

Fagymintás területek a Marson

Dudás Nikolett

*Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/a
(nikolett.dudas@gmail.com)*

Összefoglaló

A marsi fagymintázat hasonló módon keletkezhet, mint a Földön. A poligonális mintázat a felszín alatti vízjég jelenlétének közvetett bizonyítéka. Mivel a sokszögeket feltehetőleg a jég fagyás-olvadás ciklusa által keltett feszültség alakítja ki, a sokszögek bizonyíthatják a folyékony víz időszakos jelenlétét is a Marson. Ez igen fontos felfedezés az élet utáni kutatás szempontjából. Emellett a fagypolygonok, mint kiváló indikátorok, magukon viselik az éghajlat hosszabb időskálájú változásait, így alkalmazhatóak a klímakutatásban is. A sokféle módon csoportosuló polygonok ráadásul igazán látványos alakzatokat alkotnak.

Kulcsszavak: poligon, mintázat, periglaciális, Mars, Phoenix

Abstract

The pattern of freezing on planet Mars has probably been created in the same way as on Earth. The polygonal pattern is the indirect proof of the existence of water-ice under the surface. As the polygons are supposed to be shaped by the tension following the melting-freezing cycle of ice, these polygons can prove the temporary existence of fluid water on planet Mars. This is a rather significant discovery in the aspect of research after life. Besides the frost-polygons, as they are perfect indicators, bear the longer time scale changes of climate, thus they are able to be adapted in the research of climate. Polygons appearing in various shapes and grouping in many ways create.

Keywords: polygon, pattern, periglacial, Mars, Phoenix

Bevezetés

Napjainkban számos földi jelenség és folyamat természetét nem tudjuk még megmagyarázni. Ezeknek megértésében azonban segítségünkre lehet az összehasonlító planetológia. Sokan úgy gondolják, hogy amíg nem ismerjük pontosan a földi folyamatokat, addig nem érdemes más égitestek vizsgálatát elkezdni. Pedig a földihez hasonló jelenségek tanulmányozása más égitesteken választ adhat a kérdésekre. Így a távoli égitestek megismerés alapján Földünkről alkotott ismereteink is bővülnek.

A Marson például az eltérő környezet, egyes tényezők hiánya miatt leegyszerűsítve vizsgálhatjuk a folyamatokat (Sik 2001).

Periglaciális területek

A periglaciális terület jégkörnyéki környezetet jelöl. A Földön nagy tengerszintfeletti magasságokon és magas földrajzi szélességeken fordul elő. A periglaciális övezet lehatárolása megegyezésen alapuló, – hiszen az átmenetek a valóságban

fokozatosak – a permafrost („örökfagy”) kiterjedéséig tart. A permafrost fagyott föld, amelyben a kőzetek hőmérséklete egész évben 0°C alatt marad néhány évtől ezer, vagy akár tízezer éven keresztül is. A periglaciális területek legfontosabb közös vonása a szilárd halmazállapotú, fagyott víz időszakos, felszín alatti jelenléte. A jégkörnyéki területek rendkívül érzékeny módon reagálnak az éghajlati és morfológiai jellemzők ingadozásaira, így az itt végzett vizsgálatok jól használhatók a környezeti változások megfigyelésére (Gábris 2007).

Mars-analógia

A marsi folyamatok a bolygóhoz küldött űrszondákkal történő vizsgálat mellett, a Földön is tanulmányozhatóak, analógiák felállításával. Erre alkalmas területeket találhatunk Észak-Kanadában, Szibériában és az Antarktison is.

Az Antarktison található McMurdo Dry Valleys területét immár 30 éve használják a kutatók Mars-

analógia helyszíneként (1. kép). Ez a táj ugyanis erősen emlékeztet a marsi poláris vidékekre. A kutatók szerint a felszín alatt egész évben folyékony víz található, amely által kialakított formákhoz számos hasonlót találtak a Mars felszínén is (Molnár 2008).



1. kép. McMurdo Valleys - Green Creek, Antarktis. Fotó: Chris Gardner (URL: http://www.mcmlter.org/photoDB/green_creek1.jpg, letöltés ideje: 2009.01.10. 15:35)

Fagymintázat

Az örökfagy kialakulásához nem szükséges a víz jelenléte. Mozgást, feszültséget, változást azonban csak a víz jelenléte, illetve fázisváltozása okoz. A felszíni formák kialakulását a víz és a jég megjelenési formái határozzák meg.

Beszélhetünk a felszínen jégtűkről, illetve rájegesedésről, a felszín alatt pedig ún. „in situ” jégről, szegregációs jégről, injekciós jégről, eltemetett jégről, jégékekről. A fagyminták létrejöttéért a polygonális jégékek felelősek. A jégékeknek több fajtáját különböztethetjük meg, aszerint, hogy jég, jég és homok vagy közettörmelék tölti ki a repedést (Gábris 2007).

Poligonok a Földön és a Marson

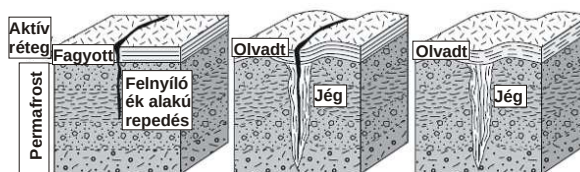
A fagypolygonok kialakulása

A Földön számos poligon létrejött közvetlenül a vízhez kapcsolódik. Tipikus alakjuk kialakulásáért a jég ismétlődő olvadása és újrafagyása felelős, amelyet hőmérséklet fagypont környéki, illetve fagypont alatti változékonysága hoz létre.

Az alacsony hőmérsékleten összehúzódó talaj megrepedése vezet a jégékek kialakulásához (2. kép). A repedésekbe beszivárgó víz fagypont alatti hőmérséklet esetén megfagy, térfogata megnő, olvadáskor pedig csökken. A jég térfogata fagyott állapotban is változhat a kisebb hőmérséklet-ingadozások hatására. Mindez mechanikai feszültséget eredményez, és sokszögletű repedések jönnek létre. A repedéseket később kitöltheti jég vagy közettörmelék.

A fagyékek csoportosan jelennek meg és a felszínen sokszögű (polygonális) hálózatot alkotnak.

A nyári felmelegedés során a talajban kifejlődő nyomás hatására a jégékek deformálódnak, illetve a felszín felé tolódnak. Ennek következtében a jégékek érintkező fagyott föld szerkezete eltorzul, a rétegek felfelé hajlanak. A fagyott föld kissé feldomborodik, és néhány dm szintkülönbségű kiemelkedés jön létre. A kiemelkedés közepén az olvadó jégék nyomvonalában pár cm széles, hosszan elhúzódó nyílás is keletkezik (Gábris 2007).



2. kép. A fagyékek keletkezése (Kereszturi 2008a, URL: <http://origo.hu/tudomany/vilagur/20080529-phenix-a-sarkvideken-a-mars-valtozo-eghajlatan-nyomaban-az.html?pid=1>, letöltés ideje: 2009.01.10. 15:35)

A poligonok közepe jégékekkel határolt szabályos rajzolatú, lapos mélyedés (low-center polygon) (Ellis – Rochefort 2004). Mivel a poligonok belseje általában mélyebben helyezkedik el a peremüknél, előfordul, hogy aljzatukban olvadásvíz gyűlik össze. A víz a mélyedések alatti örökfagy olvadását vagy legalábbis felső határának süllyedését idézi elő, és így termokarsztos folyamatok indulnak meg. A poligonok egy idő után csak a kis tavak közötti keskeny válaszfalként maradnak vissza (3. kép).



3. kép. Polygonokban kialakult tavak (URL: <http://rbgweb2.rbge.org.uk/lichen/staff/ellis/tundra-polygon-summary.html>, letöltés ideje: 2009.10.10. 16:13)

A poligonok fejlődése azonban lejtős területeken, már 3-4°-os lejtés esetén is, az előbbiektől eltérő lehet (Gábris 2007). Az olvadásvíz ilyenkor nem gyűlik össze a sokszög központi homorulataiban, hanem a jégékek nyomvonalát követve lefolyik. A víz

elszállítja a jég fölötti törmelékanyagot, így a poligonok közepe magasabbra kerül, mint a széle. Ezzel domború központú poligon (high-center polygon) (4. kép) keletkezik (Ellis – Rochefort 2004).



4. kép. Polygonális mintázat a Spitzbergákon. Fotó: Olafur Ingolfsson (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona, URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/IPY/multimedia/ipyimg_20080528.html, letöltés ideje: 2009.01.10. 15:39)

Fagymintás szerkezeti talajok, kőpoligonok

A fagymintás szerkezeti talajok poligonjai kialakulásukat tekintve különböznek az fent említettől. Ezeknek a szintén poligon mintázatú formáknak a kialakulása az anyagosztályozással van kapcsolatban. Alakjuk a kőzetektől valamint a lejtésviszonyoktól függ. Agyagos felszíneken kör alakúak, lejtőkön a durvább kőzetanyag sáv alakban rendeződik. Ezek az ún. kőpoligonok (Lóki – Szabó 2006).

Míg a fagypolygonok létrejöttében a felszín alatti jég, a jégékek képződése játszik szerepet, addig az egyes kőpoligonok az ún. szabad konvekció jelenségének köszönhetően fejlődnek ki.

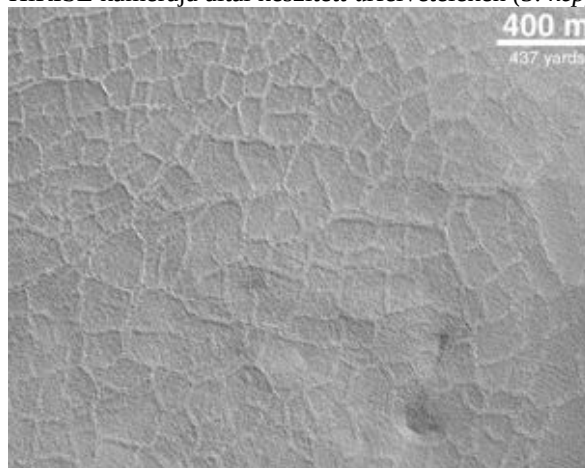
A szabad konvekció a fagyott talaj olvadásakor lép fel. A felszín közeli víz felmelegszik, míg a fagyhatáron lévő hideg marad. Mivel a víz nem a fagyáspontján, hanem $+4^{\circ}\text{C}$ -on a legsűrűbb, a felszín közelében lévő víz ezt a hőmérsékletet elérve lesüllyed egészen a fagyhatárig, ahol ismét 0°C -ra hűl. Ezt követően a sűrűségcsökkenés következtében felemelkedik. Ezáltal folyamatosan cirkuláló cellák alakulnak ki. A lesüllyedő víz erősebben felolvasztja maga alatt a jeget, a cella felemelkedő ágában a hideg víz késlelteti az olvadást. A fagyhatár rétege így a konvekciós cellák alakját tükrözve felbarázdálódik. A fagyhatár felfelé vándorlása a fagyhatár barázdáiba nyomja a köveket. A kövek a fagyás során felfelé mozognak, miközben finom talajtörmelék tölti ki a helyüket (Gábris 2007).

A sokszöges mintázat egy harmadik módon is létrejöhet, ám itt nem a jég jelenléte, hanem a szárazság a kialakító tényező. A talaj a magas hőmérséklet, a szárazság következtében jelentősen veszít víztartalmából, a felszíne kőkeménnyé szilárdulhat. A kiszáradással térfogatcsökkenés megy végbe, az így kialakult feszültség következtében repedések hálózattá be a talaj felszínét.

Arról, hogy a Marson felfedezett sokszöges minták a fent említettek közül mely módon jönnek létre, a Phoenix érkezése előtt nem volt bizonyíték. A magasabb szélességeken a felszín alatti jég által kialakított repedéshálózat hozhatja ezeket létre. Néhány helyen alacsony szélességeken is megjelennek poligonok egyes lávasíkságokon. Elképzelhető, hogy a sok km átmérőjű poligonális alakzatok a láva hűléses zsugorodása révén keletkeztek. Részletes vizsgálatuk azonban rámutatott, hogy valószínűleg fagypolygonok lehetnek ezek is. (Kereszturi 2008b).

Poligonális mintázatú területek (polygonal patterned ground)

A marsi poláris területein a földiekhez hasonló poligonokat fedeztek fel a bolygó körül keringő űrszondák, a Mars Global Surveyor (MGS) MOC kamerája és a Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) HiRISE kamerája által készített űrfelvételeken (5. kép).

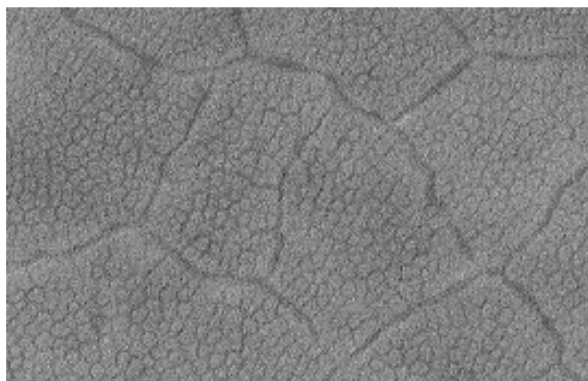


5. kép. Polygonális mintázat a Mars felszínén, az MGS felvétele (NASA/JPL/MSSS, URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/7_19_99_fifthMars/07_np_ols/, letöltés ideje: 2009.01.11. 00:06)

Az űrszondák felvételein a sokszöges mintázatnak számos változata tárul elénk.

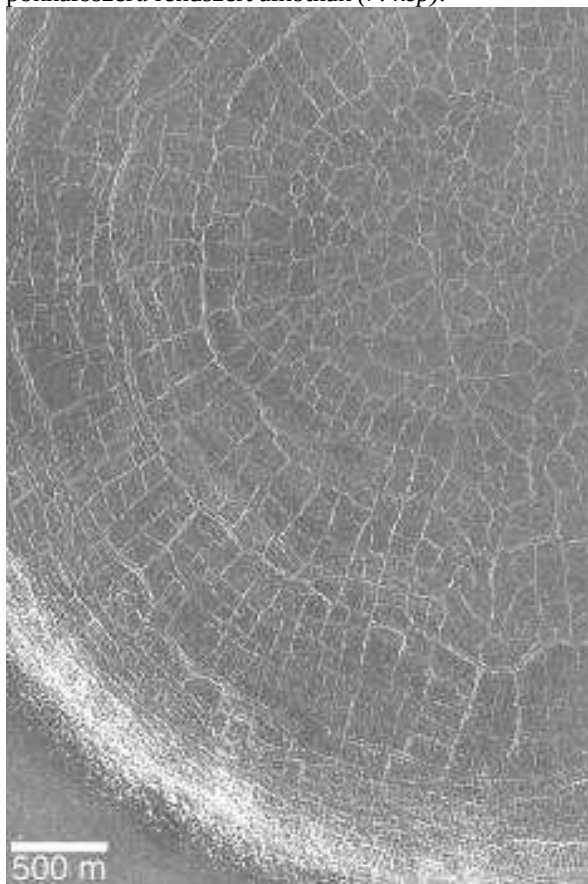
A különböző méretű poligonok fejlődése feltehetőleg eltérő körülmények között ment végbe. Fontos tényezők e szempontból a meleg időszak hossza, ebből következően a besugárzás erőssége, a jég aránya a szemcsék között, valamint az, hogy a jégréteg milyen mélységben húzódik a felszín alatt (Kereszturi 2008a).

A magasból nézve akár 100m átmérőjű poligonok (5. kép) általában rengeteg apróbb alakzatokból állnak össze, az űrszondák felvételein azonban ezek csak ritkán kivehetők. Ezért is volt meglepetés, amikor a Phoenix űrszonda leszállóhelyén 1-2m-es sokszögeket találtak (Kereszturi 2008a). Egyes felvételeken mégis jól láthatóak a kisebb formák is, rendkívül látványos struktúrát alkotva (6. kép).



6. kép. Fraktál jellegű fagymintás terület (NASA/JPL/MSSS, URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/2004/03/04/, letöltés ideje: 2009.01.11. 00:28)

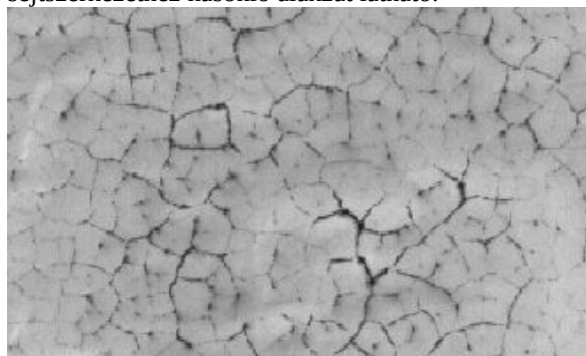
Gyakoriak az impakt kráterek aljzatán a koncentrikus körökbe rendeződő poligonok, amelyek pókhálószerű rendszert alkotnak (7. kép).



7. kép. Poligonális mintázat egy kráterben, az MGS felvételén. A poligonokat jól elhatárolja a közöttük lévő mélyedésekben összegyűlő szén-dioxid jég. (NASA/JPL/MSSS, URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/2003/07/19/, letöltés ideje: 2009.01.10. 17:41)

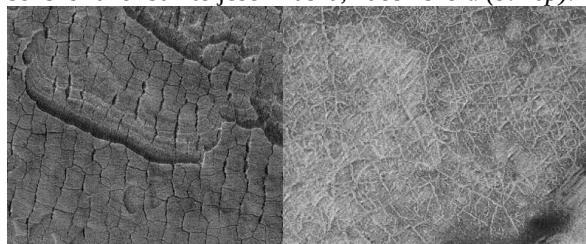
A minták akkor látszanak a legélénkebben, ha világos jég (fagyott szén-dioxid) tölti ki a sokszögek közti mélyedéseket. Ekkor jól kirajzolódnak a poligonok határai (MSSS 2003). Előfordul azonban,

hogy a sokszöges mintázat jégborította felszínen alakul ki. Ilyenkor a poligonok fehér színűek, míg a határvonalat alkotó mélyedéseket sötét színű por tölti ki (MSSS 2005). Erre példa a Mars déli régiójában készített felvétel is (8. kép). A képen a poligonok elrendeződésének egy másik érdekes példája, a sejtszerkezethez hasonló alakzat látható.



8. kép. Sejtszerkezetes elrendeződés (NASA/JPL/MSSS, URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/2005/08/18/, letöltés ideje: 2009.01.11. 00:38)

Egyes esetekben irányítottág felfedezhető, a poligonok sorokba rendeződve követik egymást, sokszor azonban teljesen kusza, káosz-szerű (9. kép).



9. kép. Szabályos (a) és kusza elrendeződés (b) (NASA/JPL/MSSS URL(a): http://www.msss.com/mars_images/moc/2006/09/21/ URL(b): http://www.msss.com/mars_images/moc/2005/09/26/, letöltés ideje: 2009.01.10. 17:41)

Az egyes poligonok alakjuk szerint osztályokba sorolhatók. A HiRISE űrszonda felvételeinek tanulmányozása alapján 7 morfológiai csoport különíthető el (Levy et al. 2008).

I. „domború poligon” (High Relief polygon) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 70,3°): Tipikus domború poligonok, amelyekneknél markánsan elkülönül a kiemelt központi rész az alakzat szélét határoló mélyesésektől. Átmérőjük 6m körüli.

II. „kosárlabda-terület ” (Basketball Terrain) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 71°): Törmelékhalmbokból álló sávok, gerincek alkotják. A poligonok elrendeződése egy kosárlabda felületén található mintázatra emlékeztet.

III. „Az északi síkságok poligonjai” (Northern Plains polygon) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 66-69°): A leggyakoribb morfológiai típus. Átlagos átmérőjük 5m. Három változata ismert. NP1: jól fejlett, éles vonalakkal határolt lapos mélyedések

közepén törmelékdombokkal; NP2: kevésbé rajzolódnak ki a poligonok, ami simább, egyenletesebb felszínt eredményez; NP3: rendkívül sűrű, kanyargó repedéshálózat által határolt formák.

IV. „Az északi síkságok lapos poligonjai” (Northern Plains Subdued) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 55°): Kevésbé markáns, lapos sokszögek, átmérőjük csupán 1-2m.

V. „csúcsos poligon” (Peak-Topped) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 48°): Keskeny és sekély mélyedésekkel határolt, középen meredeken kiemelkedő csúccsal rendelkező poligonok.

VI. „cakozott mezők” (Scalloped Terrain) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 45°): Az Utopia Planitia területén fedezték fel ezeket a cakozott szélű poligonokat.

VII. „agyvelő-terület” („Brain Terrain” Covering) (leggyakoribb előfordulás: é.sz. 41,6°): Erősen tagolt felszínű területeken kialakult poligonok. Átmérőjük átlagosan 11m.

A sokszögek morfológiája a földrajzi szélesség függvényében változik, tehát alakjukat jelentősen befolyásolja az éghajlat. A periglaciális formakincs, közte a fagypolygonok, tehát igen jó klímaindikátorok. Magukon viselik az évszakos változások és a hosszabb távú módosulások nyomait is.

A sokszöges mintázat feltehetőleg a földihez hasonló folyamatok során, tehát a felszín alatti jég fagyás-olvadás ciklusa által keltett feszültség által alakul ki. Az sem zárják ki azonban, hogy állandó fagyott állapotban jöttek létre, illetve lehetnek ún. szublimációs poligonok is, amelyeket a regolit jégtartalmának szublimációja és újrafagyása hoz létre. Akármelyik módon születnek, a poligonok tehát tekinthetők a marsi jég, és végsősoron a víz jelenlétének közvetett bizonyítékának (NASA 2008a).

A polygonális mintázat legsűrűbb előfordulási helyei a 60° és a 80° szélesség között, főként a kisebb kráterek aljzata vagy a hatalmas kráterbelsei síkságok. A marsi sarkvidékek tehát ígéretes kutatóhelyek (MSSS 2002).

A Phoenix előtt a Marsra küldött leszállóegységek, a Viking-1 a 22°, a Viking-2 a 47°, a Mars Pathfinder a 19°, az Opportunity a 2° északi szélesség, a Spirit pedig a 14° déli szélesség környékén végeztek megfigyeléseket (NASA 2008b). A poláris térségek felszíni megismerése még váratott magára egészen 2008-ig.

Az 1999-ben leszállás közben eltűnt Mars Polar Lander terveit alapján épült, 2007. augusztusában útnak indított Phoenix űrszonda célpontjául már az északi félteke sarkvidékhez közeli területét választották. A leszállás koordinátái é.sz. 68,22° és k.h. 234,3°. A szonda legfontosabb feladatai a marsi víz és közvetetten az élet nyomainak kutatása volt. A víz,

illetve jég keresésére pedig ezen a vidék tűnt a legalkalmasabbnak (Kereszturi et al. 2008).

A Phoenix űrszonda által készített felvételeken látható felszín megfelelt a várakozásoknak. A tájat a földi periglaciális területekre is oly gyakori felszínformák, fagyási poligonok jellemzik (10. kép).

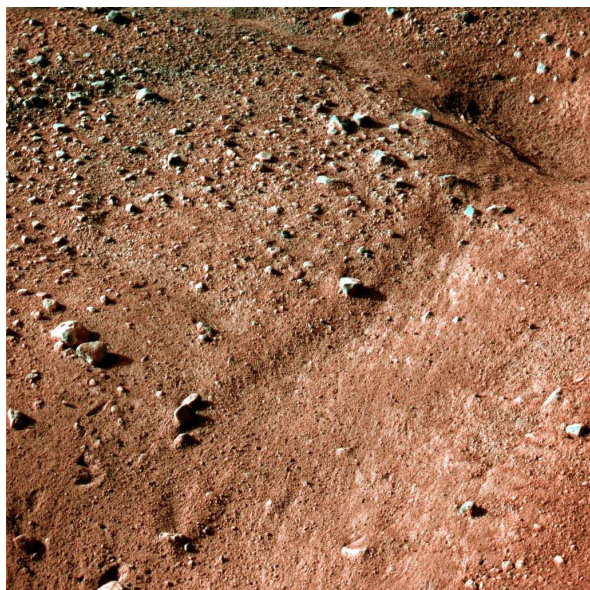


10. kép. A Phoenix által készített tájkép (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona, URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/IPY/multimedia/ipymg_20080528.html, letöltés ideje: 2009.01.10. 15:39)

A poligonok mérete azonban eltér a keringő egységek képei alapján várttól. A Földön elég széles mérettartományban fordulnak elő a sokszögek, de a legjellemzőbb a 10-20m-es átmérő (Gábris 2007). A Phoenix felvételein azonban mindössze 1,5-2,5m átmérőjű alakzatok láthatók (Semeniuk 2008). Ezek a kisebb formák nagyobb szerkezetbe csoportosulnak, az űrfelvételeken pedig csak ezek a nagyobb struktúrák kivehetők. Az űrfelvételek és a marsi klímamodellek alapján a kutatók mégis nagyobb átmérőjű, átlagosan 5m-es sokszögekre számítottak (Kereszturi 2008a).

A poligonok méretét valószínűleg döntően meghatározza, hogy a jég milyen mélységben található a felszín alatt. Minél mélyebben húzódik a jég réteg, annál nagyobb poligonokra lehet számítani (Semeniuk 2008).

A közeli képeken jól kirajzolódhatnak az éles vonalakkal határolt, gyémánt alakú poligonok (11. kép). A Phoenix-küldetés kutatói valószínűsítik, hogy ezek fiatal formák (Semeniuk 2008). Az idősebb alakzatokat ugyanis valószínűleg befedi és elsimítja a szél által szállított por. A feltehetőleg poligonok aktívak is, azaz a felszín alatt megindult a krioturbáció. A folyamat során a fagyás és újrafagyás préselő hatása miatt függőlegesen irányított anyagátmozgatás következik be. A törmelék, a kövek felfelé mozognak. A felszínre érve a repedésekben, mélyedésekben vagy a domború részek körül gyűlnek össze. A kövek csoportjainak elhelyezkedéséből, a köztük lévő távolságból lehet következtetni a poligonok méretének alakulására. Ez utal az éghajlati körülmények változására is, melyek a nem túl távoli múltban következhetek be (Semeniuk 2008).



11. kép. Polygon a Phoenix felvételén (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona, URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/images/press/false_color_postcard_edr.html, letöltés ideje: 2009.01.11. 01:03)

Bár a Phoenix felvételein felszíni jégtakarónak nyoma sincs és olvadékvíz megjelenése pedig nem várható a polygonok középső részein, a leszállóegységhez közeli polygonok peremei mégis ígéretes helyek a felszínközeli jégkeresés szempontjából (Kereszturi 2008a).

A Phoenix június 2-án kezdte meg a felszín közvetlen vizsgálatát. A szonda küldetése, bár rövid ideig működhetett a marsi tél elérkezte miatt (2008. november 2-án küldte az utolsó jelet), rendkívüli sikerrel járt. A polygonokkal tarkított vidéken, a felszín alól vett mintában kimutatta a H_2O -t. A szonda által készített felvételek pedig éjszaka kivált felszíni jégréteget, sőt egy rövid ideig tartó havazást is megörökítettek. Emellett mállott ásványok formájában bizonyítékot talált az egykori vizes környezet létezésére (Kereszturi 2008b).

Összegzés

A Föld sokkal mozaikosabb, sokszínűbb, mint korábban sejtették. A földrajzi környezet változásai rendkívül összetettek, ezek közül is az eljegesedett és periglaciális területek a legérzékenyebbek. A klímaváltozás folyamatairól nincsen pontos képünk.

A Mars egykor a Földhöz hasonló égitest lehetett. Számos bizonyíték arra mutat, hogy a bolygón nagy mennyiségű víz létezett folyékony formában. A főként szén-dioxidból álló vastag légkör jelentős részének elvesztése után azonban a bolygó szárazzá vált (Molnár 2007).

Hogy jobban megérthessük a Földön zajló változásokat, érdemes a marsi folyamatok tanulmányozása. A Marson kevesebb környezeti

tényezőt kell figyelembe venni, tulajdonképpen tekinthetünk a Marsra, mint planetáris laboratóriumra (Sik 2001).

A fagyási polygonok, mint közvetett bizonyíték alapján feltételezett vízjég jelen van a Marson, erre már közvetlen bizonyíték is létezik. Ez a tény igen fontos a marsi élet kutatása szempontjából. A marsi poláris területek formakincse, köztük a fagypolygonok magukon viselik a klíma változásának nyomait is, jól alkalmazhatóak az éghajlati kutatásokban, így érdemes tanulmányozni ezeket az érdekes képződményeket.

Hivatkozások

- Ellis, James Christofer - Rochefort, Line (2004) Century-scale development of polygon-patterned tundra wetland, Bylot Island. *Ecology*, 85(4), 2004, pp. 963–978. URL: http://www.gret-perg.ulaval.ca/Ellis_Rochefort_ECOLOGY2004.pdf.
- Gábris Gyula (2007) Földfelszín és éghajlat. *ELTE Eötvös Kiadó, Budapest*, p. 228.
- Kereszturi Ákos (2008a) A Phoenix készül a nagy ázásra. Legutóbbi frissítés: 2008. május 29. URL: <http://origo.hu/tudomany/vilagur/20080529-phoenix-a-sarkvideken-a-mars-valtozo-eghajlatanak-nyomaban-az.html>
- Kereszturi Ákos (2008b) Egy szép nyár a Marson - befejeződött a Phoenix küldetése. Legutóbbi frissítés: 2008. november 24. URL: <http://origo.hu/tudomany/vilagur/20081119-phoenix-attekintes-a-marsszonda-eredmenyeirol.html>
- Kereszturi Ákos – Sik András – Simon Tamás (2008) Megjötték az első képek a Marsról. Legutóbbi frissítés: 2008. május 28. URL: <http://www.vv.origo.hu/tudomany/vilagur/20080526-megerkeztek-a-foldre-a-phoenix-urszonda-elso-felvetelei.html>
- Levy, Joseph S. – Head, James W. – Marchant, David R. (2008) Mars thermal contraction crack polygon classification and distribution: morphological characterization at HiRISE resolution. *Lunar and Planetary Science XXXIX*. URL: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2008/pdf/1171.pdf>
- Lóki József – Szabó József (2006) *Külső erők geomorfológiája. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen*, p. 228.
- Molnár Péter (2007) Jelentős vízkészletek a Marson. Legutóbbi frissítés: 2007. január 31. URL: http://hirek.csillagaszat.hu/mars/20070130_vizamarson_2.html
- Molnár Péter (2008) A marsi víz kutatása a Föld kietlen tájain. Legutóbbi frissítés: 2008. január 19. URL: <http://hirek.csillagaszat.hu/mars/20080119-marsi-viz-a-foldon.html>

PLANETOLÓGIAI DIÁKKONFERENCIA 2008. DECEMBER
Dudás: Fagymintás területek a Marson

- MSSS (2002) Southern Hemisphere Polygonal Patterned Ground. Legutóbbi frissítés: 2002. május 29. URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/polygons_5_02/
- MSSS (2003) Spiders from Mars? Legutóbbi frissítés: 2003. július 13. URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/2003/07/19/
- MSSS (2005) Polar Polygons. Legutóbbi frissítés: 2005. augusztus 18. URL: http://www.msss.com/mars_images/moc/2005/08/18/
- NASA (2008a) First Look at Martian Arctic Plains. Legutóbbi frissítés: 2008. május 25. URL: [es/press/SS000EFF896228773_10CA8R8M1_8877.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/imag)
- NASA (2008b) Six Landing Site on Mars. Legutóbbi frissítés: 2008. május 13. URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/multi-media/5296-20080513.html
- Semeniuk, Ivan (2008) Mars scientists ponder polygon mystery. Legutóbbi frissítés: 2008. május 27. URL: http://www.newscientist.com/article/dn13986?feedId=online-news_rss20
- Sik András (2001) Kozmikus környezetünk. *Földrajzi Konferencia, Szeged*. URL: <http://geography.hu/mfk2001/cikkek/Sik.pdf>