



A Mars felszínalaktani vizsgálata űrfelvételek alapján

Sik András–Kereszturi Ákos

PhD hallgatók

Planetológiai Műhely,

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet

sikandras@ludens.elte.hu



1. Bevezetés

Napjainkban, a távérzékelés földi alkalmazásainak fejlődésével párhuzamosan egyre összetettebb bolygókutató űrszondák tanulmányozzák legszűkebb kozmikus környezetünk más égitestjeit is. A saját bolygónk térségét elhagyó űreszközök két alaptípusba sorolhatók: keringő- vagy leszállóegységek.

A morfológiai kutatások szempontjából az előbbi csoportba tartozó szerkezeteknek van nagyobb jelentősége, mert – pályaelemeik függvényében – a vizsgált égitest majdnem teljes felszínéről képesek mérési adatokat gyűjteni illetve felvételeket készíteni, akár rövid időközönként ismétlődve is.

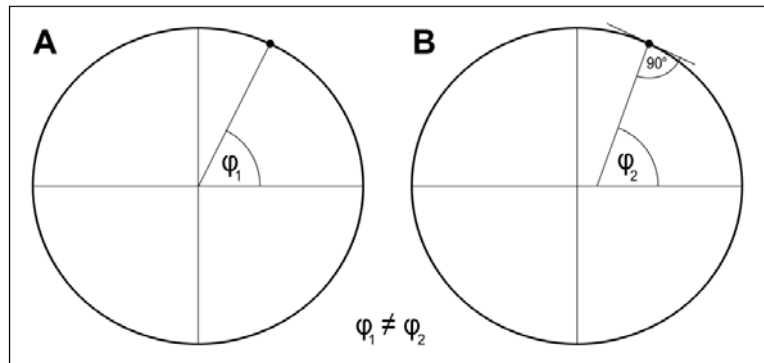
A Naprendszerben a Mars természeti képe hasonlít leginkább a földi környezethez, mivel a múltban folyékony víz alakította tájainak arculatát, s nagyon sok kutató úgy gondolja, hogy valamilyen egyszerű életforma is létezhetett felszínén. Mindezek következtében a XX. század végére külső bolygószo­mszédunk a tudományos érdeklődés középpontjába került, planetológiai és asztrobiológiai szempontból egyaránt.

Így az elmúlt évtizedek során több tucat űrszonda indult a vörös bolygó felé, jelenleg pedig két leszállóegység illetve négy keringőegység működik térségében, amelyek minden korábbinál részletesebb felszínalaktani vizsgálatok elvégzését teszik lehetővé, s elősegítik az égitest rejtélyekben bővelkedő fejlődéstörténetének pontosabb megismerését.

2. Adatforrások és módszertan

A Mars felszíni formakincsének tanulmányozása módszertani szempontból rendkívül összetett feladat, mivel a morfológiai interpretáció és az összehasonlító planetológiai elvek alkalmazása mellett digitális képfeldolgozással, morfometriával illetve domborzatmodellezéssel kapcsolatos eljárások végrehajtását valamint a felhasznált adatok térinformatikai rendszerbe szervezését egyaránt igényli.

A Mars-kutató űrszondák mérési eredményei alapvetően nyilvánosak, ám először természetesen az egyes műszereket készítő kutatócsoportok elemezhetik azokat, általában fél évig. Ezt követően interneten keresztül, bárki számára hozzáférhető adatbázisokba kerülnek, különböző feldolgozottsági szinten, többféle formátumban és sajnos gyakran eltérő vonatkoztatási rendszerben.



1. ábra Az egyenlítőtől mért távolság eltérő meghatározása a Mars térképezése során alkalmazott kétféle koordináta-rendszerben. A – planetocentrikus (a szélesség értéke a felszíni ponthoz húzott sugár és az egyenlítő által bezárt szög, a hosszúság értéke kelet felé növekszik 0° -tól 360° -ig); B – planetografikus (a szélesség értéke a felszíni pontból induló helyi függőleges és az egyenlítő által bezárt szög, a hosszúság értéke nyugat felé növekszik 0° -tól 360° -ig)

A vörös bolygó esetében ez leginkább az elmúlt évtizedek során definiált marsi ellipszoidok és standardként elfogadott térképi vetületek keveredését, illetve kétféle, párhuzamosan létező koordináta-rendszer alkalmazását jelenti (*I. ábra*). Ezért a több műszer adatait integráló vizsgálatok első lépését általában a különböző forrásokból származó térbeli információk egységes

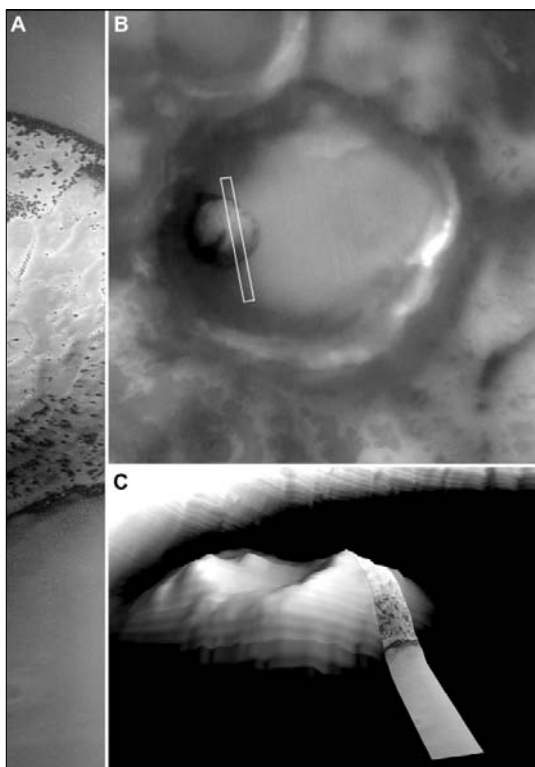
vonatkoztatási rendszerbe konvertálása jelenti (*I. táblázat*). Hasonló erőfeszítésekre természetesen földi adatbázisok létrehozása során is szükség lehet, azonban ehhez képest többlet-nehézséget jelent, hogy számos térinformatikai szoftver nem képes a marsi ellipszoidok kezelésére.

Az általunk végzett felszínalaktani vizsgálatok során főként optikai hullámhossz-tartomány-

I. táblázat

**Aktív keringőegységek a Mars körül: készítőjük,
egyres műszereik pontossága és felvételeik jellemző mérete,
vonatkoztatási rendszere illetve nyilvános adatbázisának internet-címe**

Mars Global Surveyor (MGS), készítő: NASA
<i>Mars Orbiter Camera (MOC)</i>
térbeli felbontás: 1,4 méter/pixel spektrális felbontás: pankromatikus (500-900 nm) felvételek jellemző mérete: 3 x 30 km ellipszoid: IAU1994 koordináta-rendszer: planetografikus http://www.msss.com/mgs/moc/index.html
<i>Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)</i>
térbeli felbontás: kb. 300 méter/mérés függőleges pontosság: kb. 0,3 méter adatok formátuma: egyedi profilok vagy regionális DEM-ek ellipszoid: IAU2000 koordináta-rendszer: planetocentrikus http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html
2001 Mars Odyssey, készítő: NASA
<i>Thermal Emission Imaging System (THEMIS)</i>
térbeli felbontás: 19 méter/pixel (látható), 100 méter/pixel (infravörös) spektrális felbontás: 425-860 nm (látható), 6,78-14,88 μ m (infravörös) felvételek jellemző mérete: 18 x 65 km (látható), 32 x ~1 000 km (infravörös) ellipszoid: IAU2000 koordináta-rendszer: planetocentrikus http://themis.asu.edu
Mars Express (MEX), készítő: ESA
<i>High Resolution Stereo Camera (HRSC)</i>
térbeli felbontás: 10 méter/pixel (normál), 2 méter/pixel (super) spektrális felbontás: 440-970 nm (normál), pankromatikus (super) felvételek jellemző mérete: több 100 km x több 1 000 km ellipszoid: IAU2000 nagytengegyével azonos sugarú gömb koordináta-rendszer: planetocentrikus http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA
Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), készítő: NASA
<i>High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE)</i>
térbeli felbontás: 0,3 méter/pixel spektrális felbontás: 400-1 000 nm felvételek jellemző mérete: 6 x 12 km ellipszoid: IAU2000 koordináta-rendszer: planetocentrikus http://hirise.lpl.arizona.edu



2. ábra A – nagyfelbontású MGS MOC felvétel részlete; B – az A felvétel relief-helyzete: áthalad egy kráter belsejében található dűnecsoporton; C – az A felvétel ráillesztve a terület digitális domborzatmodelljére (10-szeres magasságtorzítás)

ban működő képpalkotó berendezések különböző felbontású és kiterjedésű felvételeit elemezzük, környezetük relief-viszonyait pedig lézeres magasságmérésekből interpolált digitális domborzatmodell alapján határozzuk meg (2. ábra). Mindez természetesen összekapcsolható a keringőegységek spektrométerei és légkör-kutató műszerei által továbbított adatok feldolgozásával is, amelyekből a felszín anyagi összetétele illetve az atmoszféra állapothatározói és áramlási folyamatai ismerhetők meg. Munkánkhoz többek között az ArcView/ArcGIS, az Erdas Imagine, a GIMP, valamint a Surfer szoftvereket használjuk.

3. Kutatási példa I. – Folyóvölgyek és csatornák

A Mars felszínén látható idős, folyóvölgyekre emlékeztető képződmények a kialakulásuk idején uralkodó éghajlatról adhatnak információkat. Ezek elsősorban a nagy kráttersűrűségű déli

felföldeken figyelhetők meg (Pieri, 1980), s két típusuk különíthető el: a kisebb, elágazó hálózatos csatornák, amelyek vagy esőzésekkel, vagy a felszínhez közeli jég megolvadásával jöttek létre (a csatorna kifejezés itt a völgyet és a medret egyaránt helyettesíti, mivel azok elkülönítése nem minden esetben egyértelmű), valamint a sokkal nagyobb áradásos csatornák, amelyek felszín alatti víztömegek gyors feltörése során keletkeztek. Vízhozamuk másodpercenként több km^3 -nyi lehetett, és kialakulásukhoz nem feltétlenül szükséges a mainál kedvezőbb éghajlat.

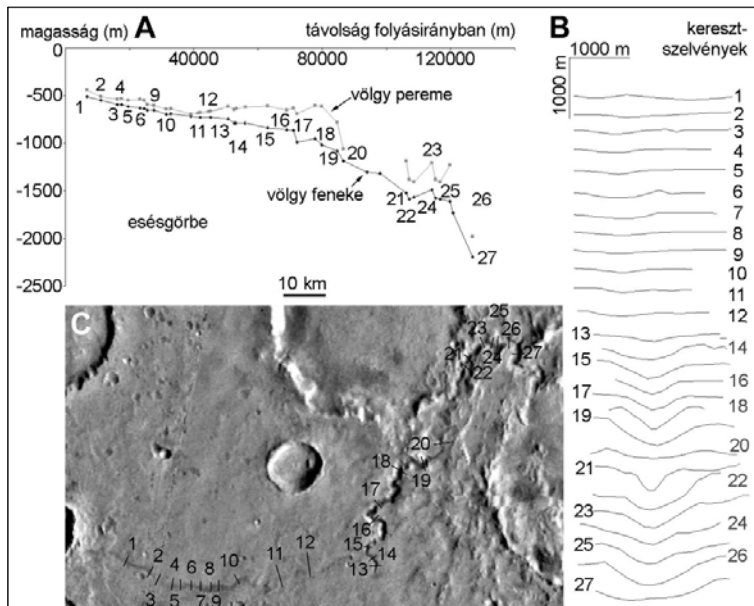
Az egykori felszíni környezet jellemzésére a folyásnyomok közül tehát inkább a hálózatos csatornák alkalmasak, ám az erózió természetesen jelentős mértékben átalakította ezeket a formákat. További nehézséget jelent értelmezésük során, hogy földi tapasztalataink és analógiáink nem feltétlenül alkalmazhatók teljes mértékben a vörös bolygóra. A hálózatos csatornák morfológiai jellemzőinek vizsgálata azonban így is számos érdekességre mutathat rá (3. ábra).

A völgyekben lezajlott eróziós folyamatok rekonstruálását a keresztmetsvények elemzése is segítheti, mivel az egykori völgy- vagy mederfenék alakjában akár teraszokhoz hasonló képződmények is kimutathatók. Emellett talán a földi folyóteraszok kialakulásának megértéséhez is közelebb kerülhetünk a hasonló marsi formák részletes vizsgálata által. A teraszképződés egyes földi okai ugyanis nem, illetve más formában lehetnek jelen a vörös bolygón. A teraszok biztos azonosításához persze felszíni vizsgálatokra lenne szükség – azonban napjainkban még csak korlátozott felbontású távérzékelési adatok állnak rendelkezésre.

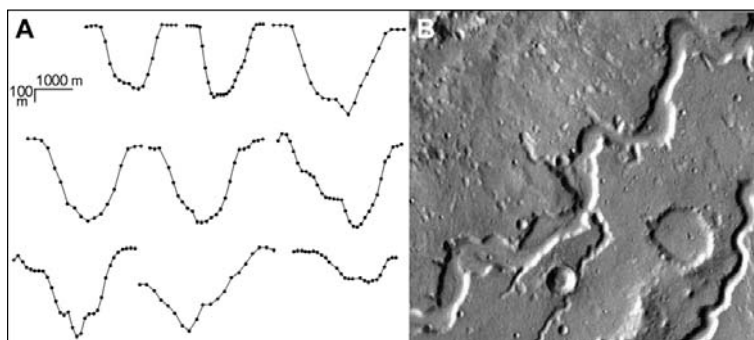
Az MGS MOLA lézeres magasságmérőjének völgyeket keresztelő profiljaiban néhol folyóteraszra emlékeztető formák mutathatók ki, továbbá a nagyfelbontású felvételeken is azonosíthatók a nagyobb völgyek alján mélyebbre vágódott kisebb medrek nyomai (4. ábra).

Az eddigi vizsgálatok arra utalnak, hogy sok egykori csatornában több ciklusban, eltérő mennyiségű víz áramlott, s így különböző mélységű bevágódás zajlott le. Azt azonban az esetek többségében sajnos nem sikerült megállapítani, hogy a vízhozam változása rövid idő alatt történt, vagy a bolygó fejlődésének más időszakaiban, egymástól függetlenül áramlott eltérő mennyiségű víz ugyanabban a mederben, illetve völgyben.

A vízfolyások által erodált csatornák falain a Földről ismert lejtőfejlődés marsi megfelelőinek nyomai tanulmányozhatók. Az idős vízfolyásnyo-



3. ábra A – a Tyras-völgy esésgörbéje;
 B – a völgy keresztmetszénei;
 C – a keresztmetszvények alapján elkülönített sekélyebb felső- illetve jobban bevágódott alsószakasz



4. ábra A – néhány keresztmetszvény, amelyek alakja folyóterasz jellegű domborzati formák létére utal; B – a Nirgal-völgy részlete, amelynek aljzatán egy mélyebbre vágódó völgy vagy meder azonosítható

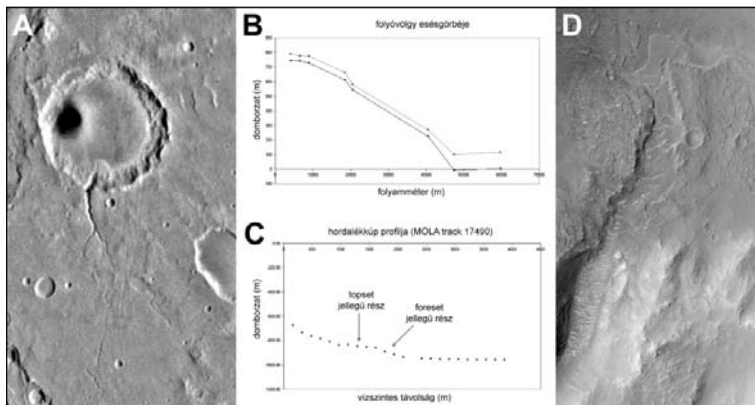
mok belső lejtőit ugyanis eredetileg a vízfolyások eróziós tevékenysége hozta létre, később viszont más folyamatok módosították formakincsüket, amelyek azonosításában hasznos lehet morfológiai módszerek alkalmazása. Többek között összehasonlítható a keresztmetszvények egymással szemközti lejtőinek alakja, s részletesen elemezhető a mélység illetve a lejtőszög viszonya.

Emellett érdekes eredményekre vezethet a völgyből elszállított anyag térfogatának és a lerakódott üledék mennyiségének kiszámítása is. Az 5. ábrán látható kráterbe torkolló völgnél a kierodált térfogat nagyságrendileg 10 km^3 . Természetesen ennek le is kellett rakódnia valahol, amire feltehetőleg a kráterben, mint végső zárt üledékgyűjtőben kerülhetett sor. Itt valóban található is egy hordalékkúpra emlékeztető képződmény, közvetlenül a völgy kráterbe érkezésénél, amelynek felszínébe az üledék lerakódása után,

ugyanabból a völgyből érkező újabb anyagáramlás egy további völgyet mélyített.

A hordalékkúp térfogata a MOLA adatok alapján csak jelentős bizonytalansággal becsülhető meg: elnyúlt alakja – egy téglatesttel közelítve – $0,06 \times 1,875 \times 5,917 \text{ km}$ méretűnek tekinthető, így térfogata kb. $0,66 \pm 0,20 \text{ km}^3$ lehet. Ez azonban sokkal kevesebb a várt értéknél, aminek egyik lehetséges magyarázata, hogy a kierodált anyag jelentős része víziég volt, s a lerakódás előtt elolvadt vagy szublimált. Am az is elképzelhető, hogy nem az összes anyag rakódott le a hordalékkúpban.

Feltehetőleg mindkét tényezőnek szerepe volt a megfigyelt különbség kialakulásában, de inkább az utóbbi befolyásolhatta erősebben a hordalékkúp végső térfogatát. Ismereteink szerint a Mars felszíni törmelékanyagának jellemző porüstérfogata 50% alatti (Squyres et al., 1992), tehát



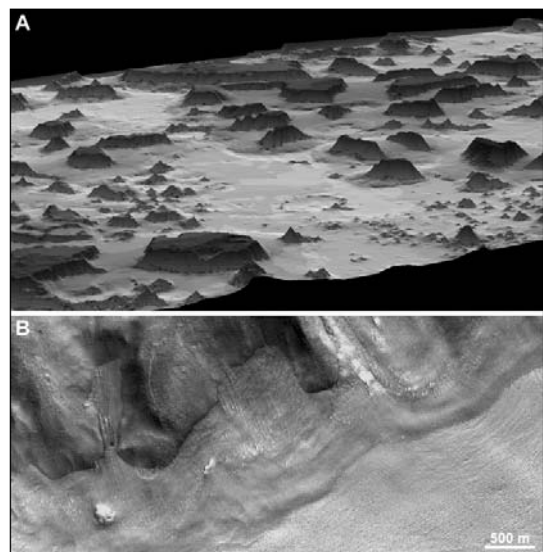
5. ábra A – a folyóvölgy képe; B – a rendszer esésgörbéje; C – a hordalékkúp topográfiai szerkezetbe mélyedő utólagos völgy az MGS MOC E2200578 számú nagyfelbontású képe, amelyen a hordalékkúp disztális elvégződésénél néhány kibukkanó réteg is azonosítható

minimum 4–5 km³ szilárd hordalék távozhatott el a völgyből, amelynek csak néhány százaléka halmozódott fel a hordalékkúpban, a többi pedig máshol ülepedett ki. Emellett az sem kizárt, hogy a hordalékkúp a jelenlegi felszín alatt folytatódik, s térfogata lényegesen nagyobb, mint amekkora az űrfelvételeken megfigyelhető.

4. Kutatási példa II. – Periglaciális törmelékletjtők

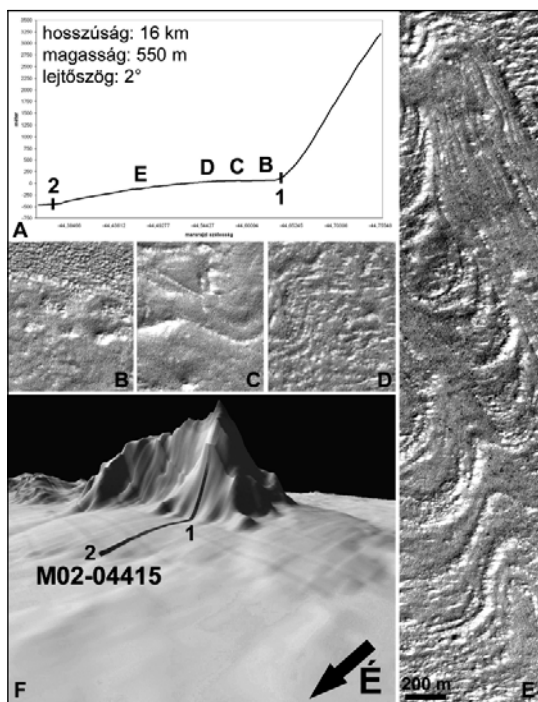
Éghajlatmorfológiai szempontból a Mars felszínének jelentős része periglaciális környezetnek tekinthető, amelynek legfontosabb jellemvonása a fagyott víz felszín alatti jelenléte és időszakos megolvadása (Gábris, 1991). A H₂O periodikus állapotváltozásainak következtében a periglaciális tájakat alakító különböző folyamatok működése csak rendkívül szűk hőmérsékleti tartományban lehetséges, ezért nagyon érzékenyen reagálnak a természeti viszonyok legapróbb ingadozásaira is. Ezek a környezetváltozások rövid idő alatt képesek módosítani a periglaciális területek jellegzetes formakincsét, amelynek számos eleme – többek között a kőpoligonok, a kúszó törmeléksávok, illetve a legnagyobb kiterjedésű periglaciális formák, a sziklagleccserek – nagyfelbontású űrfelvételeken is felismerhető.

A Mars közepes „marsrajzi szélességű” övezetében sajátos arculatú tájak helyezkednek el, amelyeket kimart területek neveznek (angolul fretted terrain). Alapvető tulajdonságuk a nyugtalan domborzat, mivel ezek az 1–2 km magaságú táblahegyekre és a köztük húzódo, lapos aljzatú völgyekre elkülönülő térszínek fokozatos átmenetet képeznek a bolygó két eltérő felszín-típusa, a fiatal északi mélyföldek és az idős déli felföldek között.



6. ábra A – a kimart területek jellemző relief-viszonyait ábrázoló digitális domborzatmodell (5-szörös magasságtorzítás); B – egy völgy oldalfala mentén húzódo törmelékletjtő képe az MGS MOC M0304315 számú nagyfelbontású felvételén

A szigetszerű táblahegyek körül és a völgyek oldalfala mentén különleges lejtőformák figyelhetők meg (6. ábra). Ezek a periglaciális törmelékletjtőnek nevezett alakzatok plasztikus megjelenésűek, felszíni barázda-mintázattal jellemezhetők, lézeres magasságmérésekkel meghatározott legfontosabb alaki sajátosságaik pedig a törmelékletjtőt a táblahegytől elválasztó éles töréspont, a lejtő domború, konvex lefutása illetve hirtelen elvégződő homlokfrontja. Átlagosan több tíz kilométer hosszúságúak és több száz méter vastagságúak, lejtésük viszont igen csekély: 1,5–3° közötti (Sik, 2004).



7. ábra A – a D. sz. 45°, K. h. 105° koordinátájú táblahegy körüli periglaciális törmelékletítő keresztmetsvénye (1 és 2 pontok között) az M0204415 számú nagyfelbontású MGS MOC felvételhez tartozó lézeres magasságprofilon; B, C, D, E – a felvétel részletei a keresztmetsvényen jelölt helyeken; F – a felvétel elhelyezkedése a terület digitális domborzatmodelljén (10-szeres magasságtorzítás)

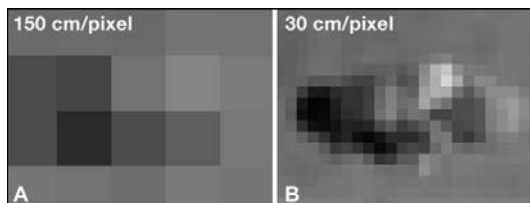
Munkánk során próbáltunk olyan törmelékletítőket keresni, amelyekről több nagyfelbontású felvétel is készült, mert domborzati helyzetük összehasonlítása és integrált módszerekkel történő elemzésük az egyedi jellemvonások felismerése mellett általánosabb érvényű következtetéseket eredményezhet. Legrészletesebben a D. sz. 45°, K. h. 105° koordinátájú táblahegyet körülvevő törmelékletítőt elemeztük, morfológiai és morfo-metriai szempontból egyaránt (7. ábra). A lejtő keresztmetsvényei valamint a különböző részein látható felszínformák is arra utalnak, hogy plasztikus deformációk alakították ki jelenlegi állapotát, ami feltehetőleg a törmelékletítő belsejében található jégtestek ismétlődő megolvadásával, lejtőirányú elmozdulásával illetve újrafagyásával magyarázható.

Mindezek alapján a periglaciális törmelékletítők legpontosabb földi analógiái a sziklageccserek (nyelvserű, meredek homlok- és oldalsáncok-

kal határolt jégmagvú kőzettörmelék-összletek), amelyek a Földön törmelékletítők „eljegesedésével” vagy gleccserek „betemetődésével” jönnek létre. Az aktív sziklageccserek lassú mozgásban vannak, mert jégtartalmuk időszakosan megolvadva lehetővé teszi anyaguk lassú elmozdulását az alacsonyabb területek felé, s az ebből származó feszültség következtében egymással párhuzamos, lejtésirányba domborodó íves barázdák jönnek létre felszínükön (ilyen jellegű alakzat látható a 7. ábra/E részletén).

A periglaciális törmelékletítők morfológiai elemzésének legizgalmasabb kérdése, hogy lehetnek-e aktív állapotban a Mars rideg felszíni környezetében? Ám a választ egyelőre nem ismerjük, s a keringőegységek adatai alapján valószínűleg nem is tudnánk kimutatni lejtőirányú elmozdulásukat, mert a megfigyelési időszak csak alig néhány éve tart. 2006. novemberében azonban megkezdte működését a Mars Reconnaissance Orbiter nagyfelbontású HiRISE kamerája, amelynek pontossága 30 cm/pixel (8. ábra), s így felvételei – többek között – talán a törmelékletítők mikromorfológiai változásainak feltárását is lehetővé teszik.

A földi sziklageccserek és a marsi kimart területek törmelékletítőinek vizsgálata tehát mindkét égitesten összekapcsolódik a paleoklimatikus viszonyok rekonstrukciójára irányuló kutatásokkal. A közeljövőben minden bizonnyal egyre pontosabban megértjük majd a Földön illetve a Mars-on zajló éghajlat-ingadozások és a periglaciális formakincs változása között fennálló általános összefüggéseket, így az űrfelvételek alapján végzett felszínalaktani elemzés hozzájárulhat a vörös bolygó éghajlati múltjának pontosabb megismeréséhez, s ezen keresztül a Mars-kutatás egyik alapkérdésének megválaszolásához is: hogy az egykori nedves, víz által formált égitest miért alakult át egy zord, száraz és fagyos bolygóvá?



8. ábra A – egy leszállóegység modellezett látványa az MGS MOC nagyfelbontású felvételén; B – egy leszállóegység modellezett látványa a Mars Reconnaissance Orbiter HiRISE nagyfelbontású felvételén

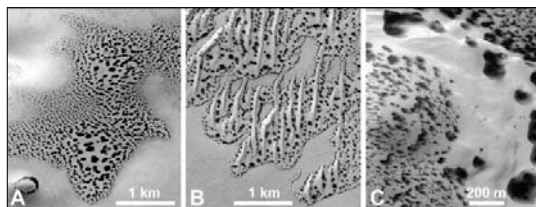
5. Kutatási példa III. – Sötét foltok és lejtősávok

A Mars pólusaihoz közeli területeket télen beborító időszakos fagytakarón tavasszal különös felszíni mintázat figyelhető meg. A látványos képződmények igen változatosak (Kieffer et al., 2000), s egyik típusukat sötét dűnefoltoknak – angolul dark dune spots, röviden DDS – nevezik (Horváth et al., 2001).

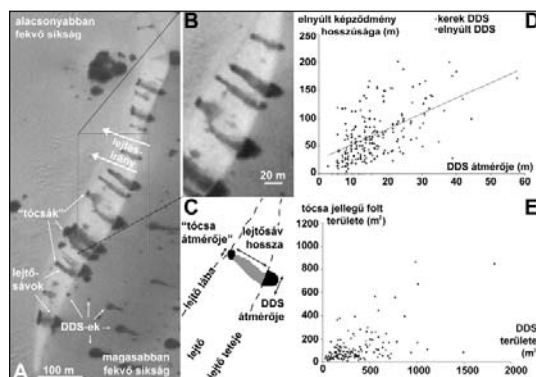
A DDS-ek legfontosabb jellemzői, hogy a déli félteke 60–80° közötti periglaciális övezetében fordulnak elő sötét anyagú homokdűnéken (amelyek felső rétegét vízjég- és törmelékszemcsék fagyos keveréke alkotja), egy sötétebb magból és egy körülötte húzódó világosabb gyűrűből állnak, átmérőjük 5–200 méter közötti, s a helyi tavasz kezdetén jelennek meg a légkörből a tél során kifagyott szén-dioxid jégtakarón, nyár közepére eltűnnek, ám a következő tavasszal ismét előbukkannak (9. ábra).

Továbbá azokból a DDS-ekből, amelyek nem vízszintes terepen helyezkednek el, sok esetben lejtőirányba mutató sötét árnyalatú elnyúlt sávok indulnak ki. A lejtősávok egyik csoportja diffúz peremű, ezeket feltehetőleg szél hozza létre, a folt területén eltűnő jégtakaró helyén felszínre kerülő sötét dűneanyag kifújásával. Az éles körvonalúak érdekesebbek, mert vizsgálataink alapján lehetséges, hogy képződésük a jégtakaró alatti vízszivárgással magyarázható (Horváth et al., 2005).

Ez napjainkban igen merész feltételezésnek tekinthető, mivel a folyékony víz felszíni jelenlétéről élnék tudományos vita zajlik, s a legtöbb szakember véleménye szerint a jelenlegi környezeti viszonyok (–53°C-os átlaghőmérséklet, valamint az átlagos földfelszíni légnyomás 0,6%-a) nem teszik lehetővé, hogy akár csak rövid ideig is stabil létezessen a bolygón. Ám nem zárható ki, hogy a szén-dioxid jégtakaró alatt, a tavaszi napfény hatására felmelegedő törmelékszemcsék felületén képződő folyékony víz lefelé szivároghat a lejtőkön, mivel a



9. ábra DDS-ek az MGS MOC nagyfelbontású felvételeinek részletein. A – M03-07336; B – E0500762; C – M0803419



10. ábra A – egy dűnemező lejtőin látható lefolyás-szerű képződmények az MGS MOC R0700938 számú nagyfelbontású felvételén; B – kinagyított részlet; C – a kinagyított részlet morfológiai vázlatja; D – a sötét dűnefoltok átmérője és az elnyúlt képződmények hosszúsága közötti összefüggés; E – a sötét dűnefoltok területe és a „tölcsár” jellegű foltok területe közötti összefüggés

felette lévő zárt jégréteg képes lehet elszigetelni az alacsony hőmérsékletű és nyomású légkörtől.

Kutatómunkánk során a DDS-ek és a lejtősávok alapvető morfológiai jellemzőit illetve morfológiai paramétereik összefüggéseit vizsgáltuk (10. ábra). A foltokból kiinduló lejtősávok mindig lejtőirányba mutatnak, árnyalatuk változik hosszuk mentén, de mindig sötétebbek a körülöttük lévő jégtakarónál, az egymás melletti, ívelt futású sávok azonos irányba görbülnek, elvégződésüknél gyakran a lejtőn lefelé mozgó anyag felhalmozódására utaló „tölcsár” látható, s alkalmanként előfordul, hogy két különböző foltból induló lejtősáv azonos „tölcsár”-ban végződik.

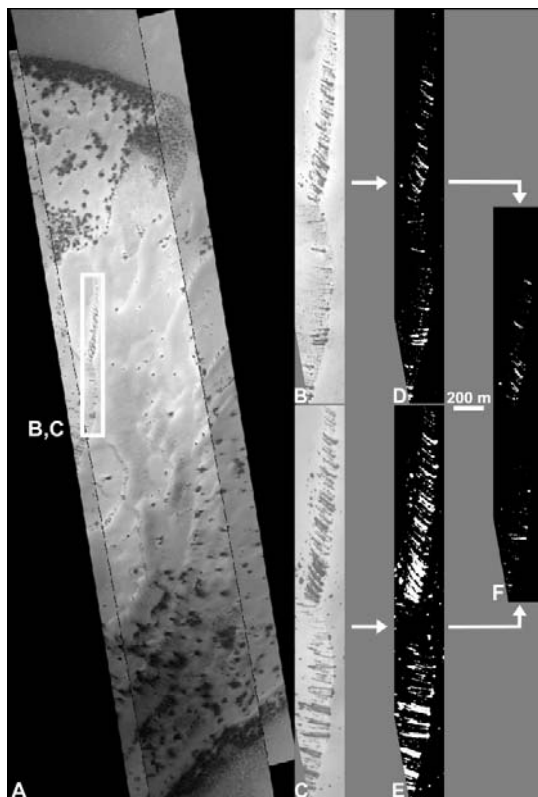
A részletes morfológiai vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy a nagyobb méretű DDS-ekhez hosszabb lejtősávok kapcsolódnak, továbbá a lejtőkön elhelyezkedő, 20 méternél nagyobb átmérőjű foltokból mindig indulnak ki lejtősávok, vagyis a dűnemezőkre jellemző lejtőszögeknel ez lehet a maximális méret, amely felett a DDS már nem tudja megtartani a belsejében felhalmozódott anyagot.

Emellett megpróbáltuk figyelemmel kísérni a mintaterületek időbeli változásait is, amihez azonos helyen, de különböző időpontban készült nagyfelbontású képekre van szükség – ám ilyenekből sajnos csak igen kevés áll rendelkezésre (az MGS MOC felvételek jellemző mérete 3 × 30 km). A megfelelő képpárok kiválasztásában szinte nélkülözhetetlen segítséget jelent a MOC-adatbázis összes felvételének részletes adatait tartal-

mazó adatállomány, amelynek hatékony kezelése érdekében a Collegium Budapest-ben működő Mars Astrobiology Group tagjaival közösen kialakítottunk egy on-line szűrési-keresési-megjelenítési alkalmazást.

Az elvégzett vizsgálatok eredménye szerint a DDS-ek és lejtősávok elhelyezkedése egyáltalán nem véletlenszerű, mivel a sötét alakzatok kb. 50–65%-a évről-évre visszatér, vagyis ugyanazon a helyen jelenik meg tavasz elején, ahol egy marsi évvel korábban is megfigyelhető volt (11. ábra).

A sötét dűnefoltokkal kapcsolatos kutatómunka morfológiai és morfometriai eredményei legteljesebb módon a sokak által vitatott „DDS-MSO hipotézis” alapján magyarázhatók meg, amely



11. ábra A – a mintaterületről készült két felvétel pontosan egymáshoz igazított helyzetben; B – a mintaterület részlete az MGS MOC E0700808 számú nagyfelbontású felvételén; C – a mintaterület azonos részlete az MGS MOC R0700938 számú nagyfelbontású felvételén; D – a B részleten látható lejtősávok kiemelve; E – a C részleten látható lejtősávok kiemelve; F – a D és E részleteken egyaránt látható, vagyis egy marsi év különbséggel ugyanott megjelent lejtősávok

szerint évszakosan folyékony víz képződik és szivárog a poláris dűnemezőket borító jégtakaró alatt, s ez a különleges adottságú mikrokörnyezet talán extremofil élőlények időszakos aktivitását is biztosítani tudja a tavaszi-nyári időszak során (Gánti et al., 2003).

Azonban meg kell említeni, hogy a foltmintázat magyarázatára más, de hasonlóan megdöbbentő elméletek is léteznek (Ness–Orme, 2002; Kieffer et al., 2006; Prieto-Ballesteros et al., 2006), ám a jelenségre csak évek múlva adható majd minden kétséget kizáró magyarázat, amikor egy leszállóegység sikeresen eljut egy pólusközeleli dűnemezőre és közvetlen módszerekkel vizsgálja meg a DDS-ek anyagát.

6. Összegzés és jövőbeli lehetőségek

A Mars felszínének térinformatikai alapú tanulmányozása a geológiai és morfológiai következtetések mellett bepillantást nyújt a felszínen korábban uralkodó éghajlati viszonyokba is. A fenti kutatási példák jól szemléltetik, hogy a napjainkban rendelkezésre álló adatok alapján, a hasonló jellegű földi feladatok megoldása során alkalmazott szoftverek használatával igen sokféle felszínalaktani vizsgálat végezhető el más égitesteken is – kvantitatív és kvalitatív egyaránt.

A Mars-kutatás két legfontosabb célja ugyanis a Földön kívüli élet nyomainak keresése, illetve az ember – remélhetőleg néhány évtizeden belül megvalósuló – biztonságos jelenlétének előkészítése. Ezért a tervek szerint a közeljövőben újabb űrszondák érkeznek majd külső bolygószomszédunk térségébe, hogy egyre több és pontosabb mérési eredmény álljon rendelkezésre a különböző asztrobiológiai illetve kockázatfeltáró vizsgálatokhoz.

Azonban a vörös bolygó bolygótudományi (vagyis alapkutató) szempontból is rendkívül izgalmas célpont, mivel földinél kisebb nehézségi erőtere, valamint száraz és hideg természeti viszonyai miatt tulajdonképpen egy olyan bolygóméretű laboratóriumnak tekinthető, amelyben a Földről ismert felszínalakító hatások az általunk megszokottól jelentős mértékben eltérő környezetben játszódnak le, illetve ahol számunkra teljesen ismeretlen jelenségek is előfordulhatnak.

Mindezek alapján a Mars formakincsének tanulmányozása nemcsak múltbeli fejlődéstörténetének részletes megismerését szolgálja, hanem azoknak a folyamatoknak az általános megértéséhez is hozzájárulhat, amelyek a Naprendszer

szilárd felszínű égitestjeinek arculatát – többek között saját otthonunk tájait is – formálják.

Köszönetnyilvánítás

Jelen munka megszületésében nyújtott segítségükért szeretnénk köszönetet mondani dr. Gábris Gyulának, Kohán Balázsnak, dr. Mari Lászlónak, Mattányi Zsoltnak, valamint a Collegium Budapest-ben működő Mars Astrobiology Group-nak és az MTA/ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport Planetológiai Körének.

IRODALOM

- Gábris Gy. (1991): Éghajlati felszínalaktan I. – Periglaciális geomorfológia. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Gánti T.–Horváth A.–Gesztési A.–Bérczi Sz.–Szathmáry E. (2003): Dark Dune Spots: Possible Biomarkers on Mars? Origins of Life and Evolution of the Biosphere, 33, 515–557.
- Horváth A.–Gánti T.–Gesztési A.–Bérczi Sz.–Szathmáry E. (2001): Probable evidences of recent biological activity on Mars: appearance and growing of dark dune spots in the south polar region. XXXIIth Lunar and Planetary Science Conference, Houston, abstract #1543.
- Horváth A.–Kereszturi Á.–Bérczi Sz.–Sik A.–Pócs T.–Gesztési A.–Gánti T.–Szathmáry E. (2005): Annual change of Martian DDS-see-pages. XXXVIth Lunar and Planetary Science Conference, Houston, abstract #1128.
- Kieffer, H. H.–Titus, T. N.–Mullins, K. F.–Christensen, P. R. (2000): Mars south polar spring and summer behavior observed by TES: Seasonal cap evolution controlled by frost grain size. Journal of Geophysical Research, 105(E4), 9653–9700.
- Kieffer, H. H.–Christensen, P. R.–Titus, T. N. (2006): CO₂ jets formed by sublimation beneath translucent slab ice in Mars' seasonal south polar ice cap. Nature, 442, 793–796.
- Ness, P. K.–Orme, G. M. (2002): Spider-Ravine models and plant-like features on Mars – Possible geophysical and biogeophysical modes of origin. Journal of the British Interplanetary Society, 2002 március/április.
- Pieri, D.C. (1980): Martian valley morphology, distribution, age and origin. Science, 210, 895–897.
- Prieto-Ballesteros, O.–Fernández-Remolar, D. C.–Rodríguez-Manfredi, J. A.–Selsis, F.–Manrubia, S. C. (2006): Spiders: Water-driven erosive structures in the southern hemisphere of Mars. Astrobiology, 6, 651–667.
- Sik A. (2004): Periglaciális törmelékjejtők vizsgálata digitális domborzatmodellek alapján – a Marson. – Konferencia CD-ROM. Magyar Földrajzi Konferencia 2004, Szeged.
- Squyres, S. W. et al. (1992): Ice in the Martian regolith. In: Kieffer, H. H.(szerk.) et al.: Mars. University of Arizona Press, Tucson.

Mars Surface Analysis Based on Remote Sensing

Sik, A.–Kereszturi Á.

Summary

The aim of this article is to present that based on the remotely sensed images and datasets available today, it is possible to carry out detailed morphological investigations of another planetary bodies. The authors show multiple research examples of ancient fluvial valleys, sedimentary formations, periglacial debris aprons and seasonally changing albedo structures on Mars. Using public space image archives, well-known commercial GIS softwares and the same methodology as used in Earth-related applications, exciting scientific questions can be answered about the surface evolution of the red planet. These results can help to expand our knowledge on the general processes that shape the solid planetary surfaces in the Solar System and to understand more deeply the nature of our own world as well.