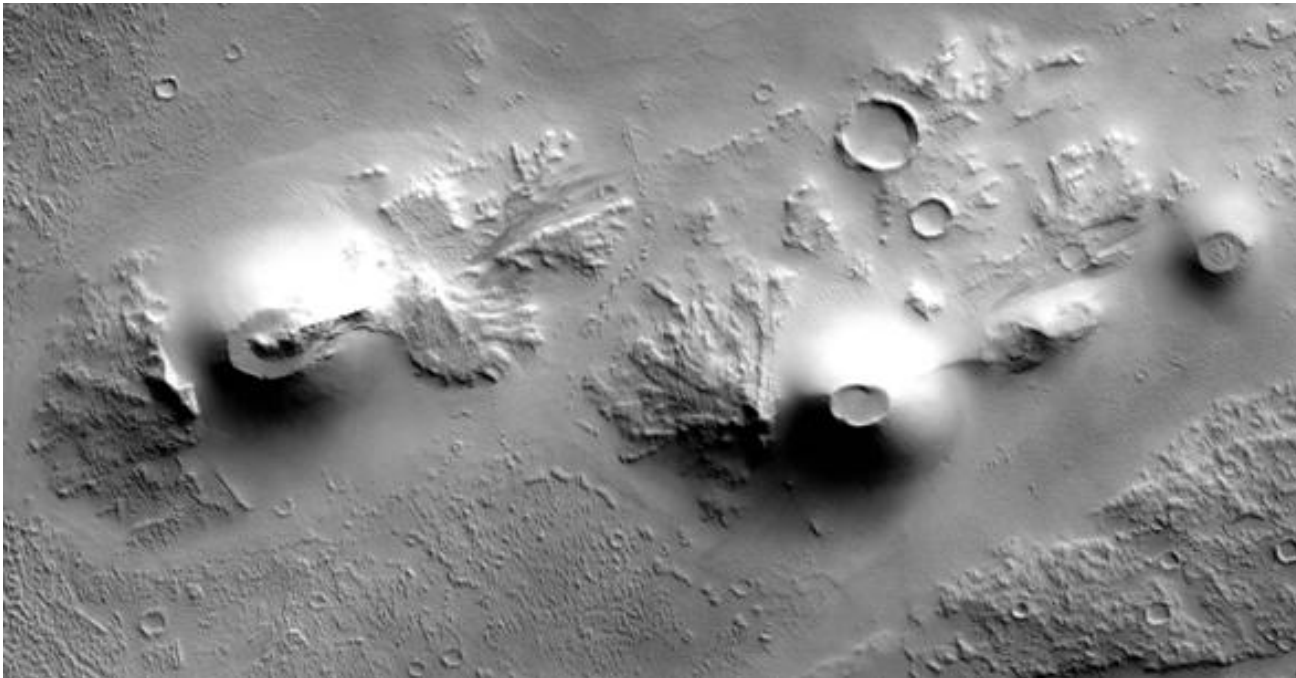


Monogení sopečné procesy v oblasti Tharsis: existence sypaných či kompozitních kuželů na Marsu?



Petr Brož

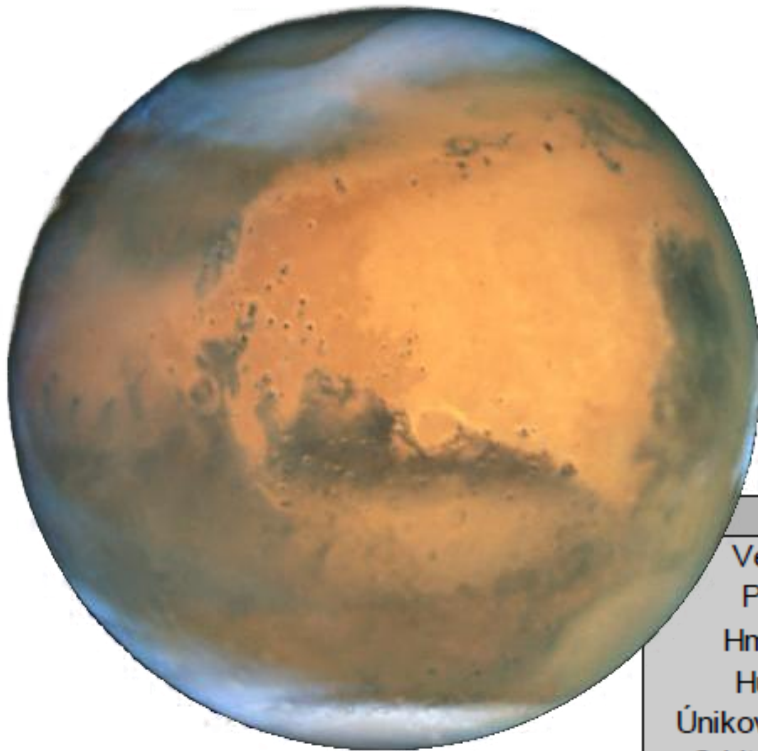
Geofyzikální ústav AV ČR v. v. i.

ve spolupráci s Ernstem Hauberem
z Německého úřadu pro letectví a vesmír (DLR)

Struktura přednášky

- Základní představení Marsu
- Malé kuželovité útvary, aneb jak na výzkum?
 - Představení alternativ
 - Metodika měření
 - Datace
- Výsledky

Základní charakteristika planety při srovnání se Zemí



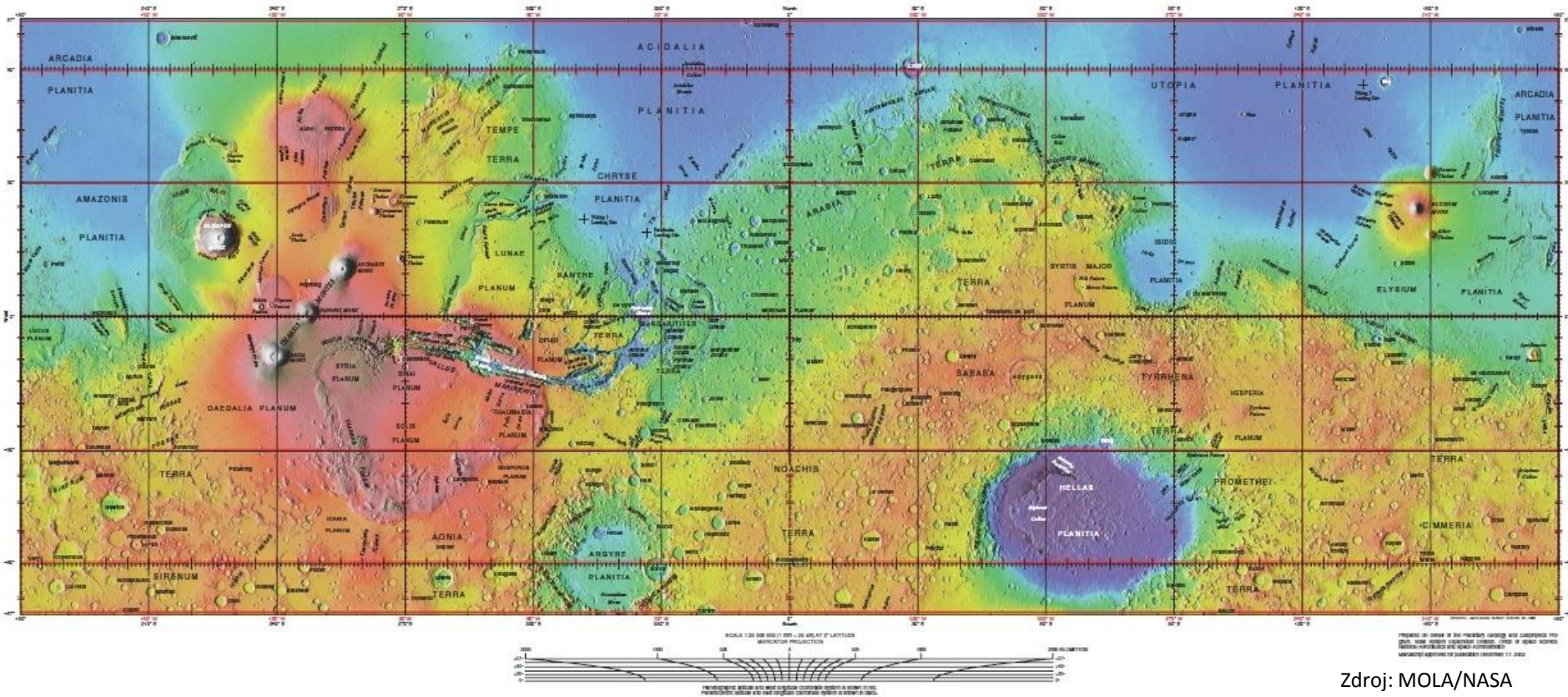
Zdroj: Hubble Space Telescope/NASA

	Mars	Země
Velikost	6 792,4 km	12 756 km
Povrch	144 mil. km ²	510 mil. km ²
Hmotnost	0,642 x 10 ²⁴ kg	5,874 x 10 ²⁴ kg
Hustota	3,934 g.cm ⁻³	5,515 g.cm ⁻³
Úniková rychlost	3,719 m.s ⁻²	9,81 m.s ⁻²
Orbitální dráha	227 920 000 km	149 600 000 km
Délka roku	687 dní	365,26 dní
Délka dne	24,62 hodiny	23,93 hodiny
Sklon osy	25,19°	23,45°
Topografie	-8000 m až 21 200 m	-11 000 m až 8850 m
Teplota na povrchu	-55 °C (-133 až 27 °C)	15 °C (-89 až 58 °C)
Tlak na povrchu	6,35 mbar	1013 mbar
Složení atmosféry	95 % CO ₂ , 3 % N ₂ , 2 % Ar	78 % N ₂ , 21 % O ₂ , 1 % Ar

Tabulka 1: Základní charakteristika Marsu a Země. Jedná se o průměrné hodnoty.

Zdroj: DLR poster/Mars Express 2007

Topografická mapa Marsu



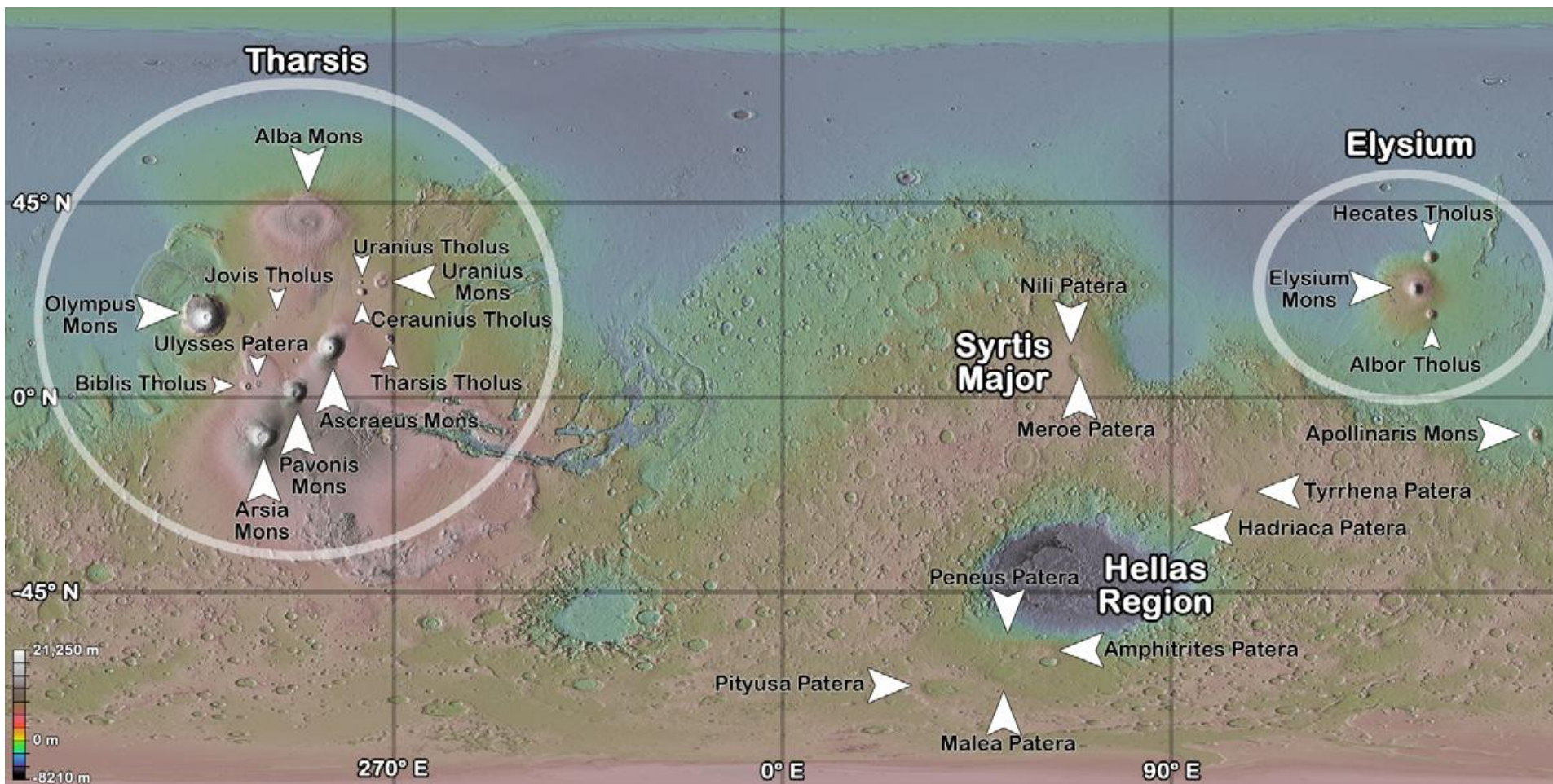
Zdroj: MOLA/NASA

Modrá: nejnižší oblasti – **červená:** nejvyšší oblasti

Hlavní sopečné oblasti:

a) **Tharsis** b) **Elysium volcanic province**

Starší ojedinělé sopky **Tyrrhena Patera** a **Hadriaca Patera**

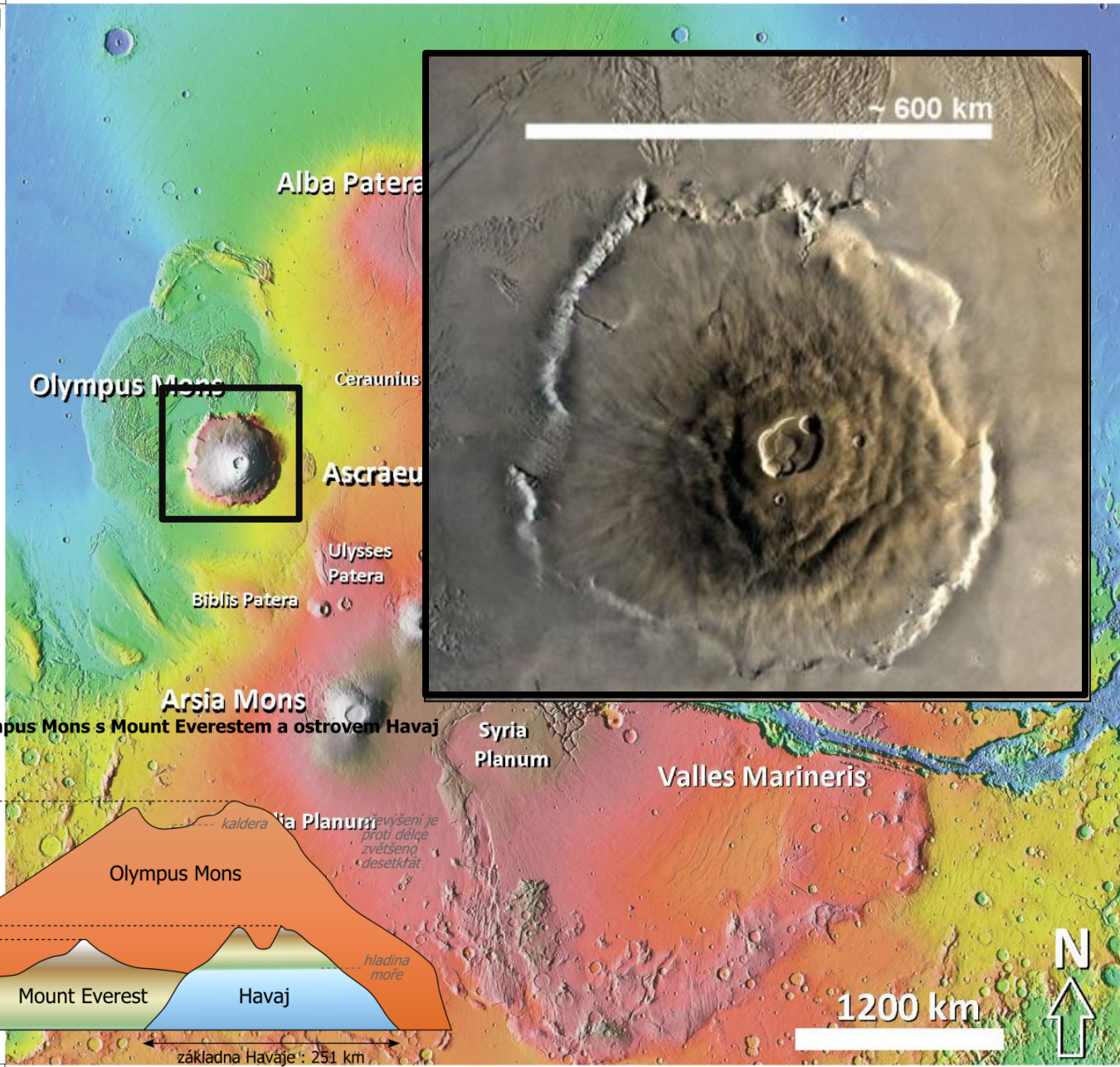


Robbins et al. (2011)

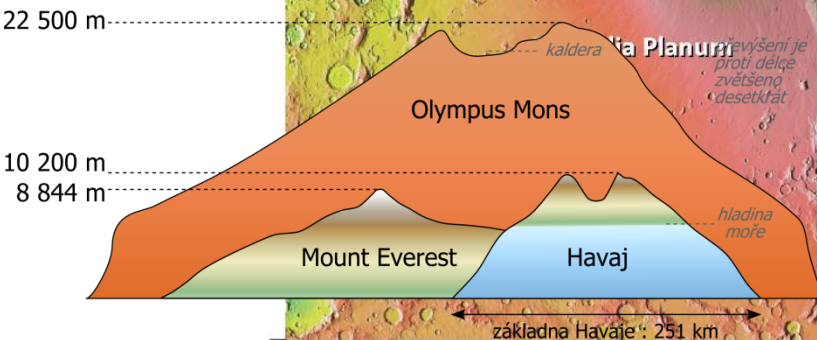
Detail oblasti Tharsis

200° E
57° N

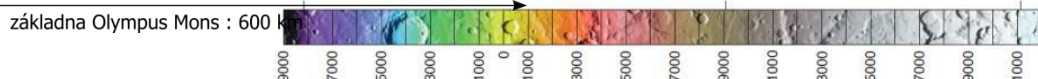
330° E



Srovnání velikosti Olympus Mons s Mount Everestem a ostrovem Havaj



36° S

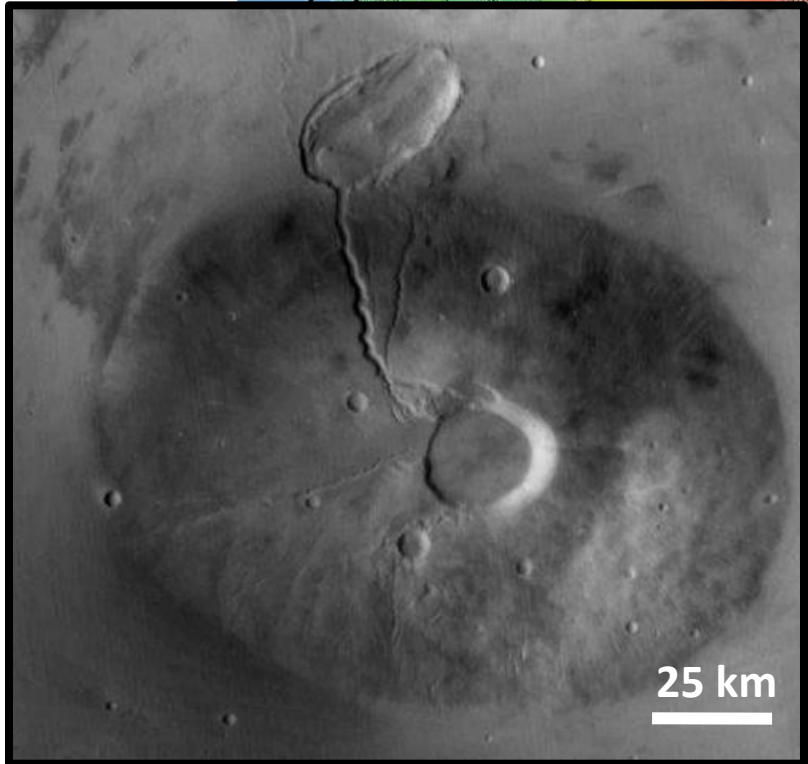
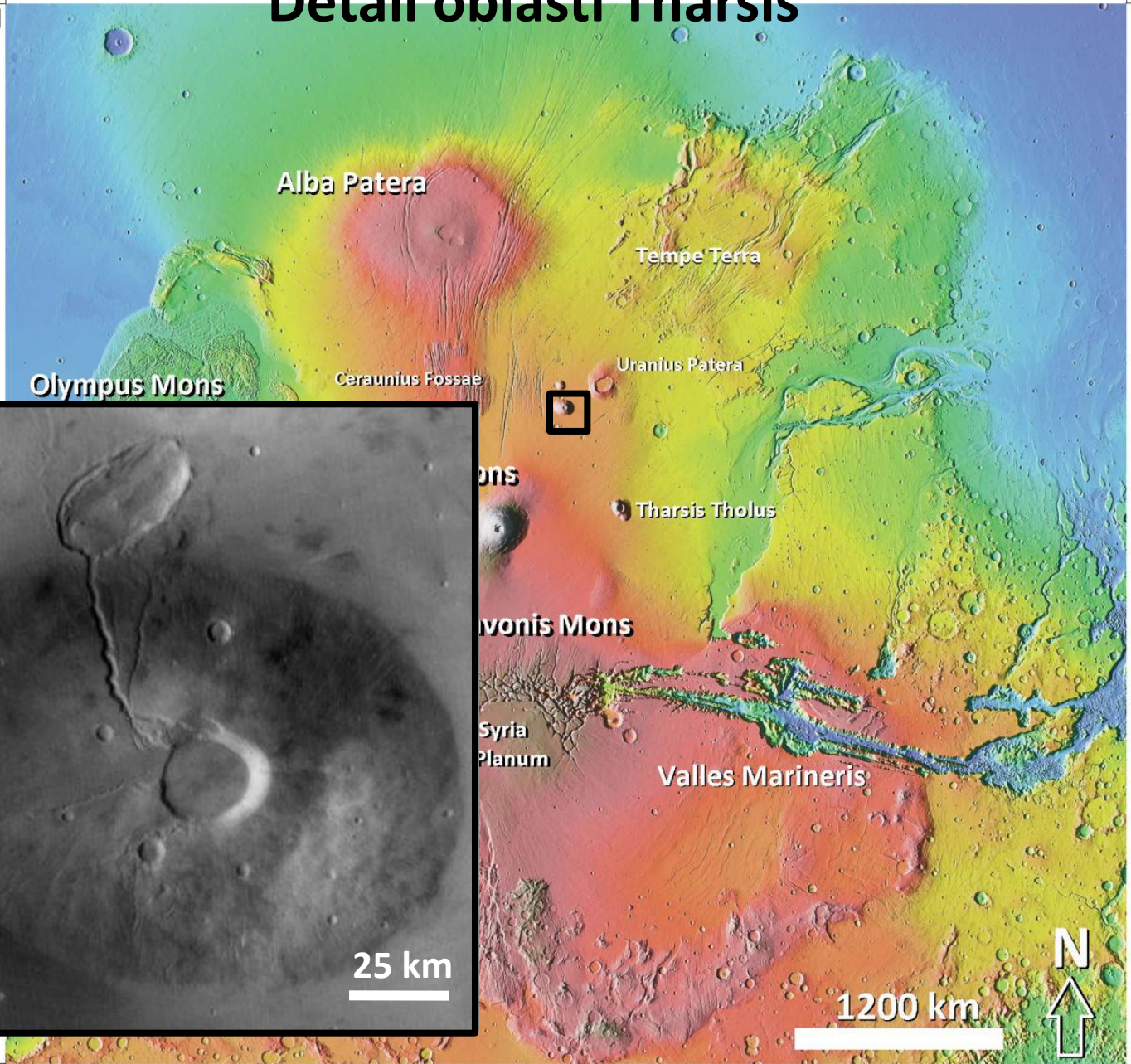


Zdroj: MOLA/NASA

200° E
57° N

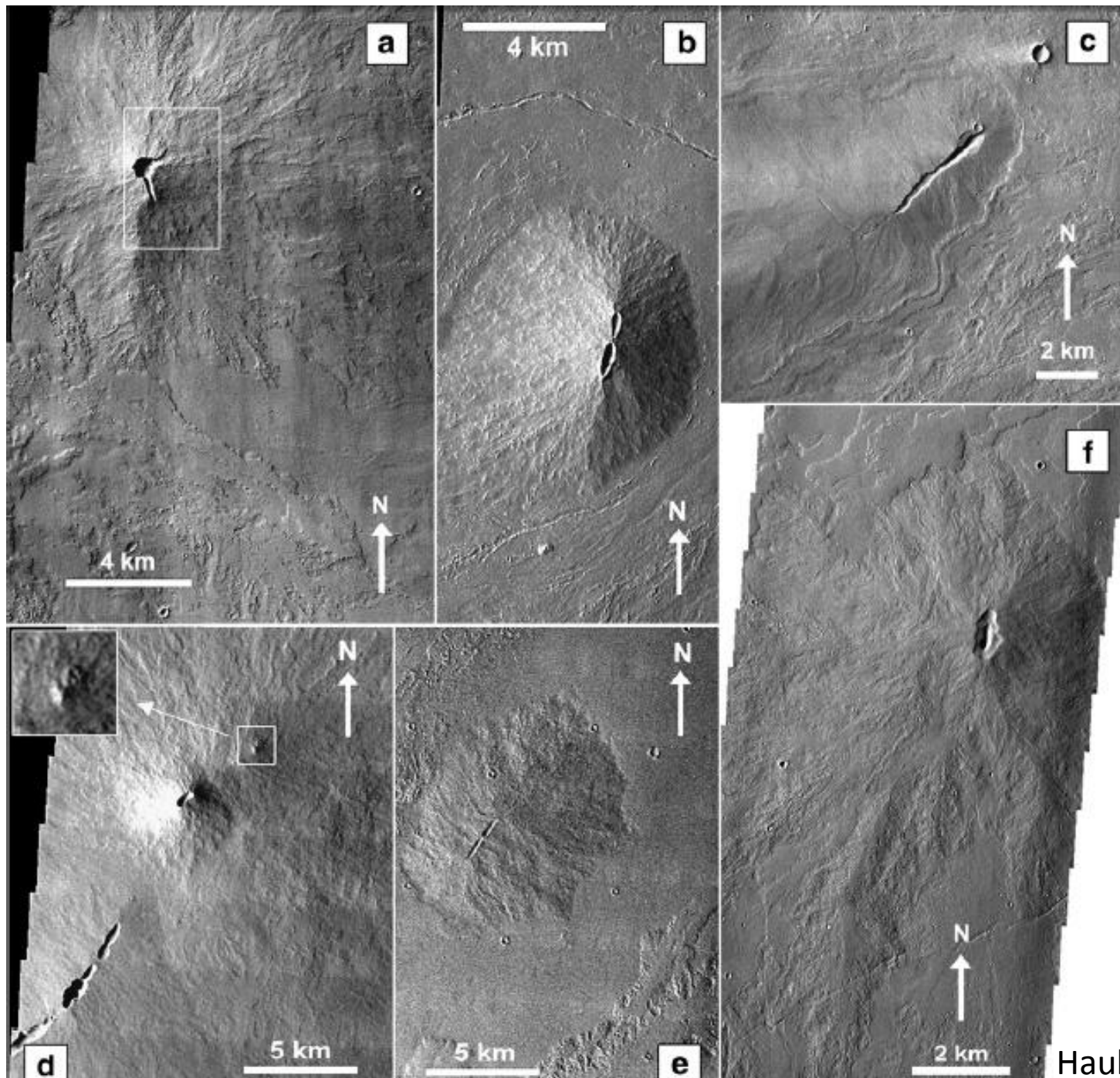
Detail oblasti Tharsis

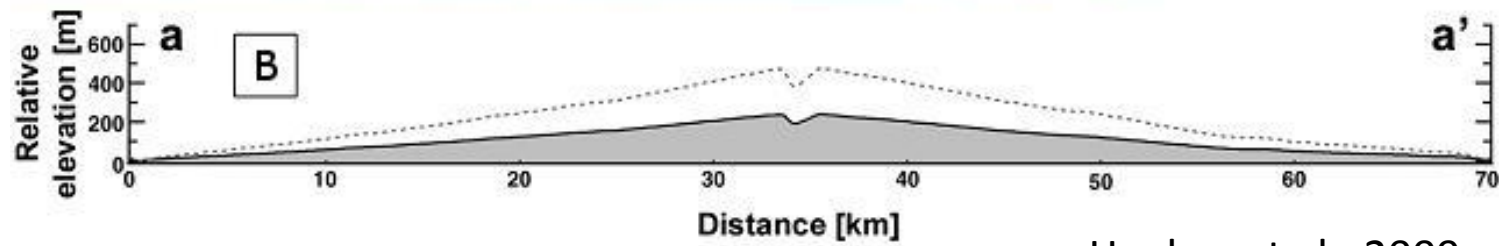
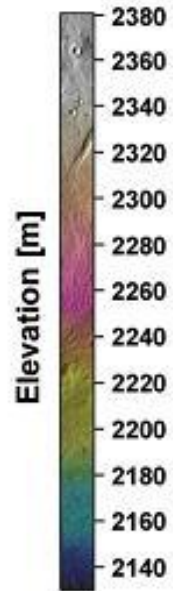
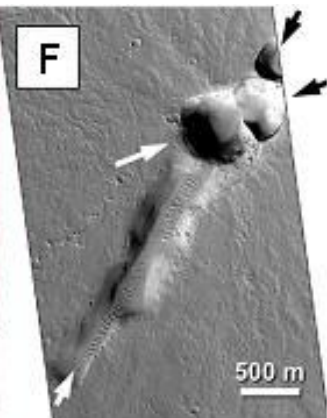
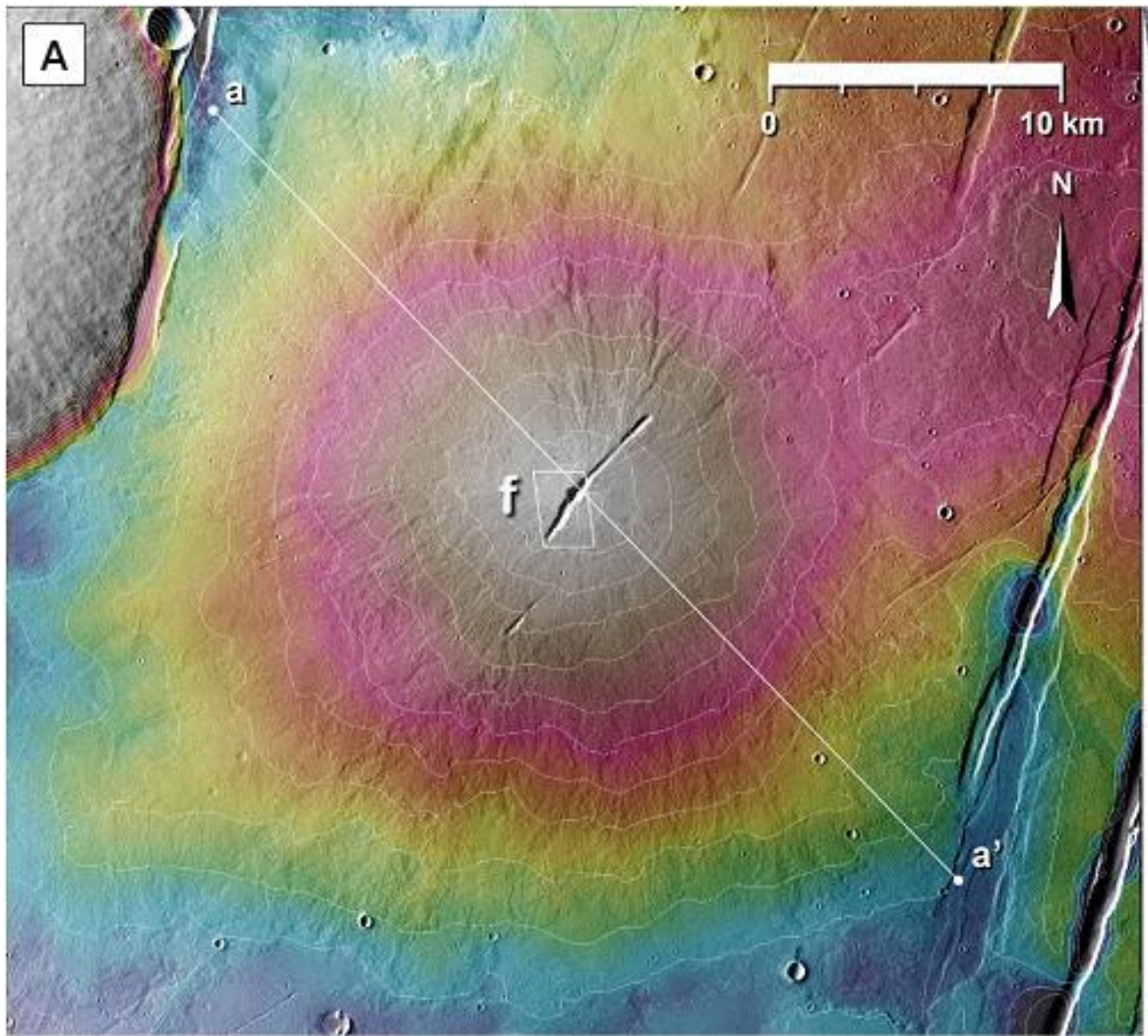
330° E



36° S

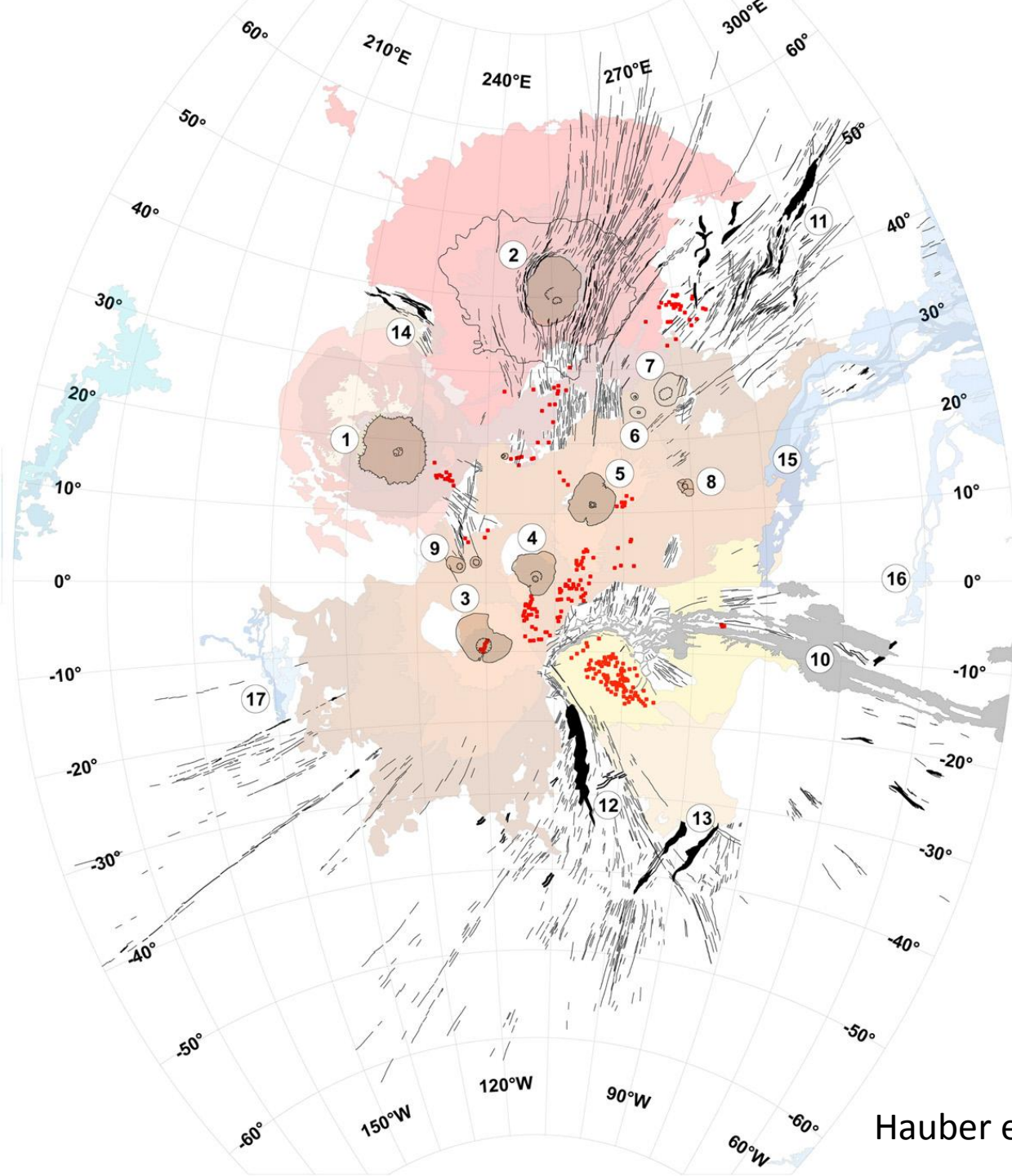




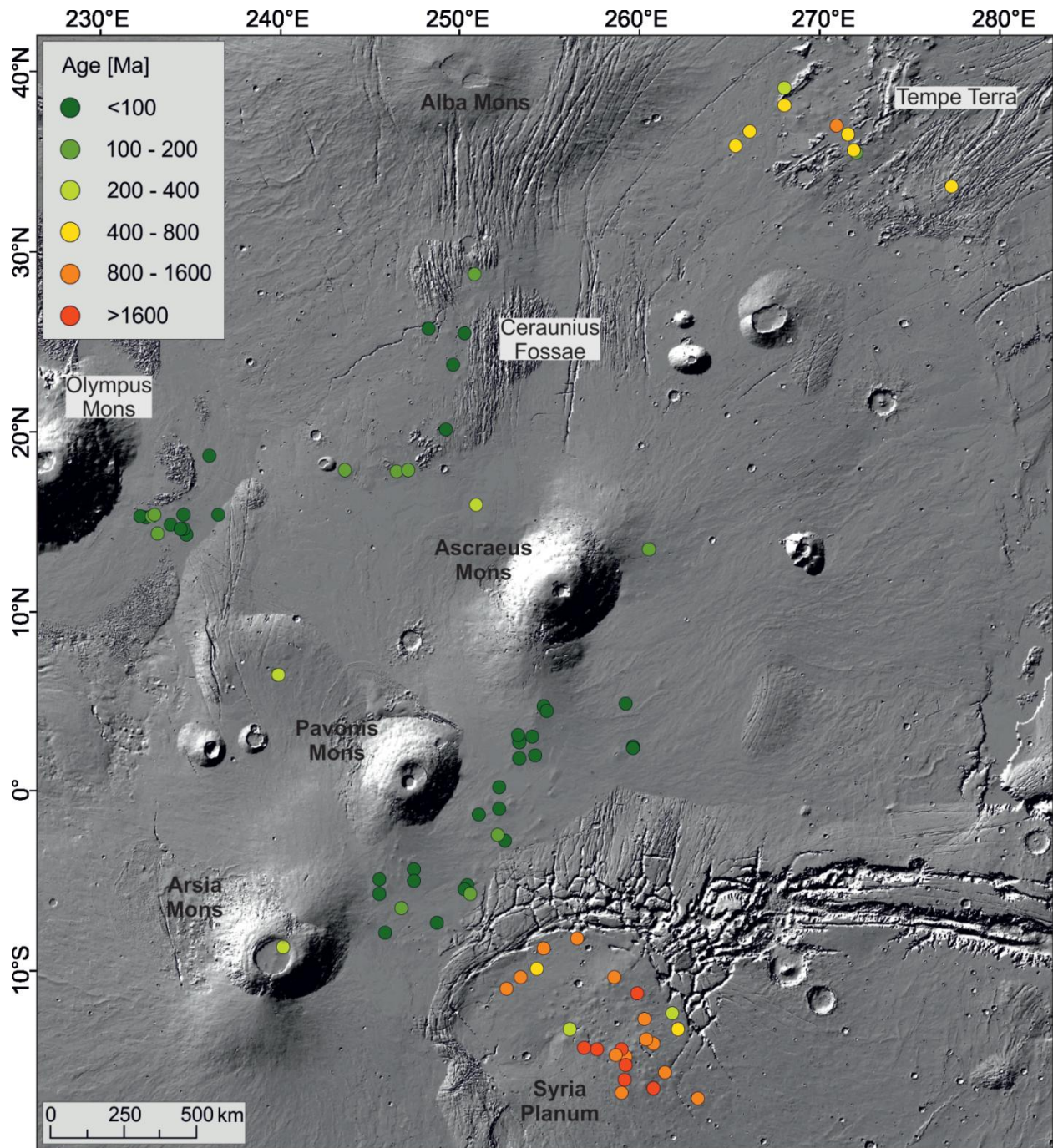


Velice nízké!

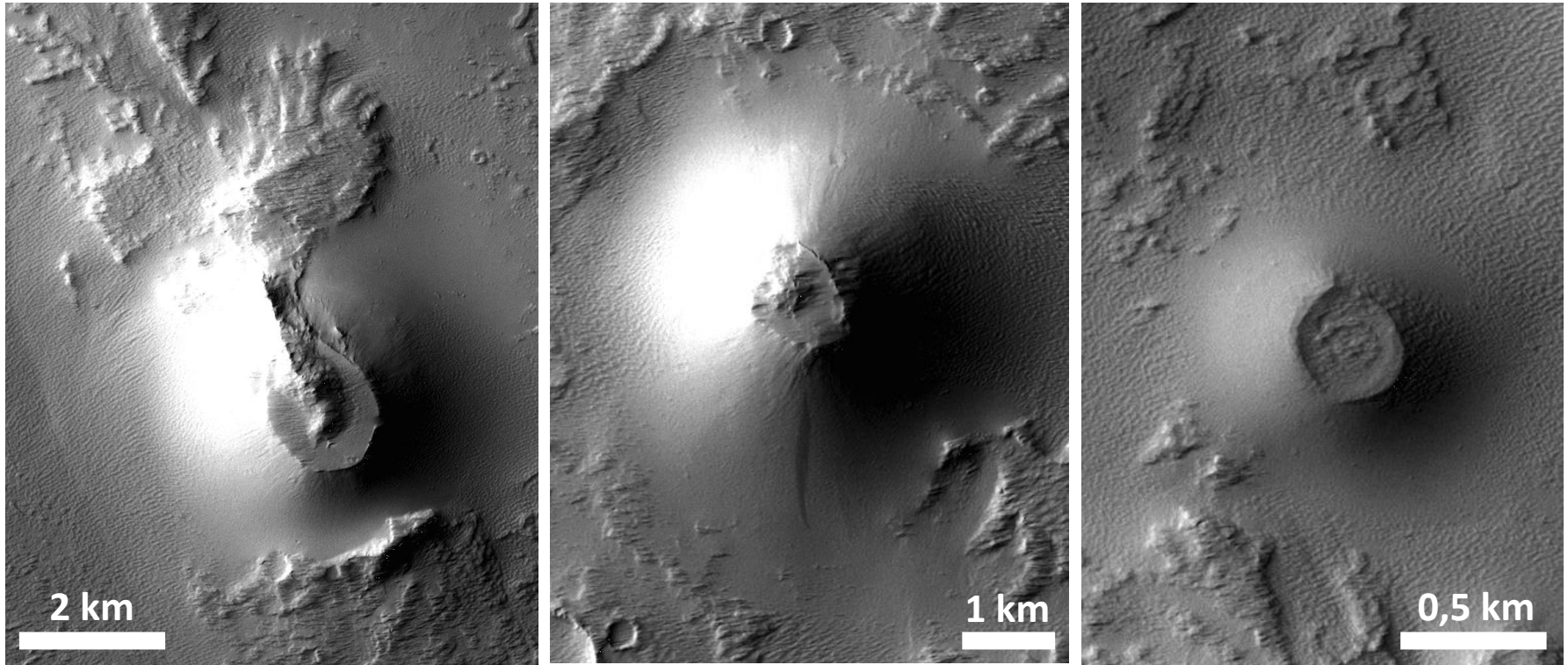
Hauber et al., 2009



- Nízke štítové sopky široce rozšířeny v oblasti Tharsis
- Atypický druh vulkanismu, známý ale i ze Země



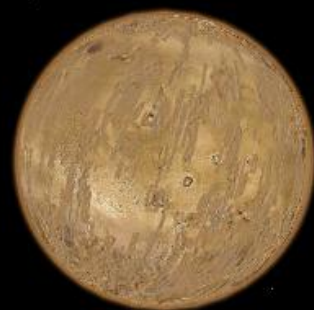
Objevení menších kuželů



Obrázky výřezy z kamery CTX

Primární pozorování ukázalo, že se jedná o pozitivní útvary v dříve vulkanicky aktivní části spadající do oblasti Tharsis.

Co tyto kužely představují?



ESA / DLR / FU Berlin (G. Neukum)
Image NASA / USGS

5°38'59.25" S 123°02'21.06" Z výš. 4519 m

©2010 Google

Výška pohledu 33766.52 km 



Starší popraskaná kůra

Kužele na přechodu mladší a starší jednotky

Mladé lávové proudy

Dvojice starších sopek

Zvážení alternativ

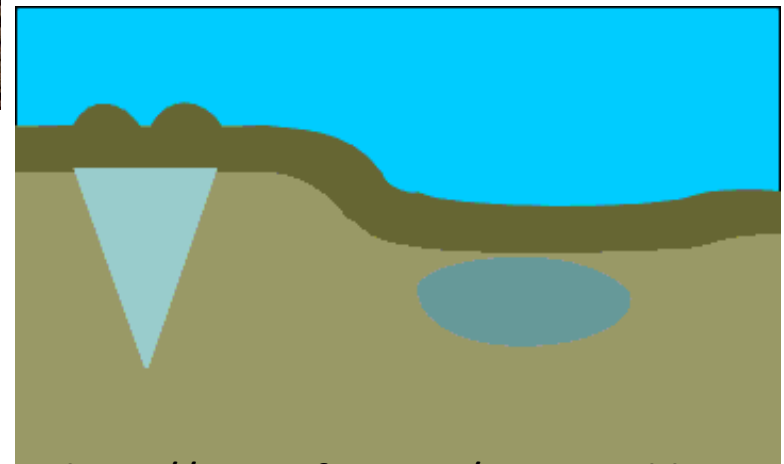
- Pingo



Fotografie H.J.A. Berendsena

Úskalí: nic nenasvědčuje
přítomnosti permafrostu
v Tharsis

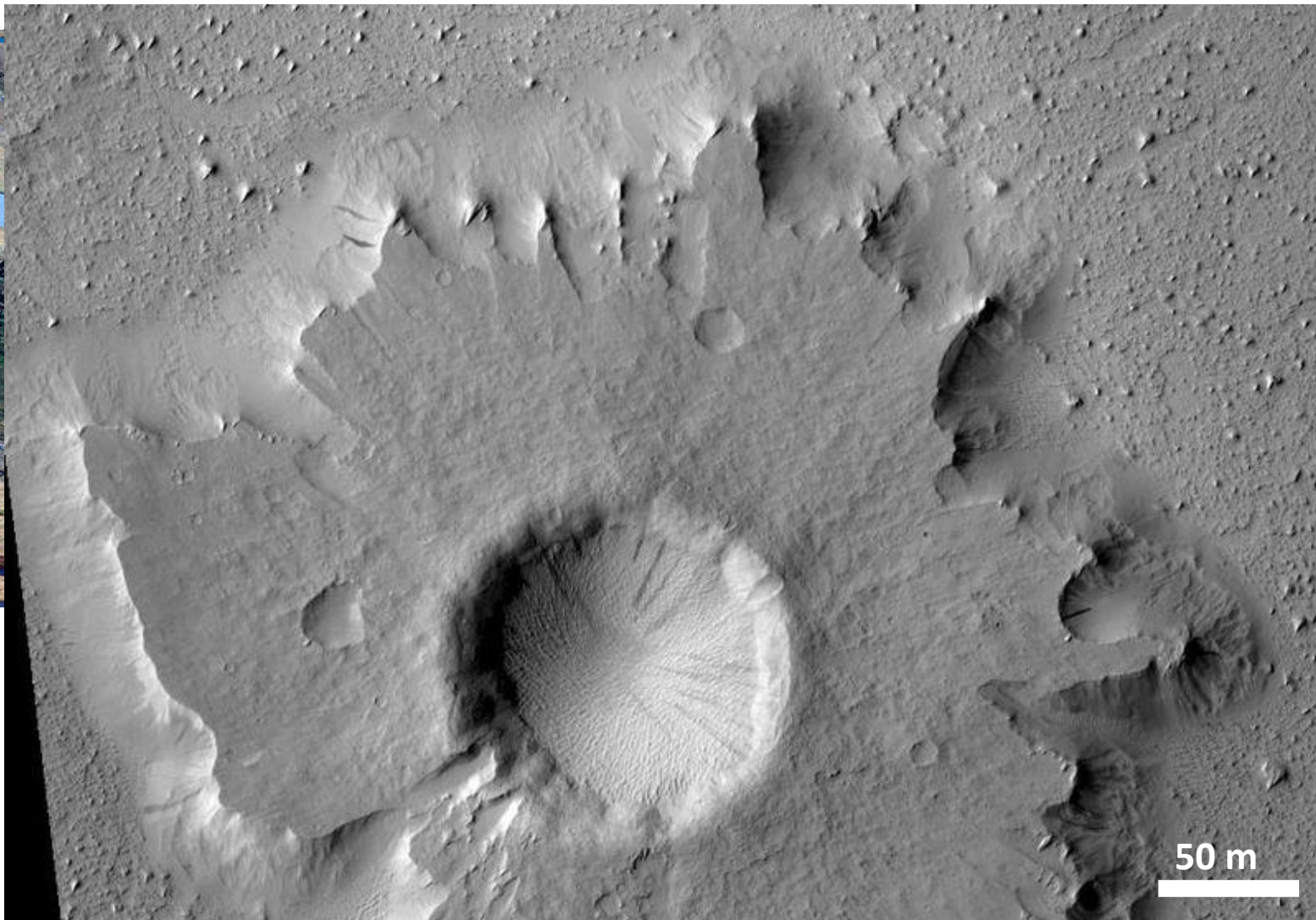
Na Zemi dorůstají pinga
maximálně výšky 70
metrů a šířky ca 700
metrů. Může vzniknout
jen v oblasti
permafrostu.

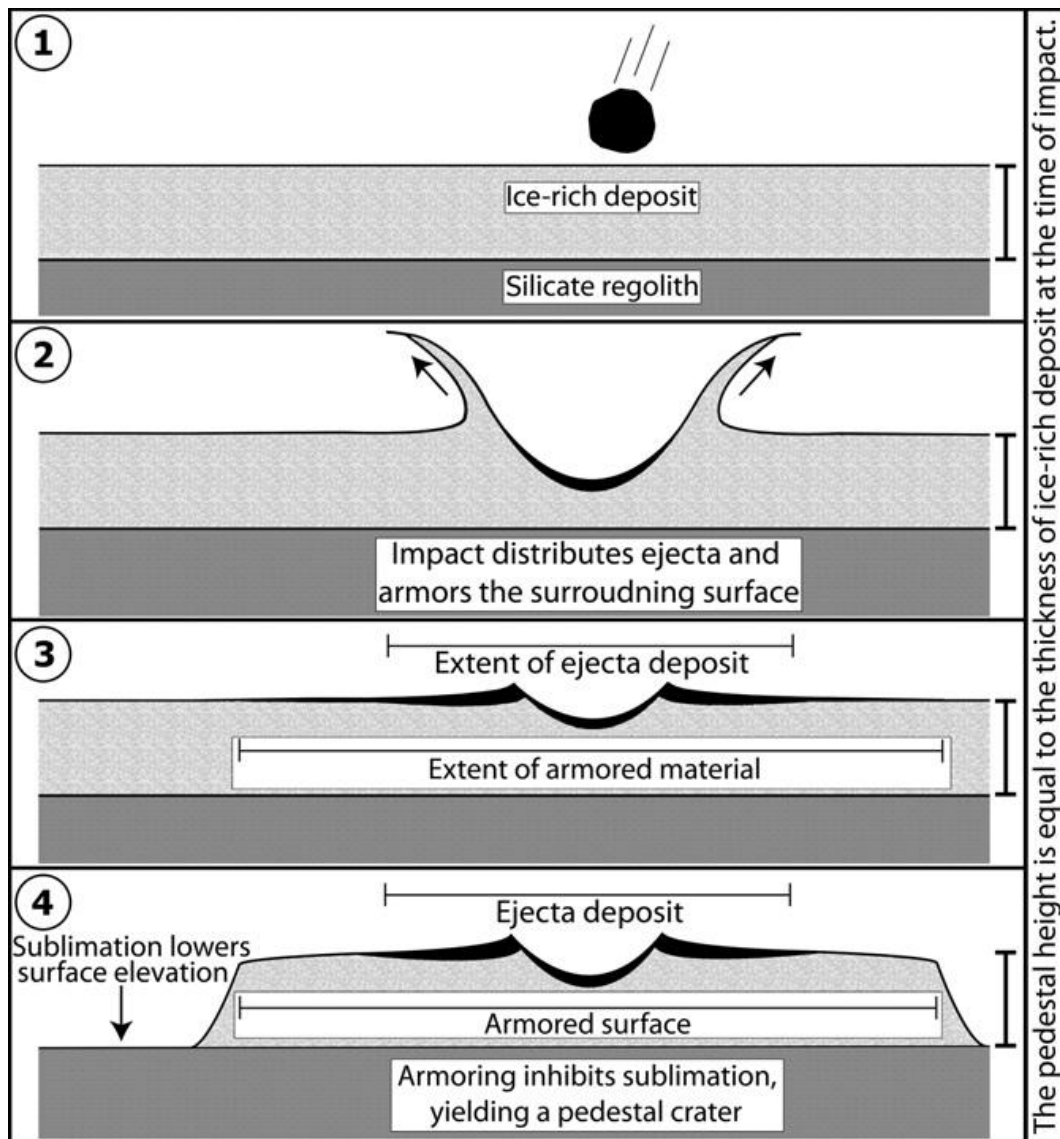


<http://arctic.fws.gov/permcycl.htm>

Zvážení alternativ

- „Rampart crater“

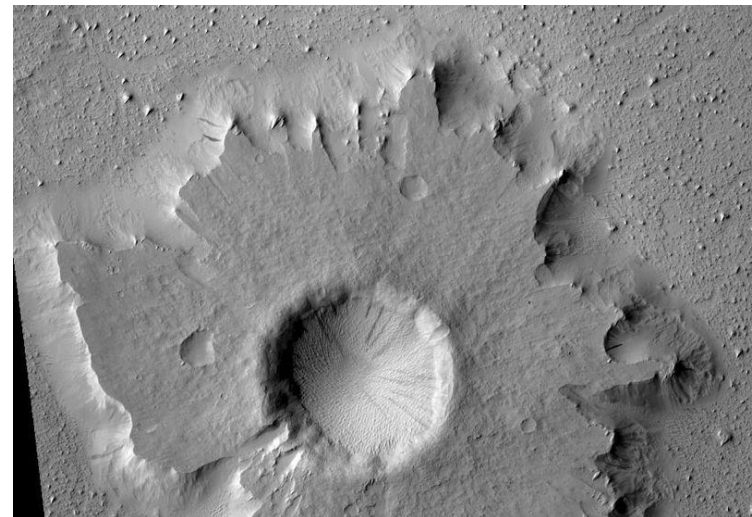




Kadish et al., 2010

Úskalí: nikde v okolí se další „rampart craters“ nenachází

Vznik dopadem tělesa do ledem bohaté vrstvy, překrytím okolí ejektou a následnou sublimací.



Zdroj: NASA/JPL/ University of Arizona

Pseudokrátéry



Složený 3D-pohled (snímek z HRSC a DEM), oblast Mývatn, Island

Mechanismus vzniku pseudokráterů

1. Lava heats substrate, melts ice, vaporises water

2. Threshold pressure exceeded, lava excavated

3. Lava inflow, further vaporisation, allowing repeated explosions

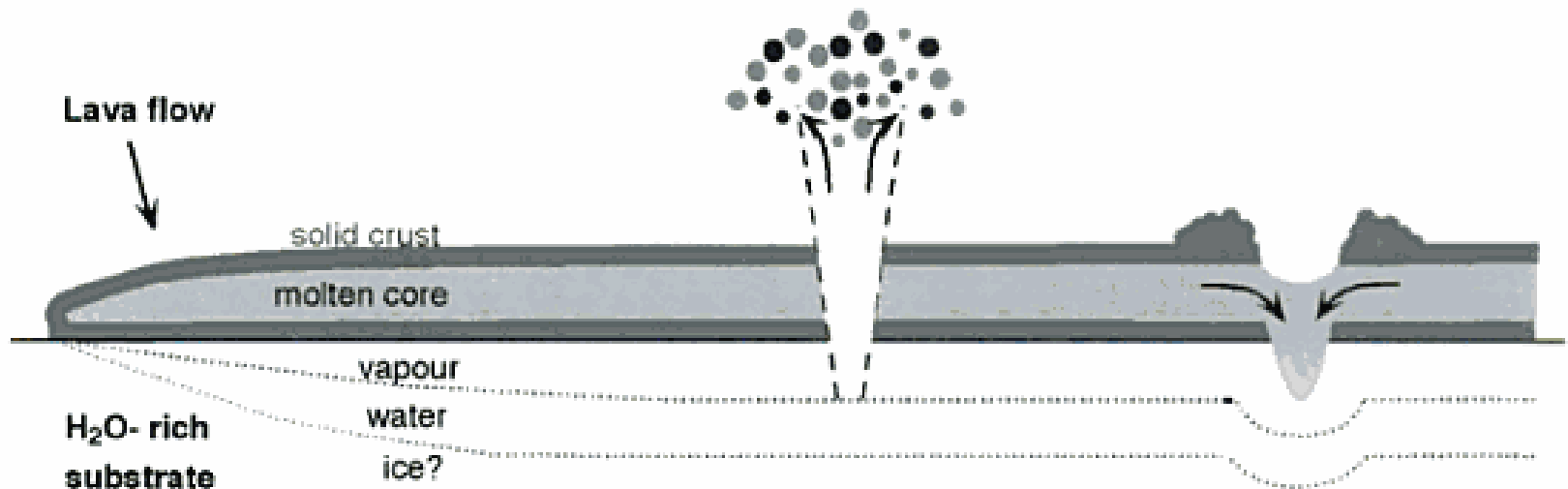
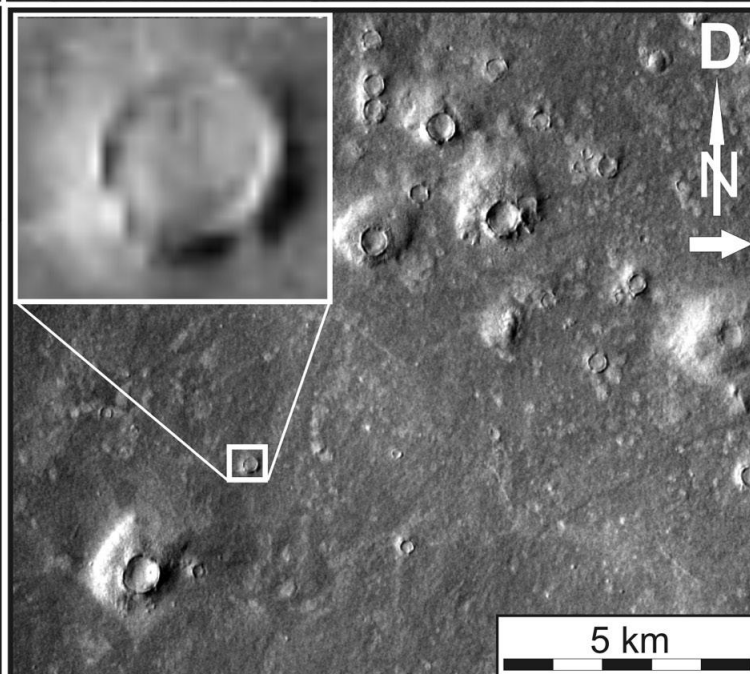
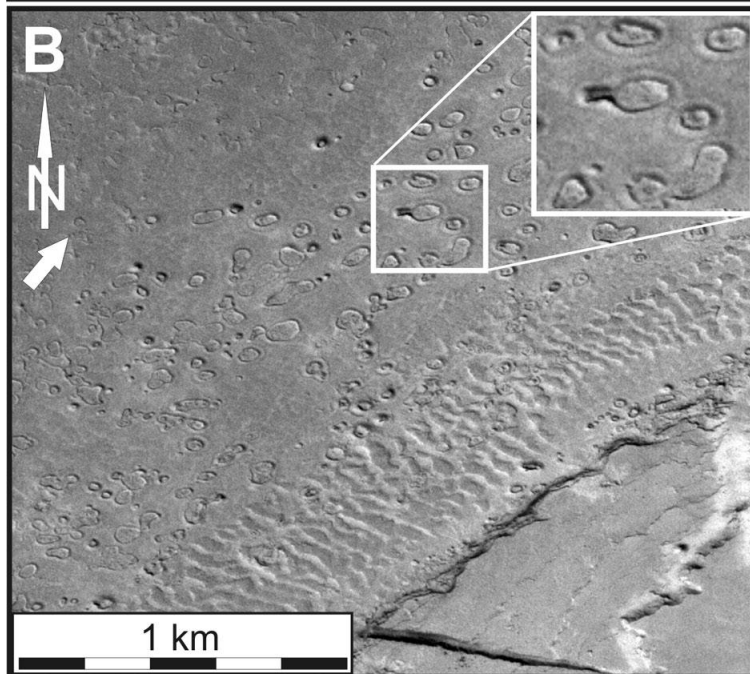
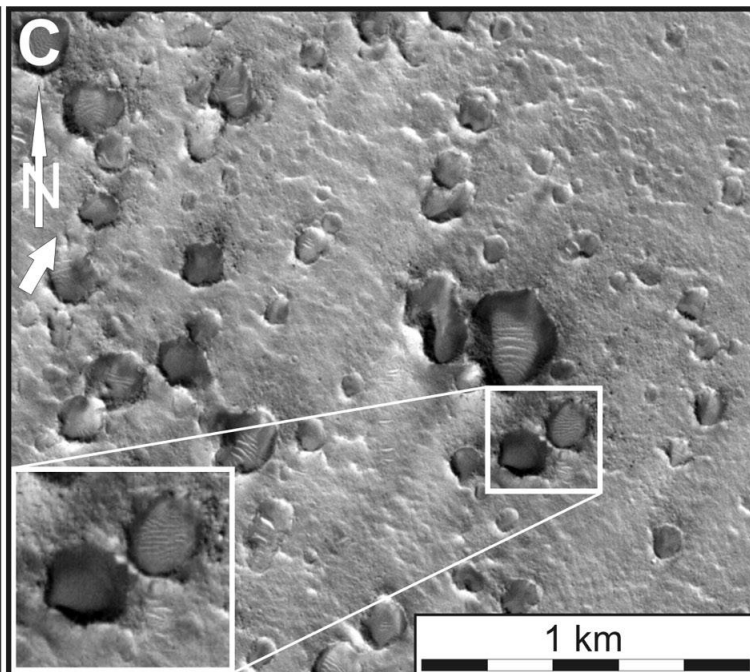
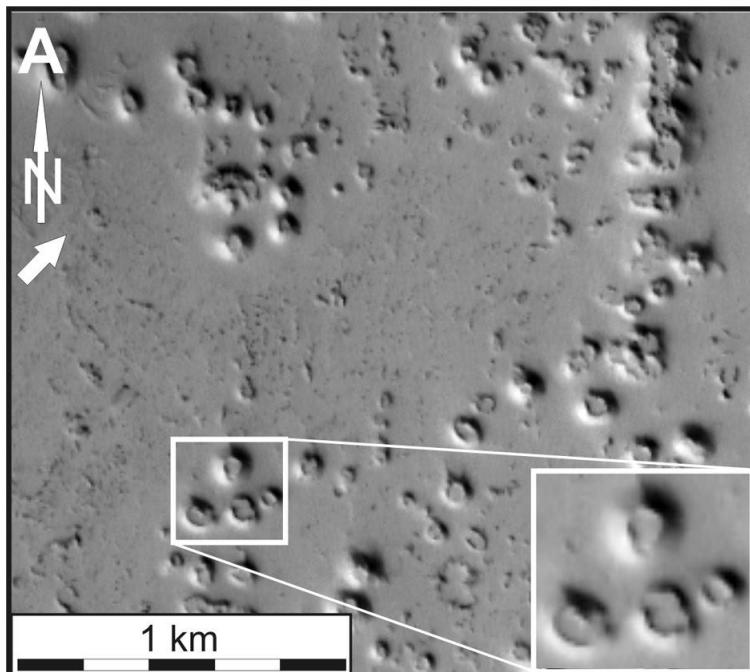
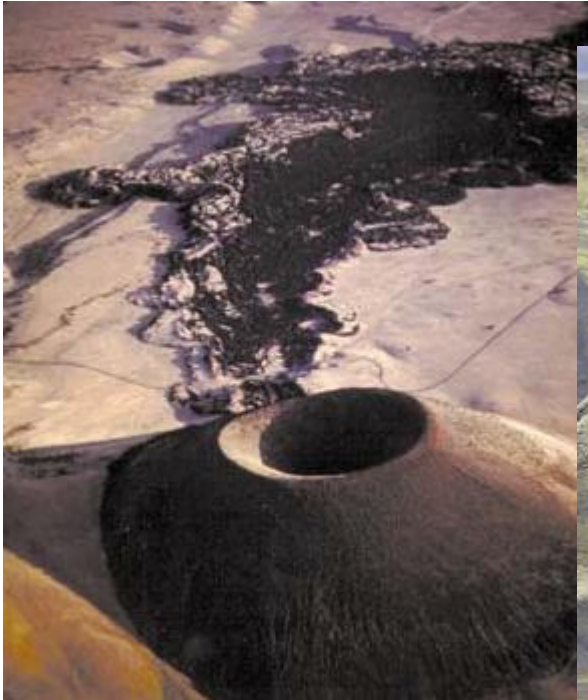


Fig. 9. Diagram depicting stages of rootless cone formation.

Zdroj: Fagents et al., 2002 (Rootless cones on Mars)



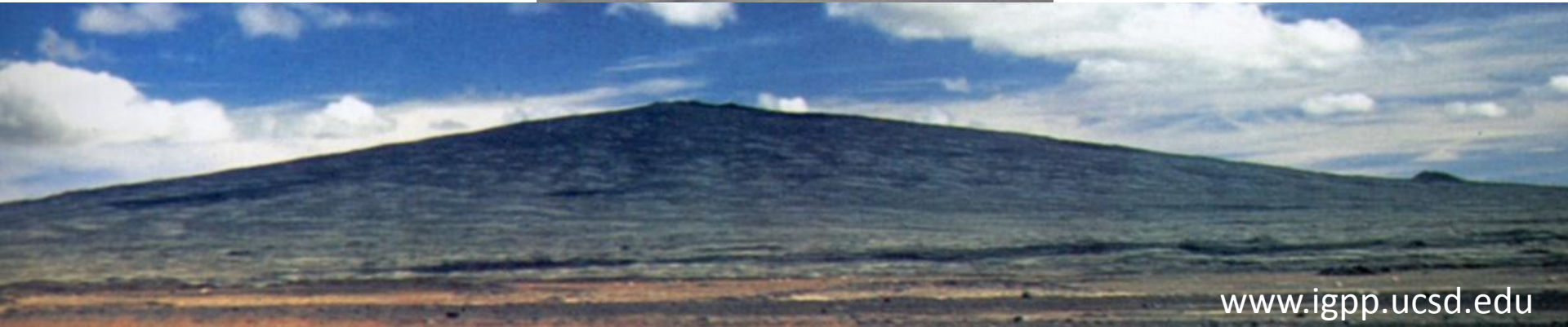
=> Sopečný původ

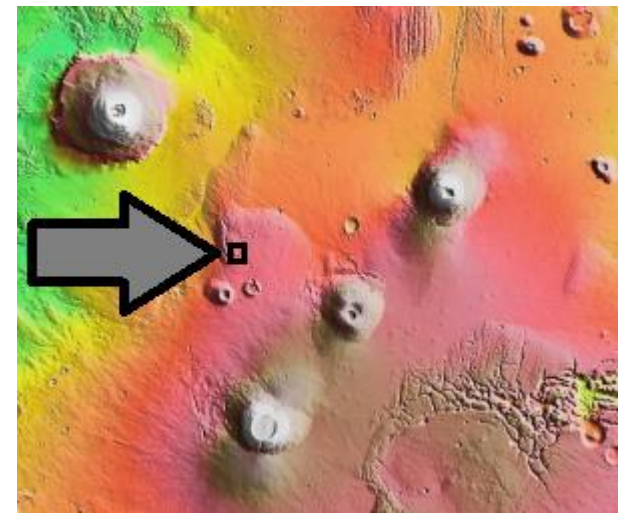
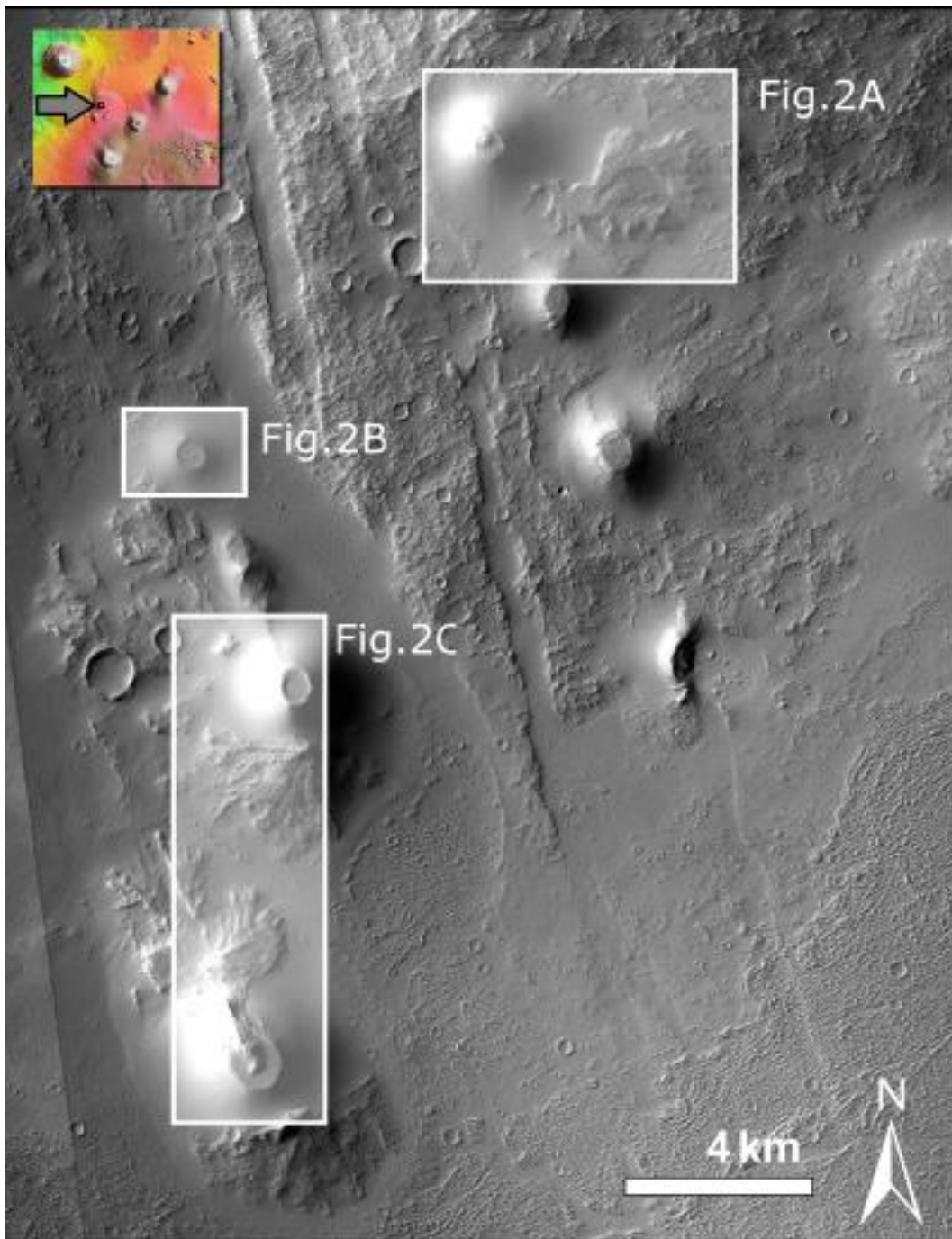


Geology.com



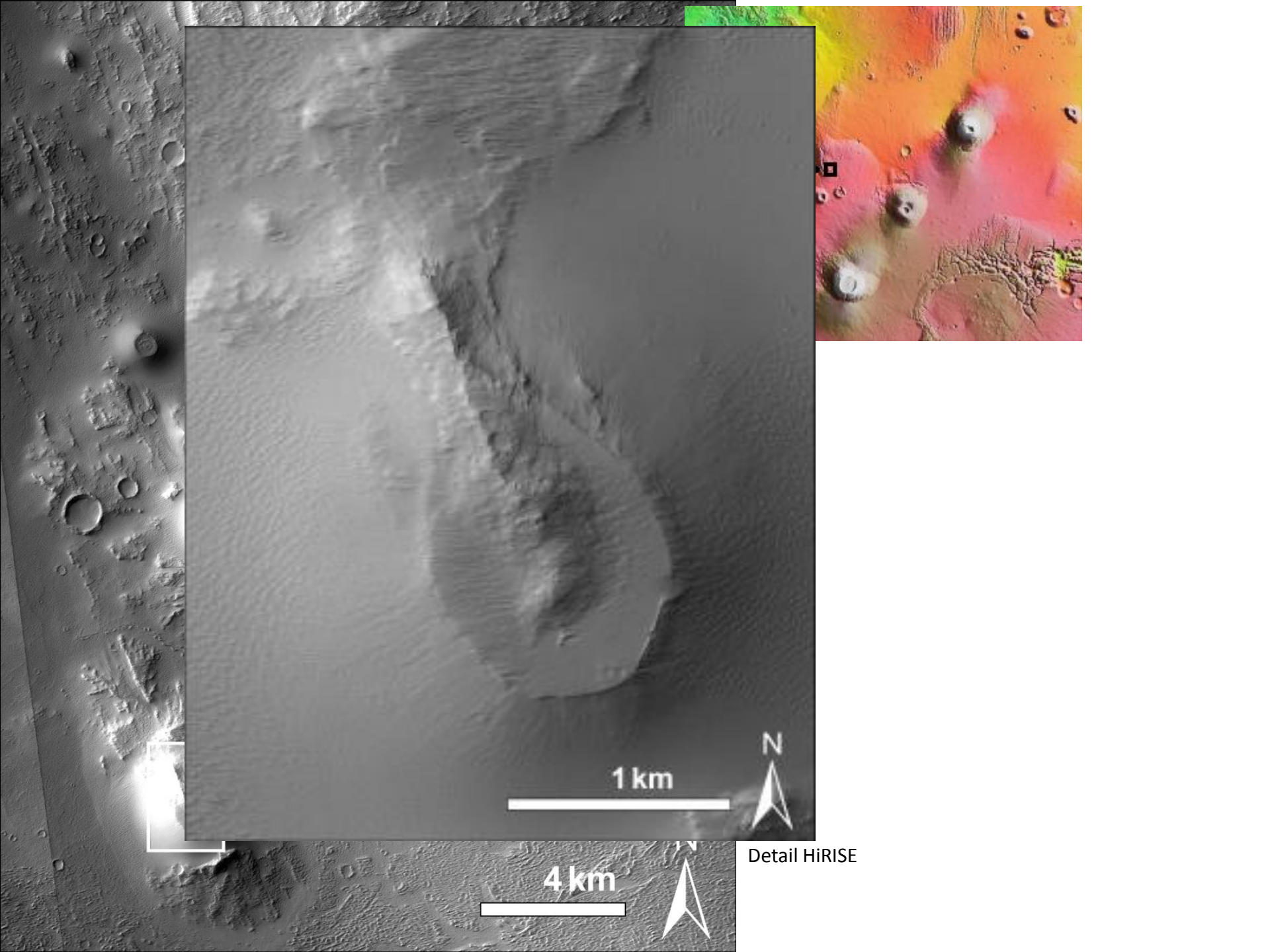
McGimsey, Game, USGS





Celkem pozorováno
29 kuželů v různém
stupni eroze.

5 kuželů má
pravidelnou
kruhovitou strukturu
- viz obrázek vlevo.



1 km



4 km



Detail HiRISE

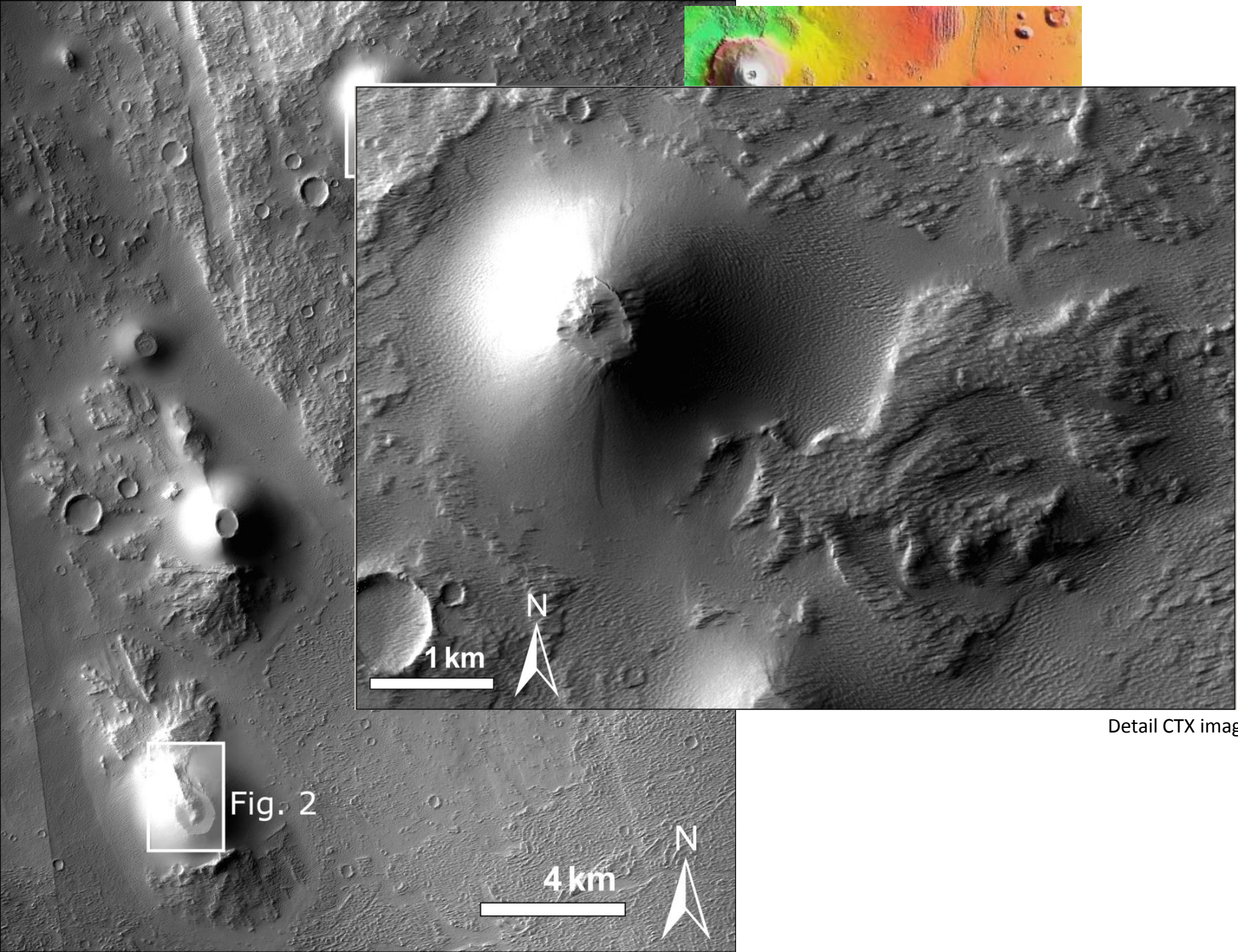
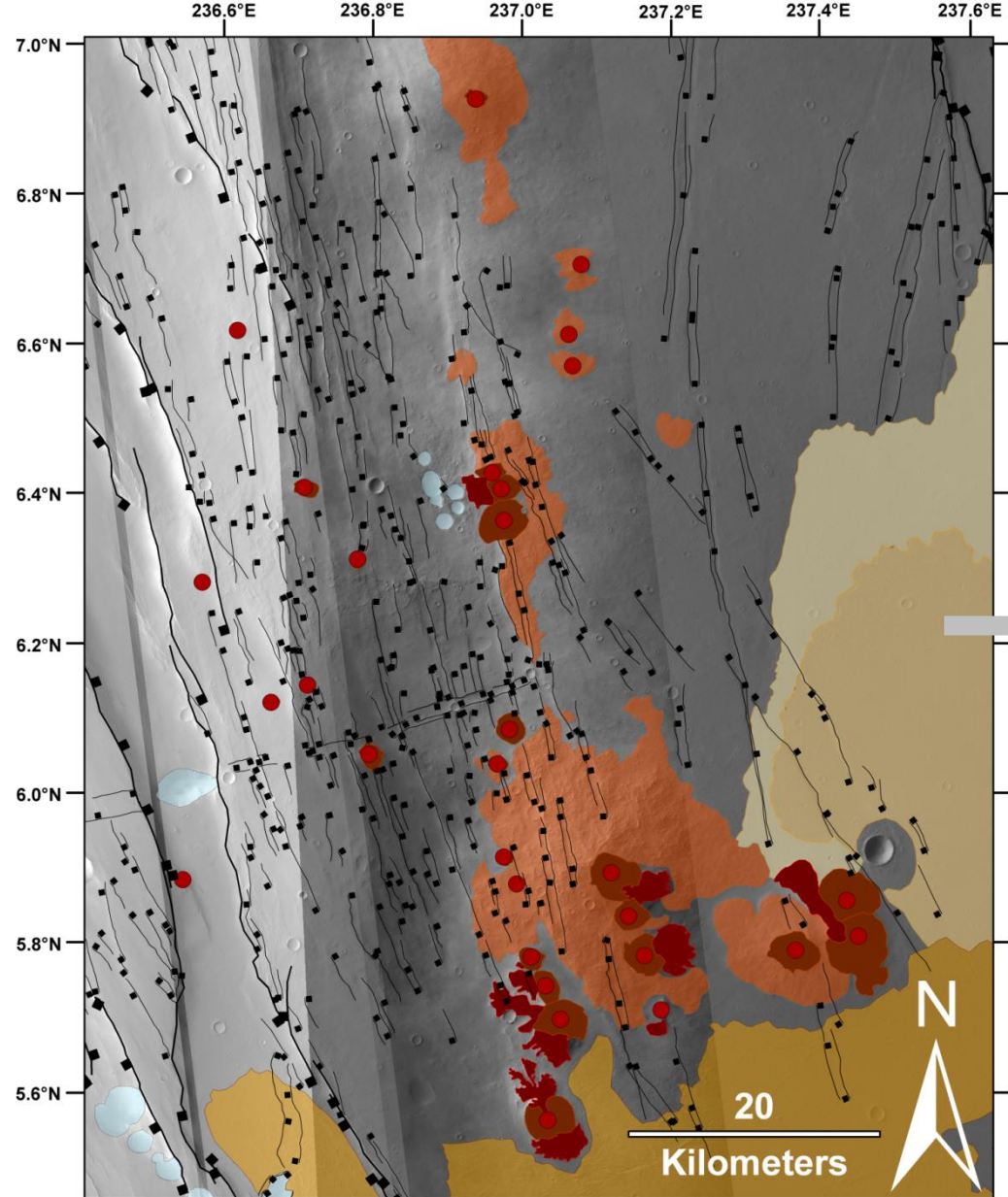


Fig. 2

Detail CTX image



Oblast se rozkládá na území cirka 50 x 80 kilometrů

Velikost kuželů narůstá jižním směrem.

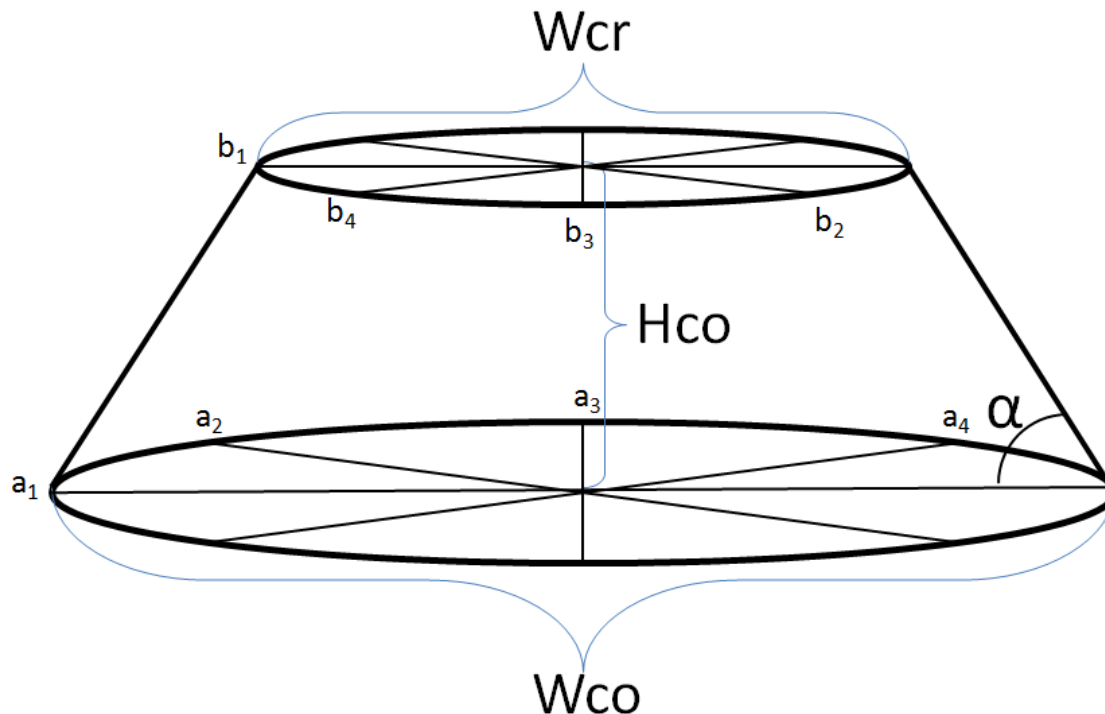
→ lávové proudy

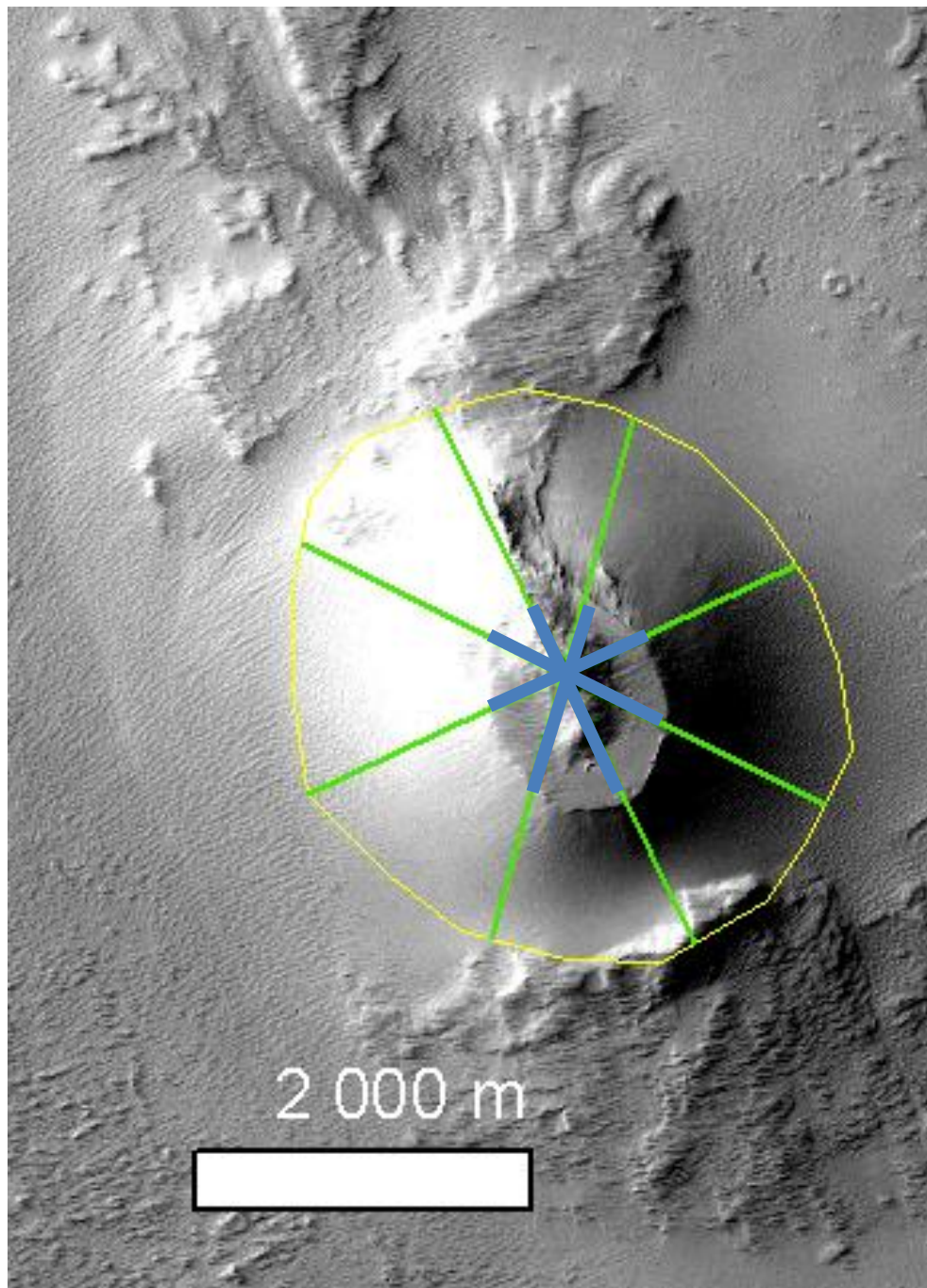
Oblast silně popraskané kůry => kužele jasně sledují lokální tektonické podmínky.

- Faults
- Cinder cones
- Lava flows associated with cinder cones
- Possible scoria material forming cones
- Depressions
- Volcanic material under cinder cones
- Lava flows associated with plain-style volcanism

Měření morfologie

- Morfologie napovídá příslušnost k určitému typu vulkanismu (Wood, 1979)
- Princip využíván běžně ve vulkanologii
- Měření několika základních parametrů tělesa a výpočet jejich poměrů (W_{cr}/W_{co} , H_{co}/W_{co}), které jej následně charakterizují





Průměr kužele:
aritmetický průměr 4
měření

Podobné použil např.
Peréz-López, 2010

Průměr

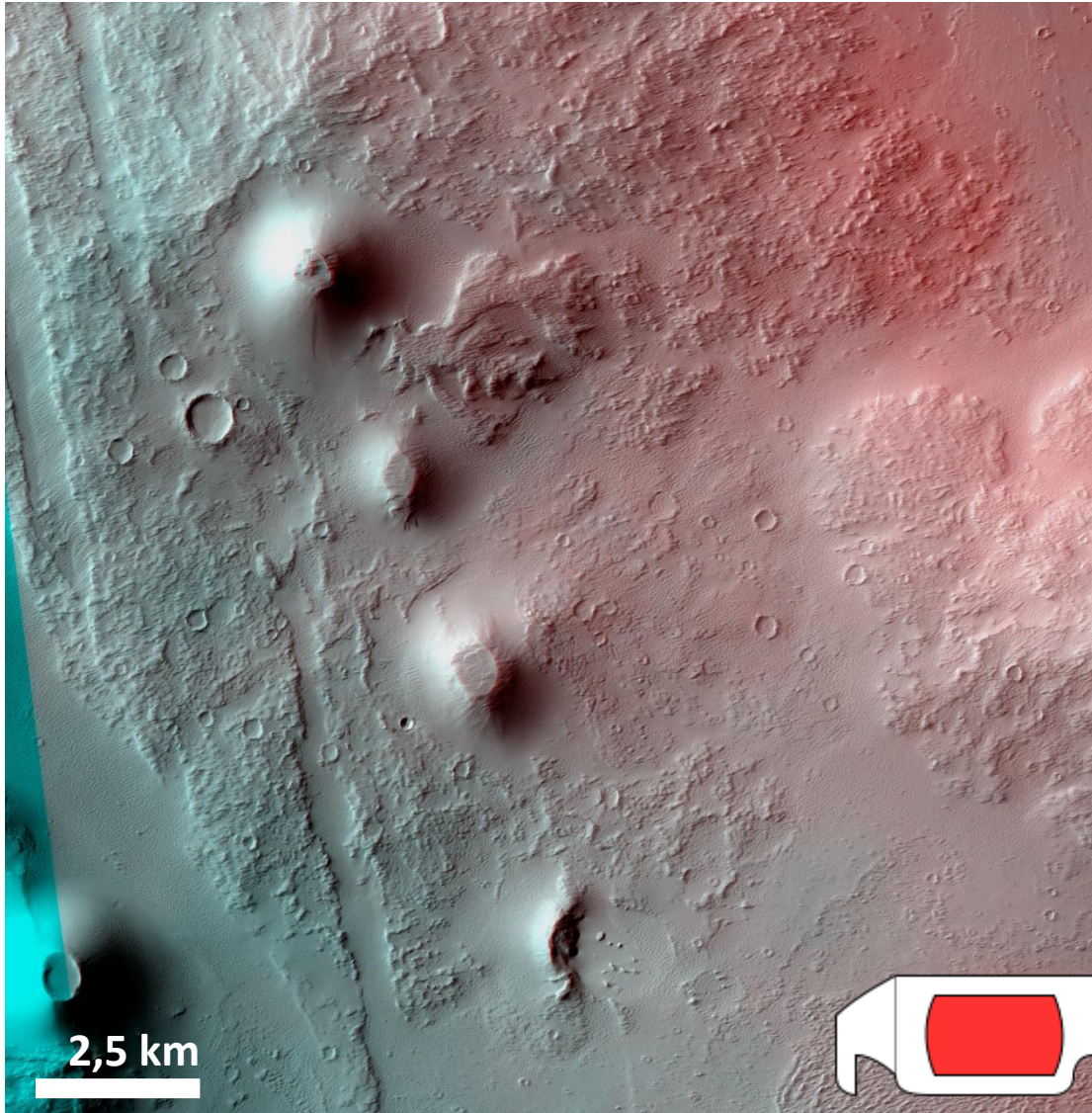
kráteru/vrcholku:
obdobný způsob
získání

Úskalí:

Kde začíná a končí
kužel?

-> Anaglyf

Analgyf



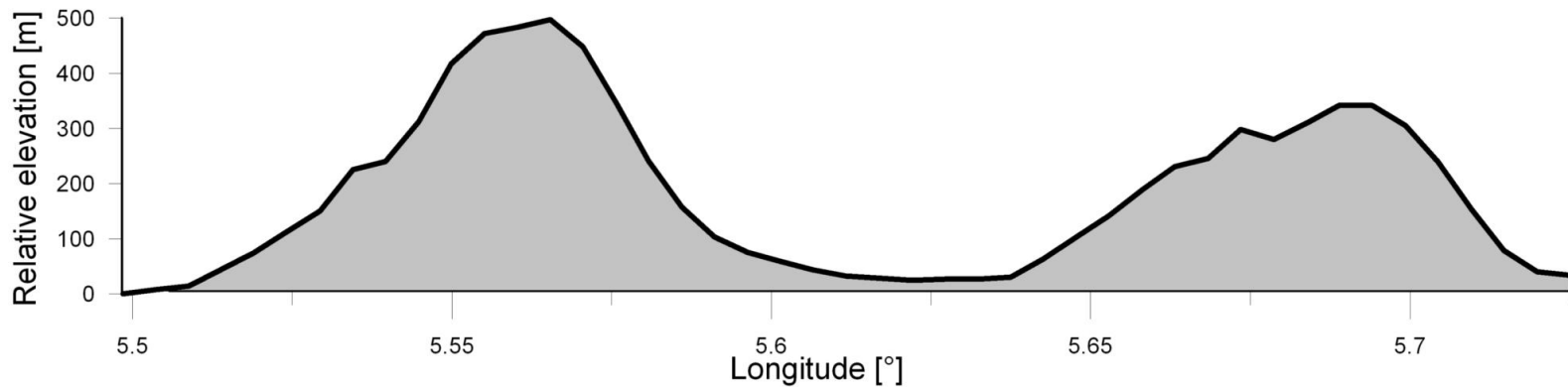
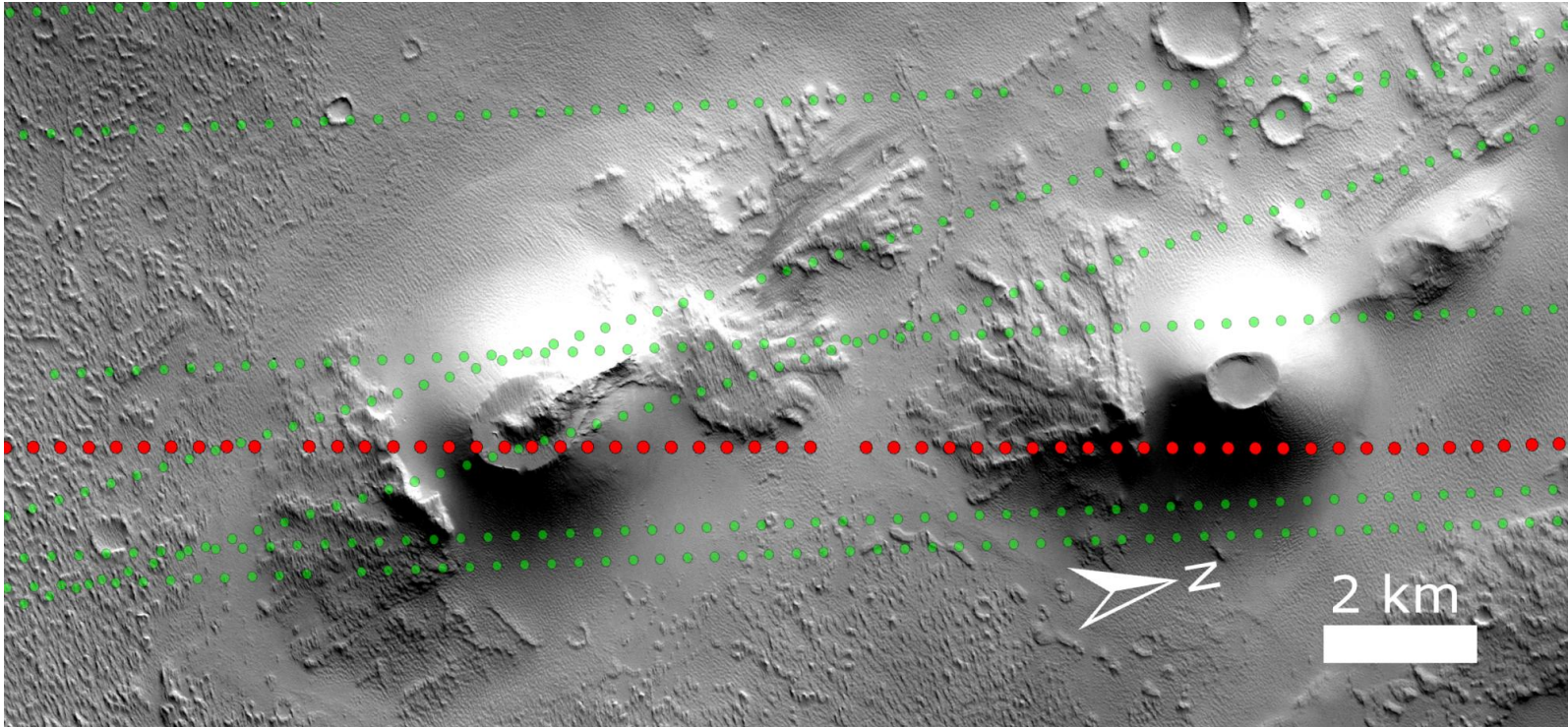
Umožňuje pozorovat vertikální rozdíly za použití speciálních brýlí.

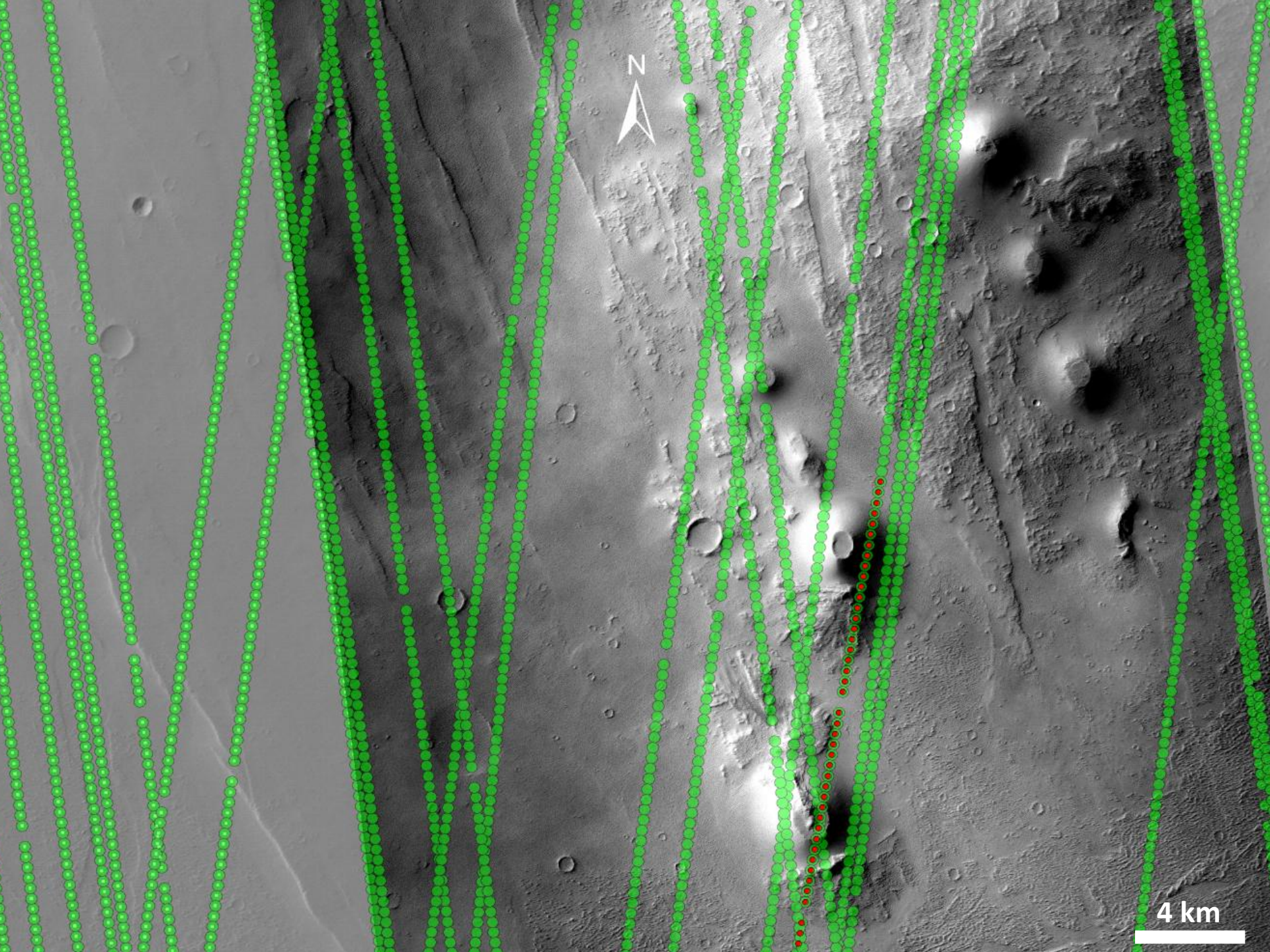
Potřeba mít dva snímky stejného území pořízené z různých úhlů.

Snadné určení hranic kuželů vzhledem k okolnímu terénu.

Topografie - MOLA

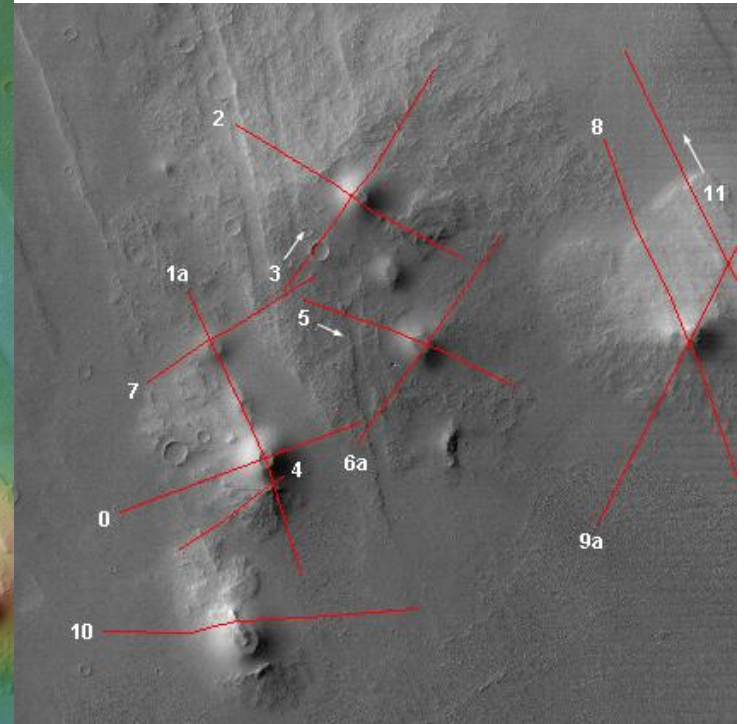
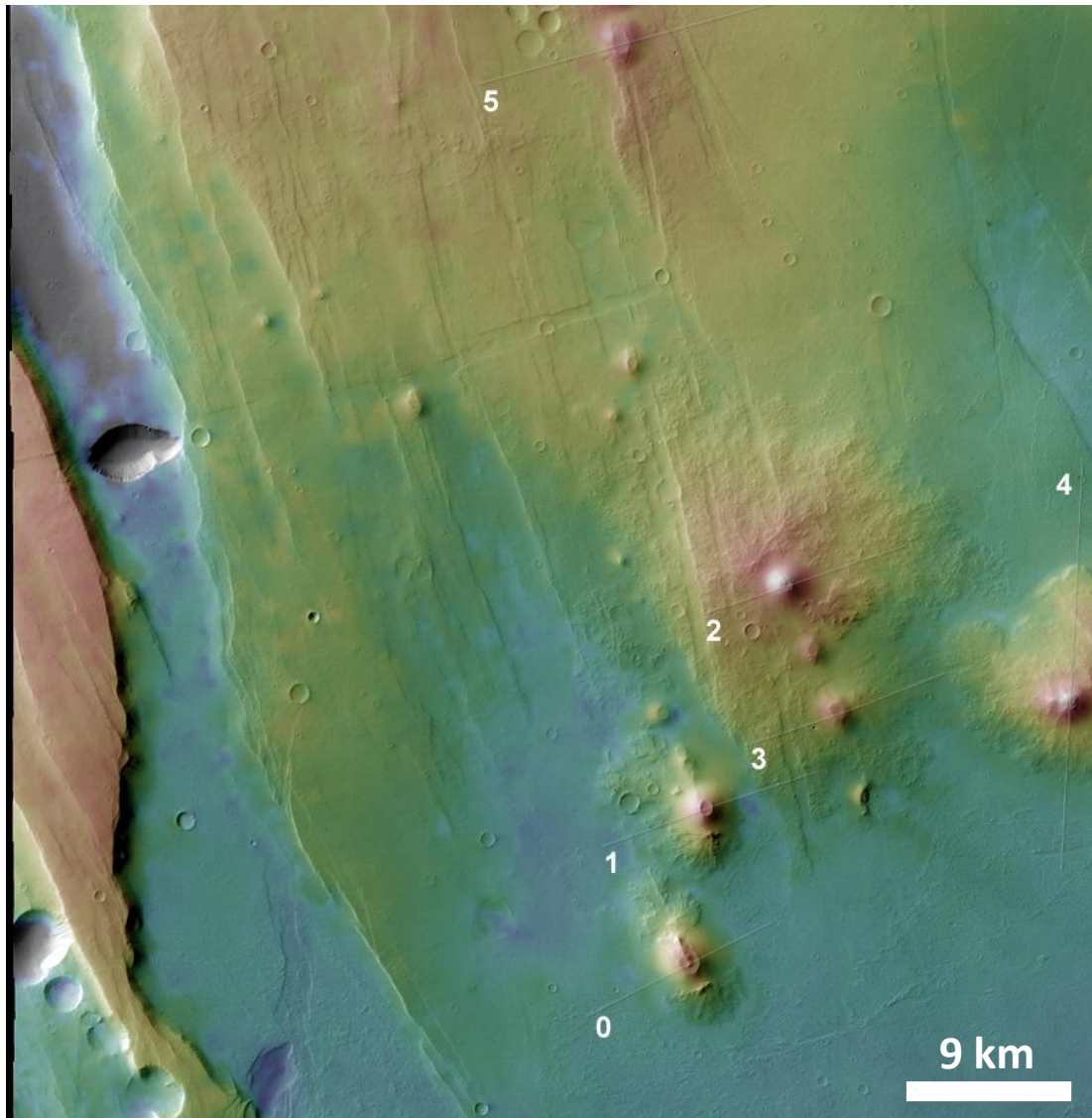
Smith et al., 2001, Glaze et al., 2003





4 km

DEM (Digital Elevation Model)



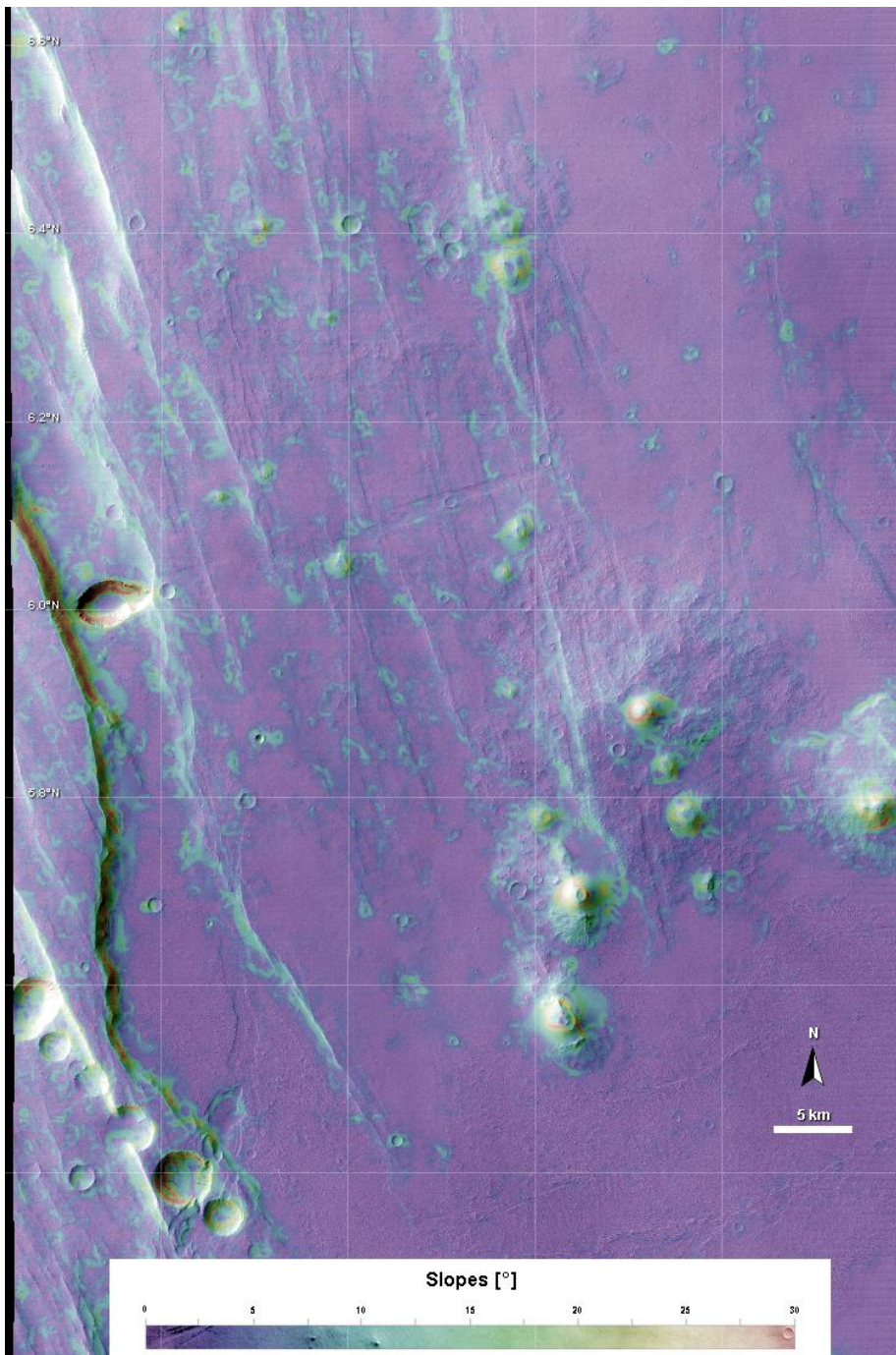
HRSC DEM

Výhoda: již existuje

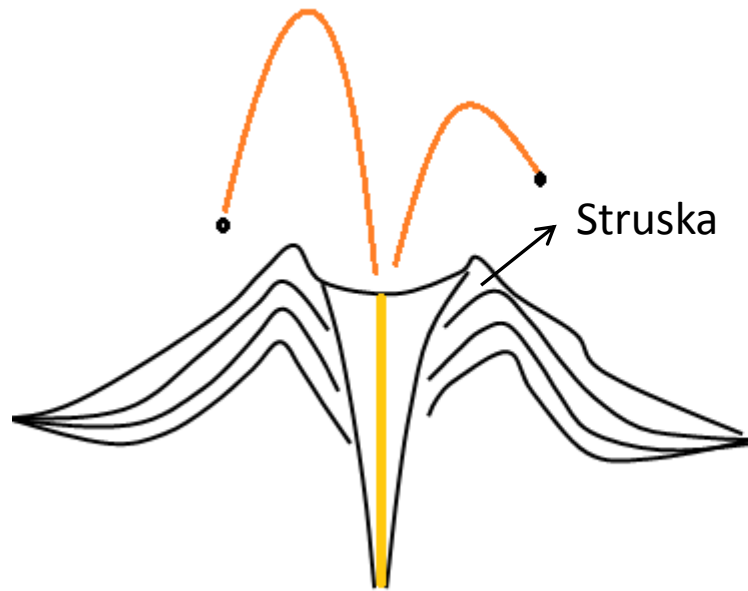
Nevýhoda: nízké rozlišení

Sklony svahů

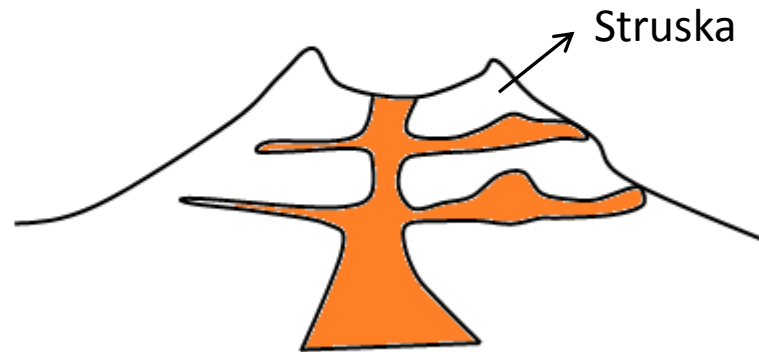
- V rozmezí 12° až 27.5° (nejstrmější sklon svahů dosahují přes 30°) v závislosti na stupni eroze
- Odpovídá pozemským hodnotám u sypaných kuželů (česrtvé sypané kužele kolem 30° , sklon se pak zmenšuje v závislosti na erozi)



Sypaný vs. kompozitní kužel



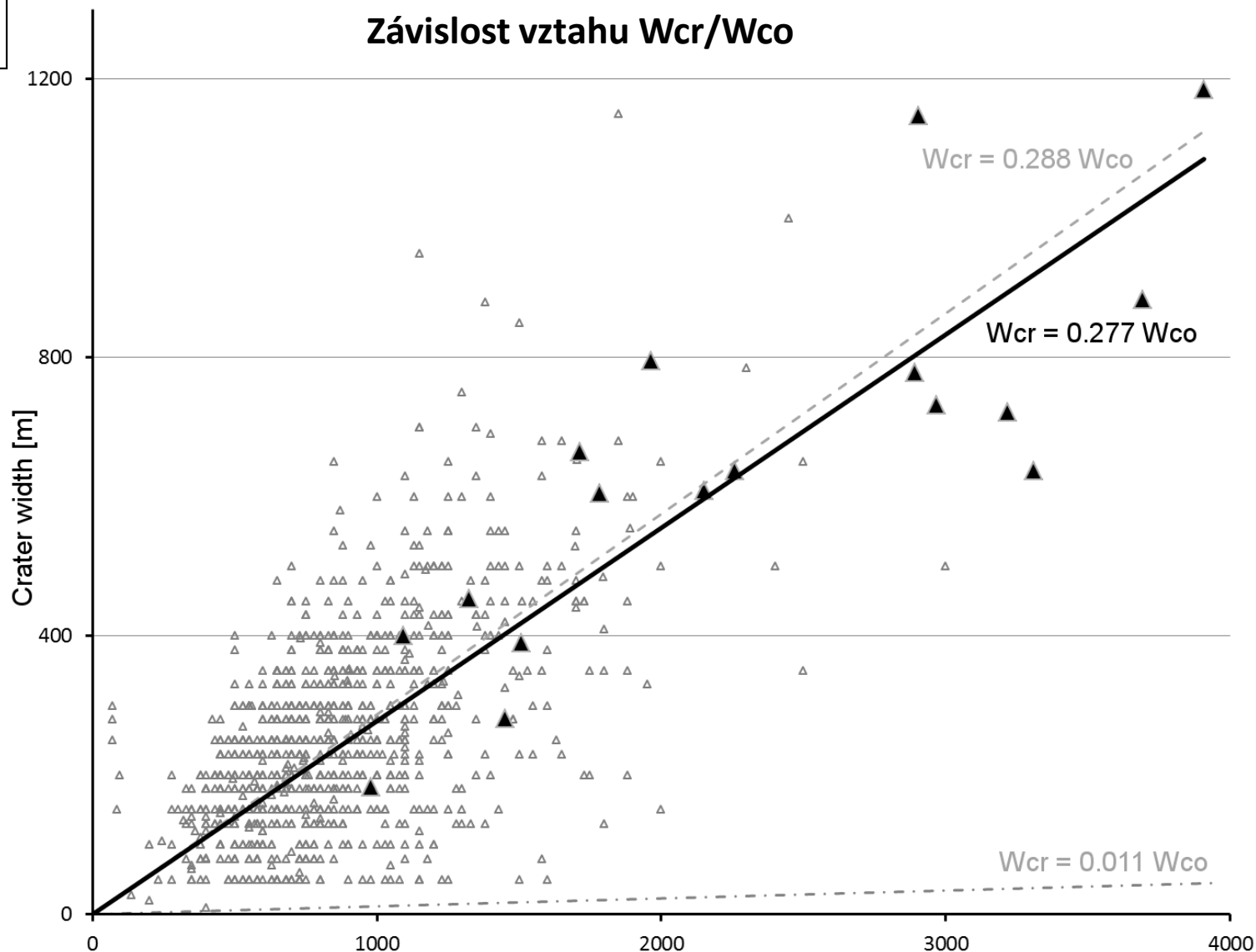
- Krátkodobá sopečná aktivita
- Kužel tvořen nezpevněnou struskou
- Láva může být přítomná, ale většinou jen závěrečný či parazitický výlev po odplynění magmatu
- $W_{cr} = 0,40 \times W_{co}$ (Wood, 1979)



- Dlouhodobá sopečná aktivita
- Střídání vrstev pyroklastického materiálu a lávy
- Mívají vyšší rychlosti erupcí a na povrch se dostává více materiálu
- $W_{cr} = 0,027 \times W_{co}$ (Pike, 1978)

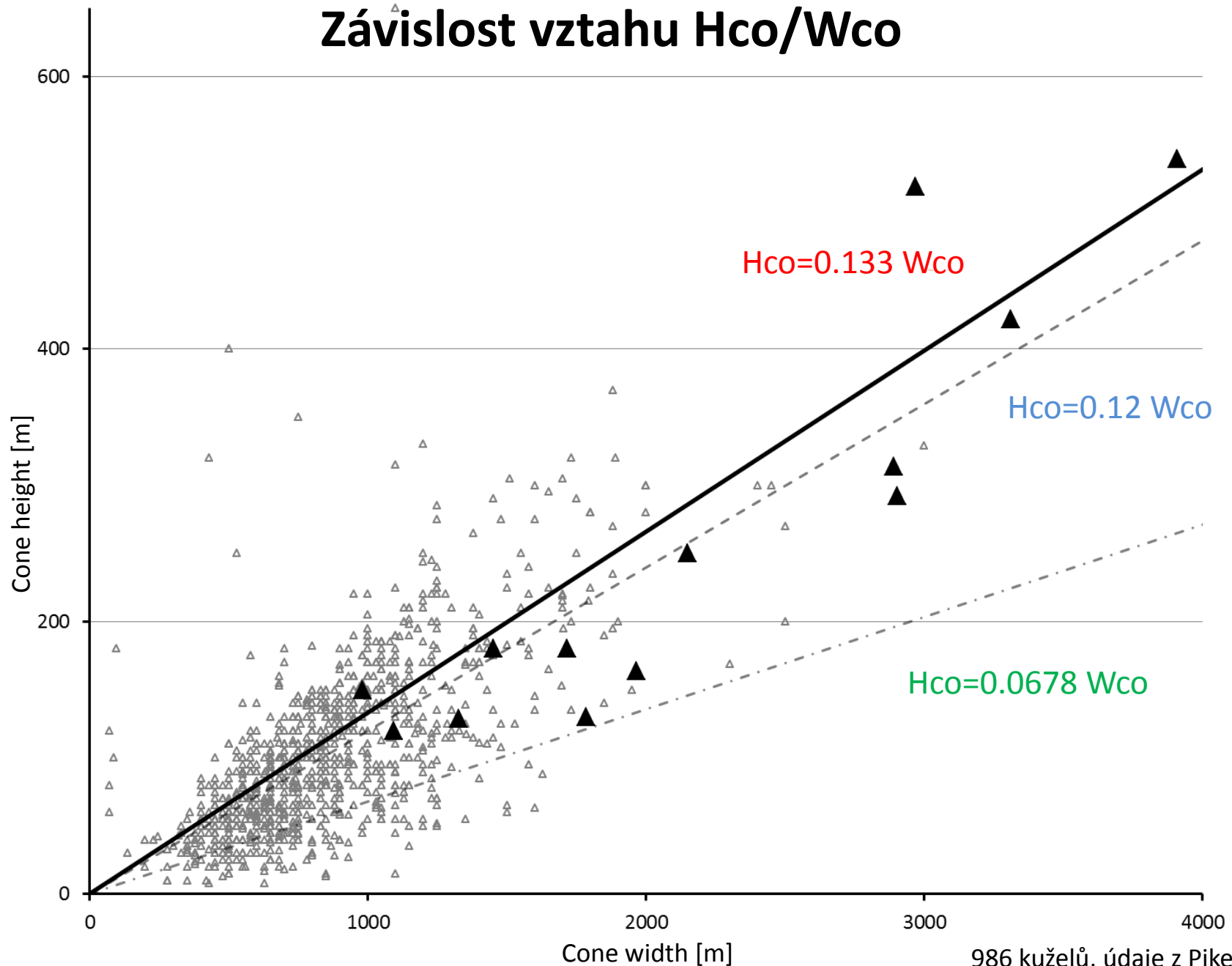
Sypané či kompozitní kužele?

A



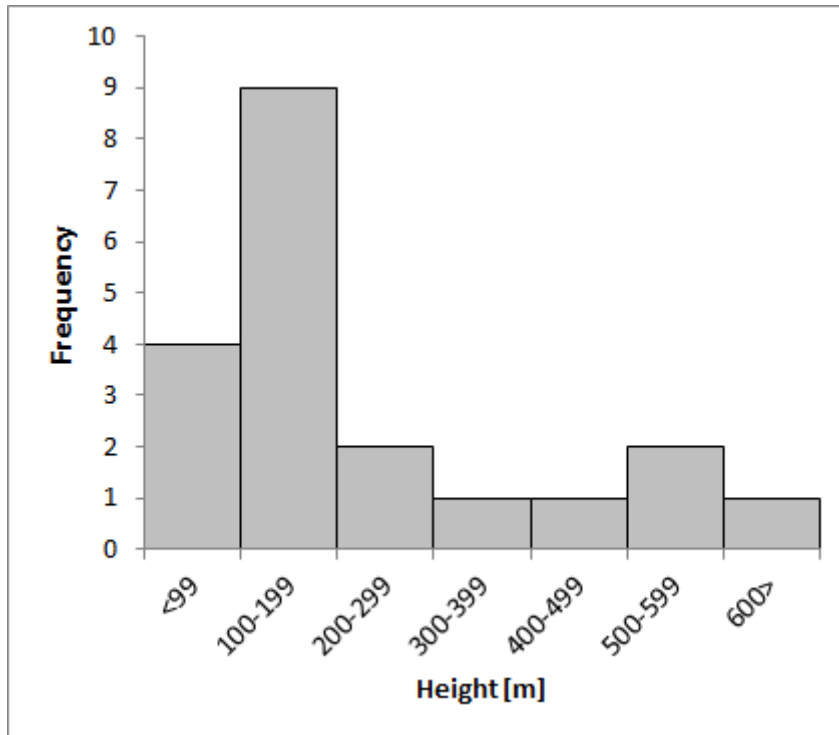
1063 kuželů, údaje z Hasenaka and Carmichael, 1985; Inbar and Risso, 2001; and Pike, 1978

Závislost vztahu H_{co}/W_{co}

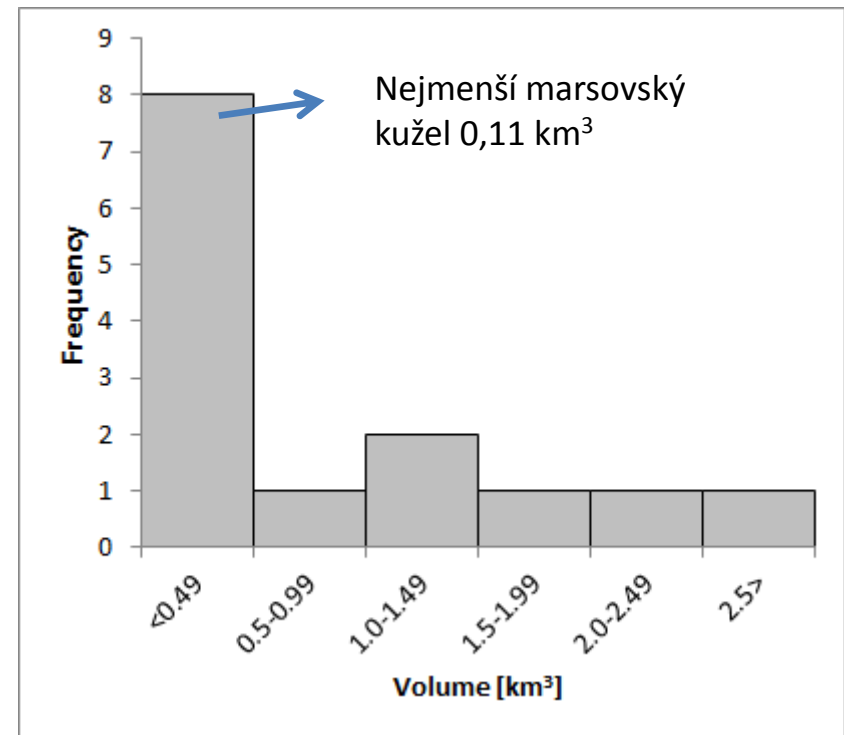


986 kuželů, údaje z Pike, 1978;
Hasenaka and Carmichael, 1989

A další statistická data...



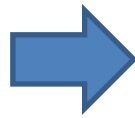
Na Zemi průměrná výška **105 m**
(spočteno ze 1063 kuželů, údaje z Hasenaka
and Carrmichael, 1985; Inbar and Risso,
2001; and Pike, 1978)



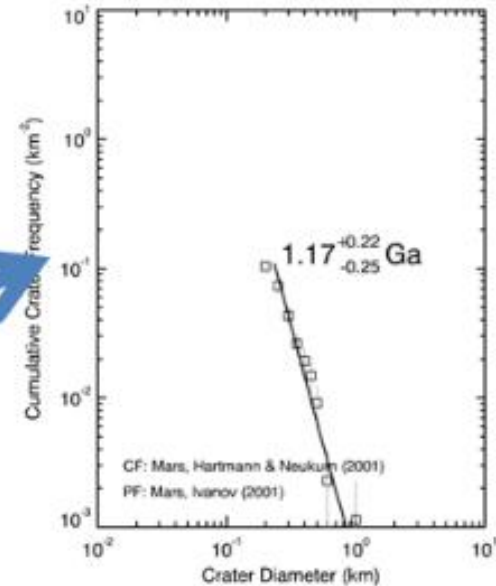
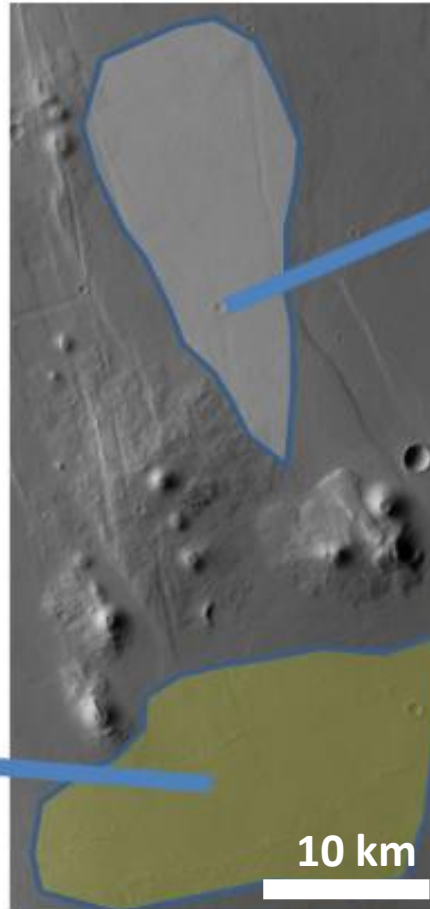
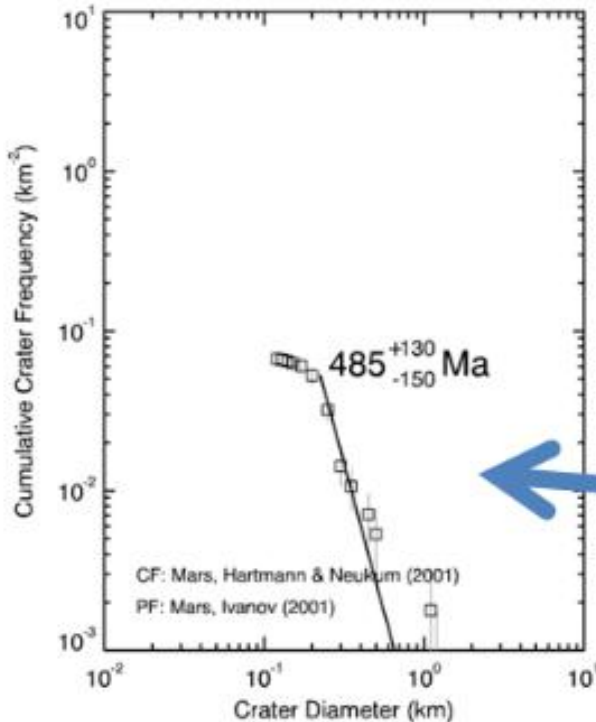
Na Zemi průměrně **0,046 km³** (spočteno
ze 986 kuželů, údaje z Pike, 1978; Hasenaka
and Carrmichael, 1989)

Absolutní datace

Problém je složitá geologická situace a příliš příkré svahy, nevhodné pro metodu „crater size-frequency distribution“



Hartman and Neukum (2001) a Ivanov (2001)

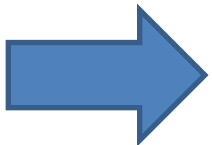


Dvě lávové planiny ohraničují nejstarší a nejmladší možný věk těles.

(Relativně) **staré**
útvary!

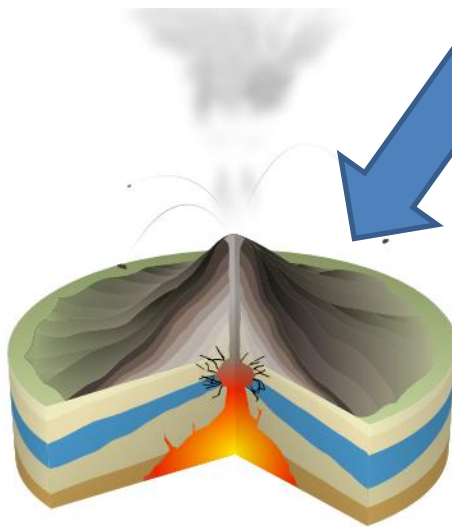
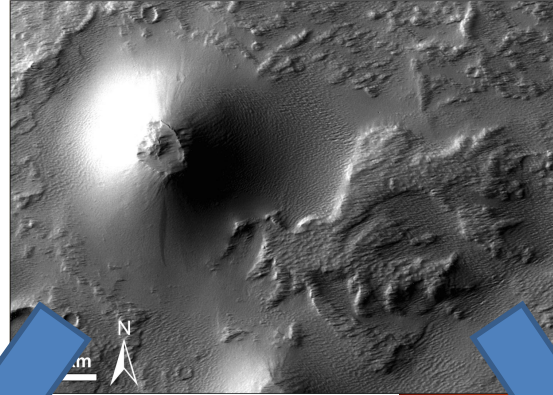
Srovnání

- Teoretické práce předpokládaly větší průměr báze sypaných kuželů na Marsu (Wilson and Head, 1994; Parfitt and Wilson, 2008) a to 2 až 3x (Dehn, 1990)
- Výška předpokládána pouze 100 m (Dehn, 1990)
- Pozorované kužele ~2,6x větší a **stovky** m vysoké
- Stejný poměr W_{cr}/W_{co} jako pozemské
- Podobný poměr H_{co}/W_{co} jako pozemské
- Podobné sklony svahů



Všechny výsledky vedou k sypaným kuželům

Jak sypané kužely vznikly?



Odplynění magmatu

Autor: Sémhur, Licence: Creative Commons 3

Zvodnělá vrstva
způsobí fragmentaci
vystupujícího
materiálu

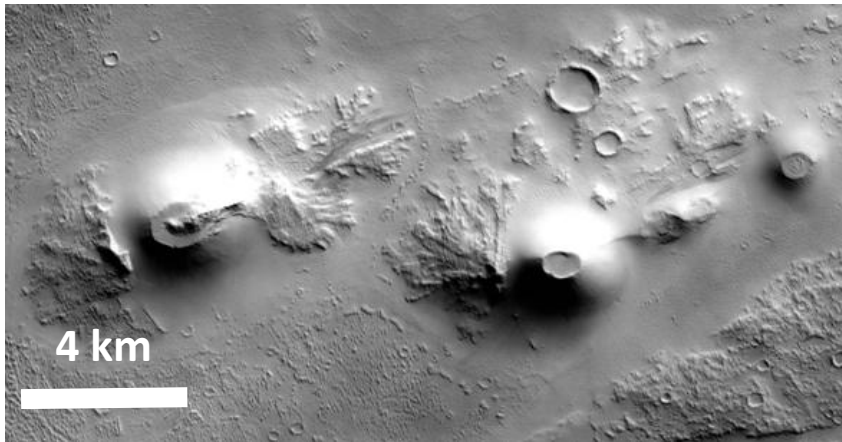
Či kombinací
obou mechanismů



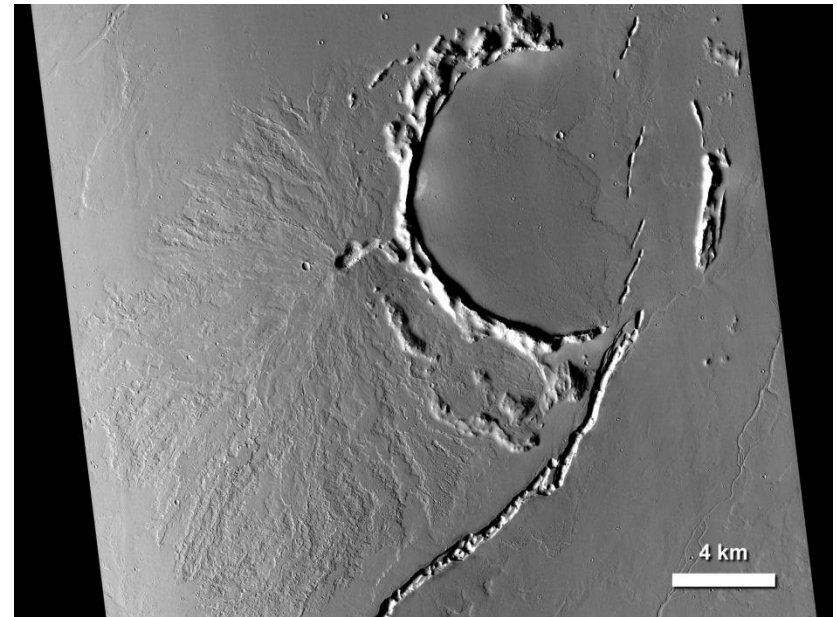
www.swisseduc.ch
www.gemoc.mq.edu.au

Když odplynění...

- Jak vysvětlit dva rozdílné druhy vulkanismu?



Vysoké zastoupení volatilií



Velice nízké zastoupení volatilií

Rozdílné zastoupení volatilií v magmatu během různého stáří (?) -> vulkanismus na Marsu se vyvíjí (?).

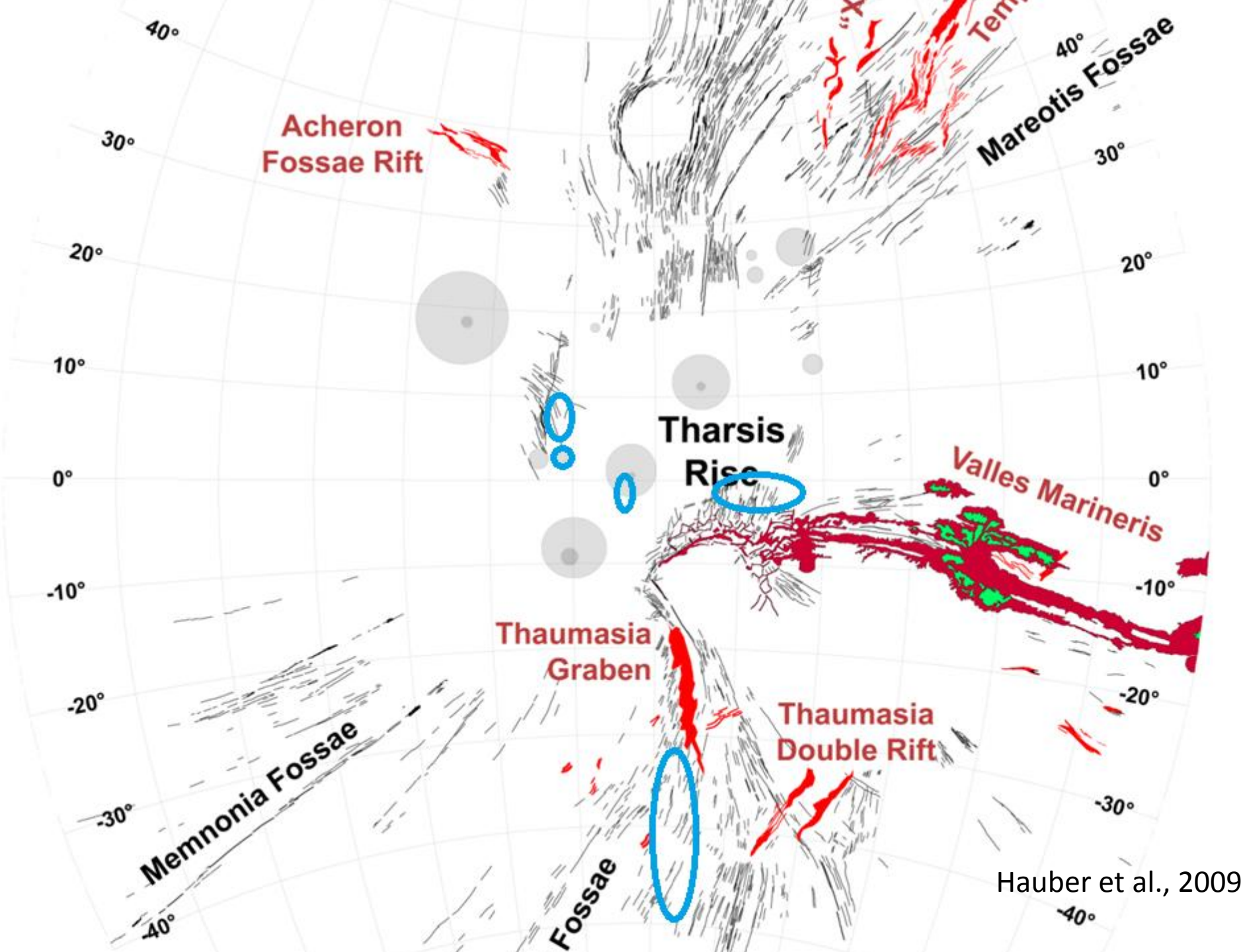
Odpovídalo by závěrům Robbins et al., (2011)

Výsledky

- Pozorování dokazují sopečný původ kuželů
- Morfologie, příbuzné lávové proudy, orientace na zlomy > vše typické pro sypané kužele
- Srovnání odpovídá pozemským analogům
- Důkaz existence volatíliemi bohatých magmat



Důkaz existence monogenních
sopek na Marsu!?



Hauber et al., 2009

A group of thin, brown, humanoid figures stands in a desert landscape. They are holding a large banner that reads "YANKEE GO HOME!". In the foreground, there are several signs: one that says "MARS FOR MARTIANS", one with a peace symbol, and one that says "EVERY BODY SPIRIT!". The scene is set against a hazy, orange sky, suggesting a sunset or sunrise. The figures are arranged in a loose formation, some holding the banner poles. The ground is sandy and rocky. In the bottom foreground, the edge of a solar panel is visible.

YANKEE GO HOME!

**MARS
FOR
MARTIANS**



**EVERY BODY
SPIRIT!**

Děkuji za pozornost!

Reference

- Bruno, B. C., S. A. Fagents, C. W. Hamilton, D. M. Burr, and S. M. Baloga (2006), Identification of volcanic rootless cones, ice mounds, and impact craters on Earth and Mars: Using spatial distribution as a remote sensing tool, *J. Geophys. Res.*, **111**, E06017, doi:10.1029/2005JE002510.
- Fagents et al., (2002), Rootless cones on Mars, kapitola v knize
- Glaze L. S., Baloga S. M., Stofan E. R. (2003) A methodology for constraining lava flow rheologies with MOLA, *Icarus*, Volume 165, Issue 1, p. 26-33.
- Hartmann W. K. and Neukum G. (2001) Cratering Chronology and the Evolution of Mars, *Space Science Reviews*, v. 96, Issue 1/4, p. 165-194.
- Hauber E., Bleacher J., Gwinner, K., Williams D., Greeley R. (2009) The topography and morphology of low shields and associated landforms of plains volcanism in the Tharsis region of Mars, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 185, iss. 1-2, p. 69-95.
- Hauber, E., P. Brož, F. Jagert, P. Jodłowski, and T. Platz , *Very recent and wide-spread basaltic volcanism on Mars*, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2011GL047310, in press.
- Ivanov, B.A. (2001), *Mars/Moon Cratering Rate Ratio Estimates*, *pace Science Reviews*, v. 96, Issue 1/4, p. 87-104 (2001).
- Pérez-López, R., et al., Scaling laws of the size-distribution of monogenetic volcanoes within the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field (Mexico), *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (2010), doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.09.006
- Pike (1978), *Volcanoes on the inner planets - Some preliminary comparisons of gross topography*
- Robbins, Stuart J.; Achille, Gaetano Di; Hynes, Brian M. (2011), *The volcanic history of Mars: High-resolution crater-based studies of the calderas of 20 volcanoes*, *Icarus*, Volume 211, Issue 2, p. 1179-1203.
- Smith, D E.; Zuber M.T., Frey H.V., Garvin J. B., Head J. W., Muhleman D. O., Pettengill G. H., Phillips R. J., Solomon S. C., Zwally H. J., Banerdt W. B., Duxbury T. C., Golombek M. P., Lemoine F. G., Neumann G. A., Rowlands D. D., Aharonson O., Ford P. G., Ivanov A. B., Johnson C. L., McGovern P. J., Abshire J. B., Afzal R. S., Sun X. (2001) Mars Orbiter Laser Altimeter: experiment summary after the first year of global mapping of Mars. *J.*
- Wood, Ch., (1979) *Monogenetic volcanoes of the terrestrial planets*. *Lunar Planet Sci. Conf.* 10th p. 2815-2840