

## Hasznos túlélési tanácsok kezdő marslakóknak

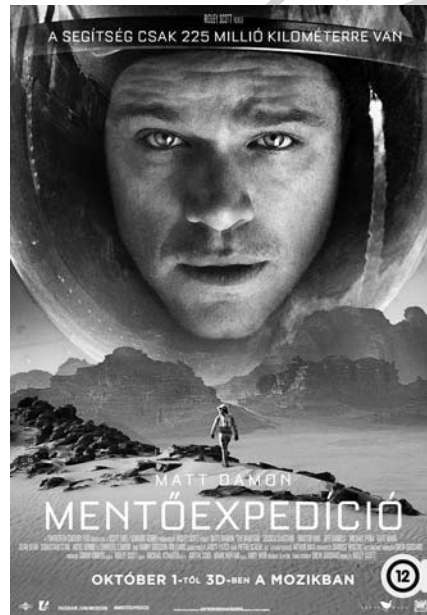
A Mars közvetlen kutatása már közel ötven éve tart. Jelenleg is féltucatnyi űrszonda kering körülötte, és részben autonóm marsjárók dolgoznak a felszínén. Egyelőre azonban még távolinak tűnik a cél, hogy emberes űreszközök látogassanak el a vörös bolygóhoz, és le is szálljanak azon. Az írók és a filmesek persze már régen meghódították a Marsot. A rendkívül bő termés egyik legutóbbi darabja Andy Weir „The Martian” (A marsi) című könyve, illetve az abból készült azonos című, részben Magyarországon forgatott 2015-ös film, amelyet nálunk „Mentőexpedíció” címmel mutattak be a mozikban. A film 2035-ben játszódó cselekményének fő elemei a fikciók kategóriájába tartoznak ugyan, de a hihetően hangzó fikciókéba. A cikkben a témáról készült előadásom nyomán a filmből – terjedelmi okokból a teljesség igénye nélkül – kiragadott részletek alapján próbáljuk megnézni azt, hogy mai tudásunk szerint ezek mennyire állják meg a helyüket, vagy mennyire rugaszkodtak el a valóságtól, akár filmes szempontok okán, akár – valószínűleg – csak egyszerű figyelmetlenségéből.

Először azonban idézzük két autentikus személyiség véleményét a könyvről, illetve a filmről!

„Ezt a könyvet egyszerűen nem tudtam letenni! Az eredeti történet, a valódi, érdekes karakterek és az elképesztő tudományos pontosság ritka, lehenylerő keveréke. Olyan, mintha MacGyver randizott volna a Rejtjelmes szigettel.” (Chris Hadfield ezredes, az ISS parancsnoka, Expedition 35, 2013)

„Lehet, hogy nincs érzékem a témához, mert valóban nem tudom az ujjamat naprakészen a mozivilág ütőerén tartani. Nincs mostanában se tévésorozat, se filmem, úgyhogy nem tudom, milyen a közízlés mostanság a sci-fi terén. Azt viszont látom, hogy a kortárs sci-fi teljesen eszképiista,

a stábokban nincsenek már technológiai tanácsadók. Ott van például A galaxis őrzői. Nagyon vicces film, de nem gondolkodsz el azon, hogy hogyan működnek benne az űrhajók, vagy más berendezések. Tudományos tudományos-fantasztikumot ma már csak a *Mentőexpedíció*ban vagy a *Csillagok közöttben* láthatsz.” (James Cameron)



A film magyarországi plakátja

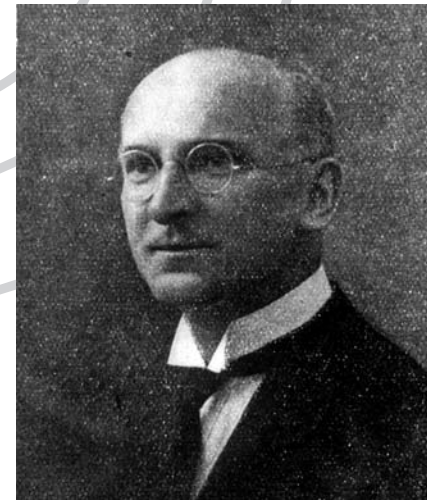
Andy Weir könyve először a szerző saját kiadásában, csak digitálisan jelent meg 2011-ben, de sikere a nagy kiadók figyelmét is felkeltette, így nemsokára a papír alapú kiadást is kézbe vehették az olvasók, a munka pedig a sikerlisták élére ugrott, és sokáig ott is maradt. Ezek után nem csoda, hogy Hollywood ingerküszöbét is elérte, így gyorsan film is készült belőle, mégpedig nem akárki, hanem Ridley Scott

rendezésében. Nem kevésbé illusztris a film szereplőgárdája sem, a főbb szerepekben csupa „A” listás hollywoodi sztárt láthatunk, élükön Matt Damon, Jessica Chastain és Jeff Daniels. A film 108 millió dollárból készült, összesen pedig 630 millió dollárt hozott a gyártónak, ezzel anyagi szempontból Ridley Scott legsikeresebb munkája.

A könyv és a film alapszituációja nagyon könnyen összefoglalható: Mark Watney űrhajóst a vörös bolygóról egy hatalmas porvihar miatt hirtelen menekülni kényszerülő társai a Marson hagyják, mivel azt gondolják róla, hogy meghalt, a holttest megkeresésére pedig már nincs idejük. Ha az ábrázolt helyzet valódi lenne, akkor Watney nagyon nagy valószínűséggel tényleg nem maradt volna életben, de fikcióról van szó, így indulhat a kalandok küzdelmes sora, hogy túlélése tényleg ne csak átmeneti állapot legyen.

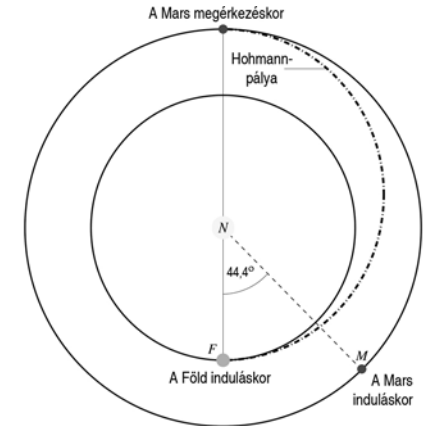
### Utazás a Marsra és vissza

A Mars viszonylag nagy excentricitású ellipszispályán kering, amelynek fél nagytengelye 1,52 csillagászati egység, így még a Földhöz legközelebbi helyzetében is nagyjából 50 millió kilométerre, igen messze van tőlünk. Ma már az űrszondáknak nem



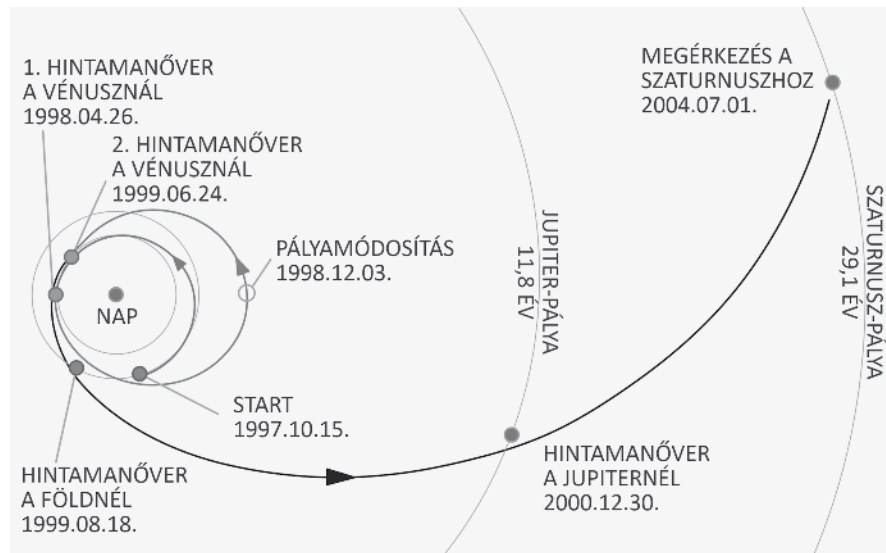
Walter Hohmann (1880–1945)

annyira bonyolult eljutni oda, de az út mindenképpen hosszú hónapokig tart. Erre az energetikailag (üzemanyag-felhasználás szempontjából) legkedvezőbb megoldást először Walter Hohmann (1880–1945) német mérnök dolgozta ki 1925-ben. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a Föld és a Mars is körpályán kering a Nap körül. A legkisebb energiabefektetést igénylő pálya



A Hohmann-ellipszis energetikailag (üzemanyag-felhasználás szempontjából) a legkedvezőbb pálya két bolygó között

így egy olyan ellipszis, amely nagytengelyének végpontjaiban érinti a két körpályát. Az indulás az egyik érintési pontban történik, az érkezés pedig a másikban. Természetesen érkezéskor a célbolygónak is a pálya ezen pontjának szűk környezetében kell tartózkodnia. Ha az ún. égi mechanikai egység-rendszert használjuk (tömegegység: naptömeg, távolságegység: csillagászati egység, időegység: 1 év), akkor Kepler III. törvényének alkalmazásával a Mars pályaméretéből könnyen kiszámolható, hogy a Hohmann-ellipszisen a keringési periódus 1,41 év, a Marsig tartó út pedig ennek nagyjából a fele, kb. 260 nap. A Mars 1,88 földi év hosszúságú keringési idejét felhasználva pedig az is meghatározható, hol kell tartózkodnia a vörös bolygónak az induláskor: a pályája azon pontján, amely a Nap pozíciójából nézve 44° szöget zár be a Föld irányával.



Cassini-űrszonda pályája a Földtől a Szaturnuszig (a NASA/JPL nyomán)

A Naprendszer különböző célpontjaihoz vezető pályákra álláshoz ma még túlnyomó részben kémiai rakétákat használtunk, amelyek nagy tolóerőt képesek kifejteni, de csak rövid ideig. Másik lehetséges megoldás a filmben a Hermes űrhajót mozgató ionhajtómű alkalmazása, amelyre már valódi példák is vannak, gondoljunk csak a geostacionáris műholdak pályakorrekcióit biztosító hajtóművekre, vagy a Vestát és a Cerest meglátogató Dawn űrszonda meghajtására. Ezekkel ugyan nagyon kicsi, ám folyamatos, hosszú ideig tartó gyorsulás érhető el, a Hermes esetében pl. 2 mm/s<sup>2</sup>. Az ionhajtóművekben semleges atomokat bombáznak elektronokkal, amelyek ionizálják azokat, ezáltal pedig plazma, pozitív ionok és negatív elektronok elegye jön létre, ezek pedig elektromos és mágneses térrel gyorsíthatók és irányíthatók. Végeredményben a pozitív ionok gyorsítás utáni kiáramlási sebessége a 100 000 km/h-t is elérheti, tolóerőt szolgáltatva így. A leggyakoribb hajtóanyag a xenon, mert az könnyen ionizálható, nagy atomtömegű és nem reagens.

Űreszközök naprendszerbeli mozgására a még egyáltalán nem kiforrott ionhajtó-

művek alkalmazásánál gyakoribb eljárás az ún. gravitációs paritya vagy hintamanőver, amelynek során az űreszközök a bolygókat megközelítve nyernek további sebességet a célpont eléréséhez, vagy éppen veszítenek addigi sebességükből, ha arra van szükség. Ha az űreszköz annak mozgási irányához képest a bolygó mögött halad el, akkor sebességet nyer, ha előtte, akkor sebességet veszít. Például az 1997. október 15-én felbocsátott Cassini-űrszonda a Földet, a Vénuszt kétszer és a Jupitert is felhasználta, hogy eljusson a Szaturnuszhoz, ahova majdnem hét év után érkezett meg. Mivel a NASA ezt az eljárást ma már gyakorlatilag rutinszerűen használja, a filmben kissé furcsán hat – nyilván nem az átlagnézőnek –, amint a fiatal égi mechanikus, Rich Purnell (Donald Glover) elmagyarázza Teddy Sanders NASA-főigazgatónak (Jeff Daniels), miként is képzeletben a Hermes visszafordítását a Mars felé egy Föld melletti hintamanőverrel.

### Veszélyforrások a hosszú úton

A Föld viszonylag biztonságos környezetből kilépve, a Marsra vezető hosszú úton számos fizikai veszély leselkedik az űrhajó-

sokra, a hosszú be- és összezártság lélektani hatásairól nem is beszélve. Az egyik legnagyobb veszélyforrás a kozmikus sugárzás, amelynek egyik összetevője a Napból kiáramló nagy energiájú töltött részecskék, főleg protonok garmadája, a másik pedig a galaktikus kozmikus sugárzás, közel fénysebességgel mozgó atommagok árama, amelynek forrása egyelőre még ismeretlen (talán szupernóva-robbanások során gyorsulhatnak fel ezek a részecskék). A valaha mért egyik legnagyobb energiájú ilyen részecske az „Uramisten!” (Oh-my-God) nevet kapta a fizikusoktól, mivel energiája elérte a 10<sup>20</sup> eV-ot, ami már makroszkopikus nagyságrend! (A Nagy Hadronütköztetőben „csak” 10<sup>13</sup> eV energiát tudnak elérni.) A Földön a légkör és a globális mágneses tér



A nagyenergiájú kozmikus részecskék által a földi légkörben keltett kaskád-részecskék detektálására épített Fly's Eye (Légyszem) műszeregyüttes, amellyel az „Uramisten!” részecskét is elcsípték (alchetron.com – Free Social Encyclopedia for the World)

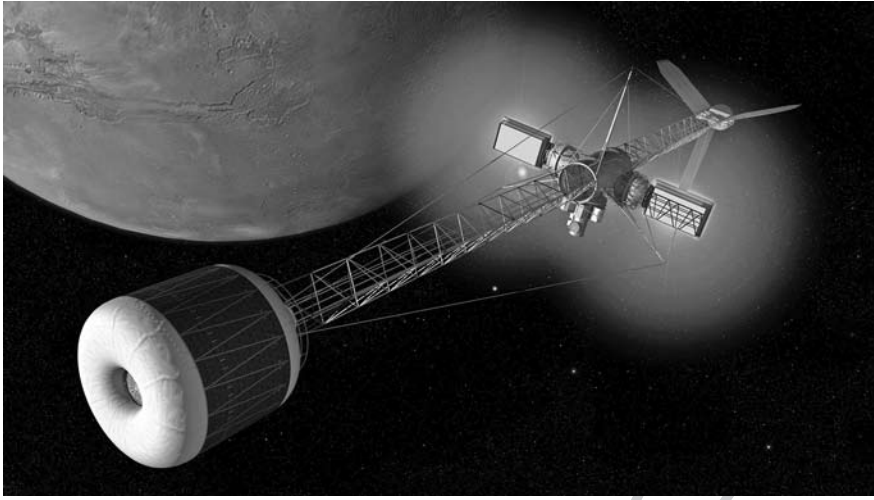
megvéd bennünket ezektől a nagy energiájú részecskéktől. A marsi atmoszféra azonban sokkal ritkább a földinél, és a bolygónak globális mágneses tere sincs, így külön feladat a kozmikus sugárzás elleni védekezés nem csak az utazás, de a bolygón való tartózkodás közben is. A filmben a Hermes űrhajó 2035-ben indul a Marsra, ami valószínűleg éppen a naptevékenységi ciklus maximumára esik majd, így elsőre rossz ötletnek tűnhet erre időzíteni az utazást. Az intenzívebb napszél segíthet azonban a veszélyesebb galaktikus kozmikus sugár-

zás szórásában, amivel szemben maga a bolygó is pajzsként viselkedhet, így ebből a szempontból Watney nagyobb biztonságban lehet a Marsra, mint társai a Hermes fedélzetén. A sugárzások hosszú távú hatásainak (rák kockázatának növekedése, fokozottabb érzékenység a fertőzésekre, kardiovaszkuláris problémák, szürkehályog kialakulása, kognitív képességek csökkenése stb.) vizsgálatára a Nemzetközi Űrállomás (ISS) is egyfajta kísérleti terep. Féléves tartózkodás az ISS-en, féléves út a Marsra vagy másfél év tartózkodás a Marsra: ezek mindegyike során a lehetséges sugárterhelés sokszorososa annak, mint amit az USA Energiaügyi Minisztériumának sugárveszélyes környezetben dolgozó munkatársai számára éves szinten még engedélyeznek.

A filmben fontos szerepet játszik egy ún. RTG (radioizotópos termoelektromos generátor), amelyet vészhelyzeti energiaforrásként vittek magukkal, de a megérkezés után gyorsan el is ástak. Az ebben található radioaktív plutónium-dioxid (PuO<sub>2</sub>) azonban a háttérsugárzásnál kisebb veszélyt jelent. Ilyen RTG-k szolgáltatják egyébként az energiát a nagyon messze utazó űreszközöknek – például a New Horizons szondának –, mivel a Naptól távol a napelemek már nem hatékonyak. A radioaktív bomlás során felszabaduló hőenergiát az ún. Seebeck-hatás segítségével alakítják elektromos energiává.

### Mesterséges „gravitáció”

A Marsra vezető út során az űrhajósok sokáig a súlytalanság állapotában lesznek, aminek szintén vannak fiziológiai veszélyei. (A súlytalansággal kapcsolatban sokszor hallhatjuk azt a hibás kijelentést, hogy a világűrben nincs gravitáció. A súlytalanság nem a gravitáció hiányát jelenti, éppen ellenkezőleg: azt jelenti, hogy csak a gravitáció van. Nincs a gravitációs erőt ellensúlyozó alátámasztás vagy felfüggesztés, így nincs súly, de gravitáció természetesen van.) Ha ezt az állapotot többé-kevésbé meg akarjuk szüntetni, hogy a viszonyok valamennyire a földihez hasonlítsanak, akkor a súlyt imitá-



A NASA fantáziarajza a Mars felé tartó, mesterséges „gravitációt” biztosító forgó alrendszerrel is felszerelt űrjárműről (Mars Artificial Gravity Transfer Vehicle). Kép: NASA

lő erőhatást kell létrehozunk. Ez lehet például egy forgó, azaz gyorsuló rendszerben fellépő tehetetlenségi erő, a centrifugális erő. Sok sci-fi filmben alkalmaznak is ilyen forgó részeket az űrhajókon, ilyenekre példa a 2001 Űrodüssza vagy az Elysium Föld körül keringő űrállomása, a Csillagok között Endurance és a Mentőexpedíció Hermes űrhajója, de a Halo-univerzumban egy egész világot alakítottak ilyenre. A technológiával már a NASA is elég régóta kísérletezik. A majdani megvalósításnál a gondot az okozza, hogy 0,5 g, azaz a földi gravitációs gyorsulás felének eléréséhez percnkénti két fordulat esetén 100 méteres sugár kell, egy ekkora méretű űrhajó(rész) pedig nyilván óriási költségeket emésztene fel. Ha ugyanekkora gyorsulást 10 méteres sugárral szeretnének elérni, akkor percnként már hét fordulat kellene. Ekkor azonban megnőne a Coriolis-erő szerepe, amelynek hatására a szerkezetben instabilitások, az embereknél pedig dezorientáció léphetne fel.

### Marsi porviharok

A filmben az „alapkönfliktust” egy marsi porvihar okozza, amely akkora és olyan veszélyes, hogy a protokoll szerint az expe-

díciónak haladéktalanul meg kell szakítania a munkát, el kell hagynia a bolygót, és vissza kell térnie a Földre. Való igaz, hogy a Marson minden helyi évben bekövetkezik egy közepes nagyságú, kontinensnyi méretű területre kiterjedő, néhány hétig tartó porvihar. Három-négy marsi évente pedig az éves porviharok az egész bolygóra kiterjedő, globális viharokká erősödnek. Legutóbb ilyen vihar 2018 nyarán volt megfigyelhető a Marson.

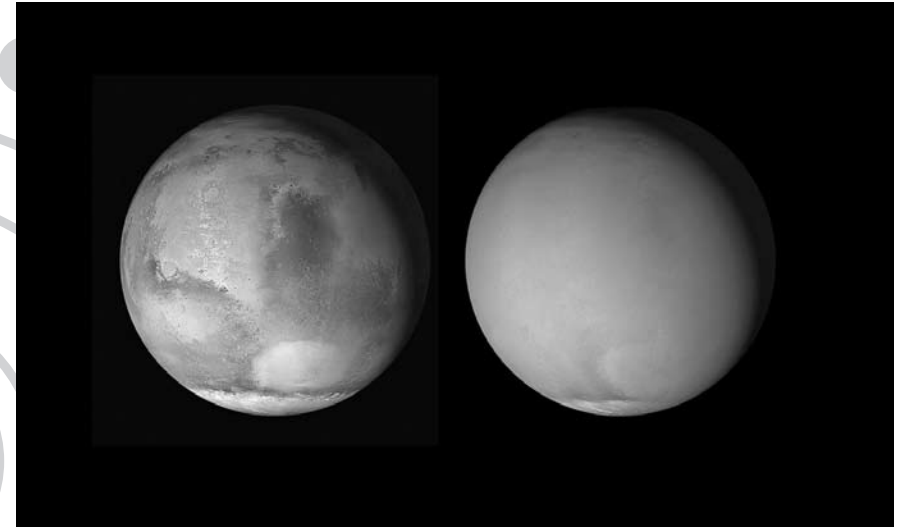
A filmben azonban az egyik legnagyobb tudományos „döccenő” éppen itt, a kiindulási helyzetben van. A megfigyelések szerint ugyanis a legerősebb marsi viharokban a szélsősebesség legfeljebb 100 km/h körüli lehet, ami kevesebb mint fele a földi hurrikánok esetében mérhető szélsősebességeknek. A marsi légkör sűrűsége azonban a földiének mindössze 1%-a, így a 100 km/h sebességű szél dinamikai hatása a 10 km/h sebességű földi szél hatásának felel meg. (Ugyanakkora felület és közegellenállási tényező esetén az erő a közeg sűrűségével és a szélsősebesség négyzetével arányos.) Azaz ekkora szélben a Marson legfeljebb sárkányt lehetne eregetni, de az semmiképpen sem döntené fel a nagy le- és felszállóegységet,

mint a filmben előálló szituációban ez majdnem megtörténik.

A szél által a légkörbe emelt porrészecskék elektrosztatikus feltöltődése miatt a filmbeli vihar villámai lehetségesek, a légkör kis sűrűsége miatt azonban mennydörgés nem nagyon hallható. Érdekes lehet még a marsi

### Kommunikáció a Földdel

Miután Watney magához tért, és kicsit összeszedte magát, el kellett kezdenie azon dolgozni, hogyan ad hírt a Földnek arról, hogy életben van. A helyzetet természetesen bonyolította (hollywoodi film!), hogy a viharban elszálló fő kommunikációs



Globális marsi porvihar a bolygó körül keringő Mars Global Surveyor űreszköz Mars Orbiter Camera műszerének 2001-es felvételén (jobb oldali kép). A néhány hónappal korábban készült felvétellel képest (bal oldali kép) drámai a változás (NASA/JPL-Caltech/MSSS)

égbolt filmben ábrázolt színe is. A földi légkör, és ezáltal a felhőtlen nappali égbolt színét a levegő molekuláin bekövetkező Rayleigh-szórás határozza meg, ami a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos, így a Nap összetett fényéből a kék komponens jobban szóródik, mint a vörös, ezért kék az ég és vörösek a naplementék. A Marsnak nagyon ritka légköre van, de sok vasoxidokban gazdag por van benne, ami elnyeli a rövidebb hullámhosszú sugárzást, így napközben a Naptól távol a marsi ég vöröses-barnás színű. Napkeltekor és napnyugtakor azonban kékes-lilás a ritka felhőkben található vízjég-részecskéken történő fényszóródás miatt. Ez már a Viking szondák felvételein is jól látható volt, de a Curiosity képei is ezt mutatják.

antenna okozta majdnem a halálát, így ezt már nem használhatta. Az első életjelek így valójában közvetettek, nem tudatosak voltak: a földi irányítóközpontban a Mars körül keringő egységek felvételein vették észre a bázis (Lak) körüli járművek elmozdulását. A közvetlen, tudatos kommunikációt a marsi homokból előásott Pathfinder kamerájának segítségével, hexadeximális formában írt ASCII kódok alapján valósította meg. (Megmosolyogtató az a jelenet, amikor a földi irányítás vezetője, Vincent Kapoor némi keresgélés után a falról kap le egy képet, hogy bejelölje rajta Watney Pathfinderhez vezető útját, holott nyilván a számítógépeken is hozzáférhetett volna a felszínt ábrázoló sokkal jobb képekhez.) Miért alkalmasabb a korlátozott kommuni-

kációra a hexadecimális kód, mint az alfanumerikus/decimális? Egyrészt a 26+10 kártyával szemben csak 16 kártya kell hozzá, így jobb „felbontást” biztosít a Pathfinder körbeforgó kamerája számára, másrészt minden betűt, számot, írásjelet és egyéb szimbólumot egyértelműen reprezentál egy kétkarakteres kód, így minden karakterhez csak két kameramozgás kell, ami gyorsabb kommunikációt eredményez. Ez pedig nagyon fontos, hiszen az információt a két bolygó között hordozó elektromágneses hullámok terjedési sebessége véges, így a Mars és a Föld közötti legkisebb, 55 millió km-es távolság esetén is kétszer 3 perc kell egy üzenetváltáshoz, de a legnagyobb, 400 millió km-es távolság esetén ez felmegy kétszer 22 percre, tovább bonyolítva a helyzetet.

Egy mondatban talán érdemes megemlíteni a NASA és a Hermes legénysége közötti „kommunikációt” is, jelesül azt a dilemmát, hogy a veszélyes körülmények között utazó, dolgozó űrhajósokkal közöljék-e azt – és ha igen, mikor –, hogy a Marson hagyott társuk mégsem halt meg, esetleg a küldetést is veszélyeztető lelki terhet helyezve így

rájuk. A probléma nem kitalált, hasonló dilemma foglalkoztatta a repülésirányítót a Columbia 2003-as katasztrófájához vezető események kapcsán is: megmondják-e a legénységnek, hogy semmi esélyük a visszatérésre, és így arra ítélik őket, hogy addig keringjenek a Föld körül, míg a levegő elfogytával lassan megfulladnak, vagy ne szóljanak nekik semmit, és egy sikeres küldetés után váratlanul haljanak meg a légkörbe történő belépéskor?

### Energiaellátás a Marson

A Marson az a Földön szokatlan helyzet várja majd az űrhajósokat, hogy nem lesz se benzinkút, se erőművek, de még szél se nagyon, így a fennmaradáshoz és a munkához szükséges energiát más módokon kell előállítani. Szerencsére a Nap a Marson is süt, így napelemek segítségével a nap sugárzásból nyerhető energia. A Földön a szoláris besugárzás kb. 1350 W/m<sup>2</sup>, ez a Marson a nagyobb távolság miatt kisebb, csak 580 W/m<sup>2</sup>, ennek ellenére működik a dolog, ezt bizonyítják a marsi roverek is, amelyek energiaellátását szintén így oldják

meg. A Föld körül keringő ISS esetében négy napelemtábla-sor szolgáltatja a 84–120 kW teljesítményt, amely kb. 40 földi háztartásnak lenne elegendő. A Marson bonyolítja a helyzetet a por, ha ez befedi a napelemeket, akkor azok hatékonysága jelentősen csökken, mint ez a roverek esetében többször előfordult. A filmben a Lak energiaellátását is így biztosítják, az erre szolgáló napelemeket pedig Watney magával is viszi hosszú útjára a bolygón, hogy segítségükkel töltsse járműve akkumulátorait. Kiegészítő energiaforrásként a roverek is használnak RTG-t, például a Curiosity-é 110 watt teljesítményt képes leadni, de Watney is a korábban elásvott RTG-t emeli ki és használja marsjárója fűtésére, hogy az akkumulátorok energiáját teljes egészében a meghajtásra, a nagyobb hatótávolság elérésére használhassa. (Elsőre nem is szembetűnő baki a filmben, hogy a marsjárónak Watney mellett a fülkeadatokat is mutató fedélzeti kameráján az RTG használata előtt –15,4 °C hőmérséklet mellett ugyanakkora a nyomás (12,49 psi, azaz kb. 86 kPa), mint az RTG használata közben, majdnem +43 °C hőmérsékletnél.)

### Marsi kémia: oxigén és víz előállítása

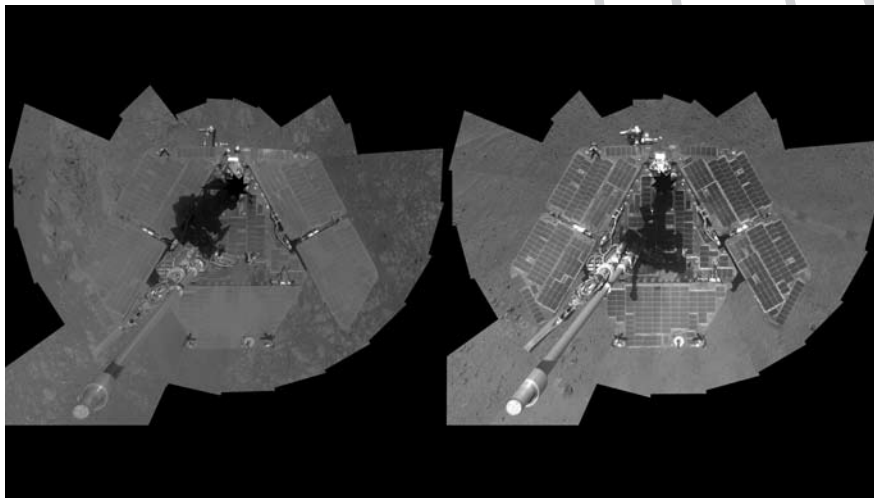
Azért, hogy a mentőexpedíció megérkezéséig hátralévő sok száz napot átvészelve, Watney-nak az energián kívül oxigénre, vízre és élelemre is szüksége van. Mivel ezekből – főleg az élelmiszerből – csak korlátozott mennyiség áll rendelkezésre, elő kell állítania azokat. A Marsra küldött felszállóegység (Mars Ascent Vehicle, MAV) fel van szerelve egy üzemanyag-előállító berendezéssel, amelyben van némi cseppfolyós hidrogén, az egyetlen anyag, amelyet a Földről küldtek. Watney ezt felhasználva állít elő oxigént a következő módon. A begyűjtött marsi levegőből kivonja a szén-dioxidot, majd azt a gáz halmazállapotúvá alakított hidrogénnel reagáltatja ruténium és alumínium-oxid katalizátorok segítségével (Sabatier-folyamat), aminek eredményeként metán és vízgőz jön létre. A metán elégetve üzemanyagként is használható (ehhez persze oxigén kell), a lecsapatott párából

keletkezett folyékony víz irídium (anód) és platina (katód) katalizátorok segítségével végzett elektrolízise során pedig hidrogén és oxigén jön létre. Az oxigén cseppfolyósítás után tárolható későbbi felhasználásra, a hidrogén pedig visszavezethető a folyamatba a metán előállításának lépéséhez. A Lak „oxigenátor” nevű, szén-dioxidból oxigént előállító berendezése valószínűleg szintén így működik (ahogyan az ISS-en is). A NASA-nál valódi fejlesztés is zajlik ez ügyben, a MOXIE (Mars Oxygen In-situ resource utilization Experiment) célja szintén az oxigén előállítása szén-dioxidból, mégpedig melléktermékek nélkül.

A túléléshez Watney-nak – és mintakertészetének – vízre is szüksége van. A marsi leszállóegység (Mars Descent Vehicle, MDV) hidrazin (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) üzemanyagot használ a manőverezéshez és a sima leszálláshoz. A hidrazint irídium katalizátoron átvezetve az nitrogénre és hidrogénre bomlik. A közben lezajló kémiai reakciók egy része extrém energiaszabaddal jár, nagy mennyiségű forró gázt eredményezve, amellyel hajtóerő generálható. Watney az MDV hidrazinját használja fel, hogy a fenti módon előállított hidrogént elégetve vizet nyerjen. A hidrazin és a folyamat közben keletkező ammónia is mérgező, a könyvben Watney így is áll hozzá, a filmben azonban ez kevésbé hangsúlyos. A víz előállításának körülményei és a közben bekövetkezett robbanás okai a könyvben szintén szépen le vannak írva, a filmben azonban ebből csak annyi szerepel, hogy Watney elfeledkezett a kilelegzett oxigénről. Érdemes egyébként megjegyezni, hogy a Marson alacsony szélességeken a regolitban 5% H<sub>2</sub>O van kémiailag kötött állapotban és jég formájában, a pólusok közelében pedig az arány a 60%-ot is eléri, így valószínűleg sokkal egyszerűbb (lesz) ezt kivonni, mint a Watney-féle „köttyvasztást” követni.

### Növénytermesztés a marsi regolitban

A Nemzetközi Űrállomás legénységének ellátását rendszeres, utánpótlást szállító „járatokkal” oldják meg, bár néha ez még ma



A NASA Opportunity marsjárójának 2014 januárjában (bal oldali kép) és 2014 márciusában (jobb oldali kép) a panorámakamerával készített „önarcképe”. Jól látszik, hogy a januárban még porral borított napelemek márciusban már tisztán csillogtak, így elegendő energiát tudtak biztosítani a marsjáró működéséhez (NASA/JPL-Caltech/Cornell Univ./Arizona State Univ.)

sem sikerül, lásd a Szozuz MSZ-10 sikertelen startját 2018. október 11-én. A Mars esetében az ilyen utánpótlás a korábban már vázolt körülmények miatt nyilván nem, vagy csak nagyon nehezen és hosszú idő alatt lenne kivitelezhető. Ez viszont azt jelenti, hogy az űrhajósok addig tartózkodhatnak a Marson, amíg a készleteik tartanak, vagy pedig önellátásra kell berendezkedniük. Watney előtt csak az utóbbi lehetőség áll, ezért ki kell találnia, hogy a szükös élelmiszerkészletek gyors elfogyása után mit fog enni. Botanikus lévén úgy dönt, hogy növénytermesztésbe fog: a saját és eltávozott űrhajóstársai visszamaradt, gondosan becsomagolt ürüklével és a rakéta-hajtóanyagból előállított vízzel „megtermékenyített” marsi talajt használja, hogy a Lak „ellenőrzött” környezetében elegendő burgonyát termesszen. A növények növekedéséhez szükséges lényeges tápanyagok (O, C, H, N, K, P, Ca, Mg, S; Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl) valójában mindegyikét detektálták már a marsi talajban és a Marsról származó meteoritokban. Az persze elképzelhető, hogy a leszállási hely környékén nem állnak rendelkezésre kellő mennyiségben, ez viszont trágyázással orvosolható, mint ahogyan azt Watney is tette.

### „Duct tape works anywhere”

Watney szerint a duct tape univerzális csodafegyver, elvileg mindenhol működik. Néhányszor körbejárta már az internetet az a kép, amelyen egy technikus egy utasszállító gép hajtóművének gondoláját ragasztja éppen duct tape-nek látszó szalaggal. Ez valójában az ún. speed tape, alumíniumszalag, amelyet tényleg használnak repülőgépek sárkányszerkezetén kisebb hibák (vadászgépeken például lövedék ütötte lyukak) átmeneti javítására, vagy hőkezeléseknél tömítések védelmére. A duct tape-et egészen biztosan alkalmazták már a világűrben is. A legutolsó Apollo-expedíció, a 17-es tagjainak első holdkompon kívüli ténykedése (Extra-Vehicular Activity, EVA) során Eugene A. Cernan (az „utolsó ember” a Holdon) kalapácsa az űruha lábszárán lévő zsebből a holdjáró jobb hátsó sárvédőjére

esett, és annak felét letörte. A porfelverődés megakadályozására a hibát orvosolni kellett: a hiányzó darabot egy duct tape-pel rögzített holdtérképpel pótolták.

A filmben kétszer is előkerül a duct tape: először akkor, amikor Watney a sisakján keletkezett lyukat/repedést tapasztja be, másodsor pedig akkor, amikor a légzsilip felrobbanása után a Lak kijáratát borítja be fóliával, és ezt ragasztja körbe a szalaggal.



Az Apollo-17 holdautójának jobb hátsó sárvédője megsérült, a letört darabot pedig az űrhajósok egy holdtérképpel pótolták, amelyet duct tape-pel erősítettek fel (NASA)

Nézzük először a sisakot! Az űruhában a nyomás 21 kPa, ebből 12 kPa az oxigéné, 9 kPa az egyéb gázok nyomása. Földi körülmények között tengerszinten az oxigén parciális nyomása éppen 21 kPa, 1900 méteren pedig 12 kPa. Ilyen magasságban még semmi gond a légzéssel, ekkora nyomás az űruhában is elegendő. Kis lyukkal 21 kPa-t pedig még a duct tape is kibírhat. Nem így a Lak bejárata esetében. A a Lakban az üzemi nyomás 12,5 psi körüli, ami a normál tengerszinti földi légnyomás kb. 85%-a. Ez azt jelenti, hogy 1 m<sup>2</sup> felületre 85 ezer newton erő hat, ami egy 8,5 tonnás jármű földi súlyával egyezik meg. Ha ez csak a bejáratot elzáró fólia egyik oldalán lép fel, mert Watney bent helyreállította az üzemi nyomást, kint pedig az ehhez képest gyakorlatilag nulla marsi légköri nyomás van, akkor valamilyen speciális „fólia” esetleg kibírhatja ezt, de a duct tape biztosan nem.

### Vasember-hatás

Watney-nak el kell jutnia a következő nagy marsi küldetés (Ares IV) Schiaparelli-kráterben várakozó felszállóegységéhez, hogy a bolygót azzal elhagyva Mars körüli pályán találkozhatson a közben visszatérő Hermes űrhajóval. Ehhez az Ares III bázistól 3200 kilométeres utat kell megtennie a marsjáróval, miközben még porviharba is keveredik (a filmben ez nincs benne). Azért, hogy elérje a Hermest, a felszállóegységből minden mozdíthatót (kb. 5 tonna tömeget) ki/le kell szerelnie, még az orrkúp ablakait is, amelyeket egy ponyvával helyettesít.

A nagyon ritka marsi légkör miatt nem elképzelhető, hogy ilyen módon is fel lehet szállni, de nagyon sok a bizonytalansági tényező. A felszállás során a ponyva le is szakad, így még rosszabb aerodinamikai viszonyok alakulnak ki, emiatt a MAV jelentősen eltér a kívánt felszállási ívtől, és a Hermestől nagyon távoli, ahhoz képest nagy relatív sebességű pályára áll a bolygó körül. Ráadásul a Marshoz visszaérve a Hermes túl gyorsan mozog ahhoz, hogy Watney-t ilyen körülmények között befoghassák, ezért az űrhajót le kell lassítani, amivel azt kockáztatják, hogy Watney remélte sikeres elkapása után nem lesz elég lendületük ahhoz, hogy a bolygót megkerülve a hazafelé vezető pályára állhassanak.

A kellő mértékű lassításhoz a szükséges tartalékolás miatt azonban már nincs elegendő üzemanyag. Ekkor az az ötletük támad, hogy előre kiáramló levegővel lassítsák le az űrhajót, ehhez azonban a biztonsági okokból nem kinyitható zsilipajtót ki kell robbantaniuk. A legénység kémikus tagja ezért cukorból és cseppfolyós oxigénből, némi mosogatószer hozzáadásával csőbombát készít. Egy kilogramm cukor égése 16,7 MJ energia felszabadulásával jár, ez kb. 8 rúd dinamit hatásának felel meg. A Vogel által adagolt cukor filmbeli mennyisége bizonytalan, néhány száz gramm körül lehet, ugyanez igaz a termoszból hozzáadott cseppfolyós oxigénre is. Ezek alapján a bomba elvileg akár hatásos is lehet. A Hermes azonban 5,8 km/s sebes-

séggel halad el a Mars mellett, míg a MAV a „valóságban” 4,1 km/s sebességű alacsony Mars körüli pályán mozog, bár a filmben csak 11 m/s a sebességkülönbség közöttük, nyilván azért, hogy legalább filmes esély legyen Watney elkapására. A Hermest a cukorbombával kirobbantott zsilipkapun kiáramló levegő reakcióerejével lelassítják, Watney pedig kiszúrja a kesztyűjét, hogy a MAV-ot elhagyva a lyukon kiáramló levegő hasonló hatását használja gyorsításra és kormányzásra.

Ha az egyszerű becslés kedvéért feltételezzük, hogy a Hermes egy 10 méter oldalalú négyzet alapú hasáb 100 méteres magassággal, csak levegő van benne, amelynek sűrűsége 1 kg/m<sup>3</sup>, és az összeset ki is engedik, a levegő pedig 100 m/s sebességgel 1 s alatt eltávozik, akkor a kiáramló levegővel 10<sup>6</sup> kg · m/s impulzust is veszít a rendszer, azaz az immár levegő nélküli űreszköz impulzusa ennyivel csökken. Ha az egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy a Hermes tömege 100 tonna, azaz 10<sup>5</sup> kg – a 420 tonna tömegű Nemzetközi Űrállomással összehasonlítva ennél valószínűleg azért több –, akkor egyszerűen kiszámolható, hogy a sebességszökkenése 25 m/s lenne, még nagyobb is, mint a filmbeli 11 m/s sebességkülönbség. Az értékhez vezető becslés kiindulási adatai azonban erősen „túlfeszítettek”, nem beszélve a már korábban említett jóval nagyobb sebességkülönbségről. Ez a módszer a filmbeli formájában nagyon nagy valószínűséggel nem működőképes, sokkal több levegőt kellene kiengedni jóval hosszabb ideig, mint amennyit feláldoztak, vagy rendelkezésre állt. Hasonló mondható el a vasember-repülésről is.

Watney-t persze elkapják, majd hosszú repülés után szerencsésen hazatérnek. A végén mindenki boldog, a néző elégedetten dőlhet hátra, hogy Hollywood képes olyan tudományos-fantasztikus filmet is csinálni, ami nem csak fantasztikus, de szórakoztató, és legalább annyira tudományos, amennyire egy ilyen film egyáltalán lehet.