



ELTE TTK FIZIKA DOKTORI ISKOLA  
RÉSZECSKEFIZIKA ÉS CSILLAGÁSZAT PROGRAM

---

# Programozási megoldásokkal a Földön kívüli víz nyomában — asztrobiológiai elemzések

---

4. féléves beszámoló

PÁL Bernadett  
(pal.bernadett@csfk.mta.hu)

TÉMAVEZETŐ: Dr. Kiss László



2019. május 31.

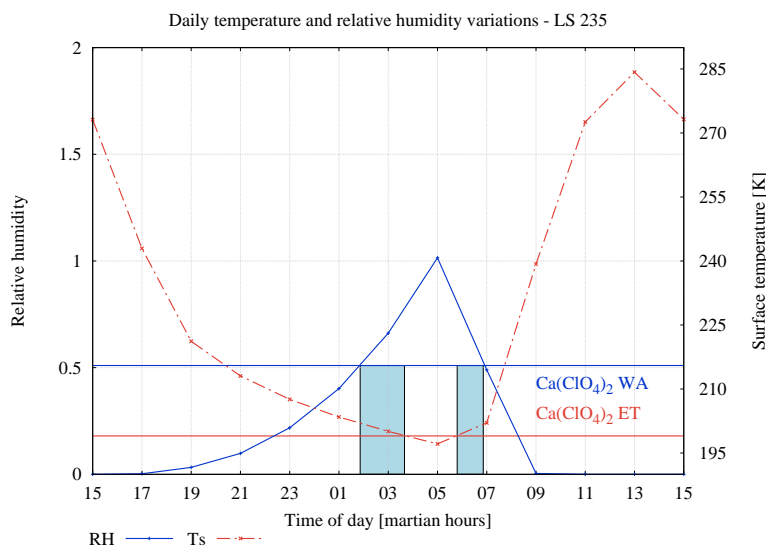
# 1. Bevezetés

A marsi globális relatív nedvességtartalom évszakos variációiról szóló kéziratom az Icarusnál a 2. körös review fázisában tart, még az egyik társszerzőtől várunk választ a felmerült kérdésekre, utána kisebb hibák javítása után június folyamán beadjuk a javított verziót. A félévben befejeztem az InSight-űrszonda leszállóhelyének elfolyósodás szempontjából történő elemzését, erről a kéziratot is megírtam, melyet szintén június folyamán be fogok adni, valószínűleg az Icarushoz. A félévben továbbá Campus Mundi rövid tanulmányút keretein belül 1 hónapot a Tokiói Egyetem vendégkutatójaként töltöttem, melynek során a Miyamoto Laboratory MMX (Martian Moons eXploration) kutatócsoportjával működtem együtt. Ezekon kívül Dr. Kereszturi Ákos *Asztrofizikai és Geokémiai Laboratórium* kutatócsoportjában képfeldolgozással kapcsolatos feladatokat végeztem, valamint egy a kisbolygók infravörös spektrumának felvételéhez használt spektrométer szükséges minimális spektrális felbontásának kiszámítását célzó kézírathoz készítettem C++ programokat.

## 2. Az aktuális félév eredményei

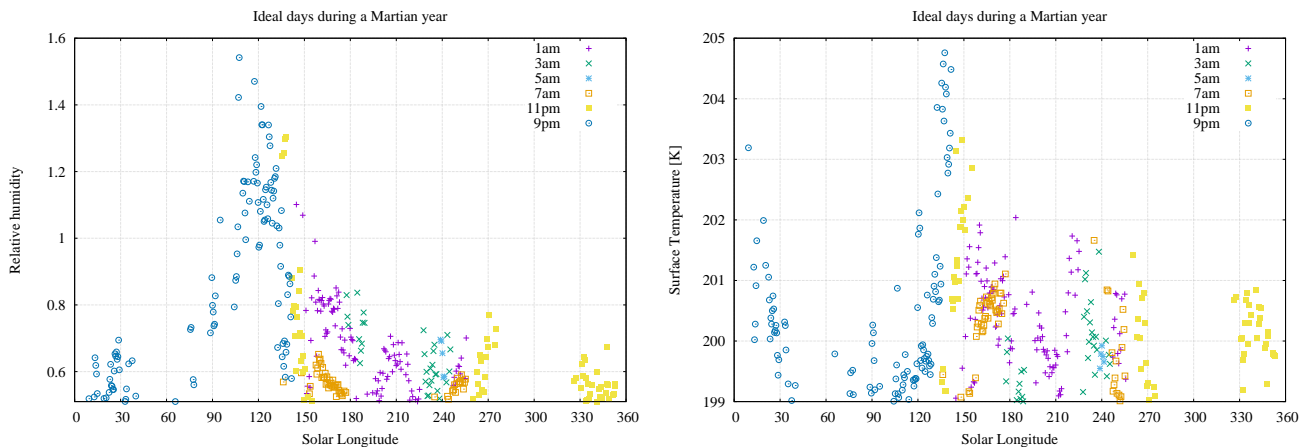
### 2.1. InSight

Elysium Planitia (4.5°N 135.9°E), az InSight leszállóhelye területén vizsgáltam a talajmenti relatív nedvességtartalom éves, illetve napos változásait, különös figyelemmel arra, hogy bármilyen ismert, Mars-releváns higroszkópos só elfolyósodása számára megfelelőek lehetnek-e a körülmények. A tanulmányhoz szintén a korábban is használt LMDZ GCM modellel dolgoztam, kimeneti adatainak szétválogatásához C++ programokat, illetve különböző shell scripteket írtam.



1. ábra. A felszínközeli relatív nedvességtartalom, valamint a felszíni hőmérséklet napi ingadozása Ls 230° közelében. Ez a legtipikusabb feltehetőleg ideális időszakeloszlás, melyet a vizsgálatok során tapasztaltam, azaz, az ideális időszakok két részre szakadnak, mivel nagyjából az éjszaka közepén a hőmérséklet pár fokkal az eutonikus határ alá csökken.

Az eredményeim szerint szinte egész évben előfordulhatnak potenciálisan ideális időszakok a kalcium-perklorát ( $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$ ) elfolyósodásához. Az év első felében a kora éjszakai órák, majd az év előrehaladtával, a perihéliumhoz való közeledéssel egyre inkább a késő éjszakai, kora hajnali órák is megfelelőek lehetnek. Egyetlen esetben sem találtam olyan éjszakát, amely megszakítás nélkül ideális lehet, minden éjszaka két rövidebb ideális időszakra szakad, melyek között bár a relatív nedvességtartalom elég magas, de a hőmérséklet az eutonikus szint alá csökken. Az InSight precíz hőmérsékleti mérései segíthetnek eldönteni, hogy ténylegesen mennyire számíthatunk a kalcium-perklorát elfolyósodására az év különböző szakaszaiban.



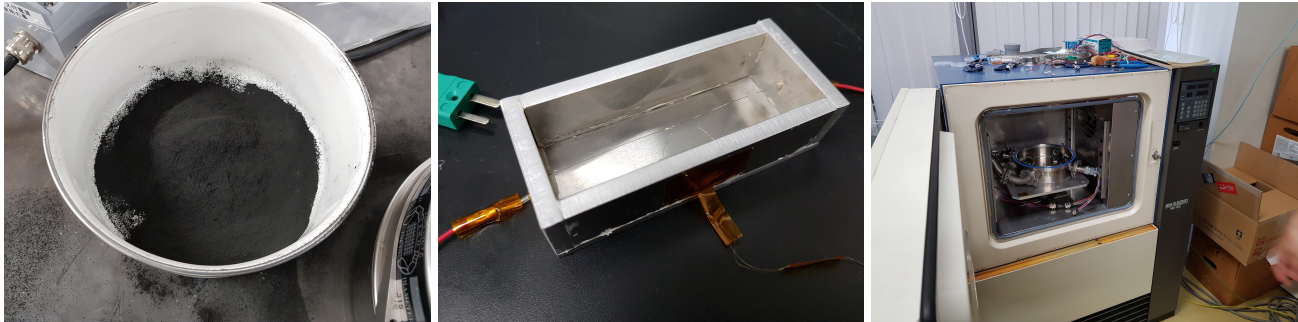
2. ábra. Összefoglaló ábrák az ideális időszakokról egy marsi évre vetítve. A különböző színek és formák különböző helyi időket jelentenek. Megfigyelhető, hogy míg az év első felében csak este 9 óra körül várható elfolyósodás, ahogyan a Mars közelít a perihéliumhoz, a potenciálisan ideális időszakok egyre későbbre nyúlnak az éjszakában, egészen a kora reggeli órákig.

## 2.2. MMX

2019. március 25-től április 19-ig Tokióban voltam, ahol a Tokiói Egyetemen működő Miyamoto Laboratory tagjaként a Mars Phobos holdjának vizsgálatát is célzó MMX küldetés kutatócsoportjával dolgoztam együtt Hideaki Miyamoto vezetése alatt. A munka célja a Phobos felszíni törmelékterelőjének viselkedésének, valamint a regolit viselkedésének megértése volt. Kinti tartózkodásom során Naoya Sakatani professzorral együttműködve a JAXA/ISAS Sagamihara-i kutatóközpontjában az UTPS-TB (University of Tokyo Phobos Simulant Tagish-Based) Phobos regolitszimulánsal dolgoztam. A kísérlet során először kétféle szemcseméret szerint egy ultrahangos szűrő segítségével válogattam szét az anyagot, egy  $500\mu\text{m}$ -nél, valamint egy  $106\mu\text{m}$ -nél kisebb mintára. Ezeket 1 napig kb.  $100^\circ\text{C}$ -on sütöttem, majd a Sagamihara-i kutatóközpontba vittem. Emellett a SPICE kernelek használatát tanultam, mely használatával például az űrszonda térbeli pozícióját tudom meghatározni tetszőleges időpontban.

Ott kétféle mintatartót töltöttem meg a kétféle szemcseméretű szimulánsal, melyeket egy termosztatikus kamrában levő vákuumkamrába helyeztem. Első lépésként szivattyúk segítségével  $10^{-2}\text{Pa}$  vákuumot állítottunk elő, majd ezután a mintát 4 különböző hőmérsékleten ( $60^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $-25^\circ\text{C}$ ,  $-70^\circ\text{C}$ ) vizsgáltam. A vákuum miatt a termosztatikus kamrán beállított hőmérsékletet a minták kb. 2 nap alatt vették át, így 2 naponta utaztam le Bunkyo városrészből Sagamihara-ba.

A fennmaradó időben a SPICE kernelek használatának elsajátításán dolgoztam. Miután a minták felvették a szükséges hőmérsékletet, a tartóban levő nikróm vezetéken áramot átvezetve fűtöttem a szimulánsokat, közben folyamatosan mintavételezve a hőmérsékletüket. A keletkezett melegedési görbéket az idő logaritmus szerint ábrázolva megillesztettem, ebből hővezetési képességet számoltam. A 4 különböző hőmérsékletre számított hővezetési értékeket megillesztve számoltam ki a kétféle szemcseméretű minta hőtehetetlenségét. Az eredményeimet ezután összevettem a JSC-1A holdi regolithszimuláns eredményeivel, valamint a Deimos, Phobos és a Ryugu becsült értékeivel. Eredményeimről a Miyamoto Laboratory heti workshopján, április 18-án előadást tartottam.



3. ábra. Bal oldalon az UTPS-TB regolit szimuláns anyag látható, miután megfelelő szemcseméreték szerint szétválogattam, de még a sütés előtt. Középen az egyik mintatartó látható, benne a nikróm szállal, melyen keresztül egyenáramot vezetve fűtöttem az UTPS-TB mintákat. Jobb oldalon a nyitott vákuumkamra, valamint a termosztatikus kamra látható, melyen a szükséges hőmérsékletet lehetett beállítani.

$$k = \frac{q}{4\pi s} \quad (1)$$

k: hővezetés, q: a fűtőszál egységnyi hosszúságra vett fűtési teljesítménye

$$q = RI^2 \quad (2)$$

R: a nikróm vezeték elektromos ellenállása ( $42.35 \Omega m^{-1}$ ), I: a nikróm vezetékben indukált egyenáram (0.020 A)

$$T = s \times \ln(t) + b \quad (3)$$

T: a fűtő hőmérséklete  $t$  időben,  $s$ : meredekség,  $b$ : konstans

$$I = \sqrt{k\rho c} \quad (4)$$

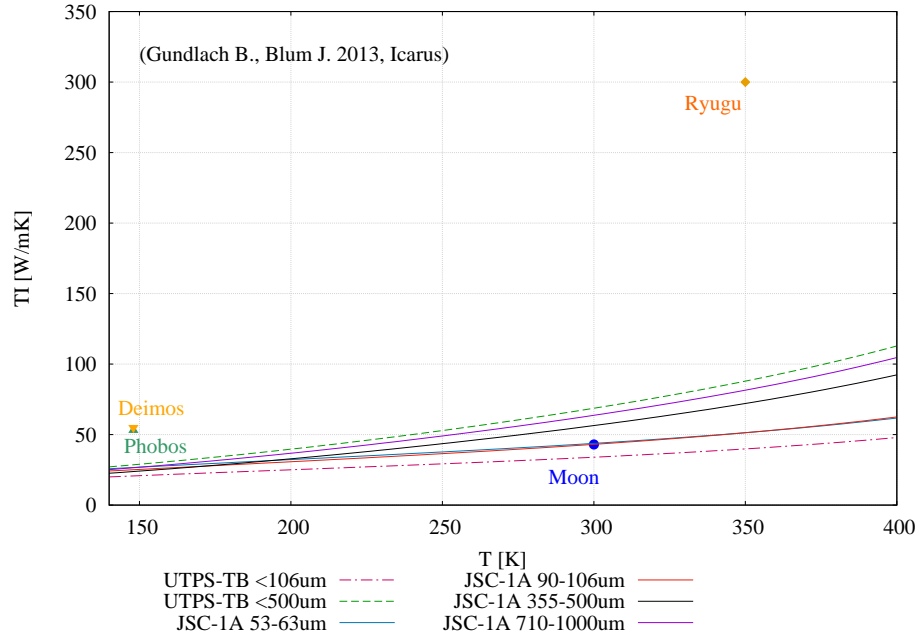
k: hővezetési képesség,  $\rho$ : a minta sűrűsége,  $c$ : fajlagos hőkapacitás

$${}^1c_p = -23173 + 2.1277T + 1.5009 \times 10^{-2}T^2 - 7.3699 \times 10^{-5}T^3 + 9.6552 \times 10^{-8}T^4 \quad (5)$$

$c_p$ : a fajlagos hőkapacitás  $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$  egységekben,  $T$ : a hőmérséklet  $\text{K}$  egységekben

$${}^2k(T) = A + B \times T^3 \quad (6)$$

A: hőmérséklettől független, dimenziótlan konstans, B: a szilárd és radiatív vezetőképességeket reprezentáló konstans ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) egységekben



4. ábra. Az UTPS-TB regolit szimuláns kétféle szemcseméretű mintáinak vizsgálati eredményei szaggatott piros, illetve szaggatott zöld színekkel jelölve. Az eredményeket összevettem a JSC-1A holdi regolitszimuláns mérési eredményeivel is. Az ábrán megfigyelhető, hogy a  $106 \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcséből álló minta elég jól közelíti a holdi szimulánst, ez feltehetőleg a minta sűrűségének és szemcseméretének hasonlósága miatt áll elő. Az is látható, hogy a Phobos ezzel szemben a görbe felett helyezkedik el, ezen eltérésnek a pontos okát az én kísérleteim folytatásával tovább kutatjuk.

Az eredményeim és a Phobos becsült hőtehetetlensége közötti eltérés okát egyelőre csak sejteni lehet, de pontos magyarázatot jelenleg nem tudunk — ahogyan a Ryugu felszínét borító anyag szemcseméreteit is jóval alábecsülték az előzetes mérések alapján. A kint megkezdett kísérleteimet Miyamoto professzor és Sakatani professzor tovább folytatják, eredményeinket publikálni fogjuk, mely kéziratban társszerzőként fogok közreműködni.

<sup>1</sup>Wada et al., 2018, *Asteroid Ryugu before the Hayabusa2 encounter*, Progress in Earth and Planetary Science

<sup>2</sup>Sakatani et al., 2018, *Thermal conductivity of lunar regolith simulants JSC-1A under vacuum*, Icarus

### 3. Konferenciák, vendégutazások a képzés alatt

- Laboratoire de Météorologie Dynamique Paris vendégutazás 2017.10.8-13.
- Laboratoire de Météorologie Dynamique Paris vendégutazás 2018.03.25-31.
- Workshop in Geology and Geophysics of the Solar System, Petnica, Szerbia 2018.06.23-07.01.
- Basics of Astrobiology Summer School, Bécs 2018.08.15-19.
- TherMoPS III Workshop, Budapest 2019.02.20-22.
- University of Tokyo, Miyamoto Laboratory vendégutazás 2019.03.25-04.19.

### 4. Tanulmányok a félévben

- Fejezetek a többes csillag- és bolygórendszerek elméleti és megfigyelési kérdéseiből II. (FIZ/2/100E)

### 5. Pályázatok a félévben

- „*Meteoritok infravörös spektroszkópiai és ásványtani vizsgálata az európai kisbolygókutató űrszondához kapcsolódóan*” címmel OTKA pályázatot nyújtottunk be, melyben társkutatóként közreműködöm. Jelenleg elbírálás alatt.
- ÚNKP 10 hónapos pályázatot adunk be az MMX-szel kapcsolatos kutatás folytatására Dr. Kereszturi Ákossal

### 6. Szakmai közéleti tevékenység a félévben

- 2018.01.25-ike óta a Konkoly Tudományos Tanács tagja vagyok
- A *csillagaszat.hu* tudományos ismeretterjesztő csillagászati hírportál rendszeres szerzője vagyok 2018. szeptember 1-je óta, hetente 2 ismeretterjesztő cikket írok. A beszámoló megírásáig megjelent cikkek száma: 65
- 2019.01.31-én az MTA CSFK CSI szemináriumán angol nyelven előadást tartottam a relatív nedvességtartalom globális változásait célzó kutatásom eredményeiről
- 2019.02.13-án az MTA „Új eredmények a Magyar Tudományos Akadémia által támogatott csillagászati-földtudományi kutatások köréből” éves gyűlésén a relatív nedvességtartalom globális változásait célzó kutatásom eredményeiről adtam elő Dr. Kereszturi Ákossal
- 2019.02.27-én a Kossuth Rádióknak nyilatkoztam az InSight Marsot célzó űrszondával, valamint várható tudományos eredményeivel kapcsolatban

- 2019.04.18-án Tokióban, a Miyamoto Laboratory TeNQ múzeumban működő kihelyezett kutatóhelyiségében tartottam angol nyelven előadást a kinti kutatásom eredményeiről
- 2019.05.15-én az MTA CSFK CSI „Kávészünet” heti rendszerességű programján tartottam angol nyelvű előadást a Tokiói Egyetemmel és a JAXA/ISAS-szal együttműködve végzett kutatásomról, élményeimről

## 7. Publikációk a képzés alatt

- „*Global distribution of near-surface relative humidity levels on Mars*”  
LPSC 2019 abstract, 50th Lunar and Planetary Science Conference 2019 (LPI Contrib. No. 2132), egyedüli szerző
- „*Alföldi szikestől az Atacama-sivatagig: miként támogatjuk az ExoMars rover fúrásait*”  
Soproni Űrkutatási Fórum, absztrakt, társszerző
- „*Middle infrared spectral shape analysis for mineral determination by TIRI detector planned for Hera mission*”, EPSC-DPS2019-1354, abstract, társszerző
- „*Folyékony víz megjelenésének lehetősége a mai Mars felszínén*”  
Természet Világa 2019. áprilisi száma, egyedüli szerző
- „*Global seasonal variations of the near-surface relative humidity levels on present-day Mars*”  
Icarus, 2. revízió dolgozunk, első szerző
- „*General characteristics of the Ojos del Salado region as a potential Mars analogue site in the Atacama desert*”, Astrobiology, beküldve, társszerző
- „*Temperature and humidity monitoring to identify ideal periods for liquefaction – experiences from high altitude region of Atacama desert*”, Astrobiology, beküldve, társszerző
- „*Seasonal changes of near-surface relative humidity on Mars*”, European Planetary Science Congress, 12, pp. EPSC2018-51- (2018) első szerző
- Research Advances in Astronomy (ISBN: 978-1-53614-097-2) könyvben megjelent könyvfejezet „*Searching for Liquid Water on the Surface of Present Day Mars*” címmel, egyedüli szerző