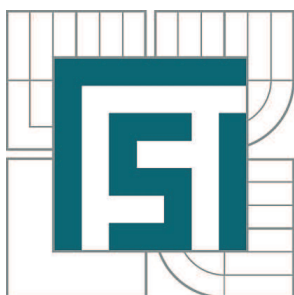


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED VÝVOJE KOSMICKÝCH RAKETOPLÁNŮ

SURVEY OF THE SPACE ROCKETPLANES DEVELOPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ KAPOUN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADIMÍR DANĚK, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Kapoun

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přehled vývoje kosmických raketoplánů

v anglickém jazyce:

Survey of the Space Rocketplanes Development

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Mnohonásobně použitelné kosmické dopravní prostředky se staly předmětem vývoje na počátku 70. let. Z mnoha koncepčních návrhů se ukázalo, že z ekonomických důvodů není doposud přijatelná varianta dvoustupňového kosmického dopravního systému. Řešení vedlo jen k částečně vícenásobně použitelnému kosmickému dopravnímu systému. Předmětem bakalářské práce by měl být historicko-technický přehled vývoje raketoplánů.

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte historicko-technický přehled vývoje vícenásobně použitelných kosmických dopravních systémů založených na využívání aerodynamického principu návratu orbitálního stupně do hustých vrstev atmosféry a při přistání. Zpracujte přehled počátků vývoje suborbitálních raketoplánů a vztlakových těles. Technické a ekonomické problémy vývoje orbitálních raketoplánů a poznatky z jejich dosavadního provozu. Budoucnost využití vícenásobně použitelných kosmických dopravních systémů.

Seznam odborné literatury:

[1] MARTINEK, F. Z historie a současnosti kosmických raketoplánů. Vlašské Meziříčí: Hvězdárna Valašské Meziříčí, 1997. 144 s. ISBN 80-902445-2-1

[2] ISAKOWITZ, Steven J. International reference guide to space launch systems. 4th ed. Reston : AIAA American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. 596 s. ISBN 15-634-7591-X.

[3] KUBALA, P. Raketoplány: Příběh kosmických korábů. Kralice na Hané: Computer Media, s.r.o., 2008. 112 s. ISBN 978-80-7402-003-2

[4] NOWICKI, J; ZIECINA, K. Samoloty kosmiczne. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-techniczne, 1989. 287 s.

[5] Internet

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce formou studie mapuje historicko-technický vývoj raketoplánů od jejich počátku až po současnost. V úvodu jsou raketoplány rozděleny do kategorií a následně jsou přiblíženy důvody vzniku těchto strojů. Druhá část se věnuje již samotnému vývoji a jednotlivým konstrukcím nejen USA a SSSR, ale přibližuje vývoj raketoplánu i v Evropě a Japonsku. Předposlední kapitola popisuje dvě tragické havárie raketoplánů USA a jejich příčiny. Poslední částí práce je závěr spolu s předpokládaným vývojem kosmonautiky v blízké budoucnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raketoplán, vztlkové těleso, historie, vývoj

ABSTRACT

This bachelor thesis maps the historical and technical development of space shuttles from their inception to the present. In the introduction shuttles are divided into categories and then the reasons of formation of these machines are described. The second part deals with the development itself has various designs and not only the USA and the USSR, but describes the Space Shuttle in Europe and Japan. The penultimate chapter describes two tragic accidents USA Shuttles and their causes. The last part of this work is the conclusion with the intended development of astronautics in the near future.

KEYWORDS

Space Shuttle, lifting body, history, development

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAPOUN, Tomáš. Přehled vývoje kosmických raketoplánů.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod vedením a dohledem vedoucího bakalářské práce pana doc. Ing. Vladimíra Daňka, CSc. a veškerou použitou literaturu či další podkladové materiály, které jsem použil, uvádím v seznamu použité literatury.

V Brně dne 24. května 2013

Kapoun Tomáš

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Vladimíru Daňkovi, CSc. za vstřícný přístup, cenné rady a připomínky během tvorby bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a všem v okolí za podporu během studia.

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Cíle práce	7
3. Definice, rozdělení raketoplánů a jejich počátky.....	8
4. Příčiny vzniku raketoplánu	11
5. Projekty raketoplánů	13
5.1 Sovětský svaz a Rusko	13
5.1.1 Projekt MP – 1	13
5.1.2 Projekt Spiral	13
5.1.3 Projekt Gluško – Trufanov.....	15
5.1.4 Projekt Uragan	15
5.1.5 Program MAKS	16
5.1.6 Raketoplán Buran.....	18
5.1.7 Program Kliper.....	19
5.2 USA	21
5.2.1 Projekt X - 15.....	21
5.2.2 Projekt Dyna Soar	23
5.2.3 Space Shuttle.....	25
5.3 Japonsko	32
5.3.1 Projekt HOPE.....	32
5.4 Evropa.....	35
5.4.1 Hermes	35
6. Srovnání raketoplánů USA a SSSR	36
7. Havárie sériově vyráběných raketoplánů.....	37
7.1 Havárie raketoplánu Challenger	37
7.2 Havárie Columbia.....	39
8. Závěr	42
Literatura:	43

1. Úvod

První myšlenky na stavbu raketoplánu se zrodily již v první polovině 20. století. První práce na raketoplánu, jaký si představíme v dnešní době, započaly v nacistické Třetí říši pod vedením dr. Eugena Sängera. Cílem projektu, pod názvem Silbervogel (Stříbrný pták), byl suborbitální raketoplán schopný zasáhnout jakýkoliv cíl na Zeměkouli. Naštěstí na tento projekt neměli nacisté potřebnou technologii ani zdroje. Po skončení druhé světové války se doslova strhl boj o konstruktéry a vědce Třetí říše, protože tajné služby Spojenců již věděly o projektech vesmírných letounů a letadel s novými druhy pohonu. Tito odborníci poté položili základ vesmírným letům na obou stranách Atlantiku. Po začátku studené války a vzniku železné opony byl kosmický výzkum velmi prestižní a byly na něj vydávány obrovské sumy peněz, což umožnilo neskutečně rychlý vývoj a vedlo ke schválení projektů, které by bez podpory armády a bez hrozby války pravděpodobně nikdy nevznikly. Bohužel, s rozpadem Východního bloku a koncem studené války došlo i ke značnému snížení financí výzkumným týmům, což vedlo k omezením v projektu nebo jejich úplnému zrušení. Jediným strojem a pohrobkem studené války, který se dostal do operačního nasazení, byl americký stroj Space Shuttle, postavený v celkovém počtu pěti sériových exemplářů plus jeden stroj k testování. Dva ze sériových raketoplánů, Challenger a Columbia, byly ztraceny během tragických havárií. Raketoplány létaly až do července roku 2011. Po ukončení mise STS – 135 stroje Atlantis byly raketoplány USA definitivně vyřazeny z provozu.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámení se s historicko-technickým vývojem kosmických systémů, které využívají vztlakovou sílu při návratu z oběžné dráhy i při přistání. V bakalářské práci bude snaha o zachycení nejdůležitějších okamžiků vývoje těchto strojů spolu s jejich ekonomickými i technickými problémy, avšak nejde o detailní a vyčerpávající práci v této oblasti, ale jedná se pouze o její studii.

3. Definice, rozdělení raketoplánů a jejich počátky

Kosmický raketoplán lze definovat jako dopravní prostředek, který je schopen létat v atmosféře Země i blízkém okolním vesmíru a strávit určitou dobu na oběžné dráze. Na oběžnou dráhu může být vynášen jen pomocí vlastních raketových motorů, popřípadě může využívat pomocných motorů, které jsou před vstupem na oběžnou dráhu ve většině případů odhozeny. V případě pomocných motorů, odhozených před dosažením oběžné dráhy, mluvíme o vícestupňovém raketoplánu. Charakteristickým rysem raketoplánu je jeho vícenásobná použitelnost, avšak není to nezbytností. Start probíhá obvykle vertikálně jako u běžné rakety, může však probíhat i jako u klasického letounu, popřípadě může být vynesena jiným letounem a v určité výšce vypuštěn.

Raketoplány lze rozdělit dle výkonu do dvou velkých kategorií:

a) Suborbitální (atmosférické) raketoplány

b) Orbitální raketoplány

Do kategorie orbitálních raketoplánů patří nejen dnes nejznámější a již vyřazené americké raketoplány Space shuttle a také již bohužel po jediném zkušebním letu vyřazený sovětský, posléze ruský, raketoplán Buran, ale také řada nerealizovaných projektů, jako byl například evropský Hermes, případně japonský projekt Hope. Nutným rysem strojů této kategorie je schopnost dosáhnout během vzletu první kosmické rychlosti a poté co je ukončena činnost raketových motorů, schopnost pohybovat se po oběžné dráze okolo planety.

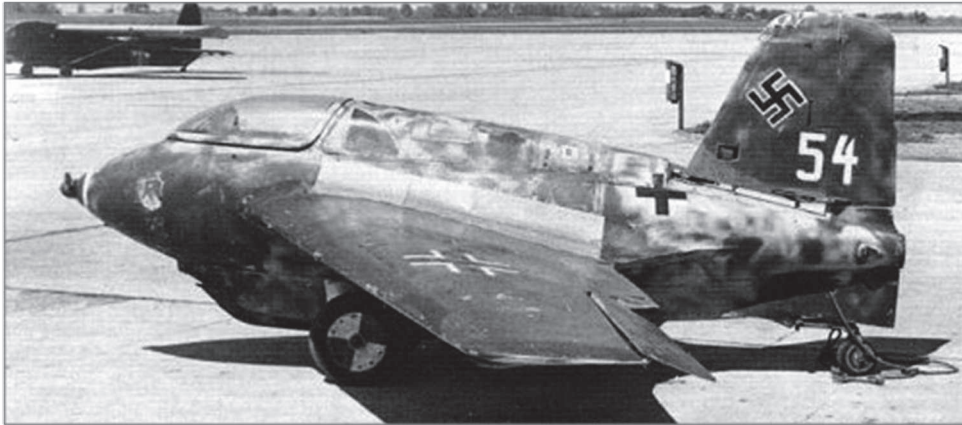
Suborbitální raketoplány nejsou schopny dosáhnout první kosmické rychlosti, poté co dojde k ukončení činnosti pohonné jednotky, raketoplán pokračuje setrvačností v letu po tzv. balistické křivce, jejíž vrchol leží nad úředně stanovenou hranici vesmíru 100 km. Do této kategorie patřil například experimentální letoun X-15 nebo v současnosti dobře známý letoun, vyvinutý firmou Scaled Composites, SpaceshipOne.

Všechny vytvořené, případně navržené raketoplány byly projektovány k využití vztlakové síly, vznikající na nosných plochách prostředku a proto u nich nalezneme typické znaky klasických letounů, jako jsou křídla, směrové kormidlo atd. Tento způsob řízení stroje pomocí těchto ploch se nazývá aerodynamické řízení a je využitelné většinou jen v určitých oblastech rychlosti, nikoliv tedy v celém rozsahu rychlosti, kterých daný raketoplán dosahuje. Dle tohoto způsobu řízení můžeme raketoplány rozdělit na stroje:

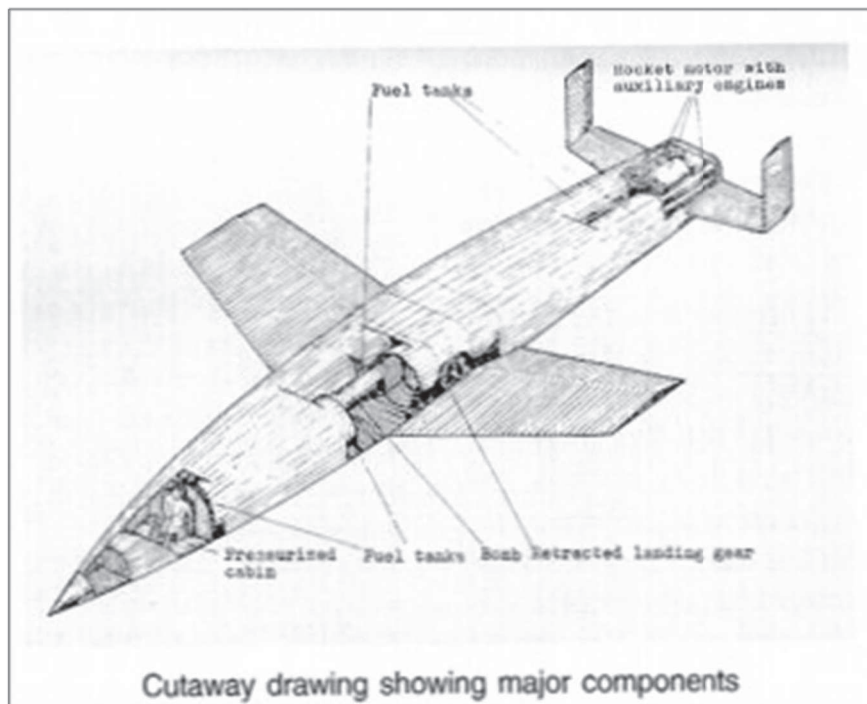
- a) Podzvukové - Plochy aerodynamického ovládání stroje jsou účinné a říditelné až v případě rychlosti menší než je rychlost zvuku, tedy méně než Mach 1.
- b) Supersonické - plochy řízení účinné až po dosažení rychlosti nižší než Mach 5.
- c) Hypersonické - Aerodynamické řízení účinné a říditelné již od vstupu do atmosféry, tzn. že jsou říditelné i při rychlostech vyšších než je Mach 5.

Tyto kosmické prostředky lze samozřejmě rozdělit i podle jejich velikosti, která odpovídá danému poslání stroje. Dle předpokladu je dělíme na malé, které pojmu posádku, případně posádku s menším přístroj a slouží především jako špionážní nebo bojový prostředek. Příkladem může být například sovětský Mig 105-11 Spiral, případně v současnosti létající a utajovaný, bezposádkový, raketoplán armády USA Boeing X-37. Další kategorií jsou stroje střední velikosti, schopné pojmout posádku i spolu s nákladem a nakonec je kategorie velkých raketoplánů jako byl americký Space Shuttle a sovětský, ruský Buran, které zařazujeme do velkých raketoplánů, vynášejících posádku i s velkorozměrným nákladem.

Vizi raketového letounu měl již okolo roku 1902 konstruktér Pedro Paulet, původem z Peru, který navrhl raketoplán pro rychlou dopravu osob a nákladu přes Atlantik. Avšak první pokusy navrhnout a také zkonstruovat raketový letoun, přesněji řečeno kluzák, spatřují světlo světa na konci 20. let 20. století. Mezi první pokusy patří například raketoplán Lippischova Ente (Ente – v překladu kachna) pilotovaný Fritzem Stammerem a poháněný 2 prachovými raketami Sander. Letoun vycházel z kluzáku konstruktéra Alexandra Lipische, nicméně samotný konstruktér pravděpodobně o přestavbě nevěděl a na samotné montáži prachových raket a s tím spojených konstrukčních úpravách se nepodílel. První start tohoto raketového kluzáku proběhl na jaře roku 1928, avšak nedošlo k zážehu raketových motorů, tím pádem byl start neúspěšný. Nicméně druhý start v červnu 1928 byl již korunován úspěchem. Při třetím, posledním startu byl však kluzák zničen, jelikož při startu došlo ke vzplanutí jednoho z raketových motorů a následnému požáru. Pilotovi se podařilo nouzově přistát, bohužel pro samotný letoun to byl konec. Avšak vývoj pokračoval dále, především v nacistickém Německu sny o prostředku, schopném dosáhnout vesmíru a poté se klouzavým letem vrátit do atmosféry a zasáhnout jakékoliv místo na Zemi, nabývaly i konkrétnějších obrysů. Příkladem budiž projekt Silbervogel. případně postavené raketové stroje jako Heinkel He – 176 poháněný kapalinovým motorem a pilotovaný Erichem Warsitzem nebo v roce 1943 první sériově vyráběný stroj firmy Messerschmitt Me – 163 Komet. Stroje Heinkel, Messerschmitt a jím podobné však nevznikaly jako mírové, jejich návrh a stavba byli podloženy ryze praktickými problémy právě probíhající války. Bohužel, či spíše bohudík, nerealizovaným a v té době téměř fantasticky vyhlížejícím projektem letounu Schwalbe, který již ve všech směrech splňoval i dnešní parametry suborbitálního raketoplánu, měl být dle snu Adolfa Hitlera schopen bombardovat New York. Především těchto konstrukcí a představ inženýrů nacistického Německa ve svých kosmických programech minimálně v začátcích, ne-li i později, využívali dvě budoucí supervelmoci USA a SSSR, které nejenže využily, jestliže přímo nezkopírovaly, produkty válečného průmyslu Třetí říše, ale přetáhly do svých laboratoří a konstrukčních kanceláří i mnohé odborníky z oblasti aerodynamiky, konstrukce motoru či draku letadel a raketoplánů.



Obr. 1 Me – 163 Komet, [8]



Obr. 2 Raketoplán Sanger,[8]

4. Příčiny vzniku raketoplánu

Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, cílem prvních konstruktérů raketoplánů, ať již suborbitálních nebo orbitálních, byla rychlá přeprava osob a nákladu. Postupem času si výhod těchto strojů všimla i armáda, přičemž s příchodem druhé světové války se pozornost přesunula k raketovým letounům (o raketoplánu v pravém slova smyslu se nedá hovořit, stroje nedosahovaly ani hranice kosmického prostoru). Příčina tohoto odklonu byla ryze praktická. Velmi brzy po začátku druhé světové války velitelé letectva na obou válčících stranách zjistili, že stoupavost jejich stíhaček do letových hladin, které využívají nepřátelské bombardéry je nedostatečná. Tudíž požadovali stroj s vysokou stoupavostí, který do dané letové hladiny vystoupá během několika minut. Odpovědí konstrukčních kanceláří byly již zmiňované letouny Me – 163 Komet, Heinkel He - 176 či v Sovětském svazu Běrezňak Isajev BI -1. Ačkoliv se nejednalo o raketoplány v pravém slova smyslu, považují stroje zmíněné výše za nutný předstupeň ke konstrukci skutečného raketoplánu.

Otcové prvních myšlenek o raketoplánech měli důvody pro stavbu zcela mírumilovné, ačkoliv všechny doposud vyrobené stroje byly více či méně určeny pro použití v armádě. Co se týká civilních důvodů vzniku těchto bezpochyby konstrukčně zajímavých strojů, ty byly prozaické: Snížení provozních nákladů, především díky vícenásobné použitelnosti, na oběžnou dráhu vynést posádku i několik desítek tun nákladu a možnost startovat téměř stokrát do roka. Toto byly představy konstruktérů a důvody pro vznik. Nebyly to ale důvody hlavní. Možností a schopností raketoplánů si byla vědoma i armáda, viz o několik řádků výše. V době, kdy začínají první návrhy skutečných raketoplánů a jejich realizace, tak nesmíme zapomínat, že se nalézáme v období studené války a závody ve zbrojení, stejně jako snaha o zajištění převahy v kosmu, jsou v plném proudu. Toto období je příhodně nazváno jako období tzv. Hvězdných válek neboli období Strategické obranné iniciativy (SDI). Jako důkaz vážnosti myšlenky hvězdných válek lze použít výroky tehdejšího amerického prezidenta Ronalda Reagana, který vyzval vědce a inženýry k vytvoření prostředku, který by učinil jaderné zbraně beznadějně zastaralými. Možná špionáž protivníkovy území, vynášení objemných nákladů či oprava satelitu přímo na oběžné dráze, v případě válečného konfliktu schopnost zaútočit na nepřítele z vesmíru. To vše byly příčiny, proč armáda měla vstoupit do projektu raketoplánu, a jak později zjistíme, armáda do projektu raketoplánu na obou stranách Atlantiku opravdu vstoupila, přičemž stroje navržené a postavené byly pokaždé významně ovlivněny požadavky armády. Tyto stroje tedy nakonec vznikly, ač to tak v dnešní době nevypadá a mnoho z nás si to neuvědomuje, přímo jako součást strategie hvězdných válek a měly mít i vojenské využití. Z tohoto důvodu se na projektech příliš nešetřilo, přičemž k očekávané ekonomické návratnosti investice taktéž nedošlo. I přes počáteční snahu o snížení nákladů na let nebylo možné cíle dosáhnout, protože konstrukční složitost je i na dnešní poměry velmi vysoká a tím pádem jsou náklady na provoz a údržbu vysoké taktéž. Stavba jednoho kusu raketoplánu USA vyšla odhadem na 2 miliardy dolarů, cena za jeden start se pohybovala mezi 500 a 750 miliony, přičemž roční údržba čtyřčlenné flotily si vyžádala další dvě miliardy. Vývoj ruského protějšku amerického Space Shuttle, raketoplánu Buran (Буран) začal především jako reakce na americký stroj, jelikož plánovači spolu se

stratégy ze Sovětského svazu si nedokázali představit jiné využití stroje s takovou nosnou kapacitou jak armádní. Proto byla ihned zadána studie možného využití raketoplánu USA jako bojového stroje. I přes studii, jež nenalezla jediný důvod pro použití stroje jako bojového prostředku, bylo díky vlivu armády a obav jejich velitelů o stavbě protějšku raketoplánu USA rozhodnuto. Jak již bylo řečeno výše očekávaná výkonnost spolu s ekonomickou výhodností byla u raketoplánu u obou mocností značně předimenzována, na straně USA dokonce ještě více než v SSSR. Možnost startů téměř stokrát ročně byla nejen v té době nerealizovatelná.

5. Projekty raketoplánů

5.1 Sovětský svaz a Rusko

V Sovětském svazu existovala řada projektů raketoplánů a vztlakových těles, bohužel většina z nich se kromě projektu Eněrgija – Buran nedostala z fáze prototypu. První pokusy sestrojít vztlakové těleso započaly okolo roku 1957 pod hlavičkou hlavní konstrukční kanceláře OKB -1 vedenou Sergejem Koroljovem. Povětšinou se jednalo o okřídlené kosmické kabiny nebo malé vesmírné kluzáky. Prvním projektem, který byl brán od začátku vážněji, započal v roce 1960 pod vedením nově vytvořené konstrukční kanceláře OKB – 52 s šéfkonstruktérem Vladimírem Čelomějem. Označení projektu znělo MP-1.

5.1.1 Projekt MP – 1

Jak bylo řečeno výše, projekt MP-1 započal v roce 1960. Jednalo se o několikamístnou okřídlenou kabinu, schopnou dosáhnout orbitální dráhy a přiblížit se k družicím USA. Provést jejich kontrolu a případně je zlikvidovat. První testovací let makety proběhl 27. prosince 1961 z kosmodromu Kapustin Jar. Těleso vynesla raketa R – 12. Maximální výška letu byla 406 km. Na druhý let se čekalo do roku 1963. Následně byly zkonstruovány nové prototypy R-1 a R-2. I přes konstrukci prototypů byl nakonec projekt v roce 1964 zrušen.

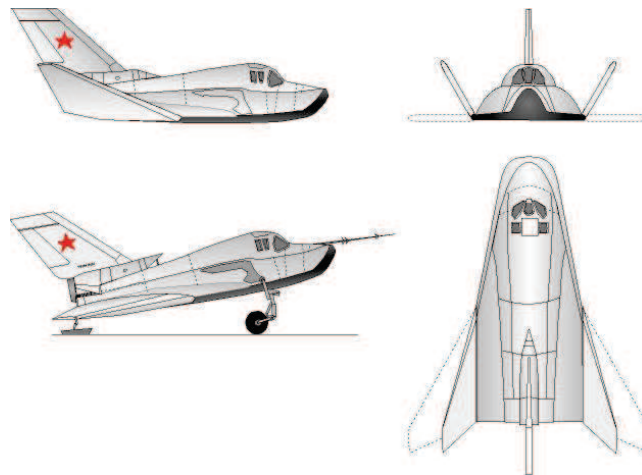
5.1.2 Projekt Spiral

V 60. letech se Mikojanova konstrukční kancelář začala věnovat konstrukcím letounů schopných i kosmických letů. V této době pracuje v konstrukci kanceláře označované jako OKB-155 Gleb Lozinsko Lozinský, který se stává hlavním konstruktérem aero kosmického raketoplánu. Pod jeho vedením je navržen dvoustupňový systém, přičemž oba stupně byly tvořeny aerodynamickými vztlakovými tělesy. První stupeň tvořil rozměrný hypersonický letoun, jehož charakteristikou bylo delta křídlo s velkým úhlem náběžných hran a zdvojené kýlové plochy. Letoun měl dosahovat rychlosti až 4 Mach, pokud by 4 víceproudé motory spalovaly letecký petrolej a až 6 Mach při spalování kapalného vodíku. Dostup s raketoplánem na hřbetě byl vypočítán na 30 km. Tento stupeň nesl označení GSR (Giperzvukovoj samoljot-razgonščik), typové označení znělo GSR 50-50. Výsledné rozměry stroje zněly: délka 38 m a rozpětí křídel 16,5 m. Předpokládaný dolet prvního stupně byl vypočítán do 3000 km. Na hřbetu tohoto nosiče měl být přichycen samotný raketoplán tzv. Orbitalnij samoljot (OS), jehož pohon zajišťoval dvoustupňový raketový motor a pro zajištění dostatečného vztlaku během přistání, což byla nejkritičtější fáze letu, tak jako dnes, byl instalován malý proudový motor. Orbitální raketoplán byl dlouhý osm metrů a rozpětí bylo stanoveno na 7,4 m. Trup byl samonosný, bez klasických ocasních ploch a jen s nízkým stabilizátorem. Přistání byla plánovaná na polní letiště až druhé kategorie z důvodu

předpokládaného zničení klasických letišť v případě bojového konfliktu. Přistávací rychlost byla výpočty stanovena na 250 km za hodinu.

Předtím však než byl orbitální raketoplán skutečně postaven, proběhla stavba několika maket, označovaných jako BOR a příslušné číslo, které měly pomoci potvrdit předpokládané chování orbitálního stupně, případně poukázat na problémy v konstrukci. První maketa značena jako BOR-1 a v měřítku 1:3, vyrobená z překližky a dřeva, vypuštěna 15. června 1969, let probíhal po balistické křivce, jejíž vrchol ležel ve výšce 100 km, tedy dle dnešních pravidel dosáhla již první maketa hranice vesmíru. Bohužel z důvodu použitých materiálů a velmi vysoké rychlosti vstupu do atmosféry, dosahoval asi 13 000 km za hodinu, stroj shořel, ale ještě před konečným zničením stihl odvyšlat důležité telemetrické údaje, které mimo jiné potvrdily možnost řízeného sestupu atmosférou. Stavba modelů pokračovala sestavením maket označených BOR-2 a 3, tentokrát však již z kovových materiálů, které byly určeny i pro skutečný orbitální letoun. Vrchol první fáze programu byl dosažen v prvních letech 70. let, kdy byl sestaven atmosférický analog a poté testován v Akťubinsku. Následná druhá fáze sestávala z tzv. žabích skoků, což nebylo nic jiného než start, odlepení od země a následovala zatáčka na přistání, poté byl raketoplán zavěšen pod turbovrtulový dálkový bombardér Tu-95K a startoval z podvěsu tohoto letounu. V průběhu samotného letu jej poháněl turboreaktivní motor, který byl dříve určený pro kolmo startující Jak-38. První let z podvěsu byl uskutečněn v roce 1977 pilotem Aviardem G. Fastovecem. Další pokusy probíhaly během roku 1978. Ještě před dokončení druhé fáze zkoušek byl připraven k letu první plnohodnotný stroj, plně vybaven včetně zbraňových systémů, určený pro orbitální lety. Starty by zatím probíhaly pomocí rakety Sojuz, vyvinuté v kanceláři Sergeje Koroljova, jelikož hypersonický letoun, který měl orbitálnímu stupni udělit rychlost až Mach 6, nebyl ještě k dispozici, z důvodu přednostní konstrukce raketoplánu. Hypersonik vyvíjený v konstrukční kanceláři Mikojana měl přijít na řadu později. Bohužel jak to bývá, nový nástupce ministra obrany, maršál Grečko svým nesouhlasem poslal projekt Spiral doslova k ledu, přičemž jen připojením svého podpisu ve schvalovacím dokumentu by poslal první plnohodnotný raketoplán do vesmíru.

Využití tohoto malého raketoplánu bylo téměř stejné jako v USA. Prioritní nasazení bylo bojové, fotografický průzkum území protivníka, k inspekci a případný útok a zničení nepřátelských cílů, včetně satelitů, případně útok na cíle menších rozměrů jako jsou ponorky či letadlové lodě. Jistě nikoho nepřekvapí, že tento stroj byl určen i pro takzvaný dogfight, tedy souboj letadlo proti letadlu, v tomto případě raketoplán proti raketoplánu, vyzbrojených především raketami typu vesmír – vesmír. V případě bojového využití mělo dojít ke dvěma až třem obletům Země, během prvního by došlo k průzkumu a identifikaci cíle, další přiblížení k cíli v druhém obletu by již znamenalo útok a během posledního obletu by došlo k přistání na jednom z přátelských letišť. V době míru by byl úkol Spiralu jediný: kontrola a průzkum nepřátelských objektů prolétávajících nad územím SSSR.



Obr. 3 Nákres, bokorys a půdorys raketoplánu Mig 105 – Spiral, [18]



Obr. 4 Mig 105 – Spiral dnes, [19]

5.1.3 Projekt Gluško – Trufanov

Po smrti generálního a geniálního konstruktéra Sergeje Koroljova, který dostal Sovětský svaz do vesmíru a zajistil mu v této disciplíně prvenství, se ujal vedení kanceláře OKB – 1 Valentin Gluško. Ve spolupráci s inženýrem Trufanovem navrhl v roce 1974 těleso ve tvaru kužele. Inspirací projektu bylo vysazování lehkých tanků. Stroj, vyneseny raketou Proton, měl přistávat pomocí padáku a lyží a v úplně závěrečné fázi přistání ještě s pomocí raketových motorů.

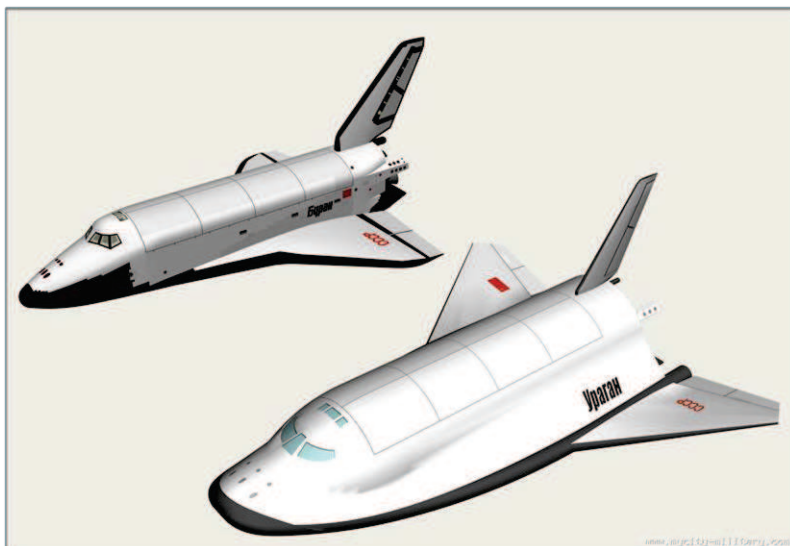
5.1.4 Projekt Uragan

Tento projekt raketoplánu započal svůj život ve stejném období jako projekt Gluško – Trufanov. Ačkoliv velikost Uraganu byla pouze čtvrtinová oproti americkým strojům, jeho hlavním úkolem bylo americké raketoplány ničit. Pod návrh a konstrukci se podepsala konstrukční kancelář NPO – Molnyja a v roce 1987 byly vypuštěny dvě desetitunové makety, avšak nikoliv pod správným názvem projektu, ale označení mise kvůli

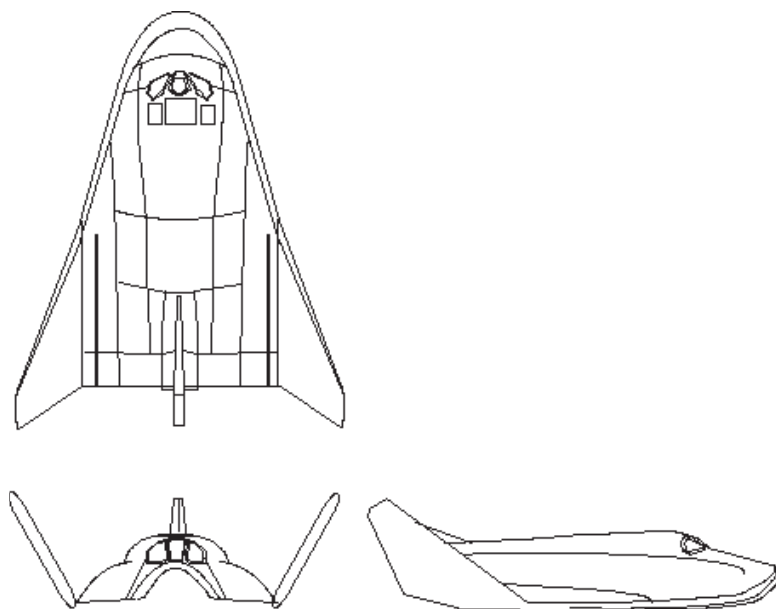
utajení znělo: Kosmos 1871 a Kosmos 1873. Bohužel nebo snad naštěstí, i tento program byl nakonec zrušen.

Tab. 1: Technické údaje projektu Uragan

Hmotnost	13 000 kg
Výška	12,5 m



Obr. 5 URAGAN (vepředu) jako konkurent Buranu (v pozadí), [28]



Obr. 6 Tři pohledy na URAGAN, [28]

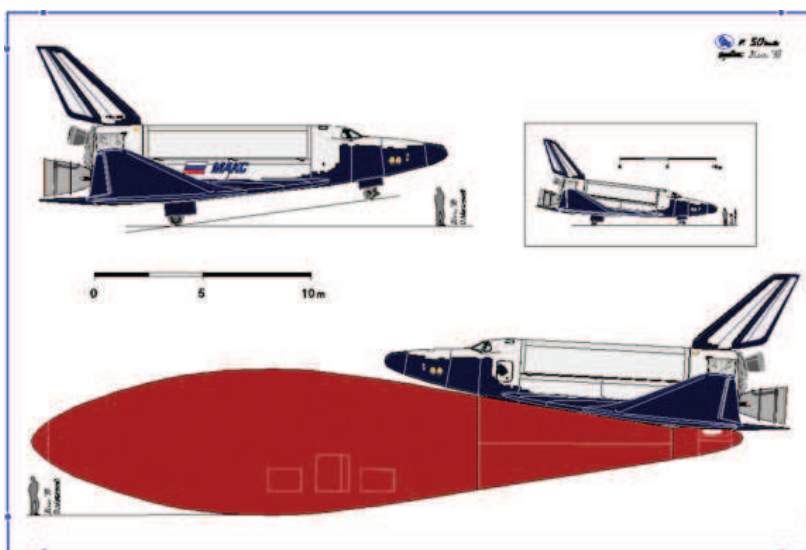
5.1.5 Program MAKS

System MAKS byl konstruován jako víceúčelový, což mělo poskytovat několik základních výhod, mezi které patřila především schopnost vynést užitečný náklad na

jakýkoliv sklon oběžné dráhy, nízké provozní náklady a s tím související provozní účinnost. Další výhodou raketoplánu MAKS byla případná nouzová záchrana posádek z kosmických plavidel či stanic. Program začal být aktuální v roce 1980 před prvními lety raketoplánu Buran. Mnoho konstrukčních prvků a zkušeností bylo využito již z předchozích programů, jako například projekt Spiral nebo již stavěný Buran. Raketoplán byl zkonstruován jako dvoustupňový, první stupeň tvořil letoun An – 225 Mrija, který měl sloužit taktéž k transportu Buranu, druhý stupeň byl již orbitální, tvořený vnější palivovou nádrží a samotným raketoplánem. Celkově byl systém navržen ve 3 modifikacích: MAKS - OS, v základní modifikaci slouží jako klasický raketoplán pro dvoučlennou posádku, MAKS – T, bezpilotní verze, sloužící k vynášení těžkých nákladů (až 18 tun) a MAKS – M, jedna z možných verzí dalšího vývoje raketoplánu.

Tab. 2 Charakteristické údaje jednotlivých verzí systému MAKS

Modifikace	Vzletová hmotnost	Hmotnost druhého stupně	Hmotnost orbitální části	Posádka
MAKS - OS	620 tun	275 tun	27 tun	2
MAKS - T	620 tun	275 tun	-	-
MAKS - M	620 tun	275 tun	-	-



Obr. 7 Systém MAKS v bočním pohledu a srovnání s velikostí člověka, [4]



Obr. 8 Start druhého stupně MAKS z An – 225 Mrija, [4]

5.1.6 Raketoplán Buran

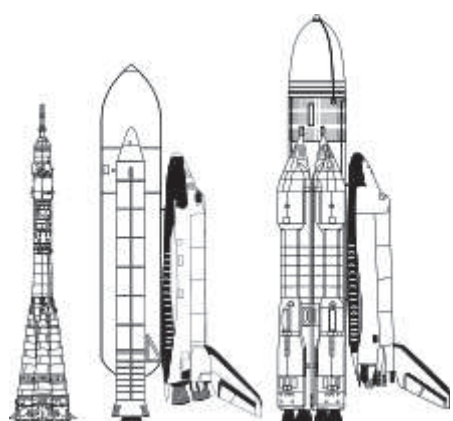
Sovětský raketoplán Buran (Буран), byl vyvinut v rámci programu MKS a první jeho prototyp byl postaven v roce 1986. Jeho první let se měl uskutečnit již v roce 1988, 29. října, bohužel 51 sekund před začátkem odpočítávání byl start přerušen a nakonec zrušen. Náhradní termín startu byl stanoven na 15. listopad 1988. Na palubě stroje nebyla přítomna posádka, podpora života nebyla instalována, let byl plně řízen automatikou, řídicí středisko mohlo dát stroji jen příkaz k sebezničení. Délka mise byla stanovena na 3 dny, nakonec však Buran strávil na oběžné dráze necelé 3 hodiny, vykonal 2 oblety Země a přistál na dráze kosmodromu Bajkonur. Jako náhradní přistávací zóna byla určena dráha ve vojenském prostoru Ralsko v bývalém Československu, dnes České republice, která měla být využita v případě nepříznivého počasí či jiných nenadálých událostí. Jistě není bez zajímavosti, že během přistávacího manévru stál stroj na pokraji zničení příkazem z řídicího střediska. Důvodem bylo ostré odchylení se od předem naplánovaného kurzu přistání během přiblížení a nyní místo na přistávací dráhu kosmodromu raketoplán mířil do rozlehlých stepí Kazachstánu. Než však řídicí stihnou udělat jakékoliv rozhodnutí, počítače Buranu dokončují průzkum terénu a jeho srovnání s terénem uloženým v paměti, orientují se a dokončují obrat, který stroj vrací zpět na osu dráhy. Jak je následným šetřením zjištěno, počítače Buranu reagovaly na silný boční vítr, který překročil všechny ukazatele, a rozhodly se před přistáním ještě pro jeden okruh navíc. Výsledky šetření byly obrovským překvapením, s takovým úspěchem techniky nikdo nepočítal. Naneštěstí, tento první let Buranu byl také jeho posledním. V roce 1989 se ještě zúčastnil aerosalonu v Paříži na hřbetě Antonovu An 225 Mrija, spíše však jako demonstrace technických schopností východního bloku než jako budoucí sériově vyráběný stroj. Tolik tedy stručně k historii Buranových letů do kosmu.

Pojďme se nyní podívat na jeho vývoj a konstrukci. Stavba sovětského raketoplánu, který měla být odpovědí na americký Space Shuttle začala v sedmdesátých letech dvacátého století, avšak jak již víme, úvahy nad koncepcí letounu, schopného dosáhnout oběžné dráhy nebyly ničím novým. Stačí vzpomenout například projekt Spiral, jehož zárodky bylo možné

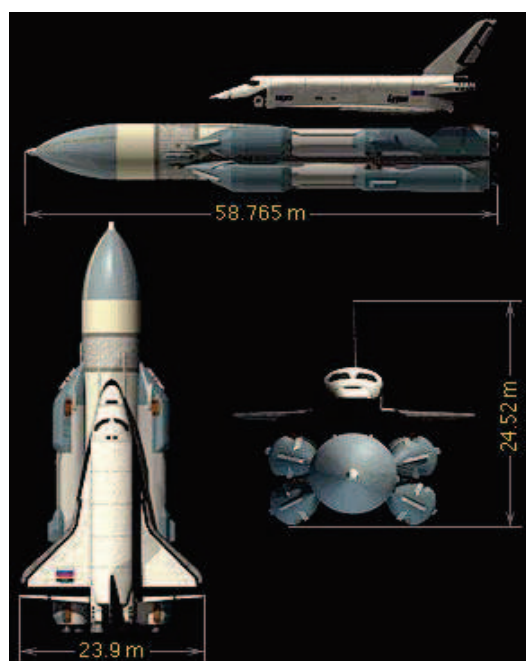
nalézt již v 60. letech. O tom, že Buran nebyl plánovanou konstrukcí, ale skutečně reakcí na americký raketoplán svědčí i fakt, že ještě v roce 1966 na prezentaci 20tiletého plánu rozvoje sovětské kosmonautiky nebyl projekt Buranu vůbec prezentován, avšak již o sedm let později bylo dobře informovaným lidem známo, že v SSSR je vyvíjena sovětská verze raketoplánu pod označením „Projekt číslo 303“.

Technické parametry Buranu byly následující: Délka 36,37 m, rozpětí křídel 23,92 m, průměr trupu 5,6 m a hmotnost (start/přistání): 105 tun / 82 tun, přičemž užitečné zatížení při startu mohlo činit až 30 tun.

Buran mohl být do kosmu vynášen jakoukoliv raketou s odpovídající nosností, protože byl vyvíjen nezávisle na nosné raketě. Předpokládalo se však využití rakety Eněrgija. Jeho první i poslední start probíhal z rampy původně postavené pro ruskou superraketu N-1, která měla Sověty dopravit na Měsíc.



Obr. 9 Srovnání startovní konfigurace Sojuzu, Space Shuttlu a Buranu, [3]



Obr. 10 Tři pohledy na Buran ve startovní konfiguraci a jeho rozměry, [3]

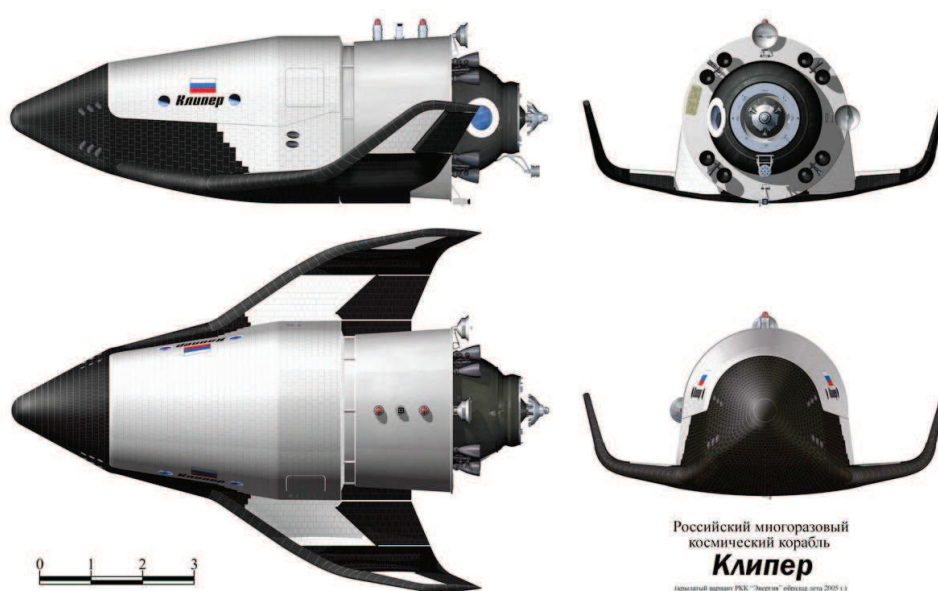
5.1.7 Program Kliper

V programu Kliper se jednalo opět o mnohonásobně použitelnou kosmickou loď, tentokrát vyvíjenou jako náhrada za stále více stárnoucí loď Sojuz, vyvinuté a postavené již v 70. letech 20. století. Právě v letošním roce měl proběhnout první pilotovaný let této loď, ovšem v případě bezproblémového financování, což bohužel v dnešním Rusku není jednoduché, pokud ne nemožné. Protože projekt nezískal finance ani podporu od Ruské kosmické agentury ani vlády, Kliper ustrnul v roce 2006 na mrtvém bodě a nezdá se, že by v nejbližší době mělo dojít k jeho oživení. Práce na projektu začala již v devadesátých letech v průběhu návrhů modernizace loď Sojuz. Původně se jednalo o vztlakové cestě, napůl americký Space Shuttle a napůl okřídlený Sojuz. Došlo k tvorbě maket a zkouškám

v aerodynamických tunelech, následovaly úvahy o uspořádání stroje. V roce 2003 získal projekt podporu Roskosmosu a byla o něm informována veřejnost. I přes podporu Roskosmosu však projektu hrozil nedostatek financí, takže byl kladen zvláštní důraz na partnerskou spolupráci s dalšími kosmickými agenturami. V roce 2004 Evropská kosmická agentura (ESA) projevila zájem o tento dopravní prostředek, avšak požadovala zásadní změnu koncepce. Cílem ESA byla možnost přistání Kliperu jako klasického letadla na letišti. Během necelého roku se tedy podařilo upravit Kliper do požadované podoby a vznikla tedy varianta okřídleného Kliperu. Naneštěstí Evropská unie odmítla uvolnit nezbytné finance, což znamenalo konec vývoje a evropské účasti. Kliper se ještě zúčastnil tendru Roskosmosu na vícenásobně použitelnou loď, avšak bez úspěchu. Od té doby jsou práce na něm sníženy na minimum a světlé zítřky jej tedy pravděpodobně nečekají i přesto, že v roce 2008 se objevila další verze Kliperu se sklopnými křídly, přičemž loď startuje s křídly složenými, která se rozkládají až při přistání.

Tab. 3 Technické specifikace Kliperu obou verzí

	Verze bez křídél	Verze s křídly
Startovní hmotnost	14,5 tun	15 tun
Hmotnost návratového modulu	9,5 – 10 tun	10 tun a více
Vynášený náklad	700 kg	500 kg
Posádka	2 + 4	2 + 4



Obr. 11 Orbitální část raketoplánu Kliper, [1]



Obr. 12 Vnitřní struktura Kliperu,[1]

5.2 USA

5.2.1 Projekt X - 15

Výsledkem projektu X-15 byl experimentální raketový letoun. Konstruktérem a mecenášem projektu byla Národní kosmická agentura USA NASA. V 60. letech 20. století stroj ustanovil několik výškových a rychlostních rekordů, mezi které patří i rekord nejvyšší rychlosti stroje pilotovaného člověkem. Tento rekord je stále v platnosti a má hodnotu 6 Mach. V konečném řešení se jednalo o dvoustupňový nosič, první stupeň tvořil upravený bombardovací letoun B-52. Druhým stupněm byl již samotný raketový letoun s vlastním raketovým motorem a palivem. Celkem byly postaveny tři exempláře a v roce 1958 započaly první zkoušky, samozřejmě pod velením armády. V březnu roku 1961 začal samotný výzkumný program. Během prvního letu byl stroj X-15 pilotován majorem Robertem M. Whitem, který jen s motory pracujícími na 50 % dosáhl výšky 22,8 kilometru a rychlosti vyšší než 4 Mach. A již v listopadu stejného roku se na rychloměru letounu skvěla hodnota 6,04. Během osmi měsíců byly rychlostní rekordy přepsány několikanásobně, přičemž než se lidstvo dostalo z hodnot Mach 1 na hodnoty Mach 3, stálo to 9 let výzkumů, pokusů a konstrukčních úprav. Letoun se celkem čtyři krát dostal do výšky 91,4 km. Nejvyšší dosaženou rychlostí na tomto stroji byla rychlost rovna 6,72 násobku zvuku, tedy 6,72 Mach.

Konstrukce stroje:

Délka letounu dosahovala 15,47 metru při rozpětí pouhých 6,82 metru. Téměř celá vnitřní konstrukce byla vyrobena z odlehčených titanových slitin, potah tvořil chrom-niklový plech, do kterého byl jako legura přidán hliník. Tento materiál byl zvolen z důvodu dostatečné tepelné odolnosti, schopný odolat i předpokládaným teplotám až 800°C, které se předpokládaly v průběhu hypersonického letu. Křídlo má tvar lichoběžníku, přičemž velikost nosné plochy byla pouhých 18,6 m². Jak si můžeme všimnout i na dokumentaci stroje, ocasní plochy mají vysoké záporné vzepětí, což je výhodné například při vysokých úhlech náběhu.

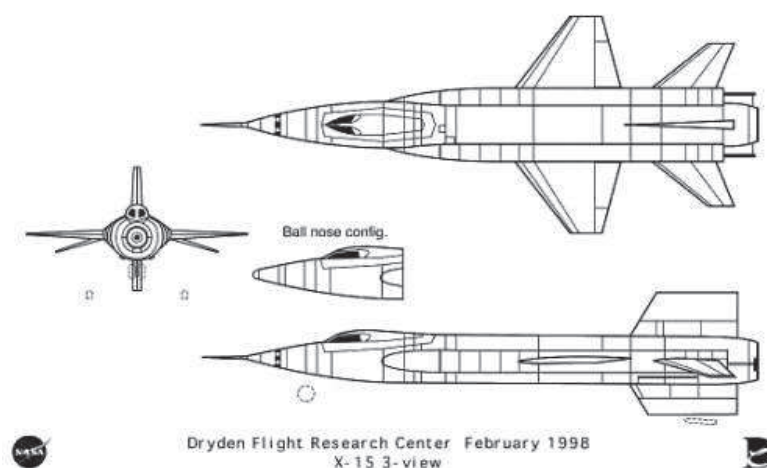
Vzletová hmotnost stroje činila 15 042 kg. Pohon zajišťovaly raketové motory schopných dosáhnout tahu 222 000 Newtonů. Technické údaje a výkony letounu udávají tabulky níže.

Tab. 4 Technická specifikace X-15

Délka	15,47 m
Rozpětí	6,82 m
Výška	4,12 m
Plocha křidel	18,6 m ²
Prázdná/vzletová hmotnost	6 620 kg/ 15 042 kg
Posádka	1

Tab. 5 Výkony stroje X-15

Maximální rychlost	7 274 km/h
Dostup	108 km
Dolet	450 km
Rychlost stoupání	18 000 m/min
Zatížení křídla	829 kg/m ²
Poměr hmotnost k výkonu	2070 N/kg



Obr. 13 Bokorys, nárys a půdorys stroje X-15, [17]



Obr. 14 Stroj X-15 zachycen v průběhu letu, [17]

5.2.2 Projekt Dyna Soar

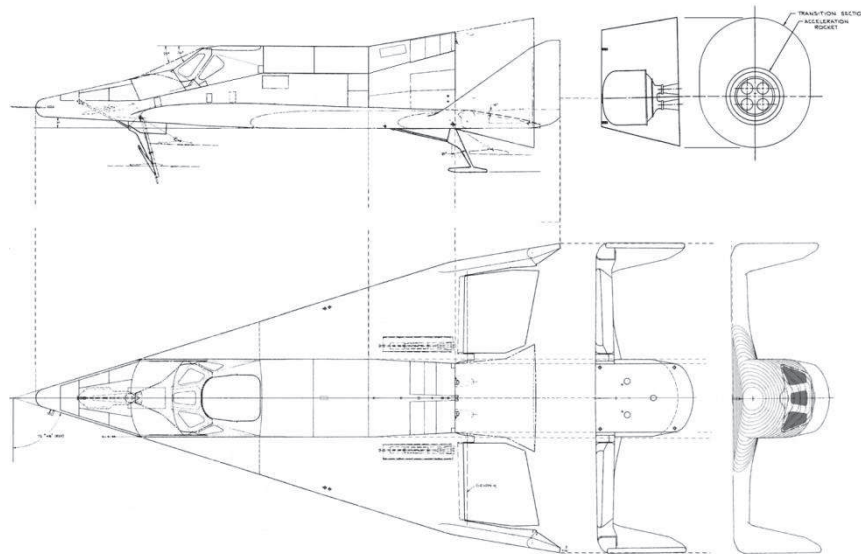
Dyna Soar byl součástí konstrukcí řady X, tentokrát přesné označení projektu znělo jako Boeing X-20 Dyna Soar, přezdíváný Dinosaur. Projekt vznikl v 60. letech na popud armády, která začala mít stejně jako na druhé straně zeměkoule Sovětský svaz, eminentní zájem o stroj schopný plnit vojenské úkoly. Úkol vyvinout tento letoun dostala firma Boeing. X-20 byl koncipován jako vícenásobně použitelný orbitální bombardér, vycházející a čerpající z práce konstruktéra dr. Eugena Sängera, významného německého odborníka na raketovou techniku. Stroj byl vynášený do vesmíru pomocí rakety Titan, na oběžné dráze se pohyboval pomocí menších manévrovacích motorů, avšak výkonější motor, který by například umožnil změnu oběžné dráhy, zabudován do Dinosauru nebyl. Návrat na Zemi měl být realizován stejně jako u dnes již vyřazených raketoplánů, klouzavým letem měl tedy letoun doplachtit na cílové letiště a přistát. Bohužel tento ambiciózní projekt byl v polovině 60. let zastaven.

Konstrukce stroje:

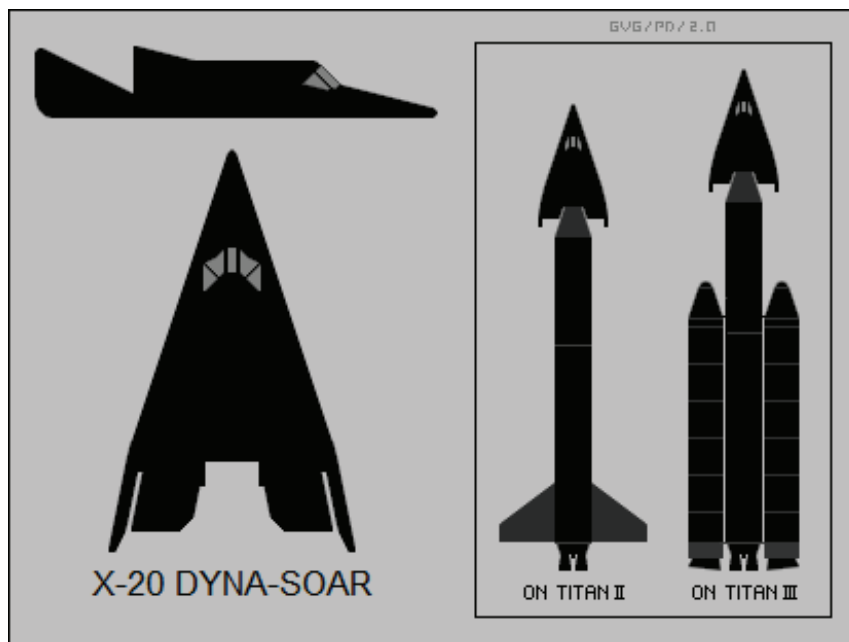
Vnitřní struktura letounu byla příhradového typu, vyrobena z oceli. Tento typ konstrukce byl zvolen především kvůli teplotní roztažnosti materiálu během návratu do atmosféry. Také trup, ocasní plochy a horní strana křídla byly vyrobeny z oceli. Náběžná hrana a spodní část křídla byla potažena molybdenem a nos Dinosauru byl potažen zirkonem. Křídlo bylo tvaru delta s konci zahnutými nahoru do pravého úhlu, tento typ křídla byl zvolen především z důvodů vhodných aerodynamických vlastností v případě nadzvukových letů.

Tab.6 Technická specifikace Dyna Soar

Délka	10,66 m
Rozpětí	6,34 m
Výška	2,59 m
Plocha křídel	32 m ²
Prázdná/Vzletová hmotnost	4715 kg / 5165 kg
Pohon	1 raketový motor (323 kN)
Maximální rychlost	28 165 km/h
Posádka	1



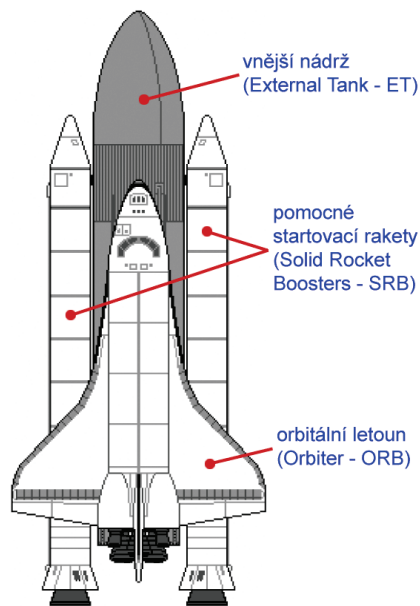
Obr. 15 Tři pohledy na Dyna Soar, [26]



Obr. 16 Dyna Soar a jeho startovní konfigurace na raketě Titan, [26]

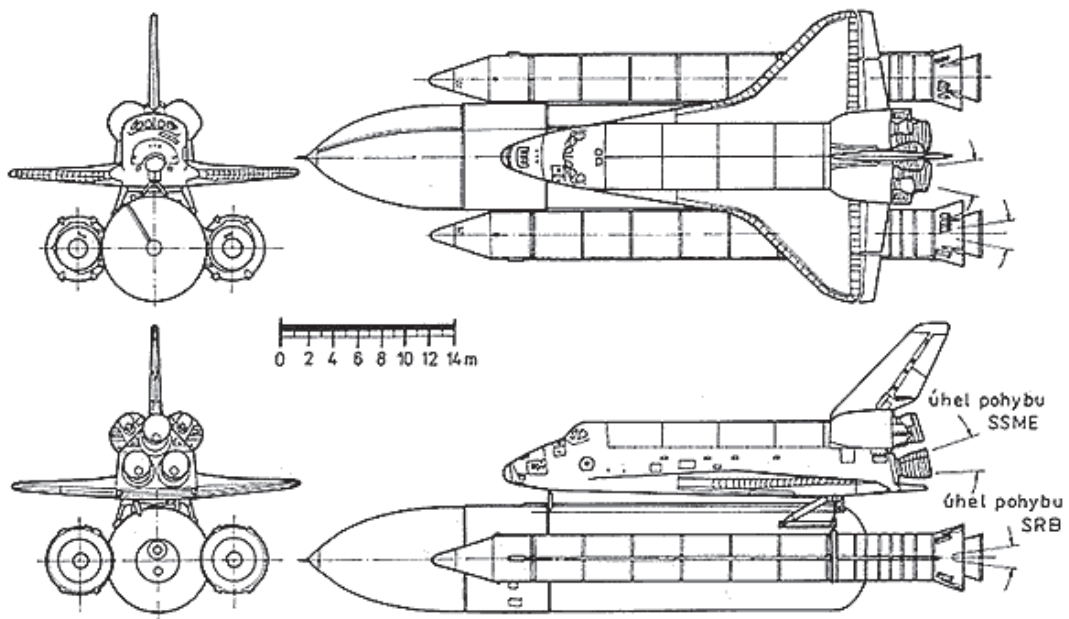
5.2.3 Space Shuttle

Americký raketoplán známý jako Space Shuttle (oficiální celý název zní Space Transportation System - STS) lze rozložit na dvě hlavní části. První částí byl startovací stupeň, složený z vnější palivové nádrže (External tank) a dvou pomocných startovacích motorů na tuhé pohonné látky, tzv. Solid rocket booster. Druhou částí byl Orbiter, orbitální část stroje, je to ta část stroje, která se nakonec podívá do vesmíru, kde stráví několik dní a nakonec přistává na letišti jako obyčejný kluzák.



Obr. 17 Startovní konfigurace amerického raketoplánu Space Shuttle, [16]

Kosmický raketoplán Space Shuttle



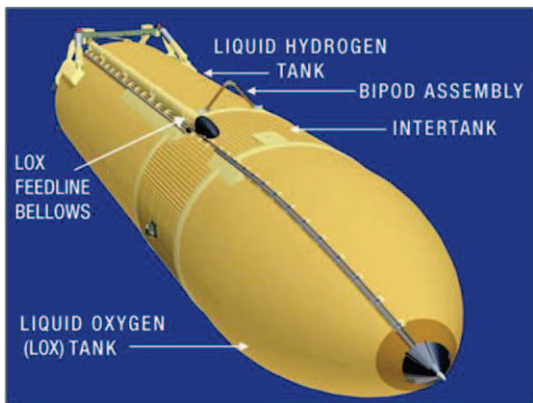
Obr. 18 Vzájemná poloha jednotlivých částí Space Shuttlu a jejich spojení, [6]

Konstrukce stroje:

Raketoplán byl zkonstruován jako dvoustupňový, jak již bylo napsáno výše. V konstrukci stroje se poprvé uplatnily mnohé nové materiály a postupy. Jedním z nejkomplicovanějších problémů byla tepelná ochrana stroje při návratu orbitální části zpět na pevnou zem, kdy je potah stroje velmi namáhán vysokými teplotami. I tento problém se nakonec podařilo vyřešit a vznikl tak stroj, který patřil a myslím, že stále patří k nejkomplicovanějším na planetě. Nyní se však podívejme podrobněji na samotnou konstrukci jednotlivých částí raketoplánu.

- **Hlavní palivová nádrž:**

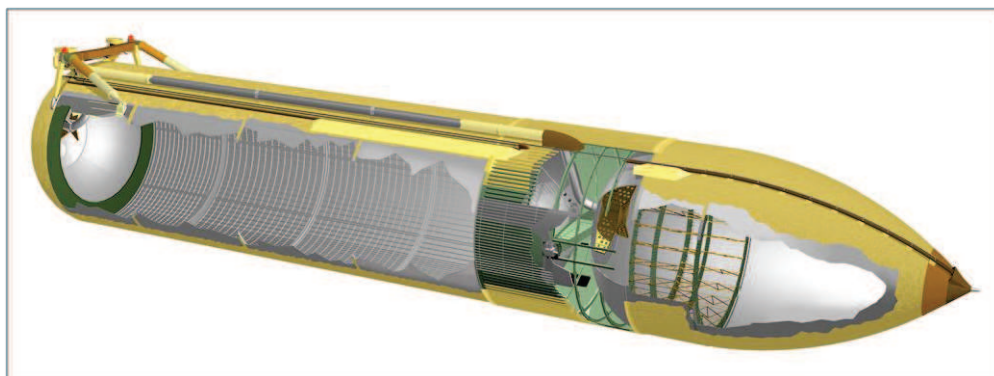
Externí palivová nádrž byla vyvinuta společností Lockheed Martin. Samotná nádrž je rozdělena do tří podnádrží: Ve vrchní části nalezneme místo pro skladování tekutého kyslíku, sloužícího jako okysličovadlo, následuje mezinádrž a poslední částí je objemově největší nádrž na zkapalněný vodík. Za celkovou dobu existence raketoplánu byla vyrobena ve třech verzích, lišících se v použitých materiálech a tím pádem i v hmotnosti. První modifikace nádrže byla použita v průběhu prvních sedmi startů raketoplánu a její hmotnost se pohybovala okolo 35 tun. V druhé verzi byly některé ocelové části nahrazeny titanovými, stěny odlehčeny, čímž vznikla odlehčená verze, označována jako LWT (Light Weight Tank), hmotnost se blížila 31 tunám. Od roku 1998 se k letům k Mezinárodní vesmírné stanici ISS používá poslední verze palivové nádrže, značena písmeny SLWT ve významu Super Light weight Tank, kdy hmotnost se blížila 30ti tunám. Samotná nádrž je vyrobena z hliníkových, lithiových a titanových slitin. Některé díly, především z důvodů pevnostních jsou vyrobeny z oceli. Povrch nádrže je pokryt tepelnou izolací charakteristicky rezavé hnědé barvy z polyuretanu, plněné drceným korkem. Cílem izolace je snížení množství odpařovaných pohonných látek z nádrže, částečně také zabraňuje tvorbě námrazy a chrání pohonné hmoty v nádrži před aerodynamickým ohřevem. Hmotnost celé izolace se pohybuje okolo 2,2 tuny, přičemž během prvních dvou startů byla nádrž ještě natřena bílou barvou, což však přineslo nežádoucí zvýšení hmotnosti o 500 kilogramů. Bohužel kus této izolace, který se uvolnil v průběhu startu mise STS - 107 raketoplánu Columbia poškodil náběžnou hranu levého křídla, což v konečném důsledku vedlo ke zničení stroje a smrti kompletní osádky v průběhu přistávacího manévru. Na povrchu nádrže dále nalezneme trubkovou konstrukci umožňující připojení orbitálního stupně raketoplánu k nádrži, kde je rovněž vyvedeno potrubí přivádějící pohonné hmoty pro raketové motory. Po spotřebování pohonných látek asi 15 sekund po dosažení suborbitální dráhy dojde k oddělení nádrže od orbitálního stupně pomocí výbušných šroubů a stroj pokračuje v letu jen díky svým motorům, externí nádrž pokračuje v suborbitálním letu, po dosažení nejvyššího bodu trajektorie začne sestup prázdné nádrže zpět k povrchu domovské planety, během kterého téměř celá shoří v atmosféře Země, jelikož není chráněna žádným tepelným štítem. Zbytky nádrže dopadnou do Indického nebo Tichého oceánu. Výška nádrže byla 47 m, průměr 8,4 m.



Obr.19 Externí nádrž rozdělení, [27]



Obr.20 Externí nádrž po odhozu, [27]

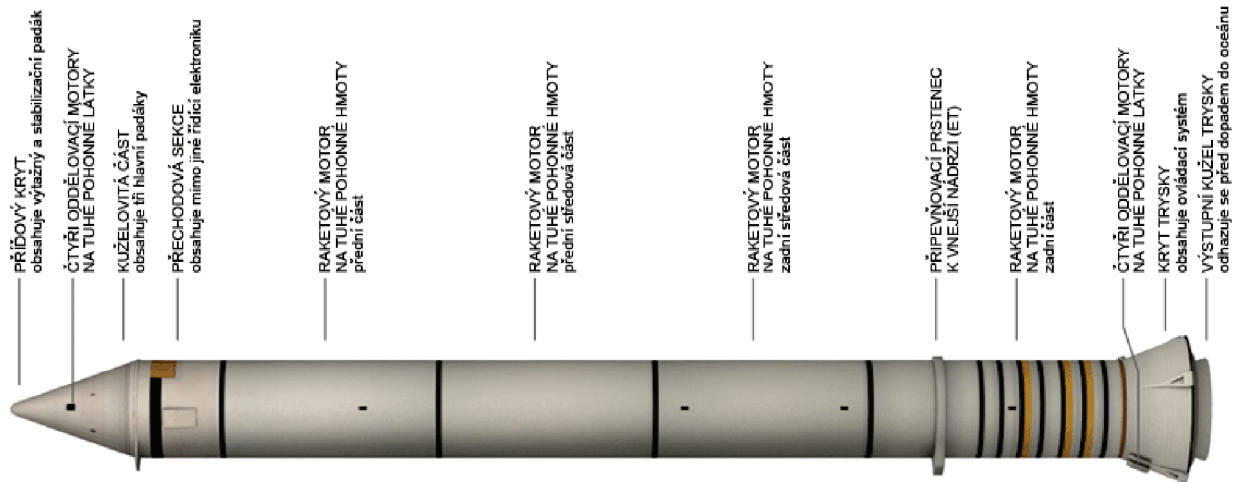


Obr. 21 Řez externí nádrží, [27]

- **Pomocné motory (SRB):**

Pomocné motory raketoplánů patří k největším raketovým motorům na tuhé pohonné látky, které kdy byly vyrobeny a jejich využití v oblasti pilotované kosmonautiky je prvenstvím. Motor se skládal celkem z 8 sekcí, přičemž v místě výroby došlo ke spojení několika segmentů, čímž se počet sektorů, které bylo nutné ještě spojit, snížil na 5, které byly finálně smontovány až na mysu Cape Canaveral. Celková délka jednoho motoru byla 45,5 m, včetně krytu návratového systému. Každý z motorů se chlubil průměrem 3,8 m a maximálním tahem 14 680 kN. Jednotlivé sektory spalovací komory byly vyrobeny z ocelolitiny, která byla následně válcovaná a tepelně upravována. Tryska byla vyrobena smíšeným způsobem pomocí kovu a laminátu vyztuženého skelnými, uhlíkovými a křemennými vlákny. Aby nedocházelo k přehřátí trysky, je její chlazení zajištěno odtavovaným fenoplastu, obsaženého v laminátu. Jedná se o takzvané ablativní ochlazování. Výstupní trysky motorů jsou vektorovatelné v rozsahu 8° ve všech směrech, přičemž pohyb trysek zajišťují dva pneumatické válce. Maximální tah produkují motory v průběhu prvních sekund letu, tah postupně klesá tak, aby v místě největšího aerodynamického odporu a překonávání zvukové bariéry nepřekročilo přetížení hodnotu 3 G. Následně, co motory ukončí činnost, dojde k jejich oddělení a vzdálení se od raketoplánu pomocí malých raketových motorků

o hromadném tahu 712 kN. Těsně před dopadem na vodní hladinu Atlantského oceánu jsou motory zbrzděny třemi padáky o průměru 40 m. Po přistání na hladinu dojde k zaplnění motoru ze dvou třetin vodou, ale i přesto jsou stále schopny plovat na hladině, což umožňuje jejich vylovení záchrannými loděmi a opětovné použití.



Obr. 22 Dělení pomocného motoru na tuhé pohonné látky, [16]



Obr. 23 Oddělení pomocných motorů od orbitální části raketoplánu a externí nádrže, [6]

- **Orbiter:**

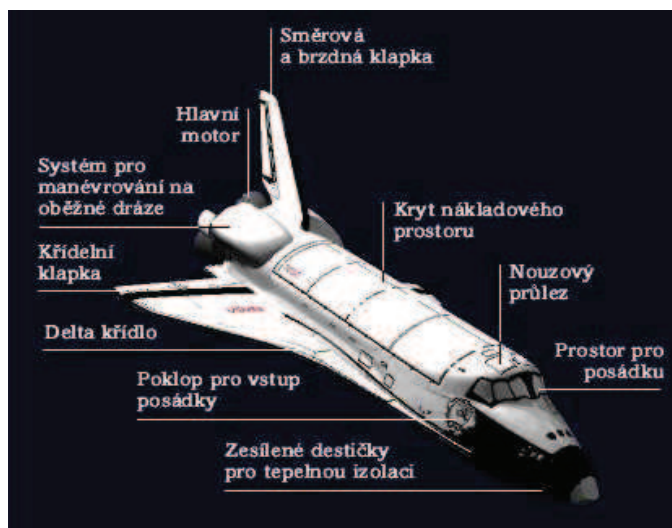
Obytně pracovní a skladovací sekce:

Orbitální neboli družicová část má tvar letadla s nosnou plochou tvaru delta a patří k nejen nejkomplikovanější části celého transportního systému, ale pravděpodobně i k nejsložitějším strojům, které kdy byly zkonstruovány člověkem. Trup, jehož délka přesahuje 37 m je rozčleněn do několika částí. V přední části nalezneme jedinou přetlakovou sekci raketoplánu, ve které je umístěna kabina pro posádku, schopna pojmout 7 astronautů, v případě nouze ještě o 3 osoby více. Celkem má tato kombinovaná pracovní – obytná sekce 3 podlaží, poskytující celkový prostor 71,5 m³. Nejvyšším podlažím je letová paluba, na níž se nachází všechny ovládací systémy raketoplánu, přičemž na letové palubě jsou umístěna

4 křesla ve 2 řadách, první řada patří pilotovi stroje a veliteli mise. Prostřední podlaží je obytné a nalezneme zde většinu elektronického vybavení stroje umístěného za přepážkou v přední části, dále křesla pro specialisty mise, stejně jako průlez do nákladové části spolu s přechodovou sekcí. Na spodní palubě se nachází systémy zabezpečující životní podmínky na palubě, zkratkovitě ECLSS (Environmental Control and Life Support System). Tato paluba však není běžně přístupná, pro přístup je nutné demontovat panely podlahy obytné části. Po obytně – pracovní části následuje nákladová sekce, do které je možné umístit naklad o hmotnosti až 29 500 kg, zatímco délka nákladu je omezena na 18 m a průměrem 5 m. Nákladem je možno manipulovat pomocí tříčlankového ramena RMS o celkové délce 15,25 m. Umístěny jsou zde i 3 palivové baterie o výkonu 7 kW každá, v případě nutnosti může každá dodat až 12 kW, spolu se čtyřmi nádržemi pro kyslík a čtyřmi pro vodík, látky nutné pro jejich funkci. Nákladový prostor je uzavřen dvoukřídlými vraty, na jejichž vnitřní straně jsou umístěny radiátory klimatizačního systému. energii raketoplán získává z baterií PRSD (Environmental Control and Life Support System) pracujících na principu slučování kyslíku s vodíkem, přičemž odpadem je voda. Tento systém dodává elektřinu o napětí 28 V.

Pohonná sekce:

Poslední sekcí je motorová část, kde jsou uloženy tři hlavní motory RocketDyne SSME (Space Shuttle Main Engines), spalující kapalný kyslík a vodík, tedy látky, které jsou skladovány v externí hlavní nádrži. Tyto hlavní motory pracují během jednoho letu nepřetržitě 520 sekund, přičemž celková činnost motorů než je nutné je odeslat ke generální opravě činí minimálně 28 600 sekund, ale přesto jsou po každém přistání motory odmontovány a zkontrolovány. Nominální tah každého motoru je 2,1 MN a ve spalovací komoře dosahuje teplota hodnoty až 3300 stupňů Celsia, avšak díky tzv. regenerativnímu chlazení kdy je část kapalného vodíku vedena stěnami trysky a je tak ochlazována, nepřesahuje stěna trysky teplotu vyšší než 567 stupňů Celsia. V aerodynamických modulech, ukotvených po obou stranách svisle ocasní plochy mimo motorovou sekci, tvaru kapky nalezneme dva velké manévrovací motory sloužící k dokončovacím manévřům na oběžné draze či samotné změně oběžné dráhy stejně tak jako k brzdícím manévřům před vstupem do atmosféry a zahájením sestupu. Tento systém dvou manévrovacích motorů je nazýván OMS (Orbital Maneuvring Subsystem). Poslední motorovou podsekcí jsou malé raketové motorčky, známe jako RCS (Reaction Control Subsystem), neboli trysky systému řízení polohy. Tyto motory nalezneme jednak v obou modulech manévrovacích motorů, tak v přední raketoplánu. Motory slouží především k udržení vhodné orientace stroje na oběžné draze, jejím jemným korekcím a neméně důležitým úkolem je také udržení polohy tělesa během počáteční fáze sestupu atmosférou, kdy řídicí aerodynamické plochy ještě nejsou plně funkční a zabezpečují řízení letu až poté, co rychlost klesne pod Mach 5.



Obr. 24 Orbitální část Space Shuttle, [10]

Navigace a komunikace:

K navigaci slouží především 3 inerciální navigační plošiny IMU (Inertial Measurement Units), pro přibližovací manévry a zjištění vzdálenosti, spolu s určením relativní rychlosti slouží palubní radiolokátor. Během přistání je využívána navigace TACAN (Tactical Air Navigation) spolu s GPS během posledních letů. Ke komunikaci s řídicím střediskem jsou využívány především satelity TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) umístěné na geostacionární dráze.

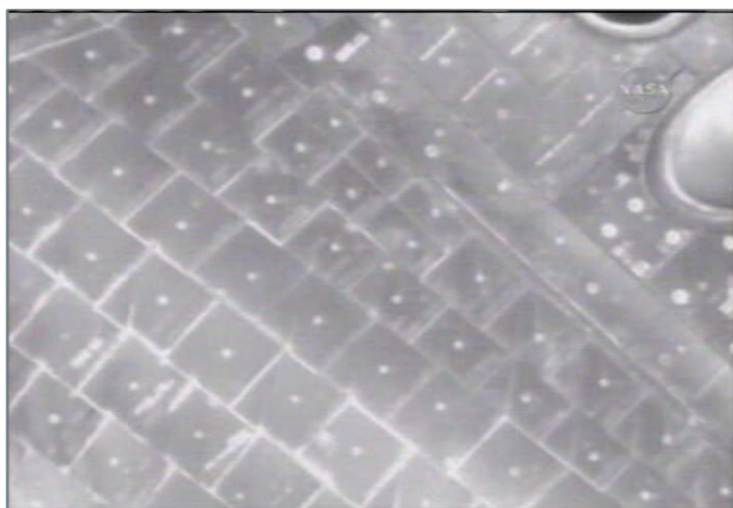
Komunikace probíhá převážně ve dvou pásmech a to K_u (15,25 až 17,25 GHz) a S (1,7 až 2,4 GHz), zatímco pro komunikaci s členy posádky, kteří pracují mimo raketoplán ve volném kosmu či ke komunikaci s Mezinárodní kosmickou stanicí ISS v její blízkosti slouží pásmo UKV (243 až 300 MHz). Tato frekvence je také jako záložní pro komunikaci s pozemním střediskem.

Tepelný štít:

Tepelná izolace raketoplánu je pravděpodobně jednou z nejdůležitějších komponent celého systému, jelikož dokonalá tepelná ochrana stroje je nutnou podmínkou pro jeho vícenásobné použití. Konstrukteři amerického raketoplánu použili materiál, který vyzařuje teplo a jehož údržba měla být po dokončeném letu naprosto minimální. Bohužel, tento záměr se ne zcela povedl. Tepelný štít je tvořen přibližně 31 000 keramických dlaždic, které byly nalepeny napovrch raketoplánu, přičemž ne všechny dlaždice jsou stejného typu. V nejvíce teplotně namáhaných částech jako jsou náběžné hrany křídla a svisle stabilizační plochy a před trupu jsou použity dlaždice označované jako typ uhlík-uhlík což znamená, že uhlíková vlákna jsou uložena v uhlíkové matici. Pro místa, jejichž teplota nepřesáhne v průběhu letu 1300°C jsou určeny dlaždice křemenného typu, křemenná vlákna v křemenné matici, jež jsou barveny černým pigmentem a pro nejméně teplotně exponovaná místa jsou použity dlaždice stejného typu jako v předchozím případě, avšak s bílým pigmentem a tyto dlaždice vydrží do teploty 700°C . Nalezneme je především na hřbetě a krytech motoru raketoplánu. Většina z dlaždic má rozměry 150 x 150 mm či 200 x 200 mm. Jejich tvar je přizpůsoben tvaru trupu

nebo nosných ploch, dle toho kam jsou lepeny. V některých dlaždicích najdeme snímače, udávající telemetrické údaje o stavu raketoplánu a jeho jediné frontové linii v boji s teplem, tepelném štítu.

Původní plán lepení dlaždic na trup stroje počítal s nalepením 650 kusů dlaždic za jediný týden, ovšem jak bylo později zjištěno, tento odhad byl značně optimistický, v průměru bylo nalepeno během týdne jen něco okolo 450 dlaždic. Aby bylo vůbec možné na hliníkový potah raketoplánu nalepit tepelný štít, bylo nutné jej nejdříve potříť epoxidovou směsí, zabraňující oxidaci hliníkové konstrukce. Poté jsou nalepeny vodící pásy z mylaru, přičemž mylar je obchodní název pro PET fólii, které vymezují dané místo pro přilepení nylonového izolačního hranolu v mezeře mezi dlaždicemi. Nezávisle na tomto postupu se lepí dlaždice k nylonové podložce NOMEX, nejprve se spodní část dlaždice natře silikonovým elastomerem, který polymerizuje za pokojové teploty a poté se přiloží podložka a vše se zatíží. Po několika hodinách polymerizace se takto upravena dlaždice lepí na povrch raketoplánu. Bohužel použité lepidlo nepatří v disciplíně zasychání k nejrychlejším, lepidlo schne celé 4 dny, během kterých je nutné dlaždici na místě přidržovat pomocí mechanického nebo vakuového zařízení. Kvalitu každého spoje prověřovala zatěžkávací zkouška, při níž vakuové zařízení namáhalo spoj přesně daným tahem, o průběhu a výsledku byl vytvořen záznam a pečlivě uložen. Tepelná a dynamická odolnost dlaždic byla testována i pomocí letounu F-16, během kterého byly podrobeny simulovanému aerodynamickému zatížení během startu raketoplánu. Testy odhalily některé potíže, největší komplikací bylo zjištění, že tepelná kompatibilita mezi dlaždicí a nylonovou vložkou není na tak vysoké úrovni, což mohlo v konečném důsledku vést až ke vzniku trhlin. Druhým problémem bylo zjištění většího namáhání některých dlaždic než na, které byly nalepeny, což mohlo způsobit opadání dlaždic a výsledkem testu bylo tedy nutnost jejich přelepení. Neustálou komplikací byla také křehkost dlaždic. V okamžiku startu raketoplánu hrozí poškození tepelného štítu padajícími kusy ledu z externí nádrže, který se vytvoří kondenzací vodní páry. Nebezpečí tohoto poškození bylo sníženo instalací prstencového krytu s odsavačem, který snižoval množství ledu na nádrži. V první fázi návrhu také hrozilo poškození od výbušných šroubů, kotvící dočasně orbitální část raketoplánu k externí nádrži, v průběhu jejich výbuchu a oddělování nádrže od stroje. Pomocí několika konstrukčních úprav však bylo toto riziko téměř eliminováno. O problémech a různých nebezpečích, které hrozily tepelnému štítu, si byli vědomi i samotní konstruktéři, kteří navrhli teleskopické rameno s kamerou, které mělo pomoci zkontrolovat technický stav štítu a v případě zjištění poškození mělo dojít k jeho opravě pomocí ablativního materiálu. Bohužel, protože dlaždice byly pečlivě přezkoušeny a někde i přelepeny na základě testu, byla inspekce štítu zrušena, stejně jako teleskopické rameno. Jak všichni víme, posádka raketoplánu Columbia rozhodnutí o nepotřebné inspekci dlaždic stálo život.



Obr. 25 Detail tepelného štítu Space shuttle, [27]

5.3 Japonsko

5.3.1 Projekt HOPE

Projekt raketoplánu země vycházejícího slunce, HOPE, měl původně sloužit k obsluze dříve plánované orbitální stanici. Vynášený měl být japonskou raketou H-II. Projekt velmi nápadně připomíná projekt evropského malého raketoplánu Hermes. První podrobné informace o projektu se začaly objevovat v roce 1987 a dle informací japonská kosmická agentura NASDA zkoumala 5 variant kosmického dopravního prostředku včetně bezpilotního raketoplánu schopného vynést okolo 3 tun nákladu. Projekt HOPE byl rozdělen do několika kroků, přesněji řečeno do 3 etap. První fází byla fáze OREX, druhou těleso Alflex, třetí a zároveň poslední fází je fáze tělesa HYFLEX. Tyto plány byly posvěceny v roce 1987, ale jak už to tak bývá, Japonsko poučeno vývojem evropského konkurenta Hermes, došlo k pozměnění projektu a vývoje jen malé automatické lodě pro dopravu několika tun nákladu k Mezinárodní kosmické stanici či pro samostatné pokusy Japonska. Bohužel, nakonec došlo i v Japonsku k zastavení projektu a jeho nahrazení jinou kosmickou lodí vícenásobného použití, o které není nic známo.

Orex:

Těleso Orex bylo jak již bylo řečeno první etapou vývoje vícenásobně použitelného prostředku Japonska. Tvar lodi odpovídá klasické koncepci návratové kapsle, tupému kuželu, opatřené experimentálním tepelným štítem, skládajícího se z materiálu typu uhlík – uhlík a keramických dlaždic. Použití tohoto tepelného štítu bylo plánováno i na raketoplánu HOPE. Těleso bylo vyneseno raketou domácí japonské výroby H-II v únoru 1994. Ukončení mise a plánované místo dopadu po sestupu atmosférou bylo určeno v Tichém oceánu, odkud jej měly vylovit armádní plavidla. Cílem mise bylo tedy získání klíčových dat týkajících se

aerodynamiky a aerodynamického ohřevu spolu s daty o komunikaci a navigaci GPS pomocí senzorů umístěných na tělese.

Tab. 7 Údaje OREX

Čelní poloměr	1,35 m
Průměr	3,4 m
Výška	1,46 m
Váha start/návrat	865 kg/761 kg



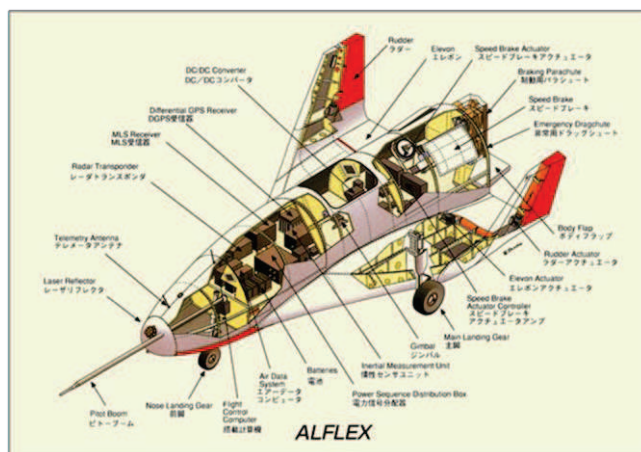
Obr. 26 Kresba vstupu tělesa OREX do atmosféry, [21]

Alflex:

Alflex byl druhou fází projektu HOPE. Základním cílem projektu Automatic Landing Flight Experiment byl test technologií umožňující automatické přistání tělesa tvaru raketoplánu. Těleso bylo upevněno na helikoptéru, vyneseno do stanovené výšky, vypuštěno a poté došlo k automatickému přistání pomocí předem naprogramovaného softwaru.

Tab. 8 Charakteristické rozměry tělesa ALFLEX

Délka	6,1 m (Bez Pitotovy trubice)
Šířka	3,78 m
Výška	1,35 m (Bez podvozku)
Hmotnost	760 kg



Obr. 27 Konstrukce tělesa ALFLEX, [20]

Hyflex:

Vývoj raketoplánu pokračoval třetí etapou, nazvanou Hyflex. Projekt probíhal souběžně s druhou etapou a výsledkem měly být dostatečné poznatky o designu, výrobě a letových charakteristikách hypersonického vztlakového tělesa. Povrch raketoplánu byl vyroben z keramických dlaždic typu uhlík/uhlík, určených i pro raketoplán HOPE. Navigaci stroje zabezpečoval systém IMU, výška byla stanovována pomocí spolupráce systému RCS a elevonu. Po celém stroji byla rozmístěna tlaková a teplotní čidla. Na oběžnou dráhu Země byl dopraven s pomocí nosiče J-1 v únoru 1996. Let trval pouhých 15 minut, přesto se povrch raketoplánu dokázal zahřát na více jako 1600°C. Místem přistání byla hladina oceánu, kde také skutečně stroj přistál. Bohužel z neznámých příčin došlo k odtržení Hyflexu od plovákového systému a bez této podpory klesnul ke dnu oceánu. I přes neúspěch konečné fáze letu, byl let jako celek hodnocen úspěšně. Byla získána data z 12 experimentů z celkových 14. Poslední dva nebyly uskutečněny jen z důvodu ztráty stroje, protože součástí experimentu byla i kontrola tepelného štítu.

Tab. 9 Charakteristické údaje HYFLEX

Hmotnost	1 054 kg
Plocha	4,27 m ²
Délka	4,4 m
Šířka	1,36 m
Výška	1,04 m
Poloměr předního zaoblení	0,4 m



Obr. 28 Kresba tělesa HYFLEX během vstupu do atmosféry, [22]

5.4 Evropa

5.4.1 Hermes

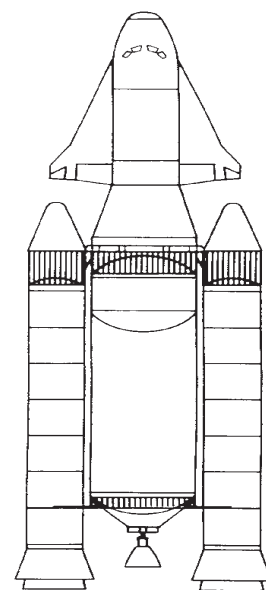
Projekt Hermes započal v 70. letech původně jako nápad Francie a její francouzské kosmické organizace CNES, Francii se ho však podařilo prosadit do plánů Evropské kosmické agentury ESA, díky čemuž se projekt stal celoevropským. Měl za cíl vytvořit raketoplán vynášený raketou Ariane 5, který by zásoboval evropskou kosmickou stanicí Columbus. Ta se však nakonec stala součástí Mezinárodní vesmírné stanice ISS, čímž odpadla nutnost vlastního raketoplánu. K prvnímu pozastavení projektu došlo již v roce 1989 a v roce 1997 byl projekt definitivně zrušen.

Konstrukce stroje:

V první řadě si nelze ne všimnout významné podobnosti stroje Hermes se strojem X-20 Dyna Soar. Nelze přesně říci, nakolik se konstruktéři inspirovali v zámoří, ale nelze zakrýt fakt, že stavbu evropského raketoplánu významně ovlivnilo dění v USA, havárie raketoplánu Challenger. Původní plány ESA byly celkem optimistické, první návrh počítal s posádkou až šesti astronautů a nákladem až 4550 kg. Po havárii Challengeru došlo ke snížení posádky na tři kosmonauty, Hermes neměl mít otevřený nákladový prostor a katapultovací sedadla byla vyměněna za kabinu, která se v případě nouze katapultovala vcelku od raketoplánu. A v důsledku finančních problémů a také narůstající hmotnosti, která již přesahovala možnosti nosné rakety, došlo k dalšímu snížení posádky na dva kosmonauty a pouhých pár set kilogramů nákladu. Celý náklad měl být umístěn uvnitř raketoplánu, protože otevírací nákladový prostor byl zrušen. K vesmírné stanici se měl Hermes připojit poněkud netradičně zadní částí, kde byl umístěn stykový uzol, jak lze vidět na obrázku. Délka raketoplánu se rovnala devatenácti metrům a hmotnost byla dvacet tři tisíc kilogramů. Maximální délka mise stroje byla stanovena na dobu devadesáti dní.



Obr.29 Startovní konfigurace Hermes, [24]



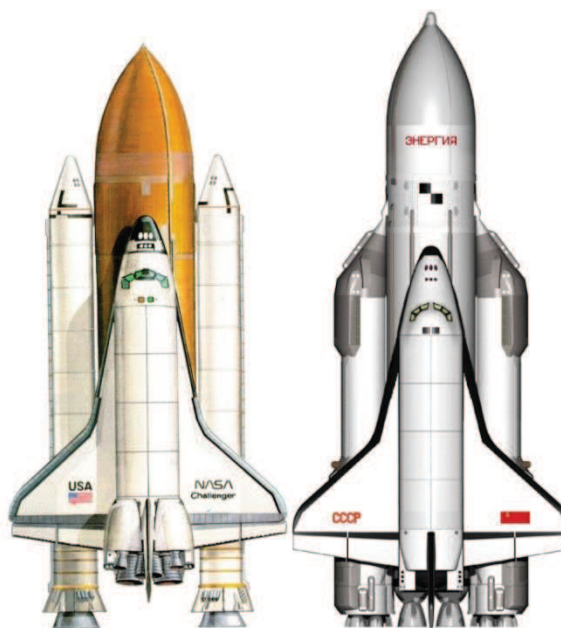
Obr.30 Hermes, [23]

6. Srovnání raketoplánů USA a SSSR

V této části se pokusím srovnat raketoplány dvou největších kosmických mocností historie i současnosti. První věc, která mnohé napadne, je jistě téměř stoprocentní shoda ve vzhledu obou raketoplánů. Výsledný vzhled však není dílem opisování jedné strany od druhé, ale neúprosnými zákony fyziky, které nemohly být obcházeny ani jedním z politických uspořádání na obou stranách, byť jinak režimů tak rozdílných. Významným rozdílem je však pohon raketoplánu. Zatímco americký Space Shuttle měl vlastní pohonnou soustavu, Buran vlastní motor neměl, což má za následek poněkud nižší pohyblivost na oběžné dráze a je tedy již od prvního okamžiku startu zcela odkázán na svoji nosnou raketu. Výhoda chybějících raketových motorů je naopak v tom, že Buran lze vynést jakoukoliv raketou s odpovídající nosností a jelikož velikost Buranu i Space Shuttlu je přibližně stejná, pravděpodobné je, že Buran měl o přibližně 5 tun vyšší nosnost. Další výhodou sovětského raketoplánu spočívala ve vyšší bezpečnosti posádky, protože v průběhu letu posádka měla sedět na katapultovacích sedadlech K-36RB (K-36M-11F35), testovanými až do výšky čtyřiceti kilometrů a rychlosti Mach 3,5. Dle sovětské, posléze ruské strany měl Buran i lepší aerodynamické vlastnosti a také určité výhody v oblasti výroby a umístění dlaždic tepelné ochrany.

Tab. 10 Srovnání technických údajů Space Shuttlu a Buranu

	Space Shuttle	Eněrgija – Buran
Celková hmotnost	123 000 kg	105 000 kg
Délka	37,25 m	36,37 m
Rozpětí	23,8 m	23,92 m
Výška	17,25 m	16,35 m
Délka nákladového prostoru	18,29 m	18,55 m
Průměr nákladového prostoru	4,57 m	4,65 m
Maximální nosnost	25 000 kg	30 000 kg



Obr. 31 Space Shuttle (vlevo) kontra Buran, [2]

7. Havárie sériově vyráběných raketoplánů

Do sériové výroby se dostaly raketoplány jen v USA, celkem bylo vyrobeno 6 kusů, stroj Enterprise byl postaven pro pozemní zkoušky. Poté přišla sériová výroba, nejdříve vyrobeným raketoplánem byl raketoplán Columbia, následován Challengerem a Discovery. Po zničení Challengeru se uvažovalo o úpravě Enterprise na sériový stroj, avšak nakonec se od této přestavby upustilo a byl postaven poslední nejmladší raketoplán Endeavour.

7.1 Havárie raketoplánu Challenger

Challenger, druhý nejstarší raketoplán USA, odstartoval ke své jubilejní desáté výpravě 28. ledna 1986. V tomto roce se již jednalo o druhý start. V průběhu předchozích misí uskutečnil 987 oběhů okolo Země a na oběžné dráze strávil 69 dní. Expedice, označena jako STS-51L byla složena ze sedmi astronautů, velitelem mise byl 46 ti letý Francis R. Scobee (druhý start do vesmíru), pilotáží stroje byl pověřen Michael J. Smith, letovými specialisty byli: Judith A. Resnikova, Ellison S. Onizuka, Ronald E. McNair (pro všechny druhý let do vesmíru). Na palubě se nacházeli i dva neprofesionálové, byla to středoškolská učitelka Sharon Ch. Mc Auliff, která se na palubu stroje dostala v rámci programu Učitel ve vesmíru, vyhlášeném prezidentem Ronaldem Reaganem a inženýr firmy Hughes Aircraft Gregory B. Jarvis. Start raketoplánu byl z různých důvodů několikrát odložen, takže odstartoval s několikadenním zpožděním již zmíněného 28. ledna i přes protesty expertů firmy Thiokol, z jejíž továrny pocházely pomocné motory na tuhé pohonné hmoty SRB, a kteří měli oprávněné obavy o stav motorů, přesněji stav pryžového těsnění mezi jednotlivými segmenty SRB po nočních silných mrazech.

Start proběhl bez viditelných problémů a Challenger bezpečně opustil startovací rampu. Avšak ve výšce 14 kilometrů, při rychlosti okolo dvou tisíc kilometrů za hodinu a sedmdesáté sekundě letu došlo ke katastrofě. Stroj se i s posádkou proměnil v ohnivou kouli, ze které se po chvíli vynořily dále nestabilně letící pomocné motory na tuhé palivo a také trosky raketoplánu. Byly okamžitě vyslány záchranné týmy, naneštěstí již nebylo koho zachraňovat. I přes počáteční šok bylo okamžitě zahájeno vyšetřování největší katastrofy v dějinách americké kosmonautiky. Jak vyšetřování nakonec ukázalo, během letu došlo k přepálení spodního ukotvení pravého pomocného motoru na tuhé palivo, takzvané SRB, který se uvolnil a v dalším okamžiku prorazil hlavní nádrž na tekutý vodík a kyslík, což mělo za následek uvolnění těchto plynů do okolí a následný výbuch. Již v průběhu startu byl zachycen malý černý obláček kouře ve spodní oblasti motoru na tuhé palivo, kde byl motor kotven k hlavní nádrži. Kouř byl způsoben, jak zjistila vyšetřovací komise, prohořením pryžových těsnících kroužků, oddělujících jednotlivé sekce motoru. Právě tento plamen nakonec přepálil spodní závěs motoru, následně došlo k jeho vychýlení a proražení hlavní nádrže. K této katastrofální události došlo přesně v 72,141 sekundě letu. K překvapení všech, kabina s astronauty nebyla při výbuchu zcela zničena a část astronautů přežila, což bylo

dokázáno aktivací nouzového zásobování kyslíkem pro posádku. Někteří astronauti tedy zahynuli v důsledku nárazu kabiny na vodní hladinu Atlantského oceánu. Tuto skutečnost má potvrdovat i nahrávka z vlastního magnetofonu astronautky Sharon Ch. McAuliff, který měl vlastní baterie, takže byl schopen nahrávat i po výpadku všech systému raketoplánu. Nahrávka zároveň vykresluje situaci na palubě po výbuchu. Ovšem o pravdivosti nahrávky se neustále vedou spory, jelikož NASA se k nahrávce nevyjádřila. Po této havárii došlo k okamžitému zastavení letů na více než dva a půl roku. Na samotných raketoplánech bylo provedeno více než čtyři sta konstrukčních změn, na startovací rampě okolo sta a u pomocného motoru došlo k 155 změnám.

Technický popis pomocného motoru a průběh samotné havárie:

Jak již bylo řečeno výše, hlavním viníkem havárie byl pomocný raketový motor na tuhé pohonné hmoty – známý pod zkratkou SRB (Solid Rocket Boosters). Jeden motor se skládá z celkem 8 segmentů, které jsou spolu během finální montáže spojeny a jednotlivé úseky utěsněny pryžovými kroužky. Celková výška pomocného motoru je 45,46 metru při průměru 3,71 metru. Každý motor váží v okamžiku startu okolo 590 tun, přičemž více než 85 % připadá na pohonné látky, skládající se z chloristanu amonného, sloužícího jako okysličovadlo a paliva - polybutadienu akrylové kyseliny, hliníku, iontového katalyzátoru, polymerizačního pojiva a epoxidového tvrdidla. Jediný motor vyvine celkový tah okolo 11 000 kN. Výstupní trysky motoru mohou být vektorovány, přičemž celková doba práce motoru nepřesáhne dobu 2 minut. Po vyhoření, zhruba ve výšce 44 km jsou pomocí 16 motorů odděleny od raketoplánu a setrvačností vystoupají přibližně do výšky až 65 km, odkud začne jejich volný pád, končící na hladině Atlantského oceánu. Před dopadem na hladinu je však jejich dopad zbrzděn za pomoci 3 padáků. Následuje vytažení motoru, jejich rozebrání, odeslání k výrobci, recyklace a opětovné použití během startu dalšího raketoplánu. Motory jsou projektovány přibližně k 10 ti násobnému použití.

Jednotlivá těsnění mezi segmenty musí zajistit těsnost v celém průběhu letu proti pronikání horkých spalin od motoru. Na pomocném motoru nalezneme dva typy spojů: stálé, které jsou kompletovány již ve výrobním závodě a provozní, kompletované až na kosmodromu před startem stroje. Spoj je pro vyšší bezpečnost těsněn nadvakrát. Vnitřní tepelná izolace je ukryta pod vrstvou speciálního tmelu a plášť má i zvláštní druh spoje. Dolní část spoje má v řezu tvar písmene U, zatímco horní část má tvar I. Na vnitřní straně spoje najdeme dvojici těsnících kroužků tvaru o průměru 3,66 m a tloušťce stěny kroužku 6,4 mm. Během návrhu těsnění bylo předpokládáno, že spoj bude namáhán tlakem plynu, bohužel, bylo tomu přesně naopak. Těsnění bylo namáháno tahem, přičemž navíc nebylo schopné dostatečně rychle reagovat na měnící se teplotu. Následně kroužky nebyly schopny vyrovnat rozpínání obalu a nedokázaly udržet tlak plynu, které pronikly tmelem. Postupně došlo k prohoření těsnění a vnějšího krytu motoru. Posléze se na chvíli vlivem proudu vzduchu štěrbina utěsnila, avšak ne nadlouho. Poté co se opět plamen objevil, přepálil spodní ukotvení motoru k hlavní palivové nádrži, došlo k vychýlení pomocného motoru a nárazu jeho špičky do hlavní palivové nádrže, jejímu proražení a výbuchu. Raketoplán byl zničen.



Obr. 32 Challenger – start a zaznamenaný kouř u pravého pomocného motoru,[25]



Obr. 33 Challenger – výbuch, [15]

7.2 Havárie Columbia

Celkově 113. mise raketoplánu Columbia, označena jako STS-107, začala dne 16. ledna 2003 po několika odkladech. Pro sedmičlennou posádku se mělo jednat o 14 denní misi, zakončenou přistáním na mysu Caneveral 1.unora 2003. Bohužel, k přistání nedošlo. V důsledku poškození tepelné ochrany raketoplánu, v průběhu startu, došlo ke zřícení stroje a smrti sedmičlenné osádky. Již od počátku misi doprovázely mimořádná bezpečnostní opatření z důvodu přítomnosti izraelského astronauta Ilana Ramona na palubě. Dalšími členy posádky byl velitel letu Rick Husband, pilotem William McCool a letovými specialisty Michaelem Andersonem, Davidem Brownem, Kalpan Chawlaovou, Laurel Clarkovou a již zmíněným Illanem Ramonem. Programem mise měla být vědecká činnost z oboru biologie, fyziky, geofyziky a pokročilé techniky na samotné palubě raketoplánu i ve speciálním modulu Spacehab, uloženým v nákladovém prostoru raketoplánu.

Průběh havárie:

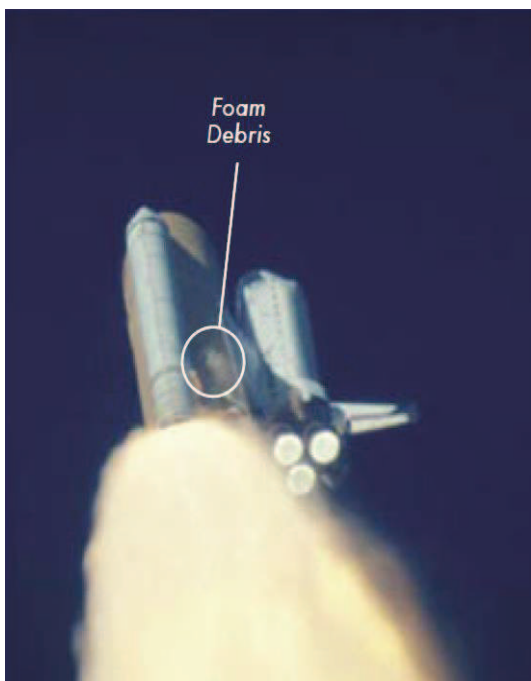
Přípravy k přistání stroje započaly již brzy ráno 1. února. Čas přistání byl stanoven na 15:16 SEC času na mys Caneveral, v případě nevhodného počasí na jednom ze záložních letišť. V čase 14:03 SEC byl zahájen samotný přistávací manévr. Poté co raketoplán vstoupil do atmosféry, se v důsledku tření o atmosféru začal povrch stroje zahřívat na teplotu několika set stupňů Celsia, přičemž teplota dále stoupala a stroj začal byt obkloповán horkou plazmou. Proti tomuto vlivu teploty je raketoplán chráněn vrstvou keramických dlaždic. Jako oficiální

čas vstupu Columbie do atmosféry Země je stanoven čas 14:44 SEC. V čase 14:49 byla zahájena pravotočivá zatáčka, jejímž cílem bylo snížení vysoké rychlosti Columbie. V tomto okamžiku zaregistrovalo několik teplotních čidel umístěných v hydraulickém systému brzd levého podvozku mírně zvýšenou teplotu, přičemž v následujících okamžicích došlo ke ztrátě všech dat z daných čidel. Teplota na dalších čidlech v důsledku pronikání plazmy hlouběji do křídla dále rostla a docházelo postupně ke ztrátám dat z jednotlivých čidel, jak byla ničena působícím žářem. Bohužel, o proniknutí žhavé plazmy do křídla nemělo pozemní řídicí středisko ani posádka na palubě tušení. Ztráta dat vyvolala v řídicím centru znepokojení, jelikož mohla signalizovat závažné poškození stroje, ale mohlo se také jednat o chybu spojení. Při pokusu o ověření stavu přímo z paluby Columbie však došlo ke katastrofě. Velitel letu se odmlčel na začátku věty a dále se již nebylo možné s posádkou spojit. Několik sekund poté radary hlásí rozpad stroje ve výšce asi 63 kilometrů nad zemským povrchem. Bohužel, v dané výšce a rychlosti, která dosahovala téměř 20000 km/h posádka neměla šanci na přežití.

Dochází k uzamčení řídicího centra jako po každé havárii a nikdo nesmí opustit místnost. Téměř vzápětí se rozjíždí vyšetřování této tragédie. V prvních chvílích pátrá po troskách raketoplánu tisíce vojáků, hasičů a policistů. Ke zmapování polohy trosk jsou využity v prvních okamžicích i stíhací stroje F 15 Eagle Národní gardy, které byly na běžném letu, poté je využito i snímků z družice.

Závěrem vyšetřování bylo nakonec stanoveno, že příčinou havárie byl poškozený tepelný štít stroje kusem promrzlé tepelné izolační pěny z vnější nádrže. Tento kus pěny se v průběhu startu uvolnil (81. sekunda letu) a dopadl na náběžnou hranu levého křídla, které je chráněno vysoce teplotně odolnými keramickými dlaždicemi, naneštěstí, které jsou také velmi křehké. Došlo k poškození pláště, pravděpodobně i proražení tepelné izolační vrstvy, která měla ochránit raketoplán při sestupu atmosférou. V průběhu přistávacího manévru, kdy začalo docházet k růstu teploty a zahřívání povrchu stroje a vzniku plazmatu, poškozené dlaždice nedokázaly zabránit vniknutí plazmy do vnitřní konstrukce křídla, kde docházelo k narušování a tavení celé nosné stavby křídla a již zmíněnému vyřazování všech systémů v křídle obsažených. Následně se křídlo odlomilo a Columbia se stala neovladatelnou. Aerodynamické síly dokonaly dílo zkázy, které započala teplota, a stroj de facto roztrhaly. Části Columbie dopadly na území tří států USA. Vyšetřování dále zjistilo, že podobné úlomky odpadaly a narážely do orbitální části stroje téměř při každém startu a stroj byl i na podobné nárazy testován, i když úlomky v případě těchto testů byly mnohem menší. Aby se v budoucnu zabránilo podobné havárii, došlo k zavedení mnoha bezpečnostních opatření. Mezi nejznámější patří kontrola videozáznamu startu spolu s prohlídkou tepelného pláště na oběžné dráze pomocí teleskopického ramena, případně s pomocí Mezinárodní kosmické stanice ISS. Dále byla na palubách dalších raketoplánů umístěna sada pro nouzové opravy tepelného pláště, přičemž byla několikrát využita a na startovací rampě byl připraven druhý, záchranný raketoplán. Dnes již pouhou spekulací je odpověď na otázku, zda by posádka a raketoplán přežili, pokud by jeho nosná konstrukce nebyla vyrobena z hliníkových slitin, ale z materiálu, který má vyšší tepelnou odolnost tak jak bylo původně v plánu. Slitiny hliníku byly původně jen nouzovým řešením, avšak poté co lidé stojící za přísunem financí pro

projekt raketoplánu viděli, že létá i se slitinami hliníku, odmítali tyto slitiny nahradit odolnějšími ale dražšími.



Obr. 34 Padající kusy promrzlé izolace (Columbie), [5]



Obr. 35 Rozpad a trosky Columbie během průletu atmosférou, [7]

8. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo seznámit se s mezníky a důležitými konstrukcemi technicko-historického vývoje kosmických prostředků, sloužících k dopravě osob a materiálu na oběžnou dráhu, jejichž let je založen na vztlakové síle, mluvíme tedy o vztlakových tělesech, raketoplánech. Jak z práce vyplývá, vývoj to byl komplikovaný a finančně nákladný. Historie vzniku prvních raketoplánů sahá do třicátých a čtyřicátých let dvacátého století, přičemž nejbouřlivější rozvoj byl zaznamenán v období tzv. studené války, kdy docházelo k militarizaci kosmu a schopnost vyslat stroj schopný špionáže či útoku na nepřátelskou družici nebo území by bylo nejen důkazem technicky vyspělé společnosti, ale také strategickou výhodou. Jistě nikomu neunikl fakt, že největšími soupeři byl na poli kosmu opět Sovětský svaz a USA. Na jejich kontech tedy nalezneme také nejvíce, ať již sériových nebo jen experimentálních raketoplánů. Avšak nejen tyto dvě země se snažily o stroj, který odstartuje, dostane se na oběžnou dráhu a po vykonání mise se vrátí zpět a je znovu použitelný. Stejný cíl měla i Evropská kosmická agentura nebo Japonsko. Ani jednomu z nich se dané projekty nepodařily dokončit. Nebyly to jen důvody konstrukční a technologické ale také ekonomické, nejenže stavba takového stroje je vysoce nákladná, ale i provoz spolu s údržbou těchto konstrukčně složitých strojů stojí velmi vysoké částky. Zářným příkladem ekonomické nerentability a nesplnění, dokonce ani přiblížení se, vytčeným cílům, jako je počet letů a náklady na jeden let, je americký raketoplán Space Shuttle, který se jako jediný dočkal operačního nasazení. Původně předpokládaný počet startů za rok se odhadoval okolo sta. Raketoplány, se tomuto číslu ani zdaleka nepřiblížily a náklady na jeden start nízké také nebyly, posuďte sami, jeden start vycházel na částku 500 až 700 milionů dolarů.

V současnosti jsou již i americké raketoplány vyřazeny, z důvodů ekonomických i technických, přeci jen bezpečnost v posledních letech po tragické havárii Columbie nebyla na nejvyšší úrovni i přes snahu konstruktérů o minimalizaci rizika. A ani blízká budoucnost nenabízí pro raketoplány příznivý vývoj. Svět se v oblasti dopravy vrací ke klasickým raketám, jejichž některé části budou opakovatelně použitelné jako například program Constellation a jeho loď Orion, přičemž již i do sféry kosmické dopravy, dříve výhradně zajištěné státy, pronikají první soukromé firmy a nabízejí své lodě a znalosti za mnohem nižší ceny, než za jaké jsou tyto funkce schopné vykonávat státem řízené organizace. Co se týče vojenského využití, jistě bude mít raketoplán mnoho zastánců, což by mohlo vést ke stavbě menších strojů jako je současný X-37, patřící americkému letectvu. Myslím si, že takzvaně všeříkající je citát od pana Antonína Vítka, původně vztážený na raketoplány USA, ale určitě jej lze přiřadit ke všem ostatním projektům: „Raketoplány byl technický zázrak, ale ekonomický propadák a ani taková země (USA pozn. autora) si to nemůže dovolit, natož v dnešní doznívající krizi.“

Literatura:

- [1] Energia Approves Kliper Plans For 2007. *Space Daily* [online]. 21.12.2006 [cit. 2013-03-25].
Dostupné z: http://www.spacedaily.com/reports/Energia_Approves_Kliper_Plans_For_2007_999.html
- [2] The orbiters and the launch vehicle. *Buran* [online]. © 2008-2012 [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://www.buran.su/buranvssts-comparison.php>
- [3] Buran. *Buran* [online]. [2010] [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://buran.webz.cz/buran.htm>
- [4] Russian - MAKS-OS space shuttle. *Lux* [online]. © 2005 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: http://boris-lux.de/04_types/62_sc/sp_ru/53_mak/maos.php
- [5] Havárie raketoplánu Columbia. *Blog o kosmonautice a astronomii* [online]. 21.7.2009 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://space-kosmo.blog.cz/>
- [6] Pomocné startovací rakety raketoplánu (SRB). *Česká astronomická společnost* [online]. 15.9.2011 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/4837>
- [7] Černý týden americké kosmonautiky. *Česká astronomická společnost* [online]. 26.1.2009 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/tisk/3582>
- [8] *Aeroweb: Na křídlech do kosmu* [online]. 2011 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: <http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=3001&kategorie=3>
- [9] Současnost vesmírného výzkumu. *Věda pro všechny* [online]. 4.6.2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://vedaprovsechny.blog.cz/1006/soucasnost-vesmirneho-vyzkumu>
- [10] Americký raketoplán - popis. *Vesmir.info* [online]. 6.5.2004 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: <http://www.vesmir.info/raketoplany/americky-raketoplan-popis.htm>
- [11] Encyclopedia Astronautica: Buran. *Encyclopedia Astronautica* [online]. [2011] [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/project/buran.htm>
- [12] Hlavní články: Sbohem, raketoplány? Ne, nashledanou později!. *Karel Pacner* [online]. 22.7.2011 [cit.2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.karelpacner.cz/?str=hom&id=382&n=sbohem-raketoplany-ne-nashledanou-pozdeji>

- [13] 30 let s vesmírným raketoplánem 2. díl: S jedním stupněm na oběžnou dráhu. *Diit* [online].
17.11.2011 [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/historie-raketoplanu-v-kosmonautice>
- [14] Letecko-kozmičský systém SPIRAL. *Quark* [online]. Bratislava: Perfekt, [Duben 2009] [cit. 2012-11-24]. Dostupné z: <http://www.quark.sk/letecko-kozmič-syst-m-spiral>
- [15] Tragédie raketoplánu Challenger. *H2Web* [online]. 19. 12. 2005 [cit. 2012-11-24]. Dostupné z: <http://vodik.czweb.org/view.php?cisloclanku=2005121901>
- [16] Pomocné startovací motory (SRB). *Hvězdárna a planetárium Plzeň* [online]. Plzeň, 15.9.2011 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://hvezdarna.plzen.eu/ukazy/clanky/raketoplany/SRB.html>
- [17] North American X-15 High-Speed Research Aircraft. *Aerospaceweb.org* [online]. © 1997-2012 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.aerospaceweb.org/aircraft/research/x15/>
- [18] Spiral OS. *Encyclopedia Astronautica* [online]. [2011] [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/craft/spiralos.htm>
- [19] Russian Air Force Museum at Monino. *The Flying Kiwi* [online]. 2010 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: <http://www.richard-eaman.com/Aircraft/Museums/Monino/Highlights/index.html>
- [20] Automatic landing flight experiment ALFLEX. *Japan aerospace exploration agency* [online]. (C)2007-2012 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: http://www.jaxa.jp/projects/rockets/alflex/index_e.html
- [21] Orbital Re-entry Experiment "OREX". *Japan aerospace exploration agency* [online]. (C)2007-2012 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: http://www.jaxa.jp/projects/rockets/orex/index_e.html
- [22] Hypersonic Flight Experiment "Hyflex". *Japan aerospace exploration agency* [online]. (C) 2007-2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.jaxa.jp/projects/rockets/hyflex/index_e.html
- [23] Drawing of two views of the Hermes space shuttle. *Science photo library* [online]. [1998] [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.sciencephoto.com/media/338070/view>
- [24] Space Shuttles & Space RLV. *My Space* [online]. © 2003 - 2012 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://www.myspace.com/orbiter.ch/photos/22835884>
- [25] Havárie raketoplánu Challenger. *Hvězdárna Plzeň* [online]. 26.1.2011 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: http://hvezdarna.plzen.eu/ukazy/clanky/2011/challenger/havarie_challengeru.html

[26] Prelude: The X-15, Dyna-Soar, & The Lifting Bodies. *Vectors* [online]. 1.3.2011 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: http://www.vectorsite.net/tashutl_c01.html

[27] *NASA* [online]. 2011 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/vehicle/index.html

[28] Uragan Space Interceptor. *Encyclopedia Astronautica* [online]. [2010] [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/craft/uraeceptor.htm>