

Mars očima geologa

Mars – planeta tolik podobná Zemi. Nabízí tisíce otázek a my hledáme odpovědi. A daří se nám to. O žádné planetě dosud nemáme tak konkrétní informace jako o Marsu. A k žádné lidstvo nevyslalo tolik průzkumných sond s cílem zjistit, jaké geologické procesy tam probíhaly a zdali v útvarech, které pozorujeme, opravdu kdysi proudila životodárná voda. Dne 18. února 2021 v kráteru Jezero úspěšně přistál rover Perseverance, který bude zkoumat sedimenty, tvořící čelo jeho delty a mapovat, jak vypadalo prostředí Marsu v době, kdy se zde ukládaly. O pohled na Mars očima geologa a geofyzika jsme požádali Mgr. Petra Brože, Ph. D., z Geofyzikálního ústavu AV ČR.

Petr Brože a Mars – synonyma, i když s poněkud rozdílnou tváří. Dalo by se říci, že si vás Mars doslova vybral. Přitáhl si vás a už nepustil. Mohl byste našim čtenářům přiblížit ty spletité cestičky, jimiž jste ke studiu rudé planety doputoval?

„Oklikou, jak už to tak bývá. K vesmíru mne to táhlo vždy, což byl důvod, proč jsem šel po gymnáziu studovat astrofyziku. Parádně jsem se však sekl. Už po pár týdnech jsem zjistil, že tohle opravdu není obor pro mne. Sice mne bavil vesmír, ale nerozuměl jsem si s matematikou a fyzikou. Před zkouškovým obdobím jsem tak studium ukončil a šel se žít rukama – jak v Česku, tak později i do zahraničí.“

Za dva roky jste se přihlásil na vysokou školu znova, tentokrát to byl obor na pomezí geologie a ekologie. Pomrkal na vás Mars už někde tam?

„Dalo by se to tak říci. A číhal pěkně skrytě. Stalo se, že jsem během studia objevil českou

Wikipedii, do které jsem začal ve velkém psát, a to především o planetách. A toho si všiml jeden wikipedista a napsal mi e-mail, ve kterém se ptal, co dělám. Když jsem mu napsal, že studuji bakaláře, tak mi navrhl, že mohu přijet na neplacenou stáž do Berlína pracovat do DLR (Německé středisko pro letectví a kosmonautiku) a připravit si tam materiál na bakalářskou práci. Ta myšlenka mne nadchla. Sbalil jsem si tedy krosnu a za své na měsíc odjel do Německa pracovat pro Ernsta Haubera, později mého vědeckého mentora, na mapování sopek v jedné oblasti v Tharsis na povrchu Marsu. Protože mě tato práce doslova nadchla, odjel jsem později do Německa znova. Tentokrát ale už za evropské peníze v rámci projektu Erasmus. Půl roku jsem tak měl možnost docházet denně do výzkumného ústavu a snažit se určovat stáří marsovských sopek. Výsledkem byla magisterská práce, která mne k Marsu více nasměrovala a zároveň upevnila mé rozhodnutí v tomto oboru pracovat.“

A to se také stalo, když jste se dostal na vaše současné vědecké pracoviště do Geofyzikálního ústavu AV ČR. Cím jste se zde zabýval?

„Přemýšlel jsem nad doktorátem, ale když jsem se dozvěděl výši tehdejšího měsíčního stipendia – 6 000 Kč, které by mimochodem mělo být plnohodnotnou mzdou, tuto myšlenku jsem zavrhl. S příspěvkem pár tisíc na měsíc se žít nedá, obzvláště ne v Praze a obzvláště ne, pokud máte rodinu. Proto jsem začal pátrat po práci ve výzkumu, kterou jsem nakonec našel na mé domovské instituci, na Geofyzikálním ústavu Akademie věd ČR, kde jsem dostal možnost rozvíjet oblast výzkumu planetárního vulkanismu.“

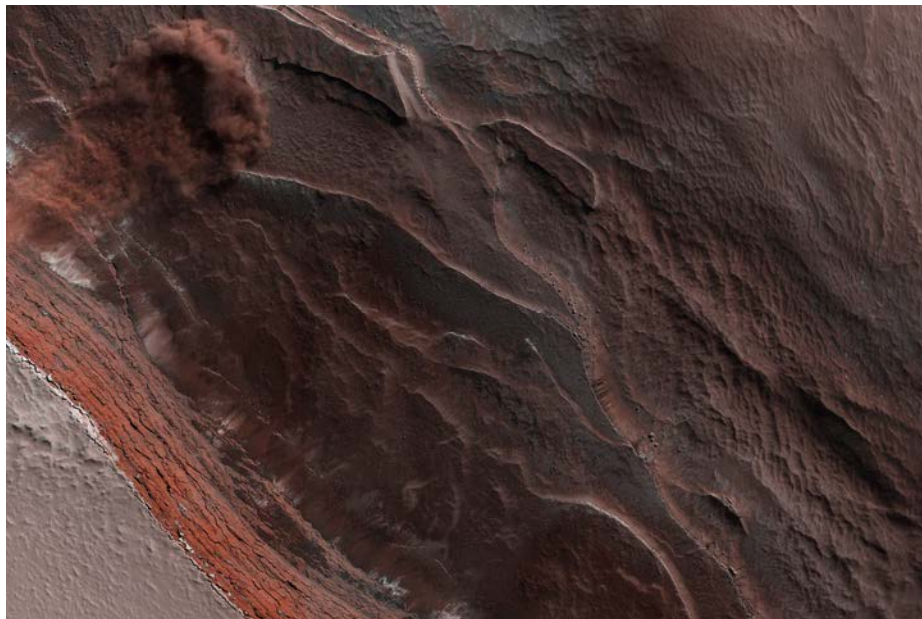
Mohl jste tedy zůstat u studia Marsu a jeho

sopek. Které vás zajímají nejvíce?

„Mars má několik obrovských sopek, nicméně mě zajímají ty titěrné o rozloze pouhých několika kilometrů. Zajímá mne, jak vznikly, proč jsou na Marsu mnohem méně četné než na Zemi i to, proč ty marsovské vypadají jinak než ty pozemské.“

O žádné planetě kromě Země nemáme tak konkrétní a přesné informace jako o Marsu. Mohl byste krátce shrnout všechny mise, které k němu byly vyslány?

„Na Marsu přistálo mnoho sond. První měkké přistání se povedlo 2. prosince 1971 sovětské sondě Mars 3, nicméně spojení bylo přerušeno 20 sekund po dosednutí. Moc jsme se tak nedozvěděli. To se změnilo s přistáním dvojice amerických sond Viking I a Viking II, vyslaných k Marsu v roce 1975. Obě sondy měkce dosedly na povrch a následně odsud poslaly řadu barevných fotografií. Poprvé jsme tak mohli spatřit detaily z povrchu Marsu. Vyjma snímků provedly sondy i celou řadu experimentů, včetně těch, které se pokoušely na povrchu Marsu najít život. I přes počáteční nadšení si dnes myslíme, že v tom sondy neuspěly a život na Marsu nenašly. V roce 1997 pak na povrchu přistála americká sonda Pathfinder, která na palubě nesla malé experimentální vozítko Sojourner. To se stalo prvním roverem pohybujícím se na Marsu. NASA si jeho vysláním vyzkoušela, že je možné tuto technologii k průzkumu Marsu úspěšně použít, což otevřelo dveře pro dvojici větších a mnohem složitějších vozítek Spirit a Opportunity. Ty měly za úkol pátrat na Marsu po důkazech dřívější existence vody. Podobný úkol měla i stacionární sonda Phoenix, která přistála v severních nížinách Marsu s cílem ob-



Každé jaro slunce svítí na stranu hromady vrstev na severním pólu Marsu známé jako severní polární vrstvená ložiska. Teplu destabilizuje led a bloky se uvolňují.

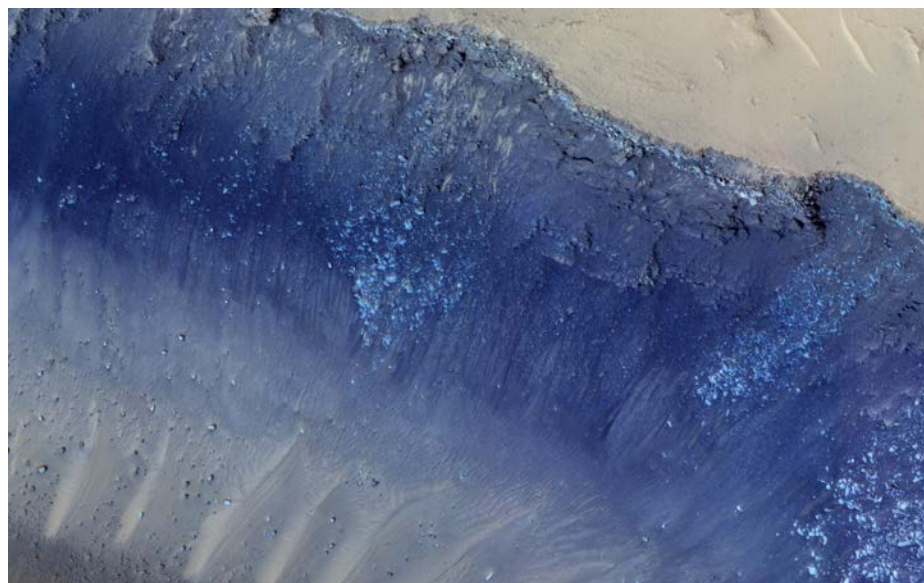
jevit za pomoci robotické ruky podpovrchový led – což se jí nakonec podařilo. Úspěch dvou vozítek pak vedl k vytvoření Curiosity, vozítka dosahující velikosti malého osobního automobilu a hmotnosti přibližně jedné tuny. To se vydalo na projížďku po impaktním kráteru Gale ve snaze prozkoumat geologickou historii zvláštní hory nacházející se v jeho středu. To nám umožnilo lépe porozumět vývoji celého Marsu. Následovalo přistání stacionární sondy InSIGHT, což je v podstatě velice přesný seismometr zaznamenávající otřesy Marsu. Díky jejich měření se můžeme dozvědět mnohé o vnitřní stavbě planety. A nedávno přistála na povrchu Marsu v oblasti impaktního kráteru Jezero sonda Perseverance, jejímž cílem je pátrat po možných minulých stopách života a tím pomoci zodpovědět otázku, zdali někdy na Marsu život byl.“

Od začátku kosmického věku vědci o Marsu smýšleli jako o planetě, kde se téměř jistě

nachází život. Je pravdou, že nyní ji vidíme spíše jako zmrzlou pouštní planetu bez známek života.

„Povrch Marsu je pevný, kamenitý – řadí se mezi terestrické planety. V průběhu miliard let byl významně přetvořen různorodými geologickými pochody. Od dopadů asteroidů, sopečnou činnost, praskání pevné kůry až přes erozi způsobenou jak větrem, tak i vodou v pevném či kapalném stavu. Je tak dobře vidět, že Mars musel kdysi dávno vypadat jinak než dnes a že na jeho povrchu musely panovaly podmínky, které existenci kapalné vody umožňovaly. Zatím stále nevíme, jak dlouho tam tyto příhodné podmínky existovaly a jestli byly podporovány masivní sopečnou činností nebo spíše dopady asteroidů. To vše je předmětem dalšího výzkumu.“

Obrovské plochy Marsu pokrývá čedič. Poukazuje to na sopečnou aktivitu a tavení hornin na rozhraní pláště a kůry?



Cerberus Fossae je soubor strmých žlabů protínajících vulkanické pláně na východ od Elysium Mons na Marsu. Tento snímek pořídila kamera HiRISE na sondě Mars Reconnaissance Orbiter.

„Podobně jako Země, také povrch Marsu je tvořen převážně na křemík bohatými horninami, vzniklými tavením jiných hornin. Horniny na povrchu obsahují významné množství železa, a podobně jako na Zemi, tak i na Marsu se v atmosféře nachází trošičku kyslíku schopného železo zoxidovat. Díváme se tak vlastně na proces reznutí v planetárním měřítku. Co před námi zatím zůstává trochu skryto, je vnitřní stavba Marsu. Nevíme úplně přesně, jak to uvnitř planety vypadá. Ale i tady se blýská na lepší časy. Již zmiňovaná mise InSIGHT totiž umožní díky sledování otřesů Marsu pod povrch lépe nahlédnout.“

Nyní se po Marsu pohybuje rover Perseverance. Jaké zásadní informace by mohl rover přinést a co od něj očekáváte?

„Pro mne osobně jsou nejcennější poznatky, které z této mise získáme až za minimálně 10 let. Perseverance totiž bude do svých útrob nakládat vzorky zajímavých hornin, které by časem měla na povrchu Marsu vyzvednout jiná sonda, naložit je do speciálního modulu a vystřelit je na oběžnou dráhu Marsu. Tam je pak zachytí třetí sonda a dopraví je zpět na Zemi pro podrobné prozkoumání v našich pozemských laboratořích. Pokud se všechno podaří, tak se díky tomu konečně dozvíme přesně stáří marsovských hornin a díky tomu budeme schopni správně nakalibrovat jednu statistickou metodu, kterou používáme k odhadování stáří povrchu Marsu – datování stáří povrchu Marsu za použití množství impaktních kráterů. Nemusi se to tak jevit, ale je to důležitý krok. Dovolí nám totiž mnohem lépe pochopit, kdy různé útvary na povrchu Marsu vznikly a tím mnohem lépe zrekonstruovat jeho vývoj i historii. Pokud bych ale musel uvést něco z výzkumů, které nás čekají během primární mise vozítka, pak se těším na to, jak budou vypadat sedimenty tvořící čelo delty, kvůli které jsme v tomhle kráteru přistáli. Mohou totiž ukázat mnohé o tom, jak vypadalo prostředí na Marsu v době, kdy se zde ukládaly. A kdo ví, třeba tam najdeme stopy, které by nás mohly nasměrovat k vytoženému zodpovězení otázky, zdali byl na Marsu někdy dávno život.“

Pro přistání Perseverance byla vybrána oblast impaktního kráteru Jezero. Čím je zajímavý?

„Tato oblast byla vybrána proto, že se tam kdysi dávno muselo nacházet jezero kapalné vody. Svědčí o tom delta, zvláštní útvar vzniklý postupným ukládáním hornin ve vodním prostředí. Výskyt samotné delty by ale nestačil. Na Marsu je totiž mnohem více kráterů či jiných depresí, ve kterých můžeme podobné útvary spatřit. Jenže kráter Jezero je unikátní tím, že na jedné straně má deltu a na druhé je částečně protřzený. Voda do kráteru tedy nejenom vtékala, ale musela z něj i vytékat. A to jinde nevidíme. Zatímco u jiných marsovských delt tak nemůžeme vyloučit, že nevznikly během krátké jednorázové záplavy, tady víme, že kráter musel být vodou vyplněn až po okraj a že se tak sedimenty ukládaly po delší čas při ústí řeky. A tady se dostáváme k té otřepané vědecké písničce – kde je voda, tam by mohl být i život...“

Mohli bychom se tedy výzkumem hornin uvnitř kráteru Jezero dozvědět, co se tam dělo před 3,5 miliardami let?



Tento obrázek ukazuje sedimentární horninu a písek v kráteru Danielson, impaktním kráteru o průměru asi 42 mil nebo 67 kilometrů, který se nachází v jihozápadní oblasti Arabia Terra na Marsu.

„Ano, rover by mohl zjistit, jak to v oblasti vypadalo, když tudy proudila voda. A také to, zdali měl podmínky vhodné pro případný vznik života a možná i to, jak dlouho ty příhodné podmínky měl. Nicméně je potřeba si říct, že k tomuto poznání nás čeká ještě hodně dlouhá a trnitá vědecká cesta. Bude trvat roky, než oblasti přistání porozumíme. A je možné, že to bez dovezení vzorků z povrchu Marsu zpět na Zemi ani plně nedokážeme.“

Vozítko dosedlo přibližně 2,3 kilometry na východ od čela delty a nachází se tak v těsné blízkosti dvou geologických útvarů. O jaké geologické oblasti se jedná?

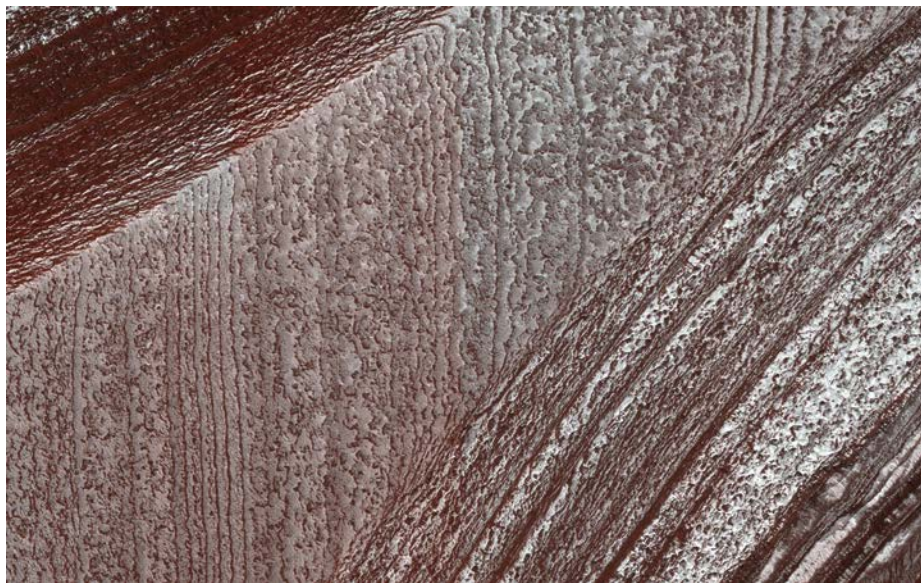
„Domníváme se, že jeden z těchto útvarů vznikl usazováním hornin, konkrétně ten, který leží od vozítka kousek na západ, kdežto druhý, ten, na němž se vozítko pohybuje nyní, měl vzniknout díky sopečné činnosti. Myslíme si proto, že se vozítko nyní nachází v místech, kde se kdysi dávno rozlila láva. Snad se brzy dozvíme, zda to tak skutečně je. A to díky analýzám hornin v okolí, které nyní vozítko provádí. Jinak skutečnost, proč jsme dosedli přesně sem, je vlastně dílem náhody. Inženýrky a inženýři připravili přistání do několika kilometrů velké elipsy, nicméně přesné místo v ní pak vybral algoritmus, který řídil samotné přistání. Byl totiž schopen snímat povrch a rychle hledat místo, které by bylo nejhladší a tedy nejbezpečnější pro přistání. Jak bylo vidět z fotografií, povedlo se mu to na výbornou. V nejbližším okolí není žádná větší terénní nerovnost a ani větší balvany, které by Perseverance bránily v pohybu.“

Perseverance je v podstatě geolog říznutý as-

trobiologem na kolečkách. Tomu odpovídá i jeho vědecké zařízení. Jaké přístroje rover nese a co by mohl o Marsu zjistit?

„Na své palubě a na robotické ruce má zařízení schopná odhalovat chemické složení okolních hornin a tím zjišťovat, jak vznikly. Současně nese velké množství kamer pro snímání povrchu, včetně takových, které nám umožní velké přiblížení vzdálených objektů, ale i průzkum jednotlivých minerálních zrn. Rover je vybaven sadou spektrometrů pro analýzu chemických látek, které na povrchu může najít, a to včetně těch, která jsou určena pro

detekci organických materiálů. To jsou opět nástroje, které potřebujeme ke správnému určení hornin, ale i k hledání stop možného života. Na palubě má také penetrační radar, který je schopen spatřit, co se pod vozítkem v podzemí nachází. A to do hloubky přibližně 10 metrů. Můžeme se tak dozvědět mnohé o tom, jak oblast vznikla – zda postupným usazováním nebo třeba katastrofickou záplavou. Na vozítku se též nachází meteorologická stanice pro sledování počasí, a zapomenout bychom neměli ani na experimentální zařízení na výrobu kyslíku z marsovské atmosféry,



Severní polární vrstvené ložiska Marsu obsahují tlustou haldu ledových vrstev.



Eroze povrchu odhaluje několik odstínů světle tónovaných vrstev, pravděpodobně sedimentárních usazenin, jak ukazuje tento snímek pořízený kamerou HiRISE na sondě Mars Reconnaissance Orbiter.

což je jeden z experimentů přibližující cestu člověka na Mars. A především důležitou součástí je samozřejmě i vrtací a odběrová souprava, která má za úkol odebrat a uskladnit vzorky zajímavých marsovských hornin pro pozdější výzkum. Máme tak před sebou velice komplexní sondu schopnou zvládnout mnoho vědeckých úkolů.“

Životnost Perseverance je plánována na jeden marsovský rok, tedy 687 pozemských dnů. Není to málo? A bude se po uplynutí této doby po Marsu dále pohybovat?

„Jeden marsovský rok je plánovaná primární mise. Tedy doba, po kterou by vozítko mělo odebrat vzorky z kráteru Jezera, umístit je do připravených pouzder a složit je někde na povrchu pro pozdější vyzvednutí. Nicméně to neznámá, že se po téhle době sonda vypne. Je to jen termín pro splnění základního cíle. Pak bude zcela jistě následovat prodloužení, během kterého se nejspíše vozítko vydá mimo kráter Jezero na průzkum planiny, kde si myslíme, že se historicky mohla nacházet horká vřídla, ze kterých na povrch tryskala teplá voda. Tedy další velice příhodná oblast pro potenciální vznik a vývoj života... A jsme schopni s ním udělat spoustu dalšího zajímavého výzkumu. A dokud bude schopno pohybovat se po povrchu a dokud bude jeho radioaktivní jednotka dodávat energii, bude jezdit a zkoumat. Máme před sebou vyhlídku na vědeckou misi trvající víc jak 10 let. A pak samozřejmě nesmíme zapomenout ještě na otestování toho, jestli v atmosféře Marsu mohou létat naše speciálně upravené drony. Vozítko totiž nese na palubě jeden experimentální prototyp malé helikoptéry, která bude za pár dní testována.“

Perseverance už také zaznamenala první zvuk z Marsu. Co lze z tohoto záznamu vyčíst?

„Mikrofon namontovaný na vozítku se může zdát jen jako taková hračka pro PR účely, ale není tomu tak. Mít možnost slyšet, co se na povrchu Marsu děje, nám dává do ruky další trumpfy. Lze to krásně ukázat na příkladu jedoucího auta. Často si toho, že se s autem

něco nepěkného děje všimneme tak, že začne vyluzovat divný zvuk. A s vozítkem je to podobné – jak jezdí po povrchu, může se měnit zvuk, který vydává, a to nám může odhalit, že se v jeho útrobach něco odehrává a případně i pomoci odhalit, co to je. Vyjma inženýrského přínosu máme dále přínos vědecký. Nedávno byla zveřejněna nahrávka zachycující zvuk během zásahu horniny za pomoci laseru, který používáme na určování složení hornin. Ten zvuk byl velice specifický a byl ovlivněn tvrdostí cíle. Až příště bude laser střílet do jiné horniny – měkčí nebo tvrdší – zvuk se zas trochu změní. Časem tak budeme moci v okolí vozítka odhalovat tvrdost hornin na základě zvuku, což je další informace, kterou v geologii potřebujeme znát.“

Perseverance bude také zjišťovat, kdy na Marsu vládly podmínky umožňující existenci kapalné vody a jaké byly. Co nám tím může říci?

„Tak především jde o vodu, která je dle současných znalostí jedním ze základních předpokladů pro vznik života. Voda je navíc nesmírně důležitá pro řadu geologických procesů, které tvarují povrch a mění složení hornin. Znalost, jak dlouho tam kapalná voda byla, by nám současně pomohla také mnohem lépe pochopit vývoj atmosféry. Měli bychom tak možnost nahlédnout do toho, jak Mars vypadal před pár miliardami let, poznat, proč dnes vypadá jinak, a zpřesnit tím i poznání o vývoji naší Země.“

A jaké informace od roveru Perseverance očekáváte vy jako geofyzik a geolog?

„Že mnohem lépe porozumíme období vývoje Marsu, která se jeví v jeho historii velice významná, ale o které toho víme jen velice málo. Stále panuje obrovská nejistota v tom, jak je možné, že se na povrchu Marsu nacházely podmínky, které by umožňovaly existenci kapalné vody. Co je způsobilo? Byl Mars v té době dostatečně teplý a vlhký, aby voda proudila po povrchu Marsu stejně, jako dnes proudí po povrchu Země? Anebo i tehdy byl Mars příliš studený a voda tak proudila schována pod příkrovy ledu podobně, jako teče v zimě na Si-

biří? Nevíme. Přitom tohle je kousek informace, který může výrazně změnit způsob, kterým na Mars pohlížíme. Současně má vozítko velkou šanci prozkoumat horniny staré přes 4 miliardy let, které byly obnaženy a vyvrženy během vzniku obrovské pánve Isidis, vzniklé při srážce Marsu s obrovským asteroidem. Takto staré horniny nemáme na Zemi šanci najít a prozkoumat, protože povrch Země neustále výrazně přetváří desková tektonika. Pokud bychom je našli na Marsu, můžeme se dozvědět hodně o tom, jak probíhal raný vývoj kamenitých planet a tím mnohem lépe pochopit i to, jak se vyvíjela naše Země.“

Jaká další mise na Mars se v blízké budoucnosti chystá?

„Těšit se můžeme na evropské vozítko Rosalind Franklin, které bude mít na palubě skládací vrták. Když se vše podaří, mohli bychom se díky němu podívat až do hloubky dva metry pod povrch Marsu a tam pátrat po přírodním životě. Část vědecké obce se totiž domnívá, že pokud na Marsu někdy život vznikl – což, opět opakuji, zatím nevíme – přežít by mohl v hlubinách, kde by byl chráněn před dopadajícím kosmickým zářením. A to se díky tomuto vozítku budeme moci dozvědět.“

Jana Žďárská



Mgr. Petr Brož, Ph.D. (*1984) působí od roku 2010 jako vědecký pracovník na Geofyzikálním ústavu Akademie věd ČR, kde se věnuje výzkumu sopečné činnosti napříč Sluneční soustavou. Specializuje se na projevy sopečné činnosti na povrchu Marsu; převážně na malá sopečná tělesa vznikající při krátkodobé sopečné aktivitě vlivem odplyňování magmatu. Doktorské (2012-2015) i magisterské (2008-2010) studium absolvoval na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Během studia pobýval na zahraničních stážích v německém DLR a britské Open University. Je laureátem Prémie Otto Wichterleho udělované mimořádně kvalitním a perspektivním vědeckým pracovníkům Akademie věd do 35 let jejich věku a Ceny Nadání Josefa, Marie a Zdenky Hlávkových pro talentované studenty a mladé talentované vědecké pracovníky do 33 let svého věku.