

# A MARSÍ VIZEK FIZIKÁJA

Kereszturi Ákos

MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Napjainkra széles skálája gyűlt össze az arra utaló különféle információknak, hogy a Mars felszínén egykor folyékony víz volt jelen [1]. Noha egyes megfigyelések magyarázataként alternatív modellek is léteznek, a folyékony víz ősi jelenléte mára nagyjából elfogadott tény a bolygókutatásban. A kérdéses vizek jellemzői (térfogat, hőmérséklet, jelenlét időtartama, összetétel stb.) azonban még alig tisztázottak. Ugyancsak vita tárgyát képezi, hogy napjainkban lehet-e folyékony víz a bolygón. Az alábbiakban a Marson lévő egykori és esetleges mai vizek jellemzőit tekintjük át, a fizikai paraméterekre fektetve hangsúlyt. A cikk szóhasználatával kap-

csolatban fontos megemlíteni, hogy a víz kifejezésen magyar nyelven a cseppfolyós  $H_2O$  fázist értjük, míg amikor a marsi  $H_2O$ -ról általánosan beszélünk, a cseppfolyós mellett a gáz és főleg a szilárd halmazállapotú anyagot együttesen értjük. Angol nyelvterületen lazábban használják a „water” kifejezést, amit sok esetben egyszerűen a vízjégre is alkalmaznak.

A folyékony víz mai előfordulásával szemben mutatózó legfontosabb tényező a bolygó légkörének rendkívüli szárazsága. A marsi légkörben lévő  $H_2O$  mennyisége úgynevezett vízegyenértékben  $10 \mu\text{m}$  körüli (ez azon vastagság, amelyet a  $H_2O$  mennyisége akkor tenne ki, ha mind folyékony volna, és egyenletesen beborítana egy gömb alakú Marsot). Ez a földi sztratoszférá-

---

A kutatómunkát az MTA OTKA PD 105970 projekt támogatta.

**Áttekintés a víz egykori előfordulási lehetőségeiről, pontosabban a megjelenésére utaló képződmények típusairól**

víz előfordulására utaló tényező	víz becsült térfogata (km <sup>3</sup> )	víz jelenlétének időtartama (év)	egyéb jellemzők	előfordulás időszaka a bolygó fejlődéstörténetében
kiterjedt állóvizek: korai északi „óceán”, később megjelenő részleges vízborítás az északi síkság részmedencéiben	10 <sup>6</sup> –10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup> –10 <sup>6</sup>	a kezdeti „meleg” óceán a légkörral kémiai egyensúlyban lehetett, a későbbi mélységi vizek (amelyek kiömlésével részlegesen újra feltöltődhetett az északi síkság) a felszín alól származó sok oldott anyagot tartalmaztak	tartósan a kezdeti „meleg” időszakban léteztek, később áradások alkalmával feltörő mélységi vizek kiömlése után 1–100 év alatt befagytak, majd jéganyaguk elszublimált
áradásos csatornák vize	10 <sup>1</sup> –10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>1</sup>	a felszín alatti hosszú tartózkodás miatt oldott ásványi anyagokban gazdagok voltak	a bolygó globális hűlése során, a krioszféra kialakulása után, a fagyott kőzetréteg alól törtek fel epizodikusan
kisebb tavak	10 <sup>2</sup> –10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> –10 <sup>5</sup>	főleg felszíni vízfolyások által táplált vizűk lehetett, alárendelt felszín alatti táplálás is létezett; alkalmanként jég borította őket, gyengítve a kapcsolatot a légkörral	a legtöbb nyom 4,0–3,5 milliárd évvel ezelőtti időszakból van
becsapódásos eredetű krátertavak	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup>	oldott anyagokban gazdag mélységi vizekből, illetve felszín alatt raktározódó jég olvadásától a becsapódás hője nyomán	bármikor, de nagy becsapódások főleg a bolygó fejlődésének első körülbelül 500 millió évében voltak gyakoriak
idős, hálózatos csatornák	10 <sup>1</sup> –10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup> –10 <sup>5</sup>	egymással összekapcsolódó, sűrű mintázatuk esőzésre vagy felszíni jég olvadására mint vízforrásra utal	főleg 3,8 milliárd évnél idősebbek, az agyagásványokat létrehozó korai időszakban keletkezettek, közel neutrális vizekből
gully alakzatok (sárfolyások)	10 <sup>8</sup> –10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>1</sup>	a légkörből lerakódott, talán porral szennyezett jég olvadása táplálta őket	az elmúlt millió évben keletkezettek, de az alakzatok néhol ma is formálódnak, azonban ott nem folyékony víz, hanem szilárd jég és lejtős tömegmozgások hatására
geotermikus központok	10 <sup>1</sup> –10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup> –10 <sup>4</sup>	mélységi eredetű víz jellemző rájuk, magas oldottanyag-tartalommal	főleg a bolygó fejlődésének korai időszakában
vizes közegben keletkezett ásványok	10 <sup>9</sup> –10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>6</sup>	míg az idősebb rétegszilikátok melegebb és közel neutrális vizekre utalnak, a fiatalabb szulfátok hidegebb és savasabb vizekből keletkezettek	a rétegszilikátok a bolygó korai, a szulfátok víztartalmú változatai és az opál a bolygó későbbi időszakában keletkeztek
interfaciális víz*	10 <sup>9</sup> –10 <sup>6</sup>	10 <sup>1</sup> –10 <sup>2</sup>	légkörből kivált tiszta H <sub>2</sub> O, egyéb molekulákat csak akkor tartalmaz, ha azokat a vele érintkező ásványból old ki	elméletileg sokszor megjelenhetett a bolygón, a modellek alapján időnként napjainkban is előfordul

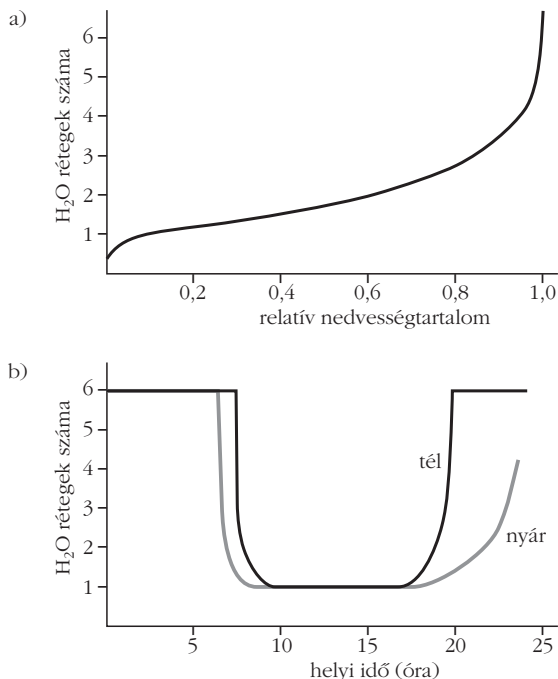
A víz becsült térfogata az adott megfigyelt képződményre vonatkozik, egy speciális esetet kivéve (\* jel), ahol az egész bolygón megjelenő víz térfogata olvasható.

ban lévő vízmennyiséghez hasonló nagyságrendű. A száraz légkör miatt a vízjég elméletileg még azelőtt elszublimál, hogy megolvadhatna. A felszínen –40 és –60 °C között találhatunk vízjeget a „legmelegebb” helyeken, ennél magasabb hőmérsékleten gyorsan elszublimál a H<sub>2</sub>O, a cseppfolyós fázist kihagyva.

Más a helyzet, ha mikroszkopikus skálán vizsgáljuk a lehetőségeket, itt ugyanis már olyan hatások is dominálhatnak, amelyek nagyobb méretskálán nem jelentkeznek, és ellensúlyozzák a száraz vagy a hideg hatását. Míg például a tiszta víz 0 °C-on fagy meg makroszkopikus mennyiségben, a kőzetek repedéseiben lévő, a Földről is jól ismert kapilláris víz egészen közel –20 °C-ig folyékony maradhat. Még kisebb mé-

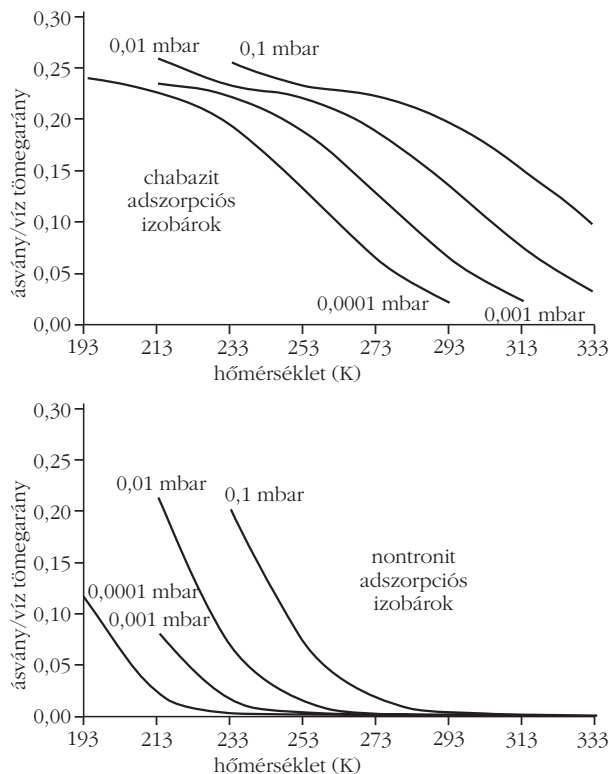
retskála felé haladva egyre több olyan effektus lép fel, amely segíti a folyékony víz megjelenését.

A Mars légkörében az átlagos vízgőztartalomhoz kapcsolódó parciális gőznyomás 1 μbar körüli, vagy az alatti. A csekély nedvesség ellenére a rendkívüli hidegben alkalmanként telített, túltelített lesz a légkör a vízgőzre nézve, és az elkezd kiválni. Részben közvetlen kondenzációval a felszínen, részben ködre vagy felhőkre emlékeztető anyagot alkotva, illetve helyenként hó- vagy jégkristályok formájában hullva lefelé. A légköri vízgőztartalom erős évszakos és napszakos változást mutat, maximuma hideg éjszakákon, illetve télen jelentkezik, míg minimuma a legmelegebb nappali, főleg nyári időszakokban figyelhető meg.



1. ábra. Közepes marsrajzi szélességen jellemző adszorbeált vízréteg vastagsága az ásványi felületeken a nedvességtartalom függvényében (a), és ennek napi ciklusa egy téli és nyári napra (b). Az alsó ábrán jól látni, hogy nappal kiszárad, éjszaka „visszahízik” a vékony vízfilm [2].

2. ábra. Az eltérő higroszkópossgát mutató ásványok más-más mennyiségű H<sub>2</sub>O-t képesek megkötni a felületükön. A tömegszázalékban megadott, megkötött mennyiségüket mutatja a felső grafikon chabazit (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>×6H<sub>2</sub>O), alatta nontronit (Na<sub>0,3</sub>Fe<sub>2</sub><sup>3+</sup>(Si,Al)4O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>×4H<sub>2</sub>O) ásványok esetén, eltérő hőmérsékleten (vízszintes tengely). Az egyes görbék mellett a kísérletek során használt vízgőzmennyiség parciális nyomása látható. A Marson általában 2 µbar körüli vízgőznyomás jellemző.



## A marsi víz története

A folyékony víz múltbeli előfordulását – az egykori víz nyomait vizsgálva – főleg morfológiai, ásványtani és kémiai jellemzők alapján lehet tanulmányozni (1. táblázat). Míg az egykori folyásnyomok, illetve tavak esetében főleg a morfológia árulkodik az ősi folyadékról, az ásványátalakulások sokszor az előbb említett morfológiai nyomok nélkül mutatkoznak. Napjainkban a jég és a nála nagyságrendekkel kisebb mennyiségű vízgőz a H<sub>2</sub>O könnyen megfigyelhető két fázisa.

Manapság ritka lehet a cseppfolyós víz a bolygón, ha mégis megjelenne valahol, nem sokáig létezne a felszínen. A 0 °C-os fagypont felett ugyanis a kis légnyomás (4-6 mbar) miatt közel +4 °C-on már forr is a víz. Ugyanakkor a megfagyáshoz lehűlni sem olyan egyszerű, elsősorban az általában hideg felszínnel fellépő hőcsere tudja hatékonyan lehűteni a folyadékot, amíg ha porózus a felszín, az nem túl jó hővezető, nem tud sok cseppfolyós vizet gyorsan lehűteni és megfagyasztani. A légköri hőmérséklet kevésbé befolyásolja az esetleges víz állapotát, mivel csekély a gázsűrűség, és azért a hőcsere sem jelentős a légkörrel. A konvektív hővesztés a ritka légkör miatt tehát kisebb a földinél, ugyanakkor a párolgásos hővesztés nagyobb, mivel nagyobb a vízfelületről elszabaduló molekulák úthossza a ritka légkör miatt. A modellek alapján a tiszta víz közel cm/h sebességgel fagyna a Marson (ilyen sebességgel haladna lefelé a fagyhullám).

A víz mai előfordulására mikroszkopikus skálán van esély. A vízjég és kőzetfelület között az ásványokkal érintkező H<sub>2</sub>O molekulák elsősorban a van der Waals-erők miatt nem képesek kristályrácsot alkotni. Ezt a réteget interfaciális (*interfacial water*) vagy rétegeközi<sup>1</sup> víznek nevezik. Az itt található molekulákat olyan erősen vonzzák az ásványi felületek, hogy egyedülálló vízmolekulákként maradnak fent, és egészen körülbelül –75 °C-ig nem tudnak megfagyni. Az így keletkezett vízfilm csak néhány molekula vastagságú, azonban a benne lévő molekulák az ásványi felület mentén szabadon mozoghatnak. Kétdimenziós folyadéknak, avagy kvázifolyadéknak is szoktak nevezni az így kialakuló réteget, amely a rendkívüli hideg ellenére cseppfolyós halmazállapotú. A legalább 0,3 nm körüli vastagságú folyadékban lévő molekulák tehát a felület mentén szabadon mozognak (1. ábra).

Ha a jég elszublimál az interfaciális vízréteg felettől, az ásványok felszínén még jó darabig ott marad a H<sub>2</sub>O, mint adszorbeált vékony vízfilm. Ha teljesen szárazzá válnak az ilyen felületek, a légkörből is képesek vízmolekulákat megkötni, kialakulásuknak nem előfeltétele a jég jelenléte. A folyamatra az erősen higroszkópos ásványok az ideálisak, főleg ha nagy belső felületeik vannak, ahol sok vizet tudnak tárolni.

<sup>1</sup> A rétegeközi elnevezés önmagában megtévesztő, ugyanis hasonló helyzetű vízmolekulákat is illetnek ilyen kifejezéssel a rétegszilikátok egyes rétegei között – amelyek egyébként könnyen mobilizálhatóak, és szintén érdekesek lehetnek a Marson.

2. táblázat

<b>Potenciális marsi sóoldatok összetevői és eutektikus hőmérsékletük</b>	
sóoldat összetevői a H <sub>2</sub> O mellett és arányuk az eutektikus keverékben	eutektikus hőmérséklet (K)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (3,8%)	271
K <sub>2</sub> SO (7,1%)	271
MgSO <sub>4</sub> (17%)	269
NaCl (23,3%)	251
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (39%)	247 (205)*
MgCl <sub>2</sub> (21%)	240
MgCl <sub>2</sub> + KCl (21%, 1,2%)	239
NaClO <sub>4</sub> (51%)	236
Mg(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (44%)	212
LiBr (39,1%)	201

A csillaggal jelölt esetre egyes források eltérő értékeket adnak.

Ilyen szempontból ideálisak a zeolitok – (Na,Ca,K,Mg,Li,Ba,Sr)(Al,Si)O<sub>3</sub> × n(H<sub>2</sub>O) –, amelyeket a Marson is azonosítottak már. A chabazit például ideális esetben 25 tömegszázalékban adszorbeált vízből is állhat, amelyet átlagos marsi viszonyok között (2 μbar parciális vízgőznyomás és –55 °C-os hőmérséklet) is elérhet, és víztartalmából még +20 °C-on is megtart néhány százalékot (2. ábra).

## Az elfolyósodás jelensége

Az angolul deliquescence-nek nevezett folyamat a sók cseppfolyósvíz-felvételét jelenti, amelynek következtében felületükön (avagy szerkezetük függvényében belül is) egy sűrű, de cseppfolyós halmazállapotú anyag jön létre a légkörből felvett H<sub>2</sub>O molekulák és a közékük oldódott sók révén. A folyamat kialakulásához a páratartalomnak meg kell haladnia egy kritikus értéket (elfolyósodási relatív nedvességtartalom, *deliquescence relative humidity*) és a hőmérsékletnek az eutektikus pont felett kell lennie. A kérdéses pont felett az adott ásvány a H<sub>2</sub>O gyors és nagymértékű felvételét (pontosabban megkötését) mutatja (2. táblázat).

A jelenséget az Atacama-sivatagban lévő halit sókristályok segítségével vizsgálták, amelyek a légköri telített állapot elérése előtt is már sok vízmolekulát képesek megkötni. Itt a mikroszkopikus pórusokban cseppfolyós víz a fenti

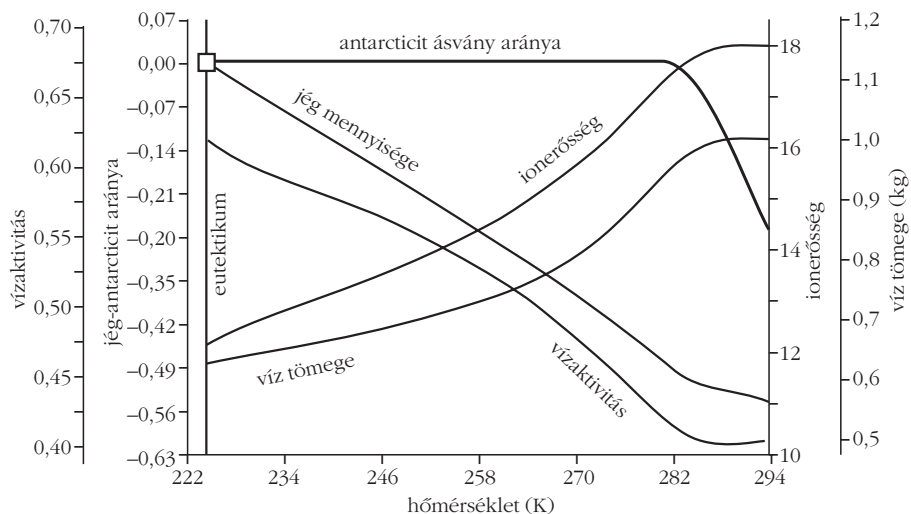
kritikus pont (esetükben 75%) alatt is megjelenik, a mérések alapján közel 50% körül is. Ebben a 100 nm-nél kisebb pórusméret játszik döntő szerepet, ahol cseppfolyós fázis kapilláris kondenzációval jelenik meg és tartósan meg is maradhat. A mikroporózus szerkezet kialakulása pontosan nem ismert, de egyes elektronmikroszkópos megfigyelések alapján a korábban kialakult sóoldatok eutektikus fagyása révén keletkezik a nagyobb szemcsék fala mentén vékony, üreges felület formájában. Életfolyamataik fenntartására cianobaktériumok használják fel a mikroszkopikus pórusokban lévő sós folyadékot [3].

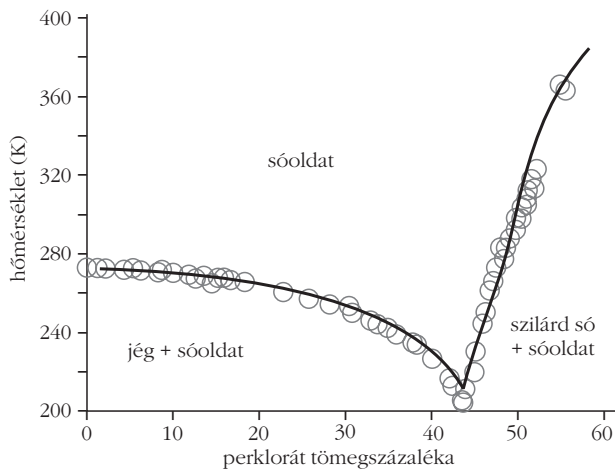
A 2. táblázatban bemutatott sók vizes keverékeinek olvadáspontja 0 °C alatti. Ennek megfelelően a Marson folyékony fázisban is megjelenhetnek, ha a kérdéses hőmérséklet a megfelelő vízgőztartalommal párosul ott, ahol az adott anyag előfordul. A táblázatban felsorolt komponensek közül az eddigi vizsgálatok alapján leggyakoribbak a Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, valamint a NaClO<sub>4</sub> lehetnek, de a különféle kloridok és talán a felsorolt összes molekula előfordul.

Földi modellkísérletek alapján nátrium-perklorát (NaClO<sub>4</sub>) sóoldatok akár 40%-os relatív nedvességtartalom mellett is kialakulhatnak, majd 74%-os nedvességtartalom elérésekor tűnik el a szilárd fázis az oldatból 243 K hőmérsékleten. A Phoenix-űrszonda megfigyelései alapján feltehetőleg NaCl só is volt a perklorát mellett, amely szintén erősen higroszkópos, és ugyancsak elősegíti a sűrű sóoldatok képződését a marsi viszonyok közepette.

Az elfolyósodás kialakulásához szükséges magasabb légköri vízgőztartalom az éjszakai hidegben jellemző a Marson, míg az eutektikus pont feletti hőmérséklet nappal várható. Egyes anyagoknál és marsi helyszíneken azonban délelőtt és délután lehet egy-egy olyan időszak, amikor mindkét paraméter megfelelő. Laboratóriumi kísérletek alapján a bolygón feltehetőleg gyakori kalcium-klorid vizes oldatának viselkedése látható a 3. ábrán.

3. ábra. Kalcium-klorid vizes oldatának viselkedése a hőmérséklet függvényében. A hűléssel párhuzamosan a vízakktivitás (ami a H<sub>2</sub>O molekulák elérhetőségét is jellemzi az élőlények számára) növekszik, mivel az oldatból a Ca<sup>2+</sup> ionok kivonódnak, miközben antarcitit (CaCl<sub>2</sub> × 6H<sub>2</sub>O) ásvány keletkezik [3].





4. ábra. A magnézium-perklorát fázisdiagramja. Ha a szükséges mennyiségű  $H_2O$  jelen van, akkor körülbelül 210 K felett cseppfolyós fázis jelenik meg [2].

## Makroszkopikus sóoldatok lehetősége

A sóoldatok olvadáspontja lényegesen  $0\text{ }^\circ\text{C}$  alatt van, némelyek elvileg a jelenlegi marsi hőmérsékleti viszonyok között is folyhatnának, emellett a sótartalom az olvadáspont mellett a vízgőznyomást is lecsökkenti – ezek az oldatok tehát a tiszta víznél lassabban párolognak. Ezen ismérvek alapján a legjobb lehetőség a cseppfolyós  $H_2O$  megjelenésére a bolygón jelenleg nem a tiszta víz, hanem a különböző sóoldatok esetében van. Ilyen sóoldat képzésére erősen higroszkópos tulajdonságú molekulák kedvezőek, ilyenekből a Marson is találunk. Az egyik sokat vizsgált anyag a Phoenix-leszállóegység által azonosított perklorát – feltehetőleg magnézium-perklorát ( $Mg(ClO_4)_2$ ) – (4. ábra). A Phoenix-űrszonda robotkarján levő kamerájának megfigyelései alapján a leszállóegység lábán lévő apró, kerekded alakzatok akár ilyen cseppek is lehetnek, amelyek kissé változtak a napok során – azonban részletes megfigyeléseket nem tudtak végezni rajtuk.

Sóoldatokat a Földön is találhatunk, kis koncentrációjú változatuk a tengervíz, amely aktuális sótartalmának megfelelően többnyire  $-4\text{ }^\circ\text{C}$  körüli hőmérsékleten fagy csak meg. Sokkal töményebb, és érdekesebb sóoldat az Antarktiszon található Don Juan pond nevű apró, jéggel fedett tó, avagy tócsa. Ez 40%-os  $CaCl_2$ -oldatból áll, és anyagának nagyobb része még télen sem fagy meg. Belsejében az extrém magas sótartalom ellenére aktív mikrobák találhatóak [4].

A marsi meteoritok is szolgálnak információval az egykori folyékony víz jellemzőivel kapcsolatban [5]. A nakhlit meteoritok ásványtani elemzése alapján az ősi hidrotermális átalakulás keretében vastartalmú karbonátok és szmektit ásványok keletkeztek a bolygón. Az ősi oldatok elpárologása után sók maradtak vissza, ezek modellezése alapján a következő paraméterek becsülhetőek az egykori vizes állapotra. A hidrotermális átalakulás fő fázisában  $70\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet, 8 körüli pH, és kezdetekben 10 körüli víz/kőzet arány lehetett jellemző, amely később lényegesen

csökkent. A hidrotermális folyamat során az olivin ( $(Fe, Mg)_2SiO_4$ ) ásvány jelentős része oldódott, vas-ionokat szolgáltatva a karbonát képződéséhez, amelyben a szén-dioxid gáz a vízben volt oldott állapotban. A későbbiekben csökkent a víz és az oldott szén-dioxid aránya, és  $50\text{ }^\circ\text{C}$  környékén, 9,5 körüli pH mellett szmektit és szerpentin, végül gél jellegű amorf szilikát anyag vált ki.

A Marson jelenleg a légnyomás és a légköri vízgőztartalom együttesen nem mutat kedvező előfordulást a cseppfolyós víz számára. Míg az északi pólussapkából elszublimáló  $H_2O$  révén az északi nyár idején jelentkezik maximális légköri vízgőz-koncentráció, a bolygó ekkor naptávolban jár, tehát az északi nyár viszonylag hűvös. A déli félteke nyara idején magasabb a hőmérséklet, alkalmanként nulla  $^\circ\text{C}$  felett is lehet néhol, ekkor azonban az északi pólussapka fagyott, a déli tetejét pedig szilárd, stabil szén-dioxid-fedőréteg borítja, ezért onnan kevés  $H_2O$  jut a légkörbe – a déli nyár ezért szárazabb az északnál. Emellett a déli féltekét főleg idős és magas felföldek borítják, ahol alacsony a légnyomás (ettől akár  $+2\text{ }^\circ\text{C}$  is lehet a forráspont), ami szintén kedvezőtlen a víz előfordulása szempontjából. Ugyanakkor a bolygó pályájának nagytengelye a perturbációk miatt forog, és idővel a helyzet megváltozik: az északi (nedves) nyár idején lesz magasabb hőmérséklet. Ilyen helyzet néhányszor 10 ezer évente állhat elő.

Ha a Marson jelenleg folyékony fázisú, vékony felületi vízhártyák jelennek meg, azok sokrétű következményekkel járhatnak. Az ilyen speciális közegben más a pH, ionmobilitás és más reakciók jellemzőek, mint a makroszkopikus térfogatú vizekben. A vízfilmek közreműködhetnek az úgynevezett foto-Fenton-reakciók lezajlásában ( $Fe^{3+} + H_2O + UV \rightarrow Fe^{2+} + H^+ + OH^-$ ), amelynek keretében vastartalmú ásványok és a Marson jellemző erős ultraibolya napsugárzás hatására OH-gyökök keletkeznek. Utóbbiak agresszív oxidálószerke, és közreműködhetnek a bolygó felszínére jutó szerves anyagok gyors lebontásában. A vízfilm az ásványokban lévő szulfáttal reakcióba lépve kénes savat hoz létre, ami mállasztó hatású. Egyes modellszámítások alapján a felületi vízfilm közreműködhet a szemcseszerkezet meglazításában, és ezzel a gully nevű folyásos alakzatok kialakításában, valamint az úgynevezett sötét dűnefoltoknál megjelenő folyásos alakzatok létrehozásában is [6].

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy a bolygón a múltban valószínűleg gyakran nem tiszta víz, hanem sóoldatok voltak jelen. A fejlődésben minél későbbi időszakot tekintünk, feltehetőleg annál erősebb volt ez a jellemző. Az ilyen sóoldatok viszkozitása valamivel nagyobb a tiszta víznél, akár színesek is lehetnek, de a legfontosabb, hogy nem feltétlenül utalnak magas ősi hőmérsékletre – ám ettől függetlenül is lehetett meleg egykor a Marson. Napjainkban jó esély van mikroszkopikus skálájú cseppfolyós víz megjelenésére, ennek azonban több jellemzője is erősen eltér a „hétköznapi” víztől, és részletes elemzése sok érdekességet hozhat [7].

## Irodalom

1. Kereszturi A.: *Mars – fehérr könyv a vörös bolygóról*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2012.
2. Möhlmann D.: Water in the upper Martian surface at mid- and low-latitudes: presence, state, and consequences. *Icarus* 168 (2004) 318–323.
3. Davila A. F., Gago Duport L., Melchiorri R., Janchen J., Valea S., de los Rios A., Fairen A. G., Möhlmann D., McKay C. P., Ascaso C., Wierzchos J.: Hygroscopic Salts and the Potential for Life on Mars. *Astrobiology* 10 (2010) 617–628.
4. Murray A. E., Kenig F., Fritsen C. H., McKay C. P., Cawley K. M., Edwardse R., Kuhn E., McKnight D. M., Ostrom N. E., Penga V., Ponce A., Priscu J. C., Samarkin V., Townsend A. T., Wagh P., Young S. A., Yung P. T., Doran P. T.: Microbial life at  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the brine of an ice-sealed Antarctic lake. *PNAS* 109 (2012) 20626–20631.
5. Bridges J. C., Schwenzer S. P.: The Nakhilite hydrothermal brine. *43rd Lunar and Planetary Science Conference* (2012), abstract 2328.
6. Horváth A., Gánti T., Bérczi Sz., Pócs T., Kereszturi Á., Sik A.: Marsi sötét dűnefoltok: az élet lehetősége a Marson? *Magyar Tudomány* XLI/11. (2006) 1357–1375.
7. Kereszturi Á.: *Asztrobiológia*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2011.