

DOMBORZAT ALAPÚ FELSZÍNELEMZÉS ÉS MORFOLÓGIAI KORRELÁCIÓ A MARS ÉSZAKI SÍKSÁGÁRA

Kereszturi Ákos*, Madarász Balázs**, Örsi Anna**



Topography based surface analysis and morphology correlation for the northern hemisphere of Mars – The topographic analysis of the Martian surface might help to understand basic geomorphological connections and to improve our understanding of the surface features of the Earth, too. In this work we correlated the statistical topographic parameters and the remote sensing image based appearance of various locations along a meridional stripe at the northern hemisphere of Mars. The topographic location of nearly horizontal plains suggests that the erosion and re-deposition was not effective enough to transport the sediments onto the lowest topographic horizon within 50 km distance scale. Great difference could be identified between the topographic height distribution pattern of various analysed terrains, suggesting different variability and complexity in the range of surface feature types there. Terrains resembling the pediment-like structures also could be identified on the analysed terrains on Mars, but their firm identification requires more detailed analysis. The statistics based topography analysis could give useful input for detailed surface research in geomorphology.

Keywords: Mars, topography, geomorphology, GIS

A Mars domborzatának elemzése hozzájárulhat a földi folyamatok jobb megértéséhez, valamint a geomorfológiai jelenségek általános megismeréséhez. A bolygó északi síkságának egy meridionális sávjában elhelyezkedő mintaterületek domborzatának néhány statisztikai jellemzőjét korreláltuk műholdfelvételek alapján nyert képekkel. A mérések során azonosított sík területek helyzete arra utal, hogy noha volt domborzatkiegyenlítő folyamat a vizsgált területeken, az nem volt annyira intenzív, hogy 50 km-es távolságskálán mindenhol a legmélyebb területeken halmozza fel az üledékeket. Az egyes vizsgált területek nagy eltérést mutattak a domborzat magasságeloszlását, és a várható felszínalakító folyamatok számát illetve jellegét illetően. Továbbá, domborzati jellemzők alapján részben sikerült a földi hegyláb felszínre jellemző területeket azonosítani domborzati jellemzők alapján, noha itt további megfigyelések szükségesek még az eredet biztos megállapításához. A Mars-on statisztikai alapú domborzatelemzés több területen részletesebb vizsgálatokban is használható kapcsolatot mutat a felszín geomorfológiai jellemzőivel.

Kulcsszavak: Mars, topográfia, geomorfológia, GIS

1 Bevezetés

A földi folyamatok jobb megértésében is segít a szilárd felszínű bolygók vizsgálata. Ennek kutatásában a távérzékeléses módszerek fontos szerephez jutnak (Sik és Kereszturi 2006). Az alábbiakban bemutatott kutatómunka az ISSI (International Space Science Institute) svájci intézetben indult nemzetközi „Mapping of the northern hemisphere of Mars” nevű projekt kiegészítéseként, az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközponton belül a Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet és a Földrajztudományi Kutatóintézet közös munkája keretében zajlik. A munka során a Mars északi síkságának területét vizsgáltuk az északi pólussapkájának peremétől az egyenlítő környékén mutatkozó észak-dél határvidék nagy domborzati lépcsőjéig (Hargitai 2006, 2008).

Célunk annak a megállapítása volt, hogy az egész égitestet homogéne lefedő (horizontálisan 200 méter körüli felbontású) domborzati adatok miként korrelálhatóak a fényképi adatokkal, vagyis milyen kapcsolat mutatható ki a jobb felbontású képek alapján megfigyelt domborzati mintázat és a gyengébb felbontású topográfia statisztikai jellemzői között. Emellett célunk volt a domborzat alapú felszínelemzés és az űrszondás műholdfelvételek alapján vizsgált geomorfológia közti kapcsolat

*MTA CSFK CSI, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15-17.

**MTA CSFK FI, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

E-mail: kereszturi.akos@csfk.mta.hu

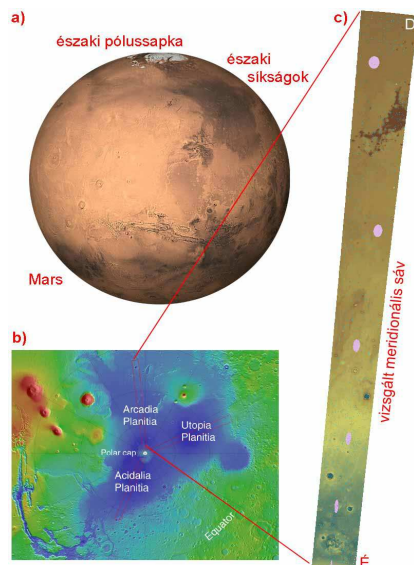
keresése, földi jellemzőkkel történő összehasonlítása, részben a bolygó egyéb területein is alkalmazható automatizált domborzatelemzés fejlesztése céljából. Hosszú távon az automatizált felszíni elemzés meggyorsíthatja a területek vizsgálatát, típusok lehatárolását. Hasonló automatizált alkalmazásokat földi viszonylatban gyakran használnak (Czimer 1997, Mucsi et al. 2010, Telbisz et al. 2013, Timár et al. 2003).

2 Anyag és módszer

A munka során felhasznált adatállományok a Mars Reconnaissance Orbiter űrszonda által rögzített CTX képek voltak, amelyek 0.5-0.7 mikrométer közötti hullámhossz tartományban 30 km széles sávban és 6 m/pixel felbontásban fedik le a felszínt, valamint a Mars Express űrszonda HRSC detektorának képeit is használtuk (Chicarro et al. 2004), amelyek 0.4-0.9 mikrométer közötti tartományban, maximálisan 20 m felbontással és 10 km széles sávban fedik le a felszínt. A domborzati adatok a Mars Global Surveyor MOLA nevű lézeres magasságmérései alapján generált adatállományból kaptuk (Smith et al. 1999), amely vízszintesen 100-300 m közötti felbontással, függőlegesen 0.4 m felbontással mutatja a domborzatot (Kereszturi 2013).

A domborzat statisztikai vizsgálatához ArcGIS 10 Spatial and 3D Analyst szoftvercsomagot használtuk, azon belül a felszínelemző eszközök (tool) domborzatelemző algoritmusait (főleg slope, range), valamint egyéb osztályozó algoritmusokat alkalmaztunk. Területek lehatárolása során közel 40 km átmérőjű vidékeket elemeztünk, amelyek alapján azonosíthatjuk azt, hogy milyen fajta megfigyelésekre érdemes fókuszálni, és hogy mit tudunk kimutatni az adatokból. A földi domborzatelemzéshez hasonlítás esetében Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) adatait használtuk 90 m horizontális pixel mérettel (Rabus et al. 2003). A „slope” (azaz lejtőszög) értéknél a domborzati adatok között pixelenként vizsgáltuk meg, hogy egy adott pixel melletti közvetlen szomszédos pixel közül melyik felé legnagyobb a magasságkülönbség, és ez mekkora lejtőszöget jelent a két pixel centruma közötti távolságon. A „range” pedig a relatív relief 5x5 pixel (azaz 1-2 km széles) területre számolt legnagyobb és legkisebb magasságadatok közti különbség értéke.

A vizsgált terület a Mars északi síkságának a 180 fokos keleti hosszúsági kör mentén húzódó, 200-800 km szélességű meridionális sávja, amely egy többnyire lapos, csekély domborzati egyenetlenséget mutató zóna, homogenitása miatt ideális a földrajzi szélességtől függő képződmények elemzéséhez. A minta területi elhelyezkedéséről az 1. ábra nyújt áttekintést.



1. ábra. A vizsgált területek elhelyezkedése a Marson:

- a) a bolygó teljes gömbje, b) az északi pólus környéke, a vizsgált területtel,
c) a CSFK-ban vizsgált meridionális sáv, rajta a hat, részletesen elemzett terület helyével (ellipszisek)

3 Eredmények

A vizsgált területek numerikus paramétereinek összefoglalása az 1. táblázatban olvasható, ahol a súlyozás a hat vizsgált terület kissé eltérő területe szerint történt. Az egyes területek képi és domborzati jellemzőinek összehasonlíthatásához a 2. ábrán láthatóak példák: az egyes sorok mutatják az eltérő vizsgált területeket, míg az eltérő oszlopok különböző adattípusokat tartalmaznak.

A topográfia és felszínmorfológia korrelációjának bemutatására szolgál a 2. ábra, amely balra az adott terület magasságeloszlását mutatja, mellette jobbra a célterület helye látszik egy MOLA adatból generált színárnyékolásos domborzatmodellen, a két jobb oldali felvétel pedig a vizsgált vidéket mutatja 30x30 km-es és 5x5 km-es CTX illetve HRSC képeken.

Az alakzatok értelmezésének megkönnyítése végett érdemes megjegyezni, hogy a 6. területen (2. ábra. 1. sor) egy cirkumpoláris dűnemező látható. Az 5. és 4. területen olyan egyenetlen vidékek látszanak, ahol a kisebb kráterek mellett magányos csúcsok is feltűnnek, amelyek talán vulkáni kúpok vagy pingó jellegű alakzatok lehetnek (Sakimoto et al. 2001). A 3. területen a 2. ábra 2. oszlopában a közel függőleges lineáris formák eredete pontosan nem ismert, talán lávamozgással keletkeztek (Kereszturi 2012), de sokan egykori jégtakaróval kapcsolatos alakzatoknak tartják őket. Ugyanitt a 4. oszlopban látható közel vízszintes sávozás a domináns szélirányban haladó forgószelek („porördögök”) által tisztára söpört sávokat mutatják (Balme és Greeley 2006). A 2. és 1. területnél már a síkságok dominálnak, főleg az 1. esetben, ahol látványos a feltöltéses domborzatki-egyenlítődé. Ez utóbbinak az eredete még szintén kérdéses: üledékes folyamathoz, avagy a Marson jellemző magas vastartalom miatt hígban folyó bazaltláva ömléséhez kapcsolódik-e (Kereszturi 2012).

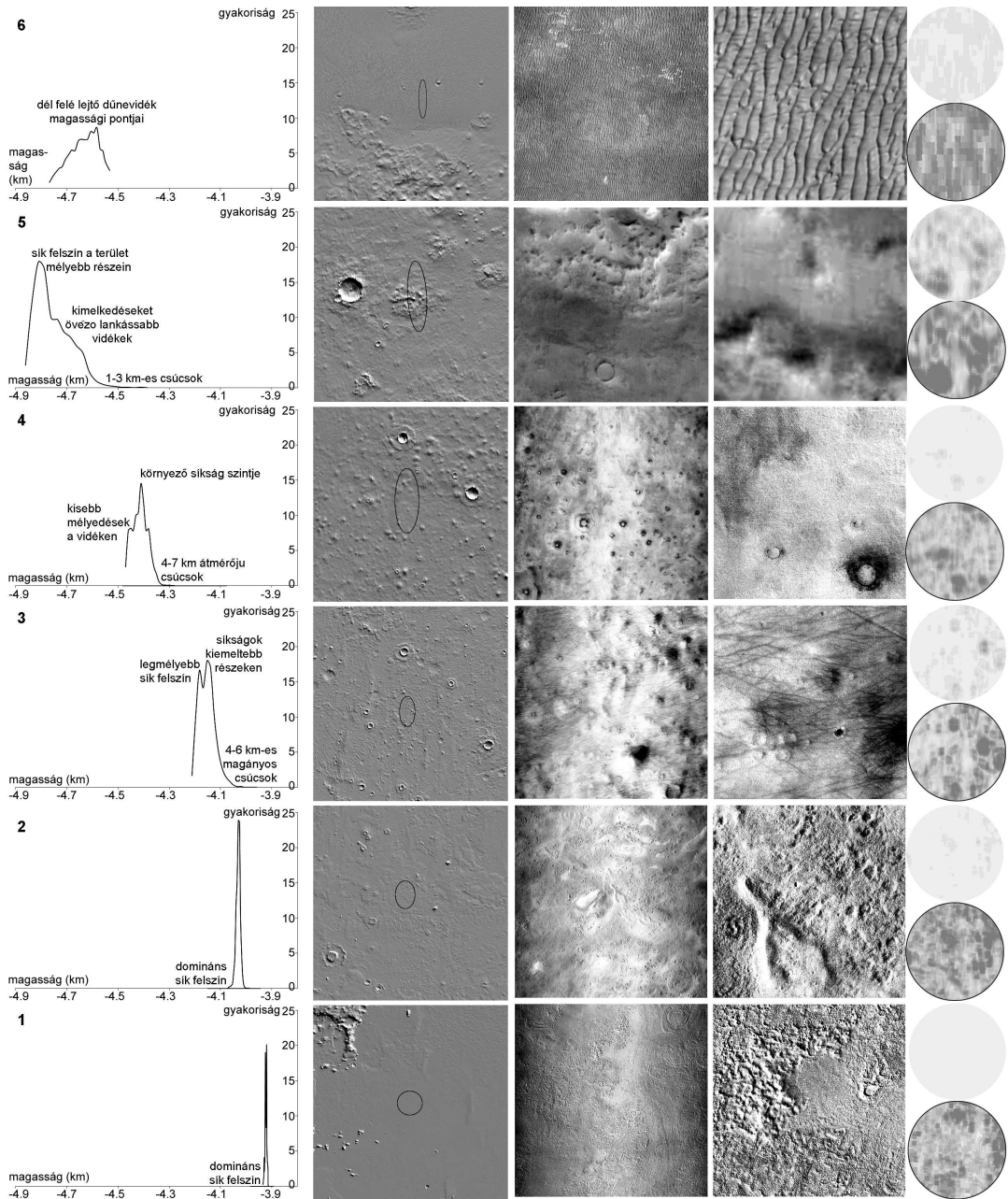
A legfontosabb megfigyelések az alábbiak szerint három csoportban összegezhetőek az elért területek illetve mért paraméterek összehasonlítása alapján.

Numerikus értékek:

- A magasságintervallumok és a magasságadatok szórása sem korrelál az abszolút magassággal – tehát a megfigyelt meridionális sáv mérettartományában a Marson (gyakorlatilag majdnem globálisan) nem mutatkozott „domborzat kiegyenlítő” üledékes feltöltés. Tehát nem a mélyebb területek lettek simábbak.
- A legszűkebb magasságintervallum az 1. területen látható, ahol üledékes folyamat vagy híg bazaltláva töltötte fel a vidéket. Ha csak az intervallumok szélességét vizsgáljuk, nem egyértelmű a kapcsolat az üledékes folyamatok eredményeivel: egyedül csak az intervallum mérete nem utal arra, hogy volt-e üledékes feltöltés a területen. Ugyanakkor alkalmanként (főleg az előbb említett 1., továbbá részben a 2. területnél) ez az adat utalhat a szedimentáció jelentőségére, ha a vizsgált szempontjából szerencsés vidékre esik a célterület.
- Noha a MOLA képként és a műholdas felvételeken megjelenített adatok alapján az 1. terület közel ugyanolyan sima, mint a 6., a 6. sokkal szélesebb intervallumban megjelenő magasságadatokat tartalmaz. Ennek oka a vizsgált terület lejtése lehet.
- A szűk magasságintervallumot lefedő domborzateloszlás a középső oszlop képeinél (0.5-1.0 km felbontás) esik egybe a közel homogén kinézetű területtel, míg a 4. oszlopban (10-30 m felbontás) a hisztogramtól függetlenül lehet egyenetlen is a kinézet.

1. táblázat. Összefoglaló táblázat a mérési eredményekről

terület- azono- sító	átl. mag. [m]	súlyo- zott átlag	min. mag. [m]	max. mag. [m]	absz. mag. kül. [m]	mag. szórás	max. lejtőszög [fok]	súlyozott átl. lejtőszög [fok]	adat- pontok száma
6	-4649	-4632	-4775	-4522	253	56.6	2.5	0.52	7091
5	-4664	-4755	-4875	-4375	500	70.9	12.0	1.09	21479
4	-4379	-4415	-4477	-4276	201	30.8	3.0	0.36	19807
3	-4095	-4153	-4220	-3927	293	33.3	6.0	0.54	17705
2	-4032	-4032	-4075	-3984	91	8.6	2.5	0.31	15542
1	-3923	-3923	-3935	-3910	25	4.1	1.0	0.25	12281



2. ábra. Az egyes vizsgált területek (eltérő sorok) abszolút magasságadatainak eloszlása (1. oszlop), a területek helyzete MOLA alapú domborzatárnyékolásos térképen (2. oszlop), és jellegzetes 30x30 km-es (3. oszlop), valamint 5x5 km-es (4. oszlop) területeket bemutató CTX fényképek alapján. Az 5. oszlop a „range” értékek eloszlását mutatja 5x5 pixeles mozgó sablon vizsgálatával és kétféle ábrázolással: a világosabb felső kör minden területen azonos beosztásközszel (függőlegesen 20 méter szintközszel) mutatja az domborzat magasságeloszlását, míg az alsó sötétebb és bekeretezett kör az adott intervallumra széthúzott osztályközszel mutatja az eloszlást (ahol a sötétebb árnyalat nagyobb range értéket jelent) – itt tehát az egyes területek egymással kevésbé hasonlíthatók össze

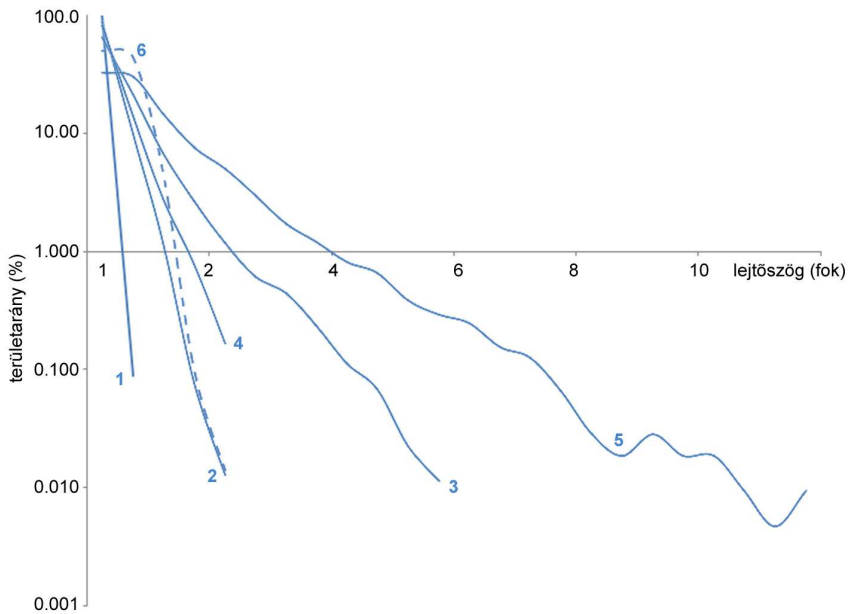
Hisztogramok alakja:

- A hisztogramokon megfigyelhető eloszláson (2. ábra 1. oszlop) látható magasabb térszínnek (görbék ellaposodó jobb oldali elvégződése a 3., 4. és 5. területen) elszórt, apró csúcsokat jelez, amelyek egyes elgondolások alapján vulkanikus eredetűek (Sakimoto et al. 2001, Sakimoto és Waren 2003), ilyenek sem a magasságeloszláson, sem a képeken nem mutatkoznak a 2. és 6. területeken.
- A hipszografikus görbe alakja a vizsgált esetek közül a 6. területnél hasonlít leginkább Gauss-eloszlásra (de csak durva közelítéssel), miközben az abszolút magasságkülönbség viszonylag jelentős: 256 m. Itt sima és egyben lejtős területtel van dolgunk, amit a fényképek elemzése meg is erősít: enyhén hullámzó dűnevidék borítja a térséget.
- A 6. területnél nem mutatkozik egy-egy nagyobb, a környezetből feltűnően kiemelkedő csúcs, ami egyveretű felszínre utal – ez a képekkel összehasonlítva igazolódik is: hasonló dűnék borítják az egész vidéket.
- Több maximum a domborzat magasságának gyakorisági eloszlásában (3., 4., 5. terület) jobban összetett, változatosabb felszínfejlődésre utal, míg az egyetlen magassági maximumot mutató görbe látványosan jelzi a domináns felszínátalakulás nyomát. Az egyébként evidens állítás azért érdekes, mert megmutatja, hogy ha a bolygónknál kevésbé ismert Marson geomorfológiailag eltérő folyamatok dominálta vidékeket keresünk, akkor miben segíthet a domborzatelemzés.
- Az 1. oszlop görbéin a nagy maximumok (csúcsok) egy-egy domináns magasság szintet jelölnek. Ez várhatóan gyakran esik egybe feltöltött üledékes síkságokkal, ami az 5. területnél a leginkább egyértelmű. Az 1. és 2. terület esetében az egész vizsgált vidék szűk magasságintervallumba esik – ezeknél a hisztogram alakján nem látszik „egyéb” magassági tartomány. Ugyanakkor a 3. és 4. területnél az eloszlásmaximumot létrehozó síkságok nem a legmélyebb részek, hanem a magasságintervallum „középső táján” mutatkoznak. Ez arra utal, hogy ha voltak is üledékes feltöltő folyamatok, a kérdéses vidéken nem halmozták át az anyagot annyira, hogy a legmélyebb pontokra hordták volna azt. Ilyen esetek a Földön pl. hegyvonulatok által elzárt, magasabban fekvő üledékes medencék, amelyeket üledékes feltöltő folyamatok hoznak létre – a Marsnál viszont fontos eltérés, hogy egy kiterjedt nagy síkság (Északi-mélyföld) területén jelenik meg mindez.

Korreláció a morfológiával:

- A hisztogramok jobb oldali, ellaposodó vége (2. ábra 3., 4., 5. eset) kis területen jelentkező magasabb tartományokat képvisel. Ez a képek alapján elszórt csúcsokhoz tartozik, amelyek a fent említett vulkán vagy pingó gyanús alakzatok.
- Általánosan elmondható, hogy a bolygó „tájképét” erősen befolyásolható becsapódásos kráterek hatása alig jelenik meg a domborzateloszláson. Ennek oka, hogy az északi síkság felszínén megfigyelhető kráterek viszonylag kisebbek, mint a déli felföldeken találhatóak, és ennek megfelelően igen ritkán jelentkezik hatásuk a 200 m-es felbontású domborzati modelleken. Emellett a kráterek kimutatása ilyen statisztikai vizsgálattal nehéz is, mivel vagy a kiemelkedő peremük, vagy a belső mélyedésük jelentkezik csak – ami sokféle egyéb alakzat domborzateloszlására hasonlíthat.

A lejtőszög értékek gyakoriságát mutató görbék alapján a domborzat változatosságára tudunk következtetni (3. ábra). Ezek a szomszédos pixelek közötti legnagyobb lejtőszögek gyakorisági sűrűségét mutatják a hat vizsgált területre, logaritmikus skálán, mivel ilyen ábrázolással hasonlíthatók össze az egyébként nagyon kis arányban szereplő, de fontos meredek lejtőszög értékek. Egyértelműen jelzi a kapcsolatot, hogy a legkisebb dőlésszögek a síkságok vidékére esnek. A várakozásoknak megfelelően az 5. terület esetében látszik a legtöbb meredek lejtő, ami érthető módon a legnagyobb magassági intervallummal (és egyben a legváltozatosabb felszínnel) esik egybe a vizsgált területek közül.



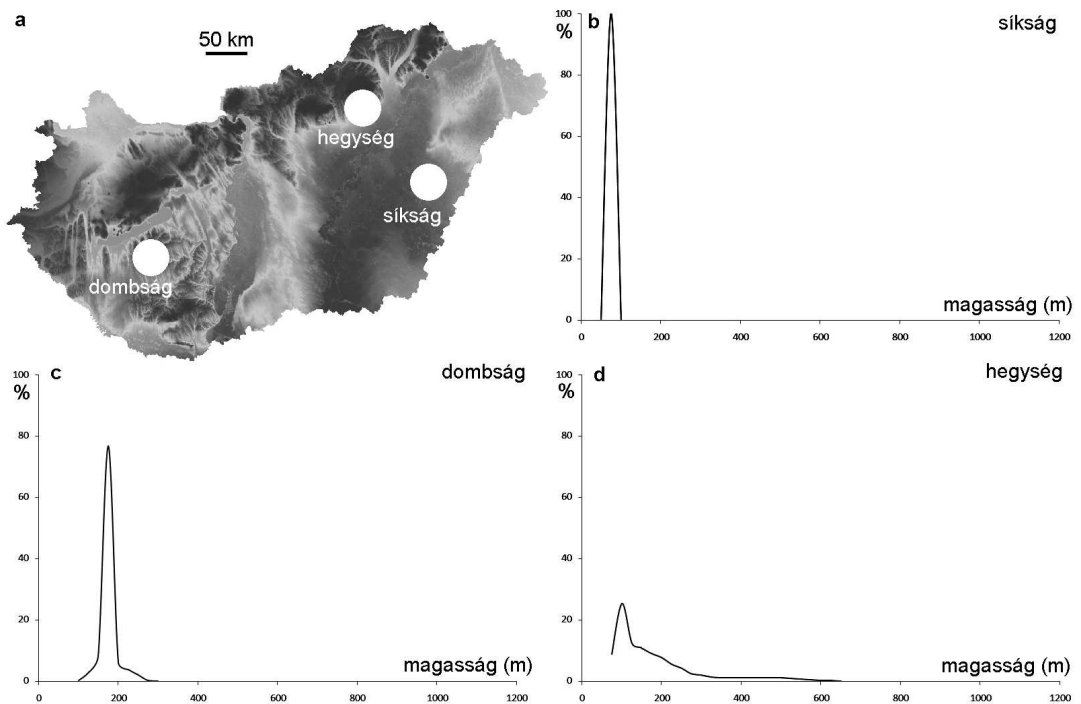
3. ábra: Százalékos lejtőszög sűrűséggörbék 200 méteres távolságon értelmezve a hat vizsgált terület típusra

Érdekes összehasonlítás tehető a földi viszonyokkal, ha néhány hasonló méretű földi területre nézzük meg a magasságtérképek sűrűségfüggvényét. A 4. ábrán a Marson vizsgálatához hasonló nagyságú terület SRTM alapú magasságtérképek sűrűségfüggvénye látható. Noha Magyarország területén nem várható a marsihoz hasonló felszínfejlődés, az összehasonlítás rávilágít arra, hogy mely geomorfológiai jelenségek, illetve mely forma típusok mutatkoznak meg a görbéken – amelyekhez hasonlóak megfigyelésére elvben a Marson is lehetőség van. A vizsgált földi esetben az Alföld területén a megjelenő magasságadatok intervalluma egyaránt 25 méter, akárcsak a Marson, amely abban az esetben meglepő, ha a Vörös Bolygón lávafolyás hozta volna létre a lapos vidéket, mint azt fent említettük.

A hegyvidéki területen szintén hasonló a magassági intervallum (500-600 m), azonban a két égitest, és a vizsgált területek eltérő jellege miatt ez nem több „érdekességnél” – ellenben a hipszografikus görbe alakja már elárul néhány információt. A Mátra déli lejtőjén a legmagasabb területeket a görbe jobb oldali ellaposodó szakasza jelzi, hasonlóan a marsi esethez. A földön lejtőlábi, feltehetőleg áthalmazott vidékek is jelentkeznek a görbén egy „váll” formájában a legnagyobb, közel sík területeket jelző gyakorisági maximum mellett jobbra. Érdekes, hogy hasonló a marsi esetben is megfigyelhető – az esetleges analógiás geomorfológiai folyamat vizsgálatára egy későbbi, részletesebb munkában kerülhet sor.

4 Összefoglalás

A cikkben bemutatott munkában arra kerestük a választ, hogy milyen domborzati jellemzők nyerhetők ki egyszerűen és tartalmaznak érdekes információt a Mars felszínmorfológiájának jobb megismerésében. Az automatizált módszerek fontosak a bolygótudományban a napjainkra elérhetővé vált hatalmas adatállományok vizsgálatára, mert a kérdéses adatsorok vagy képek egyenként történő kézi elemzése rendkívül munkáigényes. Ez esetben a kreatívabb, de időigényes emberi munka fókuszálható az automatikusan azonosított érdekesebb területekre, avagy témakörökre. A legfontosabb specifikus eredményeinket a kiindulási kérdések szerint csoportosítottuk az alábbiakban.



4. ábra. A három kiválasztott magyarországi síkvidéki (a), dombvidéki (b) és hegyvidéki (c) terület hipszografikus görbéi a marsi esetekkel azonos ábrázolással

Mely geomorfológiai alakzatok látszanak a domborzati statisztikákon a Mars vizsgált területein? A korlátozott felbontást figyelembe véve várható, hogy csak közel km-es és nagyobb formák lesznek felismerhetőek, ennek megfelelően esetünkben ennél kisebb alakzatokra nem kaphatók eredmények. A képekkel korrelálva a hipszogramokat, azok egyes csúcsai jól mutatják a közel sík területeket. Az eloszlás arra is utal, hogy ezek nem minden esetben esnek a legmélyebb helyekre, jelezvén azt, hogy a domborzati kiegyenlítődézés nem volt erős. Utóbbi, a feltehetőleg a Marson csak időszakonként fellépő üledékes folyamatokkal (ritka nedves, hosszú száraz időszakokkal) magyarázható. A kisebb, izolált csúcsok nyoma a hipszogramok lapos elvégződésében azonosítható, noha az eloszlásnak ez a jellemzője speciális esetben egy nagyobb, magasabb plató vagy hegy jelenlétével is előállhat.

Milyen eredményeket ad az eltérő területek összehasonlítása? Az egyes területek eltérő alakú hipszografikus görbéi arra utalnak, hogy különböző jellegű folyamatok alakították a felszínt. Míg az üledékes feltöltés az 1. és 2. területen hozott létre nagyobb síkságokat, hasonló sima vidékek a 4. és 5. területnél mutatkoznak – itt azonban sok más domborzati formával együtt, ami arra utal, hogy ezen vidékek változatosabb felszínalakulási nyomokat őriznek.

Mi sejthető a felszínmódosító folyamatok jellegéről a statisztikai adatok alapján? A megfigyelések arra utalnak, hogy a kérdéses területeken fellépett ugyan domborzategyengető, feltehetőleg üledékes feltöltő folyamat, de nem jutott el olyan „egyensúlyi állapotig”, amikor a síkságok már koncentrálnának a legmélyebb területeken. Az 5. területen a nagy kiemelkedések mellett lévő alacsonyabb, de még a síkságok felett lévő térszín talán lepusztulási folyamatok nyomán keletkezett. Ez egy olyan, a földi hegyláb felszínre emlékeztető vidék lehet, amelynek segítségével módszerünk a bolygó egyedi jellemzőibe nyújthat bepillantást égitest szintű automatizált elemzéssel (Illés 2006).

Összegezve tehát elmondható, hogy a Marson a korrelációs domborzatelemzés főleg a felszín általános jellemzésére és néhány folyamat nagyvonalú valószínűsítésére alkalmas. Célunk a módszer továbbfejlesztése és automatizálása a bolygó északi síkságaira, ahol eltérő területek lehatárolása is

lehetővé válik. A további munkába lokális morfológiai szűrők, és textúra elemző függvények bevonását tervezzük.

Köszönetnyilvánítás. A cikkben bemutatott kutatómunkát az OTKA PD 105970, a CSFK Főigazgatói Keret 2013. támogatta, az International Space Science Institute „Mapping the Northern Plains of Mars: origins, evolution and response to climate change” nevű projektjével együttműködésben. A szerzők köszönetet mondanak Czímber Kornél és Bérczi Szaniszló bírálónak hasznos javaslataiért.

Hivatkozások

- Balme M, Greeley R** (2006): Dust devils on Earth and Mars. *Reviews of Geophysics*, 44(3), CiteID RG3003.
- Chicarro A, Martin P, Trautner R** (2004): The Mars Express mission: an overview. In: Mars Express: the scientific payload. Ed. by Andrew Wilson, scientific coordination: Agustin Chicarro. ESA SP-1240, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 3-13.
- Czímber K** (1997): Geoinformatika. Egyetemi jegyzet, Sopron, 1997.
- Hargitai H** (2006): Planetary Maps: Visualization and Nomenclature. *Cartographica*, 41(2), 149-167.
- Hargitai H** (2008): Topographic map of Mars, Lambert projection. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport.
- Illés E** (2006): Miért nem olyan az egyik, mint a másik? A naprendszerbeli bolygótetek összehasonlító planetológiai áttekintése. *Magyar Tudomány*, 2006(8), 918.
- Kereszturi A** (2012): Mars – fehér könyv a vörös bolygóról. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest.
- Kereszturi A** (2013): Távérzékelési módszerekkel a marsi víz nyomában. *Geodézia és Kartográfia*, 64(9-10), 18-23.
- Mucsi L, Nagyváradai L, Kovács F, Szatmári J** (2010): Geoinformatika alapjai. Elektronikus jegyzet, Szegedi Tudományegyetem.
- Rabus B, Eineder M, Roth A, Bamler R** (2003): The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4), 241-262.
- Smith D, Neumann G, Ford P, Arvidson RE, Guinness EA, Slavney, S** (1999): Mars global surveyor laser altimeter precision experiment data record. NASA Planetary Data System, MGS-M-MOLA-3-PEDR-L1A-V1.0.
- Sakimoto SEH, Garvin JB, Wright H** (2001): Topography of small volcanic edifices in the mars northern polar region from Mars Orbiter Laser Altimeter observations. 31th Lunar and Planetary Science Conference, abstract, 1971.
- Sik A, Kereszturi Á** (2006): A Mars felszínalkatani vizsgálata űrfelvételek alapján. *Geodézia és Kartográfia*, 58(9), 12-20.
- Telbisz T, Székely B, Tímár G** (2013): Digitális terepmodellek. ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet Természetföldrajzi Tanszék, Budapest.
- Tímár G, Telbisz T, Székely B** (2003): Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis. *Geodézia és Kartográfia*, 55(12), 11–15.