



Chemia na Marsie

Bartosz Krzyżanowski

Jednym z wydarzeń roku 1997 była marsjańska misja Pathfinder. W zespole bezpośrednio nią kierującym nie było chemików, jednak jednym z najważniejszych celów misji była analiza składu skał i gleby Marsa – czyli zagadnienie typowo chemiczne. Z uzyskanych wyników będzie można wyciągnąć wnioski dotyczące historii Marsa (a zwłaszcza obecności wody na Marsie) i występowania tam węglanów i azotanów, co będzie przesłanką istnienia na tej planecie, teraz czy w przeszłości, cząsteczek organicznych, a zatem możliwości życia.

Do tego celu służył spektrometr APXS (*alpha-proton-X-ray spectro-metr*), stanowiący część wyposażenia łazika marsjańskiego Sojourner, skonstruowany częściowo na Wydziale Chemii niemieckiego Instytutu Maxa Plancka, a częściowo na Uniwersytecie w Chicago. Przyrząd ten składa się ze źródła cząstek alfa, protonów i promieniowania rentgenowskiego. Wykorzystano w nim metodę analizy opartą na trzech rodzajach oddziaływania cząstek alfa z materią. Pierwszy z nich to elastyczne rozpraszanie cząstek alfa przez jądra. Rejestracja energii i liczby rozproszonych cząstek pozwala odpowiednio ustalić rodzaj i liczbę pierwiastków tworzących powierzchnię próbki. Technika ta najlepiej sprawdza się w przypadku lekkich pierwiastków. W przypadku pierwiastków o liczbie atomowej od 9 do 14 bardzo charakterystyczne są wartości energii protonów powstających w wyniku reakcji jądrowych z cząstkami alfa. Z kolei najcięższe i najmniej rozpowszechnione pierwiastki można wykryć, analizując promieniowanie rentgenowskie, powstałe w wyniku powrotu do stanu podstawowego atomów wzbudzonych przez cząstki alfa.

Połączenie tych trzech metod umożliwiło ustalenie zawartości wszystkich ważniejszych pierwiastków, oprócz wodoru, w powierzchniowej warstwie marsjańskich skał i gleby. Wyniki dla węgla, tlenu, potasu i manganu są mało dokładne.

Możliwości dotarcia na Marsa i wykorzystania tej planety są uzależnione od technologii produkcji materiału napędowego z marsjańskiej atmosfery. Wszystkie procesy chemiczne potrzebne podczas produkcji paliwa są z powodzeniem stosowane na dużą skalę na Ziemi od ponad 100 lat.

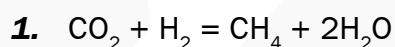
Pierwszy etap produkcji materiału napędowego polega na zdobyciu potrzebnych surowców. Wodór, stanowiący zaledwie 5% masy mieszaniny napędowej, może być przywożony z Ziemi. Z surowców na Marsie trzeba jedynie uzyskać węgiel i tlen. Nie ma z tym problemu, gdyż właśnie te dwa pierwiastki stanowią większość marsjańskiej atmosfery – składającej się w 95% z tlenku węgla(IV) – są więc w każdym miejscu planety dostępne za darmo. Kontrola jakości procesu wytwarzania paliwa wymaga, by do reaktorów chemicznych nie dostawały się substancje o nie znanym składzie, czyli marsjański pył. Osiągnąć to można, zakładając na otworze wlotowym do podłoża filtr antypyłowy, powstrzymujący większość pyłu, a następnie sprężając marsjańskie powietrze do ciśnienia około 7 barów. Gazowy tlenek węgla(IV) sprężony do takiego ciśnienia skrapla się, osiągając równowagę w normalnej marsjańskiej temperaturze. Odparowanie z pojemnika i destylacja da stuprocentowo czysty tlenek węgla(IV), podczas gdy marsjański pył pozostanie w roztworze.

Wstępne wyniki analizy pierwiastkowej próbek powierzchni Marsa wykonanej przez APXS (w procentach wagowych)

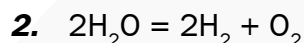
Pierwiastek	Gleba A-2*	Gleba A-4*	Gleba A-5*	Skąła „Barnacle Bill”*	Skąła „Yogi”*
węgiel	–	–	–	–	–
tlen	42,5	43,9	43,2	45,0	44,6
magnez	3,2	3,8	2,6	3,1	1,9
sód	5,3	5,5	5,2	1,9	3,8
glin	4,2	5,5	5,4	6,6	6,0
krzem	21,6	20,2	20,5	25,7	23,8
fosfor	–	1,5	1,0	0,9	0,9
siarka	1,7	2,5	2,2	0,9	1,7
chlor	–	0,6	0,6	0,5	0,6
potas	0,5	0,6	0,6	1,2	0,9
wapń	4,5	3,4	3,8	3,3	4,2
tytan	0,6	0,7	0,4	0,4	0,5
chrom	0,2	0,3	0,3	0,1	0,0
mangan	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4
żelazo	15,2	11,2	13,2	9,9	10,7
nikiel	–	–	0,1	–	–
Razem	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

*Wyniki analizy różnych próbek gleby pobranych z powierzchni Marsa.

Czysty tlenek węgla(IV) można poddać gwałtownej reakcji metanizacji, zwanej reakcją Sabatiera:

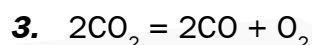


Jest to reakcja egzoenergetyczna, a więc nie trzeba do niej dostarczać energii. Uzyskiwany podczas reakcji metan jest skraplany, a woda jest kondensowana i wprowadzona do pojemnika, następnie wpompowywana do ogniwa elektrolitycznego i poddawana dobrze znanej reakcji elektrolizy, w wyniku której rozkłada się na tlen i wodór:



Uzyskany tlen zostaje zamrożony i można go w tej postaci przechowywać, natomiast wodór nadaje się do ponownego wykorzystania w reakcji (1).

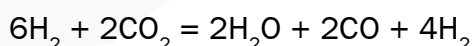
Konieczne staje się znalezienie dodatkowej ilości tlenu ponad uzyskaną dzięki reakcjom 1 i 2. Jedną z możliwości to bezpośrednia redukcja tlenku węgla(IV) :



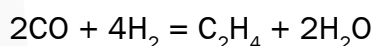
Istnieje też szereg innych reakcji, jako alternatywa dla powyższych, w wyniku których można na Marsie produkować paliwo raketowe i tlen w specjalnie do tego przeznaczonych reaktorach.



Kluczem do produkcji tworzyw sztucznych na Marsie jest synteza etylenu, którą można przeprowadzić jako rozszerzenie odwróconej reakcji woda – gaz ($H_2 + CO_2 = H_2O + CO$). Rozważmy nieco inny sposób przeprowadzenia tej reakcji – dostarczmy wodór i tlenek węgla(IV) w stosunku ilościowym 3:1 zamiast 1:1 i przeprowadźmy następującą reakcję:



Następnie należy usunąć wodę z reaktora i skroplić ją. Mieszaninę tlenku węgla(II) i wodoru możemy przenieść do innego reaktora, by w obecności katalizatorów zawierających żelazo poddać ją następującej reakcji:



Tym sposobem można otrzymać etylen, wspaniałe paliwo, a zarazem klucz do rozwoju przemysłu petrochemicznego i produkcji tworzyw sztucznych. Etylen odgrywa fundamentalną rolę w procesach produkcji, np.: polietylenu, polipropylenu, itp. Można je wytwarzać w postaci folii lub włókien i używać do budowy sporych nadmuchiwanymi konstrukcji (m.in. kopuły mieszkalnych).

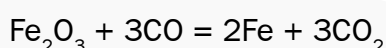
Tworzywa sztuczne są najważniejszymi materiałami we współczesnym świecie. Wszechobecność wodoru i węgla pozwoli rozwinąć ich produkcję na Marsie. To jeszcze jeden argument przeciwko tezie, że bardziej od Marsa do kolonizacji nadaje się Księżyc. Na Księżycu węgiel i wodór występują w ilościach śladowych, rzędu jeden atom na milion, czyli mniej więcej równie często jak złoto w wodzie morskiej. Z tego względu na Księżycu nigdy nie będzie warunków do taniej produkcji tworzyw sztucznych. Przez długi czas po przybyciu człowieka na Srebrny Glob tworzywa sztuczne byłyby tam na wagę złota.

Powierzchniowa warstwa marsjańskiej gleby zawiera też minerały ilaste, których niczym nie ograniczona dostępność uczyni wytwarzanie materiałów ceramicznych zadaniem bardzo prostym. Z pomiarów wykonanych przez lądowniki Viking 1 i Viking 2 wynika, że najpowszechniej występującym składnikiem marsjańskiej gleby jest tlenek krzemu(IV) SiO_2 , którego zawartość w próbkach wyniosła wagowo aż około 40%. Związek ten jest podstawowym składnikiem szkła. Niestety marsjańskiemu hutnictwu szkła przeszkadzać będzie to, że po SiO_2 kolejnym związkiem pod względem obfitości występowania w glebie jest tlenek żelaza(III) Fe_2O_3 . Produkcja szkła optycznego na Marsie wymagałaby usunięcia z piasku tlenku żelaza(III), na przykład poprzez reakcję tlenku węgla(II) z tlenkiem żelaza(III) prowadzącą do powstania tlenku węgla(IV) i żelaza metalicznego, usuwanego następnie za pomocą magnezu.

Wszystkie cywilizacje techniczne bazują na umiejętności wytwarzania metali. Na Marsie surowce umożliwiające uzyskiwanie metali występują w dużych ilościach, większych niż na Ziemi.

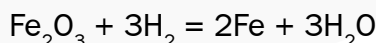
a) Żelazo

Żelazo jest najobficiej występującym na Marsie metalem o zastosowaniach przemysłowych. Najczęściej wykorzystywaną przemysłowo na Ziemi rudą żelaza jest hematyt (Fe_2O_3), który na Marsie jest na tyle wszechobecny, że nadaje jego powierzchni charakterystyczny, czerwony kolor. Redukcja hematytu do żelaza jest stosunkowo prostym procesem:





lub z wykorzystaniem wodoru:



Obie reakcje są egzotermiczne, zatem po rozgrzaniu reaktora do wymaganej temperatury zachodzą bez dostarczania energii.

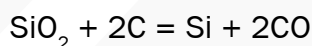
Na Marsie rozpowszechnione są wszystkie cztery podstawowe pierwiastki stopowe do produkcji stali: węgiel, mangan, fosfor i krzem, a ponadto w znacznych ilościach obecne są dodatkowe pierwiastki stopowe: chrom, nikiel i wanad. Dodając do żelaza odpowiednie ilości tych pierwiastków, można otrzymać właściwie dowolny wybrany rodzaj stali węglowej bądź nierdzewnej.

b) Glin

Drugim pod względem ważności metalem na Ziemi o najszerszym zastosowaniu w przemyśle jest glin. Na Marsie glin stanowi 4% wagowe materiału powierzchniowego na planecie. Podobnie jak na Ziemi glin występuje tu wyłącznie w postaci związków chemicznych – korundu (Al_2O_3). Na Ziemi wytwarzanie aluminium polega na rozpuszczeniu korundu w stopionym kriolicie w temperaturze 1000°C i poddaniu elektrolizie w obecności elektrod węglowych. Do wytworzenia 1 kg aluminium potrzeba aż 20 kWh energii elektrycznej. Z tego powodu wytrzymałe konstrukcje budowlane będą przede wszystkim powstawać ze stali, a nie z aluminium (choć słaba marsjańska grawitacja sprawi, że stal ważyć będzie na Marsie tyle, co aluminium na Ziemi).

c) Krzem

W dzisiejszych czasach krzem – z uwagi na kluczową rolę w produkcji urządzeń elektronicznych – stał się trzecim najważniejszym pierwiastkiem przemysłowym. Na Marsie krzem będzie jeszcze ważniejszy, gdyż umożliwi wytwarzanie baterii fotowoltaicznych. Materiał potrzebny do produkcji krzemu metalicznego, tlenek krzemu(IV), stanowi prawie 45% wagowych marsjańskiej skorupy. Wyrób krzemu polega na zmieszaniu tlenku krzemu(IV) z węglem i podgrzaniu mieszaniny w piecu elektrycznym. Zachodzi wtedy następująca reakcja:



Kolejny sposób wykorzystania związków krzemu polega na skraplaniu krzemometanu poprzez oziębienie do temperatury -112°C . Powstałą ciecz można bez trudu przechowywać przez długi czas w izolowanych zbiornikach. Potem krzemometan spala się w tlenku węgla(IV):



Reakcję tę można stosować do ogrzania kotła w silniku parowym, a także w przelotowym silniku odrzutowym oraz w systemach o napędzie raketowym.

d) Miedź

Miedź to kolejny metal o fundamentalnym znaczeniu dla działalności przemysłowej. Miedź jest nieobecna na Księżycu, jej zawartość na Ziemi jest dość niska – około 50 cząsteczek na milion – zbyt



niska, aby jej wydobycie z gleby miało sens. Można przypuszczać, że na Marsie, gdzie siarka występuje znacznie powszechniej niż na naszej planecie, istnieją pokłady rud miedzi – siarczków – uformowane u podłoża wypliwów lawy. Jeśli uda się odnaleźć rudy miedzi, otrzymanie tego metalu nie będzie sprawiać żadnych trudności dzięki metodom wytopiania i ługowania.

Początki terraformowania Marsa – ocieplanie planety i pogrubianie atmosfery – wiązą się z użyciem zaskakująco prostych metod: miejscowej produkcji chlorowcowych pochodnych węglowodorów (freonów), wspomaganej przez pożyteczne bakterie. Otrzymane w wyniku tych procesów atmosferyczne zawartości tlenu i azotu byłyby jednak zbyt niskie dla wielu gatunków roślin, a Czerwona Planeta pozostałaby miejscem stosunkowo suchym, gdyż topnienie marsjańskich lodów i zmarzliny z głębokich warstw gleby trwałoby setki lat. Podczas drugiego etapu terraformowania uaktywniona zostanie hydrosfera Marsa, skład atmosfery zacznie nadawać się do oddychania dla wyżej rozwiniętych roślin i prymitywnych zwierząt. Postępujący wzrost temperatury przyda znaczenia wytwarzaniu w przestrzeni kosmicznej dużych zwierciadeł skupiających promienie słoneczne. Niewykluczone, że w wyniku stosowania orbitalnych luster bardzo prędko dojdzie do ożywienia hydrosfery. Zwierciadło o promieniu 125 km, przeznaczone pierwotnie do pobudzenia wydzielania się gazów z czap polarnych, można użyć na przykład do ogrzania znacznie mniejszych obszarów, uzyskując moc 27 TW (terawatów; jeden terawat jest równy milionowi megawatów). Dysponując taką mocą, ludzie będą mogli tworzyć jeziora zasilane topniejącym lodem: 27 TW wystarczy, by stopić 3 biliony ton lodu rocznie (ilość mieszcząca się wewnątrz jeziora o długości 200 km i głębokości 75 m). Pojedyncze zwierciadło pozwoli szybko wydobyć z gleby duże ilości uwięzionej w postaci wiecznej zmarzliny wody i kierować je do nowo powstałych marsjańskich ekosystemów. W miarę jak ciekła woda coraz szybciej i obficiej będzie krążyć w środowisku, nabiorą tempa procesy rozkładania pokładów azotanów(V) w wyniku działania bakterii denitryfikacyjnych oraz rozprzestrzeniania się roślin po powierzchni planety. W konsekwencji wzrośnie atmosferyczna zawartość tlenu i azotu.

W powyższych punktach przedstawiono plan kolejnego kroku ludzkości w kosmos – podboju stosunkowo blisko położonego i będącego w zasięgu naszych technologicznych możliwości Marsa. Z chemicznego punktu widzenia jesteśmy bardzo blisko zakładania baz na Marsie, poruszania się po jego powierzchni, a także wykorzystywania bogactw naturalnych Marsa. Może nawet przeobrażenia planety na skalę globalną, tak by ludzie mogli oddychać marsjańskim powietrzem i pływać w marsjańskich rzekach...

Te problemy wydają się szczególnie intrygujące i niezwykle ze względu na ich futurystyczny charakter oraz fundamentalne znaczenie w dziejach świata w czasie jak się wydaje, najbliższych dwustu lat.