

**Zárójelentés a  
„Vizes környezetek elemzése a Marson Földi analógiák segítségével”  
című OTKA 105970 projekthez (2012-2015)**

Tartalomjegyzék

Összefoglalás	1
Az ősi felszíni víz nyomai	2
Vizes környezetek paramétereinek becslése	2
Víz mai előfordulási lehetősége	2
Földi analóg vizsgálatok	3
Hazai együttműködések	4
Hazai oktatási, népszerűsítési tevékenység	4
Nemzetközi együttműködések	4
Publikálás alatt álló új eredmények	5
Tektonikus-folyóvízi kölcsönhatás és korbecslés	5
Mikroszkopikus víz síkosította szemcsefolyás	6
Vizes környezetek marsi meteoritok alapján	7
A nakhla marsi meteoritok forráskráterének keresése	8
Paleokörnyezet indikátorok és vizsgálati lehetőségük az ExoMars rover által	9
Megjelent publikációk	10
Készülő és beadott publikációk	11

**Összefoglalás**

Az OTKA kutatásom során három témakört és azok kapcsolódási lehetőségeit vizsgáltam a Marson: az ősi víz felszíni nyomait, a mikroszkopikus skálájú folyékony vízréteg jelenlétét napjainkban, az egykori vizes környezetek ásványi átalakulásainak elemzését. Mivel a marsi víz előfordulásairól csak szórványos nyomok vannak, az űrszondás adatok köre pedig korlátozott, ezért több olyan területen is dolgoztam az elmúlt 3 évben, amelyek a víz nyomait eltérő irányokból és témakörökből próbálják megközelíteni. A legfontosabb eredmények csoportokba sorolva (egykori víz, egykori vizes környezetek paraméterei, mai víz lehetősége, földi analóg elemzések) az alábbiakban olvashatóak a 2-3 oldalon (zárójelben ezen összefoglaló végén felsorolt publikációk sorszáma van feltüntetve). Ezt követően egyéb, az OTKA munkával kapcsolatos egyéb eredmények (5-9. oldal), végül a folyamatban lévő publikációk rövid összefoglalása (11. oldal) olvasható. Ezen OTKA pályázat továbbá közreműködött egy sikeres nemzetközi OTKA (COOP 116927 „Marsi üledékes képződmények vizsgálata földi analógiák alapján, és kapcsolódás európai űrprogramhoz”) megszületésében (12).

## Az ősi felszíni víz nyomai

Sikerült eltérő korú és morfológiájú vízfolyásnyomokat lehatárolni a Marson (2, 9, 10), és ezekhez kapcsolódó üledékes képződményeket jellemezni. Megbecsültem egy korábbi tó térfogatát az é.sz. 11.6, k.h. 308.7 fokánál, amely a delta alakzat frontjának és a medence mérete alapján  $1.5 \text{ km}^3$ , maximális vízmélysége 157 m lehetett. Az eróziós és üledékes képződmények jellemzői alapján nem csak egyszerű folyóvízi szállítás, hanem az éles peremű, delta jellegű alakzat lerakódása előtt egyéb, feltehetőleg tömegmozgásos lerakódás is történhetett.

Darcy-Weisbach egyenlettel és üledéktranszport ráta számításokkal néhány folyó völgyben a kiderült majd lerakódott hordalék, valamint a kapcsolódó aktív időszak hosszát megbecsültem. A meredekebb Peace Vallis völgnél néhány nap is elegendő volt a megfigyelt alluviális leyező anyagának lerakásához (6) figyelembe véve a Mars gyengébb gravitációs terét és egyéb becsült hordalék vonatkozású paramétereket), a Subur Vallis esetében ugyanakkor néhány év és közel 100 év közötti kumulatív időtartam jött ki (4).

## Vizes környezetek paramétereinek becslése

Mivel a távérzékeléses adatok alapján azonosított ásványokkal az egykori környezeti állapotok a felszíni vízfolyásoknál kifejezetten nehezen vizsgálhatók (a mállással keletkezett filloszilikátok elsősorban a felszín alatt jöttek létre (4,7)), ezért a felszíni vizes környezeteknél főleg a bepárlódó sós üledékek keletkezése elemezhető. Ezek vizsgálatára és paleokörnyezet rekonstrukcióra való használhatóságuk becslésére megkezdtem egy rendszer kidolgozását (11), ahol két szélső eset jelezhető ki: a sok filloszilikátot tartalmazó folyóvízi üledékek a területi elterjedésük alapján feltehetőleg behordott, és nem helyben képződött filloszilikátokat tartalmaznak, míg a sós üledékek a bepárlódó vizekből tavakban keletkezhetnek.

A két szélső eset két elérő „viselkedésű” vízhálózat rendszert is jelenthet, noha különbségük bizonyítása még hátra van. A ma ismert nagyobb völgyek közül hat ilyen rendszert elemeztem és jellemeztem (Jezero-kráter (18.5N, 77.4E), névtelen kráter (2.7N 308.3E), Terby-kráter (28S, 73), 70 km-es névtelen kráter (30S 202E), Shalbatana Vallisban egyik mellékág deltatorklolati jellegű üledékes képződménye (3N 316E), és egy névtelen folyóvölgy és üledéke a Sirenum-medencében (33S 216E), amelyek a fenti két szélső eset közötti helyzeteket képviselhetnek. További részletes elemzésük (az OKTA keretében fejlesztett módszereket használva) segíthet annak megbecslésében, hogy a nagy vízhozammal behordott sok üledék és a bepárlódással keletkezett sók mennyire eltérő „vízgazdálkodású” és rendszereket jelenthetett, ami a környezeti paraméterek becslésben segíthet.

Az elmúlt évek megfigyelései alapján ásványtani és kémiai szempontból a felszín alatti térségekben volt jelentős a víz hatása. A felszíni vizek rövid élettartama és alacsony hőmérséklete miatt nem várhatóak olyan kémiai-morfológiai korrelációk, amelyek ezek OTKA beadásakor sejthetőek voltak. Ezért a felszín alatti térségek vizes jellemzőinek elemzése irányába (mars meteoritok) is kiterjedt a kutatás. Ennek megfelelően a marsi nakhla meteoritok forráskráterének keresését (23), és a kevésbé vizsgált Yamato 593 (22) marsi meteorit vizes ásványait tanulmányoztam.

## Víz mai előfordulási lehetősége

Az európai Mars Express-űrszonda OMEGA detektorának (15), és az amerikai Mars Odyssey-űrszonda THEMIS infravörös méréseinek korrelálásával sikerült olyan területeket kijelölni a Mars északi sarkvidékén, ahol tavasszal mikroszkopikus skálájú folyékony víz jelenhet meg (3, 7, 14) Minderre nem egyforma lehetőség adódik az egész északi féltekén (13). A jelenségre az ideális térség az é.sz.  $55^\circ$ - $70^\circ$  zóna, ahol évente 10-30 napon át kedveznek a körülmények dél körüli órákban a mikroszkopikus víz megjelenésének. Ebben a zónában a k.h.  $300^\circ$ - $330^\circ$  között 80-110 napon keresztül is lehet kedvező időszak.

Eszerint az egykori nedves marsi helyszínek (tömbfázisú, makroszkopikus skálájú cseppfolyós víz) megszűnése után hosszú időn keresztül lehetett mikroszkopikus fázisú víz, amelynél főleg a kémiai jellemzőkben várhatóak következmények (16).

### **Földi analóg vizsgálatok**

A Villányi-hegységben mutatkozó folyóvölgyek tektonikusan befolyásolt futási irányának elemzésével nyert tapasztalatokat a Mars Thaumasia Plateau térségében a 269E 37S-272E 33S koordinátáknál mutatkozó folyóvölgyekre alkalmaztam. Utóbbiak a földinél is erősebb korrelációt mutatnak a helyi tektonikus irányokkal, ami a Marson általában gyenge felszínformáló hatásokkal függhet össze. A völgyek tektonikus befolyásolása alapján a korábinál pontosabb korbecslés készült a kérdéses völgyekre, amelyek kis területe bizonytalanná teszi a kráttersűrűség alapú korbecslést. A tektonikus alakzatok révén nagyobb területen határozható meg, mely kráttereknél idősebb a kérdéses folyóvölgy. (A munka Petrik Attila doktorandusszal közösen zajlott.)

A felszíni víz hatása (19) a domborzat elegyengetésben is vizsgálható a Marson – természetesen más elegyengető folyamatok mellett. A témakör perspektivikus, mivel a domborzati adatok automatikus elemzésekre is lehetőséget adnak (17, 20). Ennek keretében a Mars északi síkságán egy meridionális szervény mentén korreláltuk a domborzat statisztikai jellemzőit a képi alapú morfológiával. A munkában a viszonyítási pontokat és használt módszereket valamint alkalmazott algoritmusokat földi statisztikai domborzatelemző módszerek és paraméterek adták. Sikerült domborzat kiegyenlítő folyamatokat azonosítani, ugyanakkor kiderült, hogy 100 km-es méretskálán magasabb fekvésű sík terület maradt fent, ami egybevág a szerény, korlátozott felszínalakulással. A domborzat statisztikai jellemzői és a felszín morfológiai képe között sikerült kapcsolatot találni, és a földi hegyláb felszínéhez hasonló alakzatokat azonosítani – de ezeket feltehetőleg fagyott jég felszínformálásához kapcsolódnak. (A munka Madarász Balázssal, Órsi Annával és Hargitai Henrikkel közösen zajlott.)

A kutatás során módszertani fejlesztések is születtek. Sikerült rámutatni, hogy az infravörös THEMIS képek a nagyon lapos, optikailag alig észrevehető folyóvölgyek azonosításában hasznosak. Bemutattuk, hogy a földi folyóvölgyek és törések térbeli irányában mutatkozó kapcsolat (tektonikusan befolyásolt folyóvölgyek) a Marson is hatékonyan vizualizálható a földi módszerrel, ami segít kiválasztani azon folyóvölgyeket, amelyeknél a tektonikus befolyás erős volt – így a tektonikus alakzatok bevonásával hatékonyabb korbecslés születhet a vizes időszakra. Több földi domborzatalapú statisztikai elemzési algoritmus marsi alkalmazása pedig rámutatott néhány továbblépési irányra.

A PD 105970 számú OTKA pályázati támogatás révén a fentiekben született új eredmények alapján 1 magyar nyelvű könyv, 6 külföldi cikk, 3 külföldi könyv fejezet, 4 magyar nyelvű cikk, 5 külföldi és 1 magyar konferencia prezentáció született. Emellett nemzetközi együttműködések indultak, és az oktatásba új doktori kurzus valamint egy BSC szakdolgozat témavezetésével jelent meg ezen OTKA támogatásával fejlődő témakörben.

### **Hazai együttműködések**

Együttműködést kezdtem Mars analógia vonatkozásban (folyóvízi, tavi és eolikus üledékföldtani témakörben) Bradák Balázssal (Földrajztudományi Kutatóintézet) és szemcseméret eloszlás, nehézasvány forrásrégió vonatkozásban Újvári Gáborral (Geofizikai és Geodéziai Intézet). A cél a hazai feltárások és laboratóriumi kapacitások bekapcsolása a nemzetközi (főleg európai) bolygótudományi kutatásokba. (5). A munka egyik eredménye egy 2016-ban induló nemzetközi OKTA (COOP-NN-116927) pályázat a Mars üledékes és analóg vonatkozásokban.

Ezen OTKA pályázat segítségével a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontban létrehoztam az Asztrófizikai és Geokémiai Laboratórium kutatócsoportot, ahol laboratóriumi felszerelésekkel kozmikus anyagok és analógiák vizes átalakulásait elemezzük. Együttműködés kezdtem Madarász

Balázssal (Földrajztudományi Kutató Intézet) a marsi domborzati egyenetlenségek és hasonló földi felszíni jellemzők összehasonlításáról.

### **Hazai oktatási, népszerűsítési tevékenység**

Az OTKA támogatás időszakban 9 előadást tartottam a kapcsolódó kutatásból az MTA Székházában, a Magyar Állami Földtani Intézetben, az MTA Geonómiai és Planetológiai Albizottság planetológiai-meteoritikai előadójánál, a Téli Ásványtani Iskolán, a Magyar Űrkutatási Fórumon, a Polaris Csillagvizsgálóban, és a Millenáris Parkban.

Az ELTE Földtudományi Doktori Iskolájában kurzust indítottam a Mars földrajza és geológiája címmel, amelyet 2015-ig három hallgató végzett el sikeresen. Jelesre értékelt BSC szakdolgozatot védett meg Pál Bernadett (ELTE) témavezetésemmel, amelyben meteorológiai modellekkel kimutattuk, hogy a Mars alacsony szélességű vidékein is előfordulhat mikroszkopikus folyékony sóoldat az éjszaka folyamán.

### **Nemzetközi együttműködések**

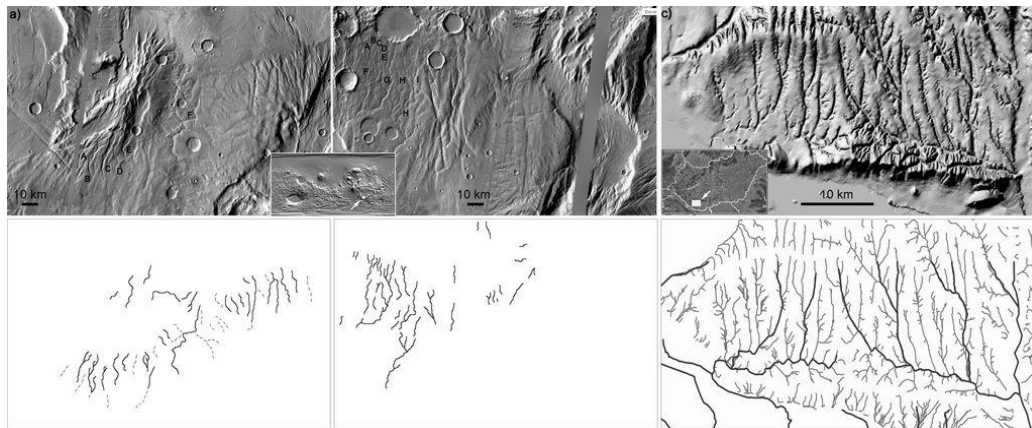
A nemzetközi konferenciák mellett meghívott előadásokat tartottam a Bécsi Egyetemen, az Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble intézetben, a University of Bern / Space Research & Planetary Sciences Division csoportjában. A NASA-nál meghívott szakértőként vettem részt bolygó kutatási projektek (SSERVI 13, NNH13ZDA006C felhívás) elbírálásában.

Az OTKA pályázat alatt együttműködést kezdtem Thomas Appere (CNRS/UJF) kutatóval a marsi mikroszkopikus víz előfordulását illetően, Elias Chatzitheodoridis (Technical University Athens) kutatóval a marsi meteoritok vizes ásványai témakörében, és Gernot Groemet (University of Wien) kutatóval Mars analóg munka témakörében. Ezen OTKA pályázat közreműködött további sikeres pályázati nyerésekben, többek között a *Short Term Scientific Missions* COST pályázati rendszerben egy hetes munkát nyertem Elias Chatzitheodoridis görög kutatónál marsi meteoritok vizes átalakulásainak vizsgálatára. Emellett vezetője lettem a COST TD1308 nemzetközi pályázat négy alcsoportjából a Naprendszerrel kapcsolatos csoportnak. Ezen OTKA pályázat támogatása nyújtotta eredmények és együttműködések felhasználásával nemzetközi konferenciát szerveztem „Missions to Habitable Worlds” címmel (<http://life-origins2015.csfk.mta.hu>) 2015. október 28-29. között az MTA Székházában.

## Publikálás alatt álló új eredmények

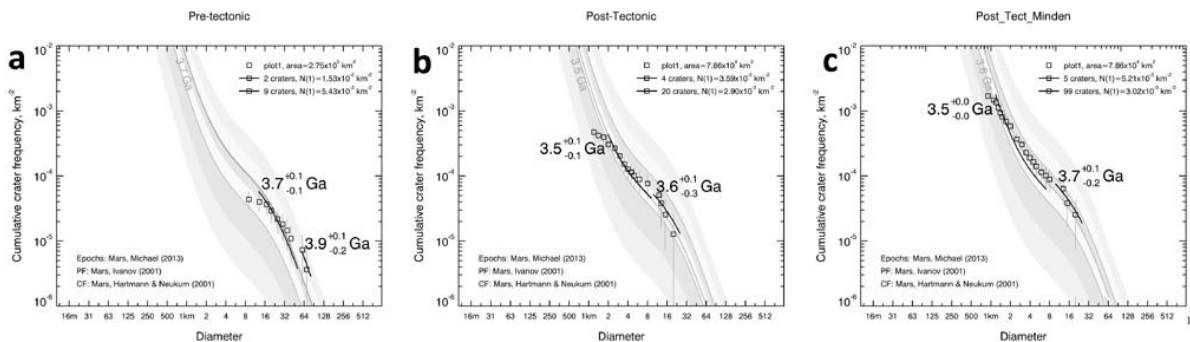
### Tektonikus-folyóvízi kölcsönhatás és korbecslés

Pontosabb korbecslést sikerült tenni néhány idős marsi folyóvölgy-hálózatra. A bolygó korai nedves, felszíni időszakának Imorfológiai bizonyítékai az idős folyóhálózatok (valley networks). Ezek nem azonosak a kicsit később kialakult néhány nagyobb, szintén) elágazó folyóvölgygel, amelyek talán már más klíma alatt, részben felszín alatti vízáramlással születtek. A korábbi vízhálózatok korának becslése nehéz, mivel kicsi a területük, és kevés kráter esik rájuk.



1. ábra. Áttekintés a marsi (balra és középen), valamint a földi területről (jobbra) domborzatárnyékolásos képeken (fent) és a folyóhálózatot mutató rajzokon (lent) azonos méretarány mellett. A közép magasságban látható két kis kép a vizsgált területek helyzetét mutatja a két bolygón.

A korbecslés nehézségének megoldására a Thaumasia Plateau területén mutatkozó tektonikusan befolyásolt folyóvölgyeket elemeztem (1. ábra), amelyek folyási irányát a térségben haladó törések befolyásolják.

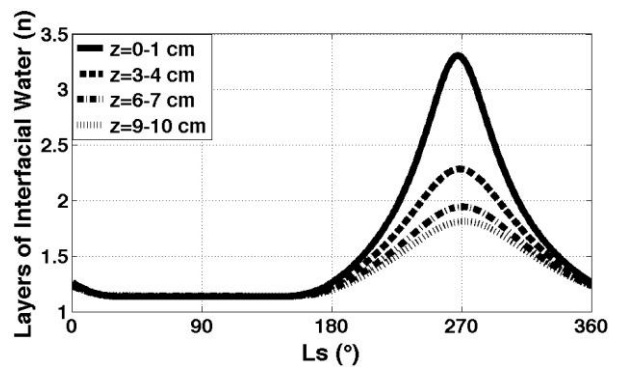


2. ábra. Krátereloszlás görbék korbecslésre. A bal oldali ábra a tektonikus hatás előtti, a jobb oldali a tektonikus hatás utáni korokat mutatja. Az izokronoknál a becsült kor milliárd (nem millió!) évben látható.

A korábban létrejött tektonikus alakzatokon végzett kráterstatisztikai mérések alapján (2. ábra) a tektonikus alakzatok és a folyóvölgyek legalább 3,7-3,9 milliárd évesek (a eset). Létezik egy fiatalabb kráter generáció is, ennek kora 3,5-3,6 milliárd év, ennél idősebbek a törések – de a folyóvölgyek nem feltétlenül. A legfeljebb 3,7 milliárd év egybeesik a feltételezett ősi nedves időszak végével, ám az ilyen sűrű folyásnyomoknál (valley networks) ennél korábbi keletkezést valószínűsítettek eddig. (A munka Petrik Attila doktorandusszal közösen készült, 21.)

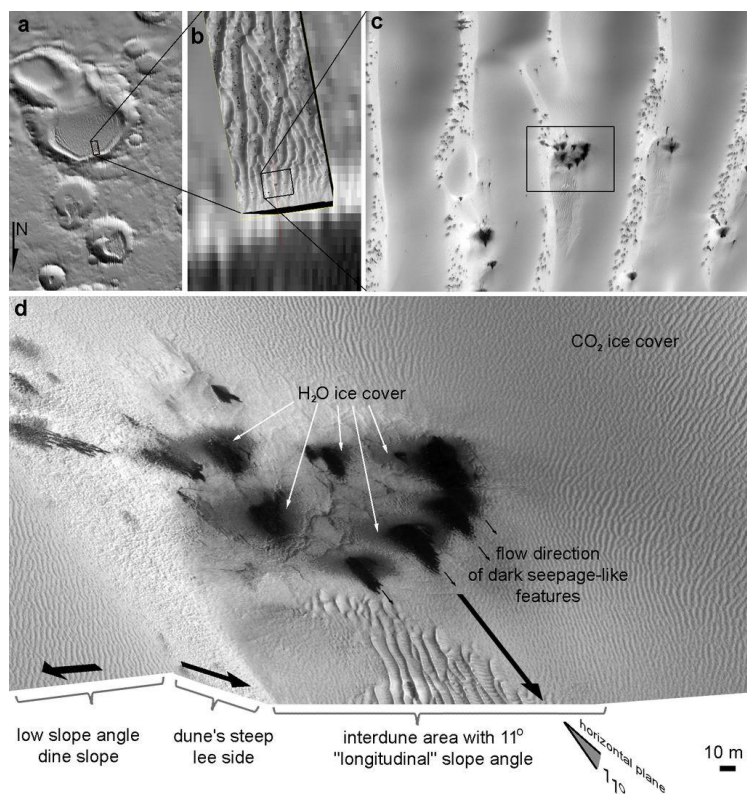
## Mikroszkopikus víz síkosította szemcséfolyás

Új modell keretében összekapcsoltam az indirekt megfigyelésekkel jelzett mikroszkopikus folyékony víz előfordulását (22) a cirkumpoláris térségben mutatkozó folyásnyomokkal. Eszerint a mikroszkopikus folyékony víz segíthet a szemcsék síkosításában, és a folyások fenntartásában. A jelenség megindításához még folyékony fázis nélküli hidratáció-dehidratáció feszültségváltozása és a fagyváltozékonyság lehet, ami összekeveri a légkörből kihullott port, mikroszkopikus vízrétegeket és esetleg a dűnék belsejéből kihantolt sós szemcséket. Az így létrejött keverék fenntarthatja a szilárd szemcsék folyásos mozgását – noha a jelenség igazolásához további megfigyelések és laborkísérletek szükségesek.



3. ábra. A mikroszkopikus vízfilm vastagságának változása évszakok (azaz Ls) szerint 60 fokos földrajzi szélességen a Marson, különböző mélységben (eltérő vastagságú görbék).

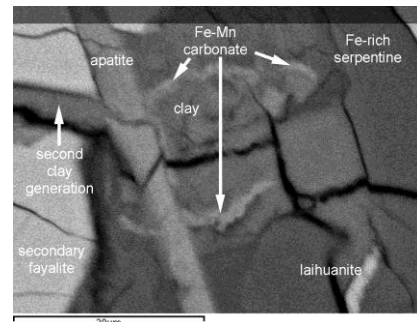
A napól-napra növekedő folyásos alakzatoknál (4. ábra) a CRISM detektor színeképi megfigyelései alapján azonosított vízjég hőmérséklet 180 K feletti, így mikroszkopikus skálájú vízréteg várható a regolit szemcséi körül (3. ábra).



4. ábra. A Richardson-kráter (a) kitöltő dűnemező (b) területén a dűnék közötti lapályokon (c) mutatkozó folyásnyomok, egy perspektivikus torzítású kép (PSP\_1375\_1080), a terület lejtésirányával.

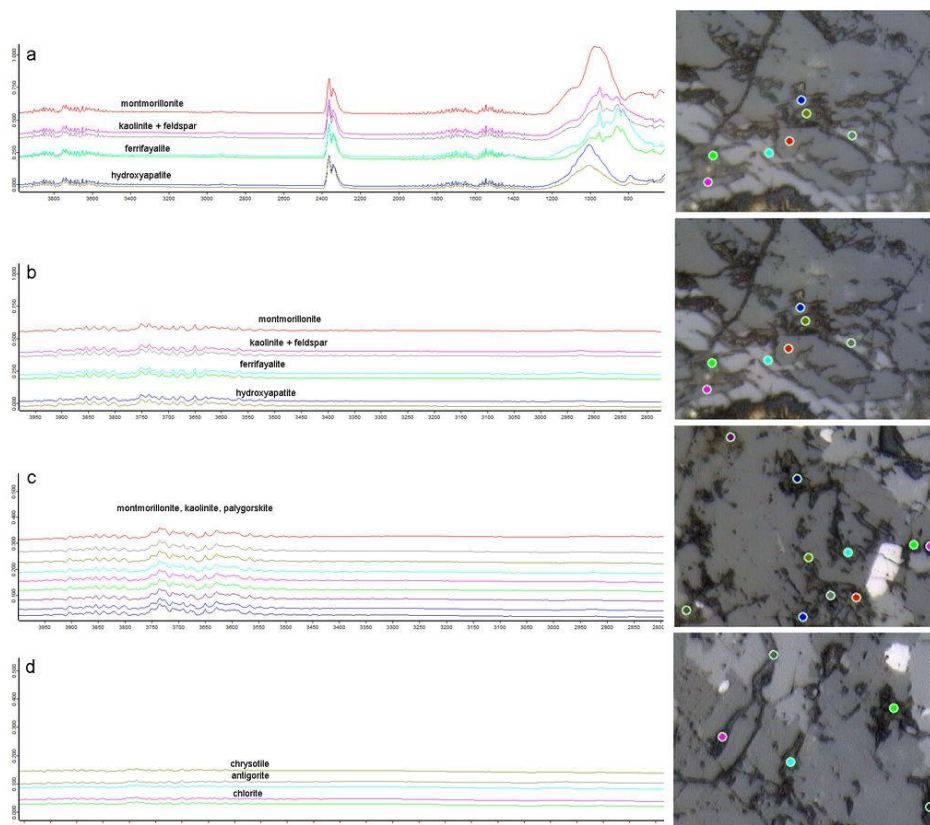
## Vizes környezetek marsi meteoritok alapján

A felszín alatti folyékony vizes környezetek jellemzőit a marsi meteoritokkal lehet laboratóriumi körülmények között elemezni. A **Yamato 593 marsi meteoritot** vizsgáltam a Földtani és Geokémiai Intézet műszereivel (JEOL Superprobe733 mikroszkonda, Bruker VERTEX70 FTIR és Hyperion 2000 mikroszkóp, NICON Eclipse E600 POL optikai mikroszkóp), az athéni Műszaki Egyetemről Elias Chatzithodoridis kutatóval. Sikertült többféle egykori víznyomokat találni, az ilyen másodlagos ásványok főleg szemcseközi üregekben és repedéseikben mutatkoztak (5. ábra). Több ásvány (klorit, szerpentin, montmorillonit, hidroxipatit) tartalmazott OH-t, ami a magasabb hőmérsékletű keletkezési viszony alapján nem a Földön esetlegesen mállással jött létre (6. ábra).



5. ábra. A Yamato 593 meteorit area3-si3 jelű területének BSE képe, ahol vizes átalakulások ásványai is megfigyelhetők.

Mivel az egykori vizes oldatban jelentős CO<sub>2</sub> tartalommal volt, nem csak lokális áramlásban vett részt, hanem messzebről (légtéri vagy karbonátból kioldva) érkezett a CO<sub>2</sub>. Az oldat magas Fe- és Mn-tartalommal is bírt. A filloszilikátok OH tartalma alapján, a minta a vizes átalakulás végén nem melegedett kb. +150 °C fölé. Az ásványok viszonya alapján két vizes, hidrotermális szakasz volt, enyhén savas pH mellett (23).



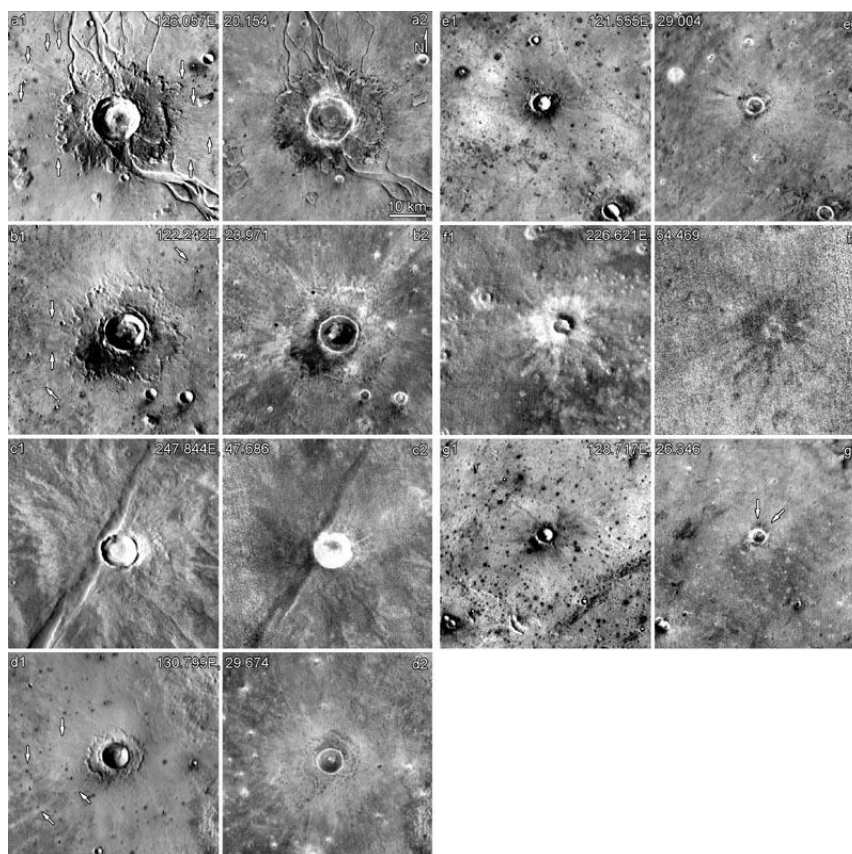
6. ábra. A Yamato 593 marsi meteoritban azonosított OH tartalmú ásványok. a,b: montmorillonit, kaolinit, ferrifayalit, hidroxipatit; c: montmorillonit, kaolinit, paligorszkit, d: krizotil, anotigorit, klorit.

## A nakhla marsi meteoritok forráskráterének keresése

Távérzékelés adatok alapján a felszíni kémiai jellemzők nehezen korrelálhatók a vizes alapú morfológiai nyomokkal – de a felszín alatt sok filloszilikát keletkezett. Ezek a felszín alól származó meteoritokkal laboratóriumban is elemezhetők. A nakhla meteoritok forráskráterének azonosítása és geológiai kontextusa a meteorit vizes nyomaival összekapcsolva segíthet az egykori környezeti paraméterek becslésében.

A nakhlit meteoritok karbonát, szulfát, halid, szmektit, többféle filloszilikát révén is jelzik az egykori nedves környezetet. A radioaktív elemek alapján a bazaltláva szilárdulási kora: 1,2 milliárd év, a meteorit űrben töltött időtartam (kirobbanási kor) 11 millió év – eszerint lehet a forráskráter keresni. Ehhez 17,3 millió km<sup>2</sup>, közel 1,2 milliárd éves területet átvizsgálva 11 millió évnél nem idősebb (tehát sugársávós) krátereket kerestünk, amelyek átmérője 3 km feletti (legalább ekkora méret kell, hogy bolygóközi pályára robbantsa ki a marsfelszíni anyagot).

A munka során 53 potenciális jelöltet azonosítottunk, amelyek közül közel egy tucat bizonyult a leginkább perspektivikusnak (7. ábra). Ezek némelyike lebenyes törmelékterítőt mutatott (felszín alatti jég létezésére utal) és kettő további kráter folyásnyomok mellett mutatkozott. Ugyanakkor a kandidátus kráterek egyenetlen területi eloszlása alapján feltehetőleg nem sikerült az összes potenciális jelöltet azonosítani. A magasabb területek a problémásabbak, ahol a Tharsis vulkanikus hátság meredek lejtőin fellépő erős lejtőszelek eltörölhették a fiatal korra utaló sugársávokat (23).



7. ábra A legjobb kráter jelöltek nappali (a1, b1, c1...) és éjszakai (a2, b2, c2...) THEMIS felvételeken. A nyílak a sugársávokat jelzik a nehezen azonosítható esetekben.



## Plaeokörnyezet indikátorok

Összeállítottam azon paleokörnyezet indikátorok listáját, amelyek az egykori nedves viszonyokra utalhatnak a Marson, és az ESA 2018-ra tervezett ExoMars rover fúrásaival vizsgálhatóak.

A munka keretében bemutattuk (Bradák Balázs, Elias Chatzitheodoridis, Újvári Gábor kollegákkal, 18, 25), miként lehetne az ExoMars MaMISS, CLUPI, MicrOmega, Raman (RSL) és XRC-XRF műszereivel eltérő környezetben létrejött üledékeket elkülöníteni egymástól, melyek a fő vezérfonalak ehhez, illetve mik mutatnak rá a részletesebb vizsgálatra érdemes részekre (8. ábra).

processes and environments / instrument	fluvial	subsurface water	bulk ice	aeolian	mass movements	information on transport distance, source
MaMISS	layering / gradation with different particle size	hydrated state, different OH content according to layering	hydrated state, different OH content according to layering	characteristic particle size below spatial resolution	large spatial heterogeneity	
CLUPI	rounded grains even at large diameter	abundant weathered ingredients at sub-grain scale	sublimation till (highly heterog. dry grains)	single max. in grain size distribution	heterogeneous particle size	highly homogeneous particle size → longer transport
MicrOmega	moderately heterog. comp., possible high OH content	high OH content, phases coexist with ice, Na/Mg ratio in perchlorate	highly hydrated perchlorates, sulphates	global/ regional composition	heterogeneous comp. mixture of oxidized surf. and unoxidized subsurf. layers	comparison to global, regional composition
RLS (Raman)	moderately heterog. comp.	phases could coexist with ice, high OH content	highly variable OH content	mono-mineral dominance	heterogeneous comp. mixture of oxidized surf. and unoxidized subsurf. layers	comparison to global, regional composition
Mars XRD-XRF	moderately heterog. comp., Na/Mg ratio in perchlorates	phases could coexist with ice, high OH content	various OH content	elemental occurrence same as in the regolith	heterogeneous comp. mixture of oxidized surf. and unoxidized subsurf. layers	comparison to global, regional level of heterog., focus on rare elements

8. ábra. Az ExoMars rover detektorainak (1. oszlop) megfigyelései, amelyek alapján az eltérő környezetben (2-7 oszlop) keletkezett üledékek részben elkülöníthetők egymástól, keletkezési viszonyok valószínűsíthetők. A világosabb szürke terület az elmúlt évmilliók klímaváltozásainak várható jellemzőit mutatja, a sötétszürke árnyalat a legérdekesebb, egykori vizes környezeteket jelzi.

A munkában rámutattunk, hogy az ősi nedves állapotok nyoma (főleg hidratált magnézium-szulfátok és perklorátok formájában) a hidegben megmaradhatott, és fontos indikátorai az ilyen környezeteknek. A jég és víz ősi szempontjából a bassanite és gipsz, valamint a Na/Mg arány fontos nyomjelző, mindez a mérések tervezésében és mintavételi helyszínének kijelölésében segíthet (5,8,18).

## Megjelent publikációk:

1. Kereszturi A.: Landing site rationality scaling for subsurface sampling on Mars—Case study for ExoMars Rover-like missions, *Planetary and Space Science* 72, 78–90., 2012
2. Kereszturi A.: Mars – fehér könyv a vörös bolygóról, Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2012
3. Kereszturi A., Rivera-Valentin E.G.: Locations of thin liquid water layers on present-day Mars, *Icarus* 221, 289–295., 2012
4. Kereszturi A.: Comparison of wet environment types with liquid water on Mars, In: *Life on Earth and other Planetary Bodies*. Ed: Hanslmeier A., Kempe S., Seckbach J., Springer, p. 237–252., 2012
5. Kereszturi Á.: Sampling possible subsurface niches on Mars: targeting astrobiological missions, *Evolution, Geology and Exploration*. Nova Publisher, p. 193–212, ISBN: 978-1-62618-102-1, 2013
6. Kereszturi A.: Paleoflood reconstruction in the Gale crater of Mars, *Astronomische Nachrichten* 334, 9, 944–947, 2013
7. Kereszturi A. A marsi vizek fizikája. *Fizikai Szemle* 2013/3. 77–82.: A marsi vizek fizikája, *Fizikai Szemle* 2013/3. 77–82., 2013
8. Kereszturi A., Hargitai H., Merk Zs.: Science and art in landing site visualization, *Data is Beautiful Conference*, ed: Bircsák E., Budapest, kitchenbudapest. p. 44–51., 2013
9. Kereszturi, A.: An unnamed fluvial valley system formed under different climates at Xanthe Terra, Mars, *Planetary and Space Science* 85, 220–231., 2013
10. Kereszturi Á.: Case study of climatic changes in Martian fluvial systems at Xanthe Terra, *Planetary and Space Science* 96, 35–50, 2014
11. Kereszturi Á.: Infrared spectral analysis and paleo-environment reconstruction on Mars., 8th International Conference on Mars, 2014
12. Kereszturi Á.: Hogyan vigyünk csillagászatot a laboratóriumba? *Magyar Tudomány* 175, 187–195., 2014
13. Kereszturi A., Appéré T.: Searching for springtime zonal liquid interfacial water on Mars, *Icarus* 238, 66–76., 2014
14. Kereszturi Á., Appere T.: Conditions for the appearance of interfacial liquid water at the northern hemisphere of Mars., *MPSE (Mars – Connecting Planetary Scientists in Europe) 2014 conference proceedings C18*, p. 41., 2014
15. Kereszturi A. 2014. Mars Express – Európa az ősi marsi víz nyomában. *Természet Világa* 145. „Európa a Világűrben különszám” 14–18.
16. Kereszturi Á., Góbi S.: Interfacial water on Mars and its possible role on hydrogen peroxide decomposition, *MPSE (Mars – Connecting Planetary Scientists in Europe) 2014 conference proceedings (Warsaw 3–5. June)*, published by European Space Agency, Warsaw, 2014
17. Kereszturi A., Madarász B., Örsi A.: Domborzat alapú felszín elemzés és morfológiai korreláció a Mars északi síkságára., *Geomatikai Közlemények XVII*. 93–100., 2014
18. Kereszturi A.; Újvári G.; Bradak B.: Estimating the origin and transport process of grains expected to find during the drill of ExoMars rover mission., 45th Lunar and Planetary Science Conference, abstract 1496., 2014
19. Kereszturi A.: Fluvial geomorphology of Mars: background to separate biogenic and abogen effects and identify climate change related features, *Noel Duncan: Fluvial geomorphology and riparian vegetation*, p. 81–89., 2015
20. Kereszturi, A.; Madarász, B.; Örsi, A.; Hargitai, H.: Topography Based Surface Analysis and Morphological Correlation at the Northern Plains of Mars, *Proceedings, 27th International Cartographic Conference*, T28–291, 2015

Készülő és beadott publikációk:

21. Kereszturi A.; Petrik A.: Improved age determination for valley networks on Mars using tectonic-fluvial interaction. *Icarus*.
22. Kereszturi A.; Rivera-Valentin E.: Possible water lubricated grain movement in the circumpolar region of Mars. *Planetary and Space Science*
23. Gyollai I.; Kereszturi A.; Chatzitheodoridis E.; Szabo M. Two phased magmatic and hydrothermal activity on Mars based on Yamato 593 meteorite. *Meteoritics and Planetary Science*.
24. Kereszturi A.; Chatzitheodoridis E. Searching for the source crater of nakhlite meteorites. *OLEB*.
25. Kereszturi A.; Bradak B.; Chatzitheodoridis E.; Ujvari G.: Indicators of past water action for ExoMars drill: review of future prospects. *OLEB*.