő, irányított eszközöket, melyek repülésükhöz az aerodinamikai felhajtó erőt használják fel, és elsődleges feladatuk, hogy robbanótöltetet juttassanak célba. Ez a definíció elsősorban magában foglalhatja a pilóta nélküli repülő eszközöket (UAV), távolról irányított, pilóta nélküli repülőgépeket és helikoptereket is.”¹⁰

„A robotrepülőgép elnevezés a különböző típusú és kategóriájú, szárnnyal (illetve felhajtóerőt létrehozó felületekkel), vezérsíkkal és a légkör oxigénjét hasznosító hajtóművel felszerelt, pilóta nélküli eszközök gyűjtőfogalma.”¹¹

A robotrepülőgépek definiálásában a problematikát az idegen- és hazai szakirodalmakban előforduló különbségek okozzák.

Amit megállapíthatunk, hogy a robotrepülőgépek mindenképp olyan haditechnikai eszközök, melyek repülésükhöz az aerodinamikai felhajtóerőt használják fel, különböző repülőgép elrendezésekben felszerelt szárnyaik és stabilizátoraik vannak, hajtóművük oxidáló anyagként a légkör oxigénjét használja fel.

A robotrepülőgépek is egy fajtáját képezik a hadászati, tömegpusztító fegyverek hordozására alkalmas eszközöknek. Annak ellenére, hogy működésük több szempontból vizsgálva hasonlít egy rakéta működésére, mégis legfontosabb tulajdonságuk okán inkább repülőgépekhez hasonlítanak.

Az angol nyelvű szakirodalom ezeket a robotrepülőgépeket a harcászati rakéták egy csoportjaként tartja számon, és tükörfordításban cirkáló rakétáknak (vagy cirkáló repülőtest/töltet) nevezi őket. A legfőbb problémát ez a csoportosítás okozza, hiszen egy repülő eszközről beszélve szeretnénk minél pontosabban meghatározni azt. A fent leírt definícióhoz azonban mindenképp hozzá kell tennünk, hogy ezek az eszközök folyamatos meghajtással rendelkeznek, és nem hagyják el a föld légkörét.

¹⁰ Szerző fordítása: <http://www.fas.org/nuke/intro/cm/> alapján (Letöltve 2014.02.21.)

¹¹ Sárhidai Gyula. Robotrepülőgépek, Haditechnika fiataloknak sorozat, Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1986 – 3. oldal – ISBN 963 326 339 5

Szentesi György a Galaktika folyóirat lapjain a robotrepülőgépeket kisméretű, kistömegű, harcászati jelleggel rendelkező pilóta nélküli repülőgépekként írja le, melyek indíthatóak szárazföldről, tengeralattjárókról, vízfelszíni hajókról és repülőgépekről is egyaránt. Szokványos repülőgép elrendezéssel rendelkeznek, azaz szárnyaik elöl helyezkednek el, hátul pedig a manőverezésre és stabilizálásra használt vezérsíkok. Az újdonságuk abban rejlik, ahogyan a célt megközelítik.

Ugyanis a robotrepülőgépek rendszerint képesek manővereket végrehajtani, és ennek következtében a cél felé megtett útjuk, pályájuk jelentősen eltér a rakéta fegyverek célmegközelítésére használt módszertől. A robotrepülőgépek navigációs rendszerük segítségével képesek (repülőgépekhez hasonlóan) tereptárgyak és domborzati elemek kikerülésére, felderítésnek köszönhetően pedig képesek az ellenséges védelmi rendszerek elkerülésére.

3.1.2. Robotrepülőgépek szerkezeti részei

A robotrepülőgépek repülése pályájuk nagyobbik részén rendszerint a repülőgépek repülésével megegyező módon történik. A repülőgépek sárkányszerkezetükkel aerodinamikusrepülést hajtanak végre, amihez javarészt a szárnyakon keletkező, aerodinamikai felhajtó erőt használják fel.

A repülő eszközök alapvető szerkezeti egysége a törzs. Az összes többi szerkezeti elemet a törzshöz erősítik. A törzs robotrepülőgépek esetében jellemzően a hasznos teher, az üzemanyag és a segédberendezések szállításáért felel, továbbá sok esetben maga a hajtómű is a törzs hátsó részében helyezkedik el. A törzs kialakítása is aerodinamikus elvek szerint történik, ám a törzsen nem keletkezik olyan nagymértékű felhajtó erő, amely számottevő lenne, szerepe az ellenállás csökkentésében jelentős.

A szárny az aerodinamikus módon repülő eszköz legfontosabb szerkezeti egysége. A szárny szelvények kialakításának (szárnyprofil) köszönhetően, a repülés során, a szárny feletti levegő áramlási sebessége megnő, így a Bernoulli törvény¹² értelmében a nyomás lecsökken, szívó hatás jön létre, míg a szárnyak alatt nyomás jön létre. Ez a két erő adja a felhajtó erőt. A felhajtóerő függ a szárnyak elrendezésétől és formájától, a szárnyprofiltól és a szárnyak dőlésszögétől is.

A repülőgép a szárnyak törzsen való függőleges elhelyezkedése alapján lehet felsőszárnyas (vállszárnyas), középszárnyas, illetve alsó szárnyas. A félszárny formájának alapján pedig beszélhetünk egyenes, hátranyilazott, trapéz, illetve delta szárnyaktól.

¹² Bernoulli-törvény: „Az áramlási sebesség növekedésével a közeg statikus nyomása csökken.”

A szárnyon található legfontosabb vezérlő elem az ún. csűrő lap, amellyel a gép hossz tengelye körüli forgás (orsózás) szabályozható. A csűrőlapok a felszárnyakon egymással ellentétes irányú mozgást végeznek. A szárnyakon megtalálható még az ún. orrsegédszárny, és a fékszárny, valamint a féklapok. Az orrsegédszárny szerepe legfőképpen alacsony sebességen történő repülésnél fontos, de feladata a szárnyon keletkező légörvények negatív hatásának csökkentése, és az irányításban is közrejátszik.

Rendszerint a gép hátulján elhelyezkedő vízszintes és függőleges vezérsíkokat farokfelületeknek nevezzük. Ezeknek a kialakítása is hasonló a szárnyakéhoz, ám feladatuk nem a felhajtóerő termelése, hanem az irányítás és a stabilizálás. A vezérsíkokon jellemzően a kormánylapokat helyezik el, melyekkel emelkedés és süllyedés, illetve a vízszintes irányú elfordulás vezérelhető.

A farokfelületek elrendezése is többféleképpen történhet. Beszélhetünk „T” elrendezésű farokfelületekről, „V” alakban elrendezett vezérsíkokról is. A „V” alakú vezérsík-kialakítás esetében a kormányzás kombináltan történik. Az ilyen vezérsík mind a vízszintes, mind a függőleges vezérsíkok feladatát egyszerre látja el, azaz magassági- illetve oldalkormányként is funkcionál. A farokfelületek elhelyezkedésének speciális esete a sárkányszerkezet „kacsa” elrendezése. Ebben az esetben, különleges módon a vízszintes vezérsíkok a szárnyak előtt, előtét szárnyak formájában kapnak helyet.

A farokfelületek és a szárnyak egymáshoz viszonyított pozícióját vizsgálva, a repülőgép elrendezése lehet még ún. csupaszárny elrendezésű is. Ebben az esetben, vízszintes vezérsík nem található a gépen. Az emelkedésért és süllyedésért felelős kormánylapokat jellemzően szintén a szárnyon helyezik el. Ekkor a csűrő funkciót és a vízszintes vezérsík funkcióit is ugyanazon kormánylap látja el, amennyiben a két funkcióra egyidejűleg szükségünk van, a lapok szükséges dőlésszögei összeadódva látják el feladatukat. Ezt az egyesített vezérlést „elevon”-os kormányzásnak nevezzük.

3.1.3. Robotrepülőgépek meghajtása

A robotrepülőgépek esetében is rendszerint sugárhajtás biztosítja a repüléshez szükséges tolóerőt pályájuk azon szakaszán, amelyet repülőgéphez hasonlóan tesznek meg. A robotrepülőgépek működése jelentős mértékben függ az alkalmazott sugárhajtómű típusától. A sugárhajtómű megválasztása függ a kívánt hatótávolságtól, a repülési sebességtől és magasságtól, az eszköz súlyától, és az indítás módjától is.

Ugyanis bizonyos esetekben a robotrepülőgépek segédrakéta meghajtással, vagy indító rakétákkal vannak ellátva, amelyek a megfelelő sebességre gyorsítva az eszközt

lekapcsolnak, illetve leválnak arról. Ezután indulhat el a robotrepülőgép saját meghajtása, amely bármilyen más sugárhajtómű típus lehet. Ez a fajta módszer jellemző lehet minden olyan eszközre, amelynél szükséges egy elégséges repülési sebesség, illetve magasság elérése a további működést megelőzően. Erre a legjobb példa a torló-sugárhajtás használata, mely esetben a sugárhajtómű beindulásához minimális repülési sebesség szükséges.

Segédtrakéták alkalmazására adhat okot továbbá a hatékonyság növelése, ugyanis a gázturbinák indításukkor jellemzően kis hatásfokon működnek (ez hatványozottan fenn áll, ha egyáramú gázturbináról beszélünk). Ebben az esetben a segédtrakéta hajtóműve olyan sebességig gyorsítja fel az eszközt, ahol a gázturbina már megfelelő hatásfokon tudja teljesíteni feladatát.

Egy különleges eset a repülőgépről történő indítás. Ugyanis ez esetben a robotrepülőgép kezdő sebessége megegyezik az őt hordozó repülőgép sebességével.

3.2. Az SM-62 Northrop Snark története

3.2.1. Kezdetek, és az MX-775A

A Northrop által fejlesztett Snark robotrepülőgép az Egyesült Államok légierijének első interkontinentális hatótávolsággal rendelkező irányított robotrepülőgépe volt. Ám az SM-62 csak rövid időre állhatott szolgálatba, az egyre dinamikusabban fejlődő ballisztikus rakéta projektek okán.

John K. "Jack" Northrop (1895-1981) az USA egyik kiemelkedő aviatikusa. Mind hadászati repülőgépek, mind hadászati rakéták terén érdemes megemlíteni munkásságát. Nevéhez olyan ismert munkák kapcsolódnak, mint a B-35 Flying Bomb, az A-17-es harci repülőgép, a BT-1-es bombázó, az F-89 Scorpion, és persze az SM-62 Snark interkontinentális rakéta. A Northrop által tervezett repülő eszközök látványos sajátossága a felszegett orral történő repülés. Vállalatát, a Northrop Corporation-t 1939-ben alapította Californiában, ahol nem csak elnökként, de főmérnökként, és vezető kutatóként is dolgozott. A vállalat még ma is működik, Northrop Grumman Corporation néven.



2. számú kép: SM-62 Northrop Snark a levegőben¹³

Az SM-62-es kódot viselő Snark fejlesztése, eredetileg egy egyszerű föld-föld típusú interkontinentális rakétaként vette kezdetét, amivel ellentétben, a gyakorlatban egy kisméretű, gázturbinás sugármeghajtású, pilóta nélküli robotrepülőgép volt. A rakétát arra tervezték, hogy mobil indítóállásról, szilárd üzemanyagot használó indítórakétával legyen működtethető. Feladata, hogy az ellenség vonalai mögé kerülve likvidálja az ellenség

¹³ http://stellar-views.com/Photos_Missiles_Rockets.html
(Letöltve: 2014.04.06.)

védelmi (főleg légvédelmi) rendszereit, ezzel elősegítve az emberi irányítású bombázók célba juttatását. Ennek tükrében az SM-62-est Pratt and Whitney J-57-es gázturbinás sugárhajtóművel szerelték fel, mely képes volt elérni akár a 45000 méteres repülési magasságot 0.9 Mach sebesség tartása mellett. A tervek alapján a Snark 2700-9200 kilométeres repülési útja után, az orrkúp levált volna a hordozó rakétáról, majd ballisztikus pályán ért volna célba.

A Snark története egészen 1945-ig nyúlik vissza, amikor az USAF által felmerült az igény egy nagysebességű szubszonikus (965 km/h), 8000 kilométeres hatótávolsággal rendelkező, közel 1 tonnás robbanófej szállítására is alkalmas rakéta fejlesztésére. Az első tervek 1946 januárjára készültek el, melyekben egy szubszonikus sebességgel repülő, gázturbinás sugármeghajtást használó, 4000 kilométeres hatótávolságú rakéta szerepelt.

A Snarknál használt Pratt & Whitney J-57-es sugárhajtómű a világ első 4,5 tonnás tolóerejével rendelkező hajtóműve volt. Több mint 21000 darab készült belőle, amelyek mind hadászati célokra, mind polgári életben használt projektekben megjelentek, mint a Boeing 707, B-52-es, az F-100 „Super Sabre”, F-101 „Voodoo”, a Northrop SM-62 „Snark”, és az F-8 „Crusader”. A hajtóművet utánégetővel szerelték fel, amely jelentősen megnövelte annak teljesítményét, miközben tömege nem haladta meg a 2,5 tonnát.

1946 márciusában kezdetét vette a program, melynek keretében két különböző rakéta került fejlesztésre. Az MX-775A és MX-775B kóddal ellátott, Snark és Boojum névre keresztelt rakéták 8000 kilométeres hatótávolsággal rendelkeztek, és 2250 kg-os robbanófej szállítására voltak alkalmasak. Míg a Snark szubszonikus sebességre volt képes, addig a Boojum szuperszonikus sebességgel közelítette volna meg célpontját.

Miután 1946 karácsonyára a MX-775A Snark programot törtek, a Boojum kerülhetett előtérbe, egészen 1947 elejéig, mikor Northrop ígéreteinek hatására az USAF újraindította a Snark fejlesztését, ezzel egy időben pedig szüneteltetette a Boojum programot, hogy a későbbiekben az a Snark utódja lehessen.

1949 márciusára készültek el az első prototípusok, ám a teszt repülések során a program ígéretei nem látszódtak beigazolódni. Annak ellenére, hogy Joseph McNarney „Amerika legígéretesebb rakéta programjának” nevezte a Snarkot, a magas költségek és lassú fejlesztés okán, 1950-re a programot ismét leállították, és a további fejlesztéseket annak irányító rendszerére fókuszálták.

3.2.2. Az N-25-ös verzió

A viszontagságok ellenére az SM-62 fejlesztése mégis tovább folyt, és Northrop elkészítette a Snark N-25-ös verzióját, amely lényegében nem volt más, mint elődje felnagyított változata. Ezt a verziót, egy J-33-as gázturbinás sugárhajtóművel szerelték fel. A tervek alapján a repülések után, a repülőgép újra indítható lett volna, ezzel jelentősen csökkentve a tesztek és a fejlesztések költségeit. A landolás megkönnyítésének érdekében, az eszközt fékező ernyőkkel és a leszállásnál kinyíló talpakkal szerelték fel. Az N-25-ös változat 0,85 Machos repülési sebesség elérésére volt képes, amely lassabb ugyan, mint elődje volt, de jóval nagyobb méretei kompenzálták ezt az eltérést.

1950 decemberében kezdődtek meg az első tesztrepülések, ám az indítások sikertelenek voltak. Az N-25-ös első sikeres indítására egészen 1951 áprilisáig kellett várni, amikor a robotrepülőgép első, 38 perces repülésére sor kerülhetett. A tesztsorozat alatt összesen 16 darab N-25-ös repülhetett, összesen 21 alkalommal, melyek között a leghosszabb repülés 2 óra 46 percig tartott. A tesztsorozat végeztével, 1952 márciusára a 16 robotrepülőgépből csak 5 darab N-25-ös maradt.



3. számú kép: 1951.Június.26. A hatodik N-25-ös földet érése, 81 perc repülés után, a Holloman Légitámaszponton¹⁴

¹⁴ A kép a <http://www.omnilexica.com/?q=snark> internetes címről származik, a képaláírás Kenneth P. Werrel. The Evolution Of Cruise Missile című könyv 85.oldal alapján. (Letöltve: 2013.12.03)

Ennek a fejlesztési iránynak végül az egyre növekvő követelmények vetettek véget, amikor 1950 júniusában az Airforce¹⁵ a hasznos teherrel (robbanó töltet) és a hatótávolsággal szemben támasztott követelményei jelentősen megváltoztak a korábbiakhoz képest. A hatótávolsággal szemben támasztott elvárásokat 10000 kilométerre, míg a hasznos teher tömegével szembeni követelményeket 3 tonnára módosították. A legfontosabb módosítást mégis az eszköz pontosságával szemben támasztott követelmények változtatása jelentette. Míg a Snark akkori irányítórendszerének CEP¹⁶ értéke 1,4 tengeri mérföld, azaz 2,6 kilométer, addig az USAF által felállított követelmények egy jóval pontosabb rendszert írtak elő, 460 méteres CEP-pel. Az N-25-ös koncepció így nem felelt meg az újonnan támasztott követelményeknek.

A továbbiakban a Snark program egyik legfontosabb problémája és legnagyobb kihívása az irányító rendszer fejlesztése volt, melynek legjelentősebb kérdése, az irányítás megoldása interkontinentális távolságokon. A Northrop által tervezett csillagképes vagy csillagfényes irányítórendszer közel 1 tonnás önsúllyal rendelkezett, amely önmagában jelentős tehernövekedést jelentett. Ezt az irányító rendszert több teszt sorozatnak is alávetették, amelyeken sikeresnek bizonyult. Először 1949-ben földön, majd 1951 és 1952 között B-29 repülőgépeken tesztelték. A Snark programon túl, 1953 és 1958 között B-45-ös bombázókon tesztelték, amelyek során az irányítórendszer összesen 194 alkalommal, 450 órát repülhetett.

Az irányító rendszer különlegessége, hogy nem a föld domborzati terepmintáit és jellegzetességeit használta fel a helymeghatározásra. A csillagfényes rendszer működése során az eget fényképezi, majd ezeket a képeket hasonlítja össze az előre betáplált képekkel. A jellegzetesen elhelyezkedő égitestek alapján a betáplált és a fényképezett képek közötti eltérésekből következtetni lehet a meghatározott pályától való eltérésre, és azok mértékére. Így a pályáról történő esetleges letérés esetében a program időben korrigálhatja az eszközt, és visszaállíthatja azt a meghatározott pályára.

3.2.3. Az N-69-es Super Snark verzió

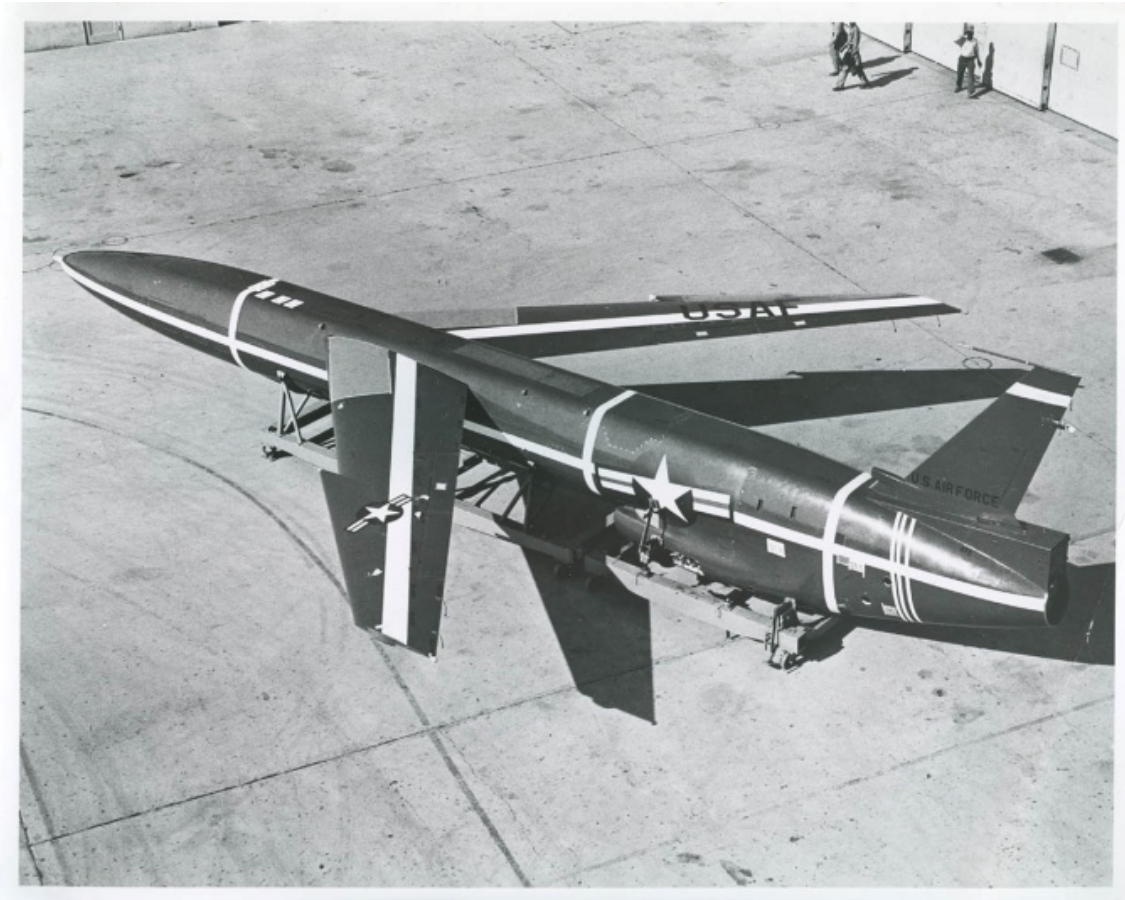
Az N-25 verzió után a Snark program újabb módosításokon esett át, melynek eredményeképp született meg az N-69-es Scarlet vagy Super Snark robotrepülőgép. A teher növekedésének okán ez a változat még elődjénél is nagyobb méreteket öltött, így lényegében

¹⁵ United States Air Force (rövidítve: USAF) – Egyesült Államok Légierője

¹⁶ CEP (circular error probability/circle of equal probability) – Cirkuláris Hiba Arány: Ballisztikában egy fegyver illetve fegyver-rendszer pontosságának meghatározására szolgáló számérték. Ez egy olyan kör sugarát jelenti, amely magába foglalja a becsapódások illetve a beérkező lövedékek felét (50%-át).

az N-25-ös felnagyított változata volt néhány aerodinamikai változtatással. Törzsének hosszát 18 méterről 22 méterre növelték, szárnyainak alapterületét is megnövelték és élesebb szögben helyezték el, melynek hatására a fesztávolság változatlan maradt. A robbanó töltetet szállító orrkúp formája is élesebb lett. A méretek növelésének hatására az eszköz tömege majdnem duplájára növekedett, annak elődjéhez képest.

Ebből a verzióból 4 különböző változat készült el, A, B, C és D jelölésekkel. Míg az N-69A, B és C modelleket J-71-es turbojettel, addig 1953 decemberében fejlesztett D modellt J-57-es sugárhajtással látták el.



4. számú kép: SM-62 Snark rakéta a földön¹⁷

1952 novembere és 1953 márciusa között 4 darab módosított N-25-ös Snark repülhetett, a törzsön elhelyezett két, egyenként 4 másodperces, 47000 font tolóerejű gyorsító rakétákkal. Ezek a modellek a célra repülés szakaszának kivételével instabilnak bizonyultak. A tesztrakétákkal ellentétben az N-69-es modellek gyorsítóinak tolóereje jóval nagyobb volt, egyenként 4 másodperces 105000 fontos tolóerő kifejtésére alkalmas iker gyorsító rakétával volt felszerelve, míg az N-69C és a későbbi darabok is, mind 4 másodperces 130000 fontos tolóerejű gyorsítókat kaptak.

¹⁷ http://stellar-views.com/Photos_Missiles_Rockets.html (Letöltve: 2013.11.18.)

Problémát jelentett a tesztrepülések során, hogy a J-71-es hajtómű több üzemanyagot használt fel, mint amennyire specifikációja szerint szükség volt, így ez tovább növelte a már amúgy is nehéz, majd 22 tonnás szerkezetet. A későbbiek során ezt a koncepciót is elvetették, és az N-69-es modellek mindegyikét J-57 gázturbinás sugárhajtóművekkel látták el.

Az első kísérletre 1953. augusztus 6-án kerülhetett sor, amely sikertelenül zárult. Ezután még négy újabb indítást kíséreltek meg, amelyek szintén nem hozták meg a várt sikert. Végül az első sikeres indításra 1953. június 3-án kerülhetett sor. Az indítást követően robotrepülőgép már 3 és fél órát repülhetett, de a sikert beárnyékolja, hogy a landoláskor a Snark felrobbant. Az első sikeres repülés 1954 júniusára könyvelhető el, amikor egy N-69A modell, J-57-es meghajtással, 903 km/h sebességgel ért célt.



5. számú kép: A Snark oldalán jól látható a két gyorsító rakéta¹⁸

1955 májusában az N-69-est szélcsatornában tesztelték, ahol kimutatták, hogy a célba juttatás módszere nem működőképes. Ennek oka, hogy a Snark csupaszárny elrendezésű sárkányának, kombinált csűrő és magassági kormányja alkalmatlanná tette arra, hogy a töltetet bombázókhöz hasonlóan, zuhanó repülést végrehajtva juttassa a célba. Így még az év júliusában módosították a célba juttatás módját. Az új tervek alapján a rakéta orrkúpja leválik

¹⁸ A kép ismeretlen internetes forrásból származik. Feltételezésem alapján a kép egy módosított N-25-öst ábrázol az indítás pillanatában.

a törzsről, majd ballisztikus röppályán juttatja célba a robbanófejet. Ez az N-69C modell egy módosított változatával vált valóra, melynek első sikeres repülése 1955. szeptember 26-ára helyezhető.

Érdekesség egy Snarkkal kapcsolatos anekdota, miszerint 1956 decemberében az egyik Cape Carnevalról indított robotrepülőgép túl messzire repült és nem reagált a földi irányításra. Utoljára a Brazil dzsungel felett látták repülni. Majd a The LeaderPost című újság 1983.január.15. számában közölte, hogy a Floridából eltűnt repülőeszközt egy brazil farmer találta meg 26 év elteltével.

3.2.4. A Snark rövid szolgálata és a program vége

A tesztekot követően a SAC (Strategic Air Command – Stratégiai Légierő) 1957. december 15. készenlétbe helyezte az első századot, a Patrick légibázison, amelyet az USAF első csapásmérő egységeként állítottak rendszerbe.



6. számú kép: Snark rakéta érkezése a Patrick Légitámaszpontra¹⁹

A Snark hadászati jellegére utal, hogy az N-69-es verzió több mint 10000 kilométeres hatótávolsággal rendelkezett, és képes volt akár egy 20 Megatonnás robbanótöltet célba

¹⁹ <http://www.fas.org/spp/military/program/6555th/6555c2-3.htm> (Letöltve: 2013.01.04.)

juttatására is. A hatótávolságból és a robbanótöltetből adódóan, képes lett volna hatékony csapást mérni ellenséges szárazföldi területen, akár az Egyesült Államok szárazföldjéről indítva.

Egészen 1961-ig, az 500 fős alakulatot, 30 darab Snark robotrepülőgépet és a hozzájuk tartozó mobil indítóállomásokat a Presque Isle katonai támaszponton állomásoztatták, Maine államban.

A Snark előnye volt, hogy az indító állások és maguk a repülők is egyszerűen darabokra szedhetők, majd újra összeszerelhetők voltak, így szállításuk akár légi úton is egyszerű volt. Az ily módon megérkező eszközöket pedig akár egy órával az érkezést követően ismételten harckész állapotba lehetett helyezni. Ezen felül, mivel maguk az indító állások nagyméretű, 15 tonnás, 16 kerekű utánfutós rámpák voltak, ezért ezek is könnyen mozgathatóak voltak.



7. számú kép: Snark utánfutón²⁰

A Snark egészen addig képezte az USAF operatív állományának szerves részét, amíg 1961-ben az első Atlas interkontinentális ballisztikus rakétát állományba nem helyezték. Ezután a 1961 júniusára az USAF megszüntette az egyetlen SM-62-es századot. A program során az összes változatott és tesztadarabokat is beleértve, körülbelül 100 darab SM-62 Snark készülhetett el, melyből csak 30-at vettek valaha is az USAF állományába.

²⁰<http://i.imgur.com/topZoPr.jpg> (Letöltve: 2014.01.05.)

3.2.5. Konklúzió

Annak ellenére, hogy a Snark program eredményeként kifejlesztett N-69-es Scarlet robotrepülőgépek kevesebb, mint 4 évig teljesíthettek szolgálatot az Egyesült Államok Légierében, mégis a robotrepülőgépek közül az első eredményes lépéseket ezek az eszközök teheték meg. Mivel mindmáig az Egyesült Államok hadierájének haditechnikai eszközei közé tartoznak a modern robotrepülőgépek, mint például a Tomahawkok is, ezért elmondható, hogy a Snark program csak egy lépés volt a robotrepülőgépek fejlesztésében.

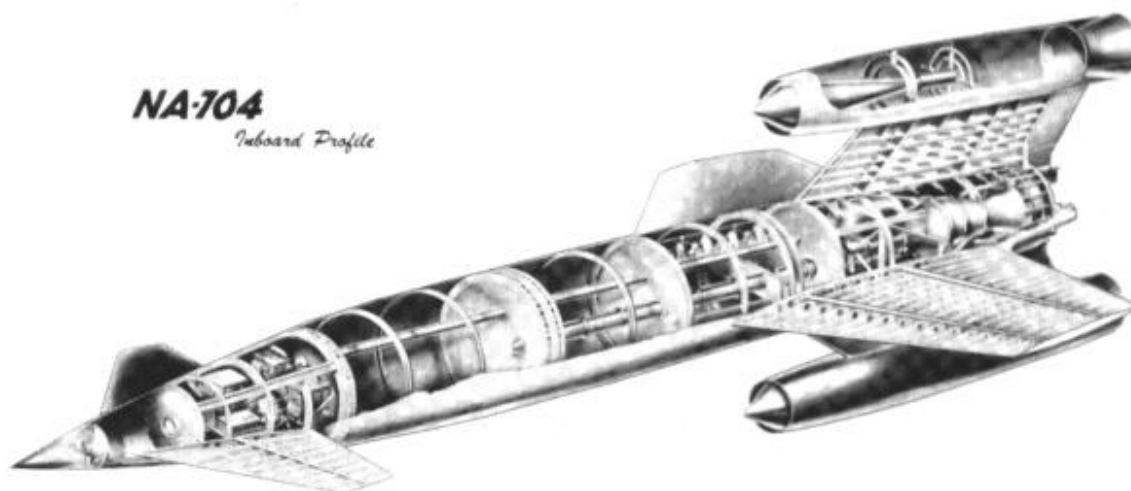
Elmondható az is, hogy interkontinentális robotrepülőgépekről beszélve, az SM-62 volt az első tapasztalat, és az első eredmény is az Egyesült Államok történetében.

3.3. Az SM-64-es Navaho program története

3.3.1. A program kezdete

Az SM-64-es *Navaho* rakéta fejlesztése szinte párhuzamosan folyt Northrop Snark rakétájának fejlesztésével. Míg az SM-62 egy szubszonikus sebességre képes robotrepülőgép lett volna, addig a Navaho repülési sebessége túllépte volna a hangsebesség határát, így szuperszonikus sebességen haladhatott volna a célpontja felé.

A Navaho rakéta fejlesztése 1945 decemberében vette kezdetét, méghozzá a Német rakéta-program folytatásaként. Az Észak-amerikai Aviatikai Technikai Kutató Laboratórium²¹ kezdeti tervei elég egyszerűek voltak: „*Fogj egy V-2-est és építs rá szárnyakat*”. Ezen felül a Navaho-t felszerelték nagy erejű toló rakétákkal az interkontinentális távolságok legyőzése érdekében, majd az eredeti német meghajtást sugármeghajtásra cserélték (turbojet és ramjet hajtóművek formájában). Ám a későbbiekben a teljes fejlesztés módosult, mind az aerodinamika, mind a vezérlés kapcsán.



8. számú kép: XSSM-A-2, Rajz: Dustin Carter Collection²²

1946 áprilisában vette kezdetét maga a program, MX-770-es kóddal, egy viszonylag kis, kezdetben 800 kilométeres hatótávolságú, surface-to-surface rakétával, melynek hatótávolságát 1947 júliusában 1600 kilométerre növelték. Ennek oka az volt, hogy az év elején a légierőt és a hadsereget kettéválasztották, így a rakétákra vonatkozó szabályzások okán (az 1600 kilométer hatótávolság alatti rakétákat a hadsereg, míg az e fölötti hatótávolsággal rendelkező rakétákat a légierő irányította) a hatótávolság növelésére politikai

²¹ Technical Research Laboratory of North American Aviation: a forrásokban röviden North American-ként nevezik.

²² <http://www.designation-systems.net/dusrm/app1/sm-64.html> (Letöltve: 2013.12.13.)

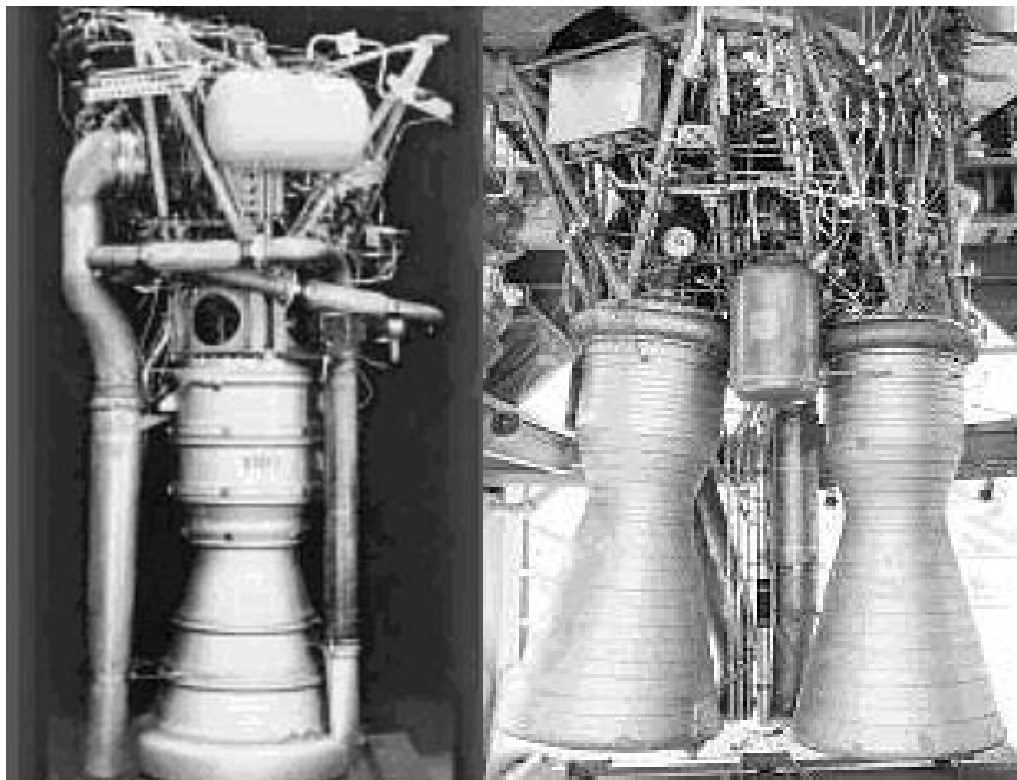
okok miatt is szükség volt. Még ebben az évben az USAF „megvette” a programot, így 1948 februárjában az egész projektet átalakították, egy olyan három fázisból álló programmá, melynek célja egy egész „jármű család” fejlesztése volt, ami rakéta és sugár meghajtást is használ.

Az első fejlesztésekben az SSM-A-2 kóddal ellátott rakéta szerepelt, ami sokkalta jobban hasonlított egy kisméretű, pilóta nélküli repülőgépre. 1949-re az első tesztadarabok gyártása kezdetét vette XSSM-A-2 néven, melyekbe beépített toló rakétákat, két csatolt sugárhajtóművet és XN-1-es inerciás navigációs rendszert szereltek, ám 1950 áprilisára, mire az első három rakéta elkészült, az USAF felfüggesztette a teszteket, és a programot ismét átalakították, a hatótávolságot jócskán megnövelték, 8000 kilométerre.

1950 szeptemberére eldőlt, hogy a *Navaho-család* fejlesztése három lépésben folytatható tovább, melynek célja egy 10200 km hatótávolságú, 3 Mach sebességre képes, 450 méteres CEP-pel rendelkező és 3150 kilogramm tömegű robbanófej szállítására alkalmas rakéta fejlesztése. A program első lépése, az RTV-A-5-ös pilóta nélküli repülő (későbbi nevén X-10), ami az aerodinamika és az irányítás tesztjeként szolgált. Gázturbinás sugárhajtással látták el és 2 Mach-os sebesség elérésére volt képes. Ennek fejlesztését követte volna, az XSSM-A-4 *Navaho II* torlósugar meghajtott, 2,75 Mach sebességre képes, 2300 kilométer hatótávolságú rakéta, melynek mérete kétharmada a végleges rakétának. Végül az XSSM-A-6 *Navaho III* névre keresztelt műveleti rakéta, ami képes lett volna a 20 kilo tonnás W-4-es nukleáris robbanófej 3150 kg-os tömegének szállítására. *(A Navaho II későbbi kódja XB-64, míg a Navaho III kódja XB-64A lett, ám a források inkább gyártási kódjukat részesítik előnyben, ami a Navaho II esetén G-26 és a Navaho III-ról beszélve G-38.)*

XSSM-A-2-es rakéta meghajtásának fejlesztése tovább folyt. 1950 márciusára készült el az NA-704-es meghajtás *Mark III*-as verziója, az XLR43-NA-1-es kóddal ellátott rakétameghajtás, amely a II. Világháború német V-2-es 39-es modell rakétameghajtásának továbbfejlesztése volt. Ez a 333 kilo Newtonos tolóerő kifejtésére képes, szimpla égéskamrás hajtómű 34%-kal nagyobb tolóerő kifejtésére volt képes, mint a németek V-2-esének meghajtása, ám tömege mégis fele akkora volt (mindössze 668 kilogramm az 1126 kg-hoz képest). 1950 augusztusában repülhetett először, egészen 1 percen keresztül, 12,3%-os nyomással. Majd később, az év októberében, az első teljes nyomáson végzett indítás elérte a 310 kilo Newtonos nyomást, ám ezt kevesebb, mint 5 másodpercen keresztül tudta tartani. Ekkor derült fény egy újabb problémára: miközben a kifejtett tolóerő növekedett, az égés instabillá vált a kamrában. Az égés instabilitásának problémáját már a németek sem tudták megoldani a háború alatt. Később ennek a meghajtásnak a továbbfejlesztését vette át a

Redstone rakéta-program, amely a világűrbe juttatta az Egyesült Államok első műholdját. Ez a rakétahajtómű csak egy kezdeti lépés volt a program másik két fázisának fejlesztését működtető XLR71-NA-1-es meghajtás felé, amely később a XB-64-es *Navaho II* indítórakétája lett, a maga 530 kN-os tolóerejével.



9. számú kép: XLR43-NA-1-es rakétameghajtás (balra), LR-71-NA-1 (jobbra)²³

3.3.2. Az X-10-es tesztrepülő

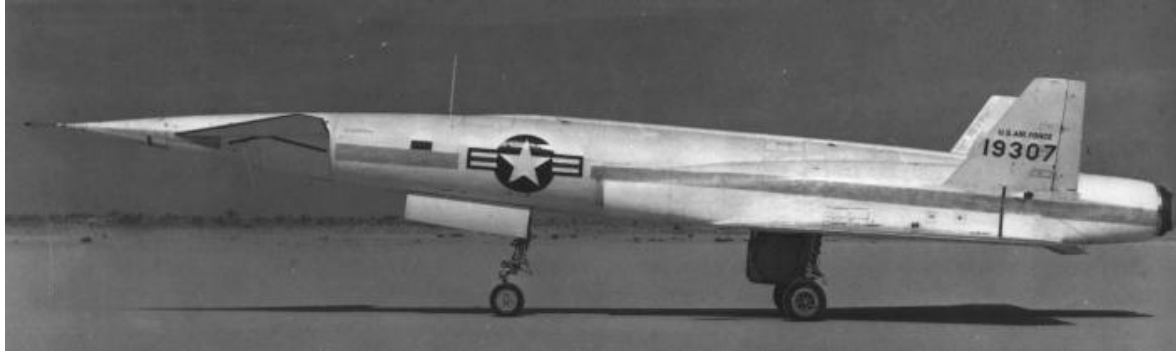
Az X-10-es volt az első lépés az SM-64 Navaho rakéta fejlesztésében. Az X-10-es fejlesztésének az volt a célja, hogy a későbbi Navaho rakéták aerodinamikájának és rendszerének fejlesztése kezdetét vehesse.

Az X-10-est eredetileg úgy tervezték, hogy a repülések után újra használhatóak legyenek, így egy példánnyal több tesztet is végezhesse. Az eredeti tervek alapján Convair B-36-os „Peacemaker” bombázókról indították volna, ám 1950 augusztusában az USAF úgy döntött, hogy nem támogatja a levegőből indítást. 1950 decemberére a North American már a saját szélcsatornáiban tesztelte az X-10 modelleket, ahol elérték a 2.85 Mach sebességet.

Az X-10-est két Westinghouse XJ40 axiálkompresszoros gázturbinás sugármeghajtás működtette, melyek utánégetővel, fejenként 4 és fél tonnás tolóerő kifejtésére voltak képesek.

²³ Bal oldali kép: <http://www.astronautix.com/engines/xlr43na1.htm>
Jobb oldali kép: <http://www.astronautix.com/engines/xlr71na1.htm>
(Mindkettő letöltve: 2014.01.12.)

A rakéta 20 méter hosszú testén Delta alakú szárnyak kaptak helyet, orrán „kacsa” előtétszárnyak kaptak helyet, farok részén pedig „V” alakban helyezkedtek el a vezér síkok. Ellátták robotpilóta rendszerrel is, a stabil repülés okán. Ezt a repülőgépet rádió vezérelt irányító rendszer juttatta célba.



10. számú kép: X-10-es teszt-rakéta (fotó: Rockwell International)²⁴

A rádió-vezérelt irányító rendszer (Radio-command guidance system) lényege, hogy minél pontosabban meghatározza a rakéta helyzetét az irányító központhoz, a célponthoz és a kijelölt pályához egyaránt viszonyítva. A vezérlő számítógép eldönti, ha a rakéta nem abban a pozícióban van, ahol adott pillanatban lennie kéne, azaz letér a kijelölt pályáról. Így a rakéta helyzete a későbbiekben korrigálható, megakadályozva, hogy az célt tévesszen. Az irányító rendszer részeit képezik egy műveleti számítógép, amely kiszámolja a rakéta helyzetét és összehasonlítja a kijelölt pályával, egy rakétát követő radar, a rakéta pontos helyzetének meghatározására, egy jeladó, amely lehetővé teszi kommunikációt a rakétával, és egy ábrázoló rendszer, ami láthatóvá teszi a történéseket.

1953-tól összesen 11 darab X-10-es repülhetett 27 alkalommal, egészen 1956 novemberéig. A tesztek nagyon sikeresek voltak, amit mi sem bizonyít jobban, minthogy a 19-dik tesztrepülés alkalmával, az X-10-es elérte a 2.05 Mach sebességet (2511 km/h), amellyel egy rövid időre a leggyorsabb sugárhajtású repülő rekordját állította fel. 1955-ben a tesztek az Edwards légi bázisról a Cape Carneval-ra, Floridába helyezték át, ahol sok X-10-es elvesztettek a sikertelen landolások során.

Később 1958 szeptembere és 1959 januárja között három X-10-es repülhetett, magas röppályán, nagy sebességgel, a Bomarc légvédelmi rakéták teszteléseinek keretén belül. Ám ezek a repülések a gépek elvesztésével jártak, mikor az 1958. szeptember 24-i és az 1958. november 13-i sikeres repülés után, a két X-10-es a landolást követően túlfutott a leszállópályán és leégett, majd az 1959. január 26-án felszállt X-10-es lezuhant a levegőből.

²⁴ <http://www.designation-systems.net/dusrm/app1/x-10.html> (Letöltve: 2013.12.22.)

Végül 13 darab X-10-esből összesen 1 példány maradt, amit ma a Nation Museum of The US Air Force (Egyesült Államok Légierőjének Nemzeti Múzeuma) őriz, Ohio államban.



11. számú kép: Az utolsó X-10-es rakéta, Egyesült Államok Légierőjének Nemzeti Múzeuma, Daytona, Ohio²⁵

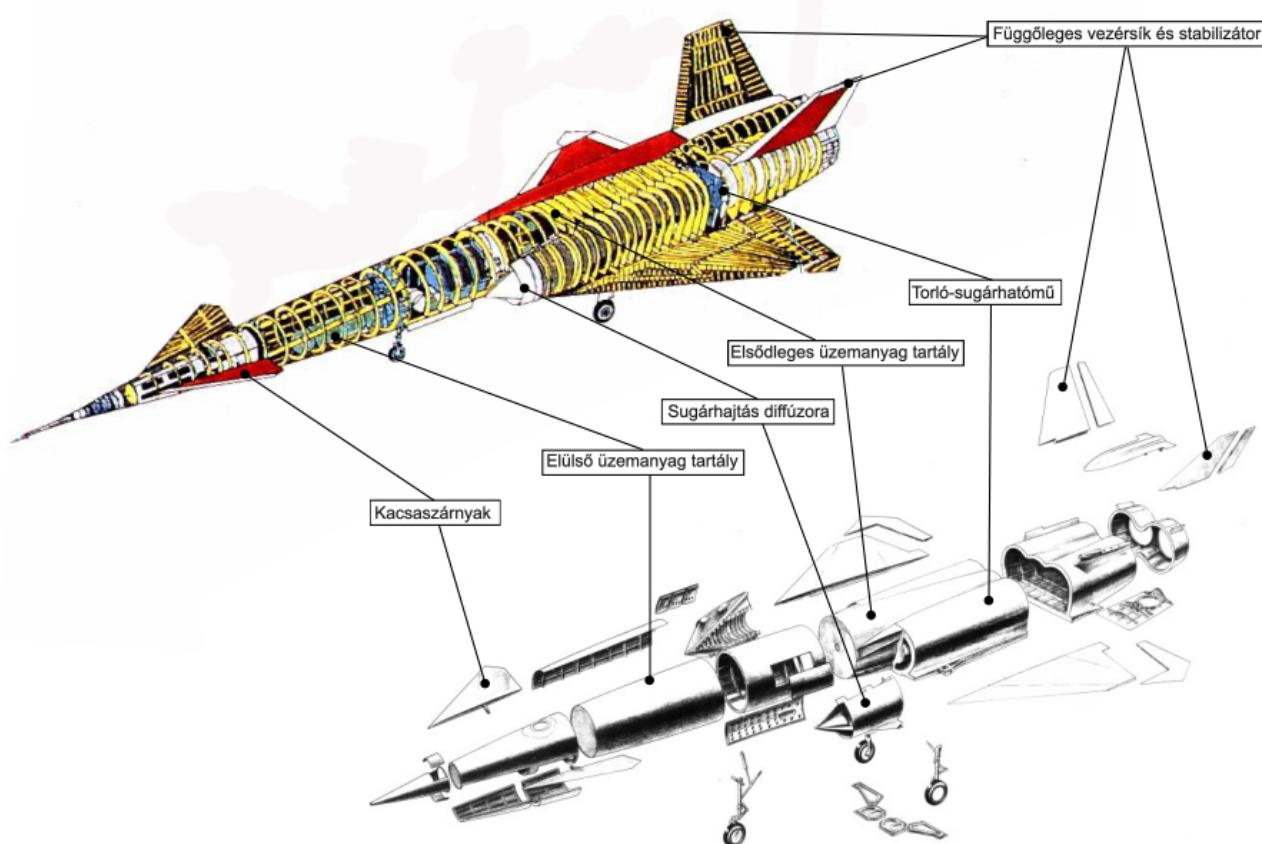
3.3.3. G-26 Navaho II.

A G-26-ost egy XLR71-NA-1 két-kamrás, folyékony üzemanyagot égető rakétameghajtás működtette, 533 kN-os tolóerővel. Ez, a vertikális indítást követően, a rakétát közel 12 kilométeres magasságig tolt, 3 Machos sebességgel, majd levált a rakétáról. Ezután gyulladt be a két Wright XRJ47-W-5 torló-sugarhajtás. Így a maximális repülési magassága 24000 métert is elérte volna, 2,75 Mach repülési sebességgel, míg hatótávolsága 5600 kilométer lett volna. A rakétára futóműveket szereltek a landoláshoz, hogy újra használhatóak legyenek az egyes repülések után, továbbá North American N-6-os inerciás navigációs rendszerrel szerelték fel őket. Méretét tekintve két-harmad akkora volt, mint a program végső fejlesztése, a G-38-as Navaho III. Hossza 28 méter volt, míg törzsének átmérője 1,76 méter. 8,72 méteres fesztávolságú szárnyain több mint 71 tonnás tömege repülhetett. Ez a rakéta képes lett volna a W-4-es vagy XW-4-es nukleáris robbanófejek szállítására, így megkapva a műveleti státuszt, ám miután az 1950-es évek elejétől elérhetővé vált a termo-nukleáris bomba/robbanófej, az XSM-64-es többé nem volt alkalmas koncepció műveleti rakétának, így kizárólag tesztrakétaként használták.

²⁵ <http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet.asp?id=632> (Letöltve: 2013.12.22.)

Az N-6-os inerciás navigációs rendszer olyan sikeresnek bizonyult, hogy a rendszer, amely kezdetben csak a Navaho rakéták irányítására készült később számos sikeres projekt építőköve lett. Az inerciás navigációs rendszer segítségével a rakéta képes az indítási pontból a célhoz navigálni. A navigálás során olyan számításokat alkalmaznak, amelyek figyelembe veszik a pályát, az időt, a sebességet és az utolsó ismert pozíciót.

1952. december 3-án az USAF engedélyt adott az első teljes méretű modellek gyártására. Ez magába foglalt 10 darab XSM-64-es rakétát, hozzá 13 darab indítórakétát, és 5 darab N-6-os navigációs rendszert. Az első tesztek 1956 elejére tervezték, ám a rákövetkező év elején egy újabb probléma merült fel a projekttel kapcsolatban.



7. számú ábra: G-26 Navaho II rajza és fő részei²⁶

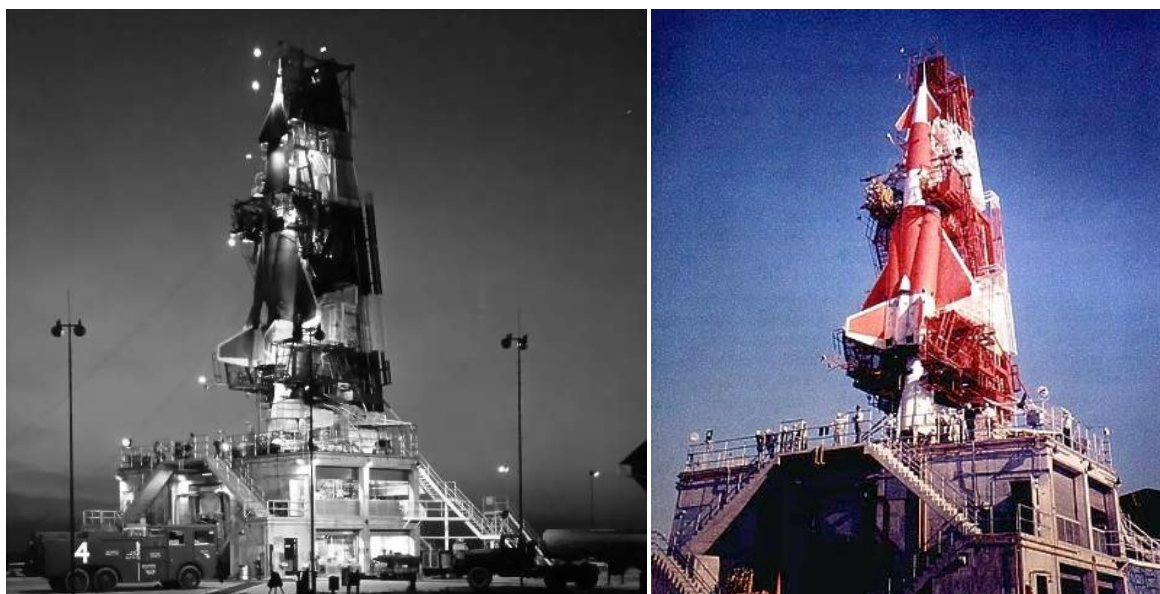
Az 1953-as év elején a North American mérnökei, a Rocket Engine Advancement Program keretein belül a meghajtások hatékonyságát vizsgálva arra következtettek, hogy ha üzemanyagként alkohol alapú tüzelőanyagról kerozin alapúra váltanak, akkor sokkal magasabb hatásfokot érhetnek el, ami nagyban megkönnyítené az üzemanyag ellátás problémáját. Így a Navaho programmal kapcsolatban is az a döntés született, miszerint

²⁶ Szerző által szerkesztve <http://astronautix.com/graphics/n/navg26ms.jpg>; <http://up-ship.com/blog/wp-content/uploads/2009/08/production-brkdwn-missile.jpg>; <http://astronautix.com/graphics/n/navg263v.gif> képek alapján (Letöltve és szerkesztve: 2014.03.18.)

mindkét rakéta (*G-26-os Navaho II* és *G-38-as Navaho III*) üzemanyagát kerozin alapúra cserélik.

Ám ehhez az egész meghajtás újragondolására volt szükség. A mérnökök az XLR-71-es meghajtás egy módosított változatával álltak elő, amely képes volt kerozin alapú üzemanyag égetésére. Ezt a meghajtást LR-81-esként kódolták és a tervek alapján ez hajthatta volna a következő generációs rakétákat, mint a PGM-17-es *Thor* ballisztikus rakéta, a Delta rakéta-család, a PGM-19-es *Jupiter* közepes hatótávolságú ballisztikus rakéta, és az SM-65-ös *Atlas* interkontinentális ballisztikus rakéta.

1953-ban a North American elkezdte saját kísérleteit a Cape Carneval-on. A G-26-oshoz indító állomást, két, a rakéták összeszerelésre alkalmas létesítményt és egy 70-szer 3000 méteres leszálló pályát építettek. 1955 januárjában az USAF annyira meg volt elégedve a rakétával, hogy egy újabb sorozat gyártására adott utasítást, 12 darab G-26-os rakétával, 21 darab indítórakétával, továbbá 6 darab N-6-os navigációs rendszerrel, így összesen 22 darab G-26-os készülhetett el a tesztekre.



12. számú kép: Balra: G-26 *Navaho II* indító állása, éjszakai fénykép; G-26-os PAD 9A álláson, Tom Johnson fotója, jobbra²⁷

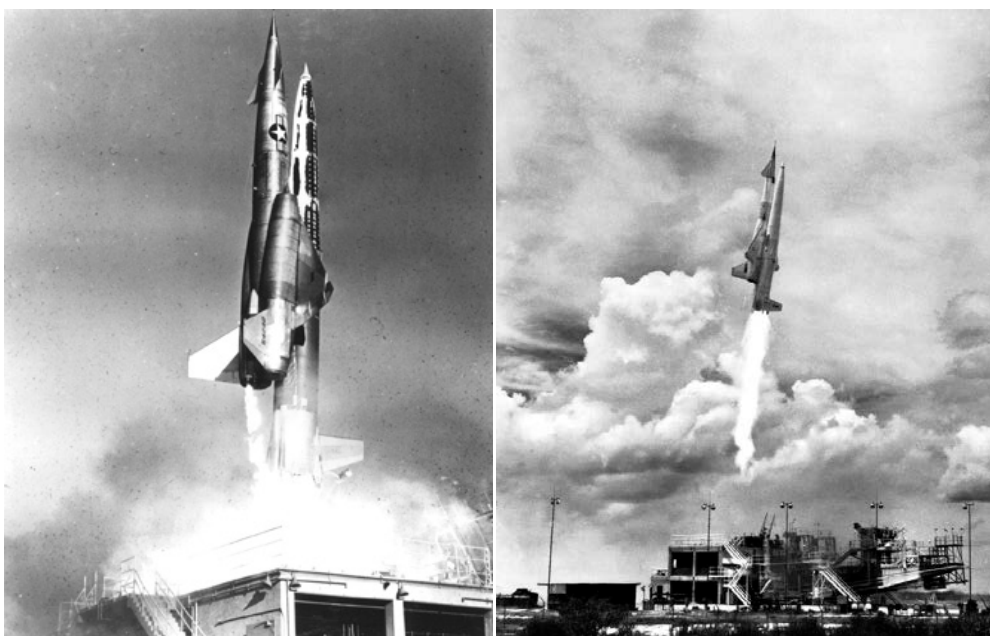
Amennyire tökéletesnek és hibátlannak tűnt az XB-64 a tervezőasztalon, olyannyira volt sikertelen az életben. Az XSM-64-es tesztrepülései 1956 novemberében vették kezdetüket, és a sikertelen tesztek sorozatával folytatódva kivívták a programnak a „*Never go, Navaho*” gúnynevet.

Miután az első indítási kísérlet kudarcba fulladt, mikor a rakéta mindössze 26 másodpercet repülhetett, majd felrobbant, újabb három repülés következhetett, hasonlóan

²⁷ <http://www.astronautix.com/lvs/navhog26.htm> (Letöltve: 2014.02.13.)

sikertelen eredményekkel. 1957. március 22-én 10 újabb sikertelen indítási kísérletet követően az egyik G-26-os ismét repülhetett, 4 perc 39 másodpercen keresztül. Az év április 25-ére ismét sikeres kilövés könyvelhető el, ám az indítást követő pár másodpercben az a rakéta is felrobbant. A negyedik repülésre 1957. június 26-án kerülhetett sor, mikor a rakéta 4 perc 29 másodpercet töltött a levegőben.

Minél több Navaho ragadt be az indító állásokon, vagy robbant fel a levegőben, annál jobban látszódott, hogy a program bukásra van ítélve, és miközben a Navaho program haldoklott, addig a ballisztikus rakéták (*Jupiter, Thor és Atlas*) tesztjei kezdetüket vehették 1957 tavaszán. Habár azok sem voltak sikeresebbek, mégis sokkal modernebb és messzebbi távlatokra tervező programok voltak, és ha ez még mindig nem lett volna elég akkor ott volt az SM-62-es példája is, amely a maga módján szintén jóval előrébb járt, mint a Navaho-program.



13. számú kép: Az XSM-64 indítását követő pillantok²⁸

3.3.4. Utolsó tesztrepülések: „Fly Five” és R.I.S.E.

Ezt követően, 1957. július 12-én az USAF törli a programot, ám mivel az automata navigációs rendszer ígéretesnek bizonyult, a tesztek folytatására ad engedélyt, amihez az addigra elkészült 5 darab G-26-ossal, hogy azok felhasználhatóak legyenek más programok kapcsán. Az egyetlen kitétel, hogy a tesztek költsége nem haladhatja meg az 5 millió dollárt. Ezeket az 1957. augusztus 12. és 1958. február 25. közötti teszteket „Fly Five” néven említik, utalva arra, hogy 5 darab rakéta repülhetett.

²⁸ Jobb oldali kép: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/Navaho.html>

Bal oldali kép: <http://xplanes.free.fr/stato/stato-13.html>

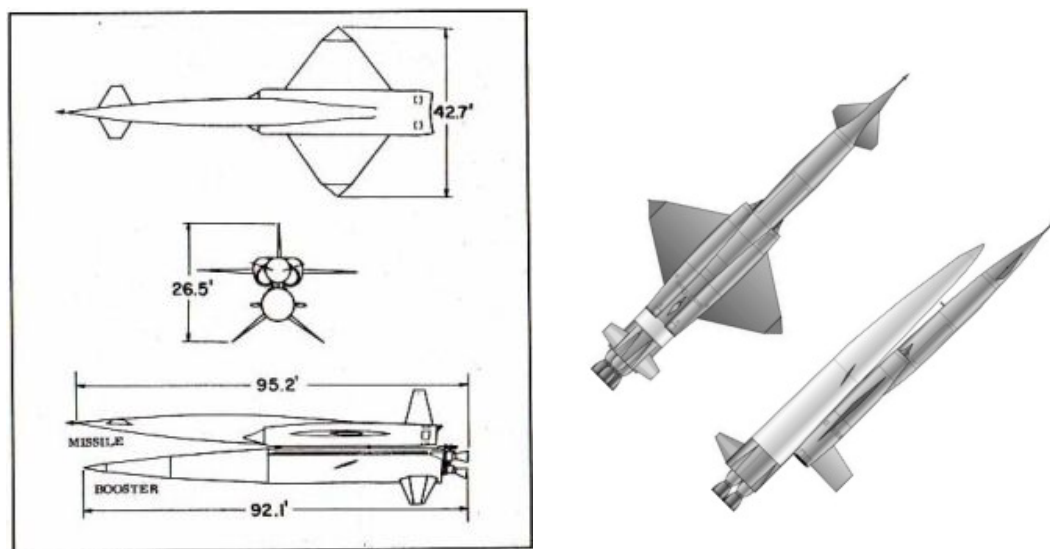
(Mindkettő letöltve: 2014.02.18.)

Ezen tesztek során a *Navaho* rakéták meglepően sikeresnek bizonyultak az előzményekhez képest. Az egyik repülés során sikerült végrehajtani egy maximális hatótávolságú indítást, 2000 kilométeres távval, melynek során a rakéta 42 perc 24 másodpercen keresztül repülhetett, ami messze a leghosszabb idő, amit G-26-os valaha a levegőben töltött.

1958 végéhez közeledve, még 7 darab XSM-64-es repülhetett volna, a R.I.S.E. (*Research in Supersonic Environment – Kutatás Szuperszonikus Környezetben*) program keretein belül, támogatva a North American B-70-es bombázójának fejlesztését, és az F-108 *Rapier* nagysebességű deltaszárnyú elfogó vadász projektet. Ám miután 1958. szeptember 11-én az első repülés, melynek során a torló-sugárhajtómű nem indul be, és november 18-án a második repülési kísérlet is, amikor 23 kilométer magasan a rakéta feladja a küzdelmet a méterekkel, sikertelenül zárul, a programot végleg törlik.

3.3.5. Az XSM-64A koncepció ismertetése

Az G-38 *Navaho III* tervei 1957 februárjára készültek el, ám a program törlésével egyetlen modell sem készülhetett el. Ez a rakéta a G-26-os modell felnagyított és tovább fejlesztett változata lehetett volna, és egyben a Navaho-program eredménye is, beteljesítve az eredeti célkitűzést.



8. számú ábra: XSM-64A három nézete, Tim Johnson rajza, USAF (balra) és XSM-64A indítórakétával, Mark Wade rajza (jobbra)²⁹

Ez a modell képes lett volna a 4 MT W-39 termonukleáris robbanófej célba juttatására, amihez egy tovább fejlesztett Wright RJ47-W-7 sugárhajtást használt volna, a tervezett 10000

²⁹Bal oldali kép: <http://www.designation-systems.net/dusrm/app1/sm-64.html>

Jobb oldali kép: <http://astronautix.com/lvs/navaho.htm>

(Mindkettő letöltve: 2014.02.15.)

kilométeres hatótávolságon, 3,25 Machos sebesség mellett. Indítórakétája, egy az elődjénél szintén jóval nagyobb méretű, 3 kamrás LR-83-NA-1-es meghajtással rendelkező rakéta lehetett volna.

Ezen felül nagy különbséget jelentett, hogy a G-26-os deltaszárnyait és kacsaszárnyait trapézszerű szárnyakra cserélték, a farok részen pedig a dupla vezérsík és stabilizátor helyett ezen a változaton csak szimpla kapott volna helyet. A rakétát N-6B navigációs rendszerrel szerelték volna fel, továbbá az újra használhatóság miatt ez a modell is futóműveket és a landolást megkönnyítő ejtőernyőket kaphatott volna.

3.3.6. Konklúzió

Habár a program legnagyobb eredménye a 700 millió dolláros költségvetés ellenére, a G-26-os rakéta 42 perces repülése volt, mégsem mondható teljesen sikertelennek. A későbbiekben a Navaho kiemelkedő hatással volt más folyékony üzemanyagot égető rakétameghajtások fejlesztésére nézve az Egyesült Államokban. Az LR-83-as hajtóművet felhasználták a Thor és Atlas programok kapcsán, míg magát a meghajtás koncepcióját a Redstone program fejlesztette tovább, addig navigációs rendszerét használta az AMG-28 *Hound Dog*, a USS Nautilus nukleáris tengeralattjáró és az A3J-1 *Vigilante* bombázó. Így a program akármilyen sokba is került, és nem a várt eredményekkel zárult, mégis hozott magával némi pozitív végeredményt.

3.4. A Snark és a Navaho rakéták összehasonlítása

3.4.1. Kialakítás és méretbeli különbségek

Az Northrop Snark és a North American Navaho összehasonlítását több szempont szerint végeztem el. Első lépésként, kiválasztottam a két program egy-egy olyan elemét, amelyek egymás mellé állíthatóak.

A Snark program legjelentősebb eredménye az operatív állományba helyezett N-69-es Scarlet robotrepülőgép volt, amely ha rövid ideig is, de szolgálatot teljesíthetett az Egyesült Államok légierijében. Azonban mivel a Navaho-család egyetlen tagja sem, kapott műveleti státuszt, így az SM-64 kapcsán a program utolsó befejezett robotrepülőgépét, a G-26-os Navaho II-t választottam erre a célra.

1. számú specifikációs táblázat:³⁰

N-69 és G-26

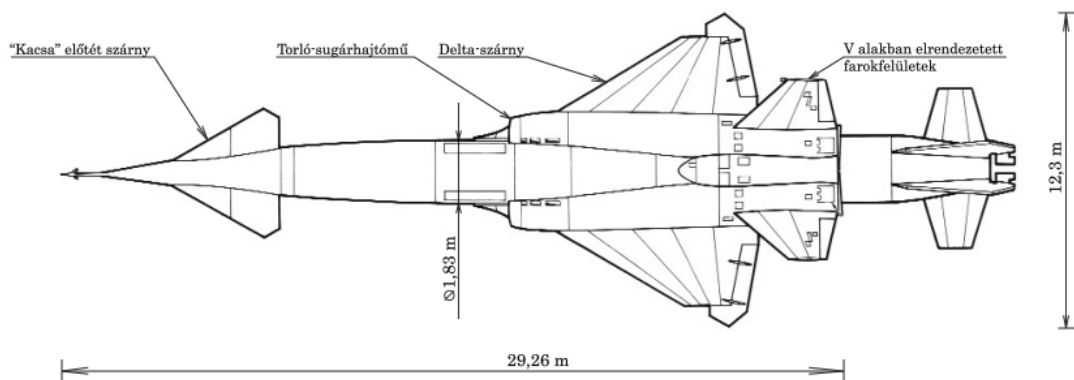
Elnevezés	Scarlet	Navaho II
Gyártó	Northrop	North American
Jelzés	SM-62	SM-64
Törzs hossza [m]	22,55 / 23,10	29,26
Törzs átmérője [m]	1,37 / 1,70	1,83
Fesztávolság [m]	12,90	12,30
Sárkányszerkezet	Csupaszárny kialakítás, Kombinált vezérlés	Deltaszárny, kacsaelrendezés, „V” alakú farokfelületek
Starttömeg [kg] (segédtrakéttal együtt)	27 216	131 540
Indítórakéta	Allegany Ballistics Laboratory (szilárd üzemanyag)	Rocketdyne LR-81 (folyékony üzemanyag)
Indítórakéta tolóereje [kN]	2 * 350	3 * 181 max. 533
Hajtómű	Pratt & Whitney J-57 (utánégetős gázturbina)	Wright XRJ-47-W5 (torlósugaras)
Hatótávolság [km]	10 180	10 193 (névleges) ~2 000 (leghosszabb sikeres táv)
Repülési magasság [m]	16 800	18 288
Maximális sebesség [Mach]	0,8 (szubszonikus)	2,8 (szuperszonikus)
Maximális sebesség [km/h]	988-1008	3457

³⁰ Táblázatot a szerző készítette, Sárhidai Gyula. Robotrepülőgépek 16. és 27. oldalon található táblázatok alapján.

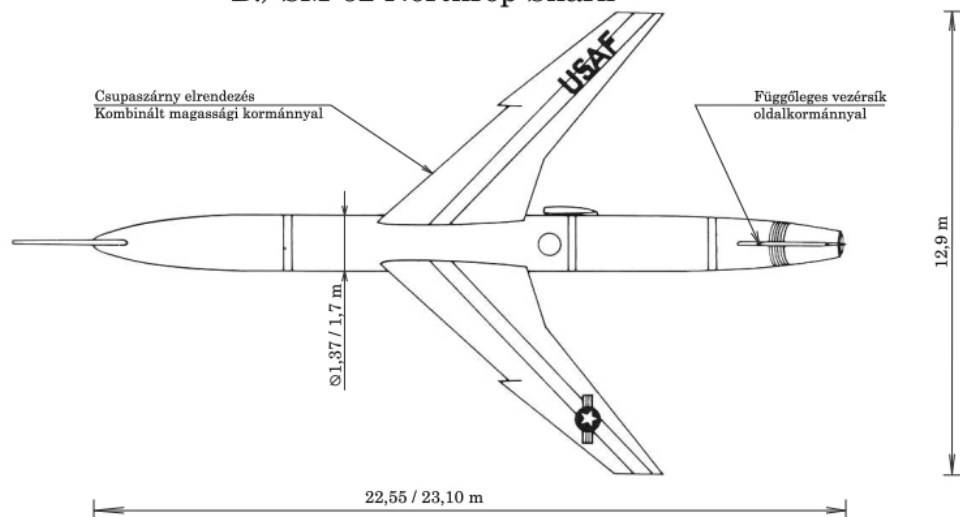
Az összehasonlítás megkönnyítésének érdekében a robotrepülőgépek műszaki és technikai adatait táblázatban foglaltam össze. Az 1. számú specifikációs táblázatból leolvashatóak a két eszköz méretbeli különbségei.

G-26 NAVAHO II ÉS N-69 SNARK MÉRETEI

A.) SM-64 North American Navaho



B.) SM-62 Northrop Snark



9. számú ábra: Navaho és Snark robotrepülőgépek méretei³¹

Míg mind a két robotrepülőgép hengeres törzsének átmérője közel megegyező nagyságú volt, addig a Navaho törzsének hossza majd 7 méterrel meghaladta a Snarkét, ezzel szemben viszont a táblázatról leolvasható, hogy szárnyaik fesztávolsága is szinte azonos volt. Indítási tömegük, főként a gyorsító rakéták tömegéből adódóan, jelentős eltérést mutatott.

A 9. számú ábrán a két robotrepülőgép felülnézeti rajza látható. Könnyen észrevehető különbség, a Snark csupaszárny kialakítása a Navaho deltaszárnyával szemben. A

³¹ Szerző által szerkesztve elemzett források, és
<http://www.rocketryforum.com/attachment.php?attachmentid=139948&d=1375279192>,
http://xplanes.free.fr/sm61/b62/b62_34.jpg képek alapján (Mindkettő letöltve: 2014.04.07)

csupaszárny kialakításnál jóval nagyobb méretű szárnyfelületre van szükség, ugyanis a szárnynak ebben az esetben jellemzően a vízszintes vezérsíkok feladatát is el kell látnia, hiszen csupaszárny elrendezés esetében nem található a vízszintes vezérsík a farokfelületeken. A csupaszárny kialakítás előnye, hogy a megnövelt szárnyfelület jóval nagyobb felhajtó erőt termel, ezért üzemeltetése gazdaságosabb.

Ezzel szemben a Navaho törzsén elhelyezkedő Delta szárnyakon csak a csűrőlapok kaptak helyet. Az oldal és magassági kormány szerepét pedig V alakban elhelyezett farokfelületek látták el. Az ily módon elhelyezett farokfelületekkel a kormányzás szintén kombináltan történik, ebben az esetben a kormánylapok oldalkormányként és magassági kormányként is működnek.

Az SM-64-es sárkányszerkezetének kacsaelrendezése is jelentősen eltér a Snark kialakításától. A Navahon előtét szárnyakat helyeztek el a törzs orrán, ezzel egyrészt segítve a farokfelületek kormányzását, másrészt kihasználva ezzel a kacsarepülőgép egyik legnagyobb előnyét, az átesés veszélyének kiiktatását.

3.4.2. Működésbeli különbségek

A két robotrepülőgép működésében felfedezhető jelentős eltérést, azok meghajtására használt eltérő sugárhajtómű megoldások adják. Ugyanis míg a Northrop Snark utánégetős gázturbina segítségével valósította meg az aerodinamikus repülést, addig a North American Navaho torlósugaras hajtóművel volt felszerelve. Ebből adódik a két repülőgép indítási módja és pályája közti különbség is. A 9. számú ábra sematikus módon szemlélteti a robotrepülőgépek pályájának képét.

A torló-sugárhajtómű működésének feltétele, a megfelelő sebesség mellett kialakuló torló-nyomás létrejötte. Ennek érdekében a Navahot egy nagyméretű, nagy tolóerejű, folyékony üzemanyagot égető indítórakéta emelte az égbe, ahol a megfelelő magasság és repülési sebesség elérése után a torló-sugárhajtómű bekapcsolhatott. A Navaho indítása szinte függőleges irányban történt, nagyméretű fix indítóállásról. Leginkább a mai űrsiklók indításához volt hasonlatos, amint a robotrepülőgép gigászi tömegét a hasa alá csatolt indítórakéta a magasba emelte.

Ebből adódik a Snark egyik legnagyobb előnye, hogy mozgatható, mobil indítóállásról volt működtethető, amivel szemben a Navaho kilövéséhez fixen épített indítóállomásra volt szükség. A 14. számú képen bal oldalt látható a Navaho függőleges irányú emelkedése, az indítást követő pillanatban, és az alatta elhelyezkedő épített indítóállás is, míg jobb oldalt a Snark utánfutós rámpáról történő indításának pillanata látszik.



14. számú kép: A Navaho indításának pillanata (balra) és a Snark indításának pillanata (jobbra)³²

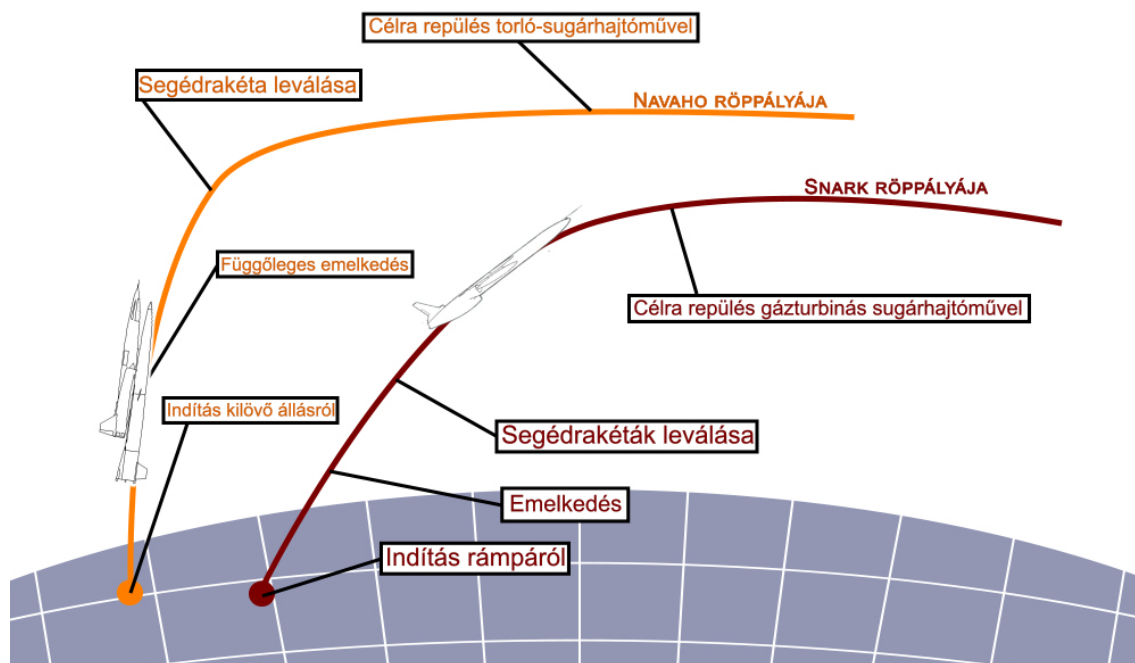
Az SM-64-essel ellentétben, a Snark sárkányszerkezete, repülőgépekhez hasonló pályán emelkedett fel a mobil indítórámpáról. A törzshöz csatolt két, szilárd üzemanyagot égető indítórakéta szerepe az volt, hogy felszálláskor növeljék a gázturbinás sugárhajtás hatásfokát, mivel segítségükkel a Snark jóval hamarabb képes volt elérni a repüléshez szükséges sebességet.

Az eltérő sugárhajtásokból adódik a két robotrepülőgép maximális sebességeinek eltérése. A Navaho ugyanis jóval nagyobb repülési sebesség elérésére volt képes, mint Northrop Snark repülőgépe. Az 1. számú specifikációs táblázatból leolvasható, hogy amíg a Snark szubszonikus, 0,8 Machos sebességgel haladt célpontja felé, addig a North American Navaho képes volt átlépni a hangsebesség határát, és 2,8 Machos, szuperszonikus sebességgel juttatta volna célba robbanótöltetét.

A két robotrepülőgép névleges hatótávolsága nem sokban tér el, ezért az annak megtételéhez szükséges idő az, ami a Navaho előnyére válik. Hiszen hadászati jellegű eszközökről lévén szó, a csapás gyorsasága is hasonlóan fontos lehet, mint a hatótávolság.

³² Bal oldali kép: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/Navaho.html> (Letöltve: 2014.02.18.)
Jobb oldali kép: <http://www.whiteeagleaerospace.com/snark-goes-the-distance/> (Letöltve: 2014.02.30.)

Northrop Snark és North American Navaho röppályája



10. számú ábra: Az SM-62 Snark és SM-64 Navaho röppályájának sematikus rajza³³

3.4.3. Sikerek

A Snark és a Navaho az elsők voltak az Egyesült Államokban fejlesztett interkontinentális robotrepülőgépek között. Mindkét program kapcsán felmerültek megoldandó problémák, mindkét program elkönnyvelhette a maga sikereit és bukásait egyaránt.

A két program eredményeit egymás mellett összefoglalva elmondható, hogy a Snark korának kiemelkedő szerkezete volt. Az USA első, szolgálatba helyezett interkontinentális robotrepülőgépe. A program kezdeti célkitűzései után is követni tudta az USAF egyre növekvő követelményeit, majd végül egy működő robotrepülőgéppel zárult, amely 4 éven át az USAF operatív állományát képezte.

A Navaho program ezzel szemben inkább időben előre mutató kísérlet volt, melynek eredményei, a későbbiek során más projekteken jelentek meg. A program eredményeként kifejlesztett G-26-os robotrepülőgép történelmi távlatból visszatekintve sem mondható teljesen sikertelennek. A torló-sugaras meghajtásra tett kísérlet, a nagyméretű csatolt indítórakéta és az irányító rendszer is, történelmi távlatból visszatekintve, jövőbe mutatónak hat.

³³ Az ábrát szerző készítette az elemzett forrásokban leírtak alapján.

Összegzés

A rakétafegyverek és robotrepülőgépek témaköre, történeti és technikai szempontból nézve is egyaránt kiterjedt.

A dolgozatom célkitűzése az volt, hogy annak befejező részében összehasonlítást végezhessenek Northrop Snarkja és a North American szuperszonikus repülőgépe között. Ennek érdekében a dolgozat első részében magyarázatot adtam a hadászati jelzővel illetett eszközökre, csoportosítottam a rakétafegyvereket az idegen szakirodalomra támaszkodva, illetve tárgyaltam a robotrepülőgépek elhelyezkedését azok között.

Második fejezetében ismertettem a sugárhajtást, részletes leírást adtam az egyes típusairól, a gázturbinás sugárhajtóműről, a torló-sugármeghajtásról és a rakétahajtóműről, melyek illusztrálásához ábrákat szerkesztettem. A fejezetben továbbá megemlítésre kerültek egyéb, a polgári és hadtechnikai gyakorlatban egyaránt használt sugárhajtómű típusok is.

A dolgozat második részében definiáltam a robotrepülőgépeket, figyelembe véve a hazai és idegen szakirodalmakat. Ismertettem a robotrepülőgépek főbb szerkezeti elemeit. Továbbá átfogó képet tartam fel az SM-62 Snark és SM-64 Navaho fejlesztésének történeti háttéréről.

A befejező részben ezekre támaszkodva elvégeztem az összehasonlítást, rámutatva a két eszköz között fennálló különbségekre. A két robotrepülőgép műszaki adatait táblázatba foglaltam össze és ábrák segítségével egymás mellé helyeztem azokat. Megállapítottam a két robotrepülőgép szerkezetbeli, illetve működésbeli eltéréseit, és azok egyik legfontosabb okát, az különböző sugárhajtások használatát.

Dolgozatom rámutat, hogy elsőre két nagyon hasonlóknak tűnő, egyazon időben és irányban fejlesztett eszköz vizsgálata esetén is jelentős eltérések fedezhetőek fel, ám ezek okainak tanulmányozásához szükséges a technikai oldal vizsgálata és elemzése is.

A Snark és Navaho történetének, és a velük kapcsolatban alkalmazott technikai megoldások kutatása folytatható mélyrehatóbban is, ám a rakétafegyverek és robotrepülőgépek témaköre, technikai és történeti szempontból nézve is egyaránt kiterjedt.

Kutatható továbbá a robotrepülőgépek modern alkalmazása, és történelmi távlatból nézve alkalmazásukban bekövetkezett változások mibenléte is. A robotrepülőgépek gyakorlati alkalmazása, az ellenük használt védekezés. Továbbá a robotrepülőgépek kontrasztba helyezhetőek a rakétafegyverekkel.

Irodalomjegyzék

1. Szentesi György. Hadászati rakéták, Haditechnika fiataloknak sorozat, Zrínyi katonai könyv- és lapkiadó, ISBN 963 327 025 1
2. Takács Erika. Angol-Magyar kézisztár, Könyvmíves Könyvkiadó, ISBN 963 9262 33 1
3. ORIGO SZTAKI szótár – <http://szotar.sztaki.hu/> – Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (*Először letöltve: 2013.12.19.*)
4. Classification of Missiles – <http://www.brahmos.com/content.php?id=10&sid=9> – Brahmos Aerospace (*Letöltve: 2013.12.28.*)
5. Galaktika tudományos-fantasztikus antológia, 37. szám – Szentesi György. Tömegpusztító fegyverek és hordozóik, Kozmosz Könyvek, HU ISSN 0133-2430
6. Air-to-Air Missile (AAM) – <https://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aam.htm> – Federation of American Scientists (*Letöltve: 2014.01.16.*)
7. Alicia White. Range of Ballistic Missiles – <http://hypertextbook.com/facts/2003/AliciaWhite.shtml> – 2003 (*Letöltve: 2014.01.17.*)
8. Big Book of Warfare and other stuff. Ballistic Missile Classifications – http://www.alternatewars.com/BBOW/ABM/BM_Classes.htm (*Letöltve: 2014.01.16.*)
9. Ballistic Missiles Classes and Range. Missile Defense Advocacy Agency – <http://www.missiledefenseadvocacy.org/web/page/890/sectionid/554/pagelevel/3/interior.aspx> (*Letöltve 2014.01.16.*)
10. Christopher Maynard. A technika nagy enciklopédiája – Aquila könyvkiadó, 1994 – ISBN 963 8276 29 0 – Eredeti cím: The Usborne Young Scientist
11. Felhők felett – <http://felhokfelett.uw.hu/sugarh.html> (*Letöltve: 2014.02.24.*)
12. Vass Balázs. Repülőgép-, Helikopter-, és Hajtóműtípusok – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974 – ISBN 963 10 0634 4
13. Aerospaceweb, Joe Yoon, Jet Engine Types – <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/q0033.shtml> (*Letöltve: 2014.03.09.*)
14. Sárhidai Gyula. Robotrepülőgépek, Haditechnika fiataloknak sorozat – Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1986 – ISBN 963 326 339 5
15. Szentesi György. Katonai repülőgépek és helikopterek – Zrínyi Katonai Kiadó, 1987 – ISBN 963 326 351 4
16. Dr. Steiger István. Repülőgépek – Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1984 – ISBN 963 431 416 3
17. Kenneth P. Werrel. The Evolution Of Cruise Missile – Air University Press – Maxwell Airforce Base, Alabama - 1985.szeptember

18. Astronautics Learning Laboratory for Science, Technology, and Research. John K. Northrop – <http://www.allstar.fiu.edu/aero/northrop.htm> – Utoljára frissítve: 2004.03.12. (Letöltve: 2013.11.13.)
19. Andreas Parsch. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles, SM-62 – <http://www.designation-systems.net/dusrm/app1/sm-62.html> (Letöltve: 2013.12.28.)
20. CTIE, Monash University. Flying Wings. Jack (John Knudsen) Northrop – <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/northrop.html> (Letöltve: 2013.11.13.)
21. Aerofiles. Capsule Biographies. Jack Northrop – http://www.aerofiles.com/bio_n.html (Letöltve: 2013.11.13.)
22. Northrop Grumman. Our Heritage – <http://www.northropgrumman.com/AboutUs/OurHeritage/Pages/default.aspx> (Letöltve: 2013.11.14.)
23. New England Air Museum. Pratt & Whitney J57 (JTC3) Cutaway – http://neam.org/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=1059 – (Letöltve: 2013.12.02.)
24. Encyclopedia Astronautica. Navaho – <http://astronautix.com/lvs/navaho.htm> (Letöltve: 2014.01.04.)
25. Encyclopedia Astronautica. Navaho G-26 – <http://www.astronautix.com/lvs/navhog26.htm> (Letöltve: 2014.01.05.)
26. National Museum of the US Air Force. Fact Sheets. Rocket Engine Evolution – <http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet.asp?id=7649> (Letöltve: 2014.02.01.)
27. Encyclopedia Astronautica. XLR43-NA-1 <http://www.astronautix.com/engines/xlr43na1.htm> (Letöltve 2014.01.03.)
28. Historical Naval Ships Association. Chapter 7. Command Guidance – <http://www.hnsa.org/doc/missile/part2.htm> (Letöltve: 2013.12.06.)
29. National Museum of the US Air Force. Fact Sheets. North American X-10 – <http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet.asp?id=632> (Letöltve: 2013.11.22.)