



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED VÝVOJE NOVÝCH VÍCENÁSOBNĚ POUŽITELNÝCH KOSMICKÝCH DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT OF NEW REUSABLE SPACE VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Rohánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Letecký ústav
Student:	Jan Rohánek
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.
Akademický rok:	2016/17

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 nových vícenásobně použitelných kosmických dopravních prostředků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době můžeme sledovat, že se pozornost opět zaměřuje na nosné rakety, které by mohly být alespoň z části znovu použitelné.

Předmětem zadané bakalářské práce je kromě stručného nástinu dosavadního vývoje, podat rešeršní formou informaci o současném stavu řešení vícenásobně použitelnosti nových raketoplánů a zejména nosných raket.

Cíle bakalářské práce:

Stručně a přehledně zpracovat chronologický technický vývoj vícenásobně použitelných kosmických prostředků pro dopravu užitečného nákladu na nízkou oběžnou dráhu. Přehled by měl zahrnovat možná principiální řešení, realizované projekty, současný stav vývoje částečně znovu použitelných nosných raket a nových projektů raketoplánů.

Seznam doporučené literatury:

KUSÁK J.: Kosmické rakety dneška. Valašské Meziříčí: Hvězdárna Valašské Meziříčí, 1997.

KROULÍK J., RŮŽIČKA B.: Rakety. Praha: Naše vojsko, 1981.

RŮŽIČKA B., POPELÍNSKÝ L.: Rakety a kosmodromy. Praha: Naše vojsko, 1986.

LÁLA P., VÍTEK A.: Malá encyklopedie kosmonautiky, Praha: Mladá fronta, 1982.

Časopis Letectví a kosmonautika, ISSN 0024-1156.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce řešeršní formou mapuje vývoj vícenásobně použitelných kosmických dopravních prostředků. V úvodu je velmi stručně popsán vývoj kosmonautiky vůbec. V další části je popsán vznik raketoplánů a následně jsou uvedeny a srovnány nejvýznamnější projekty USA a SSSR. Dále se práce přesouvá k tématu vícenásobně použitelných nosných raket. Popisuje jejich historický vývoj a zaměřuje se na aktuální projekty. Následně jsou popsány aktuální projekty vícenásobně použitelných kosmických kapslí, určených pro dopravu posádky a nákladu na nízkou oběžnou dráhu. Tématem poslední kapitoly jsou projekty nových raketoplánů. Závěr práce obsahuje celkové zhodnocení a předpovídá vývoj vícenásobně použitelných kosmických prostředků v blízké budoucnosti.

ABSTRACT

This thesis focuses on the development of reusable space vehicles. The introduction describes history of cosmonautics. Next chapter talks about history of Space Shuttles and then names and compares the most import projects of USA and USSR. Next topic of this thesis is about problematics of reusable rocket carriers. Last chapter names and describes today's projects of new space shuttles. The conclusion consists of overall assessment and forecast of future reusable space vehicles development.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raketoplán, nosná raketa, vícenásobná použitelnost, vývoj

KEY WORDS

Space Shuttle, carrier rocket, reusability, development

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROHÁNEK, J. *Přehled vývoje nových vícenásobně použitelných kosmických dopravních prostředků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 70 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem. Zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana doc. Ing. Vladimíra Daňka, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.5.2017

.....

Rohánek Jan

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 přátelům za podporu během studia.

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Historie kosmonautiky.....	14
2.1. Druhá světová válka.....	14
2.2. Sovětský svaz.....	15
2.3. USA.....	16
2.4. Vesmírný závod.....	17
3. Historie raketoplánů.....	19
3.1. Dělení raketoplánů.....	20
3.2. USA.....	21
3.2.1. Space Shuttle.....	23
3.3. Sovětský svaz.....	26
3.3.1. Eněrgija-Buran.....	28
3.4. Porovnání raketoplánů Space Shuttle a Buran.....	29
4. Vícenásobně použitelné nosné rakety.....	31
4.1. Vývoj vícenásobně použitelných nosných raket.....	32
4.2. Space X.....	33
4.2.1. Falcon 9.....	34
4.2.2. Falcon Heavy.....	38
4.2.3. Interplanetary Transport System.....	40
4.3. Blue Origin.....	41
4.3.1. The New Shepard.....	41
4.3.2. The New Glenn.....	43
4.4. Vulcan (United Launch Alliance).....	45
5. Nové vesmírné prostředky pro přepravu osob a nákladu.....	47
5.1. Dragon (Space X).....	47
5.2. CST-100 Starliner (Boeing).....	49
5.3. The New Shepard System (Blue Origin).....	50
5.4. Orion (NASA).....	51
6. Nové projekty raketoplánů.....	54
6.1. Scaled Composites.....	54
6.1.1. SpaceShipOne.....	54
6.1.2. SpaceShipTwo.....	56

6.1.3. White Knight.....	57
6.2. Sierra Nevada Corporation	58
6.2.1. Dream Chaser.....	58
6.3. XCOR Aerospace	59
6.3.1. XCOR Lynx.....	60
6.4. Skylon (Reaction Engines Limited)	61
6.5. Shrnutí a porovnání	63
7. Závěr.....	64
Literatura:	66

1. Úvod

Tématem této bakalářské práce jsou vícenásobně použitelné kosmické dopravní prostředky (dále jen „VPP“). K tomuto typu kosmické dopravy se dnes obrací pozornost velkého množství státních i soukromých organizací. Hnacím motorem pro vývoj VPP je hlavně ekonomická stránka věci. Použití klasických jednorázových nosných raket je totiž velice drahou a neefektivní záležitostí.

Prostředkem typu VPP se rozumí konfigurace, jejíž všechny stupně jsou opakovatelně využitelné. Hlavním předpokladem je tedy bezpečný návrat na zemský povrch, při němž nedojde k jeho fatálnímu poškození. Ideálním řešením jsou prostředky jednostupňové („Single Stage To Orbit“, dále jen „SSTO“). Jedná se o kosmickou loď, která je schopna svépomocí odstartovat, dostat se bez oddělování jednotlivých stupňů na oběžnou dráhu a poté se vrátit zpět na Zemi. Za prostředek typu VPP lze považovat i soustavu letoun – kosmoplán (bez odhazovatelných přídavných nádrží a dalších stupňů).

Za částečně využitelný kosmický dopravní prostředek se pak dá považovat nosič, jehož některé části se dají použít opakovaně. Jako příklad je možné uvést raketoplán Space Shuttle, [1].

Cílem této práce je rešeršní formou zachytit dosavadní vývoj VPP. Dále pak popsat současný stav jednotlivých projektů nových raketoplánů a vícenásobně použitelných nosných raket.

2. Historie kosmonautiky

Vesmír byl pro člověka odnepaměti velkou neznámou a zároveň lákadlem. První zmínky o letech do vesmíru nacházíme v utopických dobrodružných románech francouzského spisovatele Julese Verna. Tento velikán sice neměl na kosmonautiku faktický vliv, ale jeho představy o letech do vesmíru se až překvapivě podobaly dnešní realitě. Lety do vesmíru však dlouho zůstávaly pouze nekonečně vzdálenou vizí. Někteří vědci se dokonce domnívali, že člověk nemůže v kosmickém prostředí přežít, [2].

2.1. Druhá světová válka

Velkým milníkem a v podstatě počátkem kosmonautiky se stala Druhá světová válka. V nacistickém Německu vznikla skupina vědců pod názvem „Raketový tým“, v jehož čele stál doktor Wernher von Braun. Výzkum raket ale započal v Německu již krátce po První světové válce. Versaillská dohoda totiž vývoj raket v Německu nijak neomezovala, a tím pádem mohl být v roce 1929 zahájen vojenský raketový výzkum. Po nástupu Adolfa Hitlera k moci se začal klást na výzkum raket velký důraz. Vzniklo mnoho vědeckých institutů, zabývajících se touto tematikou. Vše vyvrcholilo vybudováním známé nacistické vývojové základny Peenemünde, ležící na pobaltském ostrově Usedom.



Obr. 2-1. Raketa V-2, [49]

V Peenemünde se postupně stavěly rakety pěti typů. A-3, A-5, A-6, A-7 a A-4. Právě vývoj rakety Aggregat-4 byl největším úspěchem raketového týmu. Tato střela (Obr. 2-1.) byla Himmlerem později nazvána V-2 podle německého „Vergeltungswaffe“ (zbraň odvety). Raketa V-2 byla v roce 1944 použita na odstřelování Londýna. Toto německé snažení však nemělo na výsledek války vliv.

Na jaře roku 1945 se většina Raketového týmu, včetně W. von Brauna, vzdala americkým jednotkám a po válce pracovala i s dalšími německými vědci pro americkou armádu, [3].

2.2. Sovětský svaz

V čele kosmického programu Sovětského svazu po válce stáli konstruktéři Sergej Pavlovič Koroljov a Valentin Gluško. Koroljov byl v roce 1938 stejně jako mnoho jeho kolegů zatčen na pokyn Stalina a odsouzen k nuceným pracím. Po dvou letech byl však přesunut zpět do Moskvy, a mohl se tak pod dohledem opět věnovat raketovému výzkumu.

Po skončení války poslal Stalin mnoho svých nejlepších vědců do Německa, aby získali technickou dokumentaci a mohli poté převzít a vylepšit německé projekty. Jejich snahou bylo vytvoření dokonalejší kopie rakety V-2. To se po mnoha neúspěších povedlo až s vývojem rakety R-7, která splňovala veškeré podmínky Moskvy a byla schopna zasáhnout téměř jakékoliv město v USA.



Obr. 2-2. Start rakety R-7 s družicí Sputnik 1, [50]

Dlouhou dobu zůstal raketový výzkum v Sovětském svazu pouze vojenskou záležitostí. Stalinovou prioritou byl vývoj rakety, která by dokázala ohrozit USA. Použití rakety k vypuštění umělé družice kolem Země bylo považováno za nedůležité. Základní myšlenky tedy museli inženýři rozvíjet ve svém volném čase. To se povedlo změnit až M. K. Tichonravovi, který dostal svolení k výzkumu nosiče pro umělou družici. Výsledkem tohoto výzkumu bylo vyvinutí družice Sputnik 1, která se stala první umělou družicí ve Vesmíru. Obr. 2-2. na předchozí straně zobrazuje její start pomocí rakety R-7, [2].

2.3. USA

Základy kosmického výzkumu v Americe položili němečtí vědci pod vedením W. von Brauna. Ti přinesli do USA potřebné „know-how“ a také mnoho funkčních raket V-2, které byly z počátku testovány v Novém Mexiku. V roce 1950 se Braunův tým přesunul do Alabamy, kde pokračoval na vývoji raket Redstone. Jednalo se o střely středního dosahu, na jejichž základě byla postavena raketa Jupiter-C a další modifikací také raketa Juno-I, která později vynesla do vesmíru první americkou družici Explorer 1. Start rakety Juno-I s družicí Explorer 1 zobrazuje Obr. 2-3, [2].



Obr. 2-3. Start rakety Juno-I s družicí Explorer 1, [51]

2.4. Vesmírný závod

Dne 4. října 1957 raketa R-7 vynáší do Vesmíru první umělou družici Sputnik 1. Právě tento okamžik se často označuje za počátek vesmírného závodu. Když navíc v listopadu téhož roku došlo ke startu družice Sputnik 2 s fenkou Lajkou na palubě, dostali se Američané pod tlak. Jejich odpovědí se stal 1. února 1958 start družice Explorer 1. Největší zásluhy měl opět W. von Braun. Snahy amerických vědců totiž nevedly k větším úspěchům. Prvním živým tvorem vyslaným do vesmíru Američany byl šimpanz Ham. Jeho osud byl o poznání veselejší než osud Lajky. Po přistání na hladinu oceánu se jej totiž podařilo zachránit.

Po dosažení oběžné dráhy Země se pozornost obrátila k Měsíci. První výrazný úspěch si připsal opět Sovětský svaz. Dne 4. ledna 1959 se podařilo sondě Luna 1 proletět ve vzdálenosti 6700 km nad měsíčním povrchem a v říjnu 1959 přinesla sonda Luna 3 první fotografie odvrácené strany Měsíce.

Nyní se snahy obou velmocí zaměřily na let člověka do vesmíru. Sověti pro tuto misi vyvinuli loď Vostok. Největším problémem se však ukázal návrat zemskou atmosférou. Teprve v srpnu 1960 se psi Bělka a Střelka v modulu Sputnik 5 vrátili živí na Zemi. Následující testy však opět dopadly špatně, a tak se první let člověka do vesmíru uskutečnil až 12. dubna 1961, kdy odstartoval Vostok 1 s J. A. Gagarinem na palubě. Gagarin úspěšně obletěl Zemi a po 108 minutách bezpečně přistál na padáku. Tato mise byla přísně tajná a nevěděla o ní ani Gagarinova nejbližší rodina.

Za prvního Američana ve vesmíru je považován Alan Shepard. Jeho let však byl pouhým vesmírným „skokem“. Prvním oficiálním americkým astronautem se stal John Glenn. Dne 20. února 1962 jeho loď Mercury 6 třikrát oblétna Zemi a Glenn úspěšně přistál na hladině oceánu.

Po dobytí vesmíru začaly přípravy pro let člověka na Měsíc. V lednu roku 1966 však zasáhla Sovětský svaz velká rána. Zemřel totiž konstruktér Koroljov, který byl hlavním strůjcem sovětských vesmírných úspěchů. V dubnu následujícího roku pak odstartovala loď Sojuz 1. Mise byla však pod nátlakem Moskvy příliš urychlena, a let tak skončil katastrofou. Loď Sojuz se však po několika modernizacích používá dodnes.

Američané se dostali po smrti Koroljova k dobytí Měsíce blíž. I jejich program však postihla katastrofa. V lednu roku 1967 zemřeli všichni tři členové posádky lodi Apollo 1. Při zkouškách na startovací rampě v důsledku závady na kabeláži přeskočila jiskra a celou kabinu zahltl požár. Po dvou letech úprav a testování se však Američané dočkali. Dne 21. července 1969 dosedl na povrch Měsíce modul Apollo 11. Prvním člověkem na Měsíci se tak stal Neil Armstrong, následovaný Buzzem Aldrinem.

Program Apollo pokračoval i dalšími misemi. Ty už ale nebyly veřejností příliš sledovány. Při letu Apolla 13 došlo na palubě k výbuchu. Posádce se však podařilo loď opustit a dostat se pomocí lunárního modulu zpět na Zemi. Tato mise je proto označována za „nejúspěšnější neúspěšnou misi“.

Sovětský kosmonaut se na Měsíc nikdy nedostal. Posledním člověkem, kterému se to poštěstilo, byl roku 1972 Američan Eugene Cernan. Po misi Apolla 17 se obě velmoci začaly soustředit na vytvoření orbitální stanice.

Orbitální stanice měla sloužit kosmonautům k delšímu pobytu ve vesmíru a ke snazšímu vykonávání experimentů. Sověti provozovali během let 1971 až 1982 celkem sedm stanic Saljut. Nejúspěšnější stanice Saljut 6 vydržela na oběžné dráze bez mála devět let. V letech 1986 až 2001 provozovali Sověti a později Rusové stanici Mir. Tato stanice byla několikrát využita i americkým raketoplánem.

Americkou stanicí byla od mezi lety 1973 až 1979 stanice Skylab. Celkem se k ní vydaly tři posádky astronautů. Jejich dopravu zajišťovala loď Apollo.

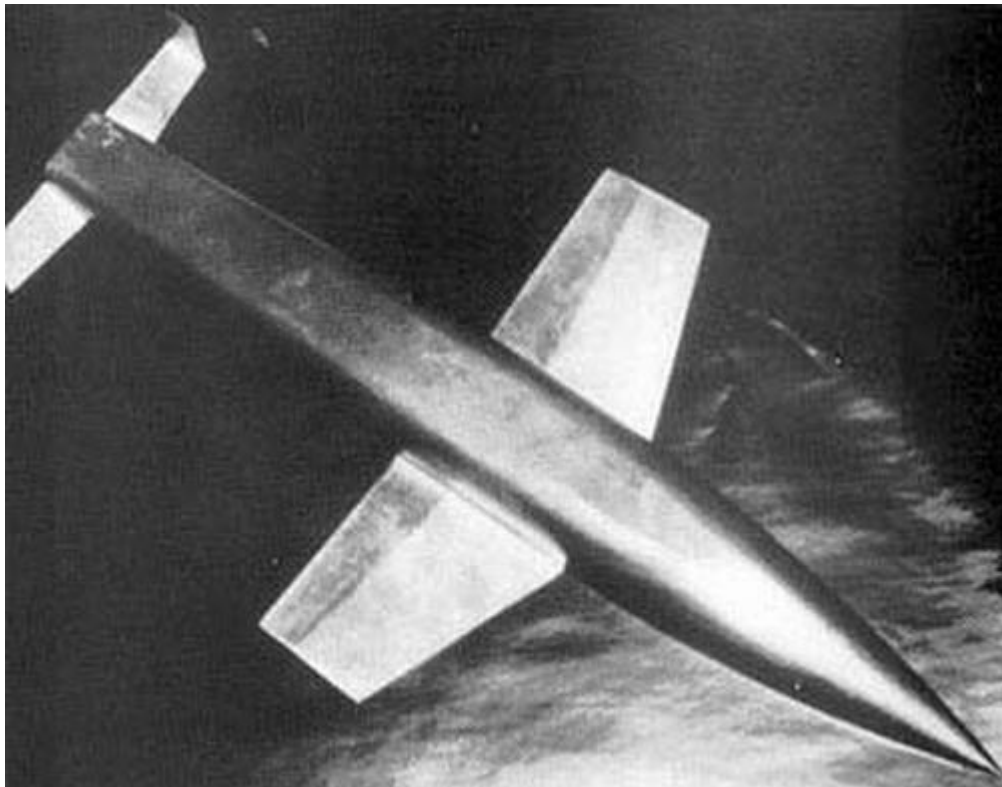
Za konec Vesmírného závodu bývá označováno spojení lodí Apollo a Sojuz na oběžné dráze. Stalo se tak 17. července 1975. Mimo formalit v podobě výměny vlajek a dárků obě posádky společně vykonaly několik experimentů. Tento akt zakopal válečnou sekeru mezi oběma velmocemi a byl příslibem pro budoucí vesmírnou spolupráci.

Mise spojení lodí byla pro Apollo poslední. Od poloviny sedmdesátých let se NASA začala připravovat na nový kosmický program. Projekt „Space Shuttle“ započal novou éru kosmonautiky, [2,4].

3. Historie raketoplánů

Vznik raketoplánu byl velmi důležitou událostí v historii kosmonautiky. Hlavními důvody pro vývoj raketoplánů bylo snížení provozních nákladů, především díky vícenásobné použitelnosti. Dalším důvodem pak byla idea častějších startů, než bylo možno při použití standardních nosných raket. Možnostmi raketoplánů si však byly vědomy i armádní složky. V době prvních návrhů se totiž nacházíme v období studené války. Raketoplány byly příslibem k pokročilejším možnostem špionáže, zneškodňování nepřátelských satelitů a případně i bombardování nepřátelského území.

Prvotní idea raketoplánu však pochází již z 30. let 20. století. Jednalo se o návrh Rakušana narozeného v Československu, Eugena Sängera. Jeho „Stříbrný pták“ (zobrazen na Obr. 3-1.) měl být původně mezikontinentálním dopravním letounem. Později byl nabídnut nacistům jako „Amerika bomber“. Ačkoliv se tento projekt nikdy nedostal z teoretické úrovně, čerpali z něj po válce inspiraci jak Američané, tak Rusové, [47].



Obr. 3-1. „Stříbrný pták“, [47]

3.1. Dělení raketoplánů

Raketoplány můžeme dle výkonu dělit do dvou hlavních skupin:

- a) Orbitální raketoplán
- b) Suborbitální raketoplán

Hlavním znakem **orbitálních raketoplánů** je schopnost dosáhnout minimálně první kosmické rychlosti. Po vypnutí hlavních motorů je pak raketoplán schopen pohybu po oběžné dráze. Hlavními představiteli tohoto typu jsou americký Space Shuttle, sovětský Buran, nedokončené projekty evropského raketoplánu Hermes či japonského raketoplánu Hope.

Suborbitální raketoplány nedosahují takových výkonů. Po vypnutí hlavních motorů pokračují po balistické dráze k hranici vesmíru, která je stanovena na výšce 100 kilometrů nad geoidem. Do této kategorie můžeme zahrnout například americký experimentální letoun Northern America X-15 nebo projekt firmy Scaled Composites s názvem SpaceShipOne.

Všechny doposud vyvinuté raketoplány jsou navrženy pro aerodynamické řízení. Jedná se o způsob řízení, při kterém je použito klasických řídicích systémů letounu, jako jsou křídélka, klapky apod. Toto řízení však není účinné v celém rozsahu rychlostí, kterých raketoplán dosahuje. Dle těchto rychlostí můžeme raketoplány dělit na:

- a) Podzvukové: Ovládací plochy jsou účinné až při rychlostech menších, než M1.
- b) Supersonické: Ovládací plochy jsou účinné až při rychlostech menších, než M5.
- c) Hypersonické: Ovládací plochy jsou účinné i při rychlostech přesahujících M5, [2].

V této kapitole popíši vývoj raketoplánů v USA a SSSR, přičemž se zaměřím na nejvýznamnější projekty daných zemí, a to „Space Shuttle“ a „Eněrgija-Buran“. Tyto raketoplány posléze porovnám.

3.2. USA

Letouny s označením „X“ jsou součástí série experimentálních amerických letounů. Jejich vývoj započal roku 1946 a do současnosti bylo v jeho rámci realizováno 57 projektů.

Prvním projektem, důležitým z hlediska kosmonautiky, byl model **North American X-15**. Jednalo se o pilotovaný nadzvukový letoun. Byl vypouštěn z upraveného letounu B-52 (Obr. 3-2.). Dodnes drží světový rychlostní rekord pilotovaného stroje, který činí 6,72 Mach (7296 km/h). X-15 však nebyl určen pouze pro lámání rychlostních rekordů. Stal se také prakticky prvním letounem, který pokořil hranici vesmíru. Stalo se tak v létě 1963, kdy dosáhl výšky více než 106 km. Při jeho vývoji bylo uplatněno přes 800 patentů a mnoho z nich bylo poté použito v dalších vesmírných programech. Například navigační systém připravovaný pro program Apollo byl nejprve testován právě na X-15, [6].



Obr. 3-2. North American X-15 startuje ze závěsu letounu B-52, [6]

Mezi lety 1957 až 1963 byl vyvíjen projekt **Boeing X-20**. Mělo se jednat o orbitální raketoplán, jehož hlavním využitím mělo být bombardování a údržba či sabotování satelitů. První bezpilotní zkoušky proběhly v roce 1963. Pilotovaný let byl pak naplánován na rok 1966. Nakonec však bylo od projektu upuštěno, [7].

Cenné poznatky přinesl vývoj vztlakových těles („Lifting Bodies“). Letouny tohoto typu nemají křídla, která generují vztlak. Ten je generován tělem letounu. V rámci tohoto programu bylo postupně vyvíjeno hned několik typů. Během testování prokázal nejlepší aerodynamické vlastnosti **HL-10** (Obr. 3-3.). Uskutečnil 37 letů, přičemž v prvních 11 případech se jednalo o lety klouzavé. Při žádném z testovacích letů nedošlo k pokoření hranice vesmíru. I přes to je však podstatné program Lifting Body zmínit, jelikož vedl k důležitým poznatkům, které jsou využívány při vývoji dnešních raketoplánů, [9,10,11].



Obr. 3-3. Vztlakové těleso HL-10, [10]

V roce 1988 přišla NASA s konceptem nouzového záchranného plavidla **HL-20**. Jednalo se o osmimístný raketoplán, který měl být do vesmíru dopravován raketou Titan IV. Kromě záchranných misí se uvažovalo i pro použití HL-20 při dopravě nákladu a kosmonautů k Mezinárodní Vesmírné Stanici (ISS). Tento letoun měl zajistit nižší náklady, zvýšení bezpečnosti a možnost v případě potřeby přistát na konvenčních přistávacích plochách. Nevýhodou však bylo malé množství materiálu, které byl raketoplán schopný přepravit. To by vedlo až k dvojnásobnému zvýšení počtu misí v porovnání s programem Space Shuttle. Z tohoto důvodu byl vývoj v roce 1990 zastaven, [12,13].

3.2.1. Space Shuttle

Po skončení programu Apollo potřebovali Američané nový impulz. Vládě bylo jasné, že USA nesmí ztratit vůdčí pozici v kosmickém prostoru. NASA proto začala uvažovat o projektu, který by měl univerzální využití a snížil by náklady na lety do vesmíru. Filozofie byla jasná. Vytvořit kosmickou loď, která bude celá nebo alespoň z větší části znovu použitelná. V počátku vývoje se uvažovalo o třech možných řešeních. Byli jimi:

- Vodorovně startující i přistávající dvoustupňový raketoplán.
- Vodorovně startující i přistávající dvoustupňový raketoplán s odhazovacími nádržemi.
- Svisle startující raketoplán.

Nakonec se NASA rozhodla pro vývoj svisle startujícího raketoplánu, který se ukázal jako technicky nejjednodušším řešením. Název „Space Shuttle“ by se dal do češtiny přeložit jako „vesmírná kyvadlová doprava“.

Technický popis

Space Shuttle se skládá ze tří částí. První a hlavní částí je **družicový stupeň** („Orbiter“). Jedná se o letoun s delta křídlem. Má délku 37 metrů, výšku 17 metrů a rozpětí křídel 24 metrů. Start probíhá ve vertikální poloze, jak je tomu u raket. Po dokončení mise letoun přistává horizontálně.

Další částí je **palivová nádrž** („External Tank“). Nachází se v ní palivo pro hlavní motory družicového stupně. Jedná se o jedinou část raketoplánu, kterou nelze znovu použít. Po odhození padá po parabolické dráze, částečně zaniká v atmosféře a její zbytky dopadají do Indického oceánu.

Třetí částí je **dvojice motorů na tuhé pohonné hmoty** („Solid Rocket Booster“). Jsou připevněny po stranách vnější palivové nádrže. Motory fungují do vyčerpání paliva, ke kterému dojde v čase 120 sekund ve výšce okolo 45 kilometrů. Poté dojde k odpojení pomocí odstřelení rozbušných šroubů a motory padají k zemi. Při pádu dojde nejprve k otevření stabilizačního padáku a posléze tří hlavních padáků, na

nichž motory přistávají na mořskou hladinu. Po vylovení a údržbě mohou být motory znovu použity. Obr. 3-4. zobrazuje celkovou startovní konfiguraci raketoplánu.



Obr. 3-4. Startovní konfigurace raketoplánu Space Shuttle, [52]

Vyrobené exempláře

Ve službách NASA sloužilo celkem šest strojů, z nichž se však pouze pět dostalo do vesmíru. Jednotlivé raketoplány se lišily jak vybavením, tak konstrukcí a startovní hmotností.

Prvním americkým raketoplánem byl **Challenger (OV-099)**. Tento exemplář neměl nikdy vzlétnout do vesmíru. Challenger byl v letech 1975 až 1978 používán výhradně při statických testech. V roce 1979 však bylo rozhodnuto o jeho přestavbě na raketoplán schopný letů do vesmíru. Od roku 1983 absolvoval 10 startů. Dne 28. ledna 1986 však došlo krátce po startu k explozi vnější palivové nádrže a raketoplán byl zničen.

Stroj **Enterprise (OV-101)** také nebyl určen pro lety do vesmíru. V roce 1977 byl použit při testování na hřbetu letounu Boeing 747 v atmosféře. Posléze byl z jeho hřbetu uvolněn a úspěšně doplachtil na Zemi. NASA uvažovala o přestavbě Enterprise na plnohodnotný raketoplán. To se však ukázalo jako příliš drahá varianta a pro

přestavbu byl určen Challenger. Později sloužil Enterprise k testům na startovací rampě.

Nejstarší raketoplán, který kdy vzlétl do vesmíru, nese označení **Columbia (OV-102)**. Stalo se tak 12. dubna 1981. Od tohoto dne uskutečnil celkem 28 letů. V roce 2003 však došlo k tragédii, při níž raketoplán shořel v atmosféře. Příčinou nehody bylo poškození tepelné ochrany při startu.

Dalším exemplářem byl **Discovery (OV-103)**. Z paluby tohoto raketoplánu byl mimo jiné v roce 1990 vypuštěn Hubbleův teleskop. Discovery vykonal mezi lety 1984 až 2011 39 misí. Toto se žádnému jinému stroji nepodařilo. Jeho lety byly také první po neštěstích Challengeru a Columbie.

Atlantis (OV-104) byl až do dostavení Endeavouru nejnovějším raketoplánem. Mimo jiné se sedmkrát vydal k ruské orbitální stanici Mir. Z nákladového prostoru raketoplánu Atlantis startovaly i legendární sondy Magellan a Galileo, které se vydaly k povrchu Venuše, respektive Jupiteru. Atlantis má na kontě také poslední misi celého programu Space Shuttle. Stalo se tak 8. července 2011.

Endeavour (OV-105) je nejmladším členem fotily. NASA se rozhodla jej postavit jako náhradu za zničený Challenger. Díky tomu, že byl postaven až koncem 80. let, měl Endeavour řadu vylepšení. Měl například modernější navigaci, elektroniku a dokázal vydržet na oběžné dráze delší dobu. Raketoplán Endeavour má na kontě 25 misí. Naposledy odstartoval v květnu roku 2011.

Shrnutí programu Space Shuttle

Od prvního startu amerického raketoplánu do posledního přistání uběhlo 30 let, 3 měsíce a 9 dní. Jedná se tak o nejdéle trvající americký kosmický program. Délkou jej předčí pouze dříve sovětský a nyní ruský program Sojuz, který letos oslavil 50. výročí. Raketoplány odstartovaly celkem ke 135 misím. V 89 případech se jednalo o samostatné výpravy za účelem vypouštění a oprav satelitů, či provádění experimentů. Celkem 37 letů mířilo k ISS a v 9 případech byla cílem mise orbitální stanice Mir. Cena na dopravu 1kg nákladu na oběžnou dráhu byla plánována na 260 USD. Realitou se však ukázala částka 22 000 USD. Vysoké náklady na provoz a problematická bezpečnost nakonec vedly k ukončení programu, [2,8].

3.3. Sovětský svaz

Po 2. světové válce vzniklo v Sovětském svazu mnoho projektů raketoplánů i vztlakových těles. Většina z nich však skončila buď jen na papíře nebo ve fázi prototypu. Návrhy sovětských konstruktérů byly často megalomanské nebo se neukázaly tak efektivní, jak by si vláda představovala. Mnoho projektů bylo stejně jako v USA vyvíjeno pro vojenské využití. Letouny měly plnit špionážní funkci, zneškodňovat nepřátelské družice či bombardovat cíle vzdálené tisíce kilometrů.

V SSSR byly od roku 1957 vyvíjeny projekty okřídlených kosmických kabin. Jednou z prvních byla kosmická kabina **MP-1**, jejímž účelem mělo být zneškodňování nepřátelských družic. Byla vyvíjena konstrukční kanceláří OKB-52. Konstrukční kanceláří (dále jen „KK“) byla rozuměna vývojová skupina konstruktérů, [15].

Spiral (Obr. 3-5.) byl projekt KK OKB-155. Jednalo se o dvoustupňový raketoplán, přičemž oba jeho stupně měly charakter aerodynamického vztlakového tělesa. První stupeň tvořil hypersonický letoun. Na jeho hřbetu byl upoután druhý stupeň, kterým byl jednomístný raketový kluzák. Na oběžné dráze měl pak plnit špionážní a bojové úkoly. Vývoj započal roku 1962 a pokračoval až do roku 1978, kdy byl projekt zrušen z důvodu vývoje raketoplánu Buran, [14].



Obr. 3-5. Spiral v leteckém muzeu, [53]

Projekt **Uragan** vyvíjel od poloviny 70. let KK NPO – Molnya. Hlavním účelem mělo být ničení amerických raketoplánů Space Shuttle. V roce 1987 byly vypuštěny dvě desetitunové makety pod krycími názvy Kosmos 1871 a Kosmos 1873. Nakonec byl však i tento program zrušen, [5].

Projekt **MAKS** (Obr. 3-6.) byl společnou prací KK NPO Molniya a NPO Eněrgija. Jednalo se o multifunkční dopravní systém k dopravě posádky a nákladu na oběžnou dráhu. Tento systém se skládal ze dvou stupňů. Prvním stupněm byl letoun An-225 Mriya. Jedná se o největší letadlo na světě, které bylo původně zkonstruováno převážně pro transport raketoplánu Buran. Druhý stupeň byl orbitální. Tvořila jej vnější palivová nádrž a samotný raketoplán. Celková hmotnost letounu An-225, vnější palivové nádrže a raketoplánu MAKS měla činit 620 tun. V roce 1991 byl projekt z ekonomických a politických důvodů pozastaven. Studie však ukazovaly, že se jednalo o velmi efektivní a levný systém. Projekt byl v letech 1994-1995 a 2010 dvakrát oživen. Ani jednou se však nepodařilo dotáhnout vývoj do konce, [16,17].



Obr. 3-6. Start raketoplánu MAKS a jeho přídavné nádrže z letounu An-225, [54]

3.3.1. Eněrgija-Buran

Sovětskou odpovědí na americký Space Shuttle byl projekt raketoplánu Buran. Oba stroje se značně podobaly. Space Shuttle byl totiž pro Sověty velkou inspirací. Hlavním důvodem však bylo projektování obou raketoplánů za účelem plnění podobných úkolů. Přesto se Buran a Space Shuttle v mnoha ohledech značně lišily.

Do vesmíru vynášela Buran (Obr. 3-7.) raketa Eněrgija. Jednalo se o dvoustupňovou nosnou raketu, která měla při své maximální konfiguraci předčít i americkou raketu Saturn V. Použití Eněrgije mělo být variabilní. Mohla vynášet například i části orbitální stanice a jiné hmotné náklady o maximální hmotnosti 175 tun.



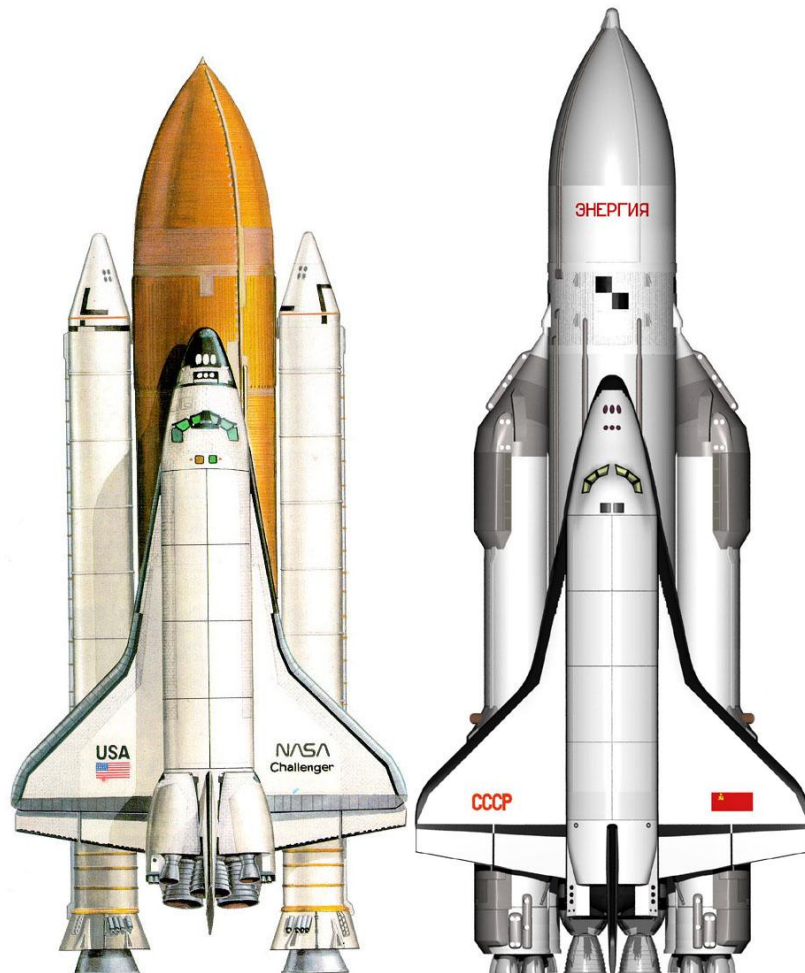
Obr. 3-7. Transport raketoplánu Buran na hřbetu letounu An-225, [55]

Velkou výhodou Buranu bylo, že dokázal uskutečnit bezpilotní testovací let. Stalo se tak v listopadu 1988. Od rakety Eněrgija se odpoutal ve výšce 110 km a pomocí vlastních motorů pak vykonal dva oběhy kolem Země. Přistání proběhlo také bez problému a s obdivuhodnou přesností.

Druhý start byl dlouhou dobu odkládán. Mělo jít o bezpilotní let k orbitální stanici Mir. Tam měla do raketoplánu nastoupit posádka a otestovat její. Start se nakonec neuskutečnil a program Buran byl z důvodu nedostatku finančních prostředků v červnu 1993 zrušen. Pro kosmonautiku je to velká ztráta. Tento projekt totiž na rozdíl od ostatních fungoval a v mnoha ohledech předčil Space Shuttle, [2].

3.4. Porovnání raketoplánů Space Shuttle a Buran

Ačkoli jsou oba raketoplány po vizuální stránce velmi podobné, v mnoha ohledech se značně odlišují. Obr. 3-8. porovnává startovní konfigurace obou strojů.



Obr. 3-8. Porovnání startovních konfigurací raketoplánů Space Shuttle a Buran, [48]

Prvním velkým rozdílem je samotný pohon. Zatímco Space Shuttle používal při startu kombinaci vlastních motorů a SRB, Buran byl v této věci odkázán čistě na nosnou raketu Eněrgija. Disponoval pouze slabými manévrovacími motory, používanými při pohybu na oběžné dráze.

Rozdílné byly i samotné pomocné boostery. Space Shuttle disponoval 2 motory SRB, které spalovaly pevné pohonné hmoty. Oproti tomu raketa Eněrgija byla vybavena 4 boostery, jejichž chod zajišťovala směs kapalných pohonných hmot. Výhodou motorů

tohoto typu je mimo většího tahu také regulovatelné ovládání během letu. V případě krizové situace je tak možné jejich vypnutí, čímž se dá předejít případné katastrofě.

Boostery rakety Eněrgija byly taktéž vícenásobně použitelné. Pro jejich záchranu byl však využit rozdílný systém. Po otevření série padáků byly pro finální zpomalení boosterů zažehnuty zpětné rakety, které umožnily měkké přistání. Výhodou tohoto systému bylo zejména to, že boostery nepřistávaly do slané mořské vody, nýbrž na pevninu. To značně zjednodušovalo jejich záchranu a zmenšovalo nároky na následný servis. Je však potřeba říci, že kvalita tohoto systému nebyla nikdy více otestována, jelikož raketoplán Buran uskutečnil pouze 1 let.

Zřejmě největší výhodou raketoplánu Buran byla možnost bezpilotního letu, čemuž byl od začátku podřízen veškerý vývoj. Autopilot obsahoval téměř 500 různých krizových schémat, pomocí kterých měl být schopen vyřešit jakoukoli situaci. Byl také navržen s důrazem na větší bezpečnost, jelikož sedadla pro posádku byla vybavena katapulty a záchrannými padáky, [48].

Tab. 3-1. Obsahuje základní technické údaje obou strojů. Informace v ní obsažené pochází ze zdrojů, [56,57].

	Space Shuttle	Eněrgija - Buran
Rozpětí křídel	23,79 m	23,92 m
Délka	37,28 m	36,37 m
Výška	17,86 m	16,35 m
Prázdná hmotnost	78 t	68 t
Maximální vzletová hmotnost	110 t	105 t
Maximální přistávací hmotnost	100 t	87 t
Maximální hmotnost nákladu	25 t	30 t
Rozsah letových výšek	190 - 960 km	250 - 1000 km
Minimální posádka	2 os	-
Počet misí	135	1

Tab. 3-1. Technické údaje raketoplánů Space Shuttle a Buran

4. Vícenásobně použitelné nosné rakety

Nosná raketa (neboli kosmický nosič) je prostředek pro vynášení užitečného nákladu do vesmíru. Není třeba připomínat, že nosné rakety hrají ve zkoumání vesmíru nepostradatelnou roli. Bez jejich vývoje a neustálého zdokonalování by nebylo možné realizovat valnou většinu projektů, jež jsem zmínil dříve.

V USA byly nosné rakety používány až do zrušení programu Apollo. Následný program Space Shuttle měl přinést americké kosmonautice nový impulz a hlavně zefektivnit dopravu zařízení na oběžnou dráhu. Později se však ukázalo, že provoz raketoplánu je naopak extrémně nákladný. Právě finanční důvody a také problematická bezpečnost posádky (není třeba připomínat dvě fatální nehody Columbie a Challengeru) nakonec vedly k jeho zrušení. O zrušení se začalo mluvit již začátkem 21. století. Právě v tomto období vzniklo několik soukromých společností, jejichž vizí bylo vytvoření alternativního způsobu kosmické dopravy, a to pomocí vývoje nosných raket nové generace.

Všeobecně známým faktem je, že většina současných nosných raket je určena pouze pro jednorázové použití. To je však z hlediska ekonomiky velice nevhodná varianta. Již do nedávna však bylo nemyslitelné, aby se daly nosné rakety využívat opakovaně. Skládají se totiž ve valné většině z několika stupňů, které jsou při letu postupně odhazovány a posléze zanikají v atmosféře. Ideální variantou by proto byla kosmická loď typu SSTO („Single Stage To Orbit“), která by byla schopna bez odhazování jakýchkoli stupňů vystoupat do vesmíru a posléze se z něj vrátit. Tato konfigurace je však extrémně náročná a v současné době ještě neexistují ověřené technologie a materiály, které by ji umožňovaly, [37].

V této kapitole stručně nastíním historický vývoj vícenásobně použitelných nosných raket a zaměřím se na současné projekty.

4.1. Vývoj vícenásobně použitelných nosných raket

Jak jsem již řekl dříve, vícenásobně použitelné nosné rakety (dále jen „VPNR“) jsou po technické stránce extrémně náročnou variantou. V historii se však již objevilo několik zajímavých řešení, jak jejich opakovanou použitelnost zajistit. Jako příklad je možné uvést motory raketoplánu Space Shuttle, označované zkratkou **SRB**.

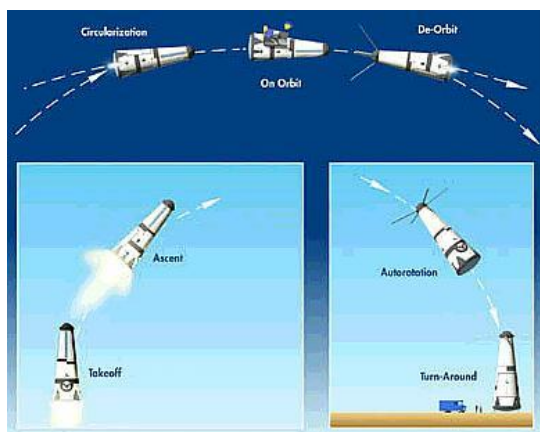
O projektu Space Shuttle jsem se již obsáhleji rozepsal dříve. Jen tedy připomenu, že dvojice SRB byla připevněna po stranách externí nádrže. Po vyčerpání pohonných hmot došlo k jejich oddělení a motory posléze přistály pomocí soustavy padáků na vodní hladině. Po jejich dopravení zpět na pevninu a následné údržbě je bylo možné opětovně použít, [2].

S prvním projektem vícenásobně použitelné nosné rakety přišla společnost Rotary Rocket Company koncem 90. let. Jejich projekt nesoucí název **Roton** byl konceptem pilotované, vícenásobně použitelné, SSTO nosné rakety s vertikálním startem i přistáním. Cílem tohoto projektu bylo umožnit rychlý a rutinní přístup na oběžnou dráhu pro dva členy posádky a až 3200 kg nákladu. Dle tehdejších propočtů měl Roton až desetkrát snížit cenu za 1 kg vyneseního nákladu.

Dle původního návrhu měla raketa odstartovat pomocí rotujících listů (jako vrtulník) a ve výškách s nedostatečnou hustotou vzduchu pokračovat ve vzestupu pomocí raketových motorů. Později se však zjistilo, že by kratší doba chodu motorů při vzestupu byla vykoupena větším aerodynamickým odporem, způsobeným rotujícími listy. Od tohoto konceptu se tedy upustilo a následující návrh zachoval použití rotoru pouze při přistání.

Podle nového návrhu měl tedy Roton odstartovat vertikálně jako konvenční raketa, přičemž listy rotoru měly být sklopeny plynule podél trupu. Ve výšce okolo 130 km mělo dojít k vypnutí hlavních motorů. K ovládání rakety na oběžné dráze měly sloužit pomocné řídicí motory a maximální čas pobytu na oběžné dráze měl činit 72 h. Po vyložení nákladu se měly listy vrtule otočit o 180° ve směru od těla rakety a Roton měl pozvolna započít sestup. V atmosféře mělo posléze dojít k pozvolnému vyklápění listů až do polohy kolmé k ose rakety. Tento systém měl poskytovat plynulé přiblížení a bezpečné přistání. Letový profil je zachycen na Obr. 4-1.

Ačkoliv byl tento projekt velmi odvážný a přislíboval velmi razantní snížení ceny kosmických letů, nedočkal se bohužel dokončení. V roce 1999 bylo provedeno několik testovacích letů v malých výškách jen několik metrů nad zemí. Test přistávací vrtule zachycuje Obr. 4-2. Ačkoliv tyto testy prokázaly funkčnost vrtule, byl nakonec projekt v roce 2001 zastaven. Hlavními důvody byly zejména nedostatek zkušeností s tímto konceptem a také nedostatek finančních prostředků, [38].



Obr. 4-1. Letový profil rakety Roton, [38]



Obr. 4-2. Test přistávací vrtule rakety Roton, [58]

4.2. Space X

Společnost Space X je dnes v oblasti kosmonautiky celosvětovým fenoménem. Byla založena v roce 2002 Elonem Muskem. Tento americký podnikatel byl do jisté doby spoluvlastníkem internetového platebního systému PayPal. Mimo Space X se dnes věnuje i automobilce Tesla, jejímž je spoluzakladatelem a CEO. V neposlední řadě je také předsedou společnosti Solar City, která se zabývá instalací solárních panelů pro domy. Mezi jeho další aktivity patří dopravní systémy Hyperloop (transport osob a automobilů mezi Los Angeles a San Franciscem) a nově taktéž The Boring Company (soustava tunelů pro přepravu automobilů v Los Angeles), [39].

Za hlavní cíle si Space X od prvopočátku dává provést revoluci ve věci vesmírných technologií, razantně snížit cenu vesmírných letů a hlavně v budoucnosti zajistil osídlení jiných planet.

4.2.1. Falcon 9

Falcon 9 je dvoustupňová nosná raketa vytvořená pro spolehlivý a bezpečný transport komerčních satelitů a zejména kapsle Dragon na oběžnou dráhu. Její dvoustupňová konfigurace minimalizuje počet oddělování, a tím pádem i riziko s nimi spojené. V roce 2012 se Space X povedlo dopravit pomocí rakety Falcon 9 kapsli Dragon k ISS. Stala se tak historicky první soukromou společností, které se to podařilo.

Vývoj první verze, nesoucí označení **v1.0**, započal v roce 2005. Od roku 2010 do roku 2013 provedla tato verze 5 letů.

Následovala verze **v1.1**, která létala mezi roky 2013 až 2016. Oproti v1.0 došlo k výraznému zvýšení výkonu i startovní hmotnosti. U této verze se také začalo testovat přistání prvního stupně. Nikdy se jí však nepodařilo přistání úspěšně dokončit.

Současná verze nese označení **v1.1 FT**. Při prvním letu v prosinci 2015 se jí podařilo provést historicky první přistání prvního stupně a v březnu 2017 byl poprvé použit již jednou použitý první stupeň rakety.

Technický popis verze v1.1 FT

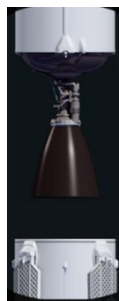
První stupeň (Obr. 4-5.) se skládá z 9 motorů Merlin a nádrže na kapalné pohonné hmoty. Z velké části je vyroben ze slitiny hliníku a lithia. Motory Merlin jsou uskupeny do tvaru oktagonu s jedním motorem uprostřed. Tato konfigurace umožňuje úspěšné dokončení mise v případě selhání až 2 motorů. Motory spalují směs kapalného kyslíku (LOX) a vysoce rafinovaného petroleje (kerosinu), označovaného jako RP-1. Při startu poskytují větší tah, než je schopno vyvinout 5 letounů Boeing 747. V čase 162 s po startu dochází k vypnutí motorů prvního stupně a posléze k jeho oddělení.

Mezistupeň (Obr. 4-4.) je kompozitová struktura, která slouží k oddělení prvního stupně od zbytku rakety. Oddělovací systém Falconu 9 je plně pneumatický. Toto řešení zmírňuje rázy, které vznikají při použití standardních pyrotechnických oddělovacích systémů.

Druhý stupeň (Obr. 4-3.) je poháněn pouze jedním motorem Merlin. Jeho funkcí je doprava nákladu na určenou oběžnou dráhu. Motor je umístěn v mezistupni a je téměř totožný s motory prvního stupně. Je však modifikován, aby mohl lépe pracovat ve vakuu. K zážehu motoru dochází několik sekund po oddělení prvního stupně. Maximální čas jeho chodu činí 397 s a je při něm schopen poskytovat tah 934 kN. Motor může být opětovně zastaven a znovu zažehnut, což umožňuje rozmístování nákladu na různé oběžné dráhy. Stejně jako první stupeň je i druhý stupeň vyroben ze slitiny hliníku a lithia. Na špici druhého stupně může být umístěna buď kapsle Dragon, nebo kompozitová kapotáž pro přepravu satelitů a podobně, [40].



Obr. 4-3. Druhý stupeň Falconu 9, [40]



Obr. 4-4. Mezistupeň Falconu 9, [40]



Obr. 4-5. První stupeň Falconu 9, [40]

Tab. 4.1. obsahuje základní technická data 3 vývojových verzí Falconu 9. Informace pro její vypracování pochází ze zdrojů, [40,60].

Celkové údaje

	v1.0	v1.1	v1.1 FT
Celková výška	54.9 m	68.4 m	70 m
Průměr	3,7 m	3,7 m	3,7 m
Maximální hmotnost	334 t	506 t	549 t
Hmotnost nákladu na LEO	10,45 t	13,15 t	22,8 t
Hmotnost nákladu na GTO	4,54 t	4,85 t	8,3 t

První stupeň

Motory	9 x Merlin 1C	9 x Merlin 1D	9 x Merlin 1D+
Doba chodu motorů	170 s	180 s	162 s
Palivo	LOX/RP-1	LOX/RP-1	LOX/RP-1
Tah při startu	4 940 kN	5 885 kN	7 607 kN
Specifický impuls při startu	2 698 N.s/kg	2 766 N.s/kg	2 766 N.s/kg

Druhý stupeň

Motor	Merlin 1C Vacuum	Merlin 1D Vacuum	Merlin 1D Vacuum+
Doba chodu motoru	345 s	375 s	397 s
Palivo	LOX/RP-1	LOX/RP-1	LOX/RP-1
Tah ve vákuu	617 kN	801 kN	934 kN
Specifický impuls ve vákuu	3 355 N.s/kg	3 336 N.s/kg	3 414 N.s/kg

Tab. 4-1. Základní technické parametry vývojových verzí Falconu 9

Jedním ze zmíněných parametrů je **specifický impuls I_s** . Specifický impuls je základní parametr, kterým je charakterizován raketový motor. Definuje se jako podíl tahu motoru F a hmotnosti paliva \dot{m}_p , která protéká tryskou motoru za jednotku času. Matematicky je specifický impuls vyjádřen pomocí rov. (4.1), [59].

$$I_s = \frac{F}{\dot{m}_p} \quad [N \cdot s / kg] \quad (4.1)$$

Přistání prvního stupně

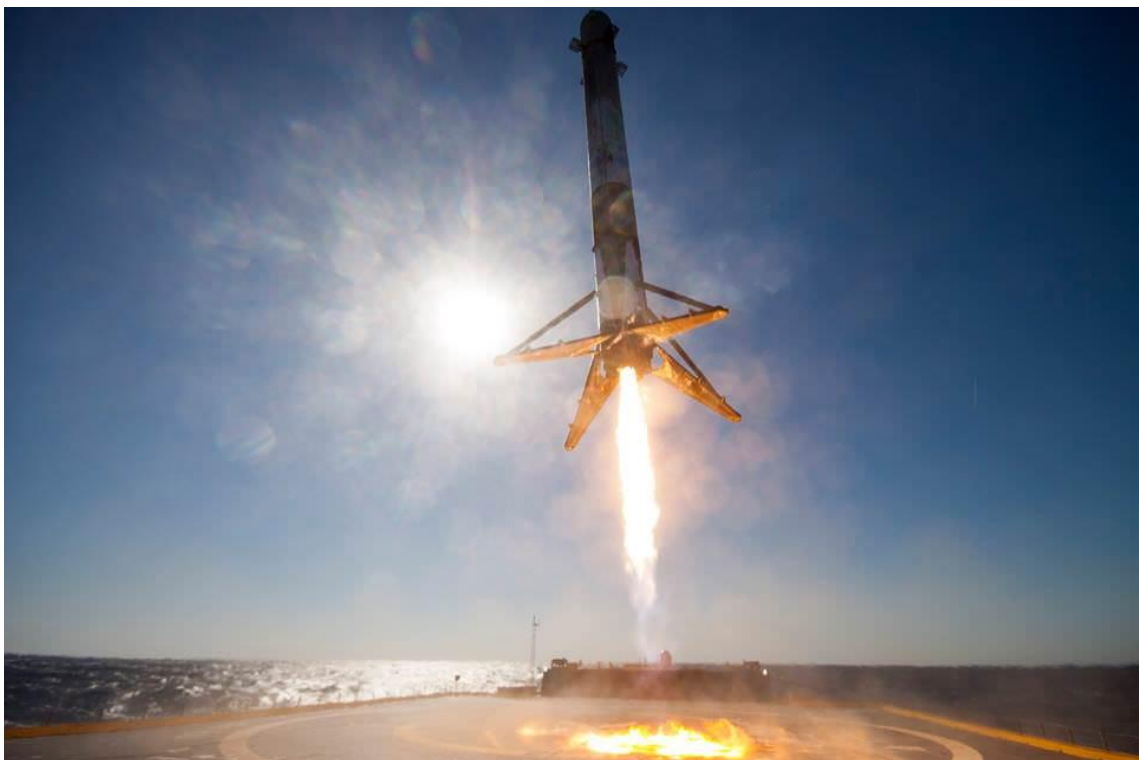
Přistání prvního stupně rakety Falcon 9 je v mnoha ohledech unikátní. Prvním předpokladem pro jeho realizaci je dostatečná zásoba paliva pro opětovné zažehnutí motorů při sestupu. Další nezbytné prvky se již týkají ovládání. První stupeň disponuje ve své horní části hypersonickými mřížkovanými křídélky („**Grid Fins**“). Tyto

žáruvzdorné ovládací plochy jsou nezbytné k ovládní prvního stupně při návratu na Zemi. Dalším ovládacím prvkem v horní části jsou ovládací trysky („**Cold-Gas Thrusters**“). Tyto trysky slouží k rotaci prvního stupně do polohy, určené pro sestup atmosférou. Poslední nezbytnou částí jsou 4 výklopné přistávací nohy („**Landing Legs**“), vyrobené z uhlíkových kompozitů.

Veškeré systémy, kterými Falcon 9 disponuje, jsou naprogramovány s důrazem na plnou automaticklost. Po startu rakety v reálném čase zpracovávají data ze stovek měřících čidel a korigují tak průběh letu i následného přistání.

Do března roku 2017 provedl první stupeň 14 pokusů o přistání, z nichž bylo 9 úspěšných. K prvnímu pokusu došlo v lednu 2015. První stupeň byl úspěšně naveden na přistávací plošinu v oceánu. Po tvrdém dopadu byl však zcela zničen. Při následujícím pokusu v dubnu téhož roku došlo při přistání k převrácení a výbuchu.

K prvnímu úspěšnému přistání došlo 22. prosince 2015. Stalo se tak při prvním letu verze v1.1 FT (celkově 20. letu Falconu 9). Přistání bylo provedeno na pevné zemi, nikoli na námořní plošině. Při následujícím letu bylo zvoleno opět přisání na námořní plošinu. Po přistání však došlo k prasknutí ocelového zámku jedné z přistávacích noh a první stupeň se díky tomu převrátil. K prvnímu úspěšnému přistání na námořní plošinu došlo 8. dubna 2016 (Obr. 4-6.), [41].



Obr. 4-6. Přistání 1. stupně Falconu 9 na námořní plošinu, [61]

4.2.2. Falcon Heavy

Falcon Heavy je dalším revolučním projektem Space X. Plánovaná nosnost této rakety činí 63 800 kg na nízkou oběžnou dráhu, což by z ní činilo absolutně nejsilnější raketu světa. Její konfigurace vychází z nosiče Falcon 9. První start je předběžně naplánován na 3. čtvrtletí roku 2017.

Tělo rakety vzniklo spojením 3 prvních stupňů rakety Falcon 9. Na prostředním z nich je poté připevněn standardní druhý stupeň s nákladovým prostorem ve špici. Spojením 3 prvních stupňů vznikne raketa s 27 motory, které budou schopny v úrovni moře poskytovat tah 22 800 kN a ve vakuu pak až 24 700 kN. Větším tahem disponovala pouze americká raketa Saturn V, která byla naposledy použita v roce 1973. Falcon Heavy je od prvopočátku vyvíjen s vizí letů na Měsíc a Mars.

Při startu poskytují všechny tři první stupně plný výkon. Krátce po startu dojde ke stažení výkonu prostředního z nich. Po dosažení požadované výšky jsou boční boostery odpojeny a posléze se vrací k přistání na Zemi. Samotné přistání pak probíhá stejně jako u rakety Falcon 9. Prostřední booster po odpojení bočních znovu používá svůj plný výkon a dopravuje náklad do požadované výšky. Po jejím dosažení se i on odpojuje a vrací se k Zemi, [42].

Tabulka 4-2. Obsahuje základní technické údaje Falconu Heavy. Informace pro její vypracování byly získány ze zdroje, [42].

Celková výška	70 m
Celková šířka	12,2 m
Maximální hmotnost	1 420 t
Hmotnost nákladu na LEO	63,8 t
Hmotnost nákladu na GTO	26,7 t
Hmotnost nákladu na Mars	16,8t
Motory	3 x 9 Merlin 1D+
Tah při startu	22 819 kN

Tab. 4-2. Technické údaje Falconu Heavy

Na Obr. 4-7. je zachycena vzletová konfigurace Falconu Heavy. Na špičce druhého stupně je v tomto případě umístěna kompozitová kapotáž. Bude existovat i varianta s kapslí dragon, stejně jak je tomu u současného Falconu 9..



Obr. 4-7. Startovní konfigurace Falconu Heavy, [42]

4.2.3. Interplanetary Transport System

V září roku 2016 Elon Musk na konferenci v Mexico City prozradil, že jeho záměrem je vytvoření spolehlivého a plně znovupoužitelného meziplanetárního dopravního systému. K transportu by měla být využívána vesmírná loď s přepravní kapacitou až 100 pasažérů. Na oběžnou dráhu by měla být vynášena gigantickým boosterem, poháněným 42 motory Raptor. Tyto motory jsou již v současné době testovány. Motor Raptor dokáže při stejné velikosti vyvinout přibližně třikrát větší tah než motor Merlin.

Motory Raptor by však nemusely být využívány pouze pro meziplanetární dopravu. Díky svému unikátnímu výkonu by mohl booster vynést na nízkou oběžnou dráhu až 300 tun nákladu a posléze se vrátit k Zemi. Pokud by se již nepočítalo s návratem, mohl by být na nízkou oběžnou dráhu dopraven náklad o hmotnosti až 500 tun.

Vesmírná loď by měla při startu ze Země nést pouze minimální množství paliva. Po odpojení od boosteru by měla čekat na oběžné dráze, než se booster vrátí k Zemi a posléze dopraví k lodi cisternu. Po dotankování by se měla loď pomocí svých 8 motorů Raptor vydat na zhruba tříměsíční cestu k planetě Mars. Musk ale tvrdí, že podle propočtů Space X by se dala doba cesty zkrátit až na 1 měsíc.

Přistáním na Mars to však nekončí. Space X plánuje postavit na rudé planetě solárně poháněnou elektrárnu, která bude schopna získat z atmosféry a půdy potřebné suroviny a z nich pak vyrobit palivo, potřebné pro návrat lodi na Zemi.

Při použití standardních technologií by se kalkulace ceny za 1 letenku na Mars pohybovala okolo 10 mld. USD. Při použití vícenásobně použitelného ITS však Musk plánuje cenu letenky snížit až na 100 000 USD.

Ačkoliv je vývoj v prvopočátcích, Musk plánuje dokončení vesmírné lodi kolem roku 2022. Krátce nato by se mělo přistoupit k suborbitálním testům. Pokud by šlo vše opravdu dobře, měla by první ostrá mise startovat v horizontu 10 let. Jedná se však nejspíš o velmi optimistický odhad, [43].

Obr. 4-8. zachycuje animaci startu boosteru s vesmírnou lodí. V levé části obrázku je vidět cisterna, připravená k vynesení na oběžnou dráhu a dotankování lodi.



Obr. 4-8. Interplanetary transport system, [62]

4.3. Blue Origin

Společnost Blue Origin byla založena Jeffem Bezosem v polovině roku 2000. Od prvopočátku si klade za cíle pomocí vícenásobně použitelných prostředků snížit cenu za lety do vesmíru, a tím je zpřístupnit většímu množství lidí. V současné době se společnost soustředí na suborbitální lety, od kterých se chce v budoucnu přesunout k letům orbitálním. Pro tyto účely vyvíjí vlastní nosné rakety a raketové motory, [44].

4.3.1. The New Shepard

New Shepard je nosná raketa, kterou společnost Blue Origin využívá pro vynášení suborbitální kapsle do výšky okolo 100 km. Motor rakety se vypíná v čase cca 150 s po startu ve výšce okolo 55 km nad povrchem Země. Posléze dochází k odpojení kapsle a booster se následně vrací k Zemi, kde bezpečně přistává. Start rakety je zachycen na Obr. 4-9.

Při návratu boosteru atmosférou se využívá několika důležitých prvků. Prvním z nich jsou kruhová a klínová kormidla, která jsou umístěna v horní části. Tyto „ploutve“ ovládají raketu při sestupu a výrazně zvyšují její stabilitu. Dalším důležitým prvkem je 8 brzdících štítů, taktéž umístěných v horní části boosteru. Tyto štíty se při návratu atmosférou vysouvají a snižují rychlost sestupu až na polovinu. Posledním

řídícím prvkem jsou 4 zádová kormidla. Jejich funkcí je zejména stabilizace rakety při vzletu. Jejich ovládání zajišťují hydraulické aktuátory, které poskytují dostatečnou sílu i v rychlostech blížících se Mach 4.

Pohon rakety zajišťuje motor na kapalné pohonné hmoty s označením BE-3. Tento motor je v pořadí již třetím, který firma vyvinula. Při startu poskytuje maximální tah 490 kN a spaluje směs kapalného vodíku a kapalného kyslíku. Jeho hlavními výhodami jsou vysoká spolehlivost a velmi rychlá odezva při zažehnutí či zastavení. Právě tyto vlastnosti umožňují boosteru provádět velmi hladká a přesná přistání.



Obr. 4-9. Start rakety New Sheppard, [45]

Jak jsem již zmínil dříve, New Shepard v současnosti prochází řadou letových i pozemních testů. Společnost plánuje první komerční let s posádkou na rok 2018, [45].

4.3.2. The New Glenn

Po ukončení vývoje konfigurace New Shepard a jejího úspěšného uvedení pro komerční využití se společnost chystá vytvořit nosnou raketu pro dopravu kapsle na oběžnou dráhu a eventuálně i dál. Tato raketa ponese název The New Glenn. Stejně jako u její menší suborbitální sestry bude i první stupeň této rakety vícenásobně použitelný.

Vývoj rakety započal v roce 2012. Podle předpokladů by měla existovat ve dvoustupňové a trojstupňové konfiguraci, přičemž vícenásobně použitelný by měl být pouze první stupeň. Pro pohon prvního stupně by mělo být použito 7 motorů BE-4. Tyto motory vycházejí z předchozího typu BE-3. Spalováním směsi kapalného kyslíku a kapalného zemního plynu by měly být schopny poskytovat až 17 100 kN tahu. S dokončením motorů se počítá v průběhu tohoto roku.

K pohonu druhého stupně rakety by měl sloužit 1 motor BE-4, upravený pro použití ve vakuu. Jeho maximální tah by měl činit 2 400 kN. Poslední třetí stupeň by měl být poháněn upraveným motorem BE-3 o tahu 490 kN.

Celková nosnost rakety The New Glenn by měla dle propočtů činit 45 000 kg. Tím by se takřka přiblížila Falconu Heavy společnosti Space X. Jelikož se nepočítá s vícenásobnou použitelností 2. a 3. stupně, má společnost Blue Origin usnadněnou práci. Bude to však nejspíš vykoupeno většími náklady v důsledku jejich ztráty při každém letu. První testovací lety jsou naplánovány na rok 2020, [45].

Tabulka 4-3. Obsahuje základní technická data rakety New Glenn. Údaje pro její vypracování pochází ze zdrojů, [45,63].

Výška dvoustupňové verze	82 m
Výška třístupňové verze	95 m
Průměr	7 m
Hmotnost nákladu na LEO	45 t
Hmotnost nákladu na GTO	13 t
Motory	7 x BE-4
Tah při startu	17 100 kN

Tab. 4-3. Technická data rakety New Glenn

Obr 4-10. zobrazuje New Glenn ve dvoustupňové a třístupňové verzi. V pravé části pak vícenásobně použitelný první stupeň.



Obr. 4-10. The New Glenn, [63]

4.4. Vulcan (United Launch Alliance)

Rodina nosných raket Vulcan je dlhou očkávaným projektem United Launch Alliance (ďalej len „ULA“). Po dokončení vývoje by mali tieto rakety eventuálne nahradit súčasné nosiče Atlas a Delta. Organizácia počíta s vývojom rôznych konfigurácií, od stredných až po ťžké. Hlavnými cili tohto projektu jsou mimo sníženi ceny také zvýšení spolehlivosti a široké pole využití.

Vývoj tohoto projektu začal roku 2014. První významnou změnou oproti raketám Atlas a Delta by mělo být použití amerických raketových motorů BE-4 (Blue Origin), namísto doposud využívaných ruských motorů RD-180. První stupeň by měl být poháněn dvěma motory BE-4 a eventuálně až 6 pomocnými boostery (Obr. 4-11.).



Obr. 4-11. Raketa Vulcan, [64]

Jelikož je snižování ceny vesmírných letů v současné době otázkou číslo jedna, rozhodla se i ULA řešit problematiku vícenásobné využitelnosti. U projektu Vulcan však neplánují provádět přistání prvního stupně, nýbrž se chystají zachraňovat pouze hlavní motory. Podle propočtů by tak mělo dojít ke snížení ceny za pohon prvního stupně až o 90% a celková úspora na výrobě prvního stupně by pak měla činit 65%.

ULA se rozhodla přistoupit k systému záchrany motorů za letu. Po odpojení od zbytku prvního stupně by měly motory směřovat volným pádem k Zemi a jejich tepelnou ochranu při prostupu atmosférou by měl zajistit výsuvný tepelný štít. Posléze by mělo dojít k vystřelení padáků a nakonec by měly být motory zachyceny speciálně upraveným vrtulníkem.

Projekt raket Vulcan ukazuje jiný pohled na věc vícenásobné využitelnosti. Finanční úspora sice nebude v porovnání se Space X a Blue Origin taková, ale výhodou může být bezesporu menší technická náročnost tohoto řešení. První start je prozatím naplánován na rok 2019, [46].

5. Nové vesmírné prostředky pro přepravu osob a nákladu

Jak už bylo řečeno dříve, pro USA byl program Space Shuttle naprosto nepostradatelný. Umožňoval totiž širokou škálu využití. Bylo možné přepravovat kosmonauty, materiál, a to jak do vesmíru, tak zpět. Astronomicky vysoké náklady na provoz však zapříčinily konec programu v roce 2011.

Již v roce 2004 však představil tehdejší prezident George Bush Jr. novou vizi americké kosmonautiky. Mimo ukončení provozu raketoplánů počítala s vývojem nových nosných raket a pilotované lodi. Tyto projekty měly následně obnovit lety na Měsíc a kolem roku 2030 uskutečnit pilotovanou výpravu na Mars. Tato iniciativa, nesoucí označení Constellation (suhvězdí), však měla háček. Její realizace byla během na dlouhou trať. Musela by přežít řadu politických změn jak v kongresu, tak v úřadu prezidenta. Změnu přineslo již zvolení Baracka Obamy.

Pro Obamu nebyla kosmonautika prioritou. Program Constellation zrušil a nahradil jej plánem Kosmonautika pro 21. století. Oba programy však zachovaly vývoj lodi Orion, o které se více rozepíší později. Programy obou prezidentů se však shodovaly i v dalším bodě. Běžnou dopravu posádek a užitečného nákladu na nízkou oběžnou dráhu by měly v budoucnu převzít soukromé organizace, zatímco NASA by se měla věnovat skutečným průzkumným misím, [18,19].

V současné době jsou hlavními adepty pro zprostředkovávání spojení mezi Zemí a ISS společnosti SpaceX, Boeing, Lockheed-Martin a Siera Nevada Corporation. O projektu Siera Nevada Corporation s označením Dream Cheaser se více zmíním v následující kapitole o nových projektech raketoplánů. V této kapitole se zaměřím na projekty ostatních společností. Tyto projekty mají jedno společné. Ve všech případech se jedná o koncept návratové kapsle.

5.1. Dragon (Space X)

Dragon je kosmická loď, vyvinutá společností Space X. Vývoj byl do značné míry spolufinancován NASA. Již v roce 2006 totiž byla Space X v rámci programu COTS (Commercial Orbital Transportation Services) vybrána, aby zajistila vývoj kosmické lodi pro dopravu nákladu a výhledově i posádky k ISS. První zkušební let byl

uskutečněn v roce 2010. Dragon se tak stal první soukromou kosmickou lodí, která dosáhla oběžné dráhy a poté se úspěšně vrátila na Zemi. První ostrá mise k ISS proběhla v roce 2012. Dragon ke stanici úspěšně dopravil náklad a k Zemi poté odnesl již nepotřebný materiál. Tuto činnost měly do této chvíle na starosti pouze kosmické lodě národních kosmických organizací.

Jak už jsem naznačil dříve, jedná se o loď klasické koncepce s návratovou kapslí. V současné nákladní konfiguraci dokáže **Dragon** přepravit až 3310 kg nákladu. Kromě návratové kapsle je součástí lodi i válcová část, ke které je připojen jeden pár solárních panelů. Tato nadstavba není určena pro opětovný návrat.

Pro start lodi vyvinula společnost Space X již dříve zmíněnu raketu Falcon 9. Pro návrat k Zemi se v první fázi využívá výhodných aerodynamických vlastností kapsle a posléze systému 2 pomocných a 3 hlavních padáků.



Obr. 5-1. Kapsle Dragon V2, [28]

Po dohodě s NASA vyvíjí Space X pilotovanou verzi s označením **Dragon V2** (Obr. 5-1.). Tato verze je vyvíjena s důrazem na pohodlí, bezpečí a zážitek z letu. Skrz 4 prostorná okna mohou pasažéři sledovat Zemi, Měsíc apod. Dragon V2 také obsahuje moderní systém, který v případě selhání rakety kapsli co nejrychleji dopraví do

dostatečné vzdálenosti a umožní tak bezpečný návrat k Zemi. Na rozdíl od předchozí verze nebude k přistání využíváno padáků, nýbrž systému trysek. Pomocí řídicího panelu mohou astronauti v reálném čase sledovat veškeré údaje o letu, regulovat teplotu vzduchu v kabině, apod. Dragon V2 bude stejně jako jeho předchůdce řízen plně automaticky. Bude jej však také možné ovládat přímo z paluby. První let s posádkou by se měl uskutečnit začátkem roku 2018.

Space X počítá i s vývojem verzí **DragonLab** a **Red Dragon**. DragonLab by měla být nepilotovaná verze, určená pro samostatné lety ve vesmíru a provádění nejrůznějších experimentů. Verze Red Dragon by měla být schopna dopravit až 1000 kg nákladu na Mars. [28,29,30]

5.2. CST-100 Starliner (Boeing)

Společnost Boeing jistě není třeba představovat. Kromě vývoje vojenských a civilních letadel se dlouhodobě věnuje i vývoji vesmírných plavidel. V roce 2008 byla společnost v rámci programu CCDev (Commercial Crew Development) vybrána NASA pro vývoj vesmírné lodi, určené pro zajištění spojení mezi Zemí a ISS. Podle kontraktu by měl Starliner vykonat k ISS 2 až 6 letů s posádkou. Popřípadě by mohl sloužit k dopravě ke spojení mezi Zemí a navrhovanou stanicí společnosti Biegelow Aerospace.

Projekt CST-100 Starliner (Obr. 5-2.) je v mnohém podobný projektu Orion. Kapsle je však v porovnání s Orionem o něco menší. Starliner je konstruován pro přepravu až 7 pasažérů. Nejčastěji by však měl přepravovat posádku 4 astronautů. Na oběžné dráze bude schopen vvdržet až 7 měsíců.



Obr. 5-2. Kapsle Boeing CST - 100 Starliner, [32]

Pro vynášení na oběžnou dráhu bude možné využít více nosných raket. Jako příklad lze uvést Atlas V, Delta IV, Falcon 9 nebo plánovanou raketu Vulcan. Při přistání bude Starliner využívat mimo systému padáků také systém airbagů, které mají za úkol zmírnit účinky nárazu při přistání.

První testovací let bez posádky je naplánován na červen 2018. V srpnu 2018 by mělo dojít k prvnímu testovacímu letu s posádkou a k první misi k ISS by měl Starliner odstartovat v prosinci stejného roku, [32,33].

5.3. The New Shepard System (Blue Origin)

The New Shepard System je vícenásobně použitelná suborbitální konfigurace, s vertikálním startem i přistáním. Výrobcem je americká společnost Blue Origin. Na rozdíl od Space X v současné době není schopna letů na oběžnou dráhu, a tím pádem v podstatě nepatří do této kapitoly. Je však dobré tento projekt zmínit, jelikož vlastní kapsle se v mnohém podobá Dragonu, Starlineru i Orionu. V roce 2011 Blue Origin podepsala smlouvu s NASA, ve které se zavazuje k vývoji vícenásobně použitelného prostředku, určeného k vynášení výzkumného zařízení do výšky okolo 100 km. Tyto výzkumné mise jsou již realizovány v rámci testovacích letů. Kromě této výzkumné konfigurace je vyvíjena i verze, určena pro lety s posádkou.

The New Shepard System se skládá z nosné rakety a kapsle (Obr. 5-3.), umístěné na špici. Nosná raketa byla již popsána v předchozí kapitole. Nyní se budu věnovat popisu kapsle, určené pro vesmírnou turistiku.

Vnitřní prostor kapsle o objemu 15 m³ je vybaven sedadly pro 6 pasažérů. Společnost udává, že je dostatečně prostorný na to, aby si každý z členů posádky mohl plně vychutnat stav beztlíže. Stěny kapsle jsou vybaveny 6 okny, rozmístěnými pravidelně po celém obvodu. Technologie výroby oken klade důraz na maximální prostupnost světla. V kombinaci s velkými rozměry oken obdrží pasažéři ničím nerušený výhled na okolní Vesmír.

Po vypnutí motorů nosné rakety ve výšce okolo 55 km a čase cca 150 s po startu, pokračuje celá konfigurace pomocí setrvačných sil k hranici vesmíru. Ve výšce okolo

90 km dochází k oddělení nosné rakety a kapsle a posádka začíná pociťovat stav beztíže. V čase 4 min po startu dosahuje kapsle hranice vesmíru a začíná volně padat zpět k Zemi. Po 4 minutách volného pádu kapsle otvírá nejprve pomocné, posléze hlavní padáky a za další 2 minuty přistává.

Kromě systému padáků disponuje kapsle také bezpečnostním systémem, v případě poruchy před oddělením od nosné rakety. Tento systém realizuje soustava motorů na pevné pohonné hmoty, která se v případě poruchy na 2 s zažehne a dopraví tak kapsli do bezpečné vzdálenosti od nosiče.



Obr. 5-3.Kapsle Blue Origin, [31]

The New Shepard System provedl od roku 2015 do současnosti 5 testovacích letů. Ve všech případech došlo k bezpečnému přistání kapsle. Pouze v prvním případě došlo k destrukci nosné rakety při přistání. V současné chvíli se společnost rozhoduje, kolik dalších kapslí a nosičů bude zapotřebí vyrobit. První let s posádkou je naplánován na začátek roku 2018, [31].

5.4. Orion (NASA)

Orion je nový vícenásobně použitelný vesmírný dopravní prostředek, určený pro vykonávání výzkumných misí v doposud nedosažitelných oblastech vesmíru. Jedná se v současné době o jeden z vůbec nejambicióznějších projektů. Jeho vývoj zaštiťuje

NASA ve spolupráci s firmami Lockheed-Martin a Airbus Defence and Space. Projekt Orion je velkým příslibem do budoucnosti. Již nyní je pro něj naplánováno mnoho velmi odvážných misí, jako například pilotované lety k asteroidům a na Mars.

Vývoj tohoto projektu byl pod názvem „The Orion Crew Exploration Vehicle“ (CEV) oznámen již v roce 2011 v rámci programu Constellation. V té době se počítalo s vývojem prostředku pro dva hlavní účely, a to bezpilotní zásobování ISS a také návrat člověka na Měsíc. V roce 2010 však úřad nového prezidenta Obamy program Constellation zrušil a s ním i mnoho rozběhnutých projektů. Orion se však zrušení vyhnul a jeho vývoj pokračoval pod názvem „Multi-Purpose Crew Vehicle“ (MPCV). Se změnou názvu nastala i změna hlavního konceptu vývoje. Od této chvíle nebyl Orion vyvíjen ve více verzích, nýbrž jako univerzální prostředek schopný plnění všech úkolů.

Orion (Obr. 5-4.) vychází po designové stránce z velitelského modulu Apollo. Je však výrazně větší a poskytuje možnost přepravy až pro 6 astronautů. Je konstruován pro vykonávání dlouhých výzkumných misí. Aktivní samostatné činnosti by měl být schopen po dobu až 21 dní. V klidové fázi, při níž se využívá podpůrných modulů (např. „Deep Space Habitat“), by pak měl vydržet až 6 měsíců. Veškeré systémy Orionu jsou vytvořeny s důrazem na možnost průběžného aktualizování a vylepšování.



Obr. 5-4. Kapsle Orion, [65]

MPCV se skládá ze dvou hlavních částí, jimiž jsou modul pro posádku („Crew modul“) a servisní modul („Service modul“). Servisní modul zajišťuje mimo pohonu také zásobu kyslíku a pitné vody pro posádku. Do vesmíru je MPCV vynášen pomocí nosných raket, vyvíjených v programu Space Launch System. Tento program ve značné míře vychází z programu Space Shuttle.

První bezpilotní testovací let byl uskutečněn 5. prosince 2014. Orion odstartoval na špičce rakety Delta IV Heavy, 2x obletěl Zemi a po 4,5 h úspěšně přistál na hladině Tichého oceánu. Během letu dosáhl Orion výšky 5800 km a rychlosti 8900 m/s.

V současné době probíhají různá testování systémů Orionu. Další testovací let s názvem „Exploration Mission-1“ bude uskutečněn po dokončení nové nosné rakety v rámci programu SLS. Tento let bude opět bezpilotní a bude trvat cca 25 dní. Orion při něm vykoná velký okruh okolo Měsíce. Následující let s názvem „Exploration Mission-2“ bude probíhat stejně, ale na palubě bude přítomna posádka. Mezi lety 2020 a 2030 je naplánován pilotovaný let k asteroidu a po roce 2030 by měla přijít první pilotovaná mise na Mars, [34,35,36].

6. Nové projekty raketoplánů

Nové projekty raketoplánů v dnešní době zosobňují alternativu k projektům vesmírných kapslí a vícenásobně použitelných raket, které jsem již zmínil dříve. Po zrušení projektu Space Shuttle je však velmi nepravděpodobné, že by se jej některý ze současných projektů pokusil napodobit.

Dnešní raketoplány jsou totiž ve valné většině výrazně menší a nedosahují zdaleka takových výkonů. Jejich primárním účelem je ve valné většině suborbitální vesmírná turistika. Existují však i projekty, které přímo konkurují vesmírným kapslím a mají ambice zprostředkovávat dopravu posádky či materiálu na oběžnou dráhu.

6.1. Scaled Composites

Scaled composites je jednou z nejrozvinutějších firem v oblasti vývoje prostředků pro vesmírnou turistiku. Byla založena roku 1982 Burtem Rutanem a v současnosti je vlastněna společností Northrop Grumman. Nachází se v Mojava Spaceport, Kalifornie, USA.

Ještě před vznikem Scaled Composites se Burt Rutan věnoval jiným projektům. Za zmínku stojí například letouy VariEze nebo Voyager, se kterým dokázal Burtův bratr Dick obletět bez dotankování svět.

6.1.1. SpaceShipOne

SpaceShipOne je první soukromý raketoplán, který uskutečnil pilotovaný let. Jedná se o třímístný letoun, vytvořený pro suborbitální lety do výšky okolo 100 km. Unikátní konfigurace letounu poskytuje velmi dobré vlastnosti z hlediska zrychlení, klouzavého letu i přistání. Tvar letounu je také příznivý z hlediska návratu atmosférou, jelikož dokáže redukovat aerodynamický odpor a také nezpůsobuje velké zahřívání povrchu. Raketoplán je možno ovládat i dálkově, což bylo využito při prvním zkušebním letu. Pohonnou jednotku tvoří hybridní raketový motor, který je poháněn směsí polybutadienu (umělý kaučuk) a oxidu dusného. Výkony SpaceShipOne se však nedají srovnat s orbitálními raketoplány. Dosahuje maximální rychlosti okolo Mach 3, což je hluboko pod první kosmickou rychlostí, a tedy není schopen orbitálního letu.

SpaceShipOne uskutečnil první soukromý pilotovaný let suborbitálního raketoplánu, a to v roce 2004. Téhož roku vyhrála společnost Scaled Composites 10 mil USD v soutěži Ansari X Prize. Jednalo se o odměnu pro firmu, která jako první dokáže dvakrát během dvou týdnů pokořit hranici 100 km. O pár měsíců později byl provoz raketoplánu ukončen, [20].



Obr. 6-1. SpaceShipOne, [20]

Základní technická data raketoplánu SpaceShipOne obsahuje Tab. 6-1. Informace pro její vypracování byly použity ze zdroje, [68].

Rozpětí	5 m
Délka	8,5 m
Maximální hmotnost	3,6 t
Dostup	112 km
Posádka	3 os

Tab. 6-1. Technická data raketoplánu SpaceShipOne

6.1.2. SpaceShipTwo

Jak už název napovídá, jedná se o pokračování projektu SpaceShipOne. SpaceShipTwo je výsledkem spolupráce mezi společnostmi Scaled Composites (výrobce raketoplánu) a Virgin Galactic (rozvoj vesmírné turistiky). Je konstruován pro přepravu 8 členů posádky, včetně 2 pilotů. To znamená historicky nejpočetnější letovou posádku. Pouze mise Space Shuttle s označením STS-61-A (1985) se může pyšnit stejným číslem. Každý ze členů posádky získá po uskutečnění letu oficiální status astronauta.

Pohon SpaceShipTwo taktéž zajišťuje hybridní raketový motor. Jeho použití je pro tento projekt velmi výhodné, protože motor může být rychle zastaven a znovu spuštěn v kterékoli fázi letu. To znamená obrovskou výhodu v porovnání s motory na tuhé pohonné hmoty. Také není zapotřebí kryogenních palivových nádrží a složitých palivových rozvodů, jak je tomu u motorů na kapalné pohonné hmoty.

Stejně jako SpaceShipOne používá i SpaceShipTwo unikátní, velmi bezpečný systém pro návrat atmosférou. Pomocí tohoto systému dokáže kombinovat vlastnosti návratového modulu (kapsle) a okřídleného letounu. Během letu totiž dokáže měnit svoji konfiguraci pomocí naklápění ocasu letounu, a benefitovat tak z vlastností obou těles. Okřídlený letoun je schopen plynulého zpomalování a je schopen velmi přesného přistání. Nevýhodou jsou však vysoké teploty povrchu při prostupu atmosférou, díky kterým je zapotřebí použít pokročilou tepelnou ochranu. Kapsle naopak nepotřebuje tak sofistikovaný systém tepelné ochrany, ale vystavuje astronauty o poznání razantnějšímu zpomalování a také není schopna tak přesného přistání. V roce 2013 však tento systém způsobil nehodu letounu. Zámek, který zabezpečuje kloub proti nechtěnému otáčení, selhal, a došlo tak ke zlomení a destrukci.

Kabina SpaceShipTwo je koncipována pro maximální pohodlí pasažérů a maximální zážitek z letu. Okna na stranách i stropu jsou vytvořena tak, aby poskytovala co nejlepší výhled na vesmírné nebe i planetu Zemi. Účinky přetížení při startu a sestupu jsou eliminovány pomocí speciálních sedadel, která se polohují tak, aby byl pasažér vždy tlačěn směrem do sedačky.



Obr. 6-2. SpaceShipTwo, [66]

Základní technická data raketoplánu SpaceShipTwo obsahuje Tab. 6-2. Informace pro její vypracování byly použity ze zdroje, [69].

Rozpětí	8,2 m
Délka	18,8 m
Výška	4,6 m
Maximální hmotnost	9,74 t
Dostup	110 km
Posádka	8 os

Tab. 6-2. Technická data raketoplánu SpaceShipTwo

Ke slavnostnímu odhalení letounu došlo 19. února 2016. V současné době prochází důkladným testováním, aby mohl co nejdříve začít poskytovat komerční lety, přičemž cena jedné letenky se pohybuje okolo 250 000 USD, [21].

6.1.3. White Knight

WhiteKnightOne a WhiteKnightTwo jsou pilotované čtyřmotorové proudové letouny, určené pro lety do velkých výšek. První let WhiteKnightOne byl uskutečněn v roce 2002. Primárním účelem letounů je vypouštění SpaceShipOne, respektive SpaceShipTwo za letu, ve výšce okolo 14 km. Díky velkému poměru tahu a vzletové hmotnosti, či vysoce účinným aerodynamickým brzdám je možno simulovat řadu letových manévru, vykonávaných při letu vlastního raketoplánu.

Dalším možným využitím letounů WhiteKnight je výzkum atmosféry, telekomunikace nebo vypouštění mikrosatelitů, [20,21].

6.2. Sierra Nevada Corporation

Sierra Nevada Corporation je americká společnost, zabývající se vývojem mikrosatelitů, telemedicíny a komerčních prostředků pro dopravu posádky a nákladu na nízkou oběžnou dráhu. Byla založena roku 1963. Dnes má více než 3000 zaměstnanců a působí na 34 místech v USA, Anglii, Německu a Turecku, [22].

6.2.1. Dream Chaser

Dream Chaser je vícenásobně použitelný orbitální kosmický letoun, koncipovaný jako vztlakové těleso. Jeho vývoj trvá již více než 10 let a informace, které jsou pro něj nezbytné, byly získány z řady předchozích projektů. Jako nejdůležitější lze uvést například vztlaková tělesa HL-10 a HL-20 nebo raketoplán Space Shuttle. Start raketoplánu bude probíhat ve vertikální poloze na špičce nosné rakety Atlas V. Přistání poté bude probíhat horizontálně a bude k němu možné použít kteroukoli konvenční přistávací dráhu v USA i jinde.

V současné době je Dream Cheaset vyvíjen ve dvou verzích:

- **Dream Chaser Cargo System (bezpilotní)** je vyvíjen pro přepravu 5500 kg tlakového i netlakového nákladu na ISS a zpět. Toto řešení by mělo splňovat a dokonce i převyšovat současný systém dopravy nákladu, používaný NASA.
- **Dream Chaser Space System (pilotovaný i bezpilotní)** je určen pro přepravu až 8 osob a nákladu na nízkou oběžnou dráhu.

V říjnu 2013 byl uskutečněn první let raketoplánu. Jednalo se o klouzavý let po shozu ze závěsu vrtulníku. Test proběhl úspěšně, ale při přistání nedošlo k otevření jednoho kola podvozku. V roce 2015 byl dokončen druhý exemplář, který musí splnit smluvené testy v atmosféře. V roce 2016 zařadila NASA bezpilotní Dream Cheaser do programu zásobování ISS, jenž by měl zajišťovat od roku 2018 do roku 2022. V současné době také probíhají jednání o možnosti komerčního využití pilotovaného Dream Chaseru pro vesmírnou turistiku.

Hlavními konkurenty Dream Chaseru jsou projekty společností Space X (Dragon) a Boeing (CST-100), [23,24].



Obr. 6-3. Dream Chaser v hangáru Sierra Nevada Corporation, [23]

Základní technická data raketoplánu Dream Chaser obsahuje Tab. 6-3. Informace pro její vypracování byly použity ze zdroje, [70].

Rozpětí	7 m
Délka	8,8 m
Maximální hmotnost	9 t
Posádka	8 os
Hmotnost nákladu	5,5 t

Tab. 6-3. Technická data raketoplánu Dream Chaser

6.3. XCOR Aerospace

XCOR Aerospace je americká firma se základnou v Midlandu, Texas, USA. Zabývá se výrobou kosmických letounů a raketových motorů. Byla založena v roce 1999 tehdejšími členy společnosti Rotary Rocket Corporation.

V současné době se společnost zaměřuje na vývoj vícenásobně použitelných raketových motorů a kosmických letounů. Snaží se tyto platformy učinit dostupnější a snižovat náklady na jejich servis. Za hlavní cíl si vytyčuje udělat suborbitální vesmírné lety dostupné pro širokou veřejnost, [25].

6.3.1. XCOR Lynx

XCOR Lynx je suborbitální kosmický letoun určený pro vesmírnou turistiku. Jeho vývoj započal v roce 2003 pod označením Xerus. Koncept počítal s vývojem dvoumístného letounu, jehož primárním účelem mělo být vykonávání experimentů na hranici vesmíru. Počítalo se i s připojením orbitálního stupně, který měl po uvolnění dopravovat na oběžnou dráhu malé satelity. Projekt Lynx byl oznámen na počátku roku 2008 za účelem vytvořit letoun pro vesmírnou turistiku. V současné době existují verze Lynx Mark I a Lynx Mark II.

Program **Lynx Mark I** (označován jako Pioneer Program) nabízí let do výšky 60 km. Program **Lynx Mark II** (označován jako Founder Astronaut Program) pak nabízí let do výšky 100+ km, což je mezinárodně uznaná hranice vesmíru. Absolventi tohoto letu získají automaticky status astronauta. Ceny letenek se pohybují okolo 150 000 USD. V první fázi jich bylo nabídnuto 100 a všechny jsou již vyprodány. Další však budou k dispozici v rámci Future Astronaut Program, který bude následovat. Lynx Mark II by měl započít svou komerční dráhu rok po prvním startu Lynx Mark I, jehož datum však není známo. Společnost však udává, že by se měl uskutečnit již brzy.



Obr. 6-4. XCOR Lynx, [67]

Byl oznámen i vývoj letounu **Lynx Mark III**. Tento stroj by měl vycházet z verze Mark II. Na jeho hřbetu by však měl být umístěn druhý stupeň, určený pro vynášení mikrosatelitů na nízkou oběžnou dráhu, [26].

Pohon letounů Lynx zajišťuje raketový motor na kapalné pohonné hmoty s označením XCOR XR-5K18. Tento motor spaluje směs kapalného kyslíku a kerosinu a je schopen zastavení a opětovného spuštění během letu, [27].

Základní technická data raketoplánu XCOR Lynx obsahuje Tab. 6-4. Informace pro její vypracování byly použity ze zdroje, [71].

Rozpětí	7,3 m
Délka	8,51 m
Výška	2,2 m
Maximální hmotnost	4,85 t
Posádka	2 os
Dostup	103 km

Tab. 6-4. Technická data raketoplánu XCOR Lynx

6.4. Skylon (Reaction Engines Limited)

Skylon Space Plane je projektem SSTO raketoplánu britské společnosti Reaction Engines Limited (dále jen „REL“). Jedná se o koncept plně znovupoužitelného orbitálního raketoplánu s horizontálním startem i přistáním. Každý z letounů Skylon by měl být schopen provést až 200 letů. Mělo by tak dojít k dramatickému snížení ceny za vynesení 1 kg materiálu a to na 1000 USD.

Vývoj raketoplánu Skylon (Obr. 6-5.) navazuje na britský projek Hotol z 80. let. Pro pohon raketoplánu jsou určeny hybridní motory Saber. Tyto motory jsou do značné míry revoluční. Fungují totiž na principu spalování kapalného vodíku a kyslíku, který má být v první fázi letu čerpán přímo z atmosféry. Po dosažení výšek s příliš řídkou atmosférou má pak přijít na řadu kapalný kyslík z nádrží raketoplánu. Z důvodu tohoto principu činnosti motorů by měl Skylon co nejdéle setrvat v atmosféře, a nabrat tak velkou rychlost za přispění atmosférického kyslíku. Až po té by měl začít strměji stoupat k určené oběžné dráze.

Alfou a omegou celého projektu je systém chlazení vzduchu vstupujícího do motorů. Při velkých rychlostech totiž teplota nasávaného vzduchu může přesahovat 1000 °C a takto horký vzduch by mohl způsobit jejich poškození. Pro chlazení vzduchu vyvinula společnost REL speciální chladicí blok, nazývaný jako „Pre-Cooler“. Tento blok by měl nasávaný vzduch ochladit na teplotu okolo -150°C. Funkčnost tohoto řešení je v současné době testována a REL tvrdí, že s uspokojivými výsledky.

V současné době není známo přesné datum, kdy by mělo dojít k výrobě prototypu raketoplánu a kdy by měly případně nastat letové zkoušky. Spekuluje se však o roku 2025. Bude se to odvíjet od množství finančních zdrojů, které budou do projektu investovány, a také od množství technických komplikací, které tento projekt ještě čekají, [72,73].



Obr. 6-5. Návrh raketoplánu Skylon, [73]

Základní technická data raketoplánu Skylon obsahuje Tab. 6-5. Informace pro její vypracování byly použity ze zdroje, [72].

Rozpětí	26,8 m
Délka	83 m
Maximální hmotnost	325 t
Hmotnost nákladu	15 t
Dostup	600 km

Tab. 6-5. Technická data raketoplánu Skylon

6.5. Shrnutí a porovnání

Jak jsem již zmínil dříve, nové projekty raketoplánů jsou vyvíjeny za různými účely využití. Ve valné většině se jedná o vesmírnou turistiku. Najdou se však i odvážnější projekty orbitálních raketoplánů, které by měly zajišťovat dopravu materiálu a posádky na oběžnou dráhu.

Tabulka 6-6. obsahuje základní informace shrnující výše zmíněné projekty. Informace pro její vypracování byly získány ze dříve uvedených zdrojů.

	Space Ship One	Space Ship Two	Dream Chaser	XCORE Lynx	Skylon
Hlavní účel	Vesmírná turistika	Vesmírná turistika	Orbitální doprava	Vesmírná turistika	Orbitální doprava
Trvání	1994 - 2004	Od 2004	Od 2006	Od 2003	Od 2002
První start	2003	2013	Plánován na 2018	Plánován na 2018	Plánován na 2025
Startovní hmotnost	3,6 t	9,74 t	9 t	4,85 t	325 t
Náklad	-	-	5,5 t	-	15 t
Posádka	3 os	8 os	8 os	2 os	-
Typ	Suborbitální	Suborbitální	Orbitální	Suborbitální	Orbitální

Tab. 6-6. Shrnutí a porovnání nových projektů raketoplánů

Mimo výše zmíněných projektů jsem opomenul zmínit projekt amerického bezpilotního experimentálního raketoplánu **Boeing X-37**. Tento projekt je vyvíjen již od roku 1999. Rozpětí jeho křídel činí 4,6 m, délka 8,8 m a hmotnost 5 tun. Od roku 2006 do současnosti provedl 4 orbitální lety. Nejdelší z nich trval obdivuhodných 718 dní.

Od roku 2004 spadá tento program pod bezpečnostní agenturu DARPA. Od této chvíle proniká na veřejnost jen omezené množství informací, jak co se týče účelu jednotlivých misí, tak ohledně budoucnosti celého projektu a jeho modifikací. Spekuluje se však o možnostech využití pro vojenské účely a taktéž o vytvoření větší verze, která by mohla sloužit pro přepravu posádky, [74].

7. Závěr

Tato práce se věnuje historicko-technickému přehledu vývoje vícenásobně použitelných vesmírných dopravních prostředků. Ze zkoumání vyplývá, že vícenásobně použitelnosti bylo v minulosti dosahováno zejména vývojem raketoplánů.

S prvními projekty tohoto typu se setkáváme již ve 30. letech 20. století. Nejvýraznější pokrok ve vývoji raketoplánů pak přineslo období studené války. Soupeření USA a Sovětského svazu motivovalo konstruktéry k vytváření velmi odvážných konceptů, které se však ve většině případů nepodařilo dokončit z důvodů přílišné technické náročnosti nebo nedostatku finančních prostředků. Tyto projekty však vedly k získání nezbytných znalostí, které byly později využity při vývoji amerického raketoplánu Space Shuttle, respektive sovětského Buranu.

Projektem Space Shuttle odstartovala nová éra kosmonautiky. Podle plánu měl razantně snížit náklady na kosmickou dopravu a také měl mít univerzální využití. První předpoklad však nebyl bohužel splněn. Enormní náklady na provoz a taktéž problematická bezpečnost, která vedla ke dvěma tragickým nehodám, nakonec zapříčinily jeho zrušení. I přes to je však Space Shuttle navždy zapsán v historii kosmonautiky jako revoluční projekt, který významně urychlil poznávání vesmíru. Nejvýznamnějším ruským projektem je beze sporu Eněrgija-Buran. Tento raketoplán, ačkoli velmi podobný Space Shuttle, měl před sebou velkou budoucnost. Rozpad SSSR však znamenal jeho konec.

Zrušení amerického raketoplánu dalo vývoji kosmonautiky nový směr. Počátkem 21. století vzniklo několik soukromých firem, které se začaly věnovat projektům vícenásobně použitelných nosných raket nové generace. Tento koncept se ukázal ekonomicky velmi příznivý. Jeho nevýhodou je však velká technická náročnost, spojená s přistáním rakety. Samotný návrat atmosférou je však v porovnání s raketoplánem snazší, jelikož raketa produkuje menší aerodynamický odpor, a tím pádem je sestup méně rizikový z hlediska tepelné ochrany.

Nosné rakety nové generace jsou fenoménem dnešní doby a čeká je bezesporu velká budoucnost. Jejich alternativou však zůstávají nové projekty raketoplánů. Jedná se ve valné většině o projekty soukromých firem, které by měly v nejbližší době začít zprostředkovávat suborbitální vesmírnou turistiku. Existují však i projekty malých

orbitálních raketoplánů, jako jsou Dream Chaser nebo tajný raketoplán Boeing X-37. Velmi odvážným projektem je pak raketoplán typu SSTO, nesoucí název Skylon. Tento jednostupňový raketoplán by se měl svými rozměry předčit i dříve zmiňovaný Space Shuttle.

Současný vývoj naznačuje, že nejbližší budoucnost vesmírné dopravy by měla patřit zejména vícenásobně použitelným nosným raketám. Projekty raketoplánů se však snaží nezůstat pozadu a téměř jistě přijde den, kdy se opět přihlásí o slovo.

Literatura:

- [1] KUSÁK, Jan. *Kosmické rakety dneška*. Valašské Meziříčí: Hvězdárna Valašské Meziříčí, 1998. ISBN 80-902445-3-X.
- [2] KUBALA, Petr. *Raketoplány - Příběh kosmických korábů*. Prostějov: Computer Media, 2008. ISBN 978-80-7402-003-2.
- [3] Nacistický raketový program. *IDnes* [online]. 2012 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://jamsedlacek.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=242366>
- [4] Vesmírné závody, světlá stránka studené války. *EkonTech* [online]. 2012 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.ekontech.cz/clanek/vesmirne-zavody-svetla-stranka-studene-valky>
- [5] Uragan Space Interceptor. *Encyclopedia Astronautica* [online]. c1997-2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/u/uraganspaceinterceptor.html>
- [6] North American X-15. *Smithsonian National Air and Space Museum* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/north-american-x-15>
- [7] X-20 Dyna Soar. *NASA Cultural Resources* [online]. 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://crgis.ndc.nasa.gov/historic/X-20_Dyna-Soar
- [8] Kolik bylo vyrobeno amerických raketoplánů? *Česká Astronomická Společnost* [online]. 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanky/kosmonautika/kolik-bylo-vyrobeno-americky-raketoplanu.html>
- [9] Past Projects: Lifting Bodies. *NASA cultural resources* [online]. 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/Lifting/index.html>
- [10] Past Projects: HL-10 Lifting Body. *NASA cultural resources* [online]. 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/Lifting/HL10/index.html>
- [11] NASA Armstrong Fact Sheet: HL-10 Lifting Body. *NASA cultural resources* [online]. 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-010-DFRC.html>
- [12] NASA HL-20. *Hitechweb* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.hitechweb.genezis.eu/spacefighters1c.htm>
- [13] HL-20. *Encyclopedia Astronautica* [online]. c1997-2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/h/hl-20.html>

- [14] Spiral. *Russian space web* [online]. 2008 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.russianspaceweb.com/spiral_development.html
- [15] MP-1. *Russian space web* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/raketoplan.html>
- [16] Projekt MAKS. *Kosmo* [online]. 2003 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.kosmo.cz/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=481>
- [17] MAKS. *Encyclopedia Astronautica* [online]. c1997-2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/m/maks.html>
- [18] Constellation program. *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Constellation-program>
- [19] PŘIBYL, Tomáš. Kam poletíš, Ameriko? *100+1 zahraniční zajímavost* [online]. 2012, 18-21 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.materialy21.cz/wp-content/uploads/2014/02/18-21_Budoucnost_kosmo_new3.pdf
- [20] SpaceShipOne WhiteKnight. *Scaled Composites* [online]. c2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.scaled.com/projects/tierone/>
- [21] SpaceShipTwo. *Virgin Galactic* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.virgingalactic.com/human-spaceflight/our-vehicles/>
- [22] About SNC. *SNCorp* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.sncorp.com/who-we-are/about-snc/>
- [23] About Dream Chaser. *SNC Space* [online]. c1994-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.sncspace.com/ProductLines/AboutDreamchaser>
- [24] About Dream Chaser. *SNCorp* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.sncorp.com/what-we-do/dream-chaser-space-vehicle/>
- [25] About Us. *XCOR Aerospace* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.xcor.com/about>
- [26] Launch. *XCOR Aerospace* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.xcor.com/launch>
- [27] Propulsion. *XCOR Aerospace* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.xcor.com/propulsion>
- [28] Dragon. *Space X* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/dragon>
- [29] Crew Dragon. *Space X* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/crew-dragon>

- [30] Red Dragon. *Space* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/35024-nasa-spacex-red-dragon-mars-mission.html>
- [31] Our Approach to Technology. *Blue Origin* [online]. c2007-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.blueorigin.com/technology>
- [32] Starliner. *Boeing* [online]. c1995-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.boeing.com/space/starliner/#/overview>
- [33] Commercial Crew Spacecraft. *NASA* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/commercial-crew-spacecraft-will-offer-a-quick-escape-from-station>
- [34] What is Orion? *NASA* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orion-58.html>
- [35] Orion overview. *NASA* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/orion/about/index.html>
- [36] Orion spacecraft. *Lockheed Martin* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.lockheedmartin.com/us/ssc/orion-eft1.html>
- [37] Proč je tak těžké vyvinout vícenásobně použitelnou raketu? *OSEL* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/7996-proc-je-tak-tezke-vyvinout-vicenasobne-pouzitelnou-raketu.html>
- [38] Roton. *Encyclopedia Astronautica* [online]. c1997-2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/r/roton.html>
- [39] Elon Musk. *Biography* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.biography.com/people/elon-musk-20837159>
- [40] Falcon 9. *Space X* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/falcon9>
- [41] The why and how of landing rockets. *Space X* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/news/2015/06/24/why-and-how-landing-rockets>
- [42] Falcon Heavy. *Space X* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacex.com/falcon-heavy>
- [43] Interplanetary transport system. *Space* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/34210-elon-musk-unveils-spacex-mars-colony-ship.html>
- [44] Jeff Bezos Biography. *Space* [online]. 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/19341-jeff-bezos.html>
- [45] Engines. *Blue Origin* [online]. c2007-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.blueorigin.com/technology#engine_stories_1

- [46] RAY, Justin. *ULA unveils its future with the Vulcan rocket family* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://spaceflightnow.com/2015/04/13/ula-unveils-its-future-with-the-vulcan-rocket-family/>
- [47] KUŽEL, Stanislav. Na křídlech do kosmu – 1. Säger a jeho epigoni. *AeroWeb* [online]. c2005-2014 [cit. 2017-05-22]. ISSN 1801-6847. Dostupné z: <http://www.aeroweb.cz/clanky/3001->
- [48] Buran and Space Shuttle comparison. *Buran* [online]. c2008-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.buran.su/buranvssts-comparison.php>
- [49] V2-Rockets. *Mashable* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://mashable.com/2016/04/30/v2-rockets/#p_Ik3RxiKaqQ
- [50] Sputnik. *RadicalImpact* [online]. c2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://animationstudiotoronto.com/portfolio/sputnik/>
- [51] Explorer. *Smithsonian National Air and Space Museum* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/satellite-explorer-i>
- [52] NASA Space Shuttles. *4K HD Wallpapers* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.uhdwallpapers.org/2013/09/nasa-space-shuttles.html>
- [53] MiG-105 “Lapot” Spaceplane. *Diseno-art* [online]. c2005-2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.diseno-art.com/news_content/2013/08/mig-105-lapot-spaceplane/
- [54] Swiss Space Systems and Its Forerunners. *Citizens in space* [online]. 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.citizensinspace.org/2013/05/swiss-space-systems-and-its-forerunners/>
- [55] Did the Soviets Actually Build a Better Space Shuttle? *Popular mechanics* [online]. 2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.popularmechanics.com/space/rockets/a9763/did-the-soviets-actually-build-a-better-space-shuttle-16176311/>
- [56] Tribute to the Space Shuttle. *ESA* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Space_Shuttle/Shuttle_technical_facts
- [57] Buran tech specs. *Russian space web* [online]. 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/buran.html>
- [58] Rotary Rocket. *Laesie works* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.laesieworks.com/ifo/lib/VTOL.html>
- [59] Jaderné raketové motory. *MEK* [online]. 2001 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://mek.kosmo.cz/zaklady/rakety/jrm.htm>

- [60] SpaceX Falcon 9 Data Sheet. *Space Launch Report* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.spacelaunchreport.com/falcon9.html#f9v1-0log>
- [61] Falcon 9 landing. *Universe today* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.universetoday.com/128395/sensational-photos-show-super-smooth-droneship-touchdown-of-spacex-falcon-booster-spacex-vp-interview/>
- [62] Interplanetary transport system booster. *Spaceflight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://spaceflight101.com/spx/its-booster/>
- [63] BERGER, Eric. Blue Origin monster orbital rocket. *ARS Technica* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://arstechnica.com/science/2017/03/blue-origin-releases-details-of-its-monster-orbital-rocket/>
- [64] Vulcan Heavy. *Reddit* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/ula/comments/342t6o/vulcan_heavy_frosty/
- [65] Orion. *Explore deep space* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://exploredeepspace.com/deep-space-mission/getting-to-deep-space/orion/>
- [66] SpaceShipTwo. *Airline Reporter* [online]. 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.airlinereporter.com/tag/spaceshiptwo/>
- [67] Xcor Lynx Space Flight. *Fly Fighter Jet* [online]. c2005-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.flyfighterjet.com/xcor-lynx-space-flight>
- [68] SpaceShipOne. *Space* [online]. 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/16769-spaceshipone-first-private-spacecraft.html>
- [69] How SpaceShipTwo Will Work. *How stuff works* [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://science.howstuffworks.com/spaceshiptwo3.htm>
- [70] Dream Chaser. *Encyclopedia Astronautica* [online]. c1997-2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/d/dreamchaser.html>
- [71] *XCOR Lynx Payload User's Guide* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://biospaceexperiments.com/index_html_files/2012%20XCore%20Lynx%20Payload%20Users%20Guide.pdf
- [72] TATE, Karl. *How the British Skylon Space Plane Works (Infographic)* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/32112-how-skylon-space-plane-works-infographic.html>
- [73] POLÁK, Michal. Raketoplán budoucnosti bude využívat atmosféru. *Vesmír* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/raketoplan-budoucnosti-bude-vyuzivat-atmosferu>
- [74] WALL, Mike. X-37B: The Air Force's Mysterious Space Plane. *Space* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.space.com/25275-x37b-space-plane.html>