

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie (B1201)
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji (1604R002)



Vladyslav Ovcharenko

Současné exobiologické mise k Marsu. Význam pro geovědy a hledání života mimo Zemi.
Current exobiology missions to Mars. Importance for geoscience and search of Life beyond
Earth.

Typ závěrečné práce:

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel: prof. RNDr. Jan Jehlička, Dr.

Praha 2021

Poděkování patří Janu Jehličkovi za cenné rady, které mi pomohly k dokončení této práce. Děkuji také své rodině, dědečkovi a všem blízkým za jejich trpělivost a pochopení.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalařskou práci vypracoval samostatně a vyhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

V Praze dne 16.08.2021

.....

Abstract

The relevance of the topic of the bachelor's thesis "Current exobiology missions to Mars" is associated with the awareness of the similarity of some conditions and processes on Earth and Mars. Compared to other planets of the Solar system, Mars is somehow relatively close to our planet in major characteristics: the inclination of the equatorial plane, relief, the length of the day, some atmospheric processes, temperature conditions, etc. Having studied the processes taking place there now, we can better deal with the past and predict the future evolution not only of Mars, but also of Earth.

The aim of this work is to overview the current exobiological missions of NASA and ESA to Mars and the assessment of the importance of the information received for earth sciences and search of life beyond the Earth.

The subject of Exobiology consists in studies of potential origin, evolution, spread of life on other planets of the universe. Exobiology includes search for habitable environments both in the Solar system and beyond, detecting biomarkers, search of evidence of prebiotic chemistry, and research on potential possibilities of life in terms of adapting to extreme conditions in space.

Based on the foregoing, we can state that the exploration of Mars opens up grandiose prospects for science and technology of 21st century.

Key words: exobiology, Mars, planet, mission, exploration

Abstrakt

Relevantnost tématu bakalářské práce "Současné exobiologické mise k Marsu" je spojen s vědomím podobnosti některých procesů na Zemi a Marsu. Mars se, na rozdíl od planet Sluneční soustavy, alespoň částečně podobá naší planetě několika charakteristikami: sklon rovníkové roviny, reliéf, délka dne, řada atmosférických procesů, teplotních podmínek atd. Studium procesů, které tam nyní probíhají, můžeme lépe nahlížet minulost a předpovídat další vývoj Marsu, ale i Země.

Cílem této práce je podat jednoduchý přehled současných exobiologických misí NASA a ESA k Marsu a posouzení důležitosti získávaných informací pro vědy o Zemi a hledání života mimo Zemi.

Exobiologie je věda, jejímž předmětem je studium potenciálního vzniku, vývoje, šíření života na jiných planetách Vesmíru. Exobiologie hledá obyvatelná prostředí, oblasti ve Sluneční soustavě i mimo ni, hledá biomarkery mimo Zemi, hledá důkazy o procesech prebiotické chemie a výzkumu potenciálu příležitosti k životu, pokud jde o přizpůsobení se extrémním podmínkám ve vesmíru.

A na základě výše uvedeného můžeme konstatovat, že při průzkumu Marsu se pro přírodovědu a techniku 21. století otevírají velkolepě perspektivy.

Klíčová slova: exobiologie, Mars, planeta, mise, průzkum

Obsah	
1 Úvod	1
2 Role exobiologie ve studiu vesmíru	2
3 Teoretické základy a historie misí na Mars	7
4 Aktuální mise na Marsu 2020	12
4.1 Mise NASA na Marsu.....	12
4.1.1 Vědecké úkoly.....	15
4.1.2 Vědecké nástroje.....	15
4.1.3 Fakta.....	18
4.2 Mise ExoMars na Mars.....	19
4.2.1 Vědecké úkoly 2016.....	19
4.2.2 Vědecké nástroje mise 2016.....	20
4.2.3 Modul "Schiaparelli".....	20
4.2.4 Kosmická loď 2022, vědecké úkoly.....	22
4.2.5 Vědecké přístroje 2022.....	23
5 Závěr	24
6 Použitá literatura	25

1 Úvod

Jedním z hlavních úkolů, jehož řešení umožní lépe porozumět procesům a jevům ve Sluneční soustavě, je studium Marsu jako planety některými vlastnostmi blízkými Zemi. Po prostudování procesů, které tam nyní probíhají, můžeme lépe porozumět jeho minulosti a odhadovat nebo modelovat budoucnost. Zavedení těchto znalostí na modely Země a dalších planet Sluneční soustavy umožní výrazně pokročit ve srovnávací planetologii, odpovědět na otázky týkající se rozdílů mezi planetami, procesů jejich vzniku a naučit se interpretovat individuální trajektorie vývoje každé planety. Do poloviny dvacátého století jsme o jiných planetách věděli jen velmi málo a pouze pronikání lidstva do vesmíru nám umožnilo významně rozšířit naše znalosti studiem planet pomocí kosmických lodí (Lipatov, 2008).

Relevance studií se však každým rokem zvyšuje. Čím více se lidstvo o Marsu dozví, tím více pochopí podobnost planetárních procesů na Zemi a Marsu. Mars je naší planetě blízký z hlediska hlavních charakteristik: sklonem rovníkové roviny, reliéfem – všeobecně (na Marsu byla nalezena pohoří, sopky, polární čepice a pouštní pláně), délkou dne (Mars se otáčí kolem osy otáčení 24 hodin 37 minut a 23 sekund). Do určité míry je podobná také řada atmosférických procesů (sezónní jevy, existují dvě roční období), teplotní podmínky (povrchová teplota na rovníku během dne je od 10 ° C až 30 ° C), přítomnost aerosolové složky v atmosféře (nevýznamná přítomnost kyslíku - ne více než 0,001 kyslíku ze zemské atmosféry). Avšak přítomnost významných rozdílů (malý rovníkový průměr - 6800 km, nižší hustota - 4,0 g / cm³, malá hmotnost - pouze 0,53 hmotnosti Země, přítomnost dvou malých satelitů – Phobose a Deimose, ve srovnání s tlakem Země atmosféra Marsu - asi 0,006 zemské atmosféry, chemické složení atmosféry Marsu je oxid uhličitý a na Zemi - dusík a kyslík, neexistuje magnetické pole a radiační pás) neumožňuje jednoduše přenášet fyzikální, seismické a jiné změny jako v případě Země (Shkurchenko, 2007). Jak ukazují údaje získané z různých misí, některé oblasti povrchu Marsu mají zbytkovou magnetizaci, což je důkazem toho, že „Červená planeta“ dříve měla planetární magnetické pole. Podle jedné z teorií bylo možným důvodem pro pokles hodnot magnetického pole zastavení planetárního dynama v důsledku ochlazení jádra, což může souviset s přítomností velkých obsahů síry v železném jádru (Glazkov, 2015).

Průzkum a studium Marsu je vědecký proces sběru a systematizace dat na jedné z nejpozoruhodnějších planet Sluneční soustavy. Proces studia se týká různých oblastí znalostí, včetně informací o astronomii, biologii, planetologii a dalších.

Cílem práce je podat přehled současných exobiologických misí NASA a ESA na Mars a posoudit význam získaných informací pro vědy o Zemi a hledání života mimo Zemi.

K dosažení tohoto cíle byly v práci stanoveny tyto části:

- srovnávací analýza cílů a metodických přístupů marťanských misí NASA (<https://mars.nasa.gov/>) a ESA (https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express);

- přehled metod a experimentů navržených k implementaci;
- popis roverů, jejich vlastností, technického vybavení a technologické podpora.

Marc Kaufman z NASA (2021) říká, že exobiologie je věda, jejímž předmětem je studium původu, evoluce, distribuce života na jiných planetách vesmíru. Exobiologie se při hodnocení možnosti existence mimozemského života v minulosti anebo v současnosti opírá o vědecké výsledky a úspěchy získané při studiu pozemských jevů (fyzika, chemie, biologie, ekologie, geografie, geologie) a při průzkumu vesmíru (astronomie, planetologie, kosmonautika). Exobiologie hledá zóny obyvatelnosti („habitable zones“) ve Sluneční soustavě i mimo ni, hledá důkazy o prebiotické chemii, věnuje se laboratorním i mimolaboratorním praktickým studiím původu a raného vývoje života na Zemi. Zásadní oblastí je poznávání procesů a možností jak se organismy (mikroorganismy) přizpůsobují extrémním podmínkám na Zemi i ve vesmíru.

Exobiologové zjistili, že vývoj Země a Marsu v počátečním období probíhal částečně podle podobných scénářů:

Bottke a Norman (2017), Osinski et al. (2020) ukázali, že podle kosmogonické hypotézy, voda na planetách Sluneční soustavy mohla být s určitou pravděpodobností přítomna do Noahu (4,6–3,7 miliardami let). Tentokrát docházelo zřejmě k intenzivnímu meteoritickému bombardování povrchu Marsu ledovými tělesy. Pravidelný dopad asteroidů a komet zahříval povrch planety - klima bylo vlhké a teplé, což přispělo k vytvoření hydrosféry. Během tohoto období je vývoj Marsu podobný vývoji na počátku Země. Cyklus vody byl pravděpodobně podobný Zemi: na severní polokouli byl oceán a na jižní byla vytvořena říční údolí. A ačkoli důkazy o původu života dosud v tomto období neexistují, je toto jediná etapa v historii planety, která nevylučuje původ života ve formách podobných těm na Zemi (Hallis, 2017). V Hesperianu (3,7–3,0 miliardami let) došlo na Marsu globální změna klimatu. Vedla ke ztrátě atmosféry, začátku zamrznutí a ke vzniku kryosféry. Pád teplot pod 0 ° C a nerušená expozice kosmickým paprskům může vést buď ke zničení života, nebo ke změně jejich forem, jeho potenciálního rozšíření v jednotlivých oázách. V Amazonu (3 miliardy do současnosti) bylo chladné a suché podnebí občas nahrazeno vlhkým podnebím, které se projevilo v krycím zalednění jednotlivých regionů. Ideálně by mohl být budoucí výzkum zaměřen na horniny Noahu zachované zejména na jižní polokouli.

Na základě výše uvedeného můžeme konstatovat, že průzkum Marsu otevírá grandiózní vyhlídky na exobiologii.

2 Role exobiologie ve studiu vesmíru

Otázky o původu života na Zemi ve vesmíru byly pro lidstvo zajímavé již od starověku. Ve Středověku Giordano Bruno shrnul v dostupné představy a nastolil nové otázky v jeho obecném filozofickém díle „O nekonečnu, vesmíru a světech“ (ve shrnutí, Bruno, 2014). Významný nárůst zájmu o hledání

mimozemského života je spojen s velkou opozicí Marsu v roce 1877, kdy Giovanni Schiaparelli popsal slavné mart'anské „kanály“.

Od té doby lidstvo ovšem stále více zajímala představa mimozemského života a to zejména ve 20. století, kdy začaly být pro pozorování a výzkum k dispozici zcela nové nástroje, přístroje i možnost přímých a stále přesnějších pozorování.

Mimozemský život je jednou z hlavních otázek exobiologie, vědy, která je zaměřena na studium vzniku života, možnosti jeho existence a udržení života mimo Zemi. Astrobiologie stojí před následujícími úkoly: popsat život v extrémních podmínkách na Zemi, poznat a popsat podmínky a možnosti vzniku života na objektech Sluneční soustavy a v planetárních systémech jiných hvězd, věnovat se laboratorním a praktickým studiím zaměřeným na vznik a raný vývoj života na Zemi, potenciál života ve vesmíru. Samostatnou oblastí je hledání mimozemské inteligence (SETI) která však stojí na okraji oblasti exobiologie. Původní termín - astrobotanika - navrhl sovětský astronom G.A. Tichonov v roce 1953. V průběhu několika desetiletí se tento pojem vyvinul a v 90. letech 20. století získal moderní zvuk. Je vytvořen ze starořeckých slov.

Des Marais et al. (2008) prezentovali současný astrobiologický program NASA, který zahrnuje deset hlavních oblastí: raná Země, vznik živé hmoty, evoluce života, vývoj ekosystémů, stanovení hranic života, planet a podmínek vhodných pro život, biomarkery, život ve Sluneční soustavě, poruchy ekosystémů, možnosti života mimo Zemi. Bylo vytvořeno šest asociací, takzvané Facus Groups: Mars, smíšená mikrobiální ekogenomika, mise na ranou Zemi, evogenomika, Evropa, astromateriály.

Exobiologie je studium potenciálu a forem života mimo zemské prostředí (termín vytvořený molekulárním biologem a laureátem Nobelovy ceny Joshou Lederbergem). Exobiologie dosud neposkytla důkazy o existenci života mimo Zemi, ale zkoumá možnosti, které by naznačovaly že by mohla ve vesmíru existovat a existovat jakákoli forma života.

Výzkum se provádí v následujících oblastech:

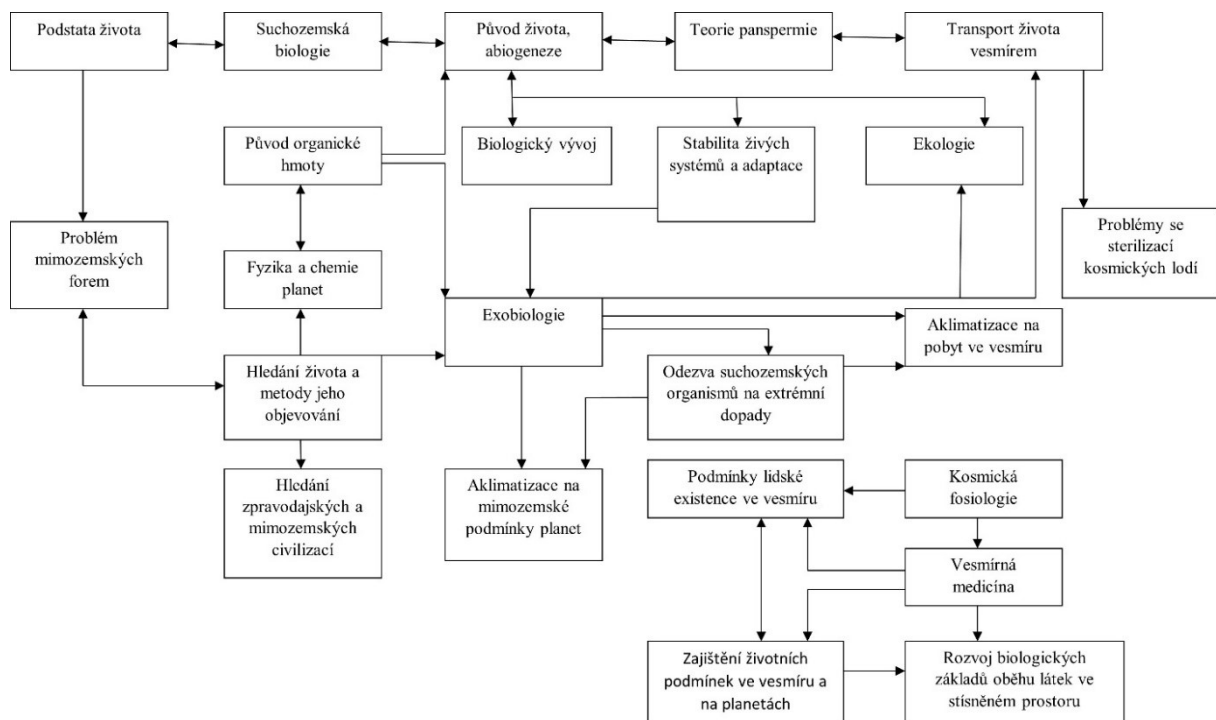
- základní životní podmínky a popis zón obyvatelnosti;
- způsoby existence organických látek ve vesmíru;
- možnost existence života ve Sluneční soustavě, v cizích soustavách, na slábnoucích a zaniklých hvězdách.

Vago a Westallová (2017) poukázali, v tomto kontextu na dvě velmi významné kategorie: biomarkery (biomarkers) a tzv. bioznaky (biosignatures). Mnohé dílčí exobiologické projekty zaměřené na Mars (ale i na řadu dalších mimozemských těles, planet a satelitů) se snaží identifikovat takové chemické nebo morfologické znaky, které mohou být produkovány, vytvářeny nebo odvozeny pouze z činnosti organismů.

Neméně významným směrem ve vývoji exobiologie je provádění experimentů s hledáním mimozemských organických molekul. Je též posuzována role ultrafialového záření na evoluční procesy a také možnost přenosu života mezi planetami a mimo Sluneční soustavu (Homeck, 1995). Nejčastěji výzkum v exobiologii provádějí exobiologové, jejichž aktivity podporují státní vesmírné agentury a velké soukromé společnosti a nadace. Zajímavým příkladem je Astrobiologický institut NASA (NAI) a Evropská kosmická agentura, jejichž strukturu představuje soubor projektů prováděných jednotlivými týmy a partnerskými institucemi po celém světě.

Zájem NASA o exobiologii je evidentní již od prvních vesmírných projektů. A pokud byl v roce 1959 financován první exobiologický projekt (Hubbard, 2008).

V roce 2016 určila Evropská kosmická agentura pět hlavních oblastí výzkumu a vědeckých témat přímo souvisejících s exobiologií: vznik a vývoj planetárních systémů, výskyt organických sloučenin ve vesmíru, interakce klíčových složek života - minerály-voda-uhlík, hranice obyvatelnosti a biologické znaky (biosignatures). Exobiologové jsou odborníci pracující na křižovatce různých věd založených na metodách a principech „pozemské“ základní vědy. Při výzkumech zaměřených na hledání mimozemského života *s.l.* pracují týmy fyziků a chemiků, astronomů a geologů, biologů a petrologů a dalších. Vztah exobiologie se studijními obory jiných věd je uveden na Obr. 1.



Obr. 1. Vztah exobiologie se studijními obory jiných věd (L. K. Lozina-Lozinsky, E. I. Zaar, 1980).

Mikrobiologové, genetici a evoluční biologové, kteří studují bakterie, další mikroorganismy i další organismy v extrémních podmínkách, mohou prezentovat hypotézy o schopnosti organismů přežít v

podmínkách typických pro jiné planety. De Vera et al. (2014) z Německého letového střediska (DLR) zveřejnili hypotézy o možnosti přežívání živých bytostí na Marsu v půdě chráněné před ultrafialovým zářením. Základem pro tyto výzkumy byl experiment se zelenými řasami a lišejníky z Antarktidy a vysokých Alp, umístěných v modelové komoře, kde byla půda, atmosféra, teplota, záření a tlak blízké těm na Marsu.

Martinsová et al. (2017) ukázali, že exobiology mohou zajímat ekosystémy v běžných podmínkách na povrchu Země i neobvyklé formy života na Zemi. Christopher et al. (2018) se domnívají, že změny obsahu metanu v Marsovské atmosféře a srovnání těchto údajů s metanem uvolňovaným některými druhy bakterií Země naznačuje důvod vzniku malých lokalizovaných zdrojů metanu uvolňovaných z povrchu Marsu nebo podzemních nádrží.

Exobiologové také získávají informace zkoumáním vzorků pocházejících z vesmíru získaných z meteoritů nebo přímo z Měsíce. Exobiologové mohou využívat širokou škálu excelentních chemických nebo spektroskopických metod a analyzovat chemický vývoj organických sloučenin. Experimentální výzkum syntézy komplexních organických sloučenin z jednoduchých prekurzorů J. Ora v roce 1963 v USA patřil do oblasti experimentální organické kosmochemie. Exobiologové se také podílejí na interpretaci snímků jiných planetárních těles. Jsou schopni identifikovat stopy možných vodních zdrojů nebo moří. K implementaci stanovených směrů byly navrženy různé metody, které jsou založeny na použití určitých projevů živé přírody. Jaké jsou tyto metody?

Obvykle se dělí na dálkové, analytické a funkční. Metody dálkového průzkumu se používají, když jsou živé systémy schopné zachovávat stopy (biosignatures), které jsou patrné pro vizuální pozorování. Analytické metody se používají k podrobnému chemickému studiu povrchu planety jako možného místa pro lokalizaci určitých forem života. Zde jsou právě významné různé studie zaměřené na biomarkery *s.l.* Funkční metody se zaměřují na nalezení života odrážejícího se prostřednictvím charakteristik, jako je růst, reprodukce, metabolismus.

Metody hledání života jsou přímé nebo nepřímé. Přímé metody - dálkový průzkum a řada funkčních metod, nepřímé - chemické analýzy půdy a atmosféry, astronomické metody.

Mikroskopie může pomáhat při detekci života prostřednictvím mikroskopického zkoumání vzorků, např. regolitu či půdy. Použití mikroskopie umožňuje zobrazit morfologii a další detaily buňky.

Radiometrie. Experimenty tohoto druhu odkazují na funkční metody a jsou založeny na studiu chování mikroorganismů ve speciálních komorách. Navzdory skutečnosti, že metoda „značkových“ atomů se v biologii již dlouho používá, specifčnost problému hledání mimozemského života na ni klade i řadu zvláštních požadavků. Myšlenka použití radiometrie spočívá v tom, že takové organické látky - živiny, které mají atom radioaktivního uhlíku, se zavádějí do kapalného média.

Guan a Liu (2019) ukázali, že měření pH a hodnoty mohou určitým způsobem odrážet skutečnost, že růst bakterií v přítomnosti organických látek, například glukózy, vede k tvorbě organických kyselin, v souvislosti s nimiž klesá pH média, což potvrzuje životně důležitou aktivitu mikroorganismů.

Manometrická metoda založená na měření tlaku „atmosféry“ uvnitř komory se vyznačuje relativně nízkou citlivostí a používá se v kombinaci s jinými metodami jako další metoda.

ATP-metry umožňuje určit složení konkrétních organických látek, které tvoří buněčný materiál. Detekce kyseliny adenosintrifosforečné v mimozemském materiálu může být přesvědčivým důkazem přítomnosti suchozemských organismů v něm (Turhanen, 2017).

Franco-Duarte et al. (2019) dokumentovali, že chemická analýza neznámé půdy může zajistit identifikaci určitých sloučenin (aminokyseliny, bílkoviny, lipidy, nukleové kyseliny, ATP, cukry, organické kyseliny atd.). Jejich detekce umožní vyvodit závěr o podobnosti mimozemských a suchozemských organismů. Je třeba si uvědomit, že takové látky mohou být vytvářeny nikoli biologickou syntézou, ale abiogenně.

Ramanova spektroskopie - je molekulární spektroskopie pro pozorování nepružně rozptýleného světla a umožňuje identifikovat vibrační stavy molekul. Jedná se o neocenitelný analytický nástroj pro molekulární identifikaci i pro monitorování změn ve struktuře molekulárních vazeb. Ve srovnání s jinými metodami vibrační spektroskopie, jako je FTIR a NIR spektroskopie, má Ramanova spektroskopie několik výhod.

Vago a Westallová (2017) doložili, vhodnost použití moderních Ramanovských spektrometrů. Alajtal et al. (2010) ukázali, že viditelné lasery se obvykle používají pro analýzu anorganických materiálů, jako jsou uhlíkové nanotrubičky, diodové lasery s vlnovou délkou 785 nm jsou standardními nástroji pro studium organických molekul i minerálů a s vlnovou délkou 532 nm laser lze použít ke zvýšení citlivosti např. pro studium karotenoidů i pro některé anorganické molekuly.

Němečková et al. (2020) zjistili, že přesné rozlišení různých karotenoidů endolitů sádrovců příručním Ramanovým spektrometrem nemusí být jednoznačné. Přenosný Ramanův spektrometr nicméně umožňuje rychlou a detekci karotenoidů na místě např. v sádrovci s endolitickými mikroorganismy s různou pigmentací. Použití miniaturních Ramanových nástrojů je důležité pro současné astrobiologické mise na Mars a NASA i ESA s touto metodou v současných projektech počítá.

I když mimozemský život není dosud doložen, interdisciplinární povaha exobiologie a kosmické a evoluční perspektivy z ní generované mohou stále vést k řadě výhod a nových objevů zde na Zemi.

3 Teoretické základy a historie misí na Mars

Po celou dobu průzkumu Marsu bylo získávání a analýza informací prováděna jak z oběžné dráhy (metodami dálkového průzkumu), tak pomocí roverů (kontaktními metodami). Obě tyto metody jsou nyní relevantní, vzájemně se doplňují a poskytují úplnější a objektivnější informace o procesech probíhajících na planetě.

Nejúčinnější metodou studia čtvrté planety je dálkový průzkum pomocí kosmických lodí. Sondy byly vysílány ze Země na Mars od konce 20. století a významně rozšířily chápání struktury planety, zejména z hlediska geologie a potenciálu obyvatelnosti. Návrh planetárních projektů je velmi náročný a mise určené k výzkumu Marsu opakovaně selhaly, zejména v prvních obdobích. Asi 60% všech kosmických lodí odeslaných k Červené planetě se dostalo do nouzových situací nebo narazilo na poruchu palubního zařízení před skutečným začátkem plánovaných pozorování.

Červená barva povrchu Marsu je vysvětlena dvěma nejběžnějšími teoriemi:

1. Barry a Phillips z NASA (2001) se domnívali, že regolit Marsu může obsahovat velké množství minerálu maghemitu (magnetická modifikace oxidu železa). Dřívější astronomové věřili, že pod vlivem vody, jejíž velké zásoby byly v minulosti pravděpodobně na Marsu k dispozici, se na povrchu planety vytvořila velká vrstva rzi - oxidy železa.
2. Neustálé bombardování meteority. Yen et al. (2017) z Jet Propulsion Laboratory NASA zkoumali informace přenášené na Zemi výzkumnou sondou Mars Pathfinder, která přistála na „Červené planetě“ v roce 1997, a zjistili, že vrstva prachu pokrývající povrch Marsu obsahuje mnohem více hořčíku a železa než přímo na Zemi. Jedna z možných teorií uvažuje vliv dopadajících meteoritů na Mars (Doody, 2009).

Mise	Rok	Země	Výsledek
Mariner 4	1964	USA	První průlet kolem Marsu, první detailní snímky jiné planety.
Mariner 6 a Mariner 7	1969	USA	Průzkum Marsu z průletu. První studium složení atmosféry pomocí spektroskopických technik a stanovení povrchové teploty z infračervených měření. Pořizování povrchových obrázků
Mariner 9	1971	USA	První sonda Marsu, první povrchové mapování.
Mars 2	1971	SSSR	Sonda Marsu a první pokus o měkké přistání automatické stanice Marsu

			pomocí sestupového vozidla (neúspěšný).
Mars 3	1971	SSSR	Sonda Marsu; první měkké přistání na Marsu, první automatická stanice Marsu (neúspěšné, přenos dat ze stanice se zastavil krátce po přistání).
Mars 4	1974	SSSR	Průzkum Marsu z průletové dráhy (neúspěšné, nebylo možné vypustit umělou družici Marsu na oběžnou dráhu).
Mars 5	1974	SSSR	Sonda Marsu (částečně úspěšný, doba provozu satelitu je asi dva týdny).
Mars 6	1974	SSSR	Průlet kolem Marsu a pokus o měkké přistání automatické marsovská stanice pomocí sestupového vozidla (neúspěšné, v bezprostřední blízkosti povrchu Marsu došlo ke ztrátě komunikace), první přímé měření složení atmosféry, tlaku a teploty během sestupu sestupného vozidla pomocí padáku.
Mars 7	1974	SSSR	Průlet kolem Marsu a pokus o měkké přistání automatické marsovská stanice pomocí sestupového vozidla (neúspěšné, sestupové vozidlo letělo kolem Marsu).
Viking 1	1976	USA	Sonda Marsu a první fungující automatická marsovská stanice; první snímky přenášené z povrchu Marsu, první přímé studie atmosféry a půdy, první pokusy o hledání života na Marsu.
Viking 2	1976	USA	Sonda Marsu a automatická marťanská stanice; snímky přenášené z povrchu Marsu, přímé studie atmosféry a půdy, experimenty k hledání života na Marsu.

Fobos 2	1989	SSSR	Sonda Marsu (komunikace ztracena před pokusem o přistání sestupného vozidla na Phobosu).
Mars Global Surveyor	1996	USA	Sonda Marsu (provozní doba 1996-2004).
Mars Pathfinder	1997	USA	Automatická stanice Mars a první Mars Rover Sojourner (provozní doba 4. července 1997 - 27. září 1997).
Spirit	2004	USA	Mars rover (provozní doba 4. ledna 2004 - 22. března 2010).
Opportunity	2004	USA	Mars rover (provozní doba 25. ledna 2004 - 10. června 2018).
Phoenix	2007	USA	Automatická marsovská stanice. První bezpilotní stanice na Marsu v polární oblasti (provozní doba 25. května 2008 - 2. listopadu 2008).

Tab. 1. Dokončené mise na Mars (vytvořené autorem samostatně).

Údaje v Tab. 1 naznačují, že první pokusy dostat se na Mars sahají do první poloviny 60. let dvacátého století. Většina z nich skončila neúspěchem. Od roku 1960 až dodnes dosáhlo na Mars pouze 42% kosmických lodí. Ve srovnání s lety na obří planety jsou to poměrně nepříznivé statistiky a následují možné příčiny nedokončených misí:

Mise	Rok	Země	Důvod selhání
Mars 1960A	1960	SSSR	Náraz posilovače.
Mars 1960B	1960	SSSR	Náraz posilovače.
Mars 1962A	1962	SSSR	Zrychlovací fáze nefungovala.
Mars 1	1962	SSSR	Porucha orientačního systému.
Mars 1962B	1962	SSSR	Zrychlovací fáze selhala.
Mariner 3	1964	USA	Kapotáž hlavy nespadla.
Zond 2	1964	SSSR	Nedostal se do oblasti Marsu.
Mars 1969A	1969	SSSR	Náraz posilovače.

Mars 1960B	1969	SSSR	Náraz posilovače.
Mariner 8	1971	USA	Náraz posilovače.
Prostor 419	1971	SSSR	Zrychlovací fáze selhala.
Fobos 1	1988	SSSR	Ztráta spojení.
Mars Observer	1992	USA	Ztráta spojení.
Mars 96	1996	Rusko	Zrychlovací fáze selhala.
Nozomi	1998	Japonsko	Nepodařilo se dostat na oběžnou dráhu kolem Marsu.
Mars Climate Orbiter	1999	USA	Havárie při pokusu o oběžnou dráhu kolem Marsu.
Mars Polar Lander	1999	USA/ Rusko	Nehoda při přistání.
Deep Space 2	1999	USA	Ztráta spojení po vstupu do atmosféry.
Beagle-2 (přistávací modul "Mars-Express")	2003	ESA	Neúplné rozmístění solárních panelů po přistání.
Fobos-Grunt	2011	Rusko	Selhání palubního počítačového komplexu; Zrychlovací stupeň se nezapnul.
Inho-1	2011	Čína	Měl být převezen na misi Phobos-Grunt.
Schiaparelli	2016	ESA / Rusko	Nehoda při přistání.

Tab. 2. Neúspěšné mise na Mars (vytvořené autorem samostatně).

Důvody neúspěchu při zahájení a organizaci mise souvisejí především s letovými problémy. Odborníci rozlišují několik fází v pojetí letu:

První fází je vypuštění. Hned v prvních misích to byl nejtěžší proces, pokusy překročit i nízkou oběžnou dráhu Země skončily neúspěchem. Důvody se lišily od úniku paliva po selhání řídicího systému. V současné době byly při spouštění nashromážděny dostatečné zkušenosti a tyto procesy jsou dobře zvládnuty.

Druhou fází je samotný let a přesné načasování operací. Chronologicky je vidět, že většina misí různých zemí probíhá současně. Například v červenci 2020 byly zahájeny 3 mise z různých zemí (USA, Spojené

arabské emiráty a Čína). To souvisí s příznivou situací, kdy se v intervalu jeden a půl až dva roky planety Sluneční soustavy seřadí tak, že se let na Mars zkrátí z devíti na sedm měsíců. To šetří palivo a čas.

Třetí etapou je přiblížení se k planetě. Kosmická loď musí sledovat eliptickou trajektorii, aby umožnila přechod mezi oběžnou dráhou Země a oběžnou dráhou Marsu. Tomu se říká Homanova trajektorie. Je nutné provést správné výpočty této trajektorie, jinak kosmická loď planetu mine a poletí do hlubokého vesmíru.

Poslední a nejtěžší etapou je v dnešní době přistání na Marsu. Jedním z hlavních problémů, které mohou ovlivnit úspěšnost operace je zpoždění rádiového signálu při návratu na Zemi. Proces proto musí být automatizován pomocí autonomního palubního počítače, který musí vše zohlednit do nejmenších detailů. Například úhel vstupu do atmosféry je 12 stupňů (v jiném stupni sonda shoří nebo se rozlomí), úspěch je podmíněn dokonalou tepelnou ochranou tepelnými štíty.

Pro poslední etapu byl vytvořen nový výraz „sedm minut hrůzy“, v rámci sestupu roveru Curiosity do Marsovské atmosféry a před úplným přistáním. Byl to velmi zásadní okamžik, který doložil výtečné a mnohaleté zkušenosti stovek vědců a využití milionů dolarů pro technický a technologický rozvoj.

Aktuální mise:

Na oběžných drahách kolem Marsu je v současnosti šest kosmických sond: Mars Odyssey (od 24. října 2001, USA); Mars Express (od 25. prosince 2003, EU); Mars Reconnaissance Orbiter (od 10. března 2006, USA); MAVEN (od 22. září 2014, USA); Mangalyan (od 24. září 2014, Indie); Stopový plynový orbiter (od 19. října 2016, EU a Rusko).

ESA (2005) naplánovala v rámci úspěšného provozu satelitu Mars Express také uvedení zařízení ESA MARSIS PR 34-2005 do provozu. Marsis, pokročilý radar pro ozařování horninového prostředí a ionosféry na Marsu. Díky tomuto radaru obdržel orbiter Mars Express další sadu dostupných nástrojů pro studium atmosféry, povrchu a podpovrchové struktury planety. Byla to první příležitost doložit, co leží pod povrchem Marsu. MARSIS(ESA PR 34-2005) v noci vysílá na Mars kódovaný proud rádiových vln a analyzuje jejich charakteristické ozvěny. Hlavním cílem nočního radaru je najít vodu. Stejná metoda se používá během dne ke studiu struktury horních vrstev atmosféry. MARSIS navíc poskytuje rozsáhlé výškoměrné mapování a data o ionosféře planety, protože tato elektricky nabitá oblast horní atmosféry také odráží rádiové vlny.

Díky MARSIS(ESA PR 34-2005) byla voda nalezena v různém skupenství. Nejprve ve formě ledu, a v roce 2018 byla detekována slaná voda v „jezeře“ v hloubce 1,5 km pod ledem jižní polární čepice, široká asi 20 km. Lauro et al. (2020) uvedli, že přítomnost polárních čepic a bílých mraků naznačuje přítomnost vody na Marsu v relativně malém množství. MARSIS(ESA PR 34-2005) byl tedy prvním nástrojem, který ve skutečnosti studoval stav hmoty pod povrchem Marsu pomocí nízkofrekvenčních mikrovln odrážejících se od různých vrstev hmoty.

Na povrchu planety pracují následující automatické stanice: Curiosity (Mars Science Laboratory) (od 6. srpna 2012, USA); InSight (od 26. listopadu 2018, USA). InSight je mise NASA která se zaměřuje na studium vnitřní struktury a složení Marsu. V listopadu 2018 přistál lander na povrchu planety v Elysianské nížině na rovníku a byl zahájen výzkum. Hlavním cílem mise InSight je studium geologické historie, složení kůry a pláště Marsu a tektonické aktivity v jeho nitru. Za tímto účelem je zařízení vybaveno seismometry a sondami. Vesmírná sonda InSight (NASA) zaznamenala více než 450 zemětřesení za rok, ale nebyla to zemětřesení více než 4 stupně Richterovy stupnice. A pro studium kůry Marsu je nezbytné pozorování silnějšího zemětřesení. Kromě toho se v pozemských podmínkách během zemětřesení objevují 2 typy povrchových vln. Vědci z NASA se domnívali, že pomocí těchto vln by bylo možné nahlédnout pod povrch pláště do hloubky 500 km. Zemětřesení na Marsu však nejsou doprovázena povrchovými vlnami.

Vedle uvedených systémů má sonda na palubě také zařízení pro monitoring počasí TWINS (Teplota a vítr pro InSight) a od 19. února 2019 začalo zařízení vysílat denní zprávy o marsovském počasí.

4 Aktuální mise na Marsu 2020

4.1 Mise NASA na Marsu

Mars 2020, mise NASA na Mars, je dlouhodobý program průzkumu Marsu založený na roveru Perseverance (v překladu „Vytrvalost“) a průzkumný vrtulník Mars Helicopter Ingenuity (v překladu „Vynalézavost“). Rover byl speciálně navržen pro průzkum kráteru Jezero na Marsu v rámci mise. Rover byl vinut a vyroben v laboratořích Jet Propulsion Laboratory NASA. Perseverance má sedm analytických nástrojů ke studiu povrchu Marsu v oblasti kráteru. Start k Marsu se uskutečnil 30. července 2020, přistání na povrchu planety proběhlo podle plánu 18. února 2021 v kráteru Jezero. Na roveru je několik kamer, dva mikrofony, které zaznamenávaly zvuk během přistání roveru na Marsu, stejně jako během povrchových cest roveru a během odběru vzorků.



Obr. 2. První předložená fotografie roveru NASA Mars Perseverance

(<https://mars.nasa.gov/news/8865/touchdown-nasas-mars-perseverance-rover-safely-lands-on-red-planet/>).

Pro studium podmínek prostředí na Marsu po vstupu do atmosféry před úplným přistáním roveru byla použita sada senzorů MEDLI2 NASA (2021) Sada se skládá z čidel tlaku, toku tepla a termočlánku. Sensory byly zapnuty 5 hodin před přistáním. Během přistání a 3 dny po přistání byla všechna data přenesena do řídicího střediska na Zemi pro analýzu dat. Všechna data byla bezchybně předána a představují měření, která budou vyhodnocena za účelem stanovení vlastností atmosféry, kterou rover prolétl.

Díky datům NASA (2021) přenášeným roverem Perseverance a uvedeným na internetu bylo naznačeno, že před 3,5 miliardami let měl kráter vlastní říční deltu a byl plný vody, nyní zařízení provádí dvouleté výzkumné práce v kráteru Jezero a studuje horniny. Součástí je též hledání dávného mikrobiálního života.

Zvláštní význam pro exobiologii spočívá v tom, že je to jedna z nejlépe zachovaných marsovských delt, kde řeky vytvořily vrstvy usazené horniny z kamenných zbytků, písku a hypoteticky organických zbytků (dos Santos, 2017). Různé druhy hornin hluboko v kráteru, včetně karbonátů a jílu, by mohly také obsahovat organické molekuly, které by mohly naznačovat existenci života v daleké minulosti. Perseverance bude zkoumat dno suchého jezera, vrtat skalnaté výchozy a získávat vzorky o velikosti školní psací křídly. Poté je rover úhledně zabalí do kontejnerů, které zůstanou na povrchu planety. Vzorky budou přepraveny na Zemi jiným zařízením, které má být vypuštěno později. Vyzvedne shromážděné vzorky na oběžnou dráhu Marsu (bude to první kosmický start z Červené planety) a zajistí

jejich transport na Zemi. To vše se předpokládá v rámci programu „Expedice marsovských vzorků“, který NASA provádí ve spolupráci s Evropskou kosmickou agenturou.

19. května 2020 NASA přinesla úvahy o tom, jaké by mohly být na Marsu předpoklady pro existenci života. Lonnie Shekhtmanová si všímá toho, jaké by snad mohl Rover Curiosity detekovat na povrchu planety organické částice. Organické sloučeniny a soli na Marsu by mohly vzniknout v rámci geologických procesů nebo být pozůstatkem preexistujícího mikrobiálního života. To by mohl být důkaz existence života na Marsu (Shekhtman, 2021).

Marsovský průzkumný vrtulník byl vyvinut pro použití s roverem Perseverance. Průzkumný dron na solární energii o hmotnosti 1,8 kg. Byl navržen pro testování a demonstraci technologie letů na Marsu, jakož i pro účely průzkumu terénu pro další pohyby roveru. NASA (2020)

Design roveru Perseverance je založen na vývoji předchozího vozítka Curiosity. Inženýři přepracovali kola roveru a učinili je tužšími. Perseverance obdržela silnější hliníková kola s menší šířkou a větším průměrem (52,5 cm) ve srovnání s 50 centimetry ve Curiosity. Šest hliníkových kol má hroty pro lepší trakci a zakřivené titanové paprsky pro pružnou podporu. Vzhledem k přítomnosti více vědeckých přístrojů a upravených kol je Perseverance o 14% těžší než Curiosity (1025 kg oproti 899 kg). Rover je vybaven pětičlankovým robotickým manipulátorem „paží“ o délce 2,1 m. „Ruka“ spolu s otočnou věží je určena k zachycení a analýze geologických vzorků z povrchu Marsu.

Radioizotopový termoelektrický generátor roveru (MMRTG) využívá tepelnou energii uvolněnou přirozeným rozpadem radioaktivních izotopů a převádí ji na elektrickou energii pomocí termoelektrického generátoru. Váží 45 kg a jako zdroj energie používá 4,8 kg oxidu plutonného. V době vypuštění roveru ze Země generátor vyprodukoval přibližně 110 wattů energie, ale tato hodnota bude každý rok klesat. Rover má také dvě lithium-iontové dobíjecí baterie. Radioizotopový termoelektrický generátor poskytnutý americkým ministerstvem energetiky má poskytnout roveru 14 let provozu. Umožní roveru pracovat v noci a v prachových bouřích, což by u solárních panelů nebylo možné.

Rover využívá jednodeskový počítač odolný proti záření založený na procesoru RAD750 s frekvencí 133 MHz a 128 MB dynamické paměti. Tento software také umožňuje použití 4GB energeticky nezávislé paměti NAND na samostatné kartě.

Podle NASA (2020) má být vrtulník Ingenuity využit a testován v roce 2021 přímo z roveru. Plánuje uskutečnit svůj první let na planetě mimo Zemi. Očekává se, že během 30denní testovací kampaně na začátku mise roveru vyletí až pětkrát, protože se jedná především o technologickou demonstraci. Každý let je plánován ve výšce 3 až 10 m nad zemí. Může potenciálně cestovat až 300 metrů (980 stop) za let. Během svých krátkých letů může používat autonomní řízení, ačkoli lety budou teleboticky plánovány a zaznamenány dispečery v JPL. Okamžitě po každém přistání bude komunikovat s vozem Perseverance. Pokud vše funguje podle očekávání, NASA by mohla vytvořit plán budoucích leteckých misí na Mars.

14. srpna 2020 NASA učinila prohlášení, že první manévr ke korekci trajektorie mise Mars 2020 byl úspěšný. Kosmická loď vypustila osm motorů, aby upravila svůj směr, a začala určovat výchozí bod pro přistání na Marsu. Úspěšná byla také úprava 30. září 2020. Další úpravy trajektorie byly naplánovány na 18. prosince 2020, 10. února 2021 a 16. února 2021. Všechny tyto úpravy připravily půdu pro přistání roveru na Marsu 18. února 2021.

4.1.1 Vědecké úkoly

Během vývoje a schvalování mise Mars-2020 byly stanoveny čtyři vědecké úkoly pro průzkum Marsu (NASA's Mars 2020 Project, 2017):

1. Posouzení obyvatelnosti Marsu, včetně míst a podmínek, za kterých lze podpořit mikrobiální život;
2. Hledání biosignatur, které mohou potvrdit existenci mikrobiálního života na Marsu v minulosti;
3. Výběr, sběr a skladování vzorků kamenů a půdy z povrchu Marsu;
4. Příprava na přistání lidí na Marsu: testy produkce kyslíku z mart'anské atmosféry.

4.1.2 Vědecké nástroje

Z 58 návrhů přijatých v červenci 2014 odborníci NASA vybrali sedm vědeckých přístrojů, které byly schváleny pro instalaci na roveru (NASA's Mars 2020 Project, 2017):

1. Planetary Instrument for X-Ray Lithochemistry (PIXL), rentgenový fluorescenční spektrometr pro přesné stanovení elementárního složení materiálů z povrchu Marsu;
2. Radarový zobrazovač pro podpovrchový experiment Marsu (RIMFAX), georadar pro zobrazování půd různé hustoty, strukturních vrstev, podpovrchových hornin, meteoritů a detekci podzemní vody a ledu a solného roztoku v hloubce 10 m. poskytl Výzkumný ústav norského ministerstva obrany;
3. Mars Environmental Dynamics Analyzer (MEDA), sada senzorů pro měření teploty, rychlosti a směru větru, tlaku, relativní vlhkosti, záření a také velikosti a tvaru částic na Marsu. Zařízení poskytlo Astrobiologické centrum Španělska;
4. Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE), studie technologie na výrobu malého množství kyslíku (O₂) z oxidu uhličitého (CO₂) v mart'anské atmosféře. Pokud bude tato technologie úspěšná, lze ji v průmyslovém měřítku použít pro budoucí mise s posádkou na Mars (jak pro podporu života lidí, tak pro vytváření raketového paliva pro návrat na Zemi);
5. SuperCam, sada nástrojů pro optickou, chemickou a mineralogickou analýzu hornin a půdy na Marsu. Jedná se o vylepšenou verzi nástroje ChemCam nainstalovaného na roveru Curiosity. ChemCam dal první barevnou fotografii Marsu.

Zařízení má dva lasery a čtyři spektrometry pro dálkové vyhledávání biosignatur a hodnocení možnosti existence marsovského života v minulosti. Zařízení bylo navrženo a vyrobeno Národní laboratoří v Los Alamos ve spolupráci s Výzkumným ústavem astrofyziky a planetologie ve Francii, Francouzskou kosmickou agenturou (National Center for Space Research), Havajskou univerzitou a Univerzitou ve Valladolidu;

Jak je uvedeno na internetu (NASA 10. března 2021) SuperCam Perseverance byl poprvé úspěšně otestován. Součástí tohoto zařízení je kamera, laser a spektrometry (viz dále).

6. multispektrální stereoskopické zobrazovací zařízení Mastcam-Z se zoomem;



Obr. 3. Rover NASA Perseverance Mars použil duální fotoaparát Mastcam-Z k zachycení tohoto snímku „Santa Cruz“, kopce vzdáleného asi 2,5 míle od roveru

(<https://mars.nasa.gov/news/8944/perseverances-robotic-arm-starts-conducting-science/>).

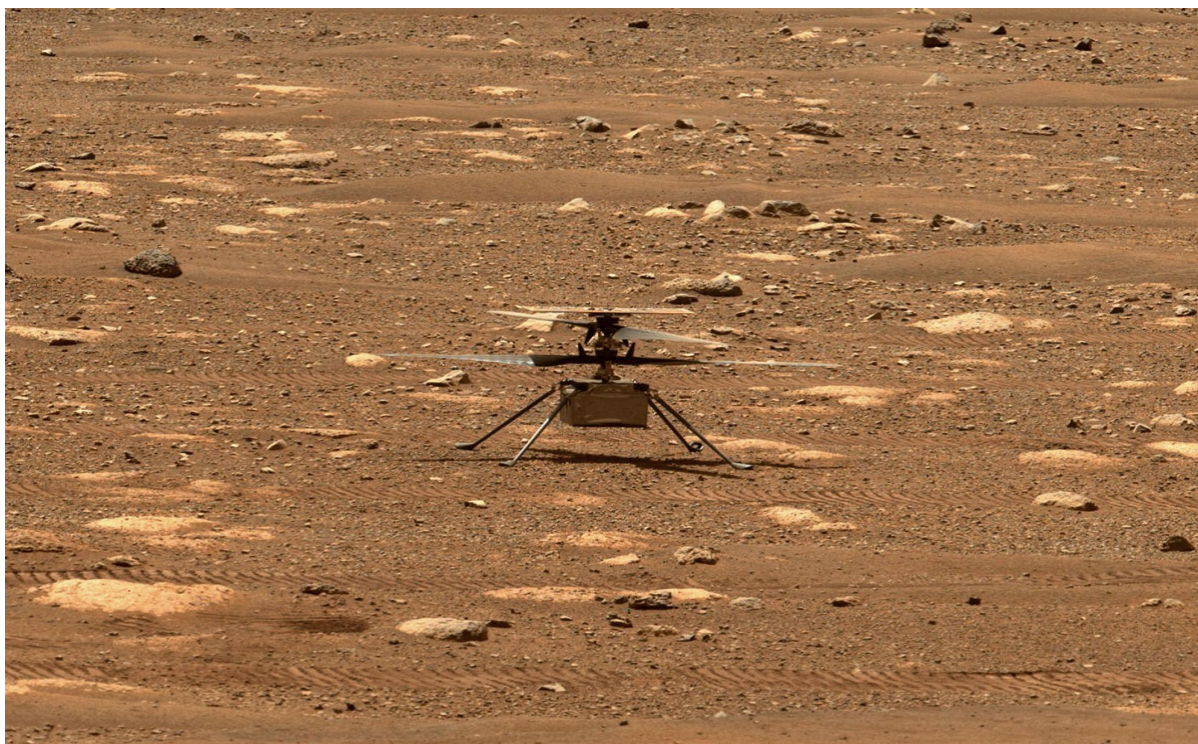
7. SHERLOC ultrafialový Ramanovský spektrometr, který používá přesné zobrazování a ultrafialový laser k identifikaci mineralogie v malém měřítku i pro detekci organické hmoty.

8. Podle NASA (2021) systém MEDA pro studium počasí na Marsu. Systém měří teplotu vzduchu, teplotu země, hladinu prachu, relativní vlhkost a tlak. Již 19. února, druhý den po příjezdu roveru do kráteru Jezero, se systém poprvé zapnul. Systém fungoval půl hodiny a dokázal měřit povrchovou teplotu. Senzor záření a prachu ukázal, že kráter Jezero je v čistší atmosféře než kráter Gale (rover Curiosity). Tlak na Marsu byl 718 Pascalů. Systém poskytne lepší pochopení povětrnostních podmínek na Marsu.

Na roveru je také několik kamer a dva mikrofony, které zaznamenávali zvuk během přistání zařízení na Marsu, a stejně budou zaznamenávat při povrchovém pohybu roveru a během odběru vzorků.

Podle původního plánu NASA ze dne 04/11/2021 měl bezpilotní vrtulník NASA Ingenuity Mars uskutečnit svůj první let. Marsovský průzkumný vrtulník Ingenuity doletěl na Mars, připevněný ke spodní části roveru Perseverance, poté by měl být schopen provádět nezávislé krátké lety pro terénní průzkum. Toto je jedno z důležitých zařízení na roveru. Aby mohl vrtulník začít pracovat, musí se rover dostat na „přistávací plochu“, tak se nazývá daná plocha na povrchu Marsu. Jakmile dorazil, začal dron připravovat na let velmi obtížný šestikrokový proces. Pokud v určité fázi začaly nepochopitelné situace, byl proces pozastaven na 1-2 soli (marsovské dny). 6 etap se odehrálo v 6 solech.

Po všech fázích přípravy začaly automaticky 30 denní předletové kontroly a letové testy. Účelem dronu je létat a fotografovat různé oblasti Marsu.



Obr. 4. Dron Ingenuity Mars na Marsu (<https://mars.nasa.gov/news/8915/nasas-mars-helicopter-to-make-first-flight-attempt/>).

19. 4. 2021 se dron NASA Ingenuity Mars se stal prvním letounem, který letěl řízeným letem na jiné planetě. Navzdory skutečnosti, že Mars má nízkou atmosférickou hustotu a velmi slabou gravitaci, která je více než třikrát menší než zemská, Ingenuity Mars dosáhl předepsané maximální výšky 10 stop (3 metry) a udržoval stabilní visení po dobu 30 sekund.

Dron úspěšně splnil programem prvního letu, což byla velmi důležitá okolnost, vzhledem k tomu, že Červená planeta má výrazně nižší gravitaci - třetinu Země a extrémně slabou atmosféru s povrchovým tlakem pouze 1% ve srovnání s naší planetou NASA (2021).

První vzlet neposkytl úplné informace o vlastnostech letů, ale odhalil faktory, které je třeba vzít v úvahu: účinek prachových mraků, změny hustoty marťanského vzduchu v závislosti na počasí a denní době,

minimalizace rizik při oprašování solárních článků Ingenuity z toku vrtule během vzletu a přistání. Nejistota podmínek na Marsu zároveň naznačuje, že pro účely letu je třeba uvažovat některá rizika a „nevýhody“.

Například Plane et al. (2017) uvedli, že Mars je poměrně prašná planeta a hustota prachových mraků někdy dosahuje 2–3 plynných atmosfér Červené planety. A protože interakce kosmického prachu s atmosférickým plynem dosud nebyla dostatečně studována, lze formulovat dva předpoklady:

1. Pokud při interakci vytvoří prostředí, které zajistí stabilní přítomnost prachu v suspendovaném stavu, pak při vyfukování s takovým proudem ztuhnutým s minerální složkou se zvedací a aerodynamické síly Ingenuity zvýší. A to s výrazným zlepšením letových podmínek pro energii letu.

2. Pokud se prach oddělí od plynu nárazem lopatek, vytvoří se tak odstředivé účinky cyklónu. Poté bude prach částečně hozen úderem lopatek dolů, a to může také přidat vztlak - jako reaktivní součást.

Také údaje o interakci lopatek s atmosférou se zdají být velmi důležité. Znalosti o změnách skutečných otáček rotoru při jmenovitém proudu v motoru nebo o změnách spotřeby energie při dané rychlosti umožní lepší zkoumání dynamiky skutečné mart'anské atmosféry.

4.1.3 Fakta

1. Název roveru byl vybrán z více než 28 000 návrhů předložených prostřednictvím celonárodní školní soutěže. Vítězem se stal Alexander Mather, student sedmého ročníku z Virginie, který navrhl titul „Vynálezavost“. Školák a jeho rodina byli pozváni do Kennedyho vesmírného střediska a sledovali start roveru z letecké základny Cape Canaveral.

2. Aktuální polohu roveru Perseverance a vrtulníku Ingenuity lze interaktivně zobrazit ve speciální sekci na webu NASA.

3. NASA zahájila kampaň odeslat své jméno na Mars a vyzvala lidi z celého světa, aby zadali své jména, které budou odeslány na Mars s dalším vozem. Bylo odesláno 10 932 295 jmen. Všechny byly elektronicky vyryty na tři křemíkové čipy velikosti nehtů a poté připevněny k hliníkové desce, která byla umístěna na vozidle 26. března 2020.

4. Zahájení mise Mars 2020 připadlo na období pandemie COVID-19, které mělo přímý dopad na plánování mise v letošním roce. Jako pocta všem zdravotníkům zapojeným do léčby pacientů s koronavirem byla vyrobena hliníková deska o rozměrech 8x13 cm s vyobrazením Aeskulapova personálu (známý lékařský symbol s personálem a hadem propleteným kolem něj). Tato deska byla připevněna k vozidlu Perseverance před odesláním na Mars.

4.2 Mise ExoMars na Mars

ExoMars je společný program Evropské kosmické agentury (ESA) a ruské státní korporace Roskosmos pro průzkum Marsu, jehož hlavním cílem je hledat důkazy o existenci minulého a současného života na Marsu.

V rámci programu byla spuštěna automatická meziplanetární stanice (AMS) „ExoMars-2016“ a je naplánováno spuštění AMS „ExoMars-2022“ doplněného roverem.

ExoMars-2016 se skládá z orbitálních (Trace Gas Orbiter) a sestupových (Schiaparelli) sond. ExoMars-2022 se skládá z letového modulu, sestupového vozidla (přistávacího modulu) a adaptéru se systémem pro oddělení sestupného vozidla od letového modulu. Sestupová sonda poskytuje snížení rychlosti přistávací plošiny, na které je rover nainstalován, postupným používáním aerodynamického brzdění a padáků.

Sonda 2016 byla vypuštěna z místa č. 200 kosmodromu Bajkonur nosnou raketou Proton-M s horním stupněm Briz-M dne 14. března 2016 v 12:31 moskevského času. Podle plánu proběhly čtyři starty motorů horního stupně, které přenesly kosmickou loď na dráhu letu k Marsu. V 23:13 moskevského času se zařízení úspěšně oddělilo od Breeze-M. V noci 15. března se zapnula řídicí zařízení aparátu a solární panely se otevřely. Během letu na Mars byly provedeny tři plánované korekce trajektorie. Po sedmi měsících letu dosáhla kosmická loď bezprostředního okolí Marsu, poté byla rozdělena na Trace Gas Orbiter a Schiaparelli.

19. října 2016 Trace Gas Orbiter úspěšně vstoupil na oběžnou dráhu satelitu planety, zatímco měkké přistání Schiaparelli na náhorní plošině Meridiana selhalo.

4.2.1 Vědecké úkoly 2016

Uveďme vědecké úkoly programu ExoMars podle priority (ExoMars/TGO operations, 2021):

1. Hledání možných stop minulého nebo současného života na Marsu;
2. Studium distribuce vody a studium minerálních fází na povrchu planety;
3. Vývoj marsovské seismologie za účelem opravy stávajících modelů vnitřní struktury planety a získání teoretických odhadů seismických parametrů očekávaných seismických událostí na Marsu;
4. Studium povrchu a životního prostředí na planetě, identifikace nebezpečí pro budoucí lety s posádkou na Mars;
5. Zkoumání vnitřku planety za účelem lepšího pochopení vývoje a možnosti osídlení Marsu;
6. Po dokončení všech úkolů úspěšně dokončete misi návratem na Zemi.

4.2.2 Vědecké nástroje mise 2016

Moinelo et al. (2018) představili, jak bude fungovat Trace Gas Orbiter (TGO) a jak je propojen s automatickou marťanskou stanicí - modulem Schiaparelli. Po zpomalení a přesunu na oběžnou dráhu umělé družice, začne TGO studovat a objasňovat podstatu různých plynů v atmosféře Marsu, zejména metanu a vodní páry. Zařízení určí polohu jejich zdrojů na povrchu planety a změnu prostorového rozložení těchto plynů v čase. TGO také pomůže vybrat místo pro budoucí přistání roveru ExoMars.

Po přiletu roveru v roce 2021 bude orbiter přenesen na nižší oběžnou dráhu, kde bude schopen provádět analytické činnosti a fungovat jako satelit pro přenos dat.

V lednu 2013 začali ruští vědci z Ústavu pro výzkum vesmíru Ruské akademie věd pracovat na vědeckých nástrojích pro TGO.

Orbitální sonda je vybaveno následujícími přístroji (ExoMars/TGO operations, 2021):

1. NOMAD (Nadir a Occultation for Mars Discovery) - dva infračervené a ultrafialový spektrometr;
2. ACS (Atmospheric Chemistry Suite) - tři infračervené spektrometry;
3. CaSSIS (Color and Stereo Surface Imaging System) - barevná kamera s vysokým rozlišením (4,5 m na pixel);
4. FREND (Fine Resolution Epithermal Neutron Detector) je neutronový detektor pro detekci vody v regolitu.

4.2.3 Modul "Schiaparelli"

Přistávací modul "Schiaparelli" byl vyvinut společností ESA za účelem testování technologie přistání na Marsu, měření elektrických polí na povrchu planety a koncentrace atmosférického prachu.

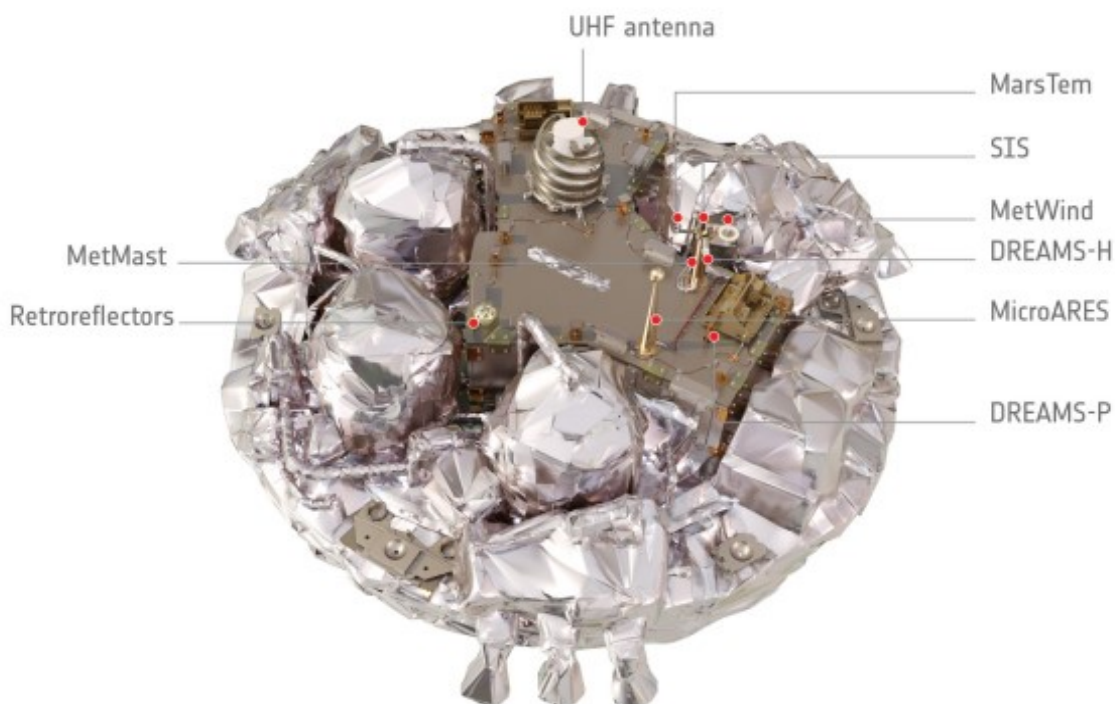
"Schiaparelli" neměl původně vyvinut dlouhodobý zdroj energie: pro napájení vědeckých přístrojů byly vyvinuty baterie, jejichž náboj by stačil pouze na 2-8 dní. Spolu s malým prostorem pro uspořádání přístrojů byly možnosti modulu z hlediska výzkumu omezené.

Aboudan et al. (2018) popisují charakteristiky modulu "Schiaparelli" a způsob jak, byl systém vypuštěn do vesmíru společně s TGO. Popisují také jak se systém přiblížil k Marsu, jak musel se oddělit, aby mohl samostatně přistát na náhorní plošině Meridiana. Jak bylo plánováno, 16. října 2016 se Schiaparelli oddělil od orbiteru před jeho zpomalením a vstupem na oběžnou dráhu. 19. října modul vstoupil do atmosféry Marsu rychlostí 21 000 km / h (5,83 km / s). Rychlost byla snížena důsledným používáním aerodynamického brzdění a padáku. Úplné brzdění a měkké přistání měly být provedeny raketovými motory pomocí navigačního a řídicího systému, který zohledňuje data radaru měřícího výšku nad povrchem a vodorovnou rychlost vzhledem k němu. Motory však běžely jen tři sekundy, což je mnohem

méně, než je nutné, kvůli čemuž „Schiaparelli“ volným pádem z výšky dvou až čtyř kilometrů havaroval na povrchu rychlostí více než 300 km / h.

Na palubě sestupného modulu bylo nainstalováno následující zařízení (Schiaparelli Anomaly Inquiry, 2017):

1. COMARS + (Combined Aerothermal and Radiometer Sensors Instrument Package) - zařízení pro měření tlaku, teploty a tepelných toků na zadní straně pláště Schiaparelli během aerodynamického brzdění a klesání padáku v atmosféře Marsu;
2. AMELIA (Atmospheric Mars Entry and Landing Investigations and Analysis)- telemetrické senzory a servisní systémy. Navrženo pro sběr dat od vstupu do atmosféry Marsu po dokončení přistání zařízení a jejich použití ke studiu atmosféry a povrchu Marsu;
3. DECA (Descent Camera) - televizní kamera pro snímání povrchu při sestupu Schiaparelli během přistání a také pro získávání údajů o průhlednosti atmosféry;
4. DREAMS (Dust Characterization, Risk Assessment, and Environment Analyzer on the Martian Surface) je sada nástrojů pro měření parametrů prostředí na povrchu Marsu. Zahrnuje zařízení:
 1. MetWind - měření rychlosti a směru větru;
 2. DREAMS-H - čidlo vlhkosti;
 3. DREAMS-P - tlakový senzor;
 4. MarsTem - navrženo pro měření teploty blízko povrchu Marsu;
 5. SIS (Solar Irradiance Sensor) - zařízení pro měření průhlednosti atmosféry;
 6. MicroARES (Atmospheric Radiation and Electricity Sensor) - zařízení pro měření elektrických polí;
7. INRRI (Instrument for landing - Roving; Laser Retroreflector Investigations) - rohový reflektor pro určení polohy Schiaparelli pomocí lidarů umístěného na umělé družici Marsu.



Obr. 5. Modul "Schiaparelli" (<https://exploration.esa.int/web/mars/-/47852-entry-descent-and-landing-demonstrator-module>).

4.2.4 Kosmická loď 2022, vědecké úkoly

Druhá fáze projektu předpokládá dodávku ruského přistávacího modulu s evropským roverem na Mars. Na konci roku 2015 začal Tiger Team, který zahrnuje specialisty z "Roskosmosu", ESA, ruských a evropských průmyslových dodavatelů, vypracovávat možná opatření k vyrovnání zpoždění a stanovit náhradní období v rámci harmonogramu zahájení v roce 2018. Dne 2. května 2016 se společná řídicí rada Roscosmos - ESA pro projekt "ExoMars" (JESB) rozhodla, s přihlédnutím ke zpožděním při provádění prací evropských a ruských průmyslových dodavatelů a při provádění vzájemných dodávek vědeckých nástrojů, odložit spuštění na další spouštěcí okno - červenec 2020. 12. března 2020 byl start odložen na rok 2022, protože je nutné provést další testy kosmické lodi s upraveným vybavením a s finální verzí softwaru.

Letový modul vyvinutý společností ESA zajistí let k Marsu. Před vstupem do atmosféry se přistávací modul oddělí od letového modulu. Rychlost přistávacího modulu se snižuje postupným používáním aerodynamického brzdění a padáků. Plné brzdění a měkké přistání provádí přistávací modul, který je vybaven raketovými motory s proměnným tahem. Po přistání sestoupí rover z přistávací plošiny podél rampy a zahájí svůj šestiměsíční průzkumný program.

Rusko je odpovědné za přistávací modul, který dostane přistávací plošinu a rover na planetu. Po vypuštění roveru začne platforma fungovat jako autonomní vědecká stanice s dlouhou životností. Na palubě bude instalován komplex vědeckého vybavení pro studium složení a vlastností povrchu Marsu.

Komplex vědeckého vybavení na přistávací plošině ExoMars-2022 je navržen k provádění následujících úkolů:

1. Fotografie v místě přistání;
2. Dlouhodobé monitorování klimatu a výzkum atmosféry;
3. Studie distribuce podpovrchové vody v místě přistání;
4. Popis cirkulace tekavých látek mezi půdou a atmosférou;
5. Monitorování radiační situace;
6. Studie vnitřní struktury Marsu;

Řešení těchto úkolů nám umožní přistoupit k řešení globálnějších problémových otázek:

1. Rekonstrukce distribuce a sezónních změn v obsahu chemicky vázané vody v horní vrstvě planety z hyperspektrálních snímků Marsu;
2. Poznání distribuce a mikrofyzikální struktury H₂O ledů z hyperspektrálních snímků sezónních a trvalých polárních čepiček Marsu;
3. Interpretace výsledků získaných pomocí dat obecného cirkulačního modelu atmosféry Marsu;
4. Studium sezónní dynamiky severního polárního čepu a dopadu kvazi-stacionárních vln v cirkumpolárním atmosférickém víru na regionální klima;

4.2.5 Vědecké přístroje 2022

Rover je vybaven komplexem vědeckého vybavení "Pasteur", které zahrnuje dva ruské přístroje: ISEM a ADRON-MR. Hlavním cílem výzkumu z roveru je přímé studium povrchu a atmosféry Marsu v blízkosti přistávací plochy, hledání sloučenin a látek, které by mohly naznačovat možnou existenci života na planetě.

Rover "ExoMars", vysoce automatizovaný šestikolový rover, bude vážit 270 kg, což je asi o 100 kg více než "Mars Exploration Rover" od NASA. Uvažuje se také o menší verzi o hmotnosti 207 kg. Sada nástrojů bude sestávat z užitečného zatížení "Pasteur" o hmotnosti 10 kg, které bude mimo jiné obsahovat dvoumetrový podpovrchový vrták (ExoMars 2022 Mission, 2020).

Pro předcházení potížím s dálkovým ovládním a komunikací kvůli časovým zpožděním při komunikaci se Zemí bude mít "ExoMars" na stožáru vozítka nainstalován samostatný vizuální navigační software pro krajinu s komprimovanými stereofonními obrazy z panoramatických a infračervených kamer ESA (2021). Za tímto účelem vytvoří digitální navigační stereomapy pomocí dvojice kamer a poté samostatně najde vhodnou trajektorii. Pro zabezpečení a zabránění kolizím budou použity kamery, které umožní bezpečný pohyb po povrchu asi 100 metrů denně. Po mírném přistání roveru na povrchu Marsu bude Mars Science Orbiter zajišťovat satelitní přenos dat z roveru.

Rover "ExoMars" je navržen pro autonomní navigaci po celém povrchu planety. Dvojice stereo-kamer umožňuje vozidlu vytvářet 3D mapy terénu, které využívá k hodnocení terénu kolem sebe, aby se vyhnul překážkám a našel nejefektivnější trasu.

Panoramatické kamery systému (PanCam) jsou navrženy tak, aby poskytovaly vozidlu nástroje pro vytváření digitální mapy oblasti a pro vyhledávání biologické aktivity. Sada PanCam obsahuje dva fotoaparáty s velmi širokým úhlem záběru pro multispektrální stereoskopické panoramatické snímky a barevný fotoaparát s vysokým rozlišením. PanCam poskytne podporu dalším zařízením a bude také používán ke kontrole těžko přístupných oblastí, jako jsou krátery nebo kamenné zdi.

Rover obsahuje 70 cm vrták, který umožní pracovat s různými typy regolitu a horninového materiálu, stejně jako tři vrtací tyče, z nichž každá umožňuje zvýšit hloubku vrtání asi o 50 cm. S pomocí všech tří tyčí vám vrták umožňuje získat vzorky horniny z hloubky 2 metrů.

Veneranda et al. (2021) popisují detailněji vědecké vybavení:

1. Martěanský analyzátor organických molekul;
2. Infračervený spektrometr se zobrazováním (MicrOmega IR);
3. Martěanský rentgenový difraktometr;
4. Radar pro studium regolitu;
5. Infračervený spektrometr uvnitř vrtáku.
6. Ramanův laserový spektrometr

5 Závěr

V raných fázích vývoje se planety Mars a Země vyvíjely podle podobného scénáře - na Marsu existovala hustá atmosféra a pravděpodobně oceán. Přibližně před 4 miliardami let došlo na Červené planetě, pravděpodobně v důsledku globální katastrofy, ke změně klimatu - hustá atmosféra a útvary povrchových vod byly eliminovány. Současný Mars, pokud jde o souhrn fyzikálních podmínek na povrchu, je studená a suchá poušť, ale přesto lze toto těleso považovat, z planet Sluneční soustavy, za nejbližší analogii Země. Studium Marsu je jedním z prioritních směrů při studiu planet Sluneční soustavy i v oblasti exobiologie. V uplynulém desetiletí došlo ke kvalitativnímu skoku ve studiu planety. Hlavními otázkami ve vědě o Marsu jsou hledání příčin globální klimatické restrukturalizace i to, zda se na Marsu mohl rozvinout a alespoň omezenou dobu udržet život. Řešení těchto problémů je důležité nejen pro základní vědu o vzniku a vývoji života obecně a také jeho návaznost na geologické faktory a vývoj vesmíru.

Ve skutečnosti mají obě probíhající marsovské mise hodně společného - například hledání stop života na planetě i studium její vnitřní stavby. Některé cíle se zcela shodují - NASA i ESA se chystají dodat na Zemi vzorky regolitu z Červené planety pro komplexní analýzu v laboratořích na Zemi .

Plány NASA zdají být o něco ambicióznější vzhledem k dalšímu cíli, jímž je příprava na přistání lidí na Marsu.

Je však nutné vzít v úvahu také ambiciózní cíle čínské mise - najít stopy života na Marsu a posoudit možnosti kolonizace planety. Mise Tianwen-1 se proto zdá ještě ambicióznější než ta americká: musí na Mars doručit nejen rover, ale také orbiter, který bude zkoumat planetu pomocí kamer a radarů a pohybovat se kolem ní na oběžné dráze. Čínský rover je vybaven podpovrchovým snímacím radarem. Zařízení umožňuje proniknout do hloubky 100 metrů pod povrch Marsu a prozkoumat jeho geologickou strukturu, provádět chemickou analýzu složení půdy a hledat biomolekuly a biosignatury. Rover je navíc vybaven navigačními a topografickými kamerami, nástrojem pro meteorologické změny a dvěma detektory: magnetickým polem na povrchu a povrchovými sloučeninami Marsu. Přítomnost radarové stanice je jedním z hlavních rozdílů mezi čínskou expedicí: takové zařízení bude na Červenou planetu dodáno poprvé.

Uvedený přehled naznačuje dlouhodobý vědecký zájem o průzkum Marsu. Nejnovější mise mají navíc stále více propracovaný program, kdy se přístupy a analytické možnosti vhodně doplňují, tak aby bylo možno získávat co nejvěrohodnější představy o současném i minulém Marsu. Význam exobiologických projektů nadále narůstá a nové přístupy, inovativní metodiky i stále lepší analytické nástroje jsou předpokladem získání důležitých nových dat pro tuto oblast.

6 Použitá literatura

Aboudan, A., Colombatti, G., Bettanini, C., Ferri, F., Lewis, S., Van Hove, B., Karatekin, O., Debei, S., 2018. ExoMars 2016 Schiaparelli module trajectory and atmospheric profiles reconstruction. *Space Science Reviews*. 214. 97. 10.1007/s11214-018-0532-3.

Alajtal, A. I., Edwards, H. G. M., Elbagerma, M. A., Scowen, I., 2010. The effect of laser wavelength on the Raman Spectra of phenanthrene, chrysene, and tetracene: Implications for extra-terrestrial detection of polyaromatic hydrocarbons. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 76, 1-5.

Astrobiology: its origins and development, 2008. NASA, Hubbard, G. S. https://www.nasa.gov/50th/50th_magazine/astrobiology.html (08.08.2021).

Bottke, W., Norman, M., 2017. The late heavy bombardment. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 45:1, 619-647.

Bruno, G., 2014. On the infinite, the universe and the worlds: five cosmological dialogues (collected works of Giordano Bruno). CreateSpace Independent Publishing Platform. 230.

Des Marais, D. J., Nuth, J. A., Allamandola, L. J., Boss, A. P., Farmer, J. D., Hoehler, T. M., Jakosky, B. M., Meadows, V. S., Pohorille, A., Runnegar, B., Spormann, A. M., 2008. The NASA astrobiology roadmap. *Astrobiology*, 8(4):715-30.

de Vera, J. P., Schulze-Makuch, D., Khan, A., Lorek, A., Koncz, A., Möhlmann, D., Spohn, T., 2014. Adaptation of an Antarctic lichen to martian niche conditions can occur within 34 days. *Planetary and Space Science*, 98, 0032-0633.

Doody, D., 2009. *Deep space craft*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 440.

dos Santos, R. B. M., 2017. *The organic signatures of life on Mars*, Department of Earth Science and Engineering Imperial College London, London.

ExoMars trace gas orbiter and Schiaparelli mission, 2016. ESA. <https://exploration.esa.int/web/mars/-/46124-mission-overview> (28.07.2021).

ExoMars 2016 - Schiaparelli anomaly inquiry, 2017. ESA. https://sci.esa.int/documents/33431/35950/1567260317467ESA_ExoMars_2016_Schiaparelli_Anomaly_Inquiry.pdf (28.07.2021).

ExoMars 2022 Mission - Brief description of the rover and surface platform, 2020. ESA. <https://www.cosmos.esa.int/documents/4894323/4894339/ExoMars2022+Mission+Summary.pdf/49654559-3e75-63c2-8e69-c7a24c20194e?t=1606483613075> (28.07.2021).

ExoMars/TGO operations, 2021. ESA. https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/ExoMars_TGO_operations (28.07.2021).

Franco-Duarte, R., Černáková, L., Kadam, S., Kaushik, K. S., Salehi, B., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Antolak, H., Dybka-Stępień, K., Leszczewicz, M., Relison Tintino, S., Alexandrino de Souza, V. C., Sharifi-Rad, J., Coutinho, H., Martins, N., Rodrigues, C. F., 2019. Advances in chemical and biological methods to identify microorganisms-from past to present. *Microorganisms*, 7(5):130.

Glazkov, V. N., 2015. *Astronomy*, Nauka, Moscow.

Guan, N., Liu, L., 2020. Microbial response to acid stress: mechanisms and applications. *Appl Microbiol Biotechnol*, 104(1):51-65.

Hallis, L. J., 2017. D/H ratios of the inner Solar System. *Phil. Trans. R. Soc, A.375*: 20150390.

Homeck, G., 1995. Exobiology, the study of the origin, evolution and distribution of life within the context of cosmic evolution: a review. *Planetary and Space Science* 43, 1-2.

Lauro, S. E., Pettinelli, E., Caprarelli, G., Guallini, L., Rossi, A.P., Mattei, E., Cosciotti, B., Cicchetti, A., Soldovieri, F., Cartacci, M., Paolo, F.D., Noschese, R., Orosei, R., 2020. Multiple subglacial water bodies below the south pole of Mars unveiled by new MARSIS data. *Nat Astron* 5, 63–70.

Life, Here and Beyond. Astrobiology is the study of the origin, evolution, and distribution of life in the universe, 2021. NASA. <https://astrobiology.nasa.gov/about/> (28.07.2021).

Lipatov, A. N., 2008. Methods, devices, and results of the study of meteorological parameters of the atmosphere of Venus and Mars, Rotaprint IKI RAS, Moscow.

Lozina-Lozinsky, L., Zaar, E., 1980. To the history of the rise of exobiology. Istor Biol Issled.

Martins, Z., Cottin, H., Kotler, J.M., Carrasco, N., Cockell, C. S., Noetzel, R., Demets, R., Vera, J.P., Hendecourt, L., Ehrenfreund, P., Elsaesser, A., Foing, B., Onofri, S., Quinn, R., Rabbow, E., Rettberg, P., Ricco, A.J., Slenzka, K., Stalport, F., Kate, I.L., Loon, J.W., Westall, F., 2017. Earth as a tool for astrobiology— a European perspective. *Space Sci Rev* 209, 43–81.

Moinelo, C., Geiger, B., Costal, M., Breiffellner, M., Castillo, M., Marin Yaseli de la Parra, J., Martin, P., Merritt, D.R., Grotheer, E., Aberasturi Vega, M., Ashman, M., Frew, D., Garcia Beteta, J.J., Metcalfe, L., Muñoz, C., Muñoz, M., Titov, D., Svedhem, H., 2018. ExoMars 2016 trace gas orbiter and Mars express coordinated science operations planning. 10.2514/6.2018-2352.

NASA's first weather report from Jezero crater on Mars, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8909/nasas-first-weather-report-from-jezero-crater-on-mars/> (28.07.2021).

NASA Ingenuity Mars helicopter prepares for first flight, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8896/nasa-ingenuity-mars-helicopter-prepares-for-first-flight/> (28.07.2021).

NASA's Mars helicopter to make first flight attempt, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8896/nasa-ingenuity-mars-helicopter-prepares-for-first-flight/> (28.07.2021).

NASA's Mars 2020 project, 2017. NASA. <https://oig.nasa.gov/docs/IG-17-009.pdf> (28.07.2021).

Němečková, K., Jehlička, J., Culka, A., 2020. Fast screening of carotenoids of gypsum endoliths using portable Raman spectrometer (Messinian gypsum, Sicily). *Journal of Raman Spectroscopy* 51, 1127-1137.

Osinski, G. R., Cockell, C. S., Pontefract, A., Sapers, H. M., 2020. The role of meteorite impacts in the origin of life. *Astrobiology*, 9, 1121-1149.

Perseverance rover's SuperCam science instrument delivers first results, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8885/perseverance-rovers-supercam-science-instrument-delivers-first-results/> (28.07.2021).

Perseverance's robotic arm starts conducting science, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8944/perseverances-robotic-arm-starts-conducting-science/> (28.07.2021).

Plane, J.M.C., Flynn, G.J., Määttänen, A., Moores, J.E., Poppe, A.R., Carrillo-Sanchez, J.D., Listowski, C., 2018. Impacts of cosmic dust on planetary atmospheres and surfaces. *Space Science Reviews* 214 (1), pp.23.

Salts could be important piece of martian organic puzzle, NASA scientists find, 2021. NASA, Shekhtman, L. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/salts-could-be-important-piece-of-martian-organic-puzzle-nasa-scientists-find-0> (08.08.2021).

Schiaparelli: the Exomars entry, descent and landing demonstrator module, 2019. ESA. <https://exploration.esa.int/web/mars/-/47852-entry-descent-and-landing-demonstrator-module> (28.07.2021).

Sensors collect crucial data on Mars landings with arrival of Perseverance, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8903/sensors-collect-crucial-data-on-mars-landings-with-arrival-of-perseverance/> (28.07.2021).

Shkurchenko, I. Z., 2007. The structure of the Sun and the planets of the solar system from the viewpoint of mechanics of the inertness mass II, Central'no-CHernozemnoe knizhnoe izdatel'stvo, Voronezh.

The ExoMars programme 2016-2022, 2021. ESA. <https://exploration.esa.int/web/mars/-/46048-programme-overview> (28.07.2021).

Touchdown! NASA's Mars Perseverance rover safely lands on Red Planet, 2021. NASA. <https://mars.nasa.gov/news/8865/touchdown-nasas-mars-perseverance-rover-safely-lands-on-red-planet/> (28.07.2021).

Turhanen, P., 2017. Synthesis of a biologically important adenosine triphosphate analogue, *AppD. ACS Omega*, 2(6):2835-2838.

Vago, J., Westall, F., Coates, A., et al., 2017. Habitability on early Mars and the search for biosignatures with the ExoMars rover. *Astrobiology* 17, 471–510.

Veneranda, M., Lopez-Reyes, G., Saiz, J., Manrique-Martinez, J.A., Sanz-Arranz, A., Medina, J., Moral, A., Seoane, L., Ibarria, S., Rull, F., 2021. ExoFiT trial at the Atacama Desert (Chile): Raman detection of biomarkers by representative prototypes of the ExoMars/Raman Laser Spectrometer. *Sci Rep* 11, 1461.

What makes the Red Planet red ?, 2001. NASA, Barry, P. L., Phillips, T. https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast28mar_1 (08.08.2021).

Yen, A.S., Ming, D.W., Vaniman, D.T., Gellert, R., Blake, D.F., Morris, R.V., Morrison, S.M., Bristow, T.F., Chipera, S.J., Edgett, K.S., Treiman, A.H., Clark, B.C., Downs, R.T., Farmer, J.D., Grotzinger, J.P., Rampe, E.B., Schmidt, M.E., Sutter, B., Thompson, L.M., 2017. Multiple stages of aqueous alteration along fractures in mudstone and sandstone strata in Gale Crater, Mars. *Earth and Planetary Science Letters* 471, 186-198.