

## Opponensi vélemény

*Kereszturi Ákos: Földtudományi módszerekkel a Földön kívüli víz nyomában*

című MTA doktori értekezéséről

Az igen érdekes olvasmányt ígérő cím a Jelölt több évtizedes planetológiai munkásságának legérdekesebb, a PhD fokozat megszerzése utáni eredményeit foglalja össze. A munka és a bemutatott kutatás mozaikszerű: ahogy a dolgozat 114. oldalán Jelölt táblázatban is bemutatja: a nyolc tézis lényegében négy, egymással laza tematikus kapcsolatban álló témakör köré szerveződik. E témakörök közös pontja a (cseppfolyós halmazállapotú) víz; annak marstörténeti nyomai, az általa keltett lineáris eróziós felszínformák által hordozott paleo-marsrajzi információk, illetve a – általam legfontosabbnak tartott téma – a cseppfolyós víz jelenlegi marsi előfordulására utaló információk. Mint azt majd részletesen kifejtem, az utolsó témakör, a Földön előforduló, a Marsra leginkább hasonlító területek vizsgálata ebből kissé kilóg, és valójában nem is általában vizsgálja ezeket, hanem egy specifikus esetről mutat be helyszíni méréseken alapuló esettanulmányt.

A téma időszerűsége kétségtelen. Saját becslésem szerint az ember egy, a mától 30-70 éven belül intervallumban a Marsra teszi a lábát. Amennyiben ez inkább a korai időszakra esik majd, a visszatérési terv nélküli expedíció is előfordulhat: ebben az esetben a felfedezés időtartamát jelentősen meghosszabbíthatja a helyszínen található (bármilyen halmazállapotú) víz. még a visszatérési expedíció esetén is az egyik legfontosabb és az indítás szempontjából kritikus tömegű kellék, a víz helyszíni megléte is nagyon fontos tervezési szempont.

Itt jegyzem meg, hogy kifejezetten ebből a szempontból a dolgozat címe kissé félrevezető módon túl általános. A „Földön kívüli víz” nyomát kutatja, miközben az értekezés specifikusan a Marsról szól: sokkal helyesebb lett volna a „Földtudományi módszerekkel a marsi víz nyomában” címválasztás. Annál is inkább, mert az emberes űrkutatás homlokterében a következő évtizedekben sokkal inkább a Holdra való visszatérés áll, amelyhez képest a Marsot még „csak” felderítő eszközökkel kóstolgatjuk. A szintén nemzetközileg komolyan kutatott holdi víz kérdése a dolgozatban érdemben nem kerül elő. Ez olyan értelemben nem probléma, hogy a Jelölt természetesen arról készíti a dolgozatát, amiről szeretné és amely témában kutat(ott), csak a cím nyomán esetleg az olvasó erre, vagy akár a gázóriások néhány holdján bizonyított vízkészletek kutatására is számíthat.

A dolgozat szerkezete tükrözi a fent említett mozaikos témastruktúrát. A téma háttéréről, a planetológia néhány releváns kérdéséről, a megoldandó problémákról szóló bevezetés és a munkamódszerek ismertetése a következő pontokat közösen vezetik fel. Ez utóbbi fejezet („Munkamódszerek”) a dolgozat véleményem szerint leghangsúlyosabb része, túl is mutat a címén, hiszen a módszerekhez felhasznált adatok forrásáról, metaadatairól és használati lehetőségeiről is áttekintést nyújt, terjedelme így nem meglepő módon a teljes munka kb. tizedrésze. Nem teljesen világos számomra, hogy a Jelölt ezeket miért gyűjtötte egybe: a következő rész: a nyolc tézis külön fejezetekben történő, diszkusszió jellegű alátámasztása az adatoknak mindenütt csak egy részhalmazát igényli. Ezen fejezetek megértését, és így a tézisek tényleges megítélését, kissé hátráltatja, hogy a tézis-specifikus adatokért és módszerek részleteiért az olvasónak állandóan lapozgatnia kell, hacsak nem jártas annyira a Mars kutatásában, mint a Jelölt (a hazai tudományos életben pedig nehezen talállok ilyen versenytársat). Rövid utalás természetesen minden tézisnél található az adatokra és módszerekre. A dolgozatnak a téziseket megalapozó fő részét egy néhány oldalas összefoglalás zárja, amely az eredményeket kontextusba helyezi, megadja azoknak a tiszta tudományon túlmutató jelentőségét: ez a rész a dolgozatnak egy nagyon értékes része, bár a tartalomjegyzékben ígért egyik igen érdekes, gyakorlati jelentőségű téma itt kimaradt.

Jelölt egyrészt az önállóan erre a célra szánt 14. fejezetben, de az egyes tézis-fejezetekben is idézve összegzi, hogy a megadott eredményekből mi pontosan az ő munkája és hozzájárulása, ezeket milyen tudományos művekben publikálta, kitérve a saját és a társszerzők által elért hozzájárulásokat is. Ezen túlmenően a 114. oldalon elérhető, fent már említett összefoglaló táblázat is kapcsolatba állítja a téziseket és a publikációk hivatkozási sorszámai azok jellege szerint, és itt már kapcsolódó, jellemzően pályázat tevékenységéről is tézis-szinten beszámol. Ez a szerkezeti elem példaértékű.

És akkor jöjjön a munkával kapcsolatos fő kritikám. Jelöltet saját témaválasztása hozza kissé nehéz helyzetbe akkor, amikor – a címben is deklaráltnak – földtudományi módszereket alkalmaz a marsi morfológia (nevezzük areomorfológiának) kutatására. Ezzel nem ő küzd egyedül: a planetológia nemzetközi közössége arra ítéltetett, hogy a korlátozott számú és tematikájú – bár általában szabadon hozzáférhető, az emberiség közkincsévé tett – mérési eredményt használja. Ebből kell előállítani egy specifikus „történetet”, egy sztorit, szóljon az a *Thaumarsia Plateau* folyóölgyeinek koráról, az Atacama patakjának időszakos, felszín alatti felolvadásáról és ennek marsi relevanciájáról, vagy a marsi jégsapkák határai közelében megjelenő sötétebb foltokról. *A geológia tudományán nevelkedett tudósok ugyanakkor a „story-telling” és az „interpretation”, vagyis a „lehetséges magyarázat” és a „valamilyen módon bizonyított magyarázat” közt elég éles határt húznak, magukat a második esetben próbálván besorolni. Jelöltnak ez – a választott tematika és az elérhető adatok által kifizített absztrakt*

*térben – erre általában nincs lehetősége, ezért dolgozatának kulcspontjaiban a tudományos munkákban szokatlan sűrűséggel bukkan fel a „lehet” kulcsszó.*

Emiatt az egyes téziseket olyan értelemben nem is vitatom, hogy a leírt sztorik lehetségesek-e? Azok. *A védésen viszont azt szeretném kérni a Jelölttől, hogy koncentráljon arra, hogy vagy bizonyítsa lehetőség szerint, hogy más – jellemzően nem általa elért – eredmények ezeket a sztorikat hogyan támasztják alá, vagy esetleg hogyan lehet kizárni más, az adott felszínformákhoz vezető sztorikat.*

Kérdeztem volna még az egyes tézisek jelentőségét, de ezt a jelölt a 10. fejezetben összefoglalja. Hiányosság, hogy a tartalomjegyzék szerint a 11.2 alfejezet címe „A felszín alatti térségek elérésének elemzése a leszállóhelyeken”, miközben a 110. oldalon e fejezet címe már „A sarkvidéki folyásos kinézetű alakzatokkal kapcsolatos eredmények elemzése”. Ez a kettő ráadásul véleményem szerint kicsit ellentmondásban is áll, melyet alább egy kérdésben is feszegetek majd.

A teljes tudományos kontextust a 11.1. ábra jelenti, amely az eddig általam látott legszebb összefoglaló metodikája bármely planetológiai jelenség?- kutatás?- probléma?csoportnak. Publikálta ezt a Jelölt valahol? Ha nem: sürgősen tegye meg!

**Összességében: Jelölt dolgozatát nyilvános vitára alkalmasnak tartom, a vitára bocsátást egyértelműen javaslom. A tézisek elfogadásáról a nyilvános vita eredményeként szeretnék nyilatkozni, elsősorban annak függvényében, hogy a Jelölt mennyire győz meg engem és/vagy a hallgatóságot arról, hogy az általa vázolt „történetek” (vagy azoknak legalább egy része) mennyire bizonyított/bizonyítható. Egy példát erre szintén kérdés formájában fogalmazok meg.**

A nyilvános védésen a következő kérdéseket kívánom feltenni:

1. Ha már megváltozott a 11.2 alfejezet címe, kérem Jelöltet, oldja fel a változtatás lehetséges okát. Arra gondolok, hogy a jelenkori marsi víz előfordulására vonatkozó talán legfontosabb indikációk a DDS-ek (5. tézis), a délisark-közeli vízjég-előfordulások (6. tézis) és ennek északisark-közeli lehetősége (7. tézis) mind a bolygó cirkumpoláris területeit érintik. A „visszatéréses” Mars-expedíció esetén a leszálló egység nyilvánvaló landolási helyszíne valamilyen Egyenlítő-közeli terület lehet, hiszen a Mars kisebb gravitációja mellett a Földéhez hasonló forgási sebesség okozta centrifugális hatás valamivel nagyobb arányú, mint a Földön, így onnan könnyebb felszállni a visszatéréskor. Hogyan oldható fel ez a dilemma? Hol keressünk leszállóhelyet: a cirkumpoláris területen, a DDS-ek környékén, megspórolva ezzel  $M_1$  (bizonytalan) tömegű, Földről szállítandó vizet, vagy az Egyenlítőn, megspórolva ezzel  $M_2$  (számítható) tömegű, Földről szállítandó, a visszatéréshez szükséges üzemanyagot?

2. Jelölt utolsó tézisének tárgyalásakor részletesen bemutatja az Atacama-sivatag egy felszín alatti időszakos vízfolyásának a hőmérséklet (a víz olvadáspontját hol alulról, hol felülről közelítő) változásai okozta szakaszos működését. Ez a rész igen részletes és tartalmát nem vitatom. Ehhez képest Jelölt felveti a működési mechanizmus marsi relevanciáját is, fő érve, hogy a „csak nappali aktivitás” kifejezetten „Mars-releváns” – megjegyzem, a tézis a Mars közepes szélességein előforduló gully-kra utal, ahol a nappali hőmérséklet sem valószínű, hogy a felszín alatt elérné a víz olvadáspontját. Jelölt ugyanitt távlati kutatási lehetőségeket is megjelöl, ezek azonban az általam nem vitatott földi mechanizmus részleteit célozzák, a marsi analógiát viszont egyáltalán nem. Kérem Jelöltet, támassa alá a 8. tézis e mondatát: „a felfedezett aktivitás a Mars közepes szélességű területein látható folyásnyomok keletkezésére jelentHET (kiemelés tőlem: TG) földi analógiát”! Jelenthet (akkor nem áll meg a tézis) vagy jelent (akkor megáll)?
3. Biztos, hogy a 4. tézisben említett, kb. 3,4 milliárd évvel ezelőtti tó mélység nem lehetett 158 méter mély?

Budapest, 2023. május. 12.

/ Timár Gábor /

geofizikus, az MTA doktora