

# Aké horniny sú na Marse?

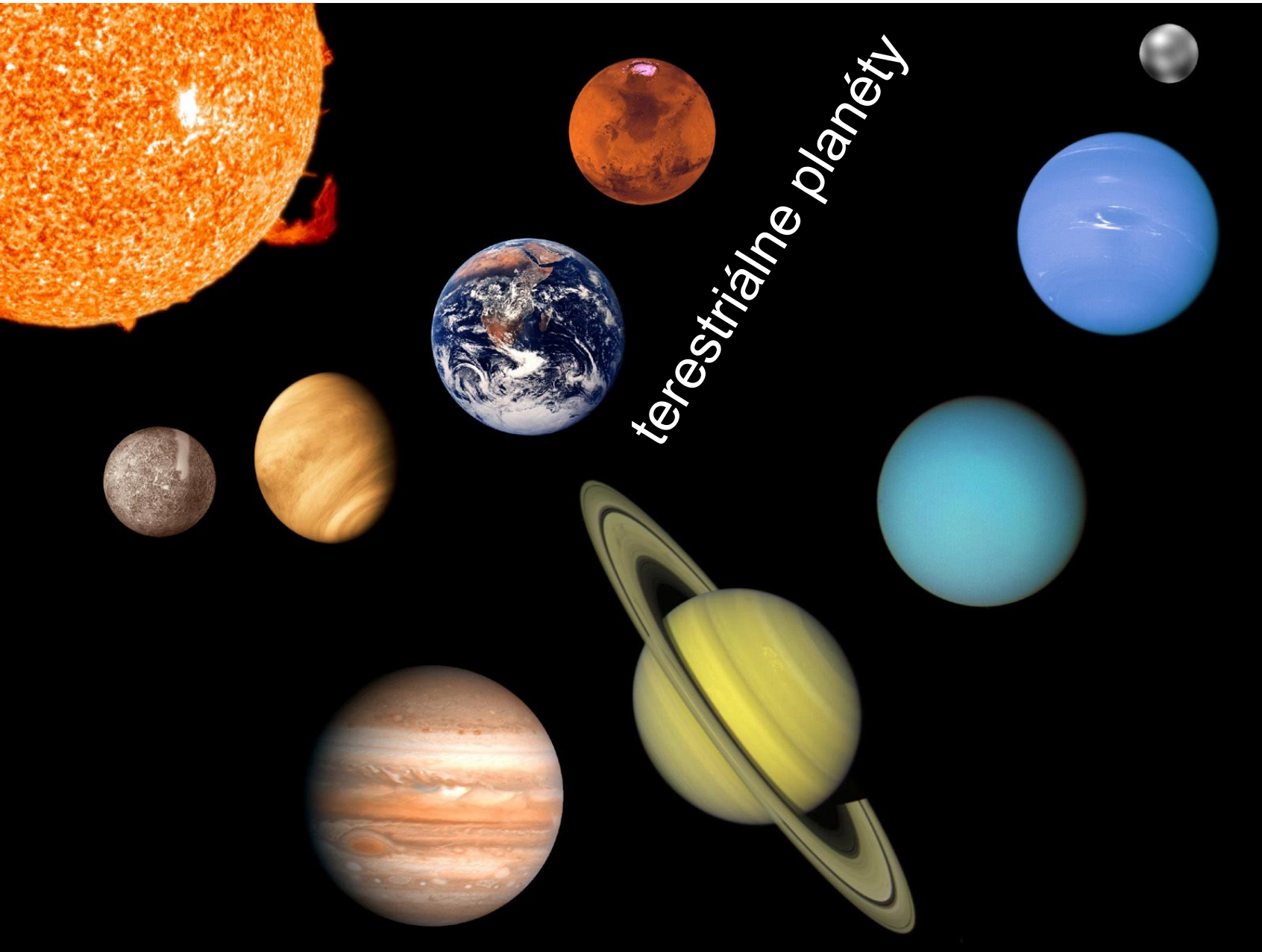
## (Pohľadom Mössbauerovej spektrometrie)

Marcel MiGLiERiNi

### Obsah

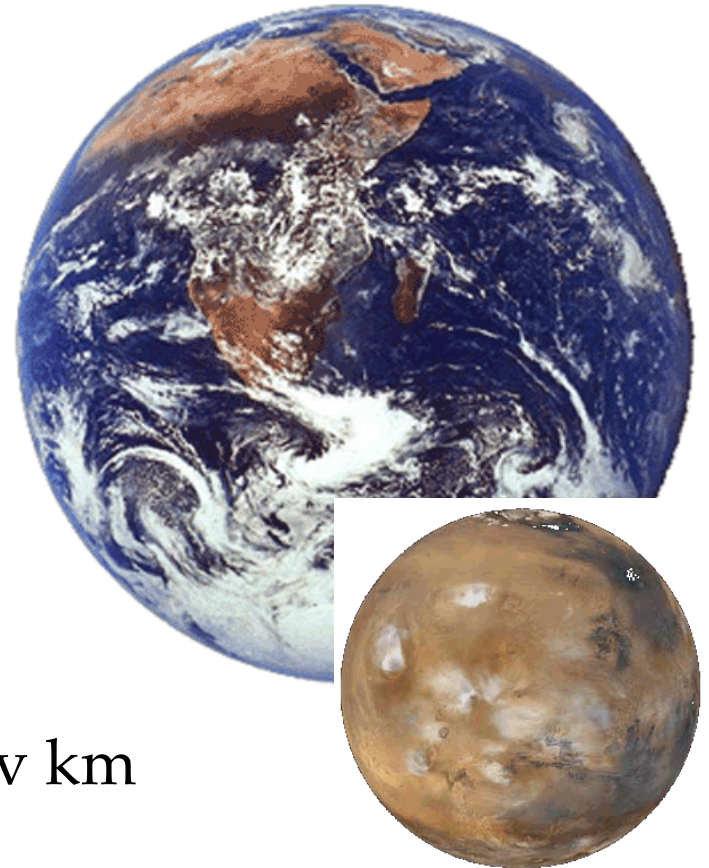
- Mars
  - základné údaje
- MER (Mars Exploration Rover)
  - experimentálne vybavenie
  - získané výsledky

# Slnečná sústava



# Mars

- dĺžka dňa: 24 hod 39 min 35 s
- doba obehu okolo Slnka: 687 dní
- vzdialenosť od Zeme
  - minimálna 54 500 000 km
  - maximálna 401 300 000 km
- priemer 6 780 km
  - 1/2 polomeru Zeme
  - 2-násobok veľkosti Mesiaca
- vzdialenosť od Slnka 227.7 miliónov km





# Povrch Marsu



- priemerná povrchová teplota  $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$ 
  - denná teplota  $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$  (na rovníku cez poludnie)
  - nočná teplota  $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$  (počas polárnej noci)
- povrchový vietor (40 m/s)
- gravitácia: 38 % zemskej
- atmosféra
  - $\text{CO}_2$  - 95.3 %
  - $\text{N}_2$  - 2.7 %
  - Ar - 1.6 %



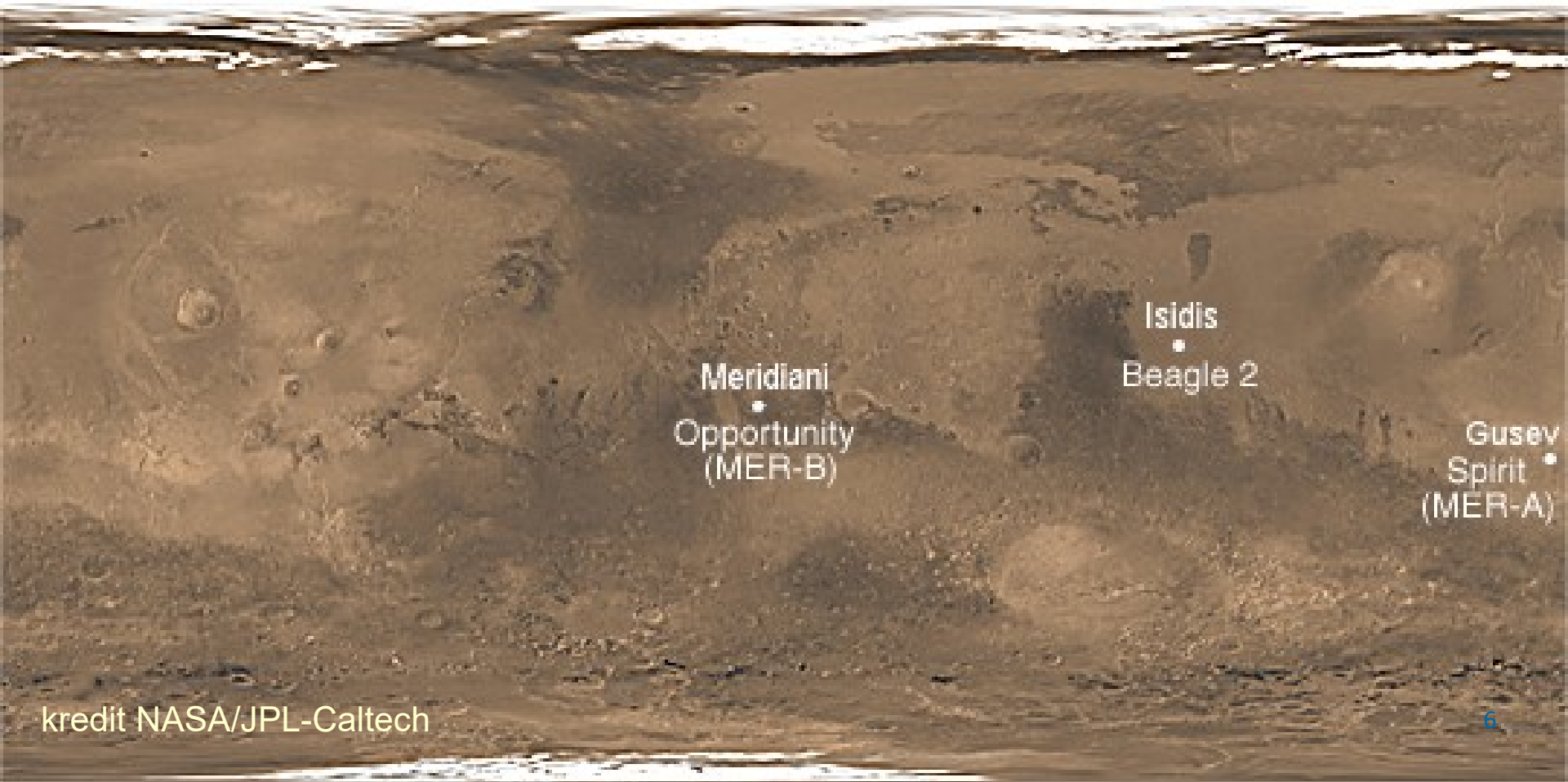
# Misie na Mars

- Beagle 2
  - ESA, Bajkonur
  - Mars Express
  - 2.6.2003 → 25.12.2003 ✘
- MER-A Spirit
  - NASA, Cape Canaveral
  - Delta II
  - 10.6.2003 → 4.1.2004 ✔
- MER-B Opportunity
  - NASA, Cape Canaveral
  - Delta II
  - 7.7.2003 → 25.1.2004 ✔

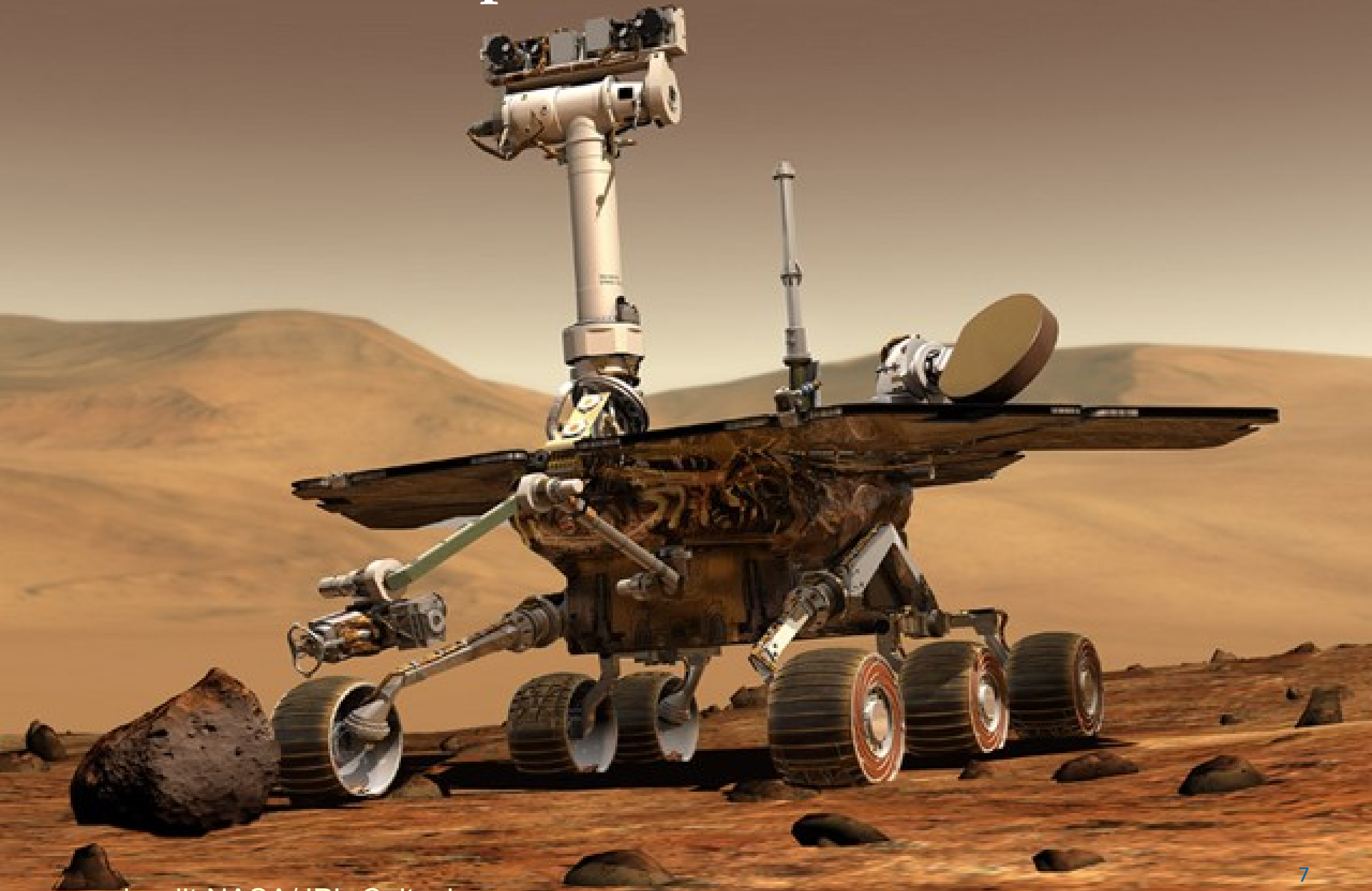


# Miesto pristátia

- Spirit: kráter Gusev
  - predpoklad: vplyv tekutej vody v minulosti (pravdepodobne jazero)
- Opportunity: kráter Eagle v oblasti Meridiani Planum



# MER – Mars Exploration Rover





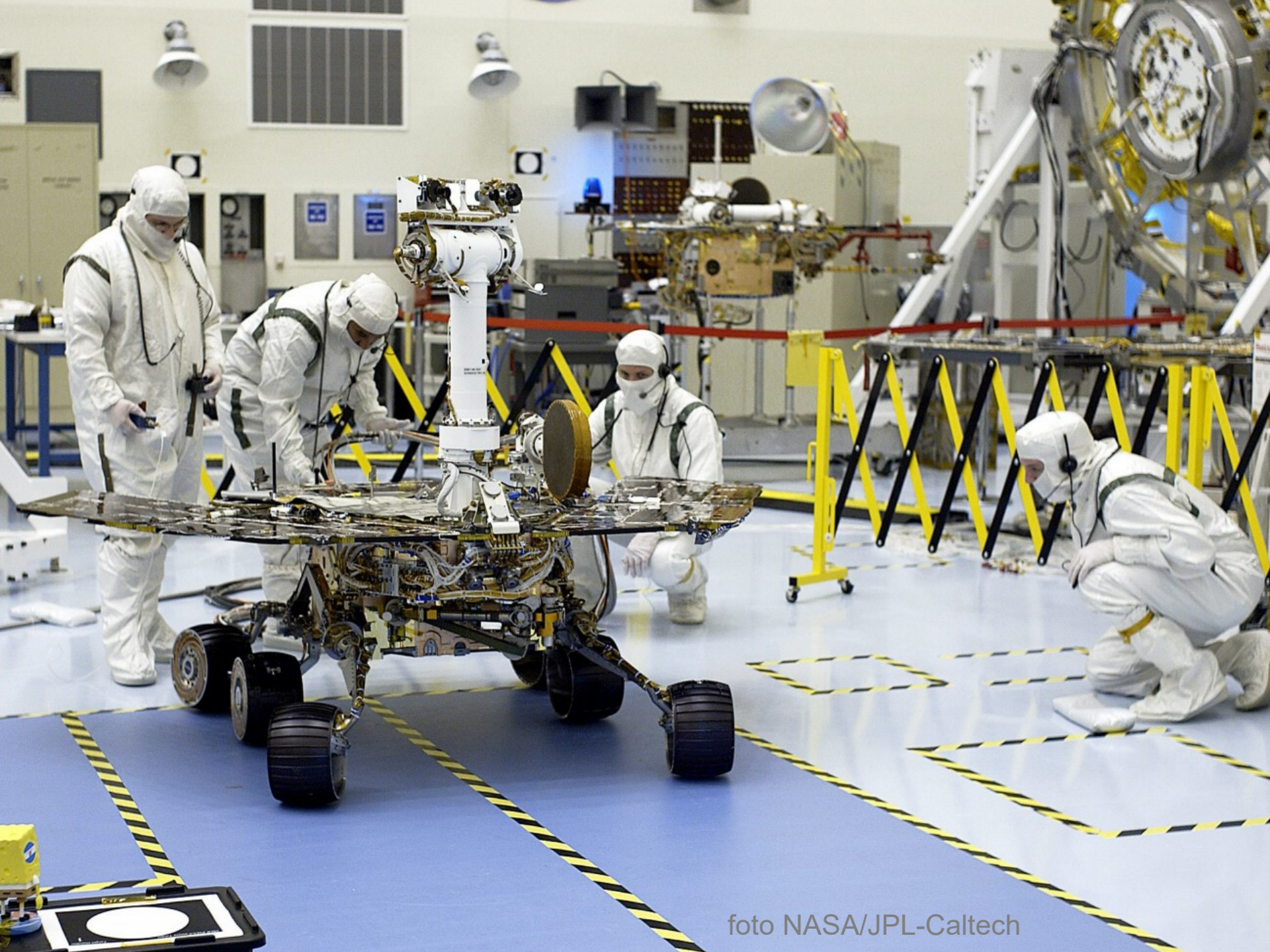
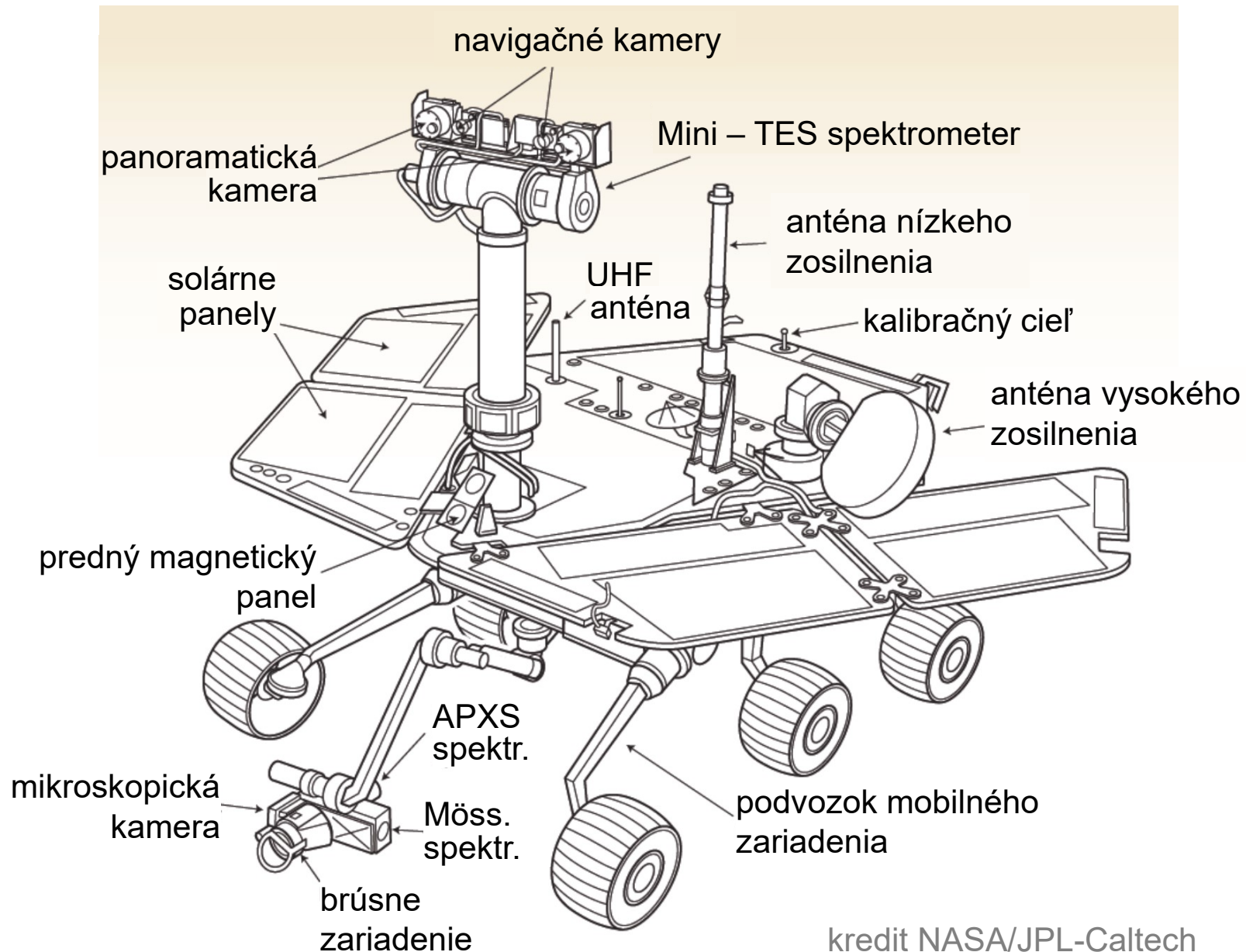


foto NASA/JPL-Caltech



# Vybavenie MER



# Prístrojové vybavenie MER

- PANCAM
  - multispektrálna stereo kamera
- Mini-TES
  - termálny emisný spektrometer
  - IČ spektrometer

## výsuvné rameno (IDD = Instrument Deployment Device):

- APXS
  - $\alpha$ -particle X-ray spectrometer
- Mössbauerov spektrometer
- RAT = rock abrasion tool
  - D = 45 mm, h = 5 mm
- mikroskopická kamera
  - Microscopic Imager

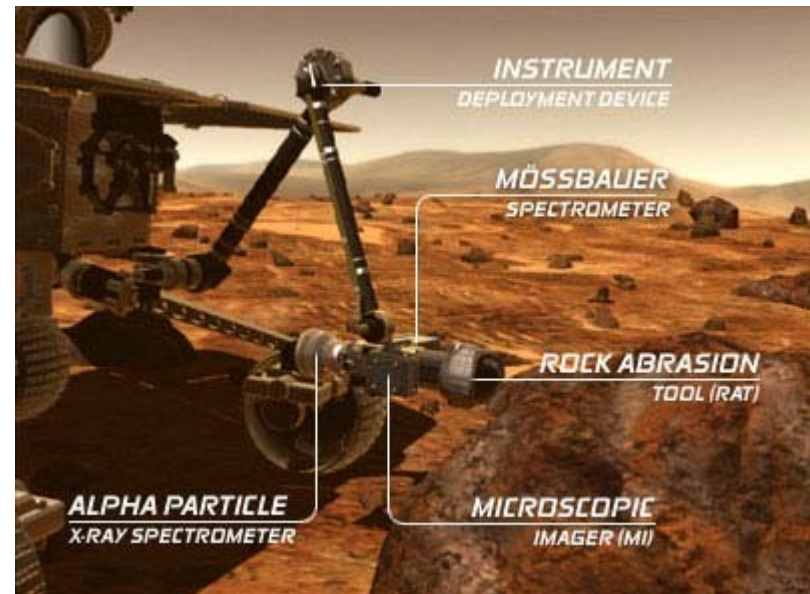
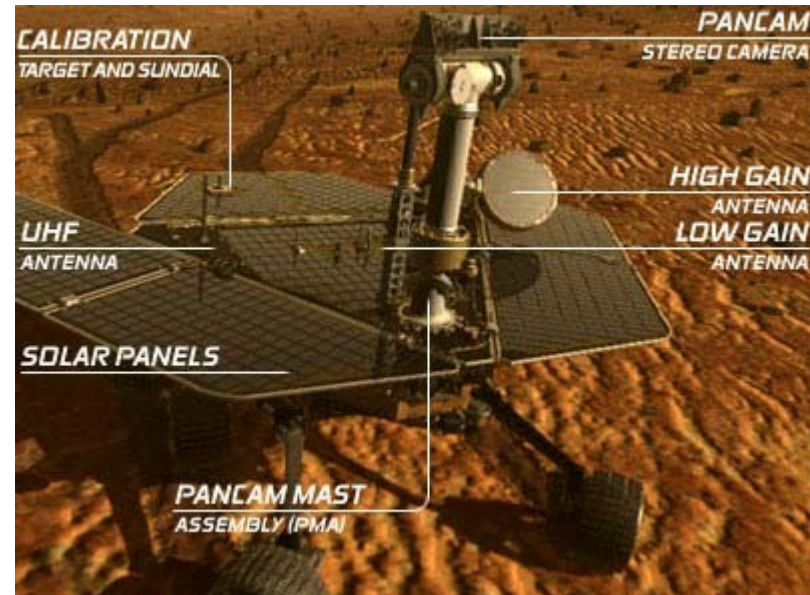


foto NASA/JPL-Caltech



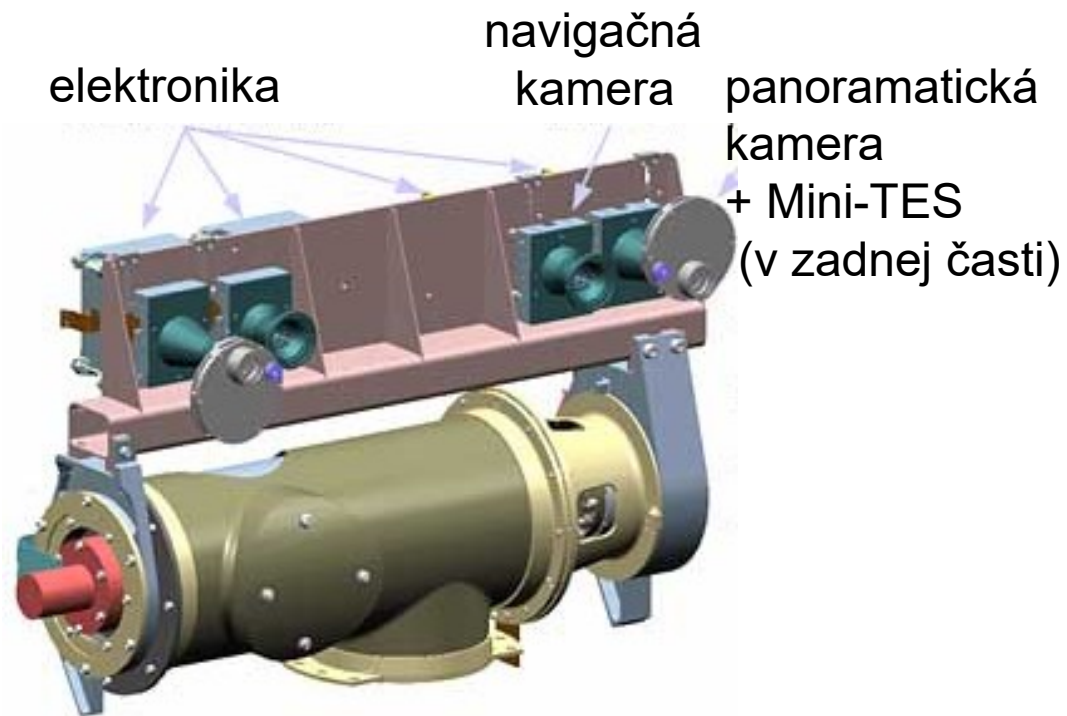
# Stožiar rovera

## ■ PANCAM

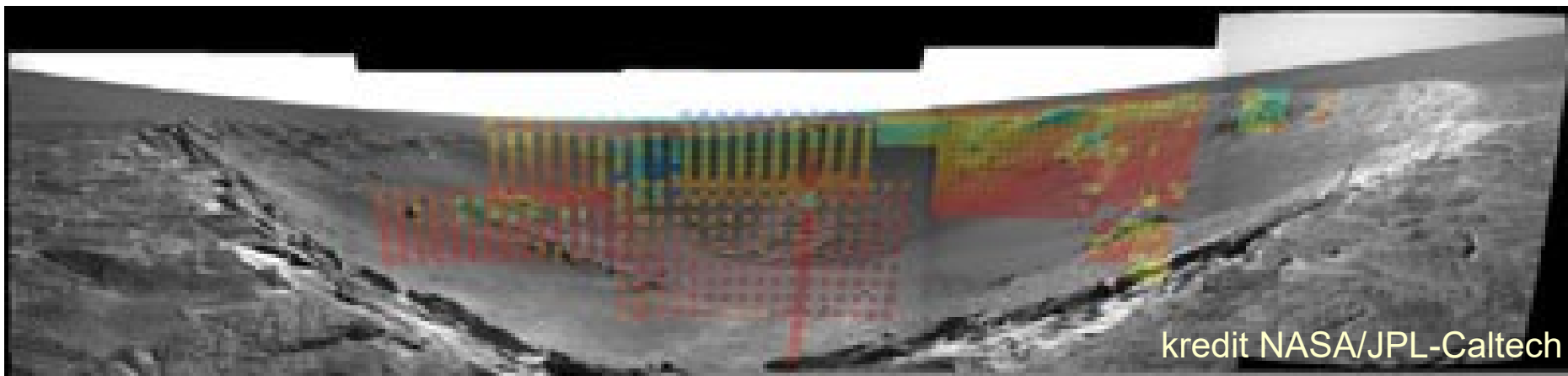
- 2 vysokorozlišovacie kamery

## ■ Mini-TES

- modrá - 53 °C
- červená 7 °C



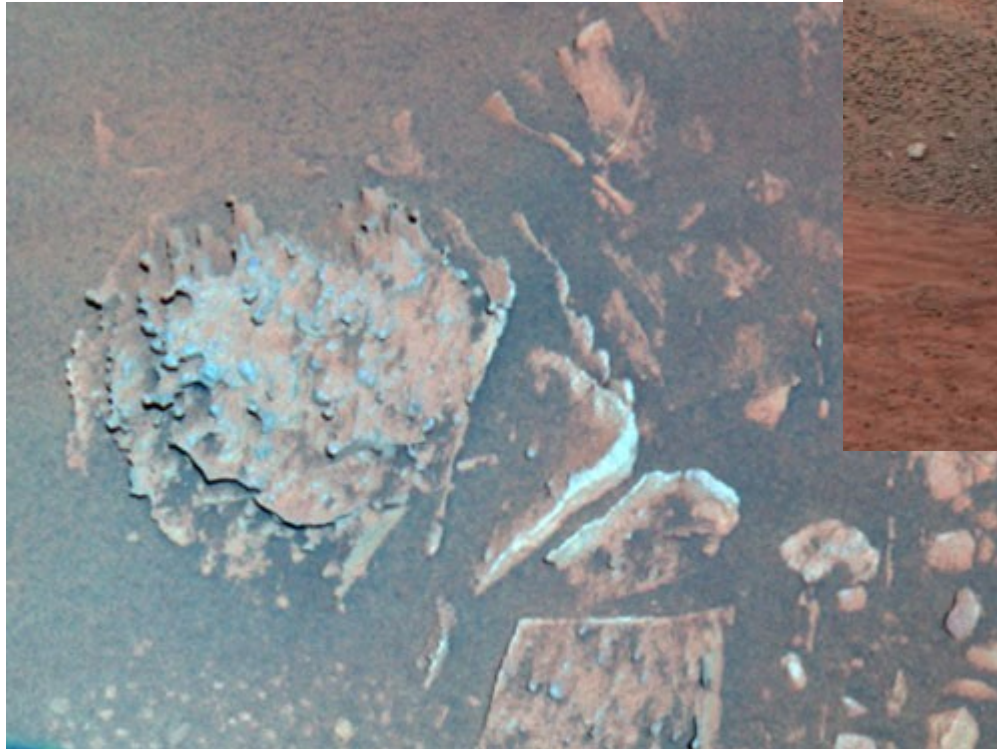
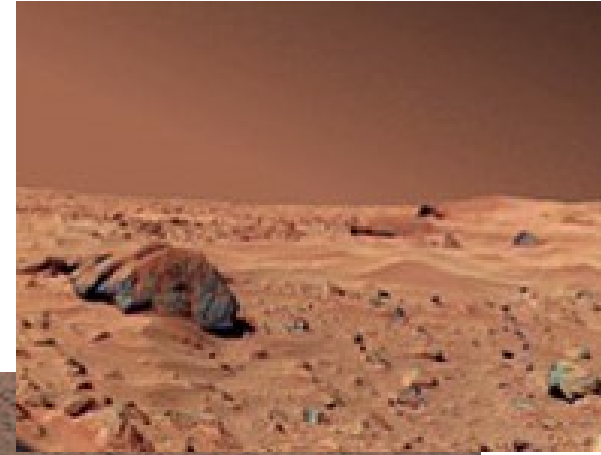
kráter Endurance



kredit NASA/JPL-Caltech

# PANCAM kamera

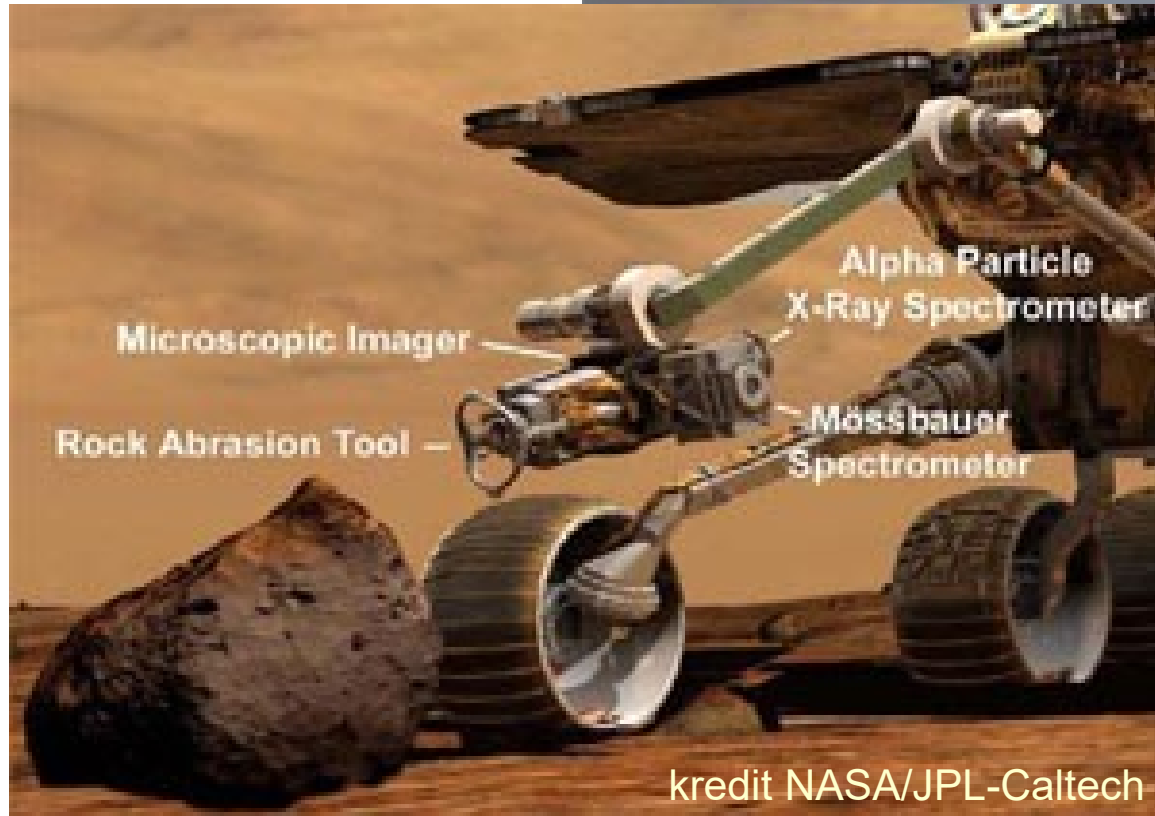
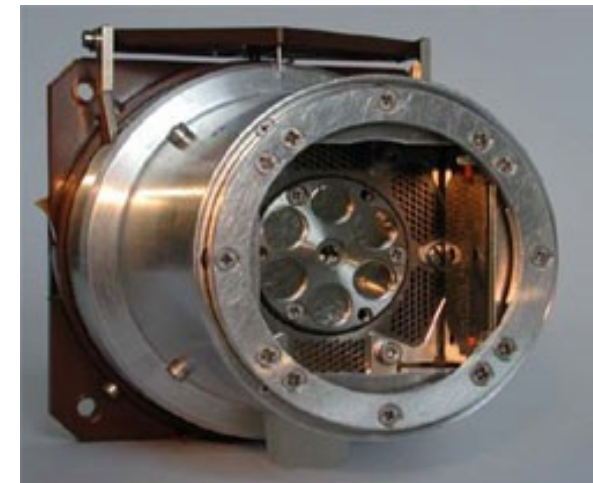
- zábery s rôznymi vlnovými dĺžkami
- použitie filtrov
- identifikácia minerálov





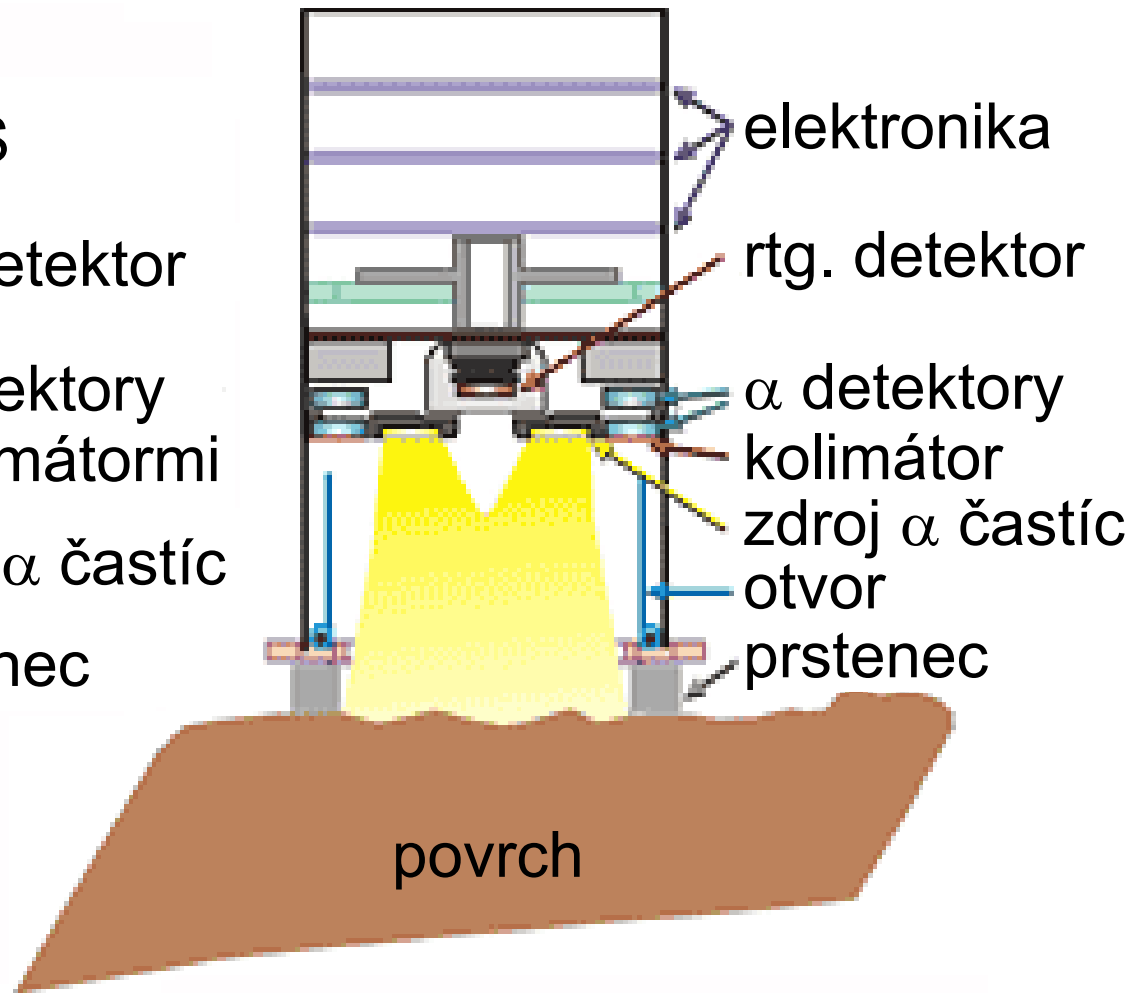
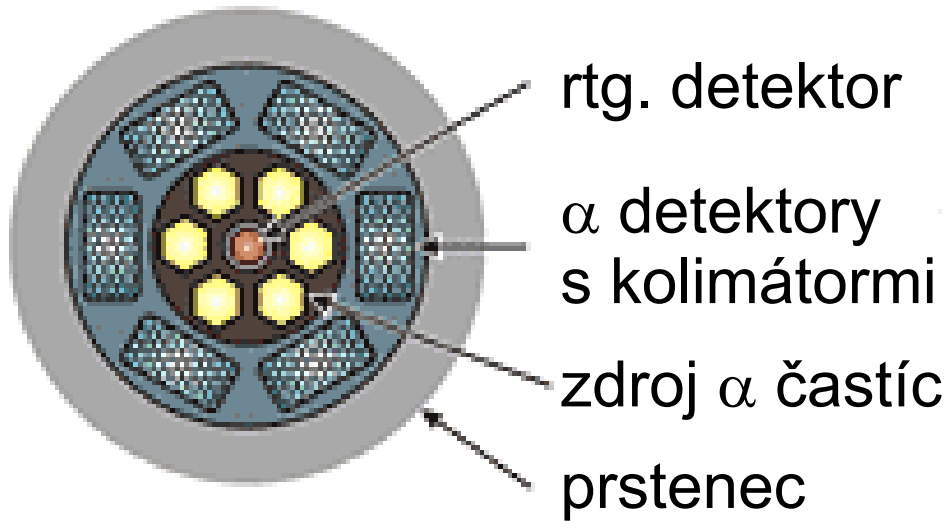
# PIXE na Marse

- APXS = Alpha Particle X-ray Spectrometer
  - $^{244}\text{Cm}$  zdroj  $\alpha$  častíc na excitáciu rtg. žiarenia
    - umelo pripravený,  $\tau_{1/2} = 18.1$  r,  $E_{\alpha} = 5.9$  MeV
  - Si detektor
  
- dva módy excitácie
  - $\alpha$  častice – **PIXE**
    - ľahké prvky (Na - Ca)
  
  - L žiarenie Pu – **XRF**
    - ťažké prvky (Ca - Zr)
  
- detekcia Cl, Br, S
  - zo solí po odparení vody (?)



# APXS spektrometer

pohľad spredu na APXS





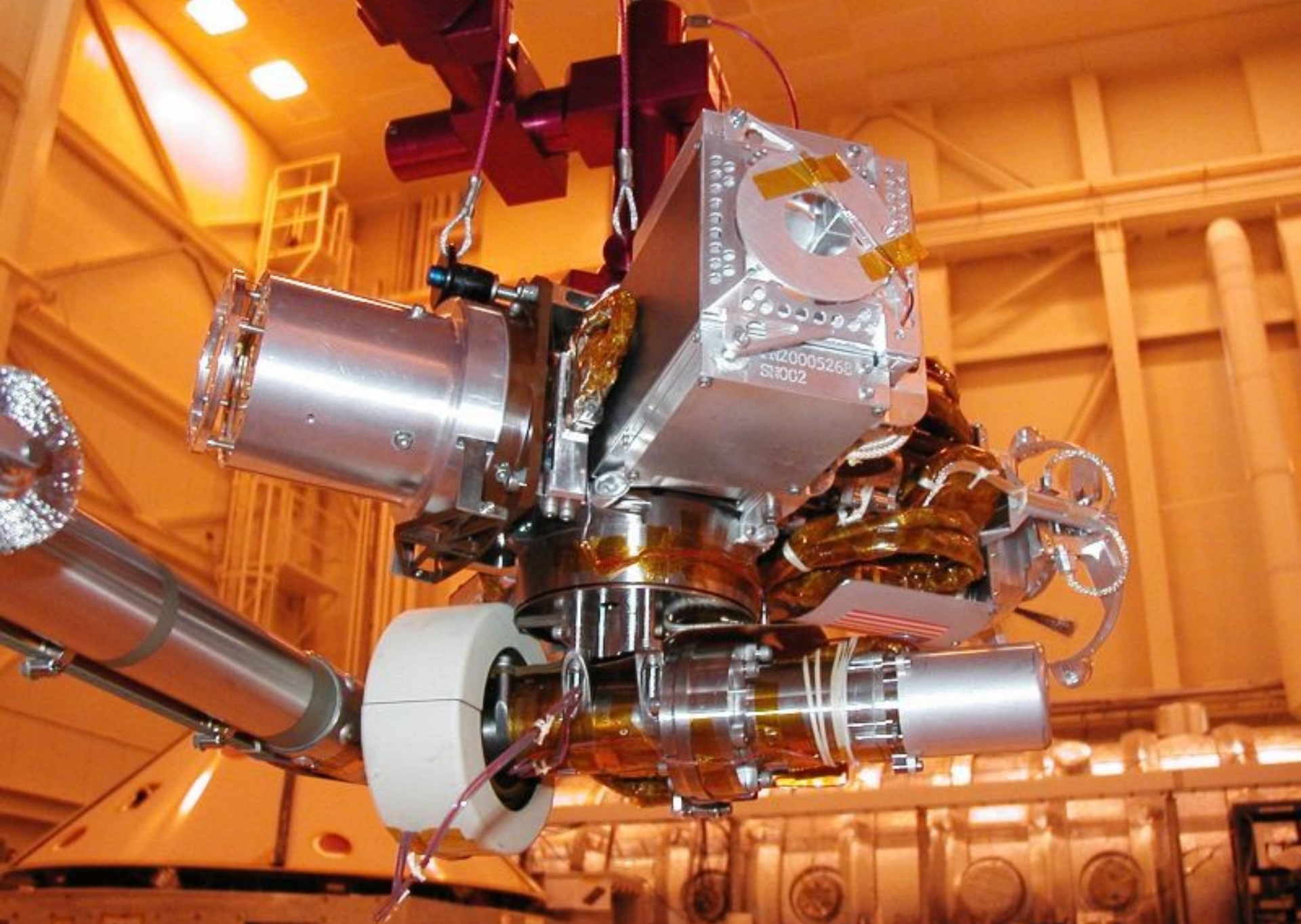
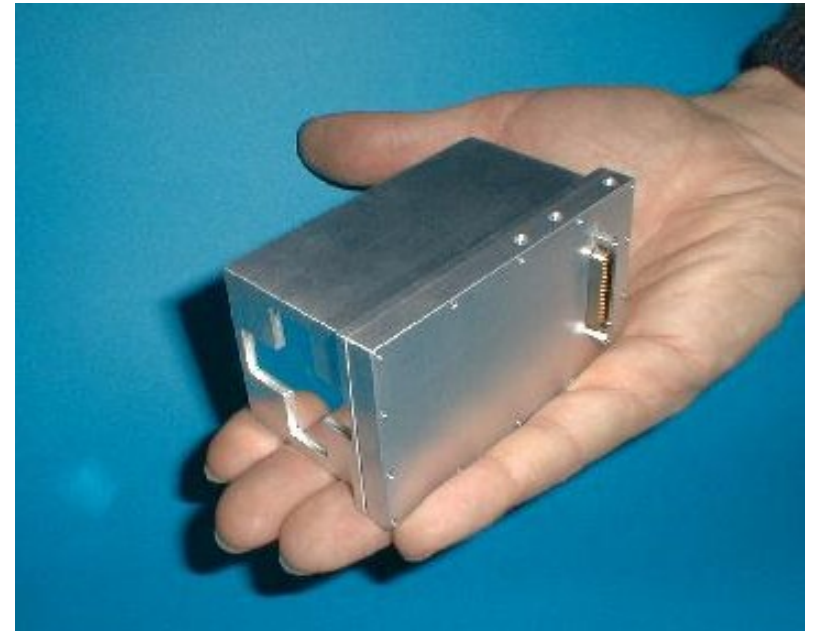
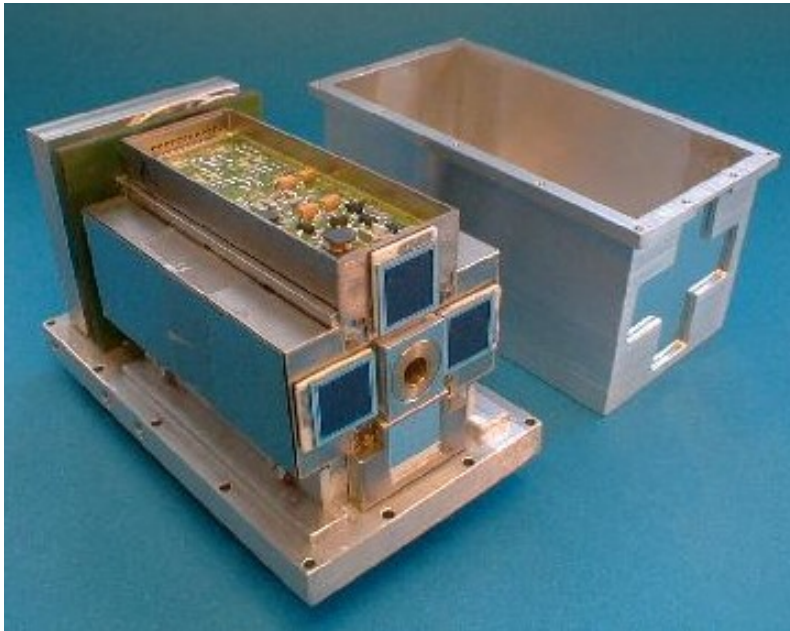


foto NASA/JPL-Caltech

# Mössbauerov spektrometer

- **M**iniaturized **MOS**sbauer Spectrometer – **MIMOS II**
  - hmotnosť < 500 g
  - spotreba energie < 3 W
  - trvácnosť ~ 6 mesiacov
  - žiarič  $^{57}\text{Co}/\text{Rh}$





# Pracovný deň MER – sol

- napájanie solárnymi panelmi → aktivity len cez deň
- príjem pokynov zo Zeme (anténa vysokého zosilnenia)
- sekvencia povelov pre činnosti počas dňa
- poobede: prenos dát na Zem prostredníctvom 2 satelitov
- analýza údajov + plánovanie aktivít na ďalší deň

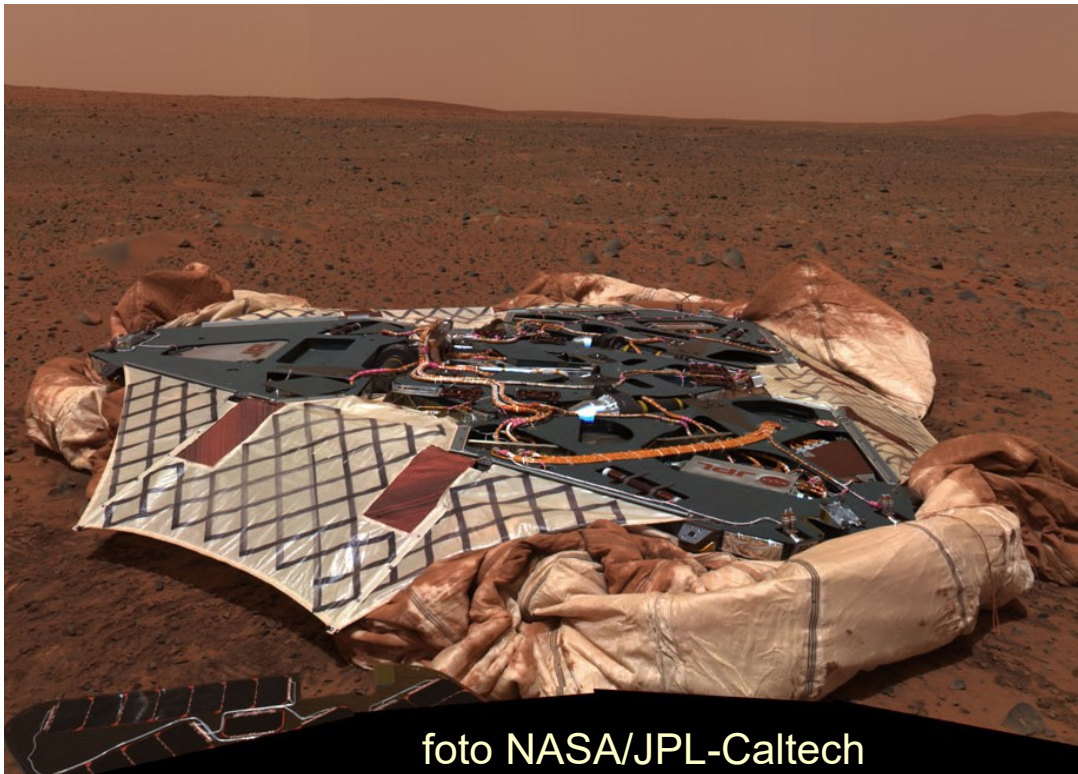


foto NASA/JPL-Caltech



# Solárne panely

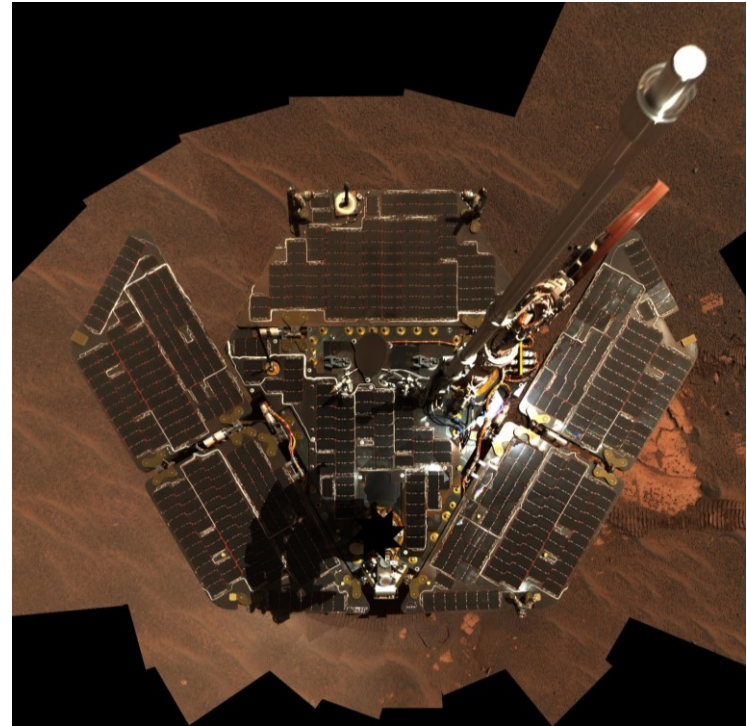
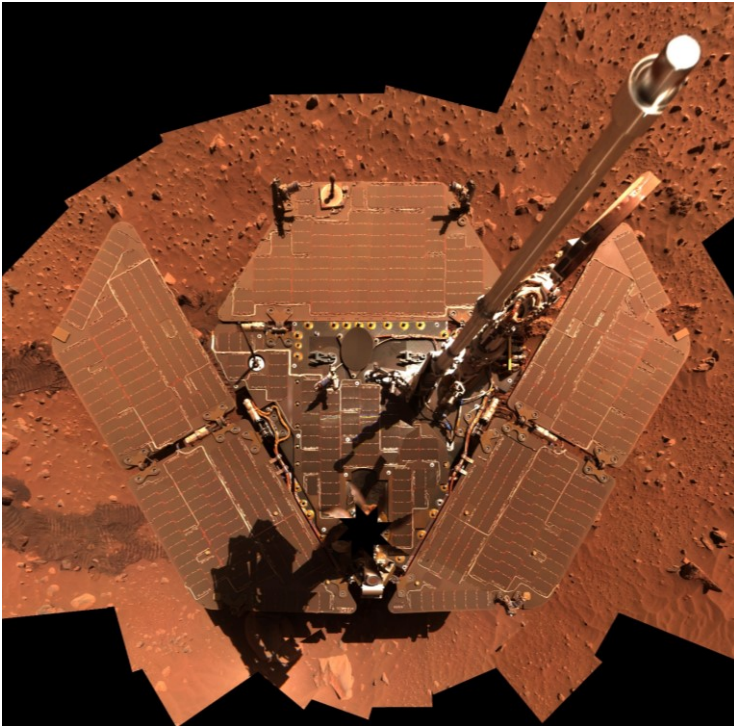
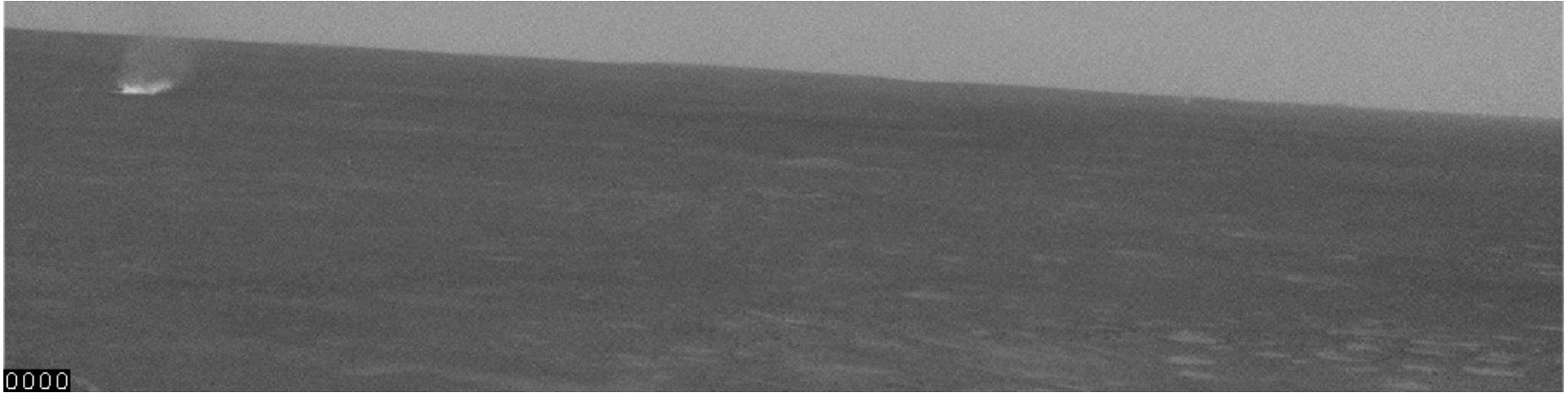


foto NASA/JPL-Caltech

# Aktivity MER

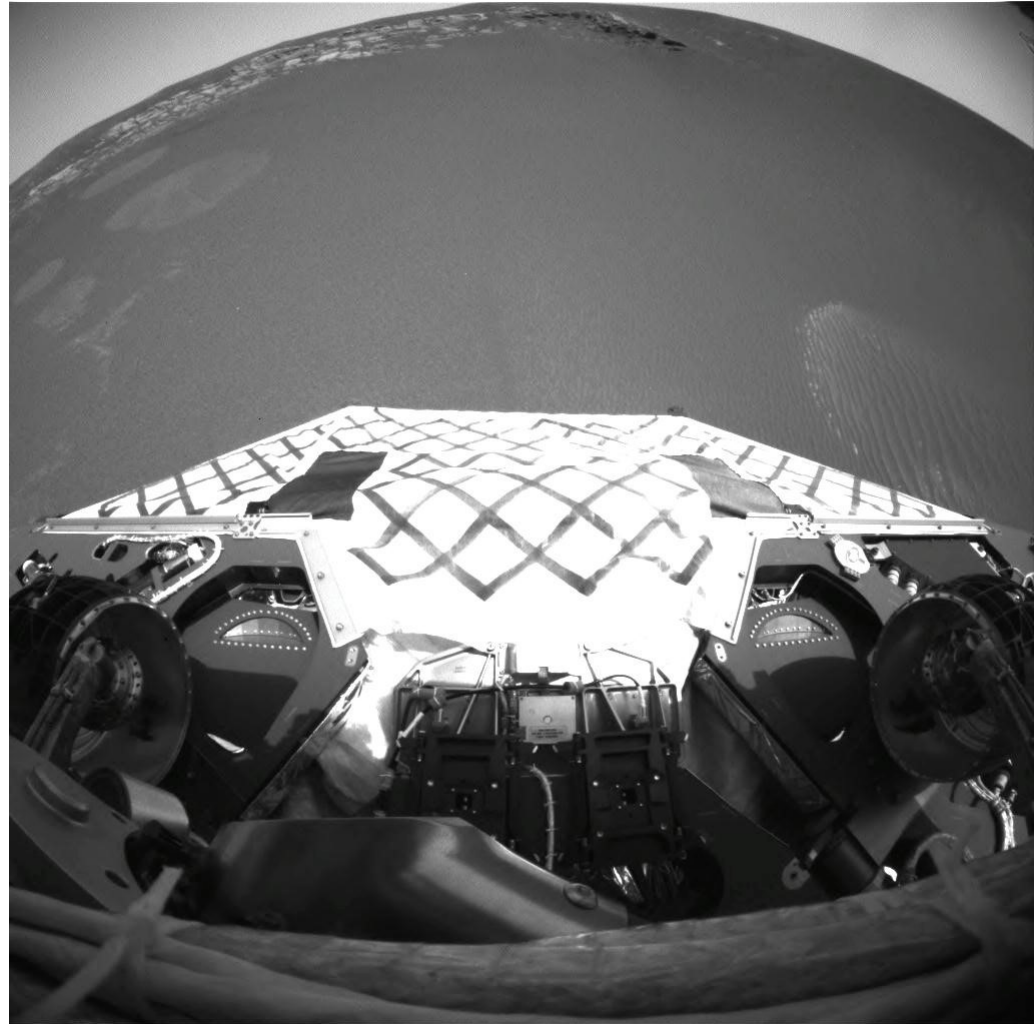
- zber panoramatických záberov pomocou PANCAM a Mini-TES → výber ďalších cieľových oblastí
- merania pomocou vedeckých zariadení na IDD
  - výber oblasti pomocou mikroskopického zobrazovača
  - úprava povrchu brúsením
  - meranie pomocou APXS alebo Mössbauerovho spektrometra
  - zloženie výsuvného ramena pred ďalším pohybom
- presun MER do ďalšej pozície
- výber vhodného miesta na noc (a hlavne zimu)
  - teplota
  - slnečný svit



foto NASA/JPL-Caltech

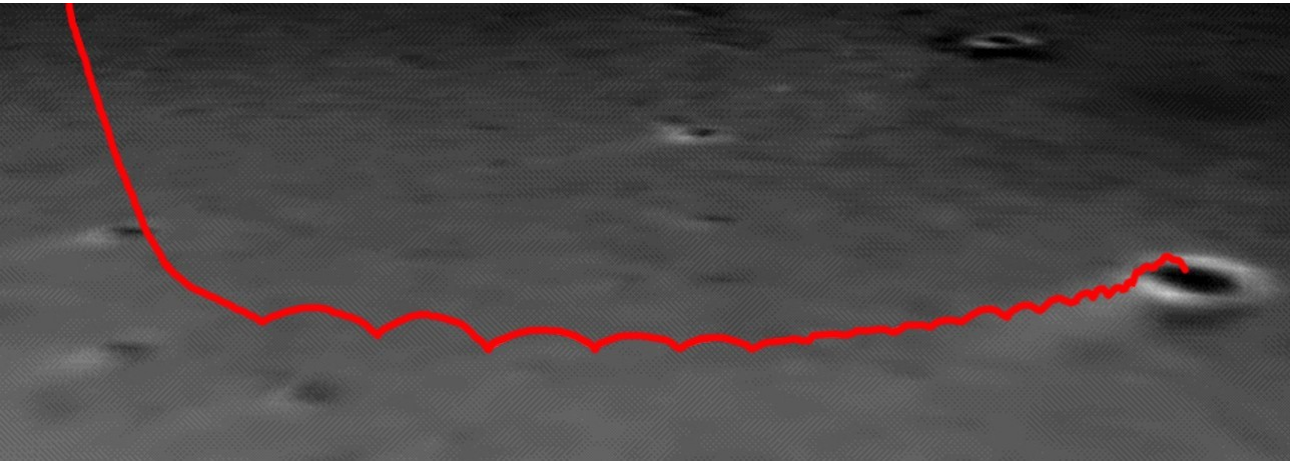
# MER-A Spirit

- plánovaná doba životnosti:  
90 sol (~ 150 dní)
  - zdroj energie – solárne články
  - 11.8.2007 – dlhšia činnosť ako Viking 2 (1 282 sol)
- posledná komunikácia:  
22.3.2010 (2 210 sol, ~ 6 r)
- prejdená vzdialenosť:  
7 730.50 m  
(plánovaných 600 m)
- prenesených  
128 224 obrázkov

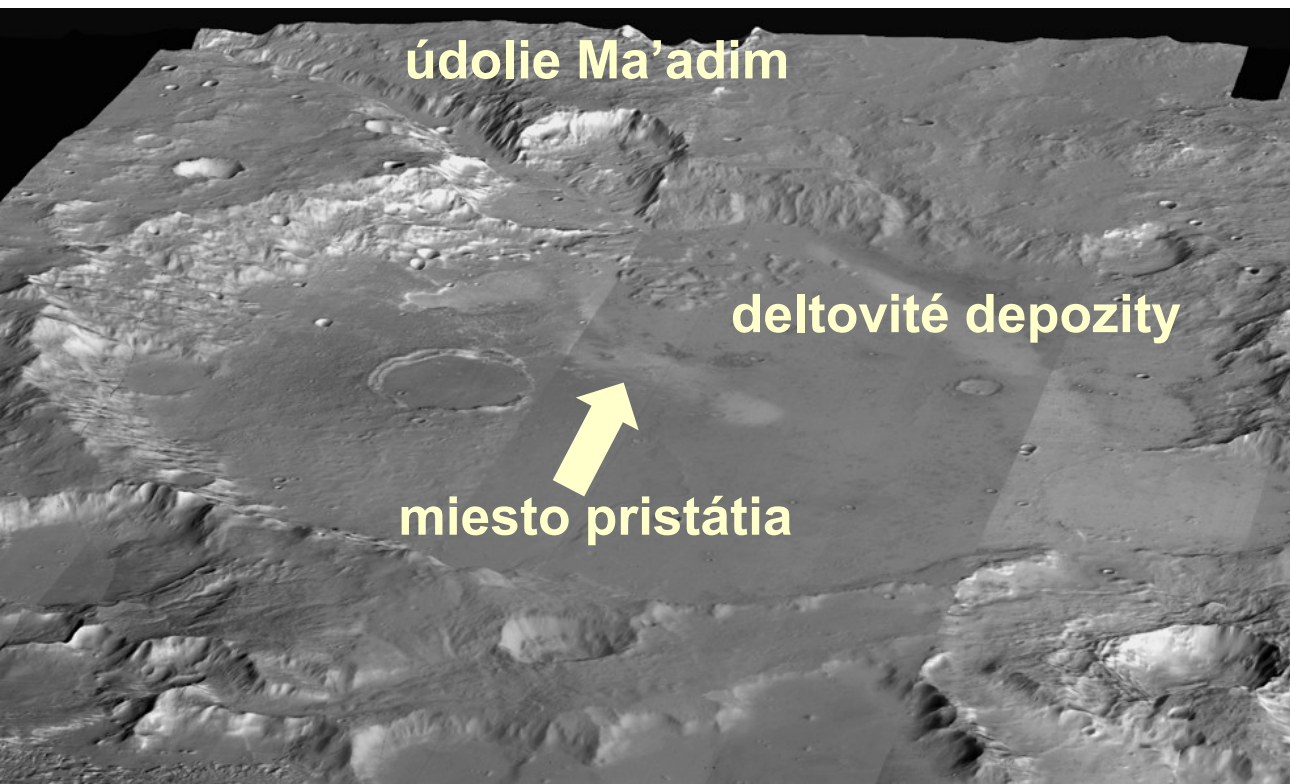




# Kráter Gusev



- 19 odskokov
- priamo do jamky



- priemer ~ 160 m

# Prvá farebná fotografia z Marsu

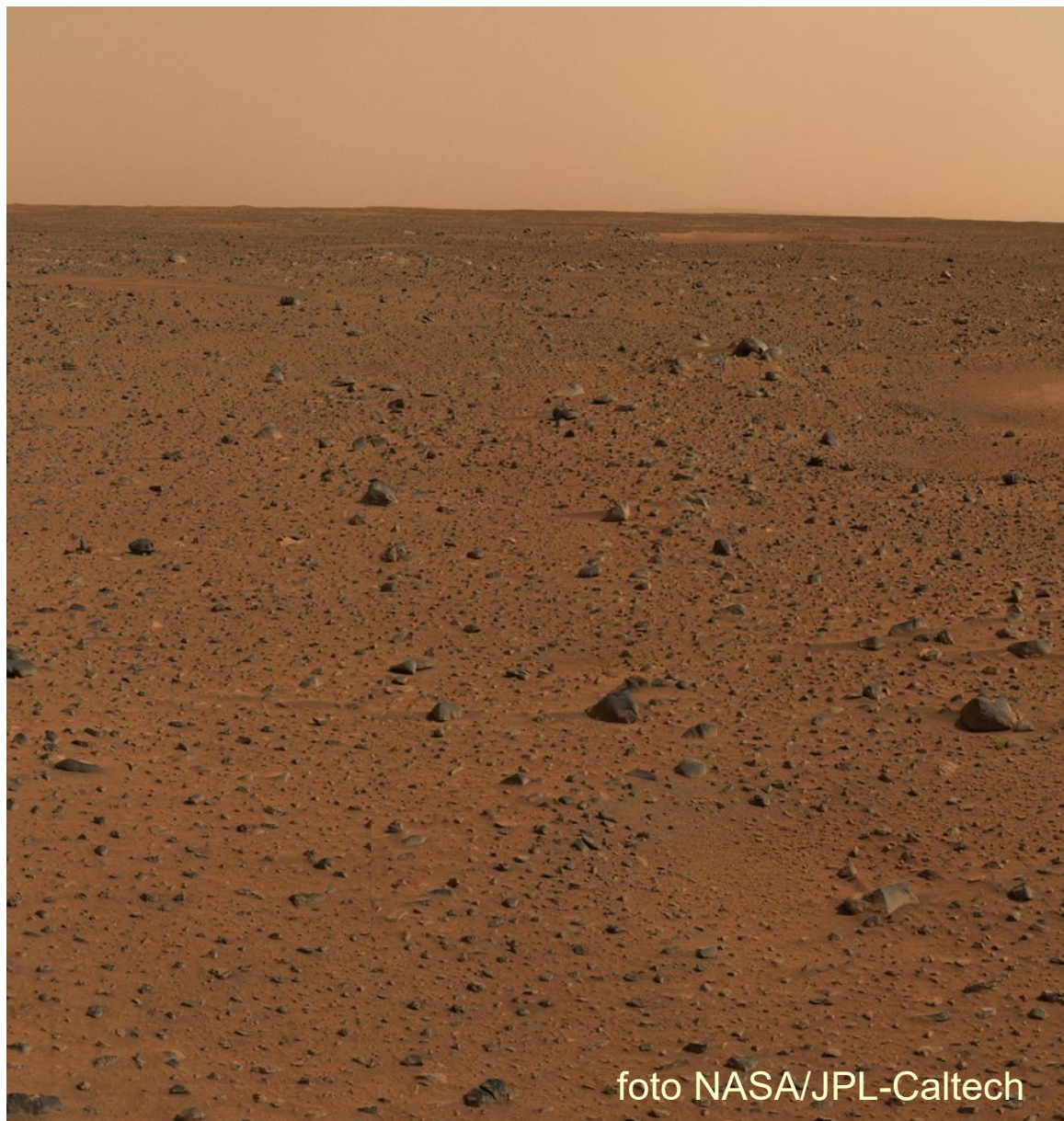
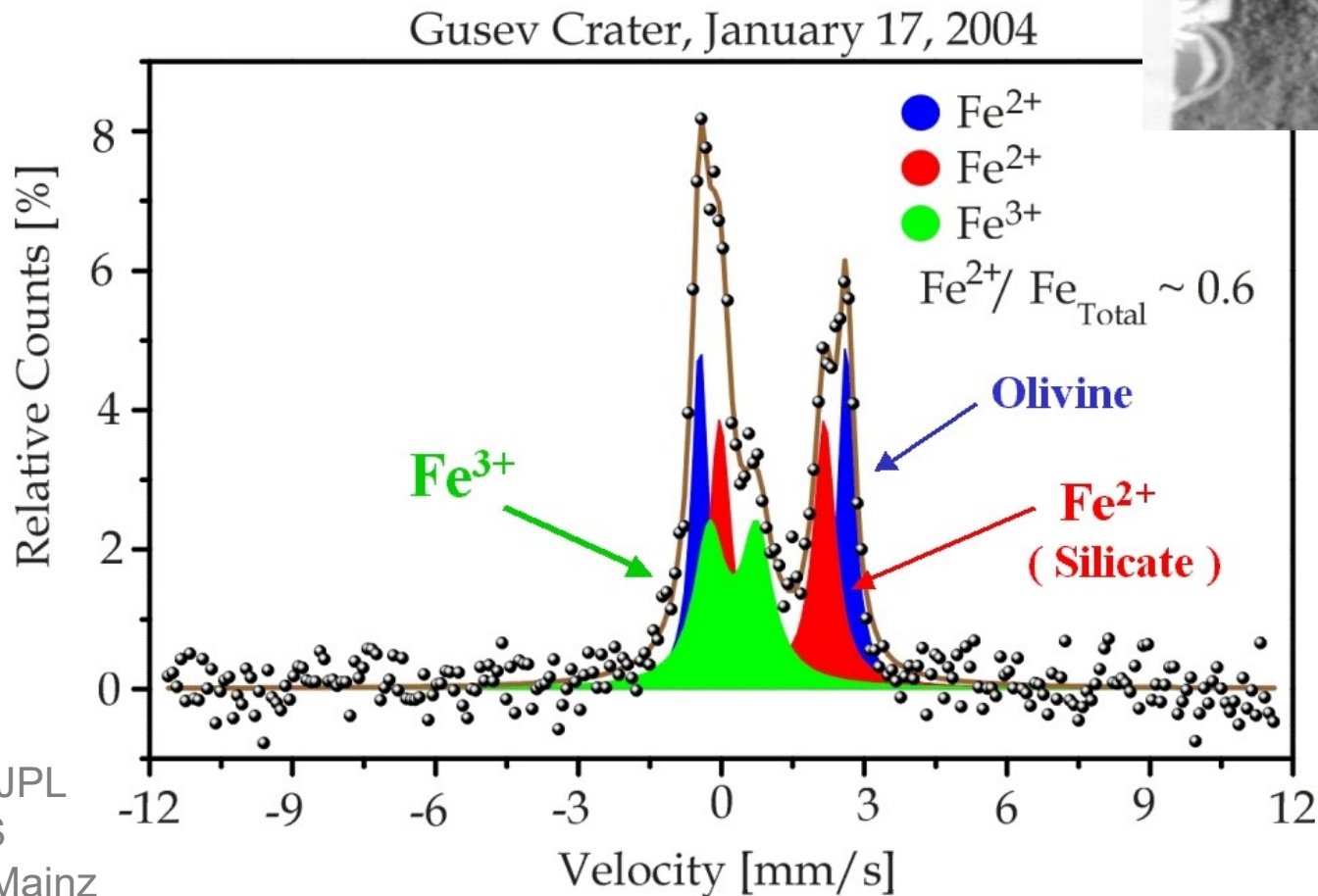


foto NASA/JPL-Caltech



# Prvé Mössbauerove spektrum pôdy Marsu

- olivín
  - bežne sa nachádza na Zemi (vyvretá hornina)
- nie zvetrané alebo chemicky pozmenené horniny





# Skaly na Marse

- deltovité depozity → Adirondack
- vulkanická hornina

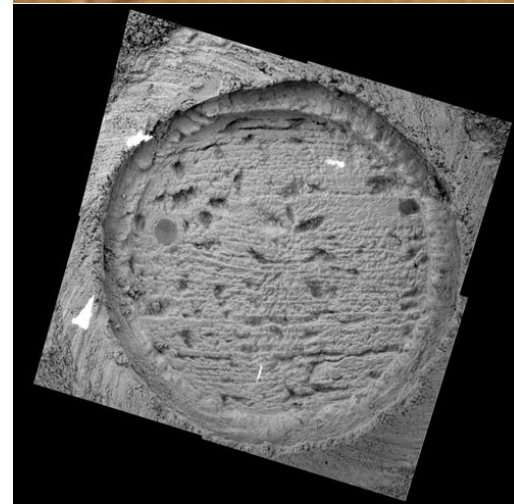
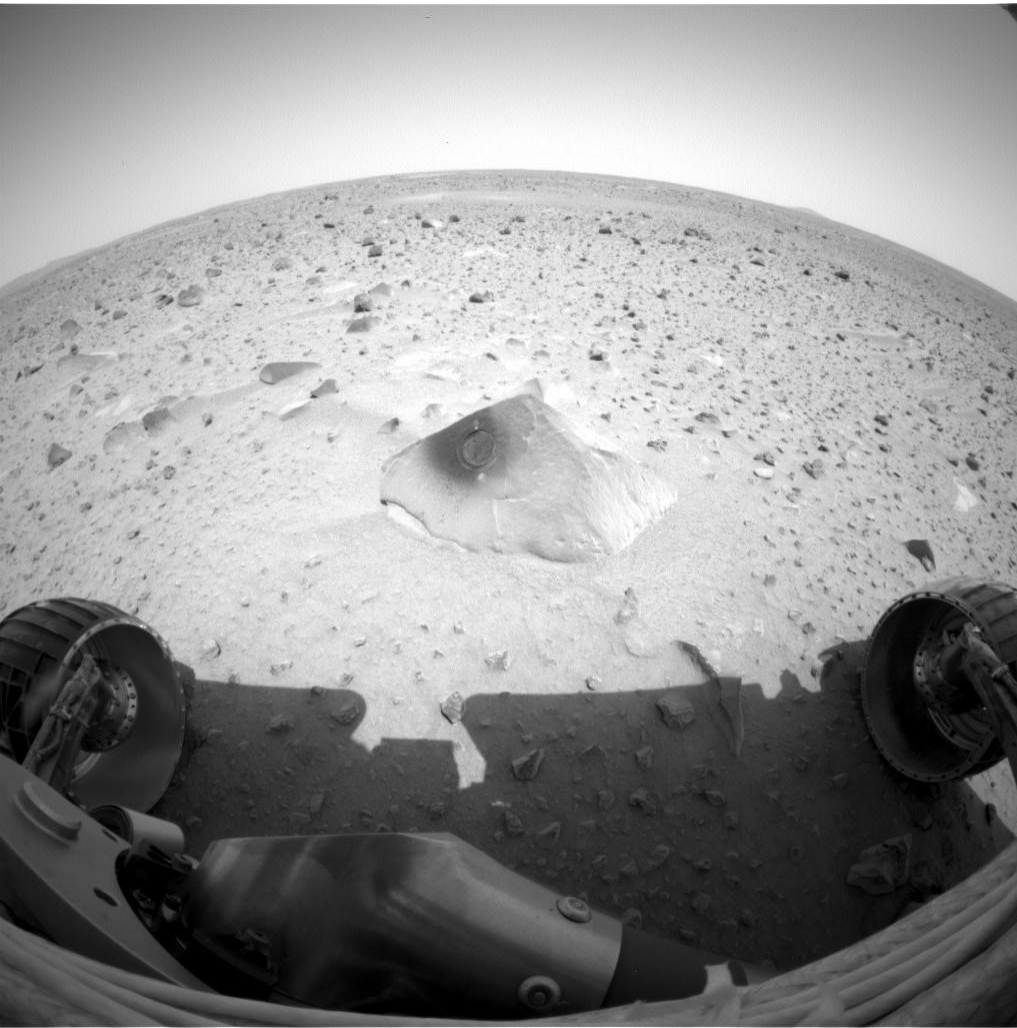
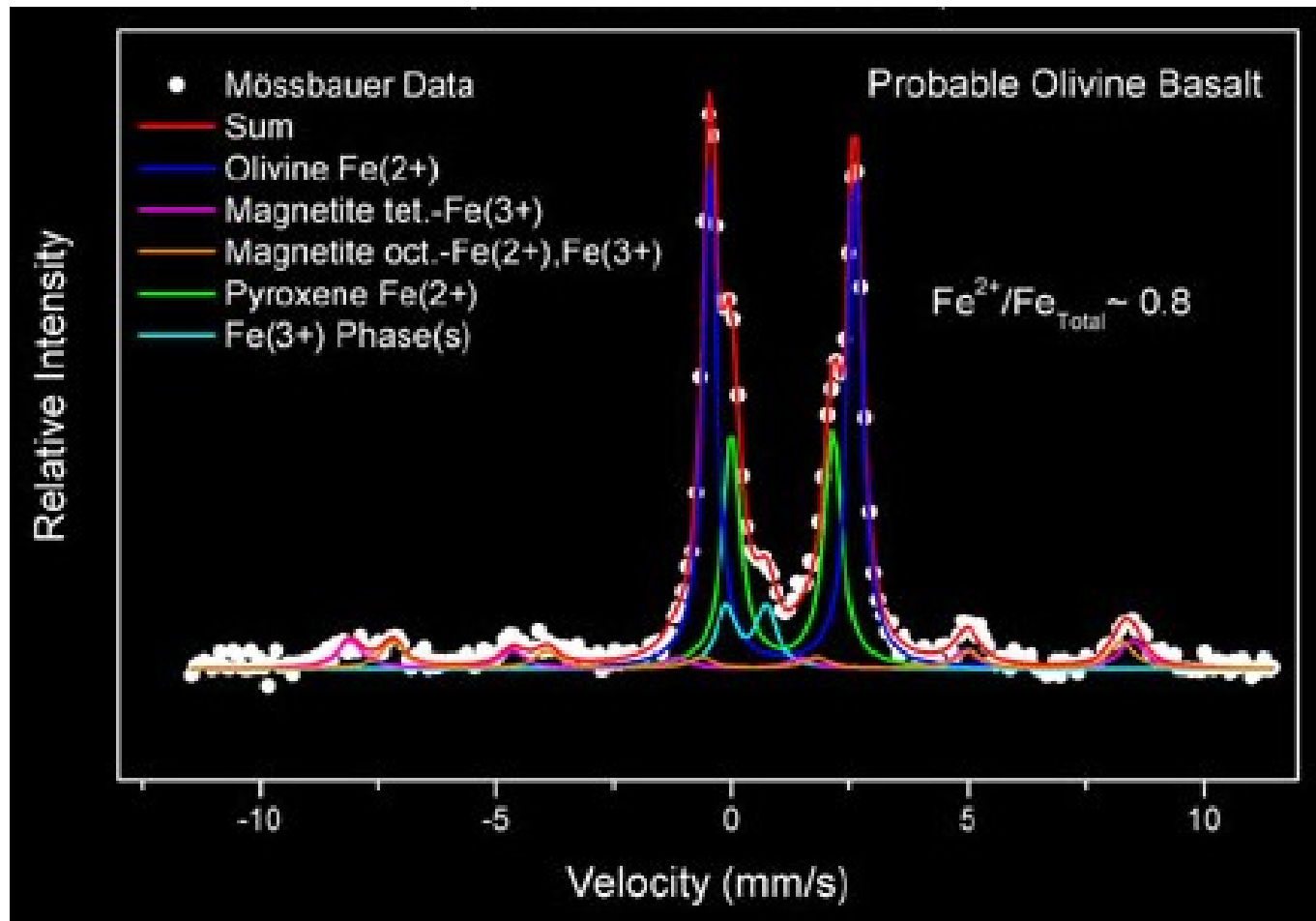


foto NASA/  
JPL-Caltech

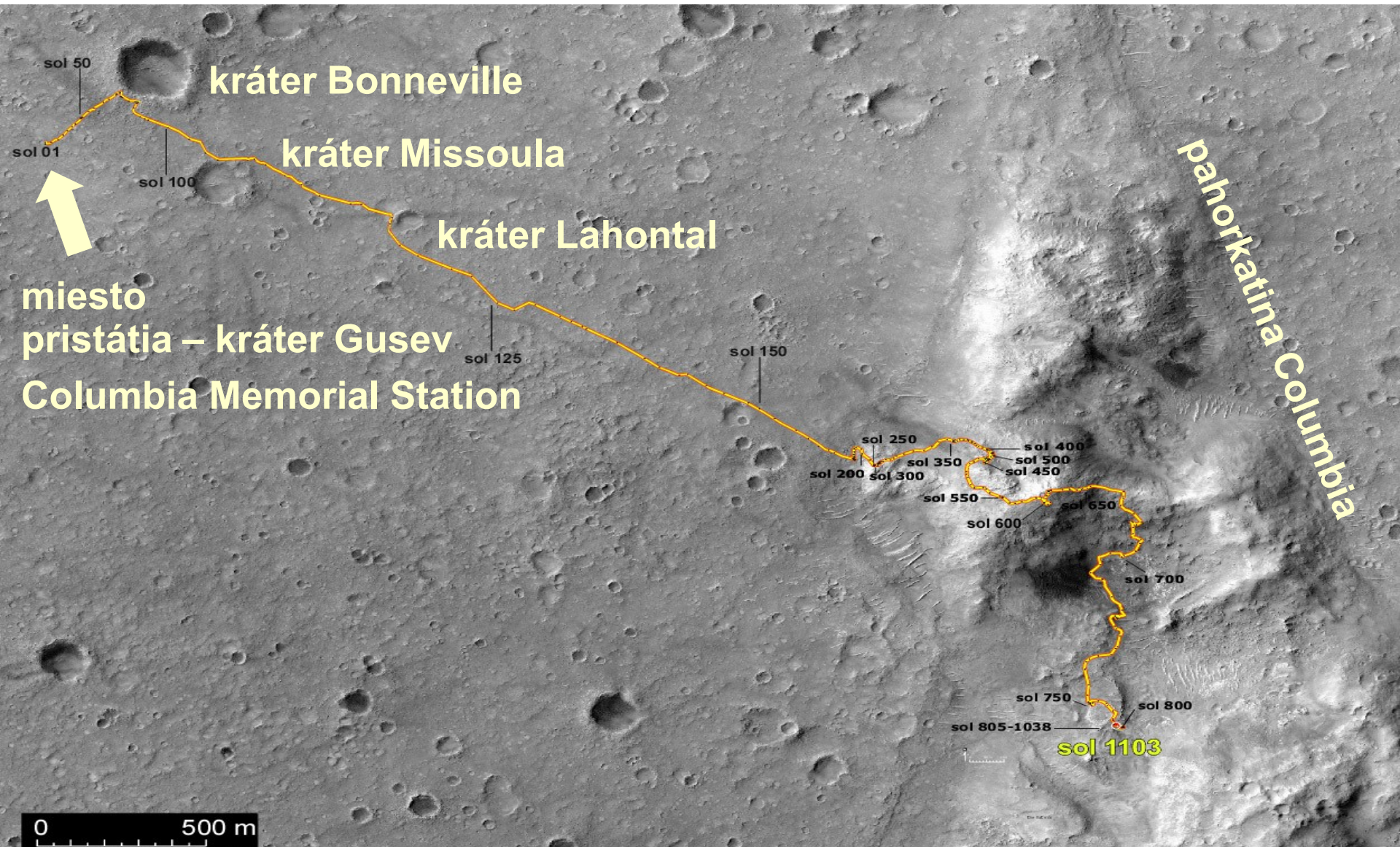
# Prvé Mössbauerove spektrum skaly z Marsu

- olivínový bazalt
  - bazalt: magnetit, pyroxén
  - fázy obsahujúce  $\text{Fe}^{3+}$



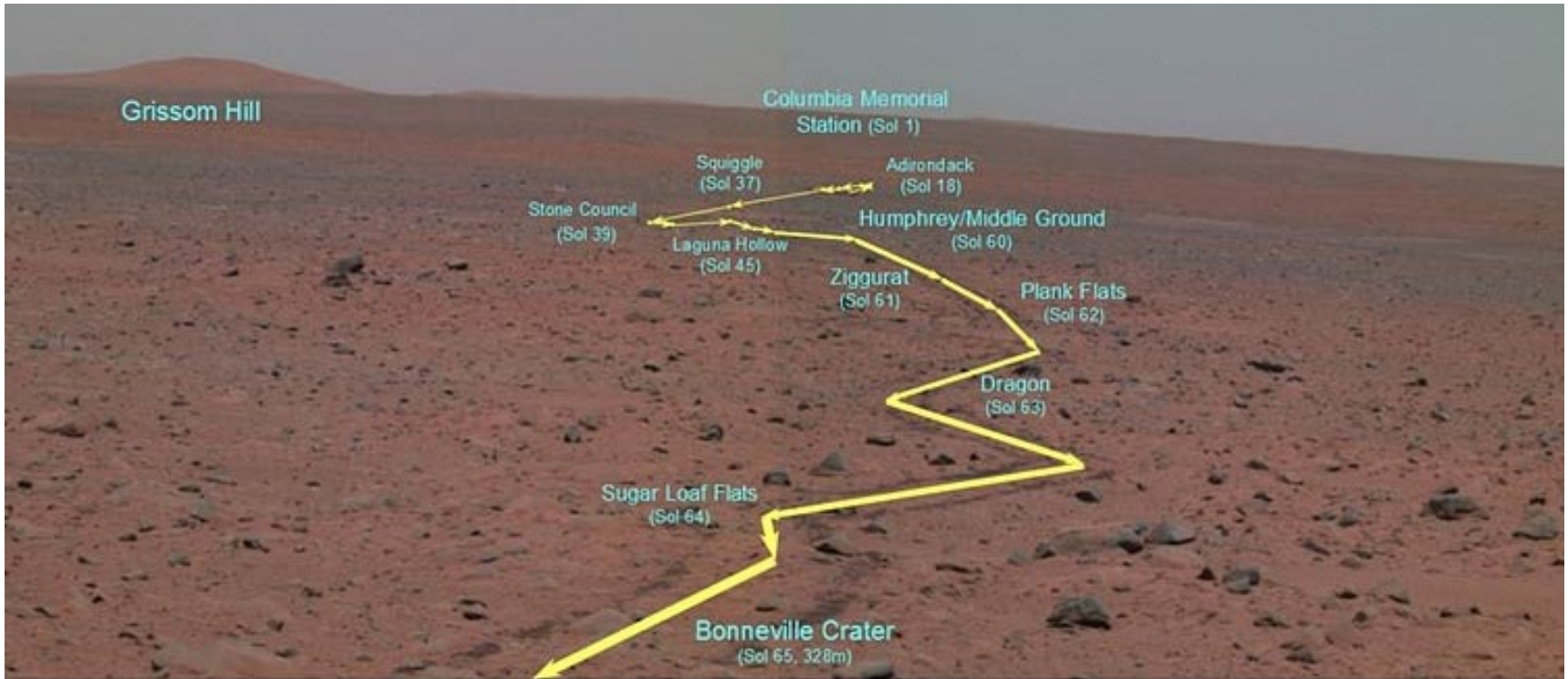


# Trasa MER-A Spirit



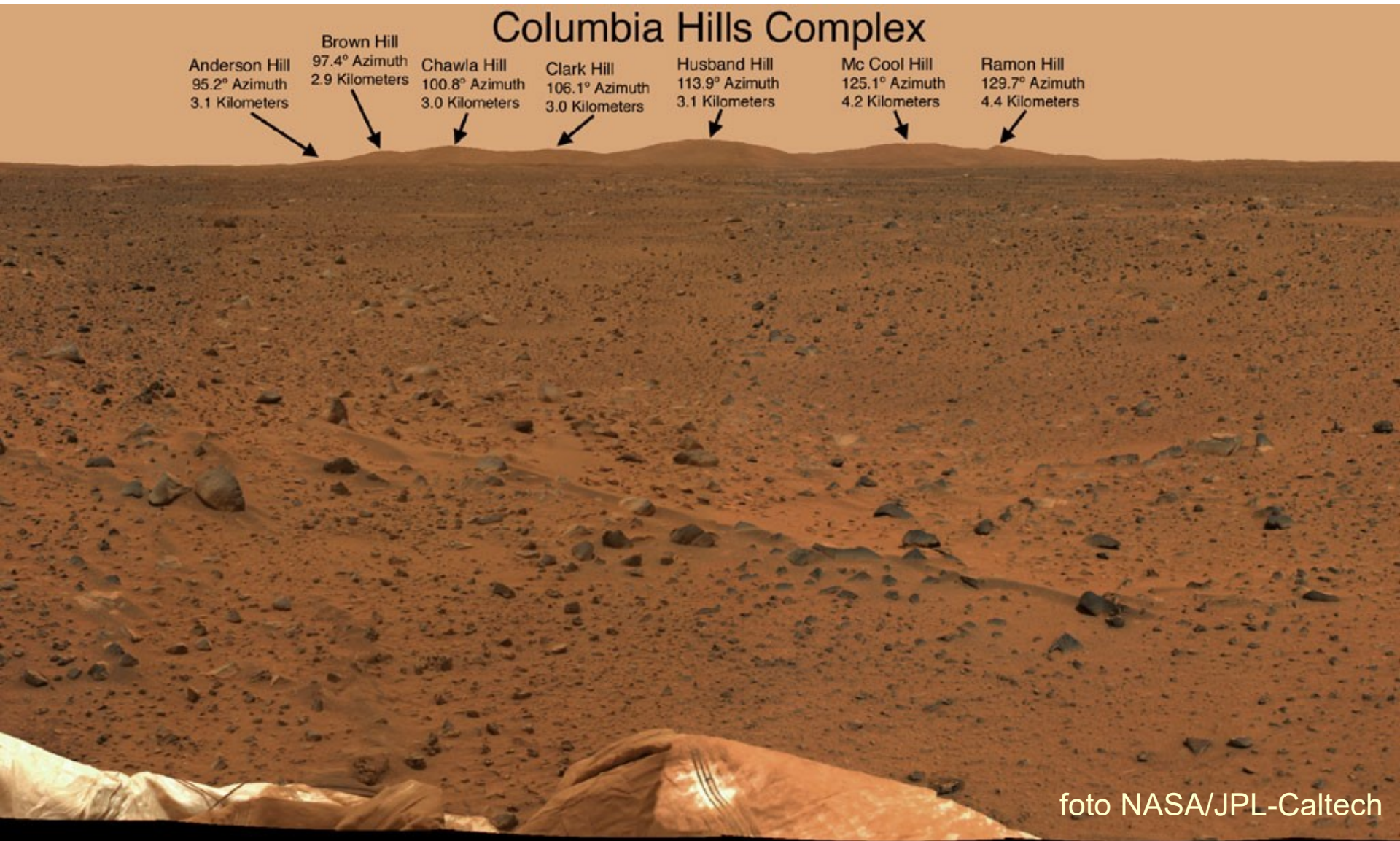


# Kráter Bonneville





# Columbia Hills



## Columbia Hills Complex

- Anderson Hill  
95.2° Azimuth  
3.1 Kilometers
- Brown Hill  
97.4° Azimuth  
2.9 Kilometers
- Chawla Hill  
100.8° Azimuth  
3.0 Kilometers
- Clark Hill  
106.1° Azimuth  
3.0 Kilometers
- Husband Hill  
113.9° Azimuth  
3.1 Kilometers
- Mc Cool Hill  
125.1° Azimuth  
4.2 Kilometers
- Ramon Hill  
129.7° Azimuth  
4.4 Kilometers

# Skaly na pahorkatine Columbia

- PANCAM s filtrami 753 nm, 535 nm a 432 nm



foto NASA/JPL-Caltech



# Biely materiál

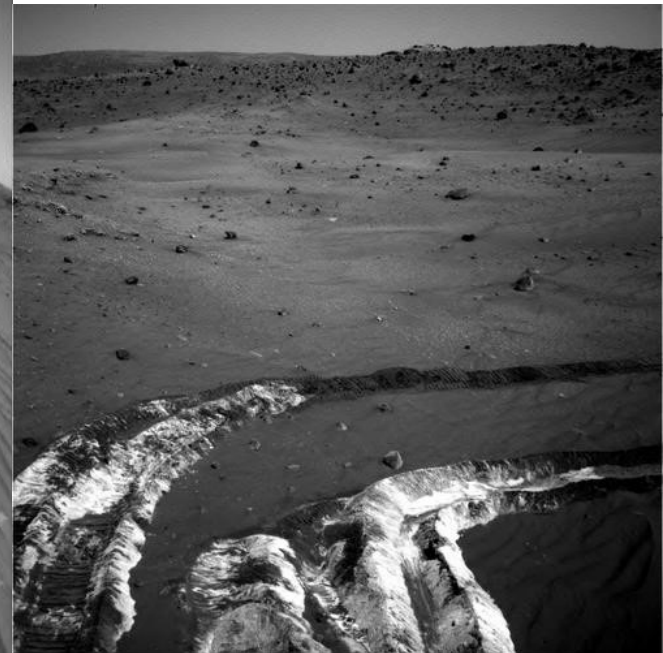


foto NASA/JPL-Caltech

# Najbielejší zaznamenaný materiál

- nepravé farby sú vytvorené pomocou filtrov 753 nm, 535 nm a 432 nm
- soli s dominantným obsahom Fe-sulfidov
  - prítomnosť vody v minulosti

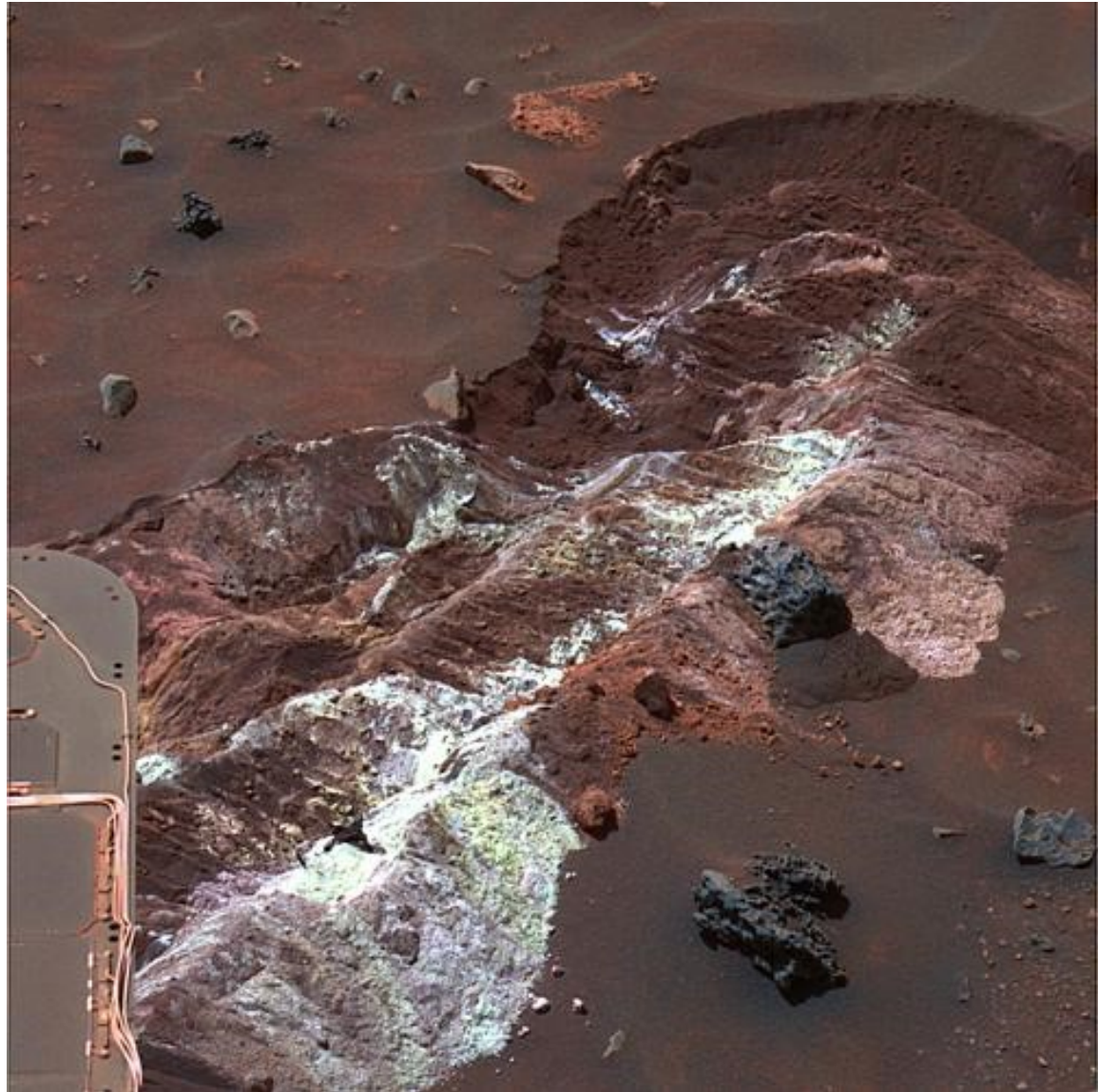


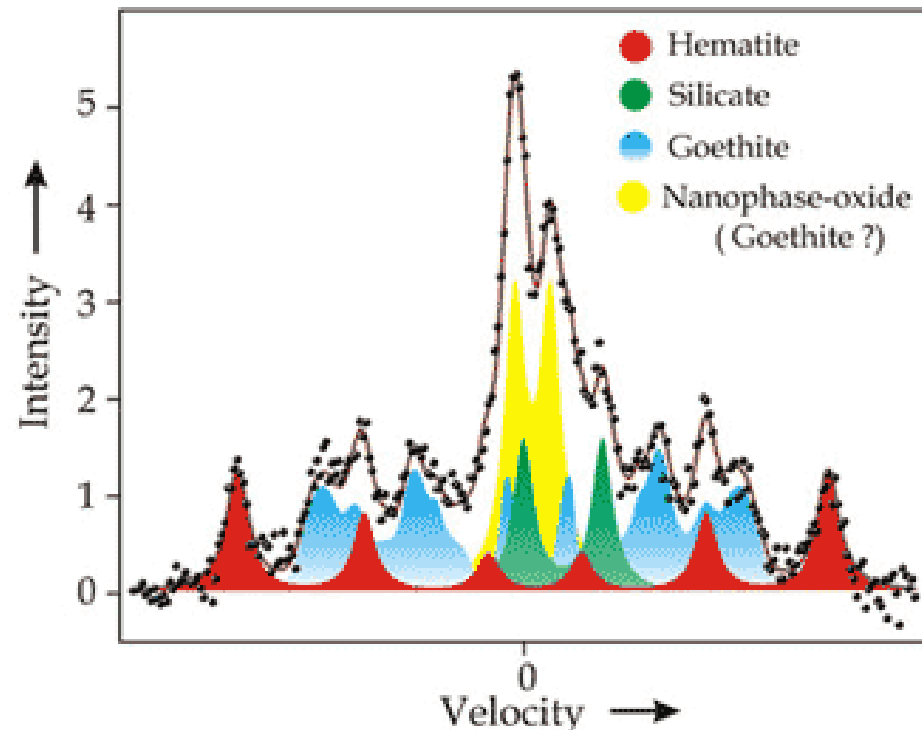
foto NASA/JPL-Caltech



# Pahorkatina Columbia

- prítomnosť goethitu  $\alpha\text{-FeOOH}$
- tvorba len v prítomnosti vody

Mössbauer Spectrum of Clovis (200 - 220K)



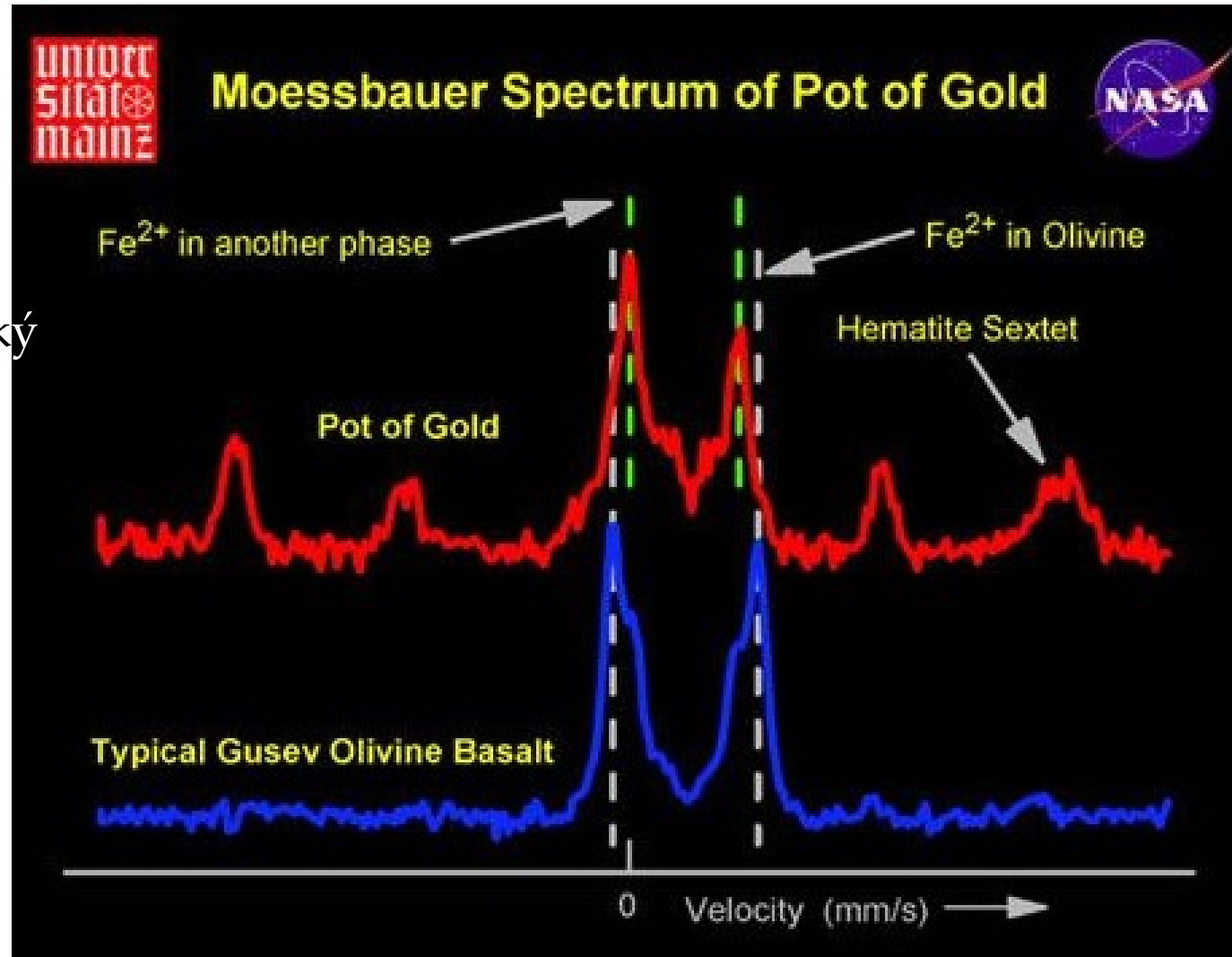
kredit: NASA/JPL  
Cornell/USGS  
University of Mainz



# Prítomnosť hematitu ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

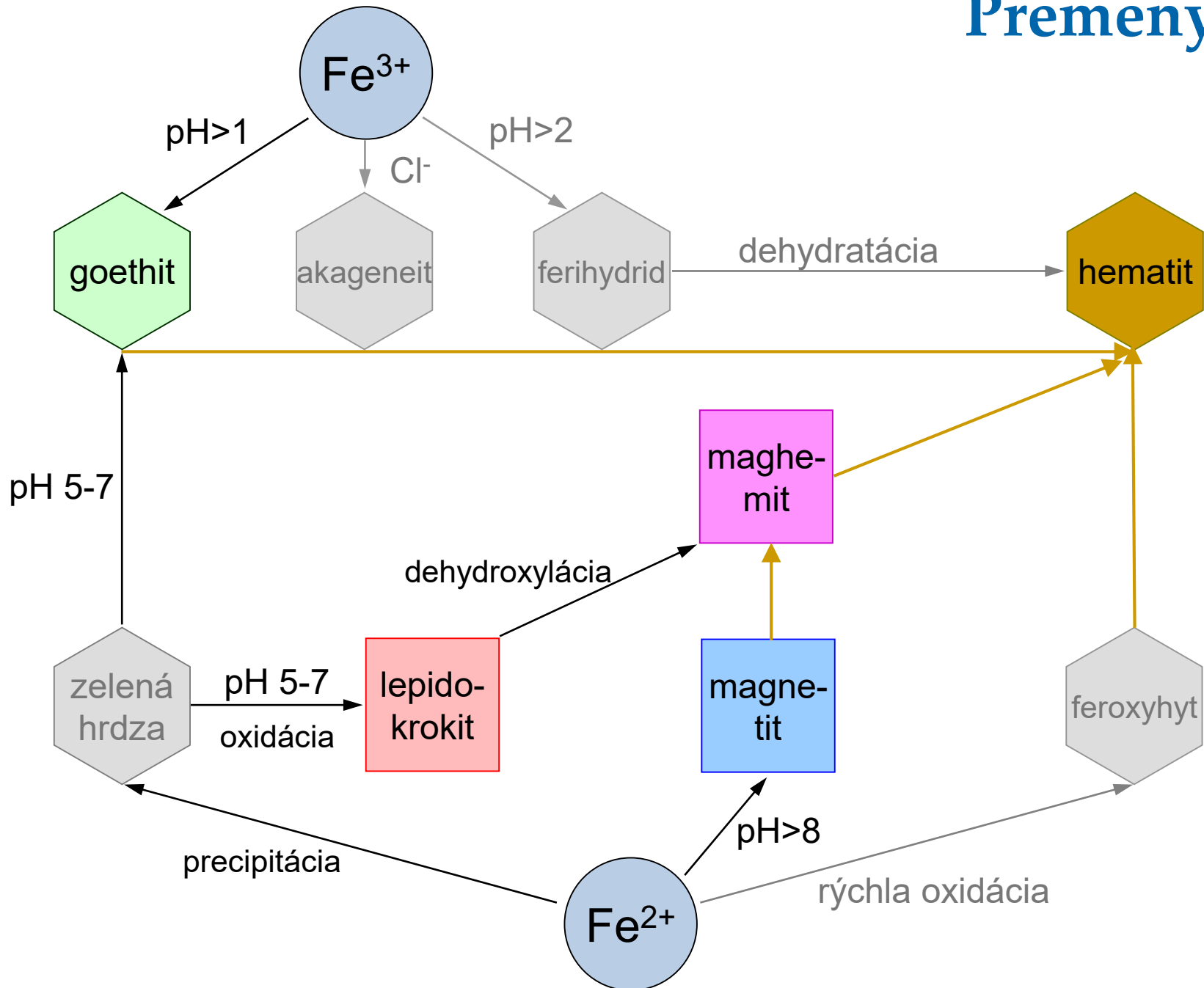
## ■ tvorba hematitu v:

- stojacej vode
- malom množstve horúcich tekutín (hydrotermický proces)
- vulkanických horninách



kredit: NASA/JPL  
Cornell/USGS  
University of Mainz

# Premeny Fe



# MER-B Opportunity

- plánovaná doba životnosti:  
90 sol (~ 150 dní)
  - zdroj energie – solárne články
  - dlhšia činnosť ako Viking 2 (2 245 sol)
- komunikácia pokračuje:  
16.1.2018 (4 970 sol),  
> 14 rokov (!)
- prejdená vzdialenosť:  
45.09 km  
(plánovaných 600 m)
- prenesených  
200 000+ obrázkov



foto NASA/JPL-Caltech



# Miesto pristátia

- kráter Eagle, Meridiani Planum

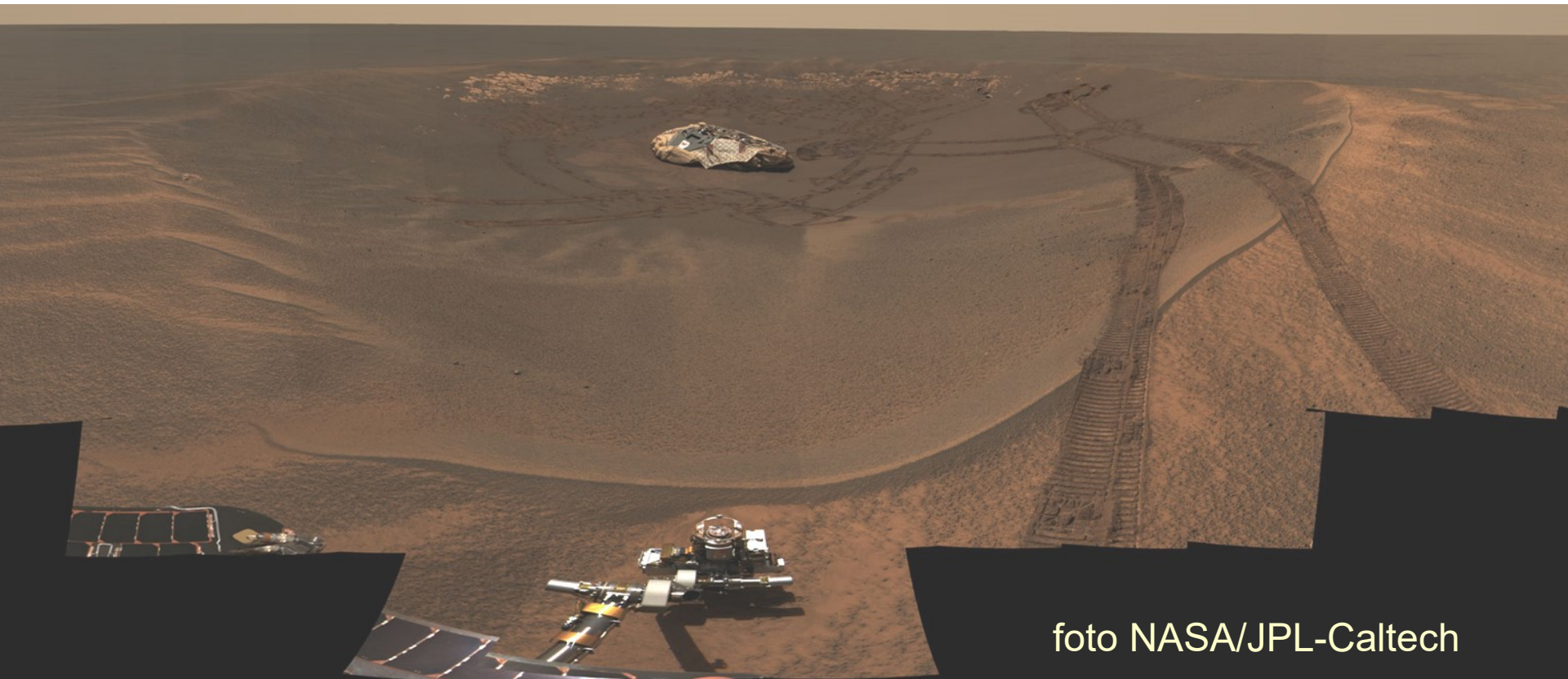
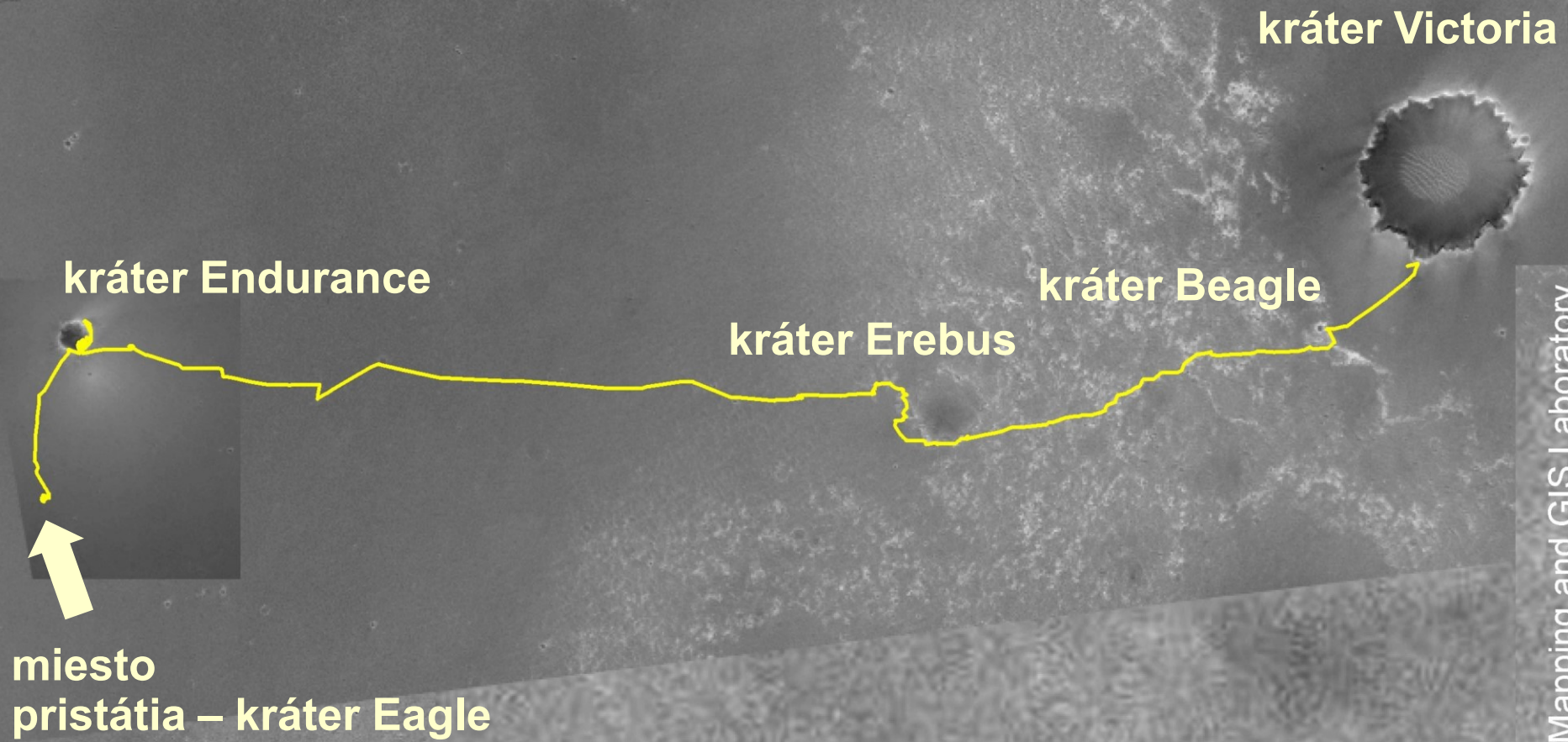


foto NASA/JPL-Caltech

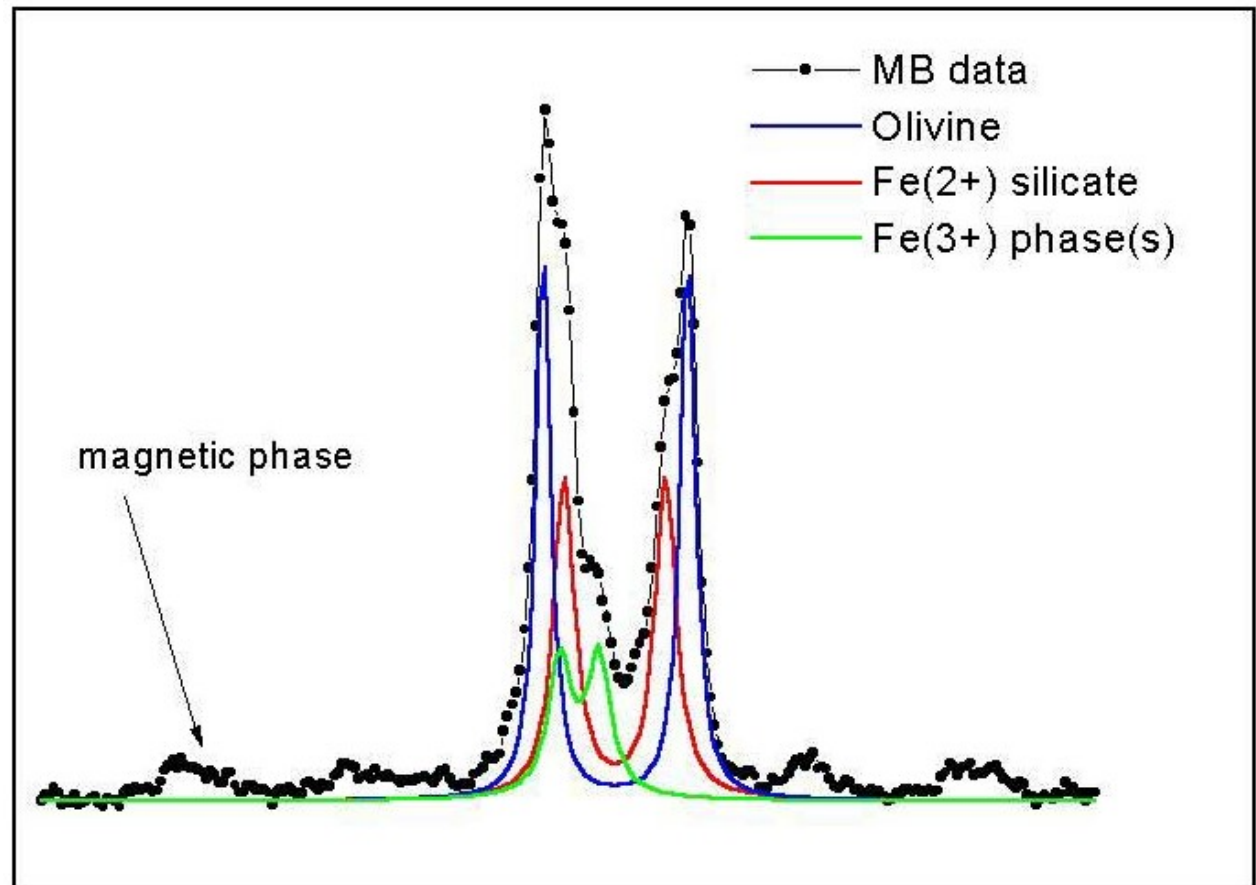
# Trasa MER-B Opportunity





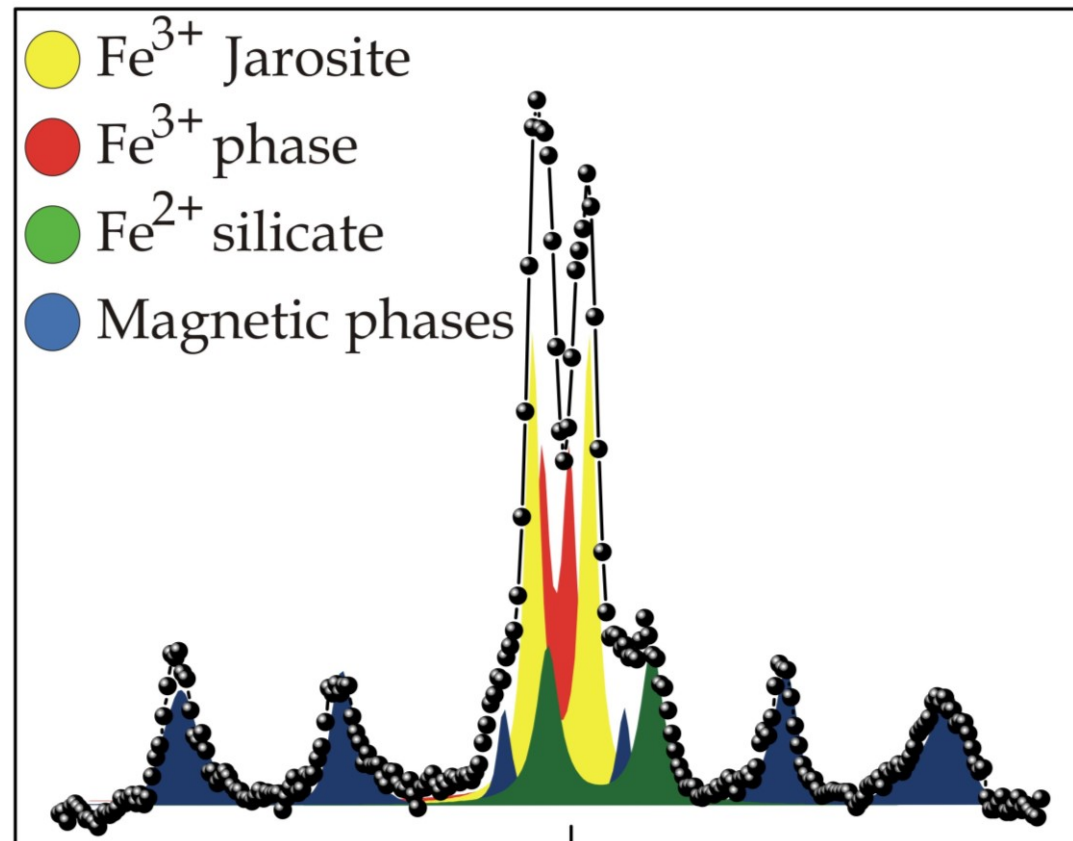
# Prvé spektrum – pôda na Meridiani Planum

- prítomnosť olivínu (ako v kráteri Gusev)
  - vulkanická hornina, jemnozrnný bazalt
- ale aj magnetická fáza



# Skaliská El Capitan (pri kráteri Eagle)

- jarozit:  $(\text{K,Na})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 
  - obsahuje vodu (vo forme hydroxyly) ako súčasť štruktúry
- indícia existencie vodou riadených procesov na Marse

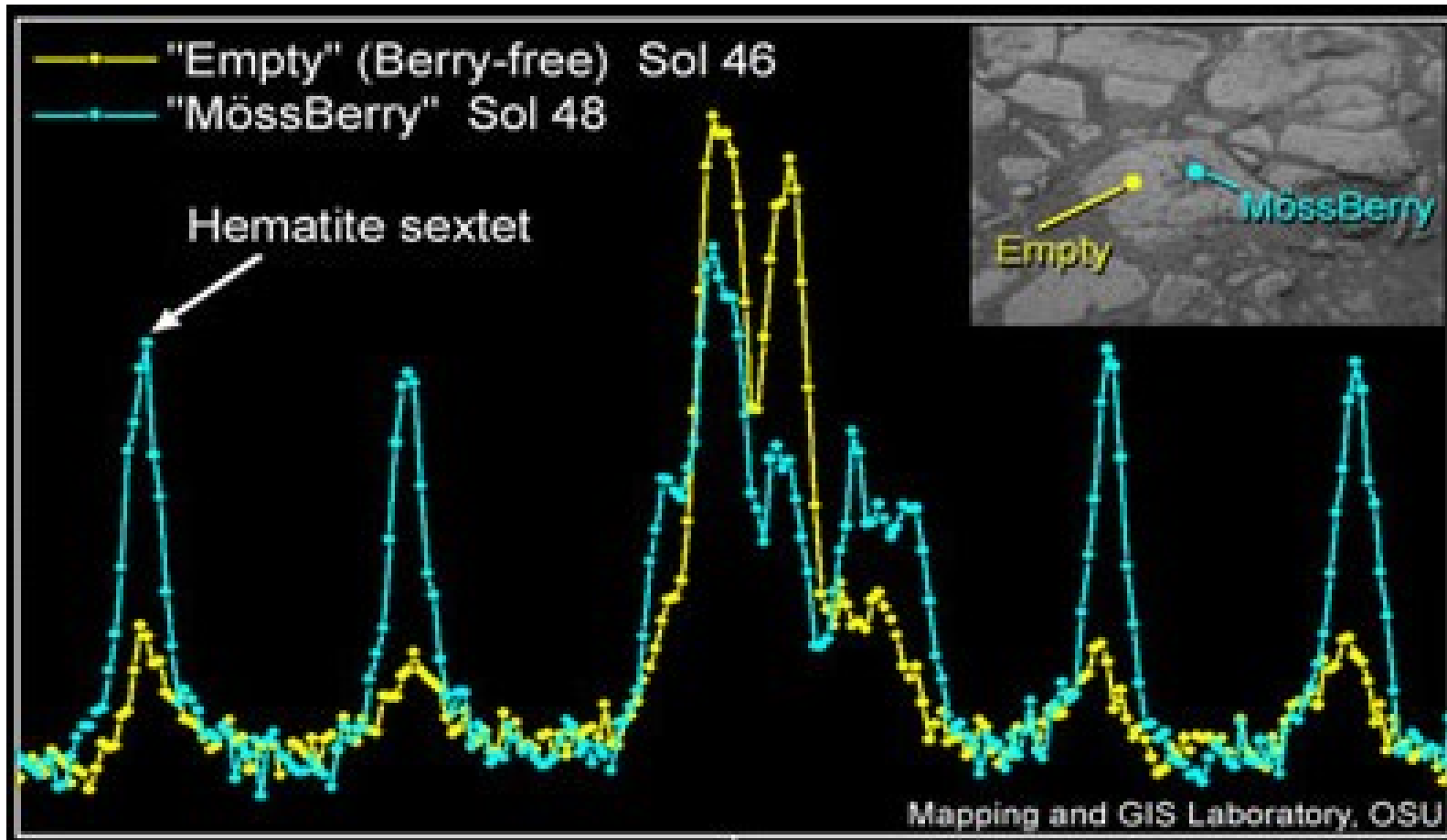


kredit: NASA/JPL  
Cornell/USGS  
University of Mainz



# Berry Bowl – Miska bobúl'

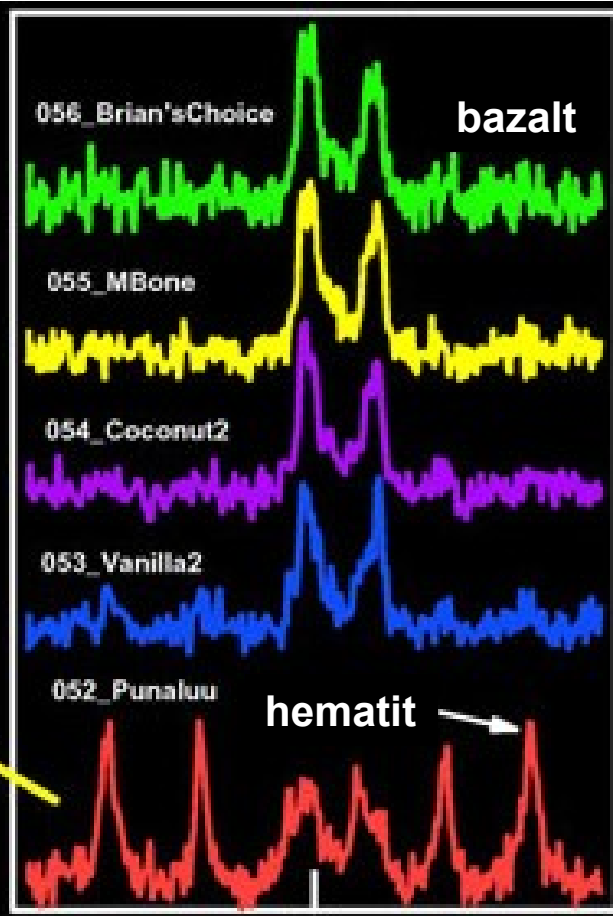
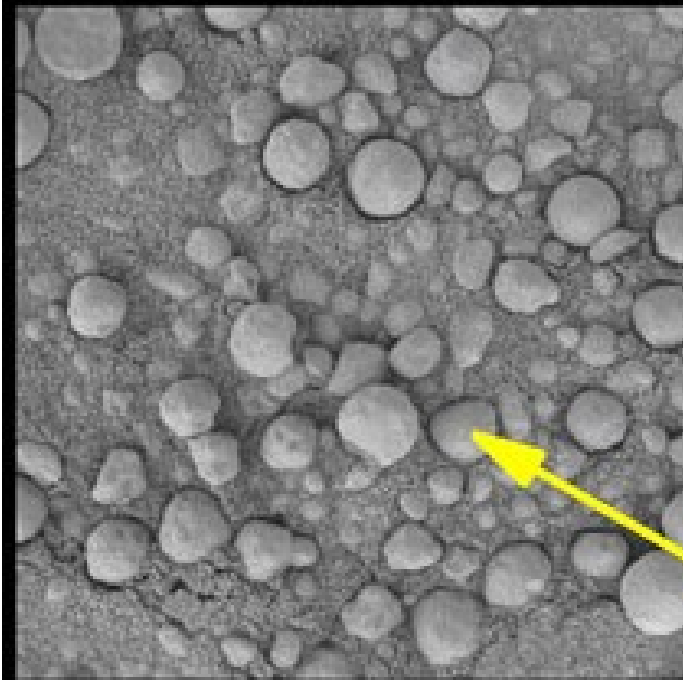
- Möss Berries plné hematitu ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
  - častá tvorba hematitu vo vodnom prostredí



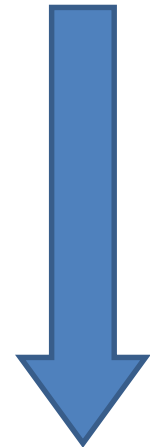
# Horniny v kráteri Eagle

- dno krátera – vulkanický pôvod
- horný okraj – oblasti s vysokým obsahom hematitu

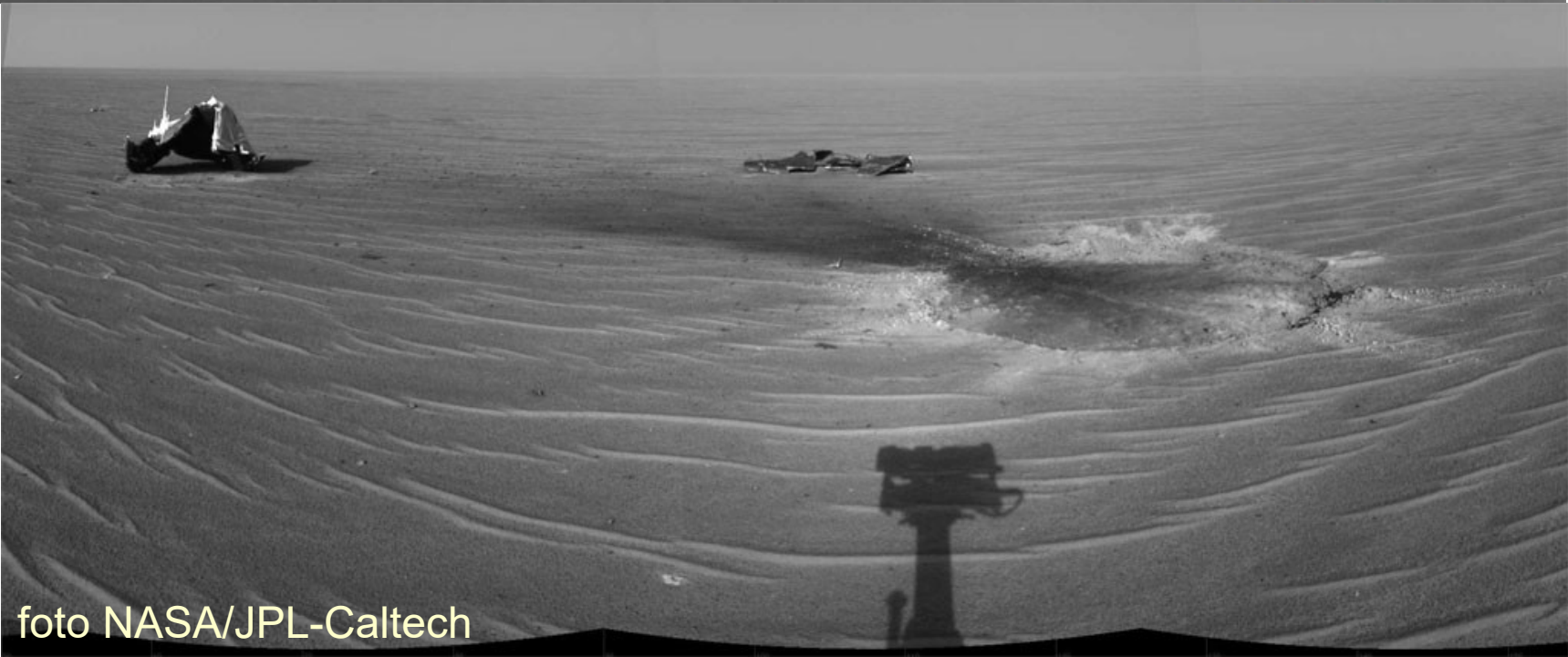
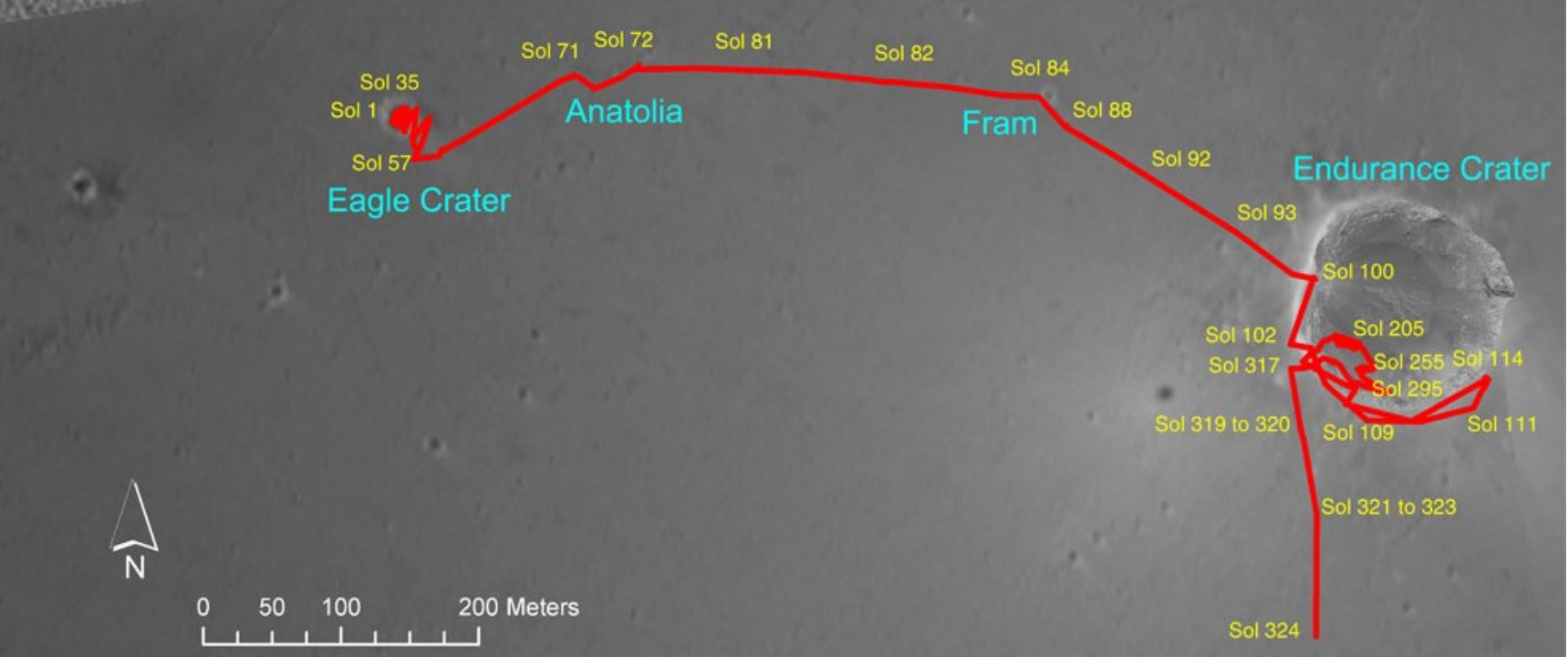
**mikroskopický obrázok  
miesta zvaného Punaluu**



- dno krátera



- horný okraj



Trasa Opportunity

Tepelný štít



# Identifikované minerály

## ■ primárne fázy:

- olivín  $[(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4]$
- pyroxén  $[(\text{Fe},\text{Mg})\text{SiO}_3]$
- magnetit  $[\text{Fe}_3\text{O}_4]$ 
  - hlavná magnetická fáza v pôde a skalách
- ilmenit  $[\text{FeTiO}_3]$
- chromit  $[\text{Fe}(\text{Cr},\text{Fe})_2\text{O}_4]$

Opportunity  
Meridiani Planum

## ■ produkty premien:

- hematit  $[\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3]$
- $\text{Fe}^{3+}$ -sulfát
- npOx
- jarozit  $[(\text{K},\text{Na})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$
- goethit  $[\text{FeOOH}]$ 
  - obsahuje ekvivalent  $\sim 10\%$   $\text{H}_2\text{O}$
  - vytvorí sa len v prostredí s obsahom  $\text{H}_2\text{O}$

mineralogické markery  
prítomnosti vody

Koniec

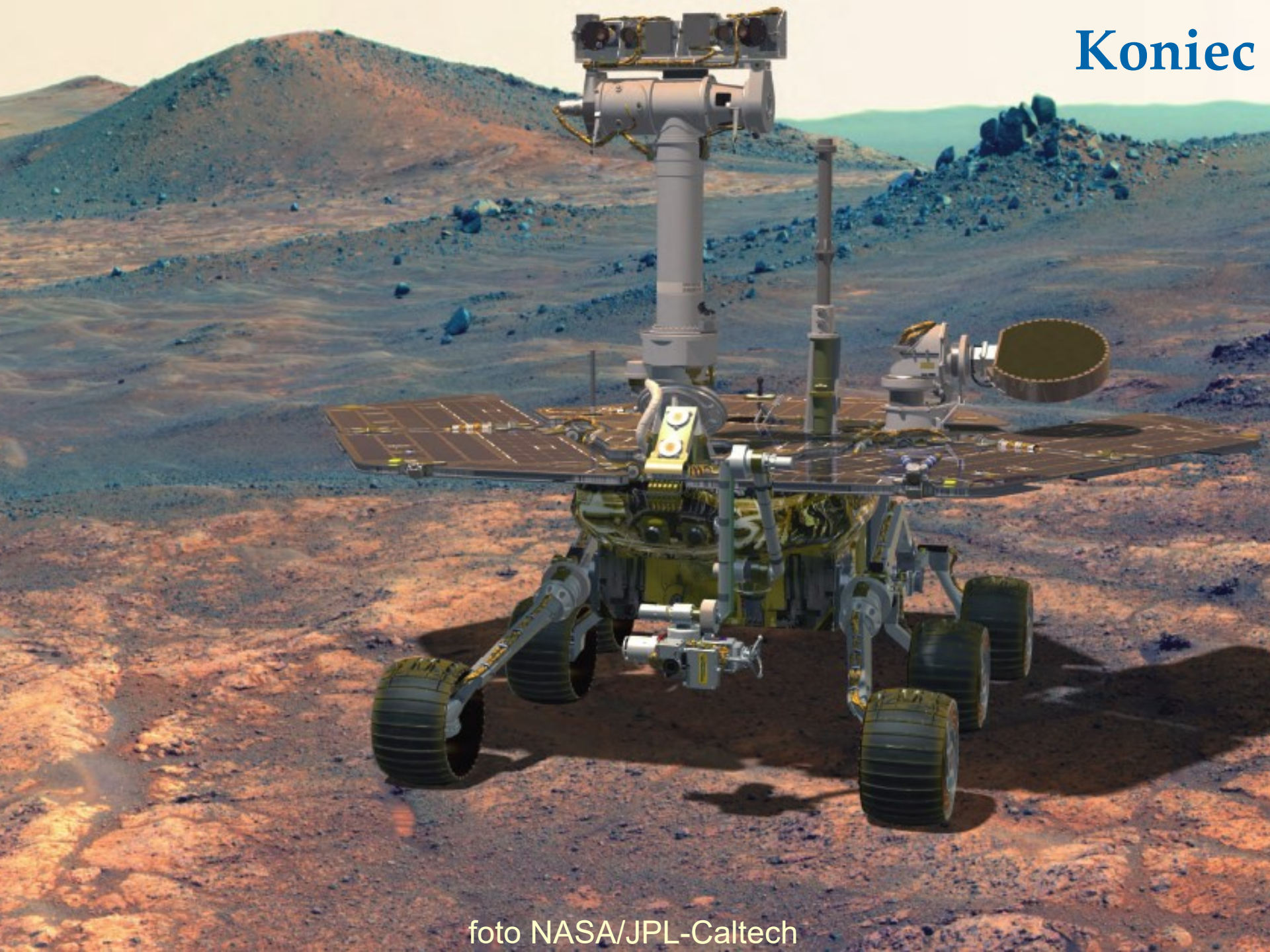


foto NASA/JPL-Caltech