

Mars - v předvečer nové éry výzkumu

David Rajmon

Titulek naznačil, že se následující řádky budou týkat rudé planety a že se v souvislosti s touto planetou cosi chystá. V poslední době se Mars vrací do popředí zájmu vědců i astronomické veřejnosti. Mars se má v blízké budoucnosti stát cílem série kosmických sond, které pomocí širokého spektra experimentů provedou komplexní výzkum planety. K popularitě Marsu přispěl také článek v časopisu Science týkající se možného života na jeho povrchu. A kromě toho se Mars v březnu dostane do opozice se Sluncem, což je vždy provázeno zvýšenou pozorovatelskou aktivitou. Pojďme se tedy připravit na příval nových dat a podívejme se, jak vypadal dosavadní výzkum našeho vesmírného souseda a čeho se dobral.

Historie výzkumu

Mars, jako jeden z pěti poutníků po obloze, byl pozorován odedávna. Veškerá pozorování se však týkala Marsu jen jako bodu na obloze. I při největším přiblížení k Zemi je totiž úhlový průměr kotoučku této planety menší, než je rozlišovací schopnost lidského oka. Během mnoha staletí dospěli již starověcí pozorovatelé k poměrně přesným údajům o jeho pohybu. Jejich dalším zpřesňováním se posléze zabývali i evropští astronomové. V počátcích novověké vědy sehrál Mars významnou roli při prosazování heliocentrického konceptu do modelu vesmíru. Je všeobecně známo, že z pozorování Marsu Tychona Brahe vzešly Keplerovy zákony o pohybu kosmických těles.

Vynález dalekohledu přinesl první velký zlom ve výzkumu Marsu. Začaly se objevovat první kresby albedových útvarů na jeho povrchu. Teleskopická pozorování začala postupně přinášet doklady o přítomnosti atmosféry na

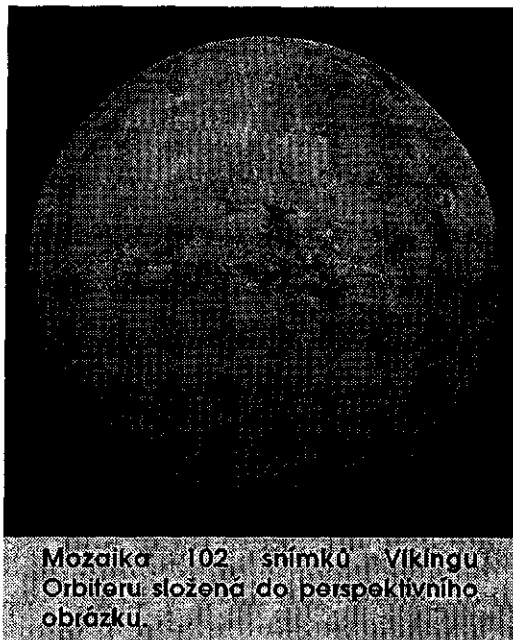
Marsu, o střídání ročních období, o změnách na povrchu v čase, o rotaci Marsu, o existenci měsíců apod. Později využití spektroskopie umožnilo serióznější odhady složení povrchu. Tato pozorování se ostatně provádějí stále. V 60. letech našeho století se podařilo navázat radarové spojení s Marsem a bylo možno začít studovat i morfologii jeho povrchu.

Rozlišovací schopnosti dalekohledů však byly omezené. Řada pozorovatelů ve snaze proniknout do co největších podrobností povrchu zaznamenávala topografické struktury, které byly na hranici rozlišení a nezdědky i za ní. Různé mapy Marsu se tak často značně lišily. Na Marsu byly rozlišovány tmavší oblasti (obecně považované za „kontinenty“) a světlejší oblasti (považované za pouště). „Kontinenty“ byly propojeny soustavou „kanálů“ a „oáz“. Jejich tmavá barva byla spojována s vláhou, přiváděnou na jaře kanály z tajících polárních čepiček, nebo dokonce s vegetací. Mělo se za to, že sezonní změny

tvaru tmavších oblastí souvisejí se změnami vegetace.

Další velký zlom ve studiu Marsu přinesly kosmické sondy. Od roku 1962 až do dneška se jich k Marsu vydalo 21, s úspěšností kolem 60%. Rusko, resp. Sovětský svaz, se na tomto počtu podílel 11 sondami, mezi kterými byly nejméně úspěšnější Mars 5 a 6. Spojené státy vypustily 10 sond, ze kterých byly největším přínosem Mariner 9 a hlavně Viking 1 a 2.

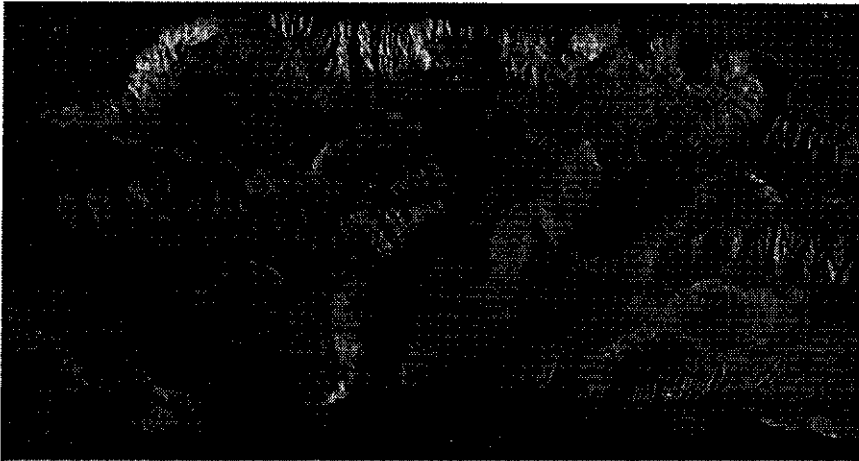
Jako první odstartovala v listopadu 1962 sovětská sonda Mars 1. Po 150 mil. km letu s ní však bylo přerušeno spojení. V listopadu 1964 následovaly americké sondy Mariner 3 a 4 a sovětská Zond 2. Mariner 3 neuspěl v důsledku selhání ochranného obalu a sondě Zond 2 selhaly baterie. Mariner 4 proletěl kolem Marsu v červenci 1965. Počátkem roku 1969 odstartovala další dvojice Marinerů 6 a 7, kteří téhož roku úspěšně proletěli kolem Marsu. V květnu 1971 vyrazilo opět několik sond: Mariner 9 se stal první umělou družicí jiné planety a předal mnoho cenných informací; Mars 2 pracoval na oběžné dráze a posléze jeho část tvrdě dopadla na povrch, ale již nepředala žádné informace; Mars 3 uskutečnil měkké přistání, ale televizní vysílání po 20 sekundách skončilo. O dva roky později, v červenci a srpnu 1973, odstartovala série sond Mars 4, 5, 6 a 7. Mars 4 a 5 se v lednu následujícího roku stali družicemi Marsu. Mars 6 uskutečnil měkké přistání, ale také nepředal žádné vědecké údaje. S Marsem 7 bylo ztraceno spojení.



Mozaika 102 snímků Vikingu Orbiteru; složena do perspektivního obrázku.



Olympus Mons - největší sopka Sluneční soustavy.



Část Valles Marineris. Čelné rýhy na svazích zřejmě vytvořila tekoucí voda.

20. srpna a 9. září 1975 vstoupily na scénu dvě nejúspěšnější sondy v historii dobývání Marsu - Viking 1 a 2. Byly výrazně větší než jejich předchůdci, a tak jim cesta k cíli trvala podstatně déle. Přistály na Marsu 20. července, resp. 3. září, 1976. Obě sondy se skládaly ze dvou částí, z nichž jedna zůstala na oběžné dráze a druhá přistála na povrchu. Přistávací moduly byly vybaveny dvěma televizními kamerami, seismometrem pro registraci otřesů (byl to jediný přístroj, který na Vikingu 1 nefungoval), fluorescenčním spektrometrem pro chemickou analýzu hornin, plynovým chromatografem s hmotovým spektrometrem pro rozbor molekulárního složení hmoty (včetně pátrání po organickém životě). Dále moduly prováděly množství meteorologických měření a zkoumaly mechanické vlastnosti půdy. Kromě toho byl každý modul vybaven telekomunikačním zařízením a malým jaderným zdrojem energie o výkonu 65 W. Družice Viking se pohybovaly po velmi



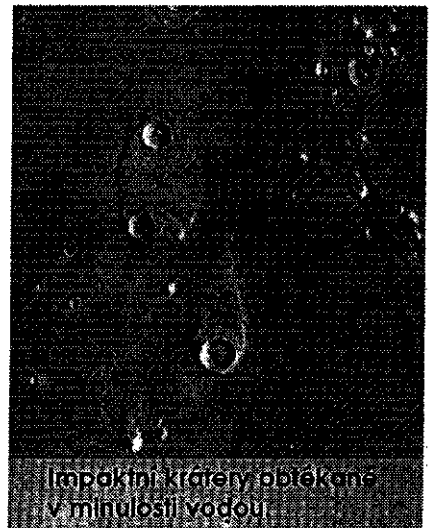
výstředné dráze, synchronizované s rotací planety. Na své palubě nesly složité systémy pro pořizování obrázků Marsu s různým stupněm rozlišení a infračervené subsystemy pro tepelné mapování povrchu a zjišťování vody v atmosféře. energii jim dodávaly klasické sluneční baterie o výkonu 620 W. Nechyběly telekomunikační systémy. Země měla obousměrné radiové spojení jak s družicí, tak s přistávacím modulem pro přenos dat a řídících povelů. Kromě toho fungovalo jednosměrné spojení od modulu k družici pro přenos dat a zajišťování telemetrie.

Data z Vikingů zásadním způsobem ovlivnila naše představy o Marsu. Tyto mise nebyly doposud překonány a ještě stále jsme nebyli schopni plně zhodnotit veškerá data.

Po misích Vikingů nastala dlouhá přestávka. Až v roce 1988 vypustil Sovětský svaz dvojici družic Phobos 1 a 2. Na projektu se podílela řada států včetně naší země. Cílem projektu bylo, kromě studia Marsu, také studium a těsné přiblížení k měsíci Phobos. Bohužel obě mise krátce po přiletu k Marsu ztroskotaly. Sondy stačily předat jen omezené množství informací.

Další pokus učinila NASA v roce 1993. Sonda Mars Observer se měla především zabývat detailním mapováním a altimetrií, tj. měřením výšky, aby bylo možno získat trojrozměrný obraz povrchu Marsu. I tato však skončila nezdarem ještě před dosažením cíle. Důvodem zřejmě spojení mělo být roztočení sondy a ztráta orientace.

Poslední aktivitou ve výzkumu Marsu je americký Mars Surveyor Program a byla jí i ruská sonda Mars 96, která však krátce po startu ztroskotala.



Impaktní krátery obklopené v minulosti vodou.

Program NASA je postaven na sérii kosmických sond, z nichž první dvě (Mars Global Surveyor a Mars Pathfinder) již odstartovaly a další dvojice budou následovat v letech 1998, 2001, 2003 a 2005. Program je mimo jiné vyjimečný i tím, že při jeho přípravě se NASA poprvé řídila novou strategií „Faster, better and cheaper“ - rychleji, levněji a lépe. V praxi to znamená, že skončila éra projektů, jejichž příprava si vyžádala 10 nebo 15 let a stála stovky miliónů dolarů. Příprava nových projektů nesmí přesáhnout 3 roky a rozpočet od plánů až po vypuštění se musí vejít do 150 miliónů dolarů. A tak například sonda Mars Pathfinder stála zhruba 1/15 nákladů na Viking. Důvodů k takovým změnám bylo několik. Velké sondy, jako například Galileo, byly při startu, díky dlouhým přípravám, vlastně již zastaralé. V případě ztroskotání mise (např. Mars Orbiter) docházelo k velkým ztrátám. Ve změně orientace hrála roli také politika, neboť NASA je závislá na státním rozpočtu a po sérii neúspěchů na přelomu 80. a 90. let byla nucena podniknout kroky, které by před Kongresem obhájily její další existenci.

Mars Global Surveyor do značné míry nahrazuje Mars Orbiter a bude se tedy zabývat mapováním povrchu a výškové morfologie, dále bude studovat mineralogické složení povrchu, atmosféru a magnetické pole a umožní zpřesnit rozložení hmoty v tělese planety. Posléze bude sloužit jako retranslační stanice pro ostatní sondy. Mars Pathfinder přistane na povrchu Marsu a bude provádět snímkování v metrovém měřítku, bude studovat petrologii a geochemii povrchu, magnetické a mechanické vlastnosti půdy, atmosféru včetně



Struktura velmi připomínající říční síť. Jeden z dokladů, že na Marsu kdysi tekla voda

denních a sezónních meteorologických variací a pomůže zpřesnit rotační a orbitální charakteristiky Marsu.

Mars jako astronomické těleso

Mars obíhá kolem Slunce v podstatně větší vzdálenosti než naše Země. Je proto vnější planetou, kterou můžeme někdy pozorovat celou noc. Jeho střední vzdálenost od Slunce činí 1,524 AU, přičemž oběžná dráha vykazuje po Plutu a Merkurovi třetí největší excentricitu ($e = 0,09326$). Vzdálenost Marsu od Země značně kolísá v závislosti na pohybu obou planet okolo Slunce. K nejtěsnějšímu vzájemnému přiblížení na 55,5 miliónu km dochází v okamžiku, kdy je Mars v opozici a zároveň v periheliu a Země je v afeliu. Toto geometrické uspořádání se opakuje s periodou přibližně 15,75 let. Na druhou stranu může vzdálenost Marsu od nás vzrůst až na 378 miliónů km. I v době nejtěsnějšího přiblížení je však Mars stále asi 1,5krát dále od Země než Venuše v době své dolní konjunkce.

Zdánlivý průměr Marsu dosahuje v době největšího přiblížení 25,1". Tehdy je jeho zdánlivá hvězdná velikost zhruba -2,8 mag. Se vzdáleností klesá jasnost kotoučku planety až na +2,0 mag. Vzájemný poměr mezi drahami Země a Marsu je takový, že se zdánlivý kotouček Marsu při pohledu ze Země nikdy neodchýlí od fáze „úplňku“ o více než 47° ve fázovém úhlu.

Mars obíhá kolem Slunce v siderické periodě (tj. vzhledem ke hvězdám) o hodně delší než náš rok - jeden oběh trvá 686 dní 22,3 hodiny našeho středního slunečního času. Časový interval mezi po sobě následujícími opozicemi nebo

konjunkcemi, tj. synodická perioda, se rovná něco přes 780 dnů našeho času. Země proto potřebuje více než dva roky, aby v kosmickém prostoru dohnala Mars zezadu; různé fáze osvětlení Marsu se pro nás budou opakovat v této periodě.

Již od začátků teleskopické astronomie viděli pozemští pozorovatelé na kotoučku Marsu neklamné známky denní rotace. V této souvislosti vykazuje Mars značné podobnosti v několika parametrech. Rotační osa planety je skloněna o 25,2° vůči směru kolmému k její oběžné dráze (u Země je to 23,45°). Jeden siderický den na Marsu trvá 24 hodin 37 minut a 22,7 sekund našeho času; směr rotace je přímý. Siderický den (tj. časový interval mezi dvěma po sobě následujícími průchody téže hvězdy přes určitý poledník) na Marsu je tak jen o 41 minut a 19 sekund delší než siderický den pozemský. Martánský sluneční den (definovaný průchodem Slunce přes určitý poledník) je delší než den siderický pouze o 2 minuty a 12 sekund (ve srovnání s rozdílem 3 minut a 56 sekund mezi slunečním a siderickým dnem na Zemi).

Kosmické sondy výrazně zpřesnily naše odhady rozměru a hmotnosti Marsu. Střední poloměr Marsu vychází na 3390 km. To je o něco více než polovina poloměru Země a zhruba dvojnásobek poloměru Měsíce. Z hlediska velikosti je tedy Mars průměrný mezi terestrickými planetami. Hmotnost Marsu je $6,421 \times 10^{23}$ kg, což je 10,7 % hmotnosti Země. Z uvedených hodnot vyplývá průměrná hustota 3950 kg m⁻³. To je o dost méně než u Země (5515 kg m⁻³). Gravitační zrychlení na povrchu

Marsu má hodnotu 3,73 m s⁻² (tj. asi 0,38 gravitačního zrychlení na Zemi). Tomu odpovídá úniková rychlost z gravitačního pole Marsu pouze 5,03 km s⁻¹ (u Země 11,2 km s⁻¹).

SNC meteority

Aby bylo jasné, o čem je řeč, připomenou nejprve stručně způsob, jak klasifikujeme meteority. Meteority členíme do tří hlavních skupin: kamenné, železokamenné a železné. Každá z těchto skupin se dále člení. Kamenné meteority mohou být chondrity (od vzniku Sluneční soustavy neprodeřaly žádnou nebo jen malou změnu zahřátím, a představují proto téměř původní stavební materiál) nebo achondrity (prošly tavením a byly výrazně pozměněny). A právě do skupiny achondritů řadíme mimo jiné také Shergottity, Nakhlitu a Chassignity - SNC. V současnosti je těchto meteoritů dvanáct. Existují silné argumenty dokládající, že tyto meteority pocházejí z Marsu. Byly vyvrženy z jeho povrchu při impaktu velkého tělesa, dostaly se do meziplanetárního prostoru a posléze dopadly na Zemi.

Jaké jsou ony argumenty? Tím nejdůležitějším je složení plynových uzavřenin v meteoritech. K vytvoření těchto bublinek došlo v okamžiku zmiňovaného nárazu, kdy se část horniny tavila. Složení plynu se ve všech měřitelných aspektech shoduje se složením atmosféry Marsu změřeným sondami Viking. Marsova atmosféra je unikátním plyným reservoárem ve Sluneční soustavě hlavně pro neobvyklé izotopické poměry ¹⁴N/¹⁵N, ⁴⁰Ar/³⁶Ar, ¹²⁹Xe/¹³²Xe aj. To samo o sobě by mohlo být dostačujícím důkazem. I kdybychom však neměli k dispozici toto srovnání, můžeme se opírat o geochemické charakteristiky SNC meteoritů. Obsah těkavých prvků a oxidační stav ukazují na velkou zdrojovou planetu. Jejich mladá krystalizační stáří (1300



Marsovský meteorit ALHA77005 je řazen do skupiny shergottitů.

Tento obrázek byl pořízen kamerou přistávacího modulu Vikinga 2. V popředí uprostřed jsou vidět dvě rýhy v regolitu vytvořené naběrkem vzorků. Větší zaplavený balvan v popředí mezi nimi má průměr asi 20 cm. V pozadí za větší rýhou a mírně vpravo leží ostroranný kámen o sílce asi 15 m. Koryčka (sírůžky) mezi větší rýhou a ostroranným kamenem mírně se svažující směrem vpravo dolů jsou přírodní povrchový lev. V pravém dolním rohu je vidět noha Vikingu pokryta prachem zvěřeným při přistání.



až 180 mil. let) a frakcionace stopových prvků indikují dlouhotrvající a opakovanou magmatickou aktivitu. Přítomnost hydratovaných magmatických minerálů dokládá hydratovaný plášť nebo kůra. Předpozemské hydratované produkty zvětrávání dokládají aktivní hydrosféru nejméně v období 1300 - 180 mil. let. Ze všech těles Sluneční soustavy mohou pouze Mars a Země vytvořit takové horniny. Pozemský původ je vyloučen izotopickým složením kyslíku a geochemií SNC meteoritů.

Z petrologického hlediska jsou SNC meteority bazické až ultrabazické horniny, tj. horniny málo diferenciované, s nízkým obsahem SiO_2 jako bazalty (čediče) nebo lherzolity (materiál zemského pláště). Jejich hlavními horninotvornými minerály jsou olivín, pyroxen a plagioklas. V malé míře jsou zastoupeny sulfidy (pyrhotin), oxidy (magnetit, chromit), amfibol, biotit, produkty hydrotermálních přeměn (karbonáty, sulfáty) a další. Horniny nesou známky šokové přeměny: popraskání, poruchy v krystalické mřížce, přeměna plagioklasu na diaplektické sklo, tavení apod.

Ze skupiny SNC poněkud vybočuje meteorit ALH84001, který má podstatně starší dobu krystalizace a přesně neza-

padá do klasifikace SNC. Proslavil se v poslední době jako nositel možných fosilních bakterií. Podobně meteorit EETA79001 nezapadá přesně do skupiny shergottitů a také v něm byl doložen výskyt organické hmoty.

SNC meteority tedy představují vzorky kůry Marsu a spolu s robotizovaným výzkumem tvoří základní pilíře, na kterých stojí naše vědomosti o Marsu.

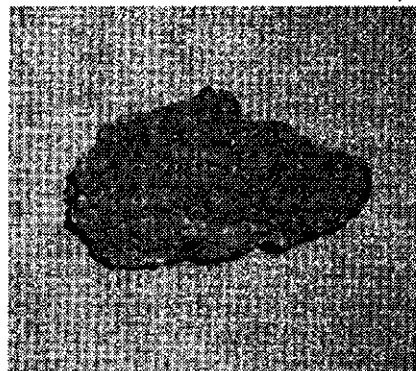
Geologie, atmosféra, klima

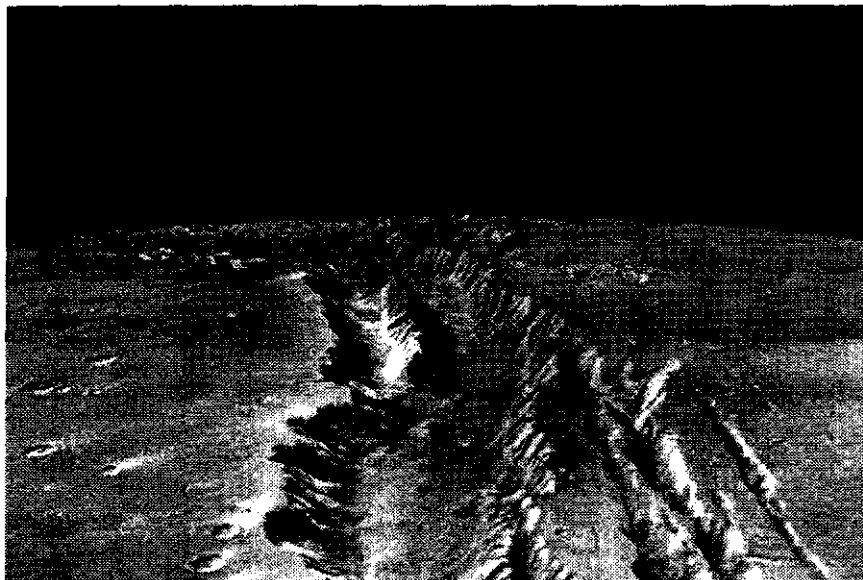
Mars, tak jak se nám dnes jeví, je těleso, které od svého vzniku prodělalo dlouhý a komplikovaný geologický vývoj. Podílely se na něm magmatické a tektonické procesy, působení vody, větru a ledu a také impakťový proces.

Těleso planety je diferenciováno, podobně jako Země, na kovové jádro (?), plášť a kůru. Jádro Marsu je pravděpodobně velmi malé pokud vůbec nějaké. Podkladem k tomu je charakter gravitačního pole, fakt, že Mars má velmi slabé magnetické pole (asi 500x slabší než na Zemi), a také skutečnost, že marsovský plášť obsahuje pravděpodobně více železa než zemský plášť. Také malý rozdíl mezi průměrnou hustotou Marsu (3950 kg.m^{-3}) a hustotou jeho kůry (3300 kg.m^{-3})

nedává možnost příliš vysokých hustot v nitru. Plášť Marsu se svým mineralogickým složením zřejmě příliš neliší od Země. Je však trochu obohacenější železem a tak i horniny kůry jsou bohatší Fe než jejich pozemské ekvivalenty.

Kůra na Marsu je relativně mocnější a tužší než na Zemi. Zřejmě je to způsobeno rychlejším chladnutím Marsu, jakožto menšího tělesa. Narozdíl od Země na Marsu nefunguje desková tektonika. Nebyly objeveny žádné známky horizontálních pohybů a nevznikla žádná pásemná pohoří. Uplatňovala se pouze radiální tektonika, tj. poklesy nebo přesmyky podél přibližně vertikálních zlomů a vznikaly například příkopy (rifty). V současnosti je tektonická aktivita na Marsu velmi slabá, neboť





seismometr Vikinga 2 zaznamenal jen málo otřesů.

Na Marsu jsou vidět známky rozsáhlé magmatické činnosti v podobě mnoha sopek, lávových proudů a dóků. Nejznámější je v této souvislosti oblast Tharsis s několika velkými štítovými sopkami (havajského typu). Největší z nich, Olympus Mons, má průměr základny asi 600 km a dosahuje výšky 25 km. (Nejvyšší pozemská sopka Mauna Loa měří od základny 11 km.) Tak velký útvar rovněž dokládá mocnost kůry. Zemská kůra by tak velký náklad neunesla a sopka by se „probořila“ hlouběji do pláště.

Řada struktur, jako jsou kaňony, vyschlá říční koryta, sedimentační pánve a další, dokládají působení tekoucí vody a existenci jezer, případně oceánu, v minulosti. Ve spojení s dalšími strukturami (morény, klikaté hřbítky - eskery, ...) dokládají činnost ledovce. V současnosti jsou vidět na Marsu jen polární čepičky. Ty jsou tvořeny z velké části zmrzlým CO₂ (v severní čepičce je vody trochu více) a představují spíše jen námrazu o malé mocnosti. Snímky polárního ledu ukazují jeho cyklickou vrstevnatou strukturu. Podobně jako na Zemi by se tento led, resp. bublinky v něm, dal využít ke studiu vývoje atmosféry a klimatu v minulosti. Zatím není jasné, kam zmizelo to množství vody, které na Marsu v minulosti bylo. Je možné, že bylo zakonzervováno v podobě podpovrchového ledu. Hledání vody bude jedním z cílů marsovských misí, neboť řešení této otázky je důležité z hlediska hledání života na Marsu i z hlediska pozdějších pilotovaných misí nebo základen.

Na formování povrchu se podílely také svahové pohyby, které někdy vytvořily sesuvy enormních rozměrů. Podobně jako na jiných planetách i povrch Marsu byl modelován dopady kosmických těles. Ve srovnání s Měsícem nebo Merkurem je na Marsu vidět mnohem méně kráterů. Je to způsobeno poměrně značnou geologickou aktivitou, která neustále omlazuje povrch. V současnosti dominuje na povrchu Marsu činnost větru, který neustále zviřuje množství prachu. Časté jsou prachové bouře. Na mnoha místech jsou vidět dunová pole, naveně u terénních překážek apod.

Z toho, co bylo řečeno, je zřejmé, že povrch Marsu bude tvořen širokou škálou vyvřelých (hlavně bazických a

ultrabazických) a sedimentárních hornin. Velkou část povrchu pokrývá jemný načervenalý prach, který je produktem zvětrávání. Je tvořen nejspíše železitými jílovými minerály (smektit, palagonit), případně oxidy železa.

Podmínky na povrchu Marsu se dají nejlépe přirovnat k antarktickým pouštím. Téměř žádná vlhkost, teploty v tropech dosahují přes den k 0oC, v noci klesají k -100oC. Průměrné teploty se odhadují na -70 až -80oC.

Atmosféra Marsu, podobně jako na Zemi, vznikla degazací pláště během vulkanické činnosti. Je však mnohem řidší. Tlak na povrchu není větší než 0.76 kPa (na Zemi 10 kPa). Atmosféru tvoří především CO₂ (96%), N₂ (2,7%) a Ar (1,6%). Ve stopových množstvích jsou přítomny též O₂, Ne, Kr, Xe, H₂O, CO a další. Vlivem ionizujících účinků vznikla i u Marsu ionosféra, která je však opět podstatně slabší než u Země.

Jak dál

Současný a budoucí výzkum Marsu se zaměřuje na studium atmosféry a klimatu, jejich vývoj v čase. Další oblastí je geologický průzkum, sondování pod povrch Marsu, hledání vody. A v neposlední řadě jde o hledání stop minulého nebo i současného života. K plnění těchto cílů by měly posloužit mise využívající družice, přistávací moduly, vozítka a také balóny. Věťme, že splnění těchto cílů umožní pilotovanou misi k Marsu již v první polovině příštího století. ■



Oblast písečných dun. Z orientace dun lze odvodit směr současného převládajícího proudění v přízemních vrstvách atmosféry.