



ROZHOVOR

# KEĎ CHCEŠ POZNAŤ STARÚ ZEM, MUSÍŠ CESTOVAŤ NA MARS

**Kedysi planéta bohatá na vodu, dnes vyprahnutá púšť. Čo sa stalo s Marsom, ktorého vývoj sa začal podobne ako vývoj Zeme? Prinášame vám rozhovor s profesorom Jozefom Masarikom z Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK, ktorý sa dlhodobo venuje výskumu Marsu a iných nebeských telies.**

**V súčasnosti sa dejú úžasné veci v oblasti kozmického výskumu. Na Marse pristálo niekoľko sond a ďalšie družice sa dostali na jeho obežnú dráhu. Okrem toho sa na orbitu Zeme dostala prvá slovenská družica. Skôr než si tieto novinky rozoberieme, ako prežívate toto obdobie? Koľko času denne venujete sledovaniu vedeckých noviniek z kozmu?**

Sledovanie noviniek z kozmu je vzrušujúce v každom čase. Vypustenie Sputnika 4. októbra 1957 otvorilo epochu nových objavov a skúšania nových technológií. To do značnej miery rozšírilo možnosti pozemských astronomických pozorovaní, ktoré boli aj samy osebe veľmi zaujímavé. V dôsledku prírodných zákonov, ktoré určujú obežné doby planét slnečnej sústavy, sa pravidelne zvyšuje záujem o Mars. Toho sme svedkom aj teraz. Je to preto, že Mars obehne okolo Slnka za dobu približne dvakrát dlhšiu ako Zem, a preto má len v určitých obdobiach zmysel poslať misie k Marsu. Mars ma zaujíma, preto si dnes pozriem správy o Marse, ale i z iných misií a objektov. Poznatkov z vesmíru každý deň pribúda toľko, že človek si musí stanoviť nejaký časový limit, aby v dôsledku ich štúdia nezanedbával iné veci a hlavne priateľov a kolegov.

**Zaujali vás správy o slovenskej družici GRBAlpha? Je to druhý pokus Slovákov o vlastnú družicu na obežnej dráhe. Prvý pokus sa udial v roku 2017, v súčasnosti je však už táto družica nefunkčná. Čo je poslaním novej družice?**

Všetko sa sledovať nedá a možno aj preto som túto misiu vypustil zo svojho záujmu. Viem len, že okrem skúšania technológií je cieľom družice merať spektrum elektromagnetického žiarenia a vedci sa nádejajú aj na zaznamenanie

gama zábleskov. Ak by sa to podarilo, tak by to bolo vôbec prvýkrát, čo by pozorovanie tohto typu zvládli aj takéto malé satelity. Kolegom z Technickej univerzity v Košiciach želim úspech.

**Centrom vedeckého záujmu je momentálne Mars. Najnovší výskum NASA ukazuje, že voda je ukrytá v mineráloch. Ako sa môže voda skrývať v kryštálových štruktúrach minerálov?**

Pred viac ako 3,7 miliardy rokov bolo na povrchu Marsu veľké množstvo vody. V období formovania sa marsovskej kôry časť vody unikla do vesmíru a časť bola zachytená v tzv. hydratovaných mineráloch, teda v mineráloch, ktoré majú vodu zabudovanú do svojej kryštalickej štruktúry. Tieto minerály vznikajú preto, že prvky v nich obsiahnuté interagujú s vodou a v dôsledku postupnosti rôznych komplexných reakcií vznikajú hydratované minerály. Takéto procesy prebiehajú aj na Zemi a nazývajú sa chemickým zvetrávaním. Simulácie ukazujú, že takto bolo zachytených minimálne 30 % vody na Marse. Táto teória je založená na meraniach izotopického zloženia vody na Marse. Čo to znamená? Voda pozostáva z dvoch atómov vodíka a jedného atómu kyslíka. Vodík viazaný vo vode môže byť buď ľahký – jeho jadro pozostáva len z jedného protónu, alebo ťažký – jeho jadro pozostáva z jedného protónu a jedného neutrónu. Voda z Marsu unikala do vesmíru v dôsledku toho, že Mars prišiel o svoje magnetické pole a atmosféru. V dôsledku nižšej hmotnosti by prednostne do vesmíru unikala voda obsahujúca v molekule ľahký vodík, čo by viedlo k podstatnej zmene pomeru ľahkej a ťažkej vody na Marse. Toto však nepozorujeme, z čoho vyplýva, že podstatná časť vody ostala na Marse a je buď voľná pod povrchom, alebo viazaná v mineráloch.

**Pri hľadaní vody na Marse ide vlastne o detekciu vodíka, ktorá sa vykonáva pomocou merania prítomnosti pomalých a rýchlych neutrónov nachádzajúcich sa v určitých oblastiach nad povrchom Marsu. Môžete to vysvetliť bližšie?**

Meranie prítomnosti vody na povrchu a pod povrchom Marsu sa môže robiť dvomi spôsobmi. Prvým je vysadenie experimentálnych sond na povrchu Marsu, ktoré sa využívajú na už spomenutú detekciu vody v mineráloch. Druhá možnosť je skúmať globálny

obsah vody na Marse pomocou diaľkového prieskumu. Vaša otázka mieri k tomuto druhému prístupu. Ten je založený na tom, že na družici krúžiacej okolo Marsu máme detektor neutrónov, ktorý dokáže rozlíšiť termálne neutróny od epitermalných a rýchlych neutrónov, t. j. neutrónov s vyššími energiami. Ďalej využívame skutočnosť, že vodík je najľahší prvok. V povrchových vrstvách vznikajú neutróny v dôsledku jadrových reakcií vyvolaných kozmickým žiarením, ktoré ožaruje všetky objekty nielen v našej slnečnej sústave, ale aj v dôsledku premien rádioaktívnych prvkov. Časť týchto neutrónov po zrážkach s atómami okolitého prostredia unikne do voľného kozmu a niektoré z nich zaznamená detektor neutrónov na družici. Ak sa neutrón počas transportu do detektora zrazí s ľahkým atómom vodíka, stratí časť svojej energie. Je to analógia zrážky pohybujúcej sa biliardovej gule so stojacou guľou. Pohybujúca sa spomalí a stojaca guľa sa pohne, lebo musia platiť zákony zachovania energie. Ak sa neutrón na svojej dráhe zrazí s ťažkým atómom, svoju energiu nezmení. Je to podobné odrazu pružnej tenisovej loptičky od tvrdej steny. Loptička nezmení rýchlosť (kinetickú energiu), len smer pohybu. Preto ak detektor zaznamenáva neutróny pochádzajúce z oblasti obsahujúcej vodu, je pomer tepelných neutrónov k neutrónom s väčšími energiami vyšší. Z veľkosti tohto pomeru vieme stanoviť koncentráciu vody. Keďže neutróny dokážu uniknúť z hĺbky zhruba jeden meter, získavame pomocou nich informáciu o obsahu vody na povrchu a tesne pod ním.

**Niekoľko výskumov v minulosti už potvrdilo prítomnosť vody na povrchu Marsu. Dokazujú to aj najnovšie štúdie NASA. Plánuje sa však výskum, ktorý by skúmal Mars do hĺbky? Budú aj aktuálne misie realizovať vrtanie do väčších hĺbok?**

Misia Perseverance, ktorá pristála na Marse v polovici februára, urobí aj vrt a odoberie vzorky, ktoré ďalšie misie dopraví na Zem. Tento vrt však bude len plytký – približne 60 mm. Zámerom tohto experimentu s vrtaním je otestovať technológie pre budúce misie. V minulosti misie Apollo realizovali vrtv hlboké niekoľko metrov. Misie realizujúce hlbšie vrtv plánuje v budúcnosti aj NASA aj Európska vesmírna agentúra.



### Funguje na Marse počasie? Odparovanie vody, tvorba oblakov a niečo ako dážď?

Áno, počasie tam funguje, aj keď je podstatne iné ako na Zemi. Hlavnou príčinou odlišnosti je skutočnosť, že atmosféra Marsu je oveľa menšia než atmosféra Zeme. Jej hrúbka je v priemere 6,4 g/cm<sup>2</sup>, na Zemi je to 1033 g/cm<sup>2</sup>. Pozorované zmeny tlaku sa pohybujú na úrovni 40 % priemernej hodnoty. Taká variácia tlaku by v pozemských podmienkach spôsobovala niekoľkonásobne silnejšie hurikány, než sa vyskytujú v súčasnosti. Rýchlosť vetra na Marse bola pozorovaná v rozmedzí 2 – 30 m/s. Vietor spôsobuje na Marse prachové búrky. Stredná hodnota teploty je -63 °C, pričom sa mení v rozpätí od -89 do -31 °C. V rovníkovej oblasti však môžu byť v lete teploty okolo 0 °C, v polárnych oblastiach dosahujú teploty oveľa nižšie hodnoty. Obsah vody v atmosfére je veľmi nízky – z milióna molekúl rôznych plynov, z ktorých pozostáva atmosféra Marsu, je 210 molekúl vody, takže dážď, ako ho poznáme na Zemi, na Marse nehrozí.

### Vieme, že voda na Marse má rôzne prímеси. Čo sa v nej nachádza?

Všeobecne by sa dalo povedať, že voda na Marse je špinavá. Pod špinou treba rozumieť, že voda, ktorá sa nachádza tesne pod povrchom Marsu vo forme ľadu, obsahuje veľké množstvo prachu, ktorým je pokrytý povrch Marsu. Tento prach pozostáva z oxidov a hornín, aké poznáme väčšinou aj na Zemi. V rovníkových oblastiach, kde v lete môže byť voda aj v tekutom stave, obsahuje bežné soli a tiež prach. V polárnych oblastiach pozorujeme ľad, ktorý je zmesou vodného ľadu a oxidu uhličitého v pevnom stave. Sumárne možno povedať, že znečistenie vody na Marse závisí od lokality.

### Často sa hovorí o vode, ale čo taký kyslík? Existujú aj ďalšie takzvané biogénne prvky, ktoré sa nachádzajú vo všetkých živých organizmoch – napríklad uhlík, dusík, sodík, fosfor alebo vápnik. Aké sú ich hodnoty na Marse?

Atmosféra Marsu pozostáva z 95,3 % z oxidu uhličitého. Na úrovni percent sú v nej ešte dusík (2,7 %), argón (1,6 %), kyslík (0,13 %) a oxid uhoľnatý (0,08 %). V letnom období bol pozorovaný v atmosfére Marsu v malých koncentráciách aj metán, čo indikovalo možnú prítomnosť života na Marse, no vysvetlilo sa to iným spôsobom. Z chemických analýz povrchu Marsu vyplynulo, že v najväčšom množstve sa

v kôre Marsu vyskytujú kremík, kyslík, železo, horčík, hliník, vápnik a draslík. Tieto prvky sa, samozrejme, vyskytujú vo forme rôznych hornín tak ako aj na Zemi. V menšej koncentrácii sú prítomné prvky titán, chróm, mangán, síra, fosfor, sodík a chlór. V septembri 2017 rover Curiosity zaznamenal prítomnosť bóru, ktorý je veľmi dôležitý pre život na Zemi.

## „Všetko potrebné na udržanie a rozvoj ľudského života na Marse už je. Len musíme vyvinúť environmentálne akceptovateľné technológie na spracovanie lokálnych zdrojov.“

### Rover Perseverance pristál v Jezere, v kráteri s názvom, ktorý v mnohých slovanských jazykoch znamená jazero. Očakávali sa práve tam významné nálezy?

Výber lokality pristátia vždy súvisí s očakávaniami od misie a s tým, aké prístroje misia obsahuje. Oblasť Jezero vybrali so zámerom podrobne preskúmať podmienky na život v minulosti, ale aj v súčasnosti. Ďalej budú detailne skúmať klimatické pomery v oblasti pristátia, ako aj geologické pomery. Odlišnosť tejto misie od predchádzajúcich spočíva aj v tom, že má rozsiahly program na testovanie nových technológií, ktoré sa v budúcnosti využijú na pristátie človeka na Marse a jeho prežívanie na ňom. Sú to technológie zamerané na vylepšenie pristávacieho manévru, pohyb po povrchu Marsu, ako aj výrobu kyslíka z marťanských hornín.

### Rover Curiosity najazdil od roku 2012 42 kilometrov. Nie je to málo?

Je to najviac zo všetkých pohyblivých modulov, ktoré sa pohybovali po povrchoch nebeských objektov mimo Zeme. Pohyb je len prostriedkom na realizáciu stanovených cieľov. Curiosity sa presunie a tam potom robí dostatočne dlho naplánované analýzy. Závažnejšou otázkou je, ako dlho bude tento rover pohyblivý, čo je limitované nielen možným mechanickým poškodením, ale hlavne získavaním

dostatočného množstva potrebnej energie. Na preteky v rýchlosti a nabehané kilometre si ešte budeme musieť nejakú dobu počkať.

### Ako vyzerá práca rovera. Pracuje 24/7?

Na to je problém odpovedať. Je to vec pohľadu na to, čo je práca. Rover určitú dobu pracuje a pod prácou si treba predstaviť pohyb a vykonávané analýzy. Na to treba dostatok energie a ten sa zo solárnych panelov získava cez marsovský deň. V noci je intenzita práce nižšia, hlavne z energetických dôvodov. Ďalším druhom práce je komunikácia s orbiterom, cez ktorý sa prenášajú získané údaje na Zem. V skratke to znamená, že činnosť rovera nie je nepretržitá, ale je optimalizovaná podľa jednotlivých činností na rôzne obdobia počas dňa. Samozrejme, že súčasne nepracujú všetky prístroje, ale tiež je tam určitý manažment ich výkonnosti.

### Prečo mnohé misie na Mars zlyhajú?

Sú dva dôvody. Prvým je skutočná náročnosť pristávacieho manévru, ktorý sa aj s pomerne dokonalou technikou a aj napriek práci zohratých a skúsených tímov z radiacií stredísk nemusí vždy podať. Druhým sú náhody a zbytočné chyby. Príkladom môžu byť softvérové chyby v programoch radiacií automatické pristávanie. Ešte horšie bolo používanie dvoch rôznych systémov jednotiek pri riadení družice (jedni používali metrický systém, iní imperiálny) alebo zlyhanie súčiastok, ktorým extrémne podmienky Marsu dávajú zabráť. Zlyhanie môže nastať aj počas letu. To sa stalo aj počas mojej prvej misie Mars Observer, keď došlo k strate družice v okamihu jej navádzania na obežnú dráhu okolo Marsu. Ako posledný príklad spomeniem pristátie modulu niekde v kaňone s anténou nasmerovanou nie na radiacu družicu, ale do steny priehlbiny, v ktorej pristál, čo znamená, že z neho nedostávame žiadne informácie.

### Spolu s americkým roverom Perseverance na Mars v približne rovnakom čase dorazila aj sonda Spojených arabských emirátov Amal (Nádej) a čínska sonda Tianwen-1. V čom sú ich misie špecifické?

Misia Amal sa sústreďuje primárne na prieskum atmosféry Marsu a v nej prebiehajúce procesy z orbitera. Ide o pochopenie procesov, ktoré vedú k zmene atmosféry a jej úniku do kozmu, a z neho vyplývajúce vytvorenie modelu atmosféry v ďalekej minulosti. Čínska misia je veľmi podobná misii Perseverance, hlavne pokiaľ ide o prieskum povrchu Marsu. Táto misia

pozostáva z dvoch častí. Šesť prístrojov je na orbiteri a šesť na roveri. Podobne ako americká misia aj čínska má veľkú časť experimentov zameranú na testovanie technológií. Tiež má za cieľ otestovať technológie umožňujúce návrat vzoriek z Marsu na Zem niekedy po roku 2030.

### Komunikujú spolu tieto misie?

O komunikácii medzi čínskou a americkou misiou neviem nič, resp. som si takmer istý, že neexistuje. Amal a Perseverance majú určité prepojenie už aj v tom, že túto misiu pripravili vedci zo SAE v spolupráci s kolegami z univerzity v Boulderi v americkom štáte Colorado.

### Akým výskumom spojeným s Marsom sa momentálne venujete?

V súčasnosti sa venujem výskumu meteoritov z Marsu, čo sú zatiaľ jediné vzorky z Marsu, ktoré sa dajú analyzovať v pozemských podmienkach. Momentálne nie som zapojený v aktívnej misii na Marse, podieľam sa však na príprave jednej budúcej.

### Čo by sme ešte o Marse potrebovali vedieť predtým, než začneme uvažovať o osídlení?

Je toho viac, no ja za primárne považujem testovanie technológií na bezpečné pristátie na Marse, ako aj technológií umožňujúcich získavanie surovínových zdrojov potrebných na budovanie osídliel, získavanie čistej vody, kyslíka a iných potrieb na udržanie a rozvoj ľudského života na Marse. Už

aj so súčasnými poznatkami o Marse vieme, že všetko potrebné tam je, len musíme vyvinúť environmentálne akceptovateľné technológie na spracovanie lokálnych zdrojov.

### Skúmali ste nielen Mars, ale aj Mesiac, Merkúr, kométy a asteroidy. Ktorý objekt si získal váš najväčší záujem?

Jednoznačne Mars. Je najkomplikovanejší, ale súčasne poskytuje aj najväčšie nádeje na jeho zmysluplné využitie ľudstvom. Navyše, keďže Zem a Mars si boli v období po svojom sformovaní veľmi podobné, tak pochopenie vývoja Marsu nám pomáha pochopiť aj mnohé z vývoja našej Zeme. Na Zem máme oveľa silnejšie geologické procesy, ktoré Zem neustále pretvárajú, a preto stopy z počiatočných štádií vývoja našej planéty už boli zničené, čo nie je prípad Marsu. Stačí tam prísť a prečítať si informáciu uloženú v neporušených geologických archívoch starých miliardy rokov. Keď chceš poznať starú Zem, musíš cestovať na Mars.

### Vo svojej kariére ste určite dostali mnohé ponuky na spoluprácu. Podľa čoho sa rozhodujete – podľa medzinárodného tímu alebo skôr objektu skúmania?

Do úvahy beriem jedno aj druhé. Ono to spolu súvisí, a keď človek akceptuje prvú ponuku, tak sa začnú otvárať možnosti ďalších spoluprác, pretože sa zoznami s komunitou pôsobiacou v danej oblasti. Z tohto dôvodu sú veľmi podstatné osobné kontakty získané na

medzinárodných konferenciách, ktoré nie sú len vedeckou turistikou, ako si myslia mnohí domasedi.

### Hovoríme o potenciálnom osídľovaní Marsu, hoci vieme, aké výzvy to priniesie. Nebolo by jednoduchšie spojiť sily a zamerať sa na to, aby sme si neničili planétu, na ktorej žijeme? Ako sa na to pozeráte ako vedec?

Toto je už skôr aj filozofická otázka, ale hlavne otázka o spoločenskej zodpovednosti. Takéto otázky riešime aj v rámci APVV projektu „Paradigmatické zmeny v nazeraní na vesmír a človeka z filozofickej, teologickej a fyzikálnej perspektívy“, kde sme sa spojili kolegovia z piatich fakúlt našej univerzity. Môj názor je, že ľudia by nemali ničť nič. Ľudia by mali tvoriť. Sme živé tvory a tvory by mali tvoriť. Žiaľbohu, hlúposť, chamtivosť, honba za ziskom, túžba po presadení silnejšieho jedinca či štátu na úkor iného, chýbajúca pokora a úcta k prostrediu, v ktorom žijeme (prírodnému a spoločenskému), ako aj nezmyselný konzum a vyznávanie teórie neustáleho rastu môžu viesť k tomu, že na Mars nebudeme chcieť ísť zo zvedavosti a uspokojenia našich túžob po poznani, ale budeme musieť ísť kvôli prežitiu. Ak sme naozaj rozumní ľudia, musíme sa spojiť a správať sa tak, aby sme si našu planétu nezničili a mohli na nej spokojne a zdravo žiť až do okamihu, keď sa presťahujeme niekam inam, lebo naša planéta „umrie“ v dôsledku pôsobenia objektívnych prírodných zákonov na „starobu“.



## prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.

V r. 1983 absolvoval jadrovú a subjadrovú fyziku na Matematicko-fyzikálnej fakulte UK. Odvtedy pracuje na Katedre jadrovej fyziky a biofyziky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK. Kandidátom fyzikálnych vied sa stal v r. 1991, docentom v r. 1996 a doktorskú dizertačnú prácu obhájil v r. 1998. V r. 2001 bol vymenovaný za profesora. Dlhodobou pôsobil na univerzitách a vo výskumných centrách v USA, Nemecku a Švajčiarsku. Vedecky sa venuje simuláciám pre vyhodnotenie meraní gama žiarenia pri prieskume iných planét. Súčasťou jeho výskumnej práce je tiež vývoj programov pre analýzu a interpretáciu údajov v rámci medzinárodného prieskumu Mesiaca, Marsu, Merkúru, niektorých komét a asteroidov, ako aj aplikácie kozmického žiarenia v mnohých oblastiach geofyzikálneho a kozmického výskumu. Pôsobil ako prodekan pre vedu FMFI UK a dekan FMFI UK. Je predsedom predsedníctva APVV. V súčasnosti zastáva funkciu prorektora UK pre vedu, doktorandské štúdium a projektovú činnosť.