

A marsi Gale-kráter formakincsének és felszíni összetételének vizsgálata webes térinformatikai eszközök alkalmazásával

Látos Tamás¹ – Deák Márton² – Dr. Sik András³

¹ PhD hallgató, ELTE FFI Térinformatikai Műhely, latostamas@gmail.com;

² tanársegéd, ELTE FFI Térinformatikai Műhely, dmarton@elte.hu;

³ adjunktus, ELTE FFI Térinformatikai Műhely, sikandras@gis.elte.hu

Abstract: Since the landing of NASA's Curiosity rover inside the Gale Crater, this region became the most thoroughly investigated corner of Mars. A great variety of planetary datasets were acquired over its centrally located Aeolis Mons and the surrounding plains as well, coupled with the direct field measurements and ground truth information gathered by the six-wheeled rover itself. These data sources can be integrated, analyzed and visualized by web-based GIS methods and platforms, in order to facilitate the fruitful cooperation between planetary scientists from different research fields and the public dissemination of these outstanding results, in the form of interactive web map applications.

Bevezetés

A Marsról rendelkezésre álló tér adatok mennyisége gyors ütemben növekszik, amelyek feldolgozásához és elemzéséhez korszerű GIS-eszköztár szükséges.

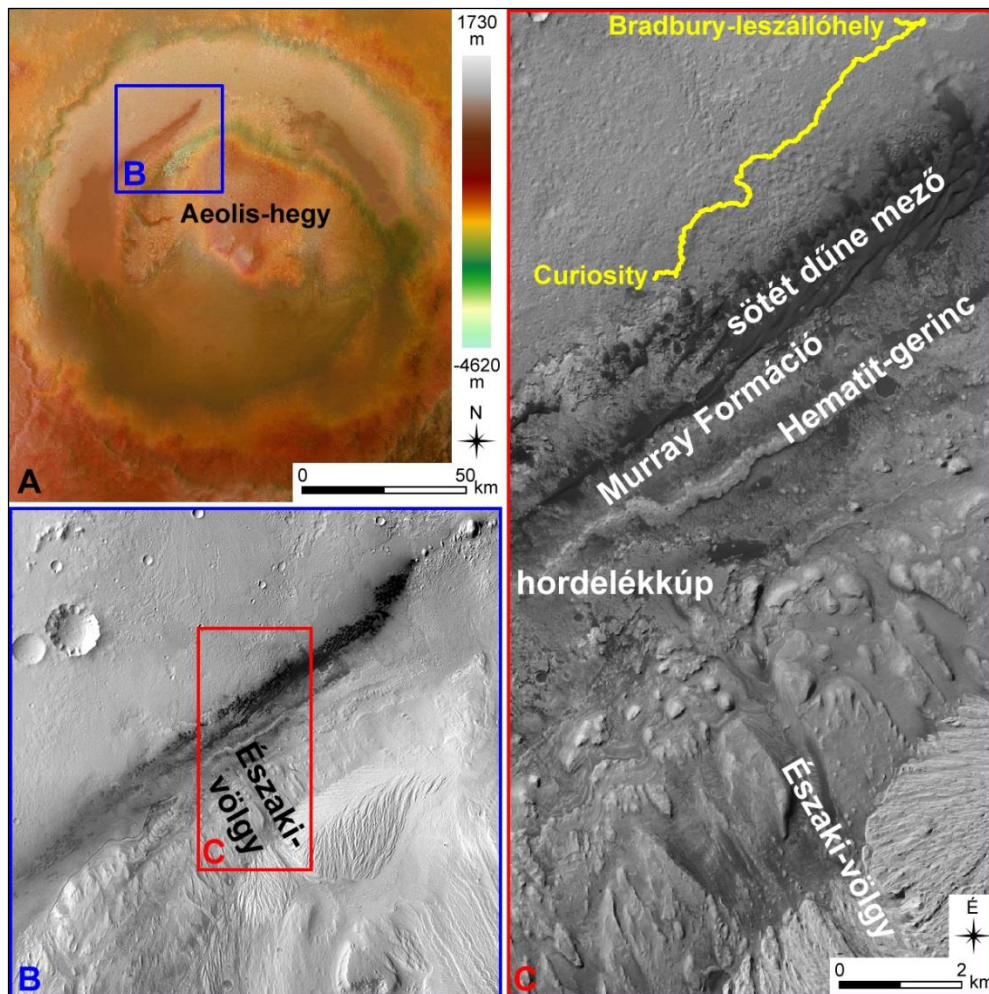
2012-ben végrehajtott landolása óta a Curiosity rover, valamint az égitest körül keringő űrszondák is rendkívül sokféle információt gyűjtöttek a Gale-kráterben elhelyezkedő leszállóhely térségéről. Így napjainkban ez a Mars felszínének legalaposabban ismert részlete, s földtudományi elemzése választ adhat az égitest múltbeli fejlődéstörténetével kapcsolatos kérdésekre.

Mintaterület: az Aeolis-hegy északnyugati hegyláb felszíne

A marsi Egyenlítő közelében (d. sz. 5,4°; k. h. 137,8°) elhelyezkedő, 154 kilométer átmérőjű Gale-kráter morfológiája egyértelműen magán hordozza a térségét egykor alakító folyékony víz nyomait. Több tucat vízfolyás medre azonosítható, amelyek a kráteren kívülről érkezve vágódtak be annak oldalfalába és rakták le hordalékukat aljzatán (*1. ábra*).

Belsejének kétarcú morfológiai képét is valószínűsíthetően fluviális, majd eolikus folyamatok alakították, egy üledékes hegyvonulatot építve fel a becsapódás során létrejött központi csúcsból északra: a kb. 5 500 méter magas Aeolis-hegyet (másik elnevezése Mount Sharp).

Ennek oldalában is megfigyelhető néhány bevágódott képződmény, amelyek egyike látványos völgyként tárja fel a vonulat üledékes rétegsorát (Északi-völgy). A lejtőkön pedig nyelvszerű, lebenyes folyások is azonosíthatók, a folyékony víz és jég múltbeli jelenlétére utalva.



1. ábra. Elemzési mintaterület: A – a Gale-kráter domborzata; B – az Aeolis-hegy északnyugati hegyláb felszíne; C – a Curiosity útvonala és az Északi-völgy helyzete

Marsi adatintegráció és -megjelenítés webes térinformatikai eszközökkel

A vörös bolygó körül keringő Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) űrszonda HiRISE kamerájának optikai űrfelvételei, az ezek sztereókiértékelésével előállított digitális domborzatmodellek (DDM) és a CRISM infravörös spektrométer adatai is nagy méretű raszteres állományok, amelyek integrált kezelésére és elemzésére egyre több desktop térinformatikai szoftver képes, például az ENVI, az ESRI ArcGIS for Desktop, illetve a QGIS.

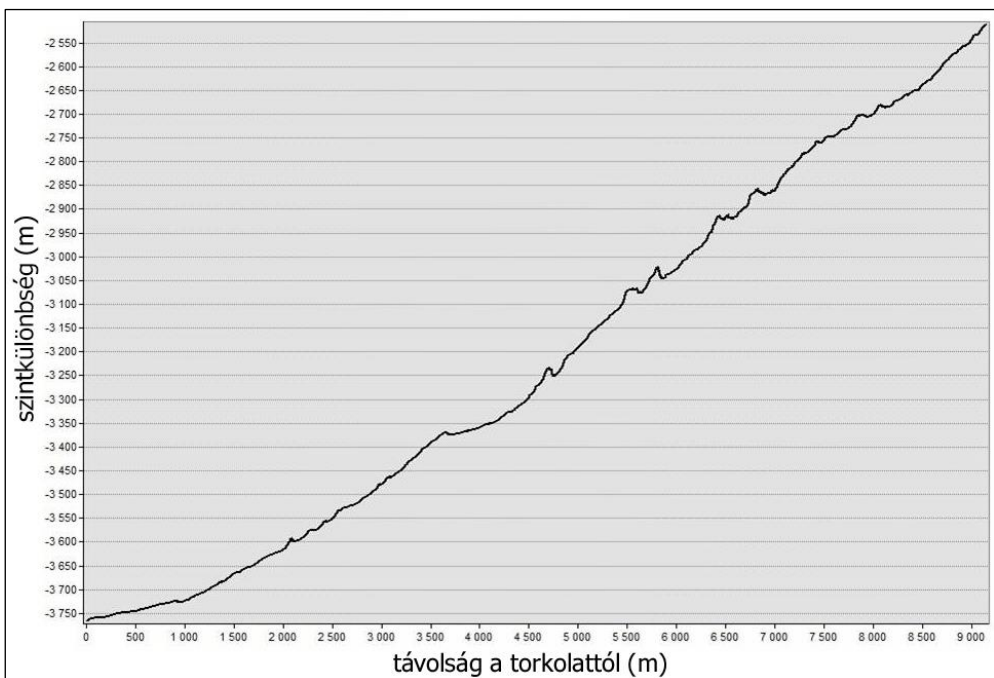
Interaktív megjelenítésük web-alapú térképeken zajlik, akár távoli szervereken publikált WMS-adatforrásokkal kombinálva is (SIK A. 2013). Ilyeneket már az ESRI ArcGIS Online és a nyílt forrású QGIS Server / QGIS Web Client keretrendszerekkel egyaránt készítettünk (SIK A. 2014).

Munkánk kooperációs lehetőségeinek bővítése érdekében egy olyan webes térképalkalmazást is szeretnénk kifejleszteni, amely GeoServer-környezetben, a Web Processing Service (WPS) protokoll használatával teszi lehetővé az alkalmazásban elérhető téradatok morfológiai elemzését, illetve a formakincs háromdimenziós megjelenítését.

Formakincs

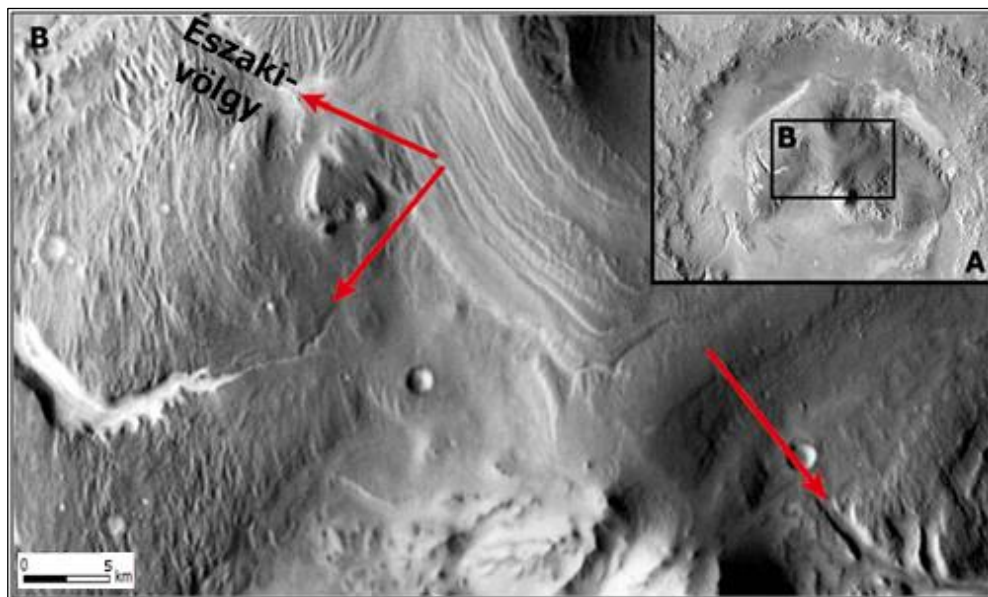
A Gale-kráterben többek között az Aeolis-hegy északnyugati hegyláb-felszínébe vágódott, kb. 10 kilométer hosszúságú Északi-völgy morfológiáját vizsgáltuk részletesen (1. ábra).

A bizonytalan forrásterületről induló képződmény szélessége 800-900 méter között változik, mellékvölgyek nem csatlakoznak bele, esésgörbéje bevágódó szakaszjellegűt mutat, a Langbein-féle homorúsáérték alapján pedig kiegyenlített esésű (2. ábra).



2. ábra. Az Északi-völgy esésgörbéje

A forrásterület egyrészt a folyamatos akkuláció miatt bizonytalan, másrészt pedig egy, a völgyfőre települt becsapódásos kráter miatt (3. ábra). Ennek képződése ugyanis felülírhatta a forrásterület eredeti morfológiáját, s amennyiben vízjég-tartalmú felszínközeli rétegeket érintett, fel is újíthatta a vízfolyás működését.



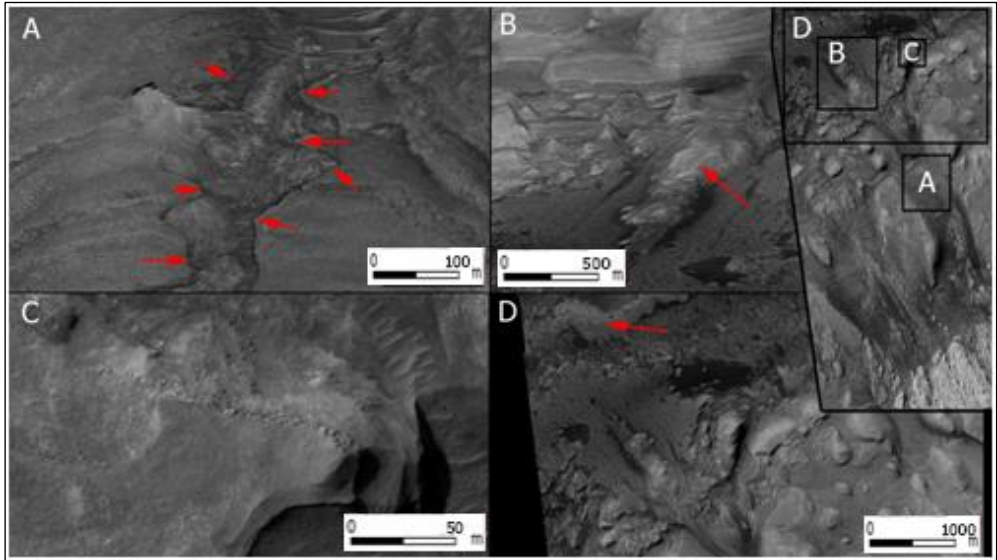
3. ábra. Az Északi-völgy forrásterülete: A – áttekintő űrfelvétel; B – a térség többi vízfolyásának torkolata is a csúcsrégió felé orientálódik (piros nyilak)

A forrásterülettől folyásirányban lefelé, az utolsó működés jeleként egy sötét üledékkal feltöltött meanderező folyómeder-szakasz látható. Ezen a szakaszon kb. 300 méter átmérőjű, völgyoldali csuszamlás csatlakozik be a völgybe, amely vagy kialakulásakor táplálta a vízfolyást, vagy talán később aktiválhatta azt, mivel a csúszópálya morfológiája alapján a tömegmozgás egy vízjég-tartalmú, felszínközeli réteget is megnyithatott.

Az ezt követő szakasz szinte már teljes mértékben akkumulálódott a működés leállása óta, a völgyperemek itt jelentős mértékben lepusztultak a szélerózió és az aprózódás hatására, szigethegyeket kialakítva, s feltárva a völgyfal sztratigráfiai egységeit.

A torkolat előtt ismét előtűnik a feltöltődött meanderező folyómeder, amely fokozatosan egy kipreparált gerincbe megy át, geomorfológiai inverzió következtében (4/A-B. ábra). Ez a torkolathoz érkeve szétágazik, elkeskenyedik és lealacsonyodik. A torkolatnál egy alluviális legyezőhöz hasonló forma rajzolódik ki: tulajdonképpen egy alacsonyabb helyzetű rétegtani egység, amelyet a rátelepült folyóvízi üledék védett meg a lepusztulástól.

Az egykori folyóvízi üledék pereme erősen erodálódik, a szélerózió és az intenzív aprózódás folyamatos hátrálásra készíti a diagenizált hordalékanyagot a völgyfő irányába (4/C. ábra). Az egykori alluviális legyező kiterjedésére utal továbbá egy, a torkolat előtt húzódó kipreparált agyagerinc is, amely a legyező alakjának megfelelően deformálódott a hegység előterében (4/D. ábra).



4. ábra. Az Északi-völgy részei: A) – üledékkel részlegesen feltöltött, meanderező szakasz; B) – geomorfológiai inverzió során kipreparált üledékes gerinc; C) – alluviális legyező intenzíven pusztuló pereme; D) – alluviális legyező növekedése által deformált agyaggerinc

Jelenleg tehát nem a tényleges alluviális legyező figyelhető meg, hanem az általa megóvott, a hegyszerem mentén máshol is látható alsóbb helyzetű réteg, amely így megőrizte a delta egykori alakját. Ennek sztratigráfiai bizonyítéka, hogy a hegyláb különböző pontjain szintén megtalálható ez a rétegtani egység azonos közettani és morfológiai tulajdonságokkal.

Felszíni anyagösszetétel

A CRISM (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) spektrométer két különböző érzékelőből áll: az egyik a közeli (370-1050 nm), a másik pedig a távoli (1050-3920 nm) infravörös hullámhossz-tartományt fedi le, összesen 544 spektrális sávban (PELKEY, S. M. et al. 2007).

Várakozásainkkal ellentétben a mintaterületről csak négy olyan felvétel áll rendelkezésre, amelyben a közeli és a távoli hullámhossz-tartományok sávjai egyaránt megtalálhatók – ezért a felszíni anyagösszetétel részletes vizsgálatát ezek felhasználásával végeztük el (azonosítóik: 0000b6f1, 0002037a, 0000c0ef, 0000c518).

Az elérhető adatok atmoszférikusan, radiometriailag és térbeli elhelyezkedés szempontjából is korrigálatlanok, ezért előfeldolgozásukra volt szükség, amit az ENVI CAT szoftver segítségével végeztünk el.

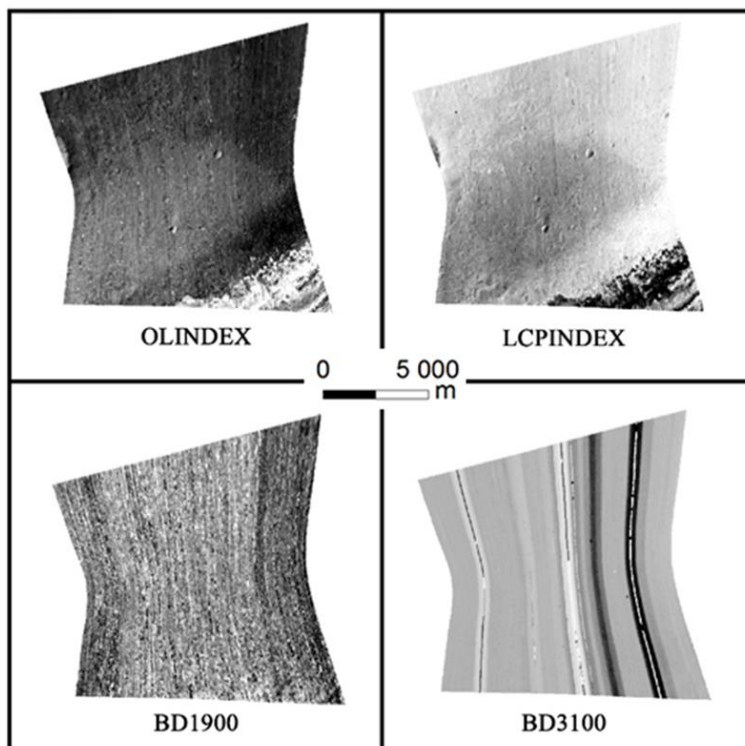
Ennek egyik célja a smiley-hatás kiküszöbölése volt, vagyis annak megszüntetése, hogy az érzékelt hullámhossz egy sávban a kép közepétől a

széléig növekedjen. Atmoszférikus korrekciót is végeztünk, amihez (a Földön szokásostól eltérő módon) főként CO₂-re optimalizált légköri modelleket használtunk. Az előfeldolgozás utolsó lépése pedig a zajsökkentés volt.

Az eredmények közül az alábbiakban négy spektrális indexet mutatunk be (5. ábra). Az OLINDEX az olivin-tartalmat, az LCPINDEX a piroxének, a BD1900 a hidratált ásványok, a BD3100 pedig a felszíni törmelékben kötött H₂O-jég mennyiségét jellemzi (PELKEY, S. M. et al. 2007).

Jól látszik, hogy a felvétel délkeleti részén húzódó sötét homokdűneteréség (amit a Curiosity nyugat felől kikerül gurulása közben) olivinben gazdagabb, piroxénben viszont szegényebb. Ez alátámasztja a dűnék bazaltos összetételére utaló elméleteket, vagyis eredetük különbözik a kráter aljzatát kitöltő üledékes rétegektől (PELKEY, S. M. et al. 2004). A Curiosity ezt ChemCam nevű spektrofotométeres műszerének közvetlen terepi méréseivel is igazolni tudta, megerősítve a CRISM méréseit (LANE, M. D.–CHRISTENSEN, P. R. 2013).

A BD1900- és BD3100-indexek (BD1900 = 1857 nm–2067 nm; BD3100 = 3000 nm–3250 nm) hullámhosszai viszont az előfeldolgozás után is túlságosan zajosak maradtak, így a terület hidratált ásvány-, illetve fagyott H₂O-tartalmáról ez a módszer sajnos nem szolgáltatott megbízható adatokat.



5. ábra. A négy spektrális index ábrázolásán a világosabb árnyalatok a magasabb értékeknek felelnek meg (a felvételek még előfeldolgozás után is nagyon zajosak)

Fejlődéstörténeti következtetések

Az Északi-völgy kialakulása akkor vehette kezdetét, amikor az Aeolis-hegy már szárazulattá vált, tehát semi-arid vagy arid környezetben, mivel a vonulat legfelső, már szél által felépített rétegeibe is bevágódott.

Forrásterülete bizonytalan, de minden bizonnyal a hegység központi kiemelkedésének környezetében keresendő, mert a hegyoldalba vágódott többi völgy is erre orientálódik. Az Északi-völgy fluviális felszínformálása periodikusan mehetett végbe, a múltbeli globális környezetváltozásoknak megfelelő ütemben.

A mai forrásterületnél látható kráter, illetve a felső szakasz nyugati völgyfalán megfigyelhető nagyméretű csuszamlás is okozhatott potenciális felújulásokat, tehát a klíma mellett a külső erők által vezérelt folyamatok is befolyásolták a vízfolyás működését.

A folyóvölgy kialakulása és periodikus aktivitása a bolygó tengelyferdeségének ingadozásával is összefüggésben lehetett. Ugyanis amikor a területet kisebb besugárzás érte, a központi csúcs környezetében és a felszín alatti rétegekben jég halmozódhatott fel, később viszont a tengelyferdeség változásával együtt járó besugárzás-növekedés hatására ezek a jégkészletek megolvadtak és létrejöttek a hegyoldalba vágódott folyóvölgyek. Az újabb lehűlések során ismét a periglaciális felszínformálás, a jégfelhamozódás és az eolikus akkumuláció került előtérbe, a következő fluviális periódusig. Ez utóbbi időszakokban – az ásványtani adatok szerint – tiszta víz helyett inkább sóoldatok folyhattak a völgy térségében.

Az vízfolyás utolsó felújulása óta a szél erodáló és akkumuláló hatása, valamint a tömegmozgások formálják a területet. A völgyet kitöltő üledék spektrális képe alapján olivin- és piroxén-tartalmú homok halmozódott fel a mederben, ami vulkanikus eredetű anyag és valamelyik, a kráter közelében elhelyezkedő vulkáni régióból szállíthatta ide a szél.

Az Északi-völgy mentén futó éles, jardangokhoz hasonló formák is leginkább a széléroziónak köszönhetően alakultak ki. Azonban nem zárható ki, hogy a környezetében ma is található jégtartalmú rétegek a felszín alatt, amelyek a globális környezeti viszonyok változása esetén a jövőben esetleg ismét felújíthatják a vízfolyás működését.

Mindezek alapján elmondható, hogy térinformatika által nyújtott széleskörű elemzési lehetőségek segítségével sikerült részletesen feltárni az Északi-völgyre jellemző morfológiai, valamint ásványtani sajátosságokat. Ezekre az ismeretekre támaszkodva pedig rekonstruálható a Gale-kráter ősi környezete, ami tovább pontosíthatja a Mars fejlődéstörténetére és múltbeli lakhatóságára vonatkozó modelleket, illetve hipotéziseket.

Köszönetnyilvánítás

Kutatási tevékenységemet az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatja, amit ezúton is köszönök! (S. A.)

Felhasznált irodalom

- LANE, M. D.–CHRISTENSEN, P. R.* (2013): Determining olivine composition of basaltic dunes in Gale Crater, Mars, from orbit: Awaiting ground truth from Curiosity, *Geophysical Research Letters*, vol. 40, DOI:10.1002/grl.50621.
- PELKEY, S. M.–JAKOSKY, B. M.–CHRISTENSEN, P. R.* (2004): Surficial properties in Gale Crater, Mars from Mars Odyssey THEMIS data, *Icarus*, vol. 167, pp. 244–270.
- PELKEY, S. M.–MUSTARD, J. F.–MURCHIE, S.–CLANCY, R. T.–WOLFF, M.–SMITH, M.–MILIKEN, R.–BIBRING, J.-P.–GENDRIN, A.–POULET, F.–LANGEVIN, Y.–GONDEL, B.* (2007): CRISM multispectral summary products: Parameterizing mineral diversity on Mars from reflectance, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, E08S14, DOI: 10.1029/2006JE002831.
- SIK A.* (2013): Web-alapú térinformatikai alkalmazások a bolygókutatásban. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, pp. 367-372.
- SIK A.* (2014): QGIS Server és QGIS Web Client szoftverkörnyezetben készített webtérkép-alkalmazás a marsi Gale-kráterről. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V. Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, pp. 307-315.