



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH A PŘEHLED BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ PRO PRŮZKUM VESMÍRNÝCH TĚLES

DESIGN AND OVERVIEW OF UNMANNED VEHICLES FOR EXPLORATION OF SPACE OBJECTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adéla Dostálová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Bartoněk

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Studentka: **Adéla Dostálová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Bartoněk**
Akademický rok: 2020/21

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:

Návrh a přehled bezpilotních prostředků pro průzkum vesmírných těles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V minulosti byly vyslány mnohé průzkumné sondy k většině vědecky zajímavých těles ve Sluneční soustavě. Byly na ně kladeny velmi různorodé požadavky, byly různého původu a určení.

Student(ka) provede rešerši nejvýznamnějších sond, shrne jejich výrazné konstrukční rysy a porovná je mezi sebou.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vytvořit přehled nejdůležitějších prostředků pro průzkum vesmírných těles. Uvést jejich parametry, účel a poznatky, které přinesly.
- 2) Připravit obecný souhrn vlastností těchto prostředků.
- 3) Porovnat jednotlivá koncepční řešení

Seznam doporučené literatury:

GALL, Jiří. Mise Juno k Jupiteru. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2020.

PEKAŘ, Štěpán. Využití robotických Roveru k průzkumu Mars. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je přehled bezpilotních prostředků pro průzkum vesmírných těles. První část práce se zabývá sondami, které byly vyslány k Měsíci. Shrnuje jejich parametry a výsledky jednotlivých misí. Druhá část je zaměřena na sondy vyslané k Marsu, jejich přínos a technické specifikace. Součástí práce je i porovnání koncepčních řešení vesmírných sond.

ABSTRACT

The content of this bachelor's thesis is overview of unmanned vehicles for exploration of space objects. The first part of this thesis address probes that have been sent to the Moon. Summarizes their parameters and results of individual missions. The second part focuses on probes sent to Mars, their contribution and technical specifications. Comparison of conceptual solutions of space probes is also included in this thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezpilotní prostředky, Curiosity, Chang'e, konstrukční řešení, Luna, Lunochod, Mariner, Mars, Měsíc, Pathfinder, Perseverance, sonda, Surveyor, vesmírná tělesa

KEYWORDS

Unmanned vehicles, Curiosity, Chang'e, concepts, Luna, Lunokhod, Mariner, Mars, Moon, Pathfinder, Perseverance, probe, Surveyor, space objects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOSTÁLOVÁ, Adéla. *Návrh a přehled bezpilotních prostředků pro průzkum vesmírných těles*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132265>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Jaroslav Bartoněk.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala všem, kteří se podíleli na vzniku této bakalářské práce. Především děkuji vedoucímu mé práce Ing. Jaroslavu Bartoňkovi za odborné vedení a pomoc při psaní práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Bartoňka a s použitím literatury uvedené na konci této bakalářské práce.

V Brně dne 20. 5. 2021

Adéla Dostálová

Obsah

Úvod	1
1 Sondy na Měsíci	2
1.1 Sonda Luna 2.....	4
1.1.1 Konstrukční řešení sondy.....	4
1.1.2 Výsledky mise.....	4
1.2 Sonda Luna 9.....	5
1.2.1 Konstrukční řešení sondy.....	5
1.2.2 Výsledky mise.....	5
1.3 Sonda Surveyor 1	6
1.3.1 Konstrukční řešení sondy.....	6
1.3.2 Výsledky	7
1.4 Program Lunochod.....	7
1.4.1 Lunochod 1	8
1.4.2 Lunochod 2	9
1.5 Sonda Chang'e 3	10
1.5.1 Konstrukční řešení sondy.....	10
1.5.2 Rover Yutu.....	11
1.5.3 Výsledky mise.....	12
1.6 Souhrn obecných vlastností sond vyslaných na Měsíc	13
2 Sondy na Marsu	15
2.1 Sonda Mariner 4.....	17
2.1.1 Konstrukční řešení	17
2.1.2 Výsledky mise.....	18
2.2 Sonda Mars 3.....	18
2.2.1 Konstrukční řešení	19
2.2.2 Výsledky mise.....	20
2.3 Mise Pathfinder	20
2.3.1 Konstrukční řešení roveru.....	21
2.3.2 Největší objevy a výsledky mise	22

2.4	Mise Curiosity	22
2.4.1	Konstrukce	22
2.4.2	Výsledky mise.....	25
2.5	Mise Mars 2020.....	25
2.5.1	Přistání	25
2.5.2	Konstrukční řešení roveru.....	26
2.5.3	Provoz roveru.....	27
2.5.4	Řídící počítač roveru.....	27
2.5.5	Pohyb roveru.....	28
2.5.6	Robotické rameno	28
2.5.7	Ingenuity	29
2.5.8	Očekávání od mise Perserverance	30
2.6	Souhrn obecných vlastností sond na Marsu	30
	Závěr	32
	Seznam použité literatury	33
	Seznam použitých zkratk	43

Úvod

K výzkumu vesmíru se používají především dalekohledy, teleskopy, vesmírné stanice a kosmické sondy. Dalekohledy jsou schopny poskytnout mnoho informací, bohužel mají svá omezení. Nejsme schopni pomocí nich sesbírat vzorky nebo získat informace o povrchu či atmosféře daného vesmírného objektu. Z tohoto důvodu vznikly vesmírné sondy, které nám tyto poznatky zprostředkovávají.

Vesmírná sonda je bezpilotní kosmické zařízení, které není v orbitu planety Země, ale je vysláno do vzdálených končin vesmíru. Sondy nesou na palubě kamery a přístroje, aby nasbíraly informace. Jsou schopny cestovat na Měsíc, meziplanetárním prostorem, obíhat nebo přistát na planetě nebo se mohou dostat až do mezihvězdného prostoru.

Podle zkoumaného objektu můžeme sondy dělit na:

- Měsíční, které jsou posílány na Měsíc.
- Meziplanetární, které slouží ke zkoumání vlastností meziplanetárního prostoru.
- Sluneční, které zkoumají Slunce.
- Planetární, které jsou posílány k pevným tělesům, především planety, jejich satelity a planetky.
- Kometární, které zkoumají vlastnosti komet.
- Mezihvězdné, které jsou určené na průzkum hlubokého vesmíru. [2] [3] [4]

K největšímu rozvoji vesmírné techniky došlo v 50. letech 20. století díky takzvanému vesmírnému závodu mezi Sovětským svazem a Spojenými státy. Tyto státy soupeřily o získání převahy v dobývání a výzkumu vesmíru. Vznikly tak první umělé družice Země, a hlavně první vesmírné sondy. Většina sond však byla zpočátku neúspěšná. [1]

První úspěšnou sondou byla sovětská sonda Luna 1, která proletěla kolem Měsíce. Její následovnice Luna 2 byla mnohem úspěšnější a dopadla na jeho povrch. Velkým úspěchem byl bezobslužný návrat vzorků z Měsíce, a to díky sondě Luna 16.

Významnou americkou misí je Mars Pathfinder. Její součástí bylo první vozítko, které přistálo na Marsu. Dalším úspěchem NASA byla sonda Voyager 1, která se dostala zatím nejdál ze všech sond. I dnes je sonda schopna komunikovat s Deep Space Network a přijímá rutinní příkazy a přenáší data na Zemi. [7]

Deep Space Network je v podstatě soubor antén, který slouží k předávání informací mezi sondou v hlubokém vesmíru a Zemí. Vznikl v rámci programu NASA. [5]

Vesmírný program se z počátku uskutečňoval zejména v zemích jako jsou Spojené státy americké, Rusko, Čína nebo Japonsko. V posledních letech však přispívají k průzkumu vesmíru i další státy, například Izrael nebo Indie.

Česká republika má také velký podíl na vývoji vesmírných sond. Podílela se třeba na výrobě optomechanického systému sondy Solar Orbiter, přesněji o velmi přesné zrcadlo, které je součástí koronografu METIS. Také se podílí na evropském projektu LISA, ten se zabývá gravitačními vlnami, a dále na projektu Athena, což bude vesmírná observatoř. [6]

1 Sondy na Měsíci

Sondy na Měsíc byly první, které kdy byly vyslány do vesmíru. Už počátkem 50. let 20. století se objevují pokusy o vyslání sond k Měsíci. Mnoho sond však selhalo už v počátku. Některé se ani nedostaly ze Země, jiné svůj cíl minuly a další pak nezvládly přistání na povrch.

Nejvýznamnější projekty té doby byla mise Luna pocházející z tehdejšího Sovětského svazu a programy Ranger a Surveyor pocházející ze Spojených států. [7] [8]

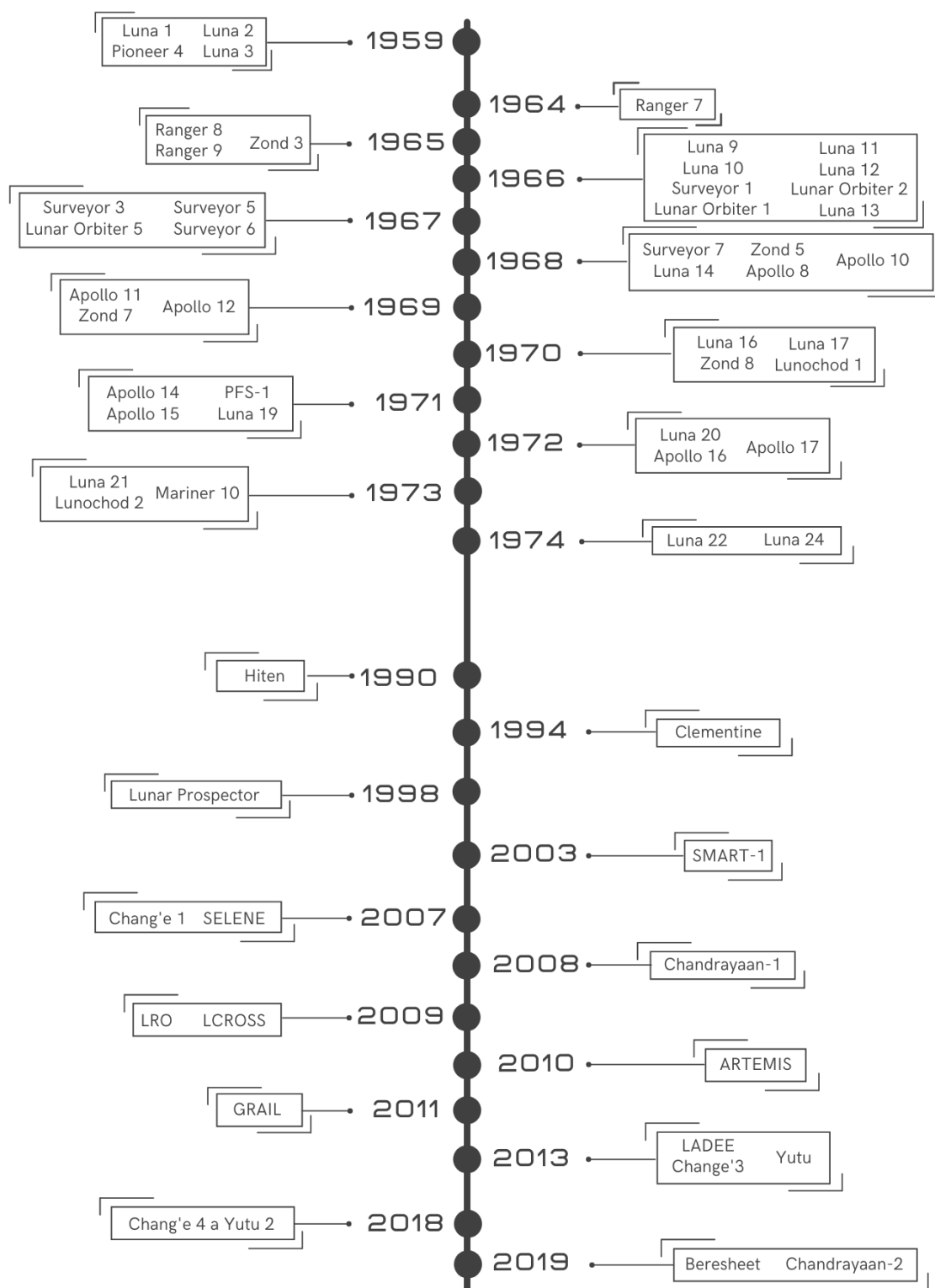
V posledních letech se k dobývání Měsíce přidala i Čína a Evropa. Obrázek 2 vyobrazuje časovou osu úspěšných misí na Měsíc.

Konstrukce sond musela brát ohled na nízké teploty v průběhu noci, které mohly dosáhnout až $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Udržování teploty bylo řešeno izolací a topným systémem. Dalším úskalím bylo pracování sond ve vakuu. Toto většinou výrobci řešili speciálním mazáním mechanických součástí. Zdroj energie sond byl v minulosti převážně řešen slunečními panely, které dobíjely baterie.

Sondy jsou dosud na Měsíc posílány pomocí vesmírných raket. Jejich motory používají směs paliva a okysličovačla, například hydrazin a oxid dusičitý. Speciálním případem byl motor evropské sondy SMART-1, který fungoval na principu Hallova efektu. [69]



Obrázek 1: Měsíc [74]



Obrázek 2: Časová osa úspěšných misí na Měsíc [75]

1.1 Sonda Luna 2

Luna 2 (Obrázek 3) odstartovala 12. září 1959 z kosmodromu Bajkonur v Kazachstánu (tehdejší SSSR). Je první kosmickou lodí, které se povedlo plánovaně dopadnout na Měsíc, východně od Mare Serenitatis poblíž kráterů Aristides, Archimedes a Autolycus. Úroveň tehdejší techniky nebyla dostatečně vysoká na to, aby umožnila měkké přistání.

Hlavním cílem mise bylo dokázat, že Měsíc nemá magnetické pole ani radiační pásy, tomu také odpovídalo její vybavení.

Před startem byla sonda sterilizována, aby nedošlo ke kontaminaci povrchu Měsíce. Sterilizován byl i poslední stupeň nosné rakety, u kterého se předpokládal dopad na povrch. [9]

1.1.1 Konstrukční řešení sondy

Luna 2 vážila přibližně 390,2 kg. Měla tvar koule o průměru asi metr a byla vybavena systémem antén pro přenos rádiového signálu.

Konstrukce sondy vycházela z její předchůdkyně Luna 1, která se na Měsíc nedostala. Sonda Luna 2 nesla pět různých přístrojů, které byly napájeny pomocí baterií se stříbrným zinkem a oxidem rtuti.

Veškeré experimenty byly provedeny při cestě na Měsíc. Scintilační čítače byly používány k měření jakéhokoli ionizujícího záření. Dalším zařízením byl detektor Čerenkovova záření, který sloužil k měření elektromagnetického záření způsobeného nabitými částicemi.

Geigerův čítač na Luně 2 pak měl určit elektronové spektrum Van Allenova radiačního pásu. Skládal se ze tří plynových výbojů STS-5 namontovaných na vnější straně vzdychotěsné nádoby. Posledním přístrojem na Luna 2 byl třísloužkový tokový magnetometr. Velmi se podobal magnetometru, který byl na Luna 1, ale lišil se konstrukčním řešením.

Na samotné Luně 2 nebyly žádné pohonné systémy. [10]

1.1.2 Výsledky mise

Luna 2 vykazovala časové odchylky v elektronovém toku a energetickém spektru ve Van Allenově radiačním pásu.

Pomocí iontových pastí na palubě provedla sonda první přímé měření toku slunečního větru z vnějšího prostředí zemské magnetosféry.

Do 55 km od Měsíce sonda nezachytila žádné pozoruhodné magnetické pole. Také nezachytila radiační pás kolem Měsíce, ale čtyři iontové pasti měřily zvýšení toku iontových částic ve výšce 8 000 km, což naznačovalo přítomnost ionosféry.

[11] [12] [13]



Obrázek 3: Sovětská sonda Luna 2 [76]

1.2 Sonda Luna 9

Luna 9 (Obrázek 4), patřící Sovětskému svazu, byla první kosmickou lodí, která přežila přistání na Měsíci. Nejednalo se však o první pokus měkkého přistání, jednalo se totiž už o dvanáctý pokus.

Luna 9 odstartovala z kosmodromu Bajkonur v Kazachstánu 31. ledna 1966.

Sonda byla postavená konstrukční kancelář Lavočkin, která se poté podílela na veškerých dalších meziplanetárních misích.

Hlavním cílem této mise bylo získat poznatky o povrchu Měsíce. Tyto poznatky byly velmi důležité pro navazující mise. [14] [15]

1.2.1 Konstrukční řešení sondy

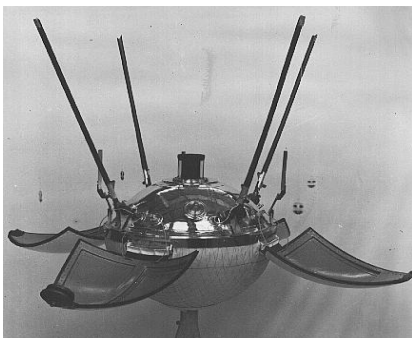
Kosmická loď se skládala ze dvou částí – automatické lunární stanice a letového modulu. Celková hmotnost byla 1538 kg a výška 2,7 m.

Automatická lunární stanice Luna 9 měla, stejně jako předchozí sondy, tvar koule o průměru asi 58 cm a vážila přibližně 99 kg. Její hlavní částí byla hermeticky uzavřená nádoba. V ní se nacházel rádiový systém, programovací zařízení, baterie, systém tepelné regulace a vědecké přístroje. Na vnější straně této schránky byly namontovány čtyři antény, které se otevřely ihned po přistání.

Vnitřní teplota sondy byla udržována mezi 19 °C a 30 °C. Všechny přístroje byly napájeny baterií.

Sonda byla umístěna na letovém modulu. Součástí modulu byla brzdná raketa a čtyři další rakety sloužící k přistání. Toroidní palivová nádrž z hliníkové slitiny a nádrž na oxidační činidlo byly namontovány po stranách hlavního tělesa. Jako okysličovadlo byla použita kyselina dusičná. Palivo bylo na bázi aminu.

Pro lepší přistání byla sonda vybavena gyroskopy, elektrooptickými přístroji, radarovým systémem měkkého přistání a malými orientačními motory. Luna 9 byla také opatřena airbagy, které utlumily náraz při přistání. K jejich nafouknutí sloužil dusík.



Obrázek 4: Sovětská sonda Luna 9 [77]

Součástí vědeckého vybavení sondy byla malá panoramatická kamera. Nad kamerou se nacházelo zrcadlo, které umožnilo vytvořit záběr celého okolí sondy. Dalším vědeckým přístrojem byl detektor radiace. [18]

Automatická lunární stanice se ještě před přistáním oddělila od letového modulu. Po přistání byla stabilizována pomocí čtyř rozevíracích segmentů krytu, které připomínají okvětní lístky. [16]

1.2.2 Výsledky mise

Luna 9 byla schopna poslat devět snímků z povrchu Měsíce zpět na Zemi. Hlavním cílem těchto fotografií bylo stanovit proces vzniku povrchu Měsíce.

Sonda také získala informace o charakteru měsíčního povrchu. Mezi tyto informace patřilo množství kráterů, jejich velikost a struktura. Dále potom mechanické vlastnosti povrchu, mezi ně patří pevnost ložiska, soudržnost, zhutnění atd. [17]

Přistávací modul prokázal, že se do měsíčního prachu nedá potopit. Jednalo se o velmi významné zjištění, které vedlo k dalším přistávacím misím. Mezi ně patřila i mise Apollo. [16]

1.3 Sonda Surveyor 1

Sonda Surveyor 1 (Obrázek 5) byla americká sonda vyslaná na Měsíc 30. května roku 1966 z letecké stanice Cape Canveral na mysu Canaveral na Floridě.

Sonda byla vyrobena v rámci organizace NASA v Jet Propulsion Laboratory (JPL).

Hlavním cílem mise bylo uskutečnit měkké přistání na Měsíci. Sonda měla provést chemické analýzy povrchu a posílat získané informace a snímky lunárních rysů zpět na Zemi. Program Surveyor měl podpořit nadcházející přistání Apollo i s lidskou posádkou. [19] [20]

1.3.1 Konstrukční řešení sondy

Surveyor 1 byl, na rozdíl od sovětské Luny, navržen jako soft-lander (sonda určená k měkkému přistání). Základem konstrukce sondy byl stativ z tenkostěnných hliníkových trubek a propojovacích výztuh. Stativ sloužil jako montážní plocha pro napájení, komunikaci, pohon, řízení letu a užitečné zatížení.

Celá sonda při startu vážila kolem 995 kg a při přistání 294 kg. Na výšku měřila přibližně 3 m.

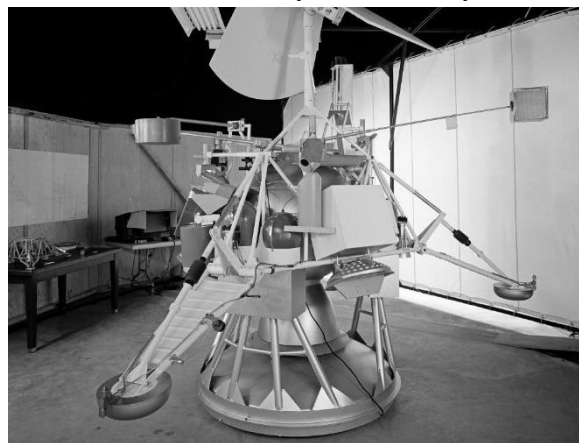
Centrální stožár byl vysoký asi jeden metr a byl přichycen ke stativu.

Ke spodní části konstrukce byly přimontovány tři sklopné přistávací nohy. Během cesty k Měsíci byly uschovány v modulu. Každá z těchto tří noh nesla tlumiče a tenzometry. Ty sloužily k poskytování údajů o působící síle během přistání, což bylo důležité pro budoucí misi Apollo.

Jako zdroj energie sloužily solární panely se 792 solárními články. Generovaly až 85 W energie, která byla poté uložena v dobíjecí stříbro-zinkové baterii.

Pohyblivá anténa s dlouhým dosahem zprostředkovávala veškerou komunikaci se Zemí. Byla umístěna v horní části centrálního stožáru. Anténa sloužila i pro přenos veškerých snímků, které Surveyor 1 pořídila.

Na sondě se dále nacházely dva přijímače, dva vysílače a dvě všesměrové kuželové antény, které sloužily pro down-link a up-link.



Obrázek 5: Americká sonda Surveyor 1 [78]

Sonda byla natřena bílou barvou, která napomáhala teplotní regulaci. K teplotní regulaci napomáhala i tepelná izolace, povrchové úpravy s vysokým vyzařováním infračerveného záření a leštěná hliníková spodní strana.

Na konstrukci kosmické lodi byly namontovány dvě tepelně řízené přihrádky vybavené izolací, vodivými tepelnými dráhami, tepelnými spínači a malými elektrickými ohřivači. První přihrádka udržovala teplotu mezi 5 °C až 50 °C a obsahovala komunikační a napájecí elektroniku. Ve druhé se teplota pohybovala mezi -20 °C až 50 °C a měla komponenty pro zpracování příkazů a signálu.

Surveyor 1 nesl dvě kamery. Jedna z nich se nacházela na spodní straně. Jejím hlavním úkolem bylo pořizovat fotografie blízko povrchu, nebyla však použita. Druhá kamera se nacházela v horní části stativu. Tato kamera sloužila k průzkumu okolí sondy. [21]

1.3.1.1 Pohon a řízení

Během letové fáze byl pohon a řízení polohy zajištěn proudy studeného plynu dusíku. K řízení polohy během přistání pak sloužily tři raketové motory.

Během přistávací sekvence byl v určité výšce nad povrchem vydán radarem pokyn na spuštění brzdné rakety pro zpomalení na přistávací rychlost. Brzdná raketa byla sestrojena jako kulové ocelové pouzdro namontované ve spodním středu sondy. Po skončení zážehu motoru byla brzdná raketa a radar odhozeny a došlo k aktivaci Dopplerova radaru a výškoměru. Ty poskytly informace autopilotovi, který stabilizoval pohonný systém při přistání.

Stabilizační motory používaly palivo na bázi monomethylhydrazinu a MON-10 oxidační činidlo. Palivo bylo uloženo v kulových nádržích umístěných na stativové konstrukci. [21]

1.3.2 Výsledky

Surveyor 1 dosáhla prvního skutečného měkkého přistání na Měsíci, což mělo velký význam pro nadcházející mise. Sonda přistála v jihozápadní oblasti Oceánu bouří.

Tenzometry, které byly namontovány na tlumičích, dokázaly vrátit analogovou sílu závislou na čase.

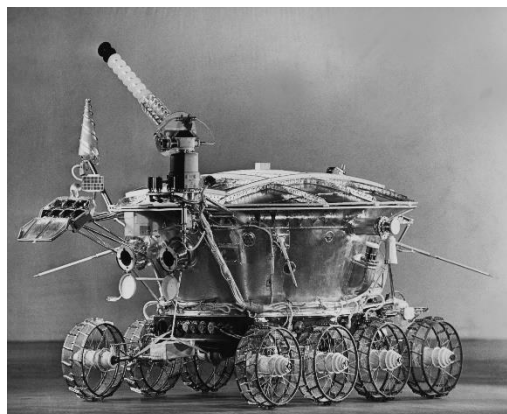
Surveyor 1 pořídil více než 10 000 snímků. Zahrnuta byla širokoúhlá panoramata, průzkumy se zaměřením, fotometrické průzkumy, průzkumy speciálních oblastí a nebeské fotografie. [19] [20]

1.4 Program Lunochod

Program Lunochod (Obrázek 6) vznikl v Sovětském svazu v roce 1969 a byl ukončen v roce 1977. Jednalo se o sérii robotických lunárních vozítek určených k přistání na Měsíci.

První dálkově ovládané vozítko, které bylo přistálo na mimozemském tělese, neslo název Lunochod 1. Na měsíc bylo vysláno spolu se sondou Luna 17 a to 10. listopadu roku 1970. O tři roky později pak se sondou Luna 21 přistál na Měsíci Lunochod 2.

Program vznikl za účelem podpořit sovětské lidské mise na Měsíci během probíhajícího vesmírného závodu. Vozítka byla nakonec využita jako dálkově ovládané roboty k průzkumu měsíčního povrchu a dokumentaci úspěšného přistání americké mise Apollo 11. [22] [24]



Obrázek 6: Koncepce vozítka Lunochod [79]

1.4.1 Lunochod 1

Vozítka Lunochod 1 přistálo na Měsíci 17. listopadu 1970. Jeho mise trvala přibližně 10 měsíců. Jakmile sonda přistála, sjelo vozítko z rampy, čímž byla otestována jeho kola. 4. října 1971 vozítko přestalo reagovat na povely ze Země a bylo prohlášeno za nefunkční. [23]

1.4.1.1 Stavba vozítka Lunochod 1

Vozítko bylo dlouhé asi 2,3 m a vysoké 1,5 m. [23]

Základem vozítka bylo tělo, které připomínalo válec. Ten byl hermeticky uzavřený a měl odklápěcí víko. Vnitřní strana víka byla tvořena solárními články a na těle se nacházely radiátory. Na noc se víko zavíralo. Díky tomu docházelo k lepší regulaci teploty a také k ochraně citlivé techniky před okolním mrazem.

Během dne využíval Lunochod 1 sluneční energii. Při dobíjení baterie muselo vozítko zastavit. Přes noc stálo zaparkované na jednom místě. Mrazivým teplotám odolávalo za pomoci tepelné energie z polonia 210 radioizotopového ohříváče.

Veškeré mechanické součásti byly pokryty speciálním mazivem na bázi fluoridu. To umožnilo vozítku pracovat ve vakuu.

Vozítko mělo osmikolový podvozek. Každé kolo bylo o průměru 51 cm. Výrobou kol byla pověřena Charkovská státní továrna na jízdní kola. Díky konstrukci podvozku byl Lunochod schopný zdolat svah strmý 20° nebo se pohybovat s bočním náklonem 45°. Každé kolo bylo opatřeno vlastním elektromotorem a pyropatronou. V případě potřeby bylo možné kolo odstřelit. Kola nebyla uzpůsobena k zatáčení. Vozítko zatáčelo podobně jako pásová vozidla, a to za pomoci nestejně rychlosti na obou stranách vozidla.

Součástí vybavení Lunochodu byl rentgenový spektrometr, rentgenový teleskop, detektor kosmického záření a laserové zařízení. Navigátoři využívali kamer, které Lunochod 1 nesl. Komunikace se zemí byla zajištěna pomocí speciálních antén. [24] [25] [26]

1.4.1.2 Výsledky mise

Za celou dobu působení na Měsíci najel Lunochod 1 přibližně 10 km. [23]

Lunochod 1 poslal zpět cenné údaje o složení regolitu. Dále byl schopen vytvořit blízké pohledy na místní topografii a provedl důležité technické měření půdy. [27]

1.4.2 Lunochod 2

Lunochod 2 bylo druhé sovětské lunární vozítko vyslané na Měsíc spolu se sondou Luna 21. Na cestu se vydaly 8. ledna 1973 z Bajkonuru v Kazachstánu.

Hlavním cílem mise bylo vytvořit fotografie měsíčního povrchu, prozkoumat hladiny okolního světla kvůli astronomickým pozorování z Měsíce, měřit magnetické pole a studovat mechanické vlastnosti povrchu.

Po přistání sondy nejprve Lunochod 2 vytvořil snímky okolí. Následně vozítko sjelo z rampy na povrch Měsíce. [28]

1.4.2.1 Stavba vozítka Lunochod 2

Lunochod 2 vycházel z konstrukce Lunochodu 1. Vozítko bylo vysoké přibližně 135 cm a vážilo 840 kg.

Stejně jako jeho předchůdce mělo osm kol. Každé z nich mělo nezávislé odpružení, motor a brzdu. Vozítko bylo schopno se pohybovat rychlostí buď 1 km/h, nebo 2 km/h.

Lunochod 2 byl vybaven třemi televizními kamerami. Jedna sloužila k navigaci v terénu a mohla posílat snímky s vysokým rozlišením. Fotografie byly poslány pětičlennému týmu, který vozítko ovládal. Vozítko také neslo čtyři panoramatické kamery.

Podobně jako u Lunochodu 1 byla energie vytvářena pomocí solárních panelů, které byly umístěné na vnitřní straně kulového sklopného víka. Jako zdroj tepla během noci sloužilo opět polonium 210.

Lunochod 2 nesl tyto vědecké přístroje:

- Tester vlastností půdy
- Solární rentgenový experiment
- Magnetometr
- Radiometr
- Fotodetektor pro experimenty s detekcí laseru [30]

1.4.2.2 Výsledky mise

Lunochod 2 operoval pouze čtyři měsíce. Poté vjel do kráteru, a tím došlo k předčasnému ukončení mise.

Za celé své působení pokrýl 37 km terénu, včetně kopcovitých horských oblastí.

Vozítko pořídilo na 86 panoramatických snímků a více než 80 000 televizních snímků měsíčního povrchu a také provedlo mechanické zkoušky půdy.

Za pomoci laserového experimentu byla změřena vzdálenost mezi Zemí a Měsícem s rozdílem přibližně 20 až 30 cm.

Velkým zjištěním bylo, že noční obloha Měsíce je 13krát až 15krát jasnější než noční obloha Země. Měsíc proto není vhodný pro vybudování observatoře ve viditelném a ultrafialovém světle. [28] [29]

1.5 Sonda Chang'e 3

CNSA (Chinese National Space Agency) zahájilo v roce 2003 lunární program. Ten byl rozdělen do tří hlavních částí:

- Oběžná dráha – Chang'e 1 a Chang'e 2
- Přistání – Chang'e 3 a Chang'e 4
- Vrácení vzorků – Chang'e 5

Chang'e 3 byla druhou fází v čínském lunárním programu. Měla studovat Měsíc pomocí stacionárního přistávacího modulu a pomocí roveru s názvem Yutu.

Sonda odstartovala z Xichang Satellite Launch Centre 1. prosince 2013. Přistála v severní Mare Imbrium.

Čína chtěla dosáhnout prvního měkkého přistání a terénního průzkumu v její historii. Dále chtěli demonstrovat a vyvíjet klíčové technologie pro budoucí mise. [31]

1.5.1 Konstrukční řešení sondy

Sonda Chang'e 3 se skládala ze dvou základních modulů. Prvním z nich bylo LLV (Lunar Soft-Landing Vehicle). Druhým modulem byl lunární rover. Jak rover, tak LLV neslo několik vědeckých přístrojů.

Během letu byl rover uvnitř LLV. Po přistání LLV byl rover po rampě spuštěn na povrch Měsíce. [33] [36]

1.5.1.1 Pohon

Zdrojem energie LLV (Obrázek 7) byl Radioizotopový termoelektrický generátor (RTG). Tento zdroj byl schopný dodávat energii po dobu jednoho roku. Kromě RTG měl LLV také solární panely. Jako palivo pro RTG sloužil oxid plutonia 238.

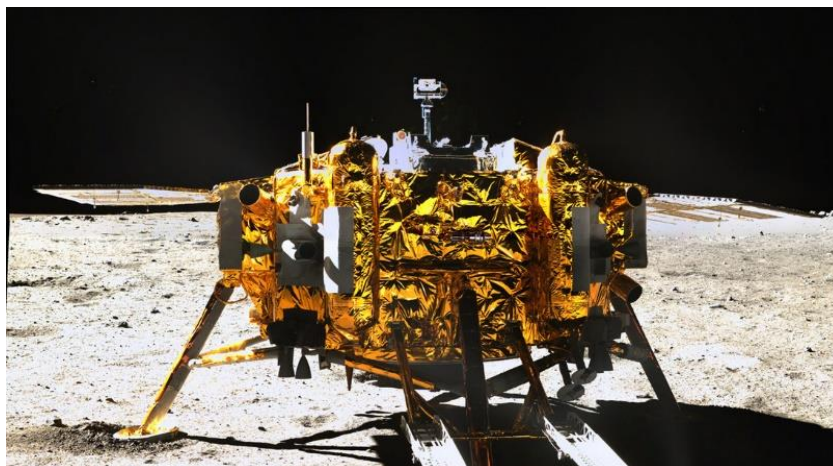
Hlavní motor sondy byl vyvinut přímo pro tuto misi. Jednalo se o první motor používaný ve vesmíru, který kdy Čína vyrobila. Aby byl motor schopný fungovat ve vakuu musel být optimalizován. K tomu sloužila tryska s vysokým poměrem plochy.

Propulsní systém, který sloužil k řízení polohy, se skládal z 28 trysek. Ty se nacházely na bočních panelech modulu. Díky tomuto systému byl modul ovládán ve třech osách. [34]

1.5.1.2 Termální systém

Vzhledem velmi nízkým teplotám byla sonda vybavena jak aktivním, tak pasivním tepelným řídicím systémem. Mezi pasivní tepelný systém patřila vícevrstvá izolace. Ta sloužila jako ochrana před solárním ohřevem a před mrazem během noci.

Aktivní systém řízení teploty tvořily odporové elektrické ohřívače, které ovládal termostat. Během dne byla tepelná energie získávána ze solárních panelů. V noci pak byla sonda vyhřívána pomocí RTG. [34]



Obrázek 7: Přistávací modul sondy Chang'e 3 [80]

1.5.1.3 Přistávací systém

Systém, který sloužil k přistání, musel být zkonstruován tak, aby umožňoval po přistání uvolnit rover.

Primární přistávací vzpěry byly vybaveny nožními podložkami. Podložky zabraňovaly ponoření do povrchu Měsíce. Kromě nich byly vzpěry vybaveny tlumiči. Vnitřní konstrukce tlumičů umožňovala zcela pohltit náraz při přistání.

Sekundární vzpěry, které byly připevněny k přistávacím nohám, sloužily jako další bod k upevnění přistávacího modulu k tělu sondy.

Na základě dřívějších návrhů modulů byli Číňané schopni přijít s přistávacím systémem, který minimalizoval hmotnost a zároveň maximalizovat stabilitu. [34]

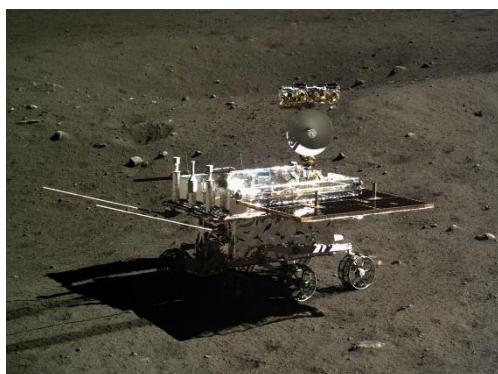
1.5.2 Rover Yutu

Na návrhu a stavbě lunárního roveru Yutu (Obrázek 8) se podílely Shanghai Aerospace System Engineering Institute (SASEI) a Pekingský institut kosmického systémového inženýrství (BISSE).

Při vytváření vozítka vycházeli z osvědčených roverů NASA, a to zejména Mars Exploration Rovers. Při návrhu kol roveru vycházeli z kol vozítka Lunochod.

Yutu bylo menší než rovery Spirit a Opportunity. Jeho součástí však byly podobné přístroje. Stejně jako zmíněné rovery byl vybaven robotickým ramenem, které bylo schopno umístit rentgenový spektrometr alfa částic (APXS) do potřebné vzdálenosti od vzorku.

Tělo roveru Yutu mělo tvar kvádra. Hlavním zdrojem energie byly dva obdélníkové solární panely. Na roveru byly namontovány automatické senzory, které bránily kolizi s jinými objekty.



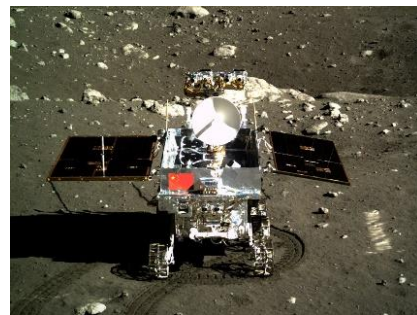
Obrázek 8: Boční pohled na rover Yutu [81]

Podvozek roveru byl tvořen šesti koly. Na každé straně těla roveru se nacházela kolébka a systém odpružení. Stabilita byla zajištěna pomocí diferenciálu. Každé kolo bylo poháněno elektrickým motorem, proto bylo vozítko schopno jet dopředu i dozadu. Motory, které sloužily k řízení roveru, se nacházely na předním a zadním kole. Díky tomuto systému se Yutu mohlo otočit na místě o 360 °. [34] [35]

1.5.2.1 Ovládaní roveru

Yutu (Obrázek 9) bylo vybaveno softwarem, který umožňoval rozpoznat překážky a nebezpečí. Pokud roveru stála v cestě nějaká překážka, dokázal se jí sám vyhnout.

Stejně jako nynější rovery NASA bylo Yutu schopné autonomního plánování cesty k cílové poloze, identifikace své relativní polohy pomocí snímků v reálném čase a určovat svůj postoj pomocí palubních senzorů. [34]



Obrázek 9: Přední pohled na rover Yutu [82]

1.5.2.2 Pozemní radar (GPR)

Pozemní radar byl umístěn na spodní straně těla roveru. Dokázal měřit strukturu měsíční půdy do hloubky 30 m. Dále zkoumal měsíční kůru, a to až do hloubky několika set metrů. [34] [36]

1.5.2.3 Spektrometry

Rentgenový spektrometr alfa částic a infračervený spektrometr byly určeny k analýze složení chemických prvků měsíčních vzorků. [34] [36]

1.5.2.4 Kamery

V přední části roveru byly namontovány dvě navigační kamery. Na stožáru se pak nacházely dvě panoramatické kamery. Oba páry kamer byly použity k zachycení stereoskopických snímků, nebo pro zobrazení rozsahu triangulace. [34] [36]

1.5.3 Výsledky mise

Díky úspěšnému přistání sondy se Čína stala třetí zemí, které se povedlo přistát na měsíci.

Chang'e 3 prováděla převážně chemickou analýzu struktury půdy a měsíční kůry.

Mechanický kolektor umožňoval vozidlu sbírat měsíční vzorky půdy pro analýzu. Tyto vzorky pak byly v roce 2020 vyzvednuty sondou Chang'e 5 a přineseny zpět na Zemi, kde se podrobují zkoumání. [31] [34]

1.6 Souhrn obecných vlastností sond vyslaných na Měsíc

Všechny sondy vyslané na Měsíc byly vytvořeny na základě letitých experimentů. Pokud se některé z technických provedení osvědčilo, bylo používáno i nadále.

Nejstarší sondy byly vytvořeny spíše jako jednorázová záležitost. Měly jednoduché vysílače, které informovaly tým konstruktérů, kde se sonda nachází, popřípadě v jakém je stavu. Později prováděly jednoduché pokusy.

Zpočátku sondy na Měsíc pouze dopadly a veškeré experimenty byly prováděny po cestě na Měsíc.

Postupem času došlo k rozvoji jak technického vybavení sond, tak i jich samotných. Došlo ke zlepšení vysílačů, samotného ovládání a vývoji experimentálních přístrojů. Sondy dokázaly přistát na měsíčním povrchu a v posledních letech dokonce i autonomně plánovat prováděné experimenty.

Veškeré experimenty potřebují přísun energie. Tu dodávají v různé míře baterie. Dalšími zdroji jsou sluneční panely, nebo RTG systém.

Všechny sondy jsou chráněny před nízkými teplotami, kosmickým zářením a jsou přizpůsobeny práci ve vakuu.

Výrobci sond museli brát v úvahu i hmotnost sond, proto jsou vyrobeny z lehkých materiálů jako je hliník. Důvodem požadované nízké hmotnosti je fakt, že na oběžnou dráhu musely být vyneseny za pomoci rakety.

Koncepční řešení sond se lišilo převážně v rámci států nebo konstrukčních kanceláří. Většina sovětských sond měla tvar koule a na ní byly umístěny komunikační antény. Americké sondy měly tvar mnohoúhelníku, ale přístrojové vybavení bylo přibližně stejné. Příkladem je například sonda Luna 9 ze Sovětského svazu a americká sonda Surveyor 1.

Obě tyto sondy byly vyslány na Měsíc ve stejném roce a v podstatě se stejným posláním. Jejich cílem bylo měkce přistát na Měsíci. Surveyor k tomu však byl lépe přizpůsoben. Jeho konstrukce měla tvar stativu a dosedala na nohy s tlumiči. Sovětská sonda měla tvar koule a byla po přistání stabilizována částmi krytu.

V případě čínské sondy, která byla na Měsíc vyslána v roce 2013, koncepční řešení vycházelo ze sond vyslaných na Mars společností NASA. Součástí této mise bylo i vozítko Yutu. Jeho návrh vycházel z roveru NASA, ale některé prvky převzal i ze sovětského vozítka Lunochod. Byl napájen solárními panely a jeho kola byla založena na stejné konstrukci jako Lunochod. Vzhledem k technologickému pokroku je vozítko Yutu vyspělejší.

Základní rozměry měsíčních sond, které jsou zmiňovány v této bakalářské práci, jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Základní vlastnosti sond na Měsíci [10][16][21][23][30][34]

Název sondy	Druh	Rozměry			Váha	Zdroj energie	Přístroje
		Výška	Šířka	Délka			
Luna 2	Dopad	Průměr 1 m			390,2 kg	Baterie	Detektor Čerenkovova záření; scintační čítače; Geigerův čítač; magnetometr; komunikační zařízení
Luna 9	Dopad	2,7 m	Průměr 58 cm		1538 kg	Baterie	Panoramatická kamera; detektor radiace; komunikační zařízení
Surveyor 1	Měkké přistání	3 m	-	-	294 kg	Solární panely	Komunikační zařízení; kamera;
Lunochod 1	Rover	1,5 m	-	2,3 m	-	Solární panely	Rentgenový spektrometr; rentgenový teleskop; detektor kosmického záření; laserové zařízení; Kamery; komunikační zařízení
Lunochod 2	Rover	1,35 m	-	2,3 m	840 kg	Solární panely	Tester vlastností půdy; solární rentgenový experiment; magnetometr; radiometr; fotodetektor; komunikační zařízení
Chang'e 3	LLV	-	4,76 m	-	1200 kg	RTG	Komunikační zařízení; kamera;
	Rover Yutu	1,5 m	-	-	120 kg	Solární panely	GPR; spektrometry; kamery; komunikační zařízení

2 Sondy na Marsu

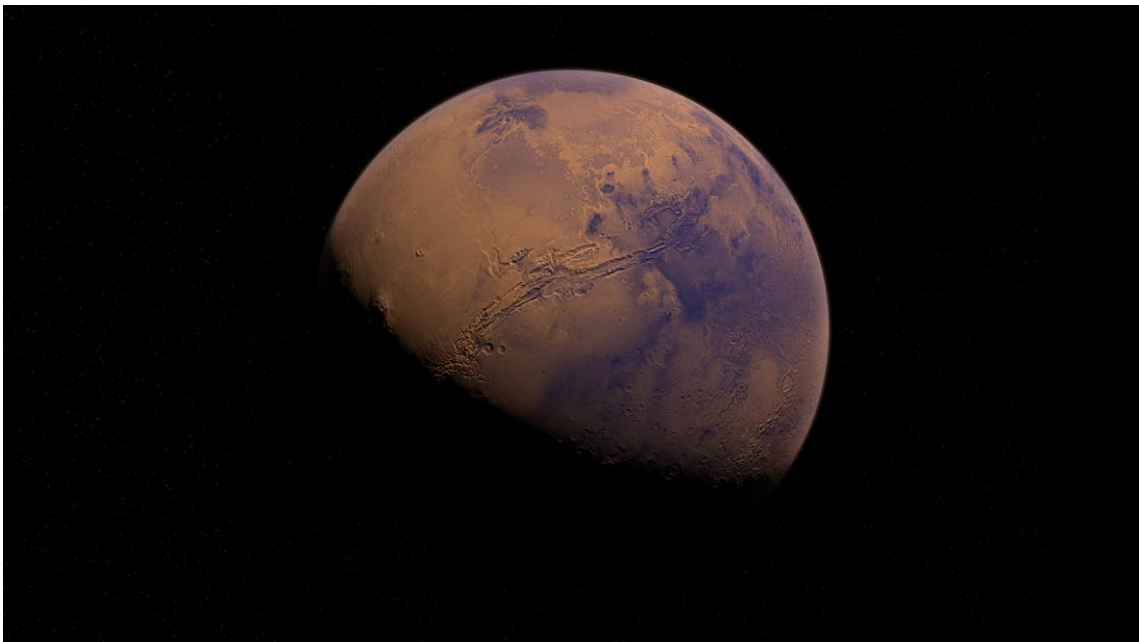
Počátky vesmírného závodu byly zaměřeny převážně na Měsíc. Postupně se však velmoci začaly zajímat i o vzdálenější místa, například Venuši nebo Mars.

Sovětský svaz byl první, kdo se pokusil o vyslání sondy k Marsu. Sonda však byla zničena při startu. Úspěšnou misí se stala sonda Marine 4 patřící Spojeným státům. Jejím cílem bylo proletět kolem Marsu. Roku 1971 se uskutečnila přistávací mise na Mars. Přistání provedla sovětská sonda Mars 3. Časová osa úspěšných misí na Mars je uvedena na Obrázku 11. [37]

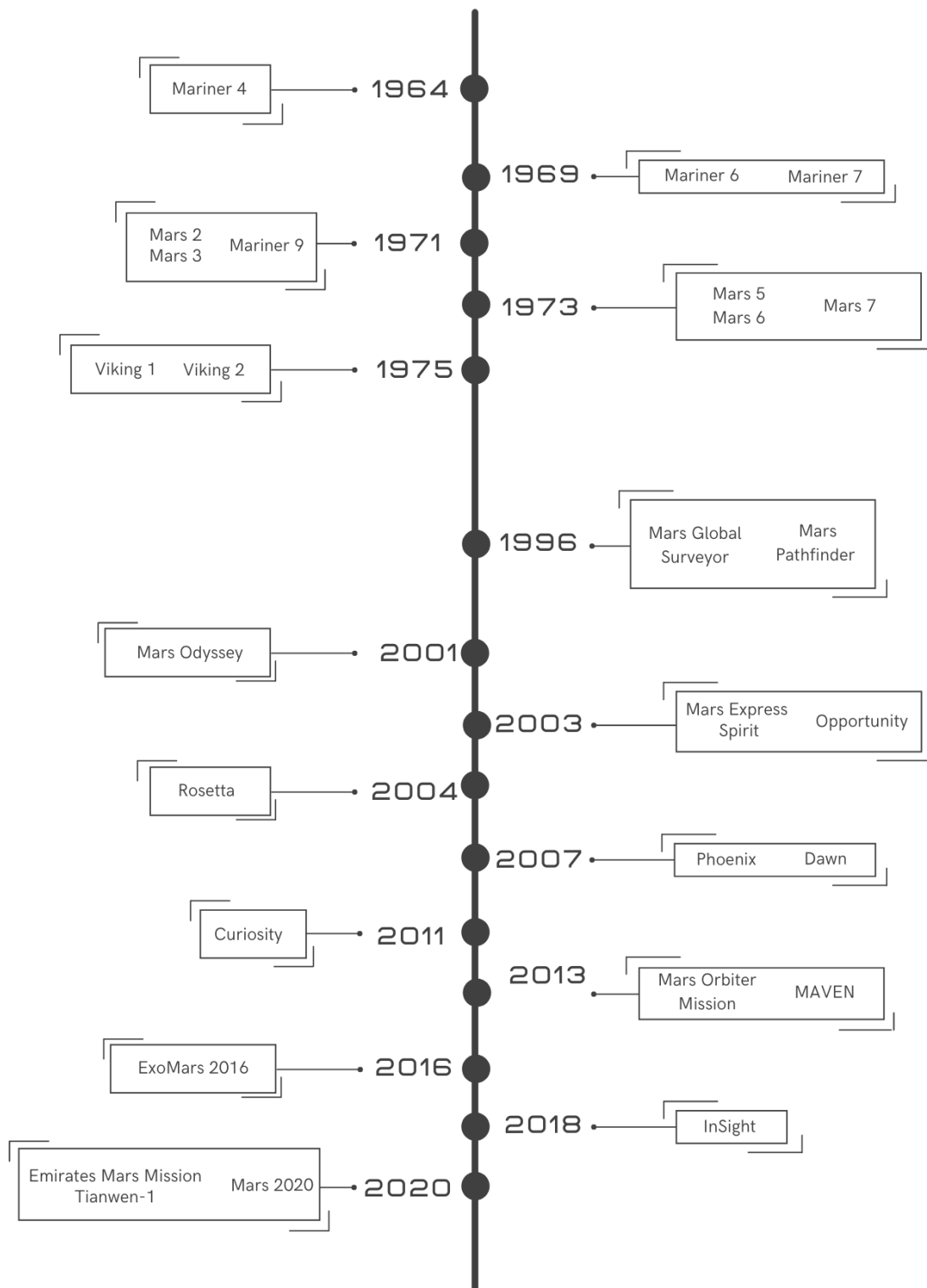
Koncepční řešení sond muselo brát velké ohledy na atmosféru Marsu. Největší překážku představuje průlet touto atmosférou před přistáním.

Stejně jako na Měsíci i na Marsu jsou velmi chladné noci. Každá sonda proto musela být vybavena tepelnou izolací a topnými systémy.

Na počátku misí na Mars získávaly sondy energii převážně ze Slunce, stejně jako sondy na Měsíci. Postupně se přešlo na energii získanou z jaderné reakce neboli radioizotopového rozpadu. Pokud by sonda potřebovala více energie, než je schopna vyrobit, je vybavena bateriemi.



Obrázek 10: Mars [83]



Obrázek 11: Časová osa úspěšných, nebo probíhajících misí na Mars [84]

2.1 Sonda Mariner 4

Program Marine byl vytvořen za účelem letového průzkumu vzdálených planet, jako je Merkur, Venuše a Mars.

Sonda Mariner 4 (Obrázek 12) byla čtvrtou lodí postavenou za tímto účelem a představovala první úspěšný průlet kolem planety Mars.

Mariner 4 odstartovala 28. listopadu 1964 z Cape Canaveral Air Force Station na Floridě. Kolem Marsu proletěla v roce 14. července 1965.

Předpokládalo se, že sonda přežije nanejvýš osm měsíců. Marine 4 byla nakonec funkční po dobu tři pozemských let. Zůstala na oběžné dráze Marsu a pokračovala v jeho studii. Provedla koordinované měření společně s Mariner 5, sondou, která byla vyslána k Venuši v roce 1967.

Návrh Mariner 4 umožňoval provádět detailní pozorování Marsu. Veškerá pozorování pak sonda posílala na Zemi.

Cílem mise bylo provádět měření polí a částic nacházejících se v meziplanetárním prostoru v blízkosti planety. Sonda měla také poskytovat zkušenosti a znalosti potřebné pro meziplanetární lety, které měly trvat delší dobu. [38] [39]

2.1.1 Konstrukční řešení

Mariner 4 na výšku měřila skoro 289 cm.

Základem sondy Mariner 4 byl rám vyrobený z hořčíku. Na horní části rámu se nacházely solární panely a jedna ze dvou antén. Druhá anténa se nacházela na stožáru. Uvnitř rámu se pak nacházelo veškeré elektronické zařízení, kabely, pohonný systém a dusíkový systém pro řízení orientace.

Na spodu modulu byla připevněna kamera. Vědecké přístroje byly převážně umístěny na vnější straně rámu. Zahrnovaly magnetometr, detektor prachu, teleskop kosmického paprsku a detektor zachycení záření.

Informace o poloze sondy byly poskytovány čtyřmi senzory a senzorem Země, Marsu a hvězdy Canopus.

Teplota sondy byla udržována pomocí žaluzií, které se daly nastavovat, vícevrstevných izolačních příkrývek, štítů z leštěného hliníku a také pomocí povrchových úprav. [40]

2.1.1.1 Zdroje energie

Jedním ze zdrojů energie byly čtyři solární panely. Dokázaly poskytnout až 310 W energie. Rozpětí panelů bylo 688 cm včetně solárních tlakových lopatek, které se nacházely na konci panelů. Tlakové lopatky se mohly pohybovat. Sloužily jako kompenzace při nevyváženém tlaku solárního záření.

Jako záložní zdroj energie byla použita stříbro-zinková baterie o kapacitě 1 200 Wh. Byla použita i k vykonání některých manévřů. Motory používaly hydrazin jako palivo. K řízení polohy Mariner 4 sloužilo 12 trysek s dusíkem namontovaných na koncích solárních panelů a tři gyroskopy. [40]



Obrázek 12: Americká sonda Mariner 4 [85]

2.1.1.2 Telekomunikační zařízení

Zařízení k přijímání a odesílání dat se skládalo z duálního sedmi-pásmového triodového zesilovače, vysílače a jediného přijímače. Kromě toho sonda nesla i magnetofon, na který mohla ukládat data pro pozdější přenos.

Mariner 4 byla řízena příkazovým subsystémem. Ten dokázal zpracovat kterýkoli z 29 příkazových slov nebo ze tří kvantitativních slovních příkazů pro změny kurzu a adekvátně na ně zareagovat. [40]

2.1.2 Výsledky mise

Mariner 4 jako první fotograficky zdokumentoval jinou planetu. Na fotografiích byly patrné krátery podobné jako na Měsíci. Pozdější zjištění prokázaly, že tyto krátery nejsou typické pro povrch Marsu.

Všechny experimenty byly úspěšné s výjimkou ionizační komory.

Informace poskytnuté sondou napomohly k odhadnutí atmosférického tlaku a denních teplot.

Kolem Marsu Mariner 4 nedetekoval žádné magnetické pole, což vedlo k závěru, že sluneční vítr může působit na atmosféru. Jak povrch, tak atmosféra jsou plně vystaveny slunečnímu a kosmickému záření. [39] [41]

2.2 Sonda Mars 3

Sonda Mars 3 byla vyrobena v rámci Sovětského vesmírného programu. K Marsu byla vyslána 28. května 1971 z kosmodromu Bajkonur v dnešním Kazachstánu.

Součástí mise byla družice, která měla zůstat na oběžné dráze Marsu, a přistávací modul.

Primárním cílem družice bylo pořídit snímky povrchu a mraků planety, určit teplotu, studovat vlastnosti atmosféry a sledovat sluneční záření a magnetické pole. Kromě toho fungovala jako komunikační převaděč mezi přistávacím modulem a Zemí.

Přistávací modul měl za úkol provést měkké přistání na Marsu, zdokumentovat povrch pomocí fotografií a nasbírat data o meteorologických podmínkách, složení atmosféry a mechanických a chemických vlastnostech půdy.

Součástí přistávacího modulu bylo vozítko. Jeho hlavním úkolem bylo ujet minimální vzdálenost 12 m po povrchu Marsu. [42]

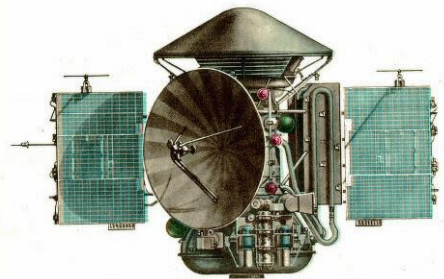
2.2.1 Konstrukční řešení

2.2.1.1 Družice

Družice (Obrázek 13) byla vybavena solárními panely, anténou používající parabolický reflektor, výměníky tepla a kombinovaným proudovým motorem.

Hlavní konstrukční prvek představoval pohonný systém. Nacházel se na dně válcového těla družice. Skládal se z palivové nádrže rozdělené do samostatných oddílů pro palivo a oxidační činidlo. Motor byl namontován na závěsu na spodním povrchu této nádrže.

Přístroje a navigační systém se nacházely na spodní části družice. [43]



Obrázek 13: Mars 3 družice [86]

2.2.1.2 Přistávací modul

Během letu byl přistávací modul (Obrázek 14) sondy připevněn na družici. Jednalo se o kulovou přistávací kapsli s uzavřenou klapkou o průměru 1,2 m a s kuželovým aerodynamickým brzdícím štítem o průměru 2,9 m.

Automatický řídicí systém sloužil k řízení polohy přistávacího modulu během sestupu. Tvořily ho mikromotory a nádoby s dusíkem.

Na vnější straně kuželu byly namontovány čtyři motory. Ovládaly podélný a příčný sklon a vybočení.

Součástí modulu byly také hlavní a pomocné padáky, motor pro zahájení přistání, radarový výškoměr a brzdná raketa, které byly použity během přistání na povrch.

Stejně jako Luna 9 i tato sovětská sonda měla čtyři segmenty krytu, které se po přistání otevřely, srovnaly modul a vystavily přístroje atmosféře Marsu.



Obrázek 14: Mars 3 přistávací modul [87]

Veškeré zařízení bylo napájeno bateriemi, které byly před oddělením modulu nabity družicí. Spojení s družicí bylo umožněno pomocí čtyř antén a palubního rádiového systému. Teplota byla regulována prostřednictvím tepelné izolace a systému radiátorů.

Přistávací modul byl před vypuštěním sterilizován, aby se zabránilo kontaminaci prostředí Marsu. [44]

2.2.1.3 Prop-M rover

Prop-M rover bylo malé vozítko, které mohlo připomínat knihu. Vážilo asi 4,5 kg. K přistávacímu modulu bylo vozítko připojeno kabelem, který sloužil k přímé komunikaci.

Základ vozítka Prop-M tvořila robustní schránka s malým výstupkem uprostřed. V přední části boxu byly namontovány tyče pro detekci překážek. Vozítko nemělo kola. Místo nich stálo na lyžích, aby nezapadlo do prachu a písku. Nesl dynamický penetrometr a radiační denzimetru.

Na povrch Marsu byl rover umístěn pomocí manipulačního ramene. Pohyboval se pouze v zorném poli televizních kamer a po každém 1,5 m se zastavil a provedl měření. [44] [45]

2.2.2 Výsledky mise

Sovětská sonda Mars 3 určovala strukturu zemin pomocí radaru. Obdržela fotometrická data v různých spektrálních směrech.

Ve stejném období byla vyslána k Marsu také americká sonda Mariner 9. Ta používala infračervené záření, aby určila strukturu země.

Metoda určování vody sondy Mars 3 byla účinnější než metoda, kterou používala sonda Mariner 9.

Magnetometr, který se nacházel na sondě, přispěl k zjištění, že Mars má vnitřní magnetické pole.

Sonda pomohla k odhalení dvou zón se zvýšenou hustotou elektronů nebo teplotou.

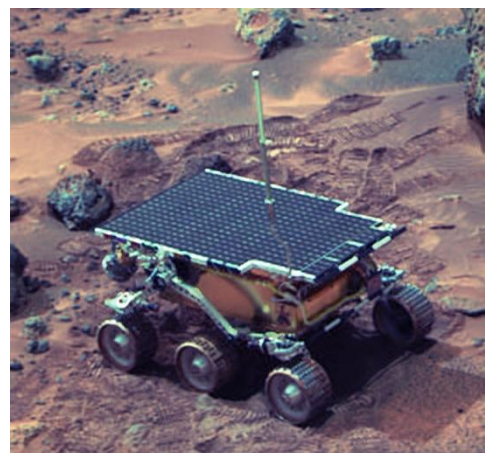
Přistávací modul poslal několik fotografií, ovšem přibližně po 20 sekundách přestal fungovat. [42] [45] [46] [47]

2.3 Mise Pathfinder

Mise Mars Pathfinder vznikla v rámci vesmírného programu NASA a zaměřovala se na oblast Ares Vallis na povrchu Marsu.

Na Mars byla sonda vyslána 4. prosince 1996. Součástí sondy byl i Mars Microrover s názvem Sojourner (Obrázek 15).

Hlavním cílem Američanů bylo ukázat nový způsob, jak dostat modul i první robotické vozítko na Mars. Jak modul, tak i rover byly vybaveny několika přístroji, které měly poskytovat informace o nových technologiích.



Obrázek 15: Rover Sojourner – solární panel [88]

Rover Sojourner měl na Marsu provést technologické i vědecké experimenty. Snímky a data poté posílal do modulu a z něj byly posílány zpět na Zem. [48] [49]

2.3.1 Konstrukční řešení roveru

Rover Sojourner bylo šestikolové vozítko, které vážilo přibližně 11,5 kg. Vysoké bylo 30 cm, široké 48 cm a dlouhé 65 cm. Vozítko bylo navrženo tak, aby vydrželo funkční déle než čtyři dny, které potřebovalo na své primární poslání. [48] [72]

2.3.1.1 Zdroj energie roveru

Hlavním zdrojem energie byl solární panel (Obrázek 16). Ten byl namontovaný na horní části roveru. Byl tvořen přibližně 200 fotovoltaickými články, které byly schopné dodávat až 16 W energie. Energie byla použita na chod veškerého zařízení, počítačů, laserů, motorů a radiového modemu.



Obrázek 16: Sojourner boční pohled [89]

Uvnitř roveru pod solárními panely se nacházel elektronický box. V něm byly uschovány baterie. Ty rover využíval především na noční a ranní operace. Měly však omezenou kapacitu a nebylo možné je dobít. Baterie také poskytovaly energii pro pravidelné komunikace během letu ze Země.

V případě selhání jednoho ze zdrojů energie, mohl rover dokončit své primární mise z energie zdroje druhého.

Veškerá energie byla stabilizována a poté distribuována pomocí výkonové elektroniky. Tato elektronika byla plně integrována s navigační a počítačovou elektronikou, čímž byl ušetřen prostor, hmotnost a také peníze. I tak byla schopna poskytnout více než deset různých napětí. [48]

2.3.1.2 Výkonová a řídicí elektronika

Řídicí počítač Sojourner se skládal ze dvou elektronických desek, senzorů v rámci WEB („Warm Electronics Box“) a akčních jednotek a senzorů mimo WEB. Vše bylo propojeno za pomoci sady tří flex kabelů.

Jedna deska byla označována jako „CPU“ a druhá „Power“ deska. Každá deska se podílela na výrobě, distribuci a řízení energie, analogovém a digitálním řízení a zpracování a ukládání dat. [50]

2.3.1.3 Vědecké nástroje

Součástí vybavení roveru i sondy bylo několik vědeckých přístrojů. APXS sloužilo k určování elementárního složení hornin a půd. Dále Sojourner nesl tři kamery k poskytování snímků okolního terénu pro geologické studie. Kamery také sloužily k dokumentování výkonu a provozního prostředí mise. Pomocí meteorologických přístrojů sonda měřila atmosféru Marsu při sestupu na povrch. [49]

2.3.2 Největší objevy a výsledky mise

Na místě přistání sonda objevila zaoblené oblázky, a i další pozorování naznačovala konglomeráty, které se vytvořily v tekoucí vodě.

Mars Pathfinder napomohl zjistit polohu modulu a pólu otáčení Marsu. Rádiové měření naznačovalo, že poloměr centrálního kovového jádra planety je větší než 1 300 km, ale je menší než 2 000 km.

Na Marsu dochází k náhodným teplotním výkyvům, což naznačuje, že atmosféra je ohřívána povrchem planety.

Rover pozoroval a měřil „prachové d'ábly“ pomocí teplotních, větrných a tlakových senzorů. Veškerá měření ukázala, že by tyto poryvy mohly sloužit jako mechanismus pro míchání prachu do atmosféry.

Mars Pathfinder použil inovativní metodu přímého vstupu do atmosféry. Pomocí padáku zpomalil sestup přes tenkou atmosféru a systém obřích airbagů zmírnil náraz při přistání. [49]

2.4 Mise Curiosity

NASA Mars Science Laboratory byla mise, jejíž součástí byl rover Curiosity. Rover byl zkonstruován jako pojízdná laboratoř.

Sonda Curiosity byla vyslána k Marsu 26. listopadu 2011.

Curiosity byla poslána do oblasti kráteru Gale, kde měla zkoumat známky dřívějšího života na Marsu a také důkazy o přítomnosti vody.

Při přistání byl rover spuštěn přímo na kola pomocí jeřábového zařízení. Samotný modul pak přistál o pár metrů dál. [51] [52]

2.4.1 Konstrukce

Hlavní část roveru Curiosity (Obrázek 17) tvoří „Warm Electric Box“ (WEB). Jeho úkolem bylo chránit počítač a veškerou elektroniku a také regulovat teplotu.

Na horní části WEB se nachází přístrojová paluba. Její součástí je i stožár a kamery, které se nachází přímo v atmosféře Marsu. Díky tomu může pořizovat snímky s jasným výhledem na terén. [53]

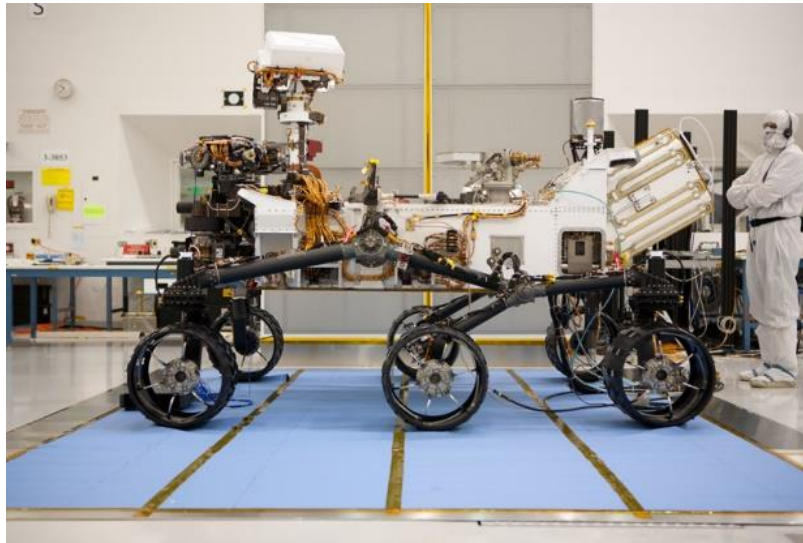
2.4.1.1 Kola

Stejně jako předchozí rovery vyrobené v NASA i Curiosity měla šest kol. Každé z nich je vybaveno vlastním motorem. Motory určené k řízení byly namontovány na přední a zadní kola. Toto čtyřkolové řízení umožňuje otočit se na místě o 360 °.

Konstrukce systému odpružení vychází z roveru Sojourner. Jejím základem jsou kolébky a podvozky. Kolébky jsou propojeny přes diferenciál, který udržuje karoserii v rovnováze. Pokud jedna strana roveru stoupá, diferenciál a kolébka automaticky způsobí, že druhá strana klesne. Díky tomu dojde k vyrovnání hmotnostní zátěže všech šesti kol.

Rover je schopný překonat náklon až 45 ° v libovolném směru bez převrácení. Nicméně Curiosity byla naprogramována tak, že nepřekročí náklon 30 °.

Curiosity je schopna přejet přes překážky a cestovat rychlostí asi 4 cm/s v závislosti na prováděném experimentu, viditelnosti a terénu. [54]



Obrázek 17: Tělo roveru Curiosity [90]

2.4.1.2 Řídící počítač roveru

Rover má dva počítače, z nichž jeden je záložní. V případě závady prvního počítače se druhý počítač „probudí“, převezme kontrolu a pokračuje v misi.

Řídící počítač je umístěn uvnitř těla v modulu RCE (The rover compute element). Má na starosti monitoring technického stavu Curiosity. Dokáže zaregistrovat jakékoliv výkyvy teplot nebo výkonu a pozoruje i další funkce, které udržují rover v chodu. Jakmile počítač zaregistruje jakékoliv změny, ihned na ně odpovídajícím způsobem zareaguje. Dalším úkolem počítače je zaznamenávat data o výrobě a ukládání energie. Plánuje a připravuje se na komunikaci se Zemí.

Důležitým aspektem počítače je speciální paměť. Ta byla zkonstruována tak, aby odolávala extrémnímu radiačnímu prostředí z vesmíru. Díky této paměti jsou data a programy vymazány, když se rover v noci vypne.

Sběrnice slouží jako komunikační rozhraní mezi počítačem, přístroji a senzory roveru. Ovládá také všechny motory, vědecké přístroje a komunikační funkce. [55]

2.4.1.3 Komunikace se Zemí

Veškeré fotografování, řízení a obsluha přístrojů jsou prováděny na základě příkazů přenášených na příkazové sekvenci roveru.

Rover generuje inženýrskou a analytickou telemetrii a periodické zprávy o událostech, které jsou uloženy pro případný přenos, jakmile si je letový tým vyžádá. [55]

2.4.1.4 Pohon

Curiosity je poháněna radioizotopovým energetickým systémem RTG (Obrázek 18). Ten se skládá ze dvou hlavních prvků, a to zdroje tepla, který obsahuje radioizotopové palivo,

plutonium 238, a termočlánek v pevné fázi, který přeměňuje tepelnou energii rozpadu plutonia na elektřinu.

Provozní životnost roveru je, díky tomuto zdroji energie, jeden nebo více mart'anských let. Poskytuje také větší mobilitu a provozní flexibilitu.

Palivo je obklopeno několika vrstvami ochranných materiálů. Jedním z nich je keramická forma, která odolává rozbití na jemné kousky. To snižuje pravděpodobnost, že by se nebezpečný materiál přenášel vzduchem anebo došlo k jeho požití.

Rover také nese dvě lithio-iontové dobíjecí baterie. Jedná se o záložní zdroj energie, pokud by došlo k dočasnému překročení stabilní úrovně elektrického výkonu generátoru. [56] [57] [58]



Obrázek 18: Pohon roveru Curiosity [91]

2.4.1.5 Robotická ruka

Hlavním úkolem Curiosity bylo nasbírat vzorky a podrobit je různým experimentům. K získání vzorků a manévrování přístrojů slouží robotická ruka (Obrázek 19). Díky třem kloubům je tato ruka velice flexibilní. Umožňuje nastavit nástrojovou hlavu s různými vědeckými nástroji nastavit přesně tak, jak potřebuje. Na konci ramene se nachází revolverová hlavice ve tvaru kříže. V ní se nachází různé nástroje, se kterými může otáčet až o 350 °.

Curiosity sbírá vzorky pomocí pěti přístrojů:

- Rentgenový spektrometr alfa částic APXS
- Mars Hand Lens Imager MAHLI
- Sběr a manipulace pro analýzu na místě Mars Rock Analysis CHIMRA
- Vrtací systém
- Nástroj na odstraňování prachu DRT

Nástroj na sběr a manipulaci pomáhá Curiosity třídit horninové materiály shromážděné vrtačkou a lopatkou roveru. K třídění vzorků napomáhá změna polohy hlavice a vibrační zařízení pro pohyb materiálu komorami, průchody a sítí. Vibrační zařízení také vytváří správnou velikost pro pád materiálu do vstupních portů pro nástroje na analýzu hornin.

Vrtací systém umožňuje roveru sbírat vzorky až 5 cm pod povrchem skály. Vrták proniká do horniny a rozdrtí vzorek na velikost zrna. Prášek se pohybuje nahoru spirálovými drážkami vrtáku do hlavice odkud se dostane do mechanismů na zpracování vzorku.

Pokud vrták uvízne ve skále, může se oddělit od vřetene vrtačky a následně rover vrták vymění. Rameno se nastaví tak, aby upnul jeden ze dvou náhradních vrtáků v boxu namontovaném na přední straně vozítka. Po upnutí vrtáku může Curiosity pokračovat v odebrání vzorků.

Curiosity používá na odstranění vrstvy prachu kartáčovací zařízení tvořené kovovými štětinami. Odstranění prachu z hornin umožňuje jiným nástrojům analyzovat strukturu skály. [59]



Obrázek 19: Rover Curiosity – přístroje [92]

2.4.2 Výsledky mise

Na počátku mise objevila Curiosity chemické a minerální důkazy o minulém obyvatelném prostředí na Marsu. Pokračuje ve zkoumání skalních záznamů z doby, kdy mohl být Mars domovem mikrobiálního života.

Provádí analýzu práškových vzorků vyvrtaných ze skal. Měří chemické otisky přítomné v různých horninách a půdách, aby se určilo jejich složení a historie, zejména jejich minulé interakce s vodou. [52]

2.5 Mise Mars 2020

Základem mise Mars 2020 je rover s názvem Perseverance. Celá mise je zaměřena na hledání známek mikrobiálního života.

30. července 2020 odstartovala raketa s roverem z Cape Canveral na mysu Canaveral, Florida. Na Marsu Perseverance přistála 18. února 2021.

Hlavním úkolem této mise je nasbírat vzorky půd a hornin do zkumavek, které budou vyzvednuty budoucí misí. [60] [61] [62]

2.5.1 Přistání

Nejtěžší částí každé mise na Mars je vstup do atmosféry, sestup a přistání sondy (Obrázek 21). Přibližně 40 % misí vyslaných na Mars bylo v této fázi úspěšných.

Perseverance byla navržena tak, aby celý proces vstupu, sestupu a přistání zvládla sama. Hlavním důvodem je zpoždění přenášeného signálu o 11 minut.

Do atmosféry vstupuje pouze ochranný aeroshell, ve kterém se nachází rover. Před tím, než je zahájen sestup se však musí natočit tepelným štítem směrem do atmosféry. K tomu slouží malé trysky na zadní skořepině. V atmosféře dochází velkému přehřívání sondy. Teplota může dosáhnout až 1300 °C. Díky aeroshellu zůstává teplota roveru přibližně na 20 °C.



Obrázek 20: Tepelný a zadní plášť [94]

V zadní části pláště jsou malé trysky, které upravují úhel a směr zdvihu. Ty slouží ke korekci dráhy sestupu v případě kolize se vzduchovou kapsou. Při sestupu atmosférou je sonda zpomalena až na 1600 km/h. V tomto okamžiku je otevřen nadzvukový padák, který má v průměru 21,5 m. K otevření dojde přibližně 240 s po vstupu do atmosféry při rychlosti 1 512 km/h. K výpočtu vzdálenosti od cíle přistání je Perseverance vybavena technologií s názvem Range Trigger. Range Trigger slouží také k vypočtení správné doby pro otevření padáku.

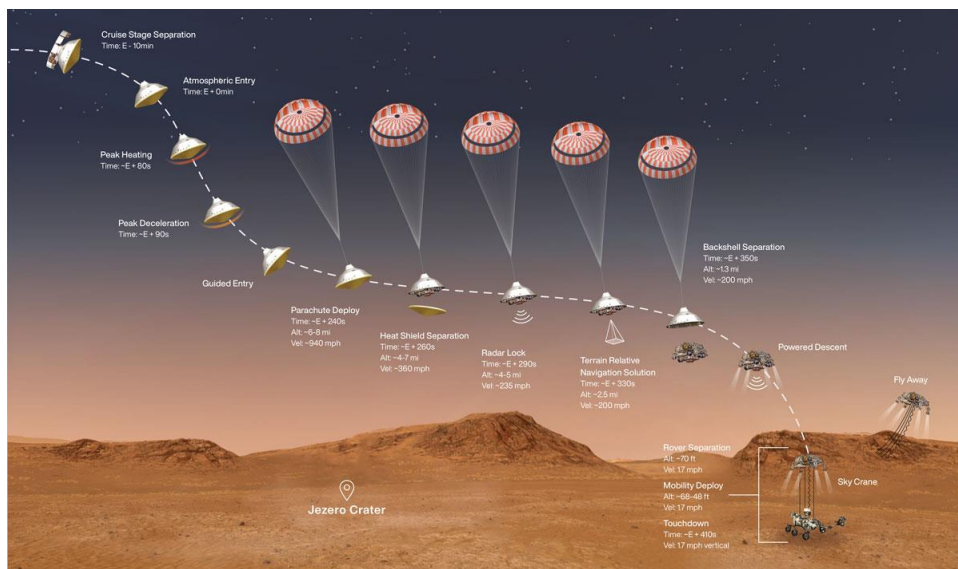
Po otevření padáku dojde k oddělení tepelného štítu. Přistávací radar napomáhá sondě zjistit, v jaké nadmořské výšce se zrovna nachází. Pomocí Terrain-Relative Navigation sonda zjistí, kam zrovna míří. V případě, že by mířila do nebezpečné oblasti, vybere nejméně nebezpečné místo a připraví se na přistání. Padák dokáže Perseverance zpomalit pouze na rychlost 320 km/h. Proto při této rychlosti dochází k odhození padáku a zbytek sestupu je zprostředkován pomocí raket.

Přibližně 2 100 m nad povrchem planety dojde k oddělení roveru a zapojení sestupových motorů.

Při konečné rychlosti cca 2,7 km/h sonda zahájí manévr s názvem „skycrane“. Rover je spuštěn na sadě kabelů o délce asi 6 m. Mobilní systém roveru je odepnut a nohy a kola jsou připravena na přistání.

Při dotyku kol s povrchem dochází k přerušení kabelů a rover je uvolněn a připraven na svoji misi. [68]

Dřívější způsob přistání byl prováděn pomocí koule s airbagy, což mohlo mít za následek poškození při dopadu a špatnou orientaci vozítka. V případě přistání pomocí jeřábového systému tyto problémy odpadají.



Obrázek 21: Vstup, sestup a přistání rover Perseverance [93]

2.5.2 Konstrukční řešení roveru

Rover Perseverance je primárně založen na Curiosity. Většina konstrukčních řešení zůstala stejná, pouze byla vylepšena.

Vozítko je přibližně stejně velké jako automobil. Na délku měří 3 m, na šířku 2,7 m a na výšku 2,2 m.

Kvůli opotřebení, kterému byla vystavena kola Curiosity, byla kola Perseverance navržena robustnější. Mají větší průměr a jsou vyrobená ze silnějšího hliníku. Také jsou užší než kola roveru Curiosity. Každé kolo je opatřeno běhounem s povrchem pro vysokou adhezi. Díky tomu mají vynikající trakci, jak při jízdě v měkkém písku, tak i na tvrdé skále. Rozdíly mezi koly roverů jsou zobrazeny na Obrázku 22.



Obrázek 22: Rozdíl mezi koly roveru Curiosity a Perseverance [95]

Robotické rameno Perseverance sice vychází z ramene Curiosity, ale existují zde dva důležité rozdíly. První rozdíl spočívá ve způsobu, jakým Perseverance sbírá vzorky hornin. Curiosity zkoumala vzorky přímo na místě, zatímco Perseverance vzorky ukládá pro budoucí studium. Druhým velkým rozdílem je velikost revolverové hlavy na konci ramene. Perseverance má nové funkce a nové vědecké nástroje, což má za příčinu větší velikost této revolverové hlavy.

Uvnitř těla roveru se nachází interní pracovní prostor. Tento prostor je určen pro sběr, přesouvání a umístování vrtáků a zkumavek na vzorky. K pohánění těchto specifických pohybů bylo zapotřebí vybavit rover novými motory.

Stejně jako Curiosity i Perseverance je poháněna pomocí radioizotopového napájecího systému RTG. [63] [64]

2.5.3 Provoz roveru

Úkolem Perseverance je nashromáždit zabezpečené vzorky hornin a půd z Marsu. Vzorky budou následně odloženy do tzv. „cache“. Z tohoto důvodu byl vytvořen nový software, který je v průběhu mise dále aktualizován.

Software dává roveru větší samostatnost. Dokáže se tedy rozhodnout sám, kam pojede a také sám vyhodnocuje rizika, proto není nutné často zasahovat do řízení Perseverance.

Výhodou tohoto systému je efektivnější využití elektrické energie a dalších zdrojů roveru. Dále si rover samostatně řadí úkoly a pokud se objeví čas na další úkol v denním plánu, rover toho využije. [64]

2.5.4 Řídící počítač roveru

Řídící počítač roveru se nachází v jeho těle. Počítačový modul se nazývá Rover Compute Element.

Rover obsahuje dva identické RCE. Stejně jako u Curiosity, jeden z nich je v provozu, zatímco druhý z nich je v režimu spánku. V případě jakýchkoliv problémů přebírá kontrolu a pokračuje v misi druhý RCE. Propojení RCE s technickými funkcemi je zajištěno pomocí dvou sítí.

Počítač roveru dokáže zaregistrovat jakékoliv odchylky teploty, výkonu a dalších funkcí. Na základě veškerých získaných informací o svém stavu, plánuje, které úkoly mohou být dokončeny nebo zahájeny.

Perseverance je schopna provádět velmi přesné vertikální, horizontální a příčné pohyby díky inerciální měřicí jednotce (IMU).

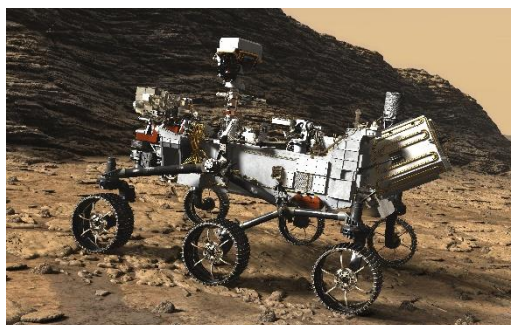
IMU poskytuje roveru informace o poloze ve třech osách. Zařízení slouží k navigaci, zaručení bezpečnosti a odhadnutí stupně náklonu, který rover zažívá na povrchu Marsu. [65]

2.5.5 Pohyb roveru

Perseverance využívá stejný systém odpružení jako Curiosity a Pathfinder (Obrázek 23). Ten se skládá ze tří hlavních součástí:

- Diferenciál, který je spojen s levou a pravou kolébkou a s karoserií vozítka pomocí čepu. Čep je umístěn uprostřed horní paluby roveru.
- Kolébka, nacházející se na každé straně roveru, spojuje přední kolo s diferenciálem a zadním podvozkem.
- Podvozek spojující střední a zadní kola s kolébkou.

Při jízdě po nerovném terénu si systém odpružení udržuje relativně stejnou zátěž na každém z kol. Další funkcí tohoto systému je minimalizace náklonu roveru při jízdě a zlepšení stability. [66]



Obrázek 23: Systém odpružení [96]

2.5.6 Robotické rameno

Robotické rameno je dlouhé přibližně 2,1 m. Dokáže se pohybovat podobně jako lidská ruka. Vědecké nástroje, které se nachází na rameni, slouží k získávání jadra z hornin, pořízují mikroskopické obrazy a analyzují elementární složení a minerální složení půd.

Na konci ramene je senzor přiblížení k povrchu. Jeho úkolem je chránit rameno před poškozením při kontaktu s povrchem. Senzor upozorní roveru na zastavení ramene, předtím, než dojde ke kontaktu se zemí. [67]

2.5.6.1 Vrtačka

Vrtačka roveru používá rotační pohyb s příklepy nebo bez příklepů k proniknutí do povrchu Marsu. Je vybavena třemi různými druhy nástavců, které usnadňují získávání vzorků a analýzu povrchu. Korunkové a regolitové nástavce se používají ke sběru vzorků přímo do čisté zkumavky. Brusný hrot je používán k seškrabávání nebo obroušení horních vrstev hornin, aby byly odhaleny čerstvé, nezvětralé povrchy pro studium. [67]

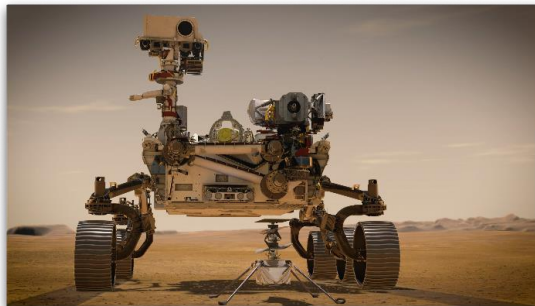
2.5.6.2 Zařízení na odběr vzorků

Stejně jako Curiosity i Perseverance má na konci robotického ramene revolverovou hlavu. Ta obsahuje vědecké kamery, minerální a chemické analyzátoři pro studium minulé obyvatelnosti Marsu. Vědecké nástroje namontované na hlavici jsou SHERLOC, WATSON a PIXL.

SHERLOC je určen k blízké studii minerálů. Používá spektrometry, laser a kameru k hledání organických látek a minerálů, které byly změněny vodním prostředím a mohou být známkami minulého mikrobiálního života.

Kamera WATSON zvětšuje a zaznamenává textury skalních a půdních cílů, které studuje minerální analyzátor SHERLOC. Kromě toho poskytuje cenné pohledy na systémy roveru, jako jsou například kola.

PIXL je schopen detekovat známky minulého života. Hledá jakékoliv změny v texturách a chemických látkách ve skalách a půdě, které by po sobě mohl zanechat mikrobiální život. [67]



Obrázek 24: Přední pohled na roveru Perseverance [97]

2.5.7 Ingenuity

Součástí mise Mars 2020 je i malá výzkumní helikoptéra s názvem Ingenuity (Obrázek 25). V průběhu cesty byla připevněna ke spodní části vozítka Perseverance. První zkušební let byl proveden 19. dubna 2021 a byl úspěšný.

Hlavním cílem Ingenuity je dokázat možnost letu v atmosféře Marsu, kde je nižší gravitace a je zde mnohem těžší generovat vztlak, kvůli nižší hustotě atmosféry.

V budoucnu by robotické helikoptéry mohly zkoumat terén seshora, nebo fungovat jako samostatné vědecké přístroje. Uvažuje se i o pomoci astronautů na Marsu. [70]

2.5.7.1 Konstrukční řešení

Ingenuity je vysoká cca 0,5 m a rozpětí rotoru je cca 1,2 m. Rychlost otáčení lopatek rotoru činí přibližně 2 400 ot./min.

Helikoptéra pracuje samostatně. Vzhledem k požadované lehkosti vrtulníku došlo k zmenšení palubních počítačů, elektroniky a dalších částí. Základním vybavením jsou navigační senzory a dvě kamery.

Hlavním zdrojem energie jsou baterie, které je možné dobíjet energií ze Slunce. K udržování provozních teplot jsou na Ingenuity připevněny interní ohřívače. [70]



Obrázek 25: Mars Helicopter – Ingeunity [98]

2.5.8 Očekávání od mise Perserverance

Perserverance úspěšně přistála na Marsu 18. února 2021. Cílem mise je zjistit, jestli na Marsu v minulosti existoval život.

Důležitým bodem mise je sbírání vzorků do zkumavek. Ty se v následující misi posbírají a připraví se na přesun na Zemi. Zkumavky budou v pouzdře, které není přizpůsobené k průletu atmosférou. Proto je posledním krokem tyto vzorky zachytit na oběžné dráze Země a bezpečně je dopravit na Zemi. Poté budou prozkoumány.

Důraz je kladen na to, aby nedošlo ke kontaminaci planety. [62]

2.6 Souhrn obecných vlastností sond na Marsu

Většina sond vyslaných na Mars našla svůj základ v sondách vyslaných na Měsíc. Z počátku se jednalo pouze o družice. Po zmapování povrchu z oběžné dráhy se začaly pokoušet o přistání.

Družice musely dokázat pracovat ve vakuu a měly dokonalejší komunikační systém vzhledem k vzdálenosti od Země než družice Měsíce. Opět byly opatřeny izolacemi proti nízkým teplotám a radiačnímu záření. Prováděly různé experimenty a měřily atmosféru Marsu, k tomu používaly různé přístroje.

Přistávací moduly byly přizpůsobeny marsovské atmosféře. Jedná se o jeden z rozdílů oproti přistání na Měsíci. Při přistávání bylo nutné dosáhnout určité orientace a rychlosti. Stejně jako družice i tyto moduly byly uzpůsobeny k zachování funkčnosti při nízkých teplotách a prováděly různé experimenty zaměřené převážně na povrch Marsu.

V posledních letech jsou k Marsu vysílány přistávací moduly, které s sebou nesou rovery. Tyto rovery jsou přizpůsobeny k jízdě po povrchu Marsu a předávají informace družici, která je přeposílá zpět na Zemi. K tomu je zapotřebí komunikačního systému.

Energie byla získávána ze Slunce anebo z baterií. Postupným vývojem přešli výrobci na kombinaci RTG a baterií.

Koncepční řešení sond se opět liší v rámci zemí a konstrukčních kanceláří. Sovětský svaz se držel vyzkoušené technologie, která byla použita již na Měsíci. Američané přišli s trochu novějším úhlem pohledu, i tak vycházeli z ověřených řešení.

Rovery poslané na Mars pochází převážně od společnosti NASA. Jejich řešení se proto moc neliší. Drželi se toho, co se osvědčilo a docházelo pouze k vylepšení a zdokonalování. Záleželo na cíli mise. Podle toho bylo vozítko uzpůsobeno.

Při srovnání vozítka Yutu, které bylo posláno k Měsíci, a roverů, které byly vyslány na Mars společností NASA, prvním rozdílem bude velikost. Poslední rovery na Marsu jsou přibližně stejně velké jako automobil. Vozítko Yutu je menší. Dalším rozdílem je zdroj energie. Curiosity i Perseverance jsou napájeny pomocí RTG a baterií. Na rozdíl od nich je Yutu poháněno převážně slunečními panely, což souhlasí s roverem Pathfinder z NASA.

Pohyb kol je velmi podobný, ale liší se jejich konstrukce. Kola Yutu vychází z návrhu kol vozítka Lunochod.

Rovery i vozítko mají trochu odlišné přístroje, ale v obou případech jsou některé z nich namontovány na robotickém rameni, které slouží k přiblížení k povrchu.

Tabulka 2: Základní vlastnosti sond na Marsu [40][44][72][73][64][70]

Název sondy	Druh	Rozměry				Zdroj energie	Přístroje
		Výška	Šířka	Délka	Váha		
Mariner 4	Družice	2,89 m	6,88 m	-	-	Solární panely	Komunikační systém; kamery; magnetometr; detektor prachu; teleskop kosmického paprsku; detektor zachycení záření
Mars 3	Lander	Průměr 2,90 m				Baterie	Komunikační zařízení
	Prop-M	-	-	-	4,5 kg	Spojen s přistávacím modulem	Dynamický penetrometr; radiační denzitometr
Pathfinder	Rover Sojourner	0,30 m	0,48 m	0,65 m	11,5 kg	Solární panely	APXS; kamery; meteorologické přístroje
Curiosity	Rover	2,20 m	2,70 m	3,00 m	899 kg	RTG	APXS; MAHLI; CHIMRA; vrtací systém; DRT; kamery; komunikační zařízení
Perseverance	Rover	2,20 m	2,70 m	3,00 m	1025 kg	RTG	Kamery; komunikační zařízení; vrtačka; zařízení na odběr vzorků
	Ingenuity	Rozpětí 1,20 m			1,8 kg	Solární panely	Kamery; komunikační systém

Závěr

K největšímu rozvoji vesmírného průzkumu přispěl vesmírný závod mezi SSSR a Spojenými státy. Postupně přešly od družic Země k meziplanetárním sondám.

Měsíční sondy umožnily získání poznatků o měsíční půdě a horninách. Byla změřena přibližná vzdálenost mezi Zemí a Měsícem.

Konstrukční řešení se v rámci výrobců moc nelišilo. Většinou docházelo k vylepšení již předchozího návrhu. Při konstrukci museli výrobci dbát na nepříznivé podmínky. Teplota sond byla udržována pomocí izolací a vyhřívání. Chod sond ve vakuu byl zajištěn pomocí speciálních maziv.

Sondy, které byly vyslané k Marsu, odpovídají na otázky ohledně života mimo naši planetu. Dokázaly získat důkazy o vodě, která kdysi byla na Marsu.

Stejně jako sondy na Měsíci i tyto sondy musely odolávat nepříznivým teplotám. Dalším problémem představovala atmosféra Marsu, kterou některé sondy musely proletět. S novým způsobem přistání přišli Američané, při kterém je rover v určité výšce nad povrchem snesen pomocí kabelů.

Všechny mise, i ty které nebyly úspěšné, přinesly podstatné informace, díky kterým došlo k rozvoji technologií.

Seznam použité literatury

- [1] Vesmírný závod, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vesm%C3%ADrn%C3%BD_z%C3%A1vod
- [2] Kosmická sonda, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kosmick%C3%A1_sonda
- [3] Space probe, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Space_probe
- [4] KRÁLOVÁ, Magda, 2021. Vesmírné sondy: Věda a technika v pozadí. *Techmania Science Center: EDUPORTÁL* [online]. Plzeň: Techmania Science Center [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/612>
- [5] JAMNEJAD, V., J. HUANG, B. LEVITT, T. PHAM a R. CESARONE, 2002. Array antennas for JPL/NASA Deep Space Network. *Proceedings, IEEE Aerospace Conference* [online]. IEEE, 2-911-2-921 [cit. 2021-03-18]. ISBN 0-7803-7231-X. Dostupné z: doi:10.1109/AERO.2002.1035672
- [6] MAJER, Dušan, 2020. České stopy v kosmonautice: Vesmír pro lidstvo. In: *Kosmonautix.cz: novinky ze světa kosmonautiky* [online]. Jihlava: kosmonautix.cz, 11. 9. 2020 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2020/09/ceske-stopy-v-kosmonautice-vesmir-pro-lidstvo/#:~:text=%20%C4%8Cesk%C3%A9%20stopy%20v%20kosmonautice%20%E2%80%93%20Vesm%C3%ADr%20pro,pozorov%C3%A1n%C3%AD%2011%20Lasery%20pro%20kosmick%C3%BD%20v%C3%BDzkum%20More>
- [7] Dějiny průzkumu sluneční soustavy, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bjiny_pr%C5%AFzkumu_slune%C4%8Dn%C3%AD_soustavy
- [8] Moon Missions, 2021. *NASA EARTH'S MOON* [online]. Washington: Public Engagement Team at NASA Goddard's Solar System Exploration Division [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://moon.nasa.gov/exploration/moon-missions/#2010s>
- [9] Missions: Luna 2, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/luna-02/in-depth/>
- [10] Luna 2, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1959-014A>
- [11] Před 60 lety dosáhl povrchu Měsíce první lidský výtvar, sovětská sonda Luna 2, 2021. In: *Novinky.cz* [online]. Praha: Borgis [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/historie/clanek/pred-60-lety-dosahl-povrchu-mesice-prvni-lidsky-vytvor-sovetska-sonda-luna-2-40296296>

- [12] Luna 2: Experiment - Geiger Counter, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=1959-014A-02>
- [13] Luna 2: Experiment - Triaxial Fluxgate Magnetometer, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=1959-014A-01>
- [14] Missions: Luna 9, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/luna-09/in-depth/>
- [15] Luna 9: 1st Soft Landing on the Moon, 2021. In: *Space.com* [online]. New York: Future US, 2016 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.space.com/35116-luna-9.html>
- [16] Luna 9, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1966-006A>
- [17] Luna 9: Experiment - Close-Up Lunar Surface, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=1966-006A-01>
- [18] Luna 9: Experiment - Radiation Detector, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=1966-006A-02>
- [19] Missions: Surveyor 1, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/surveyor-1/in-depth/>
- [20] Surveyor 1: Moon Missions, 2021. In: *NASA Jet Propulsion Laboratory: California Institute of Technology* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/surveyor-1>
- [21] Surveyor 1, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1966-045A>
- [22] Lunokhod programme, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lunokhod_programme#Rover_description
- [23] Lunokhod 1: Moon, 2021. *NASA EARTH'S MOON* [online]. Washington: Public Engagement Team at NASA Goddard's Solar System Exploration Division [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://moon.nasa.gov/resources/37/lunokhod-1/?category=images>

- [24] PŘIBYL, Tomáš, 2020. Lunochod: Co v učebnicích nebylo. In: *Kosmonautix.cz: novinky ze světa kosmonautiky* [online]. Brno: kosmonautix.cz, 2013 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2013/12/lunochod-co-v-ucebnicich-nebylo/>
- [25] První „kosmický vůz“ byl ruský Lunochod 1, 2021. In: *Česká televize* [online]. Praha: Česká televize [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1303753-prvni-kosmicky-vuz-byl-rusky-lunochod-1>
- [26] Luna 17/Lunokhod 1, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1970-095A>
- [27] Missions: Lunokhod 1, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/lunokhod-01/in-depth/>
- [28] Missions: Lunokhod 2, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/lunokhod-02/in-depth/>
- [29] Lunokhod 2, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lunokhod_2
- [30] Luna21/Lunokhod 2, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1973-001A>
- [31] Missions: Chang'e 3, 2021. *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Washington: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/change-3/in-depth/>
- [32] Chang'e-3: Satellite Missions, 2000 - 2021. In: *EoPortal Directory* [online]. Paříž: ESA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/change-e-3>
- [33] Chang'e-3, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2013-070A>
- [34] Chang'e-3: Satellite Missions, 2000 - 2021. In: *EoPortal Directory* [online]. Paříž: ESA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/change-e-3>
- [35] Yutu (rover), 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Yutu_\(rover\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Yutu_(rover))
- [36] Chang'e 3 Rover, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2013-070C>

- [37] Dějiny průzkumu sluneční soustavy, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bjiny_pr%C5%AFzkumu_slune%C4%8Dn%C3%AD_soustavy
- [38] Mariner 3 & 4, 2021. In: *NASA Science: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mariner-3-4/>
- [39] Mariner to Mercury, Venus and Mars: NASA Facts, 2020. NASA [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/internal_resources/809/
- [40] Mariner 4, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1964-077A>
- [41] SCULL, John R., 1965. Guidance and control of the Mariner planetary spacecraft. *1st IFAC Symposium on Automatic Control in the Peaceful Uses of Space Stavanger, Norway, June 21-24, 1965* [online]. 1. Stavanger: IFAC, s. 99-101 [cit. 2021-03-31]. ISBN S1474-6670(17)69073-6. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017690736>
- [42] Mars 3, 2021. In: *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Pasadena: Planetary Science Communications team at NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/mars-03/in-depth/>
- [43] Mars 3, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1971-049A>
- [44] Mars 3 Lander, 2021. *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1971-049F>
- [45] Марс-3, 2021. In: *Космос Планет: Сайд всё о космосе* [online]. Космос Планет [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://cosmosplanet.ru/solnechnayasistema/mars/mars-3.html>
- [46] Mars 3, 2021. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mars_3
- [47] Preliminary results on plasma electrons from Mars-2 and Mars-3, 1973. *Icarus* [online]. (18), 54-58 [cit. 2021-03-31]. ISSN 0019-1035. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0019103573901711>
- [48] Mars Microrover Power Subsystem, 1997. In: *NASA Mars* [online]. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/MPF/roverpwr/power.html>
- [49] Mars Pathfinder: Missions, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion

- Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/pathfinder/>
- [50] MFEX: Microrover Flight Experiment, 1997. In: *NASA Mars* [online]. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/MPF/roverctrlnav/electronics.html>
- [51] Mars Science Laboratory: Missions, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-science-laboratory/>
- [52] Mars Science Laboratory/Curiosity: NASA Facts, 2021. *NASA* [online]. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/internal_resources/824/
- [53] Mars Curiosity Rover: Body, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/body/>
- [54] Mars Curiosity Rover: Wheels, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/wheels/>
- [55] Mars Curiosity Rover: Brains, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/brains/>
- [56] Mars Curiosity Rover: Electrical Power, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/power/>
- [57] Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG): NASA Facts, 2020. *NASA* [online]. Washington: NASA [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/internal_resources/788/
- [58] Mars Exploration: NASA Facts, 2021. *NASA* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/internal_resources/790/
- [59] Mars Curiosity Rover: Arm, 2021. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/arm/>
- [60] Overview, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/overview/>

- [61] Mars 2020 Mission Overview, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/overview/>
- [62] Mars 2020/Perseverance: NASA Facts, 2020. *NASA* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/files/mars2020/Mars2020_Fact_Sheet.pdf
- [63] Rover, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/>
- [64] Rover: Body, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/body/>
- [65] Rover: Brains, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/brains/>
- [66] Rover: Wheels, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/wheels/>
- [67] Rover: Arm, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Mars Exploration Program and the Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/arm/>
- [68] Entry, Descent and Landing (EDL), 2021. In: *NASA Mars: 2020 MISION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/landing/entry-descent-landing/>
- [69] SMART-1, 2021. In: *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. Pasadena: NASA's Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/smart-1/in-depth/>
- [70] Ingenuity: NASA Facts, 2020. In: *NASA* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/files/mars2020/MarsHelicopterIngenuity_FactSheet.pdf
- [71] ŠÁRA, Filip, 2021. Helikoptéra na Marsu vzlétla. In: *Novinky.cz* [online]. Praha: Borgis [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://www.novinky.cz/veda-skoly/clanek/helikoptera-na-marsu-se-pokusila-o-prvni-let-40357475#dop_ab_variant=553400&dop_source_zone_name=novinky.sznhp.box&dop_req_id=XpDtDuV1f4i-202104191137&dop_id=40357475&source=hp&seq_no=4&utm_campaign=&utm_medium=z-boxiku&utm_source=www.seznam.cz

- [72] Mars Pathfinder: NASA Facts, 2020. *NASA* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-4-4]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/internal_resources/815/
- [73] Summary, 2021. In: *NASA Science Mars: 2020 MISSION PERSEVERENCE ROVER* [online]. Pasadena: NASA Jet Propulsion Laboratory [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/summary/>

Seznam použitých obrázků

[74] Obrázek 1

Moon, 2021. In: Pixabay [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://pixabay.com/photos/moon-sky-luna-craters-lunar-1527501/>

[75] Obrázek 2

Moon Missions, 2021. *NASA EARTH'S MOON* [online]. Washington: Public Engagement Team at NASA Goddard's Solar System Exploration Division [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://moon.nasa.gov/exploration/moon-missions/#2010s>

[76] Obrázek 3

NASA/NSSDCA. Luna 1–2 Model [foto]. In: *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/luna_1_2_c.jpg

[77] Obrázek 4

NASA/NSSDCA. Luna 9 [foto]. In: *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/luna-9.jpg>

[78] Obrázek 5

NASA. NASA's Surveyor spacecraft [foto]. In: *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/surveyor-1/in-depth/>

[79] Obrázek 6

NASA. Lunokhod 1 [foto]. In: *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/lunokhod-01/in-depth/>

[80] Obrázek 7

NATIONAL ASTRONOMY OBSERVATORY OF CHINA. Chang'e-3 [foto]. In: *Spaceflight101* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://spaceflight101.com/change/change-3-mission-gallery/>

[81] Obrázek 8

NATIONAL ASTRONOMY OBSERVATORY OF CHINA. Chang'e-3 rover 1 [foto]. In: *Spaceflight101* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://spaceflight101.com/change/change-3-mission-gallery/>

[82] Obrázek 9

NATIONAL ASTRONOMY OBSERVATORY OF CHINA. Chang'e-3 rover 2 [foto]. In: *Spaceflight101* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://spaceflight101.com/change/change-3-mission-gallery/>

[83] Obrázek 10

Mars, 2021. In: Pixabay [online]. pixabay [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://pixabay.com/photos/mars-space-science-planet-2651003/>

[84] Obrázek 11

List of missions to Mars, 2021. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_missions_to_Mars

[85] Obrázek 12

NASA. NASA's Mariner spacecraft [foto]. In: *NASA Science: SOLAR SYSTEM EXPLORATION* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/mariner-04/in-depth/>

[86] Obrázek 13

NASA/NSSDCA. Mars 3 [foto]. In: *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/mars3_iki.jpg

[87] Obrázek 14

NASA/NSSDCA. Mars 3 lander [foto]. In: *NASA: SPACE SCIENCE DATA COORDINATED ARCHIVE* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/mars3_lander_vsm.jpg

[88] Obrázek 15

NASA. Sojourner rover near the dice [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/8644/sojourner-rover-near-the-dice/>

[89] Obrázek 16

NASA. Rover [foto]. In: *NASA Mars* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: https://mars.nasa.gov/MPF/roverpwr/blue_up1.jpg

[90] Obrázek 17

NASA/JPL-CALTECH. Curiosity - body [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/body/>

[91] Obrázek 18

NASA/JPL-CALTECH. Curiosity - electrical power [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/power/>

[92] Obrázek 19

NASA/JPL-CALTECH. Curiosity the next mars rover [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/3504/curiosity-the-next-mars-rover/>

[93] Obrázek 20

Entry, Descent and Landing (EDL) [foto]. In: *NASA Science Mars: 2020 MISSION PERSEVERENCE ROVER* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/landing/entry-descent-landing/>

[94] Obrázek 21

NASA/JPL-CALTECH. Mars 2020's Aeroshell [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/24752/mars-2020s-aeroshell/>

[95] Obrázek 22

NASA/JPL-CALTECH. Curiosity's and Perseverance's wheels [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/24910/curiositys-and-perseverances-wheels/>

[96] Obrázek 23

NASA/JPL-CALTECH. NASA's Mars 2020 Rover Artist's Concept #5 [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/21380/nasas-mars-2020-rover-artists-concept-5/>

[97] Obrázek 24

NASA/JPL-CALTECH. Portrait of Perseverance and Ingenuity artists concept [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/25118/portrait-of-perseverance-and-ingenuity-artists-concept/>

[98] Obrázek 25

Ingenuity Mars Helicopter on the Martian Surface (Artist's Concept) [foto]. In: *NASA: MARS EXPLORATION PROGRAM* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/resources/25117/ingenuity-mars-helicopter-on-the-martian-surface-artists-concept/>

Seznam použitých zkratek

APXS	Rentgenový spektrometr alfa částic (Alfa proton X-ray spectrum)
BISSE	Pekingský institut kosmického systémového inženýrství
CNSA	Chinese national space agency
CPU	Centrální procesorová jednotka
DRT	Dust removal tool
GPR	Pozemní radar (Ground-penetrating radar)
IMU	Inerciální měřicí jednotka
JPL	Jet Propulsion Laboratory
LISA	Laser Interferometer Space Antenna
LLV	Lunar soft-landing vehicle
MAHLI	Mars Hand Lens Imager
METIS	The Multi Element Telescope for Imaging and Spectroscopy
NASA	Národní úřad pro letectví a vesmír (National Aeronautics and Space Administration)
RCE	The Rover Compute Element
RTG	Radioizotopový termoelektrický generátor
SASEI	Shanghai Aerospace System Engineering insitute
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
WEB	Warm Electronics Box