

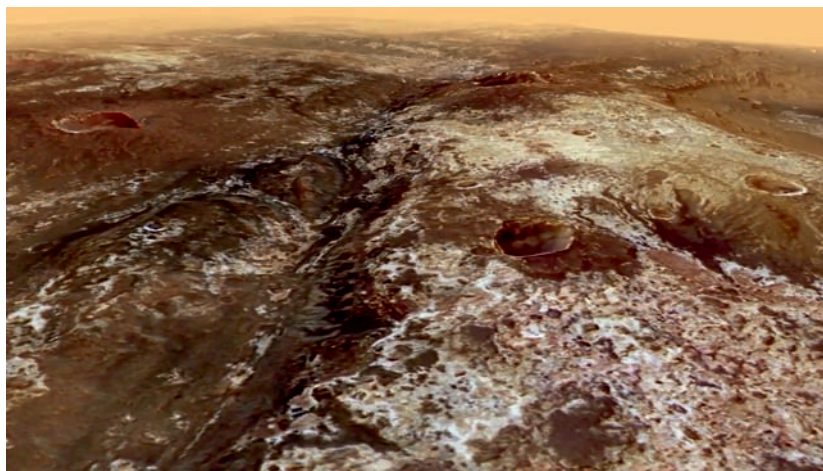
Exploze, sesuvy a levitace na Marsu

Trakce, saltace a vznos – specifický transport částic ovlivněný tekutinou, například vodou nebo větrem. Částice podloží jsou tekutinou transportovány na jiné místo. U hmotnějších částic dochází k trakci, vlečení po povrchu. Jejich větší hmotnost neumožní odpoutání od povrchu. Méně hmotné částice jsou tekutinou vyzdvíženy a transportovány nad povrchem na jiné místo, tento jev nazýváme saltace. Příkladem je pohyb písku nad písečnými dunami. Pokud jsou částice transportovány na větší vzdálenosti, hovoříme o vznosu.

Část 600 kilometrů dlouhého a dva kilometry hlubokého údolí Mawrth Vallis, jehož podoba byla rekonstruována ze snímků evropské mise Mars Express. Zdroj: ESA.

Pojďme se na moment zasnít i se současně přenést zpět do dětských let. Představte si, že se nacházíte na povrchu Marsu a v pravé ruce držíte kyblík plný mokrého písku. Jako nespočet generací dětí před vámi máte i vy neskonale touhu kyblík překlopot a vyrobit první pískovou bábovičku na povrchu rudé planety, a tím se „nesmazatelně zapsat“ do historie lidstva. Zatímco na Zemi by k naplnění touhy stačilo málo – dostatečně rychle kyblík otočit, přitisknout a následně ho opatrně nadzvednout – na Marsu vás při pohledu dovnitř kyblíku jímá neblahý pocit, že je něco neskutečně špatně. Obsah kyblíku totiž vře. A to doslova. Celá masa písku bublá a jednotlivá zrnka jsou vyvrhována do výšky, aby následně dopadla mimo kyblík. Při pohledu dovnitř kyblíku navíc jen těžko věříte tomu, co vidíte. Nad povrchem písku totiž levituje několik centimetrových hrud písku... Ano, čtete správně. Levituje. Ale nebojte, nestane se nám z toho nepovedený úvod běčkového sci-fi filmu, ale naopak čtete začátek cesty do fascinujícího světa nejnovějších vědeckých objevů založených na výzkumu chování směsi vody a sedimentu ve vakuové komoře simulující prostředí na Marsu.

Dnešní Mars a voda v kapalném skupenství



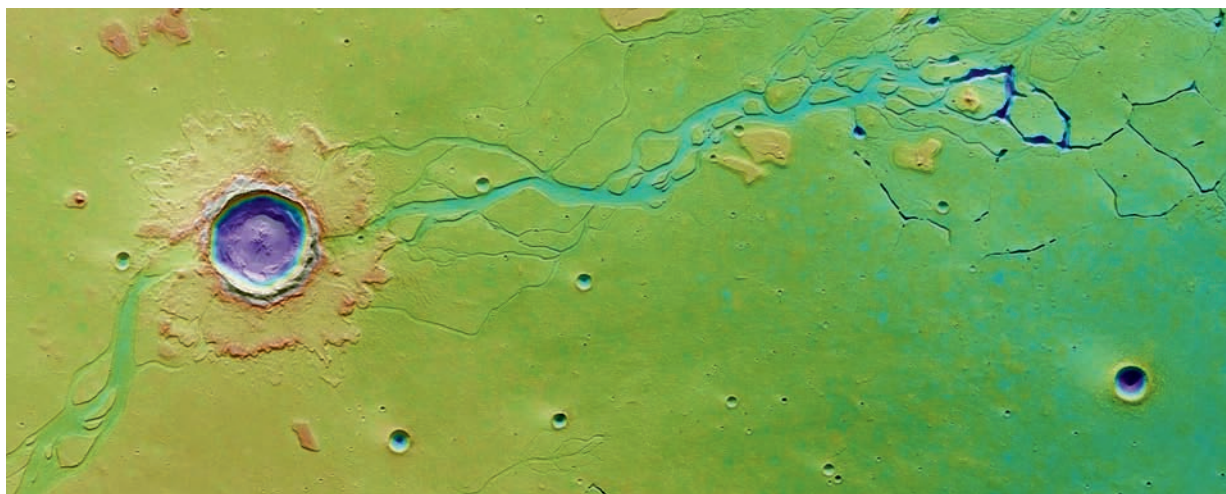
Mars, čtvrtá planeta Sluneční soustavy, je přibližně poloviční ve srovnání se Zemí a současně je to těleso, které má i menší hmotnost a střední hustotu než Země. To se odráží v menším gravitačním zrychlení panujícím na jeho povrchu. To je ve srovnání se Zemí přibližně třetinové, dosahuje hodnoty $3,71 \text{ m/s}^2$ oproti tíhovému zrychlení na povrchu Země, které je $9,81 \text{ m/s}^2$. Uniknout z gravitačního působení rudé planety je proto mnohem snazší než v případě Země. A to platí pro kosmické son-

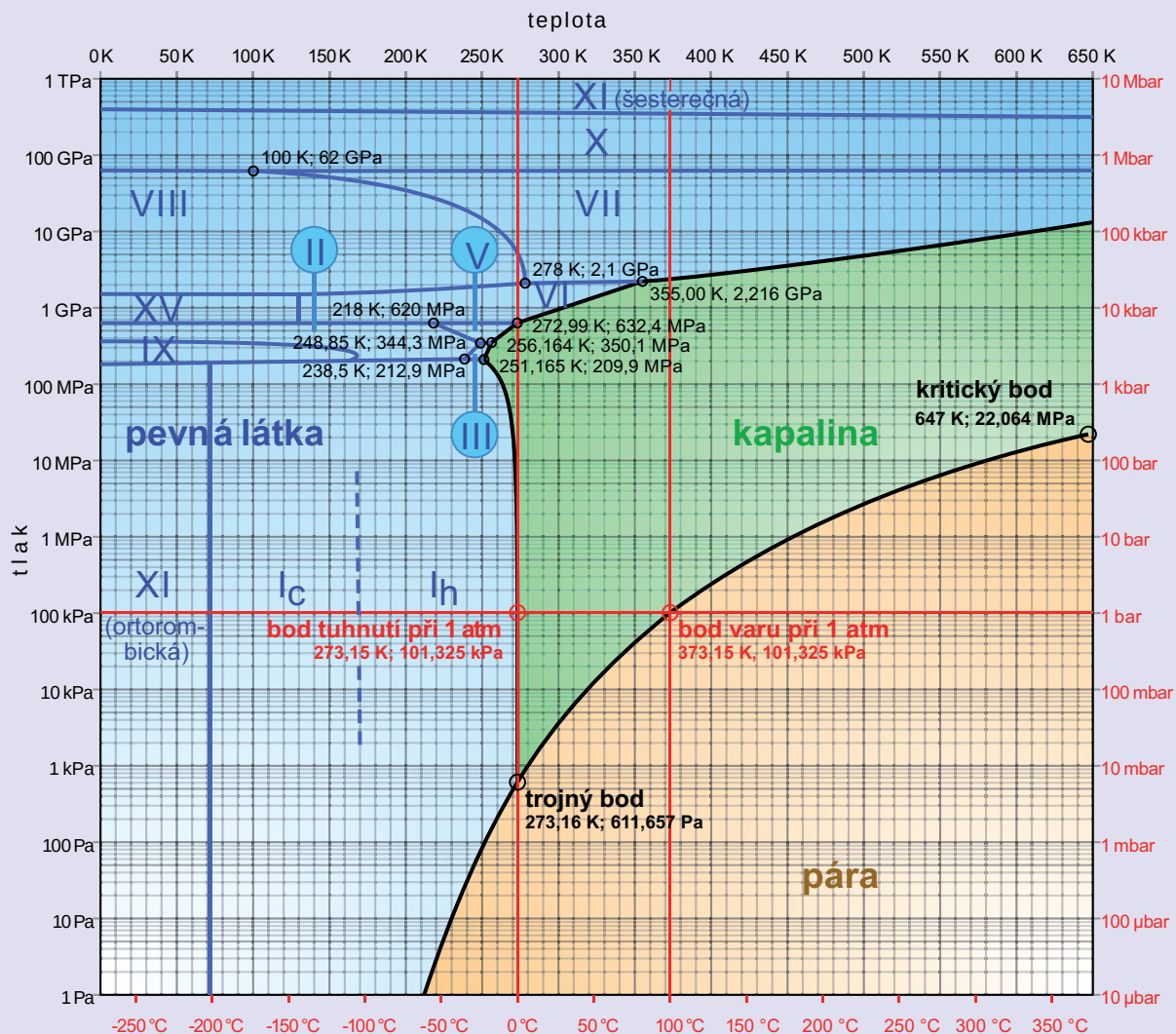
dy, úlomky hornin vyvržené z povrchu následkem dopadů planetek, i pro jednotlivé molekuly různých plynů obsažených v atmosféře. Podobně jako Země má i Mars atmosféru, ta je přibližně $170\times$ řidší než u Země, průměrný tlak při povrchu dosahuje 6 milibarů. Nízká hustota atmosféry je způsobena právě tím, že molekuly plynů mohou relativně snadno z gravitačního působení Marsu uniknout, vlivem čehož se atmosféra neustále zeslabuje. I přes to je ale atmosféra Marsu dostatečně silná k ovlivňování řady přírodních procesů odehrávajících se na povrchu rudé planety. Ovlivňuje proto například průběhy sopečných erupcí, ale také stabilitu látek vyskytujících se na povrchu planety, například kapalné vody či vodního ledu.

O přítomnosti vody na Marsu máme od 90. let 20. století celou řadu pádných důkazů dokládajících její výskyt na samotném povrchu, pod ním, i v atmosféře planety. Voda se vyskytuje převážně ve formě vodního ledu, případně jako vodní pára. Do současnosti ale zůstává nejasné, jestli na povrchu Marsu existuje i voda kapalná. Fotografie povrchu Marsu ukázaly, že se tam určitě nenachází ve větším množství. Nepozorujeme totiž žádné oceány, moře, jezera, či řeky (nicméně spatřili jsme řadu dokladů o její dřívější přítomnosti, například v podobě říčních sítí, jezerních delt či dokonce možné linie pobřeží oceánu...), nicméně je stále nejasné, jestli by se v některých oblastech Marsu nemohla kapalná voda nacházet alespoň v malém množství i dnes.

Mawrth Vallis – jedno z nejstarších údolí na Marsu zahloubené dva kilometry pod okolní terén. Jeho délka je přes 600 kilometrů. Jíly v údolí jsou pravděpodobně dokladem o vodě, která tudy protékala v minulosti. Údolí je cílem výzkumu mnoha sond, například Mars Global Surveyor, MRO, Mars Odyssey nebo Mars Express.

Na povrchu Marsu můžeme spatřit nejenom doklady o proudění kapalné vody v historii Marsu v podobě rozsáhlých říčních koryt, ale i doklady přítomnosti vodního ledu uloženého pod povrchem. O jeho přítomnosti svědčí například zvláštní lem okolo některých impaktních kráterů (viz okolí největšího kráteru na obrázku). Předpokládáme totiž, že lem vzniká vlivem krátkodobého roztátí podpovrchového ledu v důsledku uvolnění tepla během dopadu. Výškový snímek v nepravých barvách, kdy barvy označují oblasti se stejnou výškou, ukazuje část oblasti Hephaestus Fossae nacházející se na severní polokouli Marsu. Průměr největšího kráteru je přibližně 20 kilometrů. Zdroj: ESA, DLR, FU Berlin (G. Neukum).





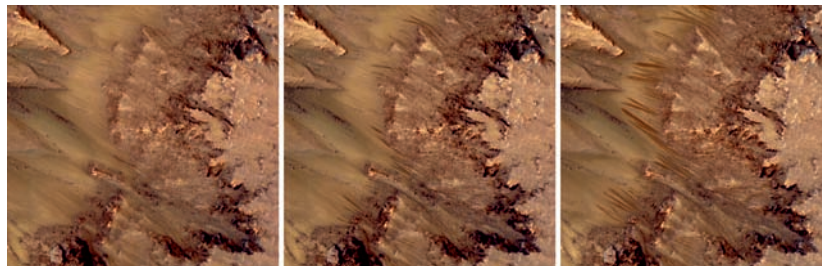
Fázový diagram vody v závislosti na teplotě a tlaku. Hodnota osy s tlakem je v logaritmickém měřítku. Na povrchu Marsu se tlak pohybuje v rozmezí 0,7 mbaru až 10 mbaru a teplota od -135°C po 35°C , což naznačuje, že kapalná voda by mohla teoreticky na Marsu existovat i za současných podmínek. Zdroj: Wikimedia/Cmglee.

Teoreticky totiž na povrchu Marsu panují podmínky, které existenci kapalně vody v určitých oblastech po krátký čas umožňují. Je to dáno tím, že teplota a atmosférický tlak nejsou všude na povrchu stejné. Podobně jako na Zemi se i na Marsu hustota atmosféry (respektive atmosférický tlak) zmenšuje s rostoucí topografickou výškou. Na Marsu je přitom rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším místem přes 29 kilometrů, což se na hodnotě atmosférického tlaku významně projevuje. Zatímco na vrcholku Olympus Mons, nejvyšší hory Sluneční soustavy, dosahuje pouhých 0,7 milibarů, na dně obrovské impaktní pánve Hellas je to o řád více, a to až 10 milibarů. Data získaná sondami Viking, Mars Pathfinder i Mars Global Surveyor navíc ukázala, že hodnoty atmosférického tlaku překračují hodnotu trojnásobku bodu vody v rozsáhlých oblastech Marsu. Stejně tak v některých oblastech Marsu panují pro existenci kapalně vody i přívětivé teploty. Ty mohou sice klesnout až na $-143\text{ }^{\circ}\text{C}$ v oblasti pólů, ale mohou se naopak vyšplhat až k $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ v oblastech rovníku; tedy vysoko nad bod mrazu (nicméně tady je nutno podotknout, že kapalná voda bez příměsí může nejspíše na Marsu existovat jen v určitém rozmezí teplot, konkrétně mezi 0 až $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ by totiž docházelo k jejímu zamrzání, nad $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ naopak k jejímu varu a změně skupenství v plynné. Rozsah oblastí, kde by čistá kapalná voda mohla případně existovat, je proto omezen).

Atmosféra Marsu je navíc velice suchá. Pokud bychom předpokládali výskyt veškeré detekované vody v atmosféře Marsu ve vrstvě do 1 km nad povrchem, pak by se vyskytovala v koncentraci pouhých 600 ppm. Kapalná voda by se proto na povrchu rychle vypařila. Mohla by sice dosáhnout o trochu větší stability ve formě solného roztoku, takový roztok by totiž umožňoval její existenci i za teplot pod bodem mrazu, ale ať už by byla voda ve formě čisté, či solného roztoku, v obou případech by doba jejího výskytu byla v podstatě jepičí.

Nestabilní voda, aneb kyblíku vař!

Za současných podmínek je proto kapalná voda na povrchu Marsu nestabilní a po krátkém čase zmiž. Nicméně i přes to s ní ale musíme počítat jako s možným agentem spolupodílejícím se, byť jen



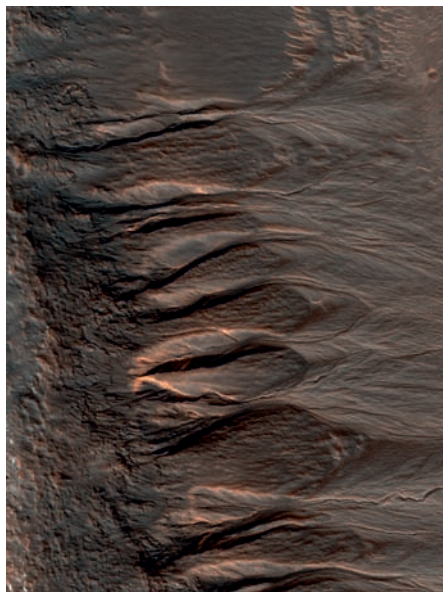
Olympus Mons – největší hora Sluneční soustavy, sopka na Marsu s výškou 26 kilometrů nad okolním terénem. Je součástí rozlehlé vulkanické oblasti Tharsis Montes. Tato štítová sopka zaujímá základnu o průměru 600 kilometrů. Na vrcholu je kaldera (proláklna) o průměru 60 až 80 kilometrů.

Série tří snímků pořízených kamerou HiRISE na palubě sondy Mars Reconnaissance Orbiter ukazuje oblast Marsu v době, kdy zde panují vysoké teploty a vhodné podmínky pro případný výskyt kapalně vody. Na snímcích je vidět vznik a prodlužování tmavých proužků, tzv. recurring slope lineae, vznikajících na úbočí stěny impaktního kráteru Newton. Zachycená oblast je přibližně 700 metrů velká. Zdroj: NASA, JPL-Caltech, University of Arizona.

Leidenfrostův jev – izolace kapky od rozpáleného podkladu způsobená vrstvou vytvořených par. Kapka může při správné teplotě poskakovat nad plochou bez odpaření i několik minut. Jev v roce 1756 objevil a popsal německý lékař a telolog Johann Gottlob Leidenfrost. Obdobným jevem je levitace kapek nad povrchem Marsu.

Viking – dvojice sond NASA vypuštěná k Marsu ve dnech 20. 8. 1975 a 19. 9. 1975. Obě měly orbitální i přistávací modul. Mise byly úspěšné a bez větších problémů trvaly několik let.

Snímek pořízený kamerou HiRISE schopnou fotografovat povrch Marsu s rozlišením až 25 cm na zobrazovací bod ukazuje stěnu impaktního kráteru v oblasti Ariadnes Colles s řadou malých stružek, tzv. gullies. V oblasti jejich ústí se nachází věžičky tvořené transportovanými sedimenty. Šířka oblasti přibližně jeden kilometr. Zdroj: NASA, JPL, Arizona State University.



krátkodobě, na řadě geologických procesů odehrávajících se na jeho povrchu. Ve vědecké obci se proto již řadu let vede diskuze, jestli zvláštní tmavé proužky, tzv. recurring slope lineae, které se sezóně objevují na strmých svazích marsovských kopců, jsou projevem kapalné vody, svahových procesů v podobě drobných sesuvů či sublimace suchého ledu. A podobné diskuse se vedou u řady dalších útvarů, které na povrchu Marsu pozorujeme. Přitom jedním z problémů pro uzavření diskusí byla až donedávna naše neznalost, jak se vlastně voda při pohybu po povrchu Marsu chová. Poteče stejně, jako jsme ze Země zvyklí, nebo by se chovala rozdílně? A pokud ano, jak?

A právě hledání odpovědi na tuto otázku stálo za zrodem myšlenky využít speciálně upravenou vakuovou komoru umístěnou v laboratoři britské Open University pro pozorování chování kapalné vody během tečení v podmínkách nízkého tlaku. Mezinárodní vědecký tým pod vedením Francouzky Marion Massé proto do vakuové komory umístil box vyplněný pískem, na který položil kostku čistého vodního ledu (kostka ledu měla váhu 70 gramů a box s pískem byl nakloněn pod úhlem 30°). Pokus probíhal za atmosférického tlaku 6,5 mbaru a teploty 20 °C, díky čemuž docházelo k pomalému tání ledu, vzniku kapalné vody a jejímu vsakování do písku. Následně byl pokus zopakován se shodnými parametry, jen s tím rozdílem, že byl atmosférický tlak zvýšen na 1 bar, tedy průměrnou hodnotu tlaku při povrchu Země.

Z počátku se zdálo, že experimenty v obou prostředích vedou ke stejným výsledkům. Kostka ledu začala tát a voda se vsakovala do písku. Po svahu dolů od kostky vznikala tmavá, postupně se zvětšující oblast vyznačující vodou saturovaný písek. Většina kapalné vody se vsákla a pohybovala se pod povrchem, jen příležitostně bylo vidět malé množství kapalné vody přímo na povrchu. Nicméně brzy začaly být zřejmé značné rozdíly. Tmavá oblast saturovaná vodou byla totiž více než dvakrát delší v případě pokusu probíhající za normálního tlaku a současně se voda pohybovala pískem rychleji než v prostředí sníženého tlaku (rychlostí 100 cm/h oproti 33 cm/h). Rozdílná byla i doba, po kterou voda pískem protékala. Zatímco v případě normálního tlaku se po roztátí kostky ledu voda i nadále šířila sedimentem, za sníženého tlaku pohyb vody okamžitě ustal. Zastavení tečení souviselo přitom s nestabilitou vody v prostředí sníženého tlaku. Jakmile led roztál, vzniklá voda se okamžitě dostala do varu a vypařovala se, a tím klesalo její množství v písku. Jakmile tedy došlo k přerušení přísunu

dalšího množství vody, její propagace pískem se zastavila. Na Marsu proto můžeme očekávat, že kapalná voda by případně byla schopna ovlivňovat menší oblast, než by dokázalo stejné množství vody na povrchu Země.

Nicméně tím rozdíly neskončily. Ty hlavní byly spojeny s povrchovými projevy nestabilní vody vystavené prostředí nižšího tlaku. Voda se totiž po svém vzniku okamžitě dostala do varu a vypařovala se. Vlivem toho vznikaly na povrchu tající kostky ledu a později i v písku bubliny vyplněné vodní párou, které následně praskaly, a tím způsobovaly vznik malých explozí. Vědci pozorovali, že ke vzniku bublin docházelo všude, kde byl písek saturován vodou, nicméně nejsilněji se tento proces odehrával na kontaktu mezi suchým a saturovaným pískem. Na tomto přechodu se totiž nacházel nejvýraznější teplotní gradient podporující var vody. Splaskávání vzniklých bublin způsobovalo vyvrhování zrn písku do okolního prostředí v procesu saltace, a to rychlostí až 0,35 m/s. Maximální velikost vyvržených zrn dosahovala v prostředí pozemské gravitace 2 mm, ale vědci odhadují, že v případě snížené gravitace Marsu by tento proces mohl být schopen vyvrhovat zrna až o velikosti 4 mm (bohužel prostředí snížené gravitace zatím na delší čas na Zemi navodit neumíme, takže se zpravidla musíme spokojit jen s výpočty). Opakující se vyvrhování zrn vedlo k vytvoření několik milimetrů vysokého hřebenu, který se nacházel před samotným kontaktem suchého a mokrého písku. Výška hřebenu postupně narůstala, s čímž narůstal i jeho sklon, a to až k hodnotě 30° až 35°. Tehdy došlo k dosažení kritického sypného úhlu pro suchý písek, vlivem čehož došlo k sesuvu zrn suchého písku, a tím k částečnému obnažení saturovaného písku, načež se tento proces opakoval. Ve výsledku proto vznikala opakující se řada malých hřebenů a prohlubní vytvářející zvláštní zvlněný reliéf povrchu v místech, kudy voda v písku protekla.

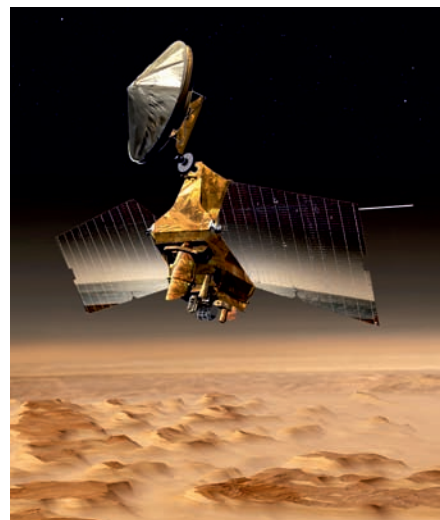
A zde se dostáváme k důležitému výsledku. V případě Země vsakování vody po sedimentu nezpůsobuje příliš jeho transport. Písek se sice zavodní, jak jím voda protéká, ale příliš nedochází k přemísťování jednotlivých zrn písku. V případě sníženého atmosférického tlaku je situace ale naprosto odlišná. Do hry totiž vstupuje mechanismus vyvrhování zrn a jejich následné přesunování vlivem svahových procesů. Vsakování kapalné vody a její následné tečení sedimentem je proto schopno na povrchu Marsu způsobit významný transport materiálu a ovlivnit jeho uložení, respektive přímo pozměnit tvar povrchu

Mars Pathfinder – sonda NASA vypuštěná k Marsu dne 4. 12. 1996. Obsahovala orbitální a přistávací modul s vozítkem Sojourner. K přistání došlo 4. 7. 1997. Toto první vozítko mělo plánovanou životnost týden, fungovalo ale celých 12 týdnů.

Mars Global Surveyor – další z řady sond NASA určených k průzkumu Marsu. Start se odehrál dne 7. 12. 1996. Měla pouze orbitální modul, který podrobně mapoval povrch Marsu. Mise byla ukončena téměř po deseti letech v listopadu 2006 z důvodu selhání baterií sondy.

MRO – Mars Reconnaissance Orbiter (Průzkumná oběžnice Marsu), sonda NASA, která získává detailní informace o vybraných místech na Marsu, zejména s ohledem na přítomnost vody v minulosti i v současnosti. Sonda startovala v srpnu 2005 a na oběžnou dráhu byla navedena v březnu 2006. Rozlišení je pouhých několik decimetrů. Od ledna 2009 slouží také jako retranslační stanice. Od roku 2021 zajišťuje spojení s vozítkem Perseverance.

Umělecká vize sondy Mars Reconnaissance Orbiter (MRO). Zdroj: NASA, JPL, Corby Waste.





Experiment s vyléváním kapalné vody v prostředí sníženého tlaku na studený (označen jako RUN3) i teplý (označen jako RUN5) písek. Výrazné projevy levitujících hrud písku jsou k vidění na posledním obrázku. Převzato z Raack a kol. (2017).

vytvořením série hřebenů a prohlubní. Tím se může na povrchu vytvořit viditelná stopa po vodě protékající uvnitř sedimentu. Navíc se autorům studie podařilo nabídnout i vodítko, proč se nám za pomoci spektroskopických pozorování prováděných sondami z oběžné dráhy nedaří najít na povrchu Marsu spektrální stopy kapalné vody, a tím jednoznačně prokázat její existenci. Experimenty totiž doložily, že kapalná voda v prostředí nižšího atmosférického tlaku zpravidla propaguje uvnitř sedimentu a navíc nedochází ke vzniku mikrofilmu na povrchu písku tak, jak je tomu v případě Země. A přitom je přítomnost vodního mikrofilmu neodmyslitelným předpokladem pro detekci kapalné vody s využitím současné generace spektroskopů, konkrétně zařízení CRI-SM a OMEGA obíhající na palubě sond MRO a Mars Express. Ty by totiž kapalnou vodu obsaženou v sedimentu nebyly schopny detekovat.

Levitující hroudy písku

Na Zemi existují tři způsoby, jak může tekutina (ať už tímto termínem myslíme vzduch nebo vodu) transportovat úlomky hornin. Je to vlivem trakce, saltace nebo vznosu. Zatímco v případě trakce dochází k tlačení úlomku po povrchu, aniž by se úlomek dokázal nad povrch vznést (příkladem může být pohyb velkých kamenů v korytě řeky), v případě saltace a vznosu tomu tak není. Saltace totiž způsobuje po krátký čas poskakování částic nad povrchem (příkladem je třeba pohyb písečných dun), kdežto vznos naopak dokáže odnést malé částice daleko ze svého původního místa (příkladem je třeba prachová bouře). Předpokládali jsme, že tyto tři mechanismy budou hlavním způsobem transportu částic i na povrchu Marsu. Nicméně jak dokládá studie mezinárodního týmu vědců pod vedením Jana Raacka, značně jsme se spletli. Na jiných tělesech Sluneční soustavy na nás totiž mohou čekat značná překvapení, levitující úlomky hornin.

Jan Raack s kolegy se s využitím upravené vakuové komory snažili lépe prozkoumat mechanismus transportu horninových částic tekoucí vodou. Z toho důvodu umístili do komory zařízení umožňující vylévání vody z výšky 1,5 cm s konstantní rychlostí 11 ml/s na box vyplněný vrstvou písku. Účelem takového nastavení bylo imitovat výlev většího množství kapalné vody na povrch z podzemí. Tedy jevu, který je přisuzován jako možný mechanismus vzniku zvláštních stružek, tzv. *gullies*, vznikajících na úbočích kopců i impaktních kráterů v určitých oblastech Marsu. Atmosférický tlak byl v komoře snížen na 9 milibarů

a box s pískem byl nakloněn pod úhlem 25° . Oproti předchozímu experimentu vědci navíc nechali vodu vytékat na písek nejenom o pokojové teplotě ($\sim 24^\circ\text{C}$), ale i na písek podchlazený na teplotu $\sim 5^\circ\text{C}$. Podobně jako v minulé studii, i zde současně probíhaly referenční experimenty za obvyklého pozemského tlaku.

U experimentů za pozemského tlaku nedocházelo k ničemu nečekanému. Voda se při vysoké rychlosti vylévání nestačila vsakovat do písku, a proto začala proudit i po povrchu, a tím unášet jednotlivá zrnka písku. Proudící voda začala vytvářet koryto, kterým voda dále proudila a odnášela za pomoci trakce a saltace zrnka písku do spodních partií boxu, kde byl tento materiál usazován. Ve výsledku vzniklo malé koryto podobné stružkám, které můžeme vidět na svazích čerstvě osetých polí po intenzivnějším dešti. Překvapení nastalo až u pokusů probíhajících za sníženého tlaku. I v tomto případě se voda dopadající na písek, podobně jako v pokusech prováděných Marion Messé, začala vsakovat a současně okamžitě vřít. Relativně málo při kontaktu s podchlazeným pískem, ale výrazně při kontaktu s pískem o vyšší pokojové teplotě. Vření se projevilo řadou malých explozí vyvrhující zrnka písku do okolí a to po dobu přibližně 30 sekund, než písek v místě výlevu dosáhl saturace. Nicméně vědci si povšimli, že během prvních pár sekund experimentu se z místa kontaktu vody a písku oddělují 0,4 až 40 mm velké hroudy, které se vysokou rychlostí dosahující až 46 cm/s pohybovaly po svahu dolů. A to aniž by za sebou zanechávaly v písčném podloží kontinuální stopu. To naznačilo, že hroudy nejsou v přímém kontaktu s podložím, ale že se nad ním vznášejí. Vědcům se podařilo v prostředí sníženého atmosférického tlaku pozorovat nový druh transportu materiálu – levitaci. Tedy proces, který nebyl na Zemi nikdy v přírodě pozorován.

Důvodem, proč k procesu levitace dochází, je potřeba opět hledat v přítomnosti vody a její nestabilitě v prostředí sníženého tlaku. Vznášející se hroudy písku

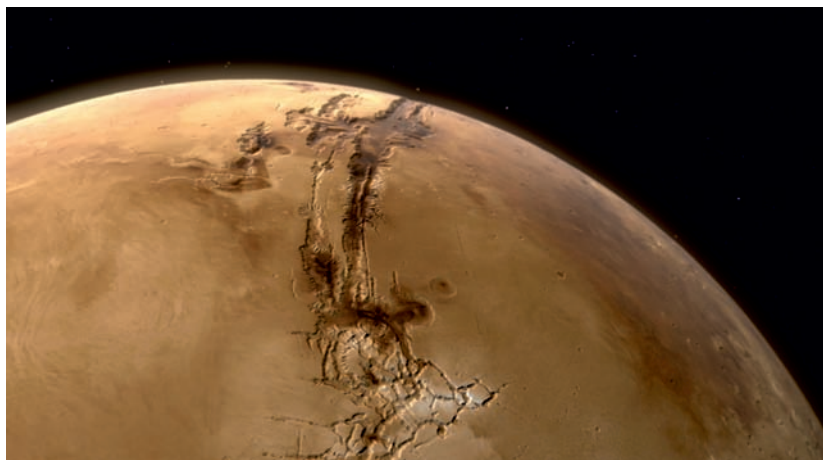
Mars Express – sonda k Marsu vypuštěná Evropskou kosmickou agenturou 2. 6. 2003. Sonda obsahovala orbitální a přistávací modul (Beagle 2). Přistání se nezdařilo, orbitální mise úspěšně probíhá (2022). Sondy vynesla do vesmíru nosná raketa Sojuz-FG/Fregat z evropského kosmodromu Bajkonur. Celková hmotnost sondy včetně modulu Beagle 2 byla 666 kg.

Umělecká vize evropské sondy Mars Express u Marsu.
Zdroj: NASA, ESA.



Valles Marineris – více než 4 000 kilometrů dlouhý a 200 kilometrů široký systém kaňonů na Marsu pojmenovaný podle sondy Mariner 9, která ho objevila v roce 1971. Jde o největší soustavu kaňonů ve Sluneční soustavě. Původ není jasný, může jít o výsledek tektonické činnosti, v hlubokých částech jsou ale přítomná lávová pole, takže ani sopečný původ není vyloučený. Kaňony se zářezávají do hloubky až 10 kilometrů a táhnou se přes šestinu obvodu planety.

*Valles Marineris, model obří soustavy kaňonů na Marsu.
Zdroj: Kevin Gill, software Autodesk Maya.*



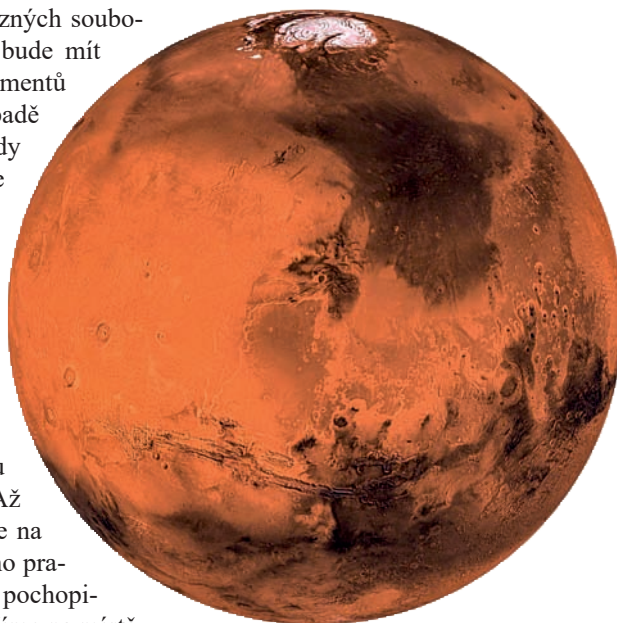
totiž byly saturovány vodou, která kvůli okolnímu nízkému tlaku vřela. Varem vznikala plyn, který z hroudy písku unikala do okolí. Síla unikajícího plynu byla po určitý čas větší než gravitační síla působící opačným směrem a tlačící hroudu písku k podloží. Vlivem toho došlo k nadsázce hroudy a tedy levitaci. S trochou nadsázky by se dalo říci, že levitace hrud písku funguje na podobném principu jako tryskový motor produkující proud spalín (plynu), jež je následně vyslán úzkou tryskou pryč. Jelikož experiment probíhal na nakloněném svahu, hrouda se následně rozjela po svahu dolů (podobně, jako se rozjede na Zemi po svahu kostka suchého ledu). Vědci byli v podstatě svědky obdoby Leidenfrostova jevu, ke kterému dochází při styku kapaliny s podložkou o teplotě značně převyšující teplotu kapaliny způsobující její vypařování.

Bohužel experimentální aparatura měla jen 90 cm na délku, takže vědci nemohli plně prozkoumat trvání tohoto jevu – během krátké chvíle se totiž rychle se pohybující hroudy dotkly okraje boxu, čímž se zastavily. Nicméně na základě teoretických výpočtů se vědci domnívali, že by hroudy mohly vydržet cestovat vlivem levitace nad povrchem od 2 do 50 sekund a to v závislosti na velikosti hroudy (počítáno pro hroudy o poloměru 1 cm a 0,1 cm). Tedy by mohly urazit vzdálenost v řádu metrů. Navíc pokud bychom vzali v úvahu rozdílné gravitační zrychlení Marsu, výpočty naznačují, že by částice mohly levitovat na Marsu dokonce 48× dále, než v případě Země. Navíc by nižší gravitační zrychlení dovolilo levitaci i mnohem větším a tedy těžším částicím. Na Marsu by se mohly teoreticky vznést až 7× těžší částice než v případě Země. Stejně množství unikajícího plynu by totiž bylo schopno zvednout těžší hroudu.

Vědcům se podařilo popsat proces, který do té doby nikdo nepředpovídal, že by se mohl na povrchu Marsu samovolně odehrávat. Díky tomu s ním nepočítala žádná z našich úvah či numerických modelů zabývajících se množstvím a vzdáleností transportovaného

materiálu na povrchu Marsu. Vědcům se tak dvojicí různých soubo-
 rů experimentů podařilo prokázat, že nestabilní voda bude mít
 v případě Marsu mnohem větší schopnost transportu sedimentů
 než na povrchu Země. To mimo jiné znamená, že v případě
 Marsu bude nejspíše stačit menší množství kapalné vody
 pro vytvoření určitých povrchových útvarů, než jsme ze
 Země zvyklí. Zdá se proto, že jsme na prahu poznání, že
 případné množství kapalné vody na Marsu nebude po-
 třeba tak velké pro vysvětlení některých pozorovaných
 útvarů, jak jsme si doposud mysleli. Navíc nám tento
 výzkum otevřel oči. V teoretické rovině totiž není pro-
 ces levitace nutně vázán jen na prostředí Marsu. Mohlo
 by k němu potenciálně docházet i na řadě dalších těles
 Sluneční soustavy s vhodnými podmínkami. A co víc,
 tato dvojice publikací nám opětovně připomíná určitou
 omezenost v našem výzkumu těles Sluneční soustavy. Až
 příliš často jsme ve výzkumu procesů odehrávajících se na
 těchto světech vázání naší pozemskou zkušeností a z toho pra-
 menící omezeností představivosti. Je to svým způsobem pochopi-
 telné. Dokud nebudeme mít možnost zkoumat procesy přímo na místě,
 je planetologie vědní obor založený na porovnávání ostatních těles se
 Zemí. Snadno přitom můžeme zapomenout, že geologické procesy,
 které tak dobře známe ze Země, mohou na jiných tělesech nabývat
 nepředstavitelných podob. A to bychom měli mít neustále na paměti.

■ Petr Brož, 13. 4. 2018, AB 13/2018



Ikonický snímek Marsu pořízený sondou Viking v roce 1998. Na fotografii je uprostřed vlevo dobře patrná oblast Tharsis se třemi vulkány. Vpravo od ní je Valles Marineris, největší soustava kaňonů ve Sluneční soustavě. V oblasti severního pólu je polární čepička složená převážně z vodního ledu pokrytého malou vrstvou zmrzlého oxidu uhličitého. Zdroj: NASA, JPL, USGS.