

# Geomorfometrične analize Marsa pri uporabi DMR-ja

Tomaž Podobnikar<sup>\*</sup>, Balázs Székely<sup>\*\*</sup>

## Povzetek

Prispevek obravnava izbrane možnosti uporabe geomorfometričnih analiz pri uporabi digitalnega modela reliefa (DMR) planetov, konkretno Marsa. Primerjali smo geomorfološke značilnosti Marsa s tistimi na Zemlji ter ugotavljali možnosti za primerljivost ter parametrizacijo. Testirali smo štiri različne metode za iskanje geomorfoloških oblik na Marsu, s poudarkom na iskanju vršajev, in sicer: (1) metodo vizualizacije z različnimi tehnikami ter vizualno analizo v različnih merilih, (2) izdelavo naprednih spremenljivk na osnovi geomorfometričnih analiz DMR-ja ter klasifikacijo na z metodo ISOcluster, (3) uporabo več naprednih spremenljivk na osnovi geomorfometričnih analiz DMR-ja pri izdelavi odločitvenega modela vršajev in (4) robustno polkvantitativno klasifikacijo na osnovi segmentacije. Vse metode dajejo medsebojno primerljive rezultate. Nalogo smo izvajali na DMR-ju ločljivosti 50 m, ki je bil izdelan s pomočjo posnetkov kamere HRSC na satelitu Mars Express istoimenske misije Evropske vesoljske agencije (ESA).

## Uvod

Pri geomorfoloških analizah si lahko pomagamo tako s kvalitativnimi pristopi kot tudi s kvantitativnimi, med katere spada geomorfometrija. Čeprav je bilo veliko geomorfometričnih metod razvitih že pred stoletji, se je geomorfometrija kot veja znanosti začela razvijati šele s praktično izvedbo digitalnega modela reliefa (DMR) (Miller in Laflamme, 1958).

Ena zanimivejših vej uporab DMR-ja so analize zemeljskega površja. Razvitih je večje število metod za klasifikacijo celotnega površja ali identifikacijo in opis izbranih značilnosti površja na podlagi analiz oblik, tekstur, različnih vrst kontekstov, v več merilih, na podlagi analiz izvedenih spremenljivk reliefa ipd. (Podobnikar, 2012). Raziskovalci se danes ukvarjajo predvsem z metodami za obdelavo viskoločljivostnih lidarskih podatkov, ki neposredno uporabljajo oblak zajetih točk (in ne DMR) ter temeljijo na integraciji podatkov in metod, na adaptivnih pristopih ipd. (Podobnikar, 2005, Podobnikar in Vrečko, 2012).

Z analizo površja lahko pri izključni uporabi DMR-ja (ali lidarskega oblaka točk) nadalje sklepamo na lastnosti in pojave, ki nimajo neposredne zveze s površjem. Sklepamo lahko npr. na izbrane lastnosti geološke sestave, geofizikalnih procesov in še na marsikatero naravno (in tudi družbeno-ekonomske) značilnosti. To dejstvo še posebej pripomore pri preučevanju planetov, lun (naravnih satelitov) ali asteroidov, ki jih zaenkrat dejansko ne moremo preučevati in situ, ampak le z metodami daljinskega zaznavanja.

Metodološko je pri tem pomembna možnost primerjave značilnosti površja, ki jih poznamo na Zemlji, s tistimi, ki jih preučujemo na izbranem planetu. Ne glede na to, da so fizične oz. geomorfološke lastnosti planetov različne zaradi različnih procesov pri njihovem razvoju, lahko v praksi najdemo veliko relativno podobnih značilnosti, ki pa se zagotovo razlikujejo v nekaterih podrobnostih. Geomorfološke/geomorfometrične analize

---

<sup>\*</sup> ZRC SAZU, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana in UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

<sup>\*\*</sup> Oddelek za geofiziko in vesoljske znanosti, Univerza Eötvös, Pázmány P. sétány 1/C, H-1117 Budimpešta, Madžarska in TU Dunaj, Inštitut za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Dunaj, Avstrija

planetov so torej raziskovalni izziv. Primer je preučevanje lastnosti planetov, s čimer bolje razumemo procese na posameznem planetu in obratno: razumevanje določenih značilnosti planetov lahko pomaga pri preučevanju pojavov na Zemlji.

V članku se osredotočamo na planet Mars. Razprava se začne s primerjavo geomorfoloških značilnosti Zemlje in Marsa. Nadaljuje se s predstavitvijo projekta Mars Express, v okviru katerega se izdeluje natančen DMR celotnega planeta. Razprava se zaključi s predstavitvijo raziskave iskanja vršajev pri uporabi DMR Marsa za izbrana testna območja.

### Primerjava geomorfoloških značilnosti Zemlje in Marsa

V tem poglavju prikazujemo izbrane značilnosti, predvsem (areo)morfološke (Mars = Ares, Zemlja = Gea), tako na Zemlji kot na planetu Marsu. Slika 1 (a) prikazuje del največje doline v našem osončju, Valles Marineris na Marsu, z vršaji. Pokrajino, ki je zelo podobna tisti na Marsu, najdemo v puščavi Atacama. V prikazanem primeru (b) se dolina z vršaji zajeda v puščavsko pokrajino. Razlike v prikazanih primerih so predvsem v značilnostih primerljivih vršajev fine mivke, saj so tisti na Marsu praviloma položnejši.



a) b)  
Slika 1 – Pokrajina z dolino: (a) območje v Vzhodni Candor Chasmi, Valles Marineris, Mars ( $6^{\circ} 18' J$ ,  $69^{\circ} 10' Z$ ) (HiRISE, NASA, 21.1.2008, Google Mars) in (b) podobna pokrajina v Atacami: dolina reke Lluta ( $18^{\circ} 25' J$ ,  $70^{\circ} 00' Z$ ) (fotografija: Podobnikar, 13. 11. 2009)

Naslednji primer prikazuje vulkanizem (Slika 2). Prikazan je največji vulkan v našem osončju, Olympus Mons (a), ki je visok 22 km, kaldera je velikosti 60 krat 80 km in globoka do 3,2 km. Celotna površina vulkana je bistveno večja od Slovenije. Povprečni naklon vulkana je le  $5^{\circ}$ . Glede na velikost planeta in dimenzije vulkana, z roba kaldere ne bi videli podnožja. Na Marsu je sicer še nekaj zelo velikih vulkanov, hkrati pa tudi mikro vulkanov dimenzij v rangu nekaj 100 m. Zemeljski vulkani so v primerjavi z vulkani istega tipa na Marsu precej manjši (b) ter drugih proporcev.

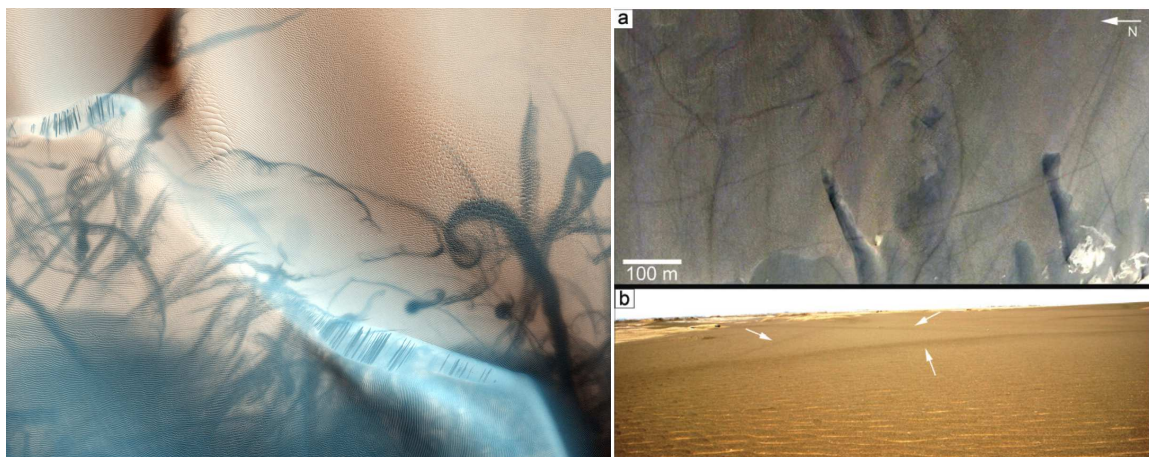


a)

b)

Slika 2 – Vulkani: (a) Olympus Mons, Mars ( $18^{\circ} 15' S$ ,  $133^{\circ} 15' Z$ ) (analitično senčen relief na osnovi vira: MOLA, NASA), (b) Pomerape in Cerro Prinacota, Atacama ( $18^{\circ} 10' J$ ,  $69^{\circ} 9' Z$ ) (fotografija: Podobnikar, 13. 11. 2009)

Naslednji primer (Slika 3) obravnava sledi, ki jih za sabo puščajo vrtinci puščavskega peska. Od daleč izgledajo kot dim, ki se lijakasto širi v višino. Nastajajo zaradi lokalnih anomalij temperature oz. zračnega tlaka pri segrevanju sonca. Taki vrtinci nastajajo na večjem delu Zemlje in tudi Marsa. Največji in najvidnejši so v peščenih puščavah na obeh planetih. Na Marsu že nekaj časa opažajo temne (redko tudi svetle) sledi, ki ostanejo za takimi vrtinci (a). Do pred kratkim je bil vzrok za nastanek sledi za vrtinci neznanka, poleg tega pa podobnega pojava niso opazili na Zemlji. Uganko je razrešila skupina z Reissom (b), ki je v puščavi Turpan, Kitajska (Grossman, 2011), ugotovila, da vrtinec odstrani zelo fino mivko, katere zrna so manjša od približno  $60 \mu m$ . Sledi vrtincev so našli tako na satelitskem posnetku kot pri terenskem pregledu. Te sledi so sicer precej manj izrazite kot tiste na Marsu. V opisanem primeru podobnega pojava na Zemlji verjetno še dolgo časa ne bi odkrili, če ne bi imeli očitnega zgleda na Marsu.



a)

b)

Slika 3 – Vrtinci puščavskega peska: (a) Mars ( $26^{\circ} 40' S$ ,  $62^{\circ} 50' V$ ) (HiRISE, NASA, 24. 8. 2009), (b) puščava Turpan, Kitajska ( $42^{\circ} 40' S$ ,  $89^{\circ} 50' V$ ) (Reiss et al. 2011, Quickbird 3. 4. 2005)

Primer pokrajine, za katero še niso našli odgovarjajoče na Zemlji, je t. i. geomorfološka oblika »švicarski sir«. Vzorci te pokrajine se spreminjajo (območja vboklin »rastejo« 1 do 3 m letno) in jih najdemo na južnem polu Marsa (Slika 4). Predvidevajo, da gre za sloje



zmrznjenega ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) v debelini okoli 8 m in dimenzij nekaj sto metrov, ki ležijo na ledu vode (H<sub>2</sub>O) (Byrne, 2002).



Slika 4 – Pokrajine na Marsu, za katere še niso odkrili primerljivih na Zemlji: primer za obliko z imenom »švicarski sir« v bližini južnega pola (HiRISE, 28. 8. 2007, NASA)

Poleg obravnavanih primerov je na planetu Mars še veliko drugih primerov geomorfoloških oblik in površinskih procesov, ki so relativno enostavno primerljivi s tistimi na Zemlji. Primeri tistih, ki so relativno dobro raziskani, so proženje plazov in nastajanje vršajev (v daljni preteklosti so jih oblikovale tudi reke), meteoritski kraterji (teh je na Zemlji vidnih le 182; Earth Impact Database, 2011), okamneli tokovi lave, klifi, puščavske eolsko oblikovane sipine ipd. Manj raziskani so gejzirji, črne črte (drug material pod plazovi prahu (?), voda (?), organizmi (?)) itd.

Pri raziskavah planeta Marsa s pomočjo senzorjev (tipal) daljinskega zaznavanja se soočamo z naslednjimi pomembnejšimi razlikami v primerjavi z opazovanji na Zemlji:

- atmosferski vplivi so na Marsu manjši kot na Zemlji [prednost]
- na Marsu ni vegetacije in (še zelo malo) antropogenih vplivov [prednost]
- površje Marsa je precej manj razgibano kot zemeljsko ter puščavsko [problem slikovnega ujemanja in s tem položajne natančnosti prostorskih podatkov]
- površje Marsa je precej starejše od zemeljskega (predvsem posledica neizrazite tektonike, manj izrazite erozije, vulkanizma, procesov poledenitve ipd.), kar se odraža npr. tudi v tem, da je na Marsu vidnih veliko meteoritskih kraterjev [proces spreminjanja površja lahko spremljamo dlje v preteklost]

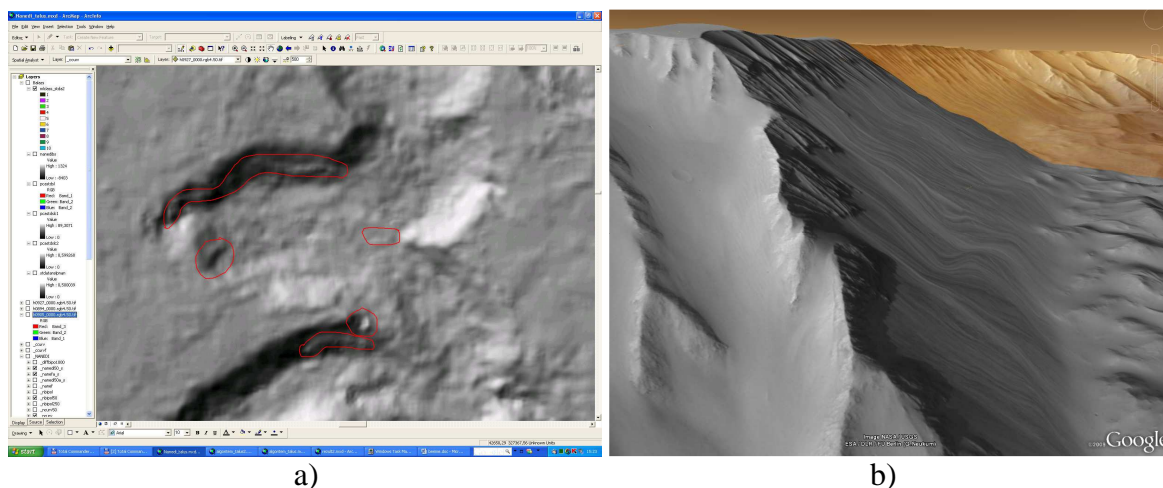
### **Projekt Mars Express in DMR planeta**

Misija oz. odprava Evropske vesoljske agencije (ESA) Mars Express (2011) je dobila ime po umetnem satelitu, ki so ga izstrelili z Zemlje 2. 6. 2003. Satelit je v orbiti Marsa od 25. 12. 2003. Naziv »express« je misija dobila zato, ker je bila cenejša od primerljivih, poleg tega pa je bila njena izvedba relativno hitra. Misijo še vedno podaljšujejo, trenutno predvidevajo, da jo bodo zaključili leta 2014. Satelit ima maso 1120 kg in je opremljen z velikim številom instrumentov.

Za izdelavo DMR-ja je najpomembnejši instrument »High Resolution Stereo Camera« (HRSC) (Jaumann et al., 2007). Gre za kamero (fotografski aparat) dimenzij 515 x 300 x 260 mm, mase 20,4 kg, porabe 48,7 W, s 5 pankromatskimi in 4 barvnimi kanali (modri, zeleni, rdeči in NIR) t. i. »full colour«, s poljem vidnosti 11,9°, s senzorjem CDD 9 x 5272 pikslov (stereo kot  $\pm 18,9^\circ$ ), z ločljivostjo 10 m/piksel (maksimalno 2 m), s širino signala 52,2 km (vsi podatki so izračunani glede na orbito 250 km višine). Kamera vsebuje tudi »Super Resolution Channel« (SRC). Izdelali so jo skupaj na DLR, FU Berlin in ESA. Gre torej za projekt Evropske vesoljske agencije s 43 raziskovalnimi skupinami iz 10 držav (brez Slovenije).

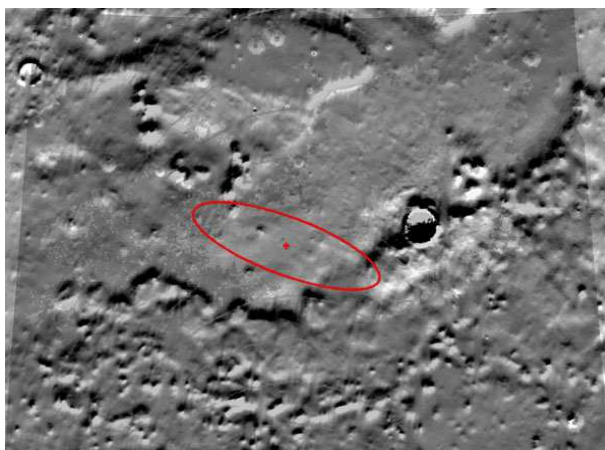
Izdelan je bil DMR z ločljivostjo 50 m in natančnostjo okoli 10 m (Heipke et al., 2007), ki je bil dodatno izboljševan (predvsem zaradi napak slikovnega ujemanja na geomorfološko neizraziti pokrajini, slabih kontrastov na večjih osvetljenih ali osenčenih površinah, ujemanja pasov in interpolacije ter s tem pojavljanja grobih napak, Slika 5). Problem je tudi različna ločljivost originalnih posnetkov, kar je posledica izrazito eliptične orbite satelita Mars Express. DMR je izdelan na osnovi stereoparov ter slikovnega ujemanja. Mars je v večjem delu pokrit z DMR-jem te ločljivosti, kar pomeni, da imamo za Mars kot celoto na voljo DMR večje ločljivosti kot za Zemljo.

Ob tem velja omeniti tudi druge DMR-je planeta Marsa. Trenutno najboljši DMR za celoten planet je bil izdelan s pomočjo instrumenta Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) (laserski višinomer) na satelitu Mars Global Surveyor (MGS), NASA (MOLA, 2007). MGS je bil izstreljen 7. 11. 1996, deloval je do leta 2001. Šlo je za misijo kartiranja Marsa v treh letih, ki pa je dejansko trajala štiri leta in pol. Prvi podatki so na voljo od leta 2000, končna različica pa od 7. 5. 2003. Ločljivost DMR-ja je 128 pikslov na kotno stopinjo ali pribl. 500 m na ekvatorju. Izboljšan DMR je izdelan na osnovi misije MOLA Mission Experiment Gridded Data Record (MEGDR) in je na voljo od leta 2003.



Slika 5 – (a) DMR HRSC in napake zaradi problemov slikovnega ujemanja na neizrazitem površju Nanedi Valles ( $7^\circ$  S,  $48^\circ$  Z), (b) problem natančnosti DMR-ja MOLA na pobočju Zahodne Candor Chasme, Valles Marineris ( $6^\circ$  J,  $77^\circ$  Z) – valovitost reliefa (Google Mars)

Najstarejši digitalni model celotnega Marsa je bil izdelan z digitalizacijo izohips topografskih kart Marsa v merilu 1 : 2.000.000 in interpolacijo v ločljivost 64 pikslov na kotno stopinjo. Najnatančnejši modeli Marsa so izdelani s pomočjo instrumenta »High Resolution Imaging Science Experiment« (HiRISE), NASA, na satelitu Mars Reconnaissance Orbiter, ki pa so le lokalni in so še posebej uporabni za natančen posnetek območij pristajanja satelitov (primer za Phoenix, Slika 6).



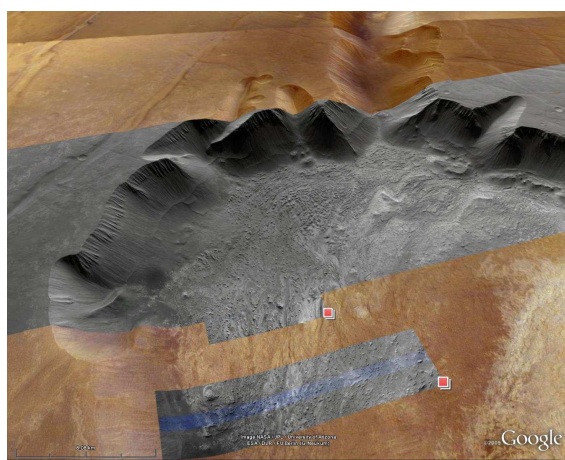
Slika 6 – DMR na osnovi HiRISE (68° S, 126° Z) (NASA, 24. 5. 2008)

### Predstavitev raziskave iskanja vršajev pri uporabi DMR-ja Marsa

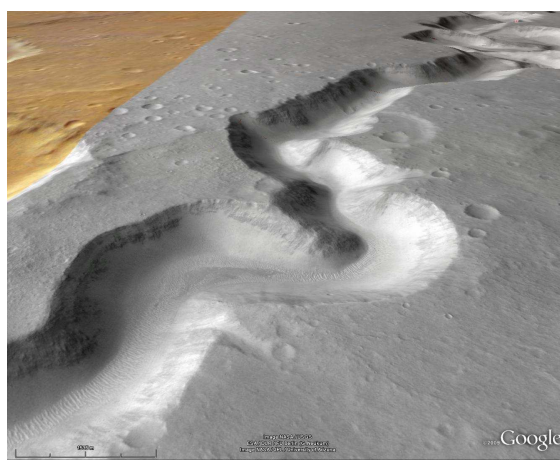
Nestabilna pobočja dolin so pogosto pokrita z vršaji (z grušči ali s podžlebnimi melišči) (Podobnikar in Székely, 2008). Geomorfološka oblika različnih tipov vršajev je določena z materialom (gradivom), ki ga sestavlja (pogosto gre za slabo razvrščen material). Oblika vršajev na Marsu je pogojena glede na Zemlji različne okoljske pogoje: manjša gravitacija (pribl. 38 % zemeljske), (danes) pomanjkanje fluvialne erozije, več prostega materiala (pogosto vetrnih nanosov), in značilna velika območja pobočij – kar pomeni, da so vršaji pomembne morfološke značilnosti na Marsu.

Cilj raziskave je izključna uporaba DMR-ja. Prednosti uporabe DMR-ja v primerjavi s posnetki daljinskega zaznavanja so (Székely in Podobnikar, 2009): (i) popolna kontrola procesiranja, saj zanemarimo položaj sonca, vremenske in atmosferske pogoje, (ii) možnost relativno enostavnega spreminjanja merila in (iii) možnost kombiniranja različnih metod. Pomanjkljivosti so: nizka stopnja določanja detajlov (predvsem za Mars) in možnost pojavljanja grobih napak na DMR-ju.

Izvedli smo raziskavo iskanja vršajev na različnih območjih planeta Marsa. Uporabljali smo omenjeni DMR HRSC ločljivosti 50 m. Slika 7 prikazuje pomembnejši testni območji (a) Zahodna Candor Chasma in (b) Nanedi Valles.



a)



b)

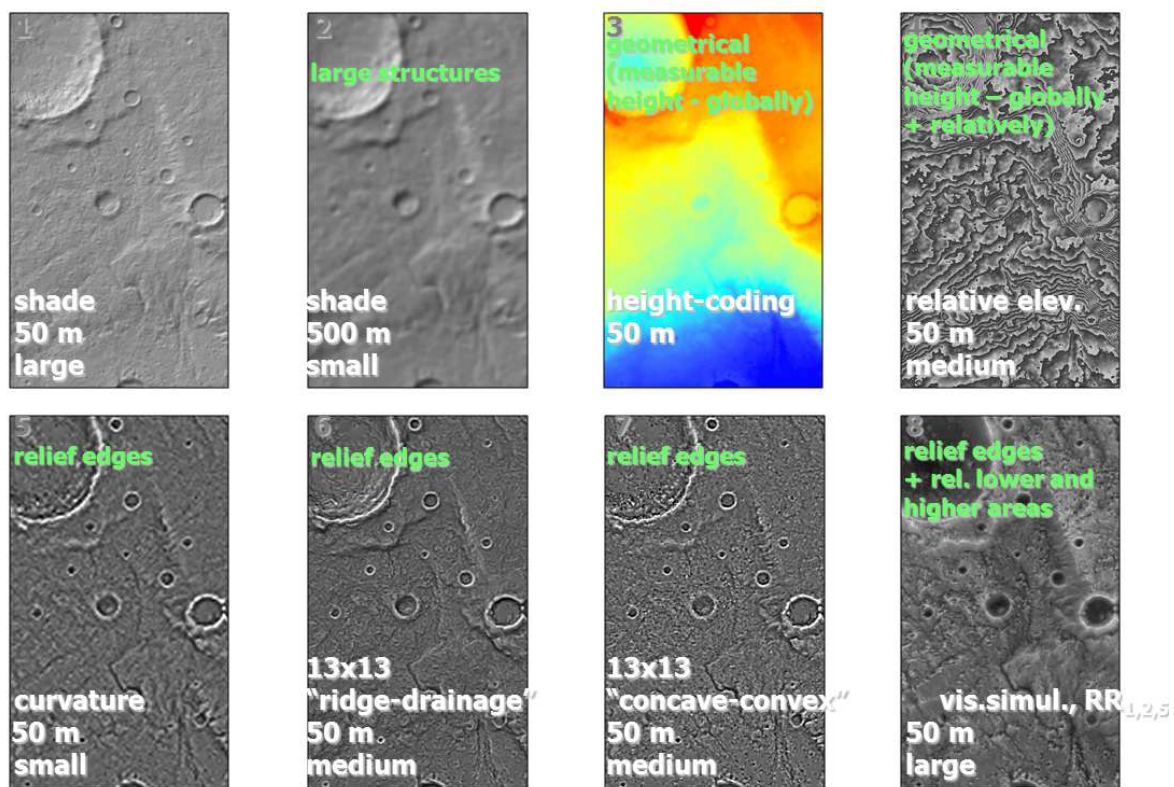


Slika 7 – Testni območji za identifikacijo vršajev: (a) Zahodna Candor Chasma (6° J, 77° Z), (b) Nanedi Valles (7° S, 48° Z). Območja potencialnih vršajev so vidna kot gladke površine na pobočjih.

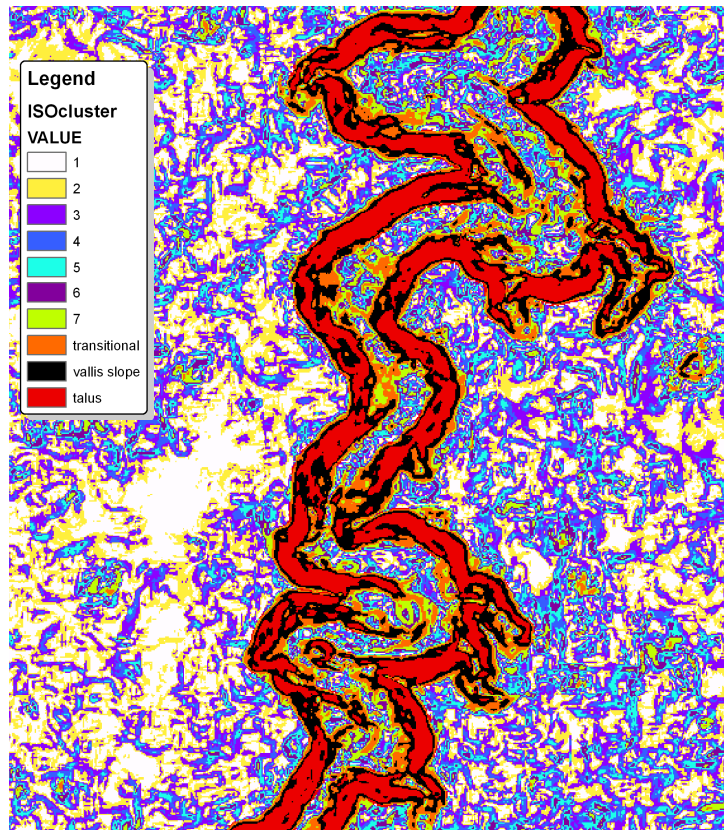
V vseh primerih smo delali vzporedne analize s primerljivimi območji na Zemlji, predvsem na območju Slovenije in Avstrije (Székely in Podobnikar, 2008). Analize so predvsem primerjale podobne geomorfološke oblike, podatke ter posledično parametre analiz. Pri analizah smo testirali tudi različno programsko opremo. V nadaljevanju navajamo štiri napredne tehnike ter rezultate, in sicer:

- metoda vizualizacije z različnimi tehnikami ter vizualna analiza (v različnih merilih) (Podobnikar in Dorninger, 2007, Slika 8),
- izdelava naprednih spremenljivk na osnovi geomorfometričnih analiz DMR-ja ter klasifikacija na osnovi ISOcluster (Székely et al., 2002; Székely in Podobnikar, 2009, Slika 9),
- uporaba več naprednih spremenljivk na osnovi geomorfometričnih analiz DMR-ja pri izdelavi odločitvenega modela vršajev (Székely in Podobnikar, 2009, Slika 10),
- robustna polkvantitativna klasifikacija na osnovi segmentacije (Székely et al., 2011, Slika 11).

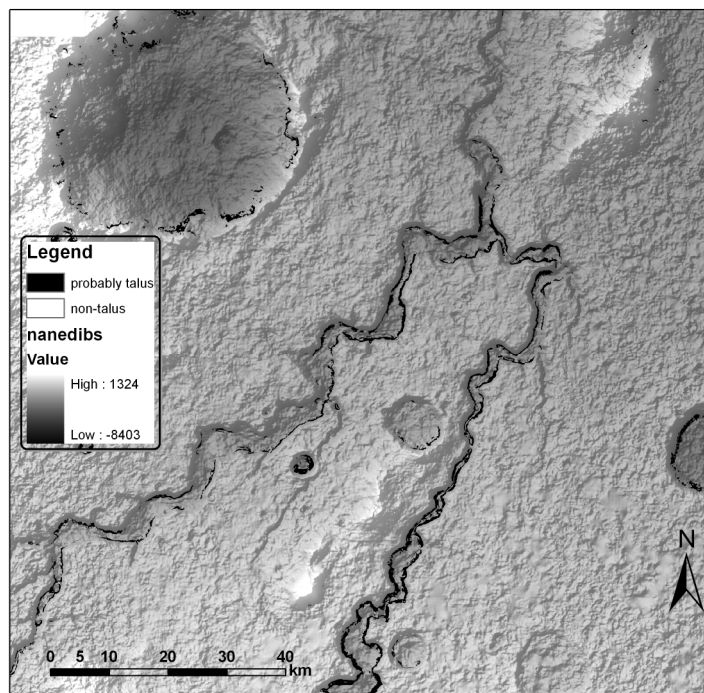
Vse tehnike so podrobneje opisane v navedenih publikacijah, v tej predstavitvi pa so rezultati prikazani le s slikami rezultatov. Navedene tehnike upoštevajo tako kvalitativne kot kvantitativne pristope.



Slika 8 – Vizualizacija geomorfoloških oblik ter vizualna analiza (Thaumasia Fossae, DMR HRSC, orbita 266, 43° J, 95° Z)

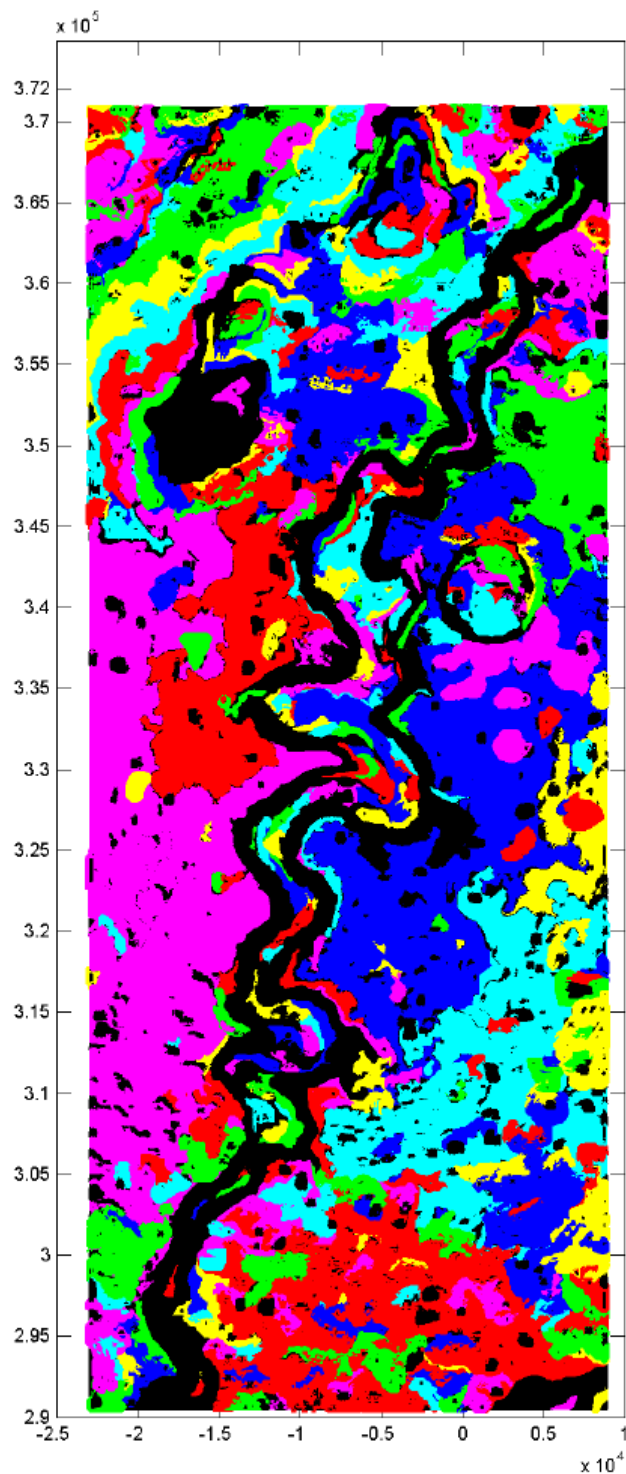


Slika 9 – Klasifikacija na osnovi metode ISOcluster. Površina vršajev je označena z rdečo. Na območju med rdečima pasovoma je dolina (vallis), Nanedi Valles (DMR HRSC, orbita 1235, 7° S, 48° Z).



Slika 10 – Izdelava potencialne ploskve vršajev na osnovi odločitvenega modela. Temnejši odtonek pomeni večji potencial za pojavljanje vršajev, Nanedi Valles (DMR HRSC, orbita 1235, 7° S, 48° Z).





Slika 11 – Robustna polkvantitativna klasifikacija na osnovi segmentacije. Črna barva predstavlja potencialna območja vršajev, Nanedi Valles (DMR HRSC, orbita 1235, 7° S, 48° Z).

### Zaključki

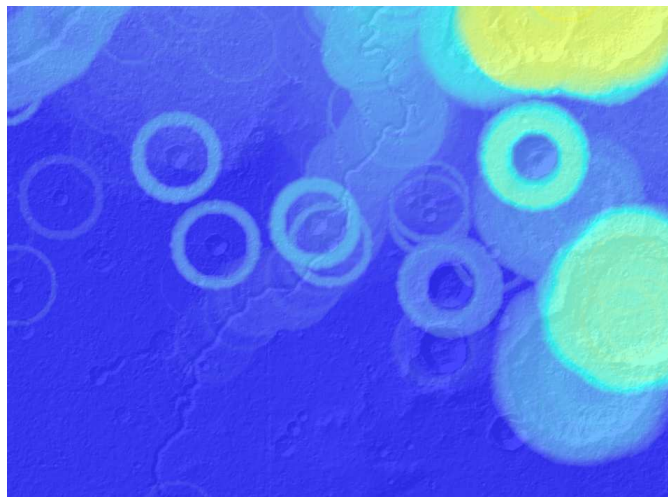
V razpravi smo primerjali izbrane geomorfološke značilnosti Marsa s tistimi na Zemlji ter ugotavljali možnosti za primerljivost ter parametrizacijo. Osredotočili smo se na sloj

DMR-ja, in sicer izdelanega na osnovi satelitskih posnetkov kamere HRSC, ki deluje v projektu Mars Express.

Primerjalno smo uvedli štiri različne razvite metode za iskanje geomorfoloških oblik na Marsu, s poudarkom na iskanju vršajev. Vse metode dajejo primerljive rezultate, in sicer na podlagi rezultatov medsebojne primerjave in primerjave s podatki Google Mars. Dosedanja primerjava je temeljila na enostavnem prekrivanju rezultatov in osnovni statistični primerjavi ter na metodah vizualne primerjave (Podobnikar, 2009).

Metode in rezultate kvalitativnih in kvantitativnih analiz bo možno v naslednji fazi raziskav na več načinov analizirati in jih integrirati v natančnejše rezultate, npr. Podobnikar (2005), Podobnikar in Vrečko (2012). Nadalje je možno delati na metodah, ki že v osnovi sinergijsko kombinirajo možnost kvantitativnega in kvalitativnega pristopa analiz. Primer je analiza kraterjev na Marsu z izdelavo slojev, ki hkrati omogočajo vizualno ovrednotenje dimenzij kraterjev ter numerično ovrednotenje rezultatov (premer in globina kraterja) – geomorfometrični način (Slika 12).

Rezultati študije se lahko npr. posredno uporabljajo za izboljšavo kakovosti DMR-ja ali pa za izdelavo kart Marsa.



Slika 12 – Spremenljivka za vizualno identifikacijo in merjenje kraterjev

Zahvala: Raziskovalno nalogo je omogočila Avstrijska agencija za promocijo znanosti (FFG) v sestavu Programa avstrijskih vesoljskih aplikacij (ALR-OEWP-CO-413/07) in njihovih raziskovalnih projektov TMIS, TMIS+ in TMIS-morph (TMIS = Topographic Mars Information System) v okviru programa ASAP.

## Literatura

- Byrne, S., Ingersoll, A. P., 2002. A Sublimation Model for the Formation of the Martian Polar Swiss-cheese Features. *American Astronomical Society (American Astronomical Society) 34*, 837.
- Earth Impact Database, 2011. University of New Brunswick, <http://www.passc.net/EarthImpactDatabase>.
- Grossman, L., 2011. Mars Dust-Devil Mystery Solved on Earth. *Wired Science*.
- HiRISE, NASA/JPL/University of Arizona.
- Heipke, C., Oberst, J., Albertz, J., Attwenger, M., Dorninger, P., Dorrer, E., Ewe, M., Gehrke, S., Gwinner, K., Hirschmüller, H., Kim, J. R., Kirk, R. L., Mayer, H., Muller, J.-P., Rengarajan, R., Rentsch, M., Schmidt, R., Scholten, F., Shan, J., Spiegel, M., Wählisch, M., Neukum, G. in

- HRSC Co-Investigator Team, 2007. Evaluating planetary digital terrain models — The HRSC DTM test. *Planetary and Space Science* 55(14), 2173-2191.
- Jaumann, R., Neukum, G., Behnke, T., Flohrer, J., van Gasselt, S., Giese, B., Gwinner, K., Hauber, E., Hoffmann, H., Köhler, U., Matz, K.-D., Mertens, V., Pischel, R., Roatsch, T., Reiss, D., Scholten, F., Stephan, K., Oberst, J., Saiger, P., Schwarz, G., Wählisch, M., 2007. The High Resolution Stereo Camera (HRSC) experiment on Mars Express: instrument aspects from interplanetary cruise through nominal mission. *Planetary and Space Science*, 55(7-8), 928-952.
- Miller, C. L. Laflamme, R. A., 1958. *The Digital Terrain Model-Theory & Application*. MIT Photogrammetry Laboratory.
- Mars Express, 2011. ESA Mars Express, [http://www.esa.int/esaMI/Mars\\_Express/](http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/)
- MOLA, 2007. Mars Orbiter Laser Altimeter, or MOLA, <http://mola.gsfc.nasa.gov/>
- Podobnikar, T., 2005. Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. *International journal of geographical information science*, 19(1), 69-89.
- Podobnikar, T., Dorninger, P., 2007. Enhanced visualisation of Mars surface features from HRSC DTM. V: European Mars Science & Exploration Conference, Mars Express and ExoMars, 12.-16. 11. 2007, Noordwijk: ESTEC.
- Podobnikar, T., Székely, B., 2008. Poskus analize potencialno nevarnih vršajev z DMR-jem. V: Perko, D., Zorn, M., Razpotnik Visković, N., Čeh, M., Hladnik, D., Krevs, M., Podobnikar, T., Repe, B., Šumrada, R. (ur.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008*, (GIS v Sloveniji, 9). Ljubljana: Založba ZRC, 73-81.
- Podobnikar, T., 2009. Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. *S.A.P.I.E.N.S. Special Issue 2 (2)*, 15-24. <http://sapiens.revues.org/index738.html>.
- Podobnikar, T., 2012. Detecting Mountain Peaks and Delineating their Shapes using Digital Elevation Models, Remote Sensing, and Geographic Information Systems using Autometric Methodological Procedures. *Remote Sensing (sprejeto)*.
- Podobnikar, T., Vrečko, A., 2012. Processing of a point cloud for a geomorphologically high quality DEM. *Transactions in GIS (sprejeto)*.
- Reiss, D., Raack, J., Rossi, A. P., 2011. Formation of dark dust devil tracks in the Turpan Desert (China): comparison with Mars, 42nd Lunar and Planetary Science Conference, Texas, ZDA.
- Székely, B., Reinecker, J., Dunkl, I., Frisch, W., Kuhleemann, J., 2002. Neotectonic movements and their geomorphic response as reflected in surface parameters and stress patterns in the Eastern Alps. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*, 3, 149-166.
- Székely, B., Podobnikar, T., 2008. An attempt for automatic detection and visualization of talus cones from digital elevation data. V: Konečný, M., Bandrova, T. (ur.), *Second International Conference on Cartography & GIS, Proceedings 2*, Borovec, Bolgarija, 151-159.
- Székely, B., Podobnikar, T., 2009. A method for automated extraction of Martian talus slopes – case studies of Nandedi Valles and West Candor Chasma, Mars. V: Purves, R., Gruber, S., Straumann, R., Hengl, T. (ur.). *Geomorphometry*. Zürich: Department of Geography, University of Zürich, str. 202-207.
- Székely, B., Dorninger, P., Jansa, J., Podobnikar, T., Koma, Z., Trosits, D., Verebélyi-Dósa, M., 2011. Martian and Terrestrial debris slopes: Automated recognition attempts using a multi-method approach. *Geophys. res. abstr.*, EGU2011-13467-1.