

Z mapą na podbój Marsa



Żadnej misji, której celem jest lądowanie na pozaziemskim ciele niebieskim, nie uda się przeprowadzić bez szczegółowych i aktualnych danych przestrzennych oraz map. Nie inaczej było w przypadku bezzałogowej misji badawczej „Mars 2020”.

Damian Czekał

Powieści „Czerwony Mars”, „Zielony Mars” i „Błękitny Mars” amerykańskiego pisarza science fiction Kima Stanleya Robinsona to jedne z moich ulubionych książek. Na dwóch tysiącach stron autor odmalowuje niezwykle realistyczną wizję kolonizacji i terraformowania Czerwonej Planety. Książki te zostały opublikowane w latach 90. ubiegłego wieku i wcale nie były pierwszymi, które poruszały ten temat. Mars fascynuje od wieków, i to nie tylko pisarzy czy naukowców. W ostatnich tygodniach za sprawą misji NASA „Mars 2020” Czerwona Planeta znów zagościła na pierwszych stronach gazet i serwisów informacyjnych.

• Perseverance znaczy wytrwałość

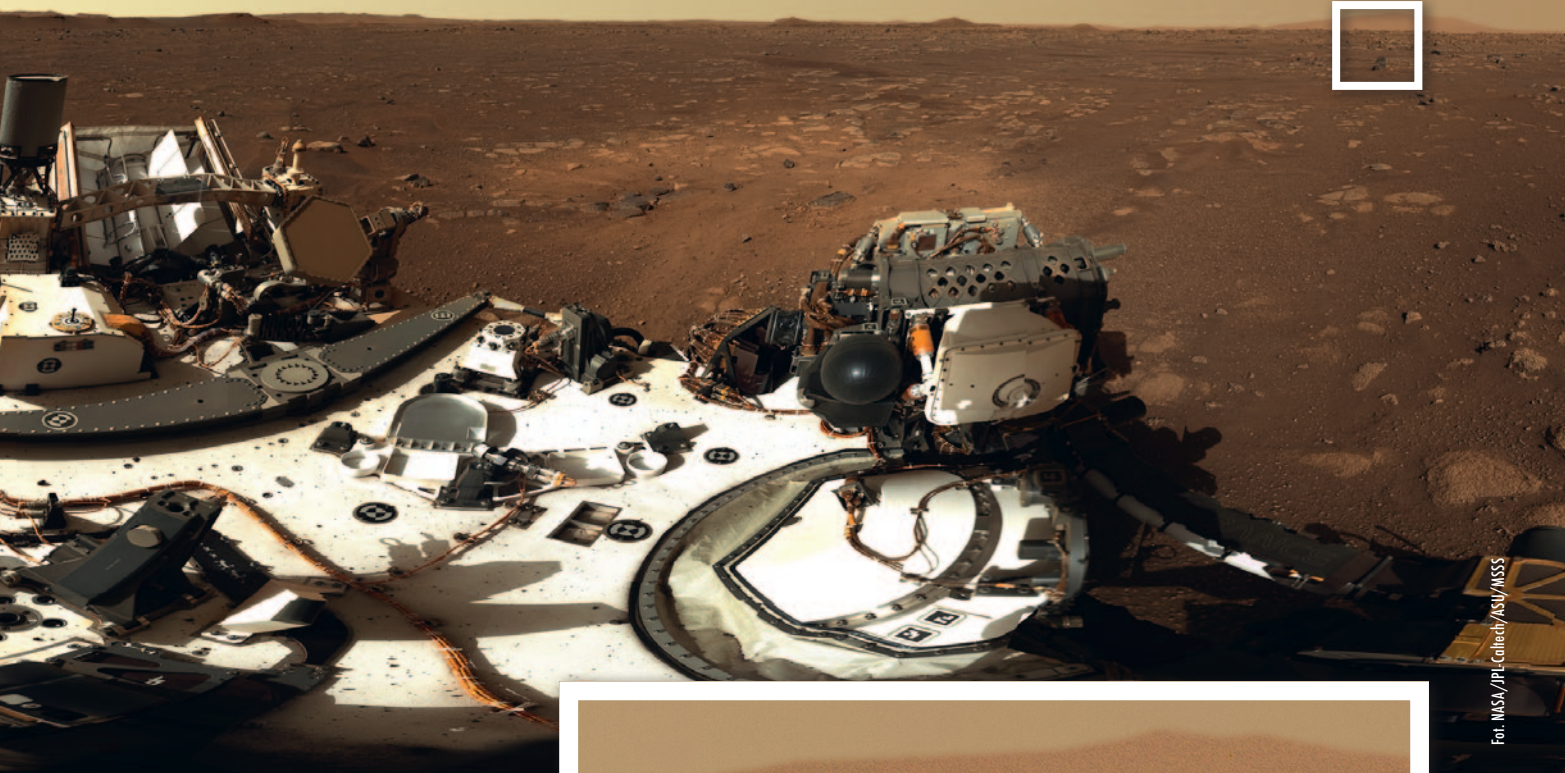
18 lutego br. miliony ludzi na całym świecie śledziły lądowanie łazika Perseverance na powierzchni Marsa. Głównym celem misji – rozpoczętej 30 lipca ub.r. startem rakiety Atlas V z kosmodromu na Florydzie – jest ustalenie, czy

na planecie istniało kiedyś życie. Ponadto łazik będzie badał marsjańskie skały i klimat na potrzeby przyszłych misji załogowych. Na pojeździe zamontowano wiele zaawansowanych instrumentów – zestaw kamer umożliwiających pozyskiwanie obrazów stereoskopowych i panoramicznych, stację pogodową, georadar do pierwszych w historii pomiarów w wysokiej rozdzielczości profilu skał pod powierzchnią planety oraz spektrometry do analiz skał, gruntu i atmosfery. Wraz z łazikiem na Marsa przybył też pierwszy międzyplanetarny dron autonomiczny Ingenuity wyposażony w dwie kamery (do zdjęć kolorowych i czarno-białych) oraz czujniki nawigacyjne z komputerem pokładowym. Ingenuity najprawdopodobniej wzbije się w powietrze jeszcze wiosną. Ma zbadać możliwości lotniczej eksploracji Marsa, utrudnionej z powodu bardzo rzadkiej – w porównaniu z ziemską – atmosfery.

Ze względu na złożoną historię geologiczną i dostępność różnorodnych typów skał, w tym utworzonych w najstarszym okresie historii planety, na miejsce lądowania Perseverance wy-

brano krater Jezero. Jest on oddalony o 3700 km od krateru Gale, położonego w innej części Marsa, gdzie od 2012 r. operuje łazik Curiosity.

– Każdą nową misję łazikową poprzedza kilkuletni proces wyboru najlepszego miejsca do lądowania. Najważniejszym etapem tego procesu jest szczegółowe mapowanie potencjalnie interesujących lokalizacji, aby w końcu wybrać obszar, gdzie można nie tylko bezpiecznie wylądować, ale także dokonać najciekawszych badań na powierzchni, najbardziej pożytecznych z punktu widzenia celu misji – wyjaśnia dr Izabela Gołębiowska z Zakładu Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji Uniwersytetu Warszawskiego. Nie inaczej było w przypadku wyboru miejsca lądowania Perseverance. W 2014 r. zaproponowano ponad 30 różnych lokalizacji, następnie ich liczbę ograniczono do 8, później (w 2017 r.) do 3. W tym czasie, jak podkreśla dr Gołębiowska, nie tylko analizowano zdjęcia satelitarne w różnych zakresach spektrum, przygotowywano szczegółowe numeryczne modele terenu, ale także wykonywano analizy



Fot. NASA/JPL-Caltech/ASU/MSS

Pierwsza panorama 360° wykonana przez łazik Perseverance. Składa się z 142 zdjęć pozyskanych parą kamer Mastcam-Z

właściwości spektralnych skał występujących na powierzchni. W wyniku tych działań w 2019 r. ostatecznie wybrano krater Jezero. – Był to więc długi, trwający ponad pół dekady proces – zauważa badaczka z UW.

● Jak po sznurku

Bezpieczne lądowanie sondy umożliwiła nowa technologia Terrain-Relative Navigation (TRN), na którą składają się dwa systemy: Lander Vision System (LVS) i Safe Target Selection (STS). Na wysokości około 4 km opadający na spadochronie łazik rozpoczął robienie zdjęć powierzchni Marsa, które system LVS natychmiast porównywał z dokładnymi mapami znajdującymi się w pamięci Perseverance. Wyszukując unikalne wzory utworzone przez elementy powierzchni, takie jak klify, kratery, pola głazów czy góry, systemy TRN mogły na bieżąco korygować trajektorię opadania.

Wspomniane mapy stworzyło Centrum Astrogeologii USGS (United States Geological Survey). – Eksploracja jest częścią ludzkiej natury, a USGS od dawna interesuje się badaniem innych planet – mówił w lipcu 2020 r. dyrektor USGS i były astronauta NASA Jim Reilly. – Te mapy pomogą misji Perseverance odkryć tajemnice przeszłości Czerwonej Planety i zaplanować przyszłe misje – dodał.



Na potrzeby misji „Mars 2020” agencja USGS opracowała dwie nowe mapy (ortomozaiki). Pierwsza z nich, o wysokiej rozdzielczości, z 25-centymetrowym pikselem, umożliwiła naukowcom dokładne rozpoznanie zagrożeń powierzchniowych w miejscu lądowania. Jest to też mapa bazowa misji. Z jej pomocą wyznaczone zostały miejsca, które będzie badał łazik. Drugie opracowanie (o 6-metrowym pikselu) obejmuje nie tylko miej-

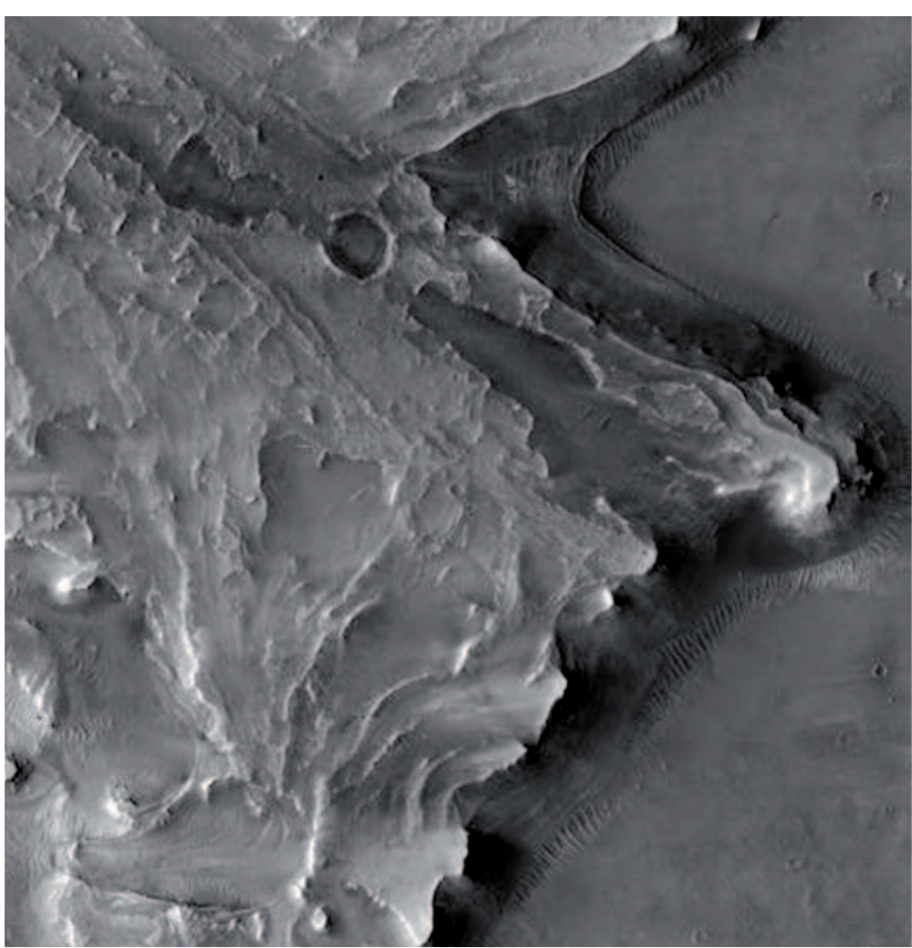
sce lądowania, ale również znaczą część przyległego terenu. Wraz z mapą bazową posłużyło ono do bezpiecznego sprowadzenia Perseverance na powierzchnię Czerwonej Planety. Jak zapewnia USGS, oba produkty zostały zorientowane względem siebie i globalnych map Marsa z niespotykaną dotąd precyzją. Do ich stworzenia wykorzystano zobrazowania satelitarne z misji Mars Reconnaissance Orbiter's Context Camera



Fot. NASA/JPL-Caltech/University of Arizona

Octavia E. Butler Landing

Miejsce lądowania łazika Perseverance (nazwane na cześć amerykańskiej pisarki science fiction Octavii E. Butler) zaznaczone na ortomosaice ze zdjęć HiRISE o 25-centymetrowym pikselu



oraz High-Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE).

Aby pomóc w operacjach naziemnych, agencja USGS udostępniła również nową mapę geologiczną krateru Jezero i pozonaczonych kraterami wyżyny Nili Planum. Obejmuje ona miejsce lądowania z otaczającym terenem, który łazik będzie przemierzał w trakcie swojej misji.

• Znaczenie kartografii planetarnej

Nowe mapy ciał niebieskich powstają jednak nie tylko przy okazji kolejnych misji badawczych. – Opracowanie map obiektów pozaziemskich – planet, księ-

życów, asteroid czy komet – związane jest z odkrywaniem kosmosu, a główną motywacją do prowadzenia tych badań jest ciekawość – mówi dr hab. Paweł Pędzich z Zakładu Kartografii Politechniki Warszawskiej. – Staramy się znaleźć odpowiedzi na pytania, jak powstała Ziemia oraz cały układ planetarny. Szukamy śladów życia na innych planetach, a także wody i surowców mineralnych. Badania asteroid mogą z kolei zapobiec w przyszłości ewentualnym kolizjom z Ziemią. W tym celu powstaje wiele opracowań: mapy albedo, topograficzne, geochemiczne, geologiczne,

hipsometryczne, terenu, tektoniczne, a także atlasy czy globusy – wyjaśnia dr Pędzich.

– Mnie osobiście, ponieważ zajmuję się kartografią matematyczną, interesują odwzorowania kartograficzne – zdradza pracownik PW. W przypadku planet o regularnej powierzchni odwzorowania są znane. Trudności zaczynają się w przypadku obiektów nieregularnych. Standardowe podejście do odwzorowania nie przynosi wówczas satysfakcjonujących wyników. – Stosuje się wtedy skomplikowane powierzchnie, takie jak elipsoidy trój-, cztero- czy nawet sześciosiowe. Odwzorowanie kartograficzne takich powierzchni jest bardzo trudne i stanowi kierunek badań, w którym można coś nowego opracować – tłumaczy dr hab. Paweł Pędzich.

O wadze kartografii planetarnej może świadczyć to, że w ramach Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej działa Komisja ds. Kartografii Planetarnej zajmująca się popularyzacją wiedzy w tym zakresie oraz badaniami, m.in. opracowywaniem map. Skupia ona nie tylko specjalistów z tej dziedziny, ale także wielu pasjonatów.

– Mapy są najlepszym narzędziem do prezentacji danych o charakterze przestrzennym – zauważa dr Izabela Gołębiewska. – Z kolei systemy informacji geograficznej pozwalają na zestawienie, archiwizację, analizy i prezentację tych danych. Są to zatem niezbędne elementy (narzędzia) w procesie badania innych planet – podkreśla.

• Dane o Marsie

Historia kartografii planetarnej jest ściśle związana z metodami pozyskiwania danych. Pierwsze mapy Księżyca powstały na początku XVII wieku, po tym jak Galileusz zastosował teleskop do obserwacji naszego satelity. – Natomiast pierwszą mapę Marsa na podstawie obserwacji teleskopowych opracowali w 1830 r. niemieccy astronomowie Wilhelm Beer i Jan Mädler – przypomina dr hab. Paweł Pędzich. W 1877 roku włoski astronom Giovanni Virginio Schiaparelli opublikował pierwszą szczegółową mapę Marsa wykonaną na podstawie pomiarów mikrometrycznych. Była to słynna mapa przedstawiająca kanały na Marsie. – Oczywiście współczesne dane pozyskiwane są za pomocą bardziej zaawansowanych urządzeń umieszczonych na orbitach wokół Ziemi i wysyłanych w kosmos lub na powierzchnię badanego obiektu – podkreśla pracownik PW.

Dr Anna Łosiak z Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, geolog planetarny i geograf, zwraca uwagę, że obecnie każde przebadane ciało niebieskie ma swoją powierzchnię odniesienia, na którą później nakładane są poszczególne warstwy danych georeferowanych. Są to przede wszystkim: numeryczne modele terenu globalne (często wykonane dzięki interpolacji danych z laserowego miernika) oraz lokalne (opracowane z wykorzystaniem stereopar), zdjęcia satelitarne w różnych zakresach fal (głównie widzialnym i podczerwonym) i o różnej rozdzielczości, dane spektralne pozwalające na identyfikację składu mineralogicznego skał. Gromadzone są także inne dane – np. o temperaturze powierzchni czy o występowaniu warstw podpowierzchniowych (to za pomocą radaru), które następnie prezentowane są na mapach. – Wszystkie te dane zbierane są przez główne agencje kosmiczne, jak NASA, ESA czy JAXA [Japońska Agencja Eksploracji Aerokosmicznej – red.], i udostępniane wszystkim za darmo – przypomina dr Łosiak.

W przypadku Marsa najwygodniejszym sposobem zapoznania się z dostępnymi materiałami badawczymi jest skorzystanie z systemu GIS JMars (jmars.asu.edu), rozwijanego od 2003 r. przez Uniwersytet Stanu Arizona. – Natomiast ci, którzy wolą

samodzielnie ściągać i analizować dane w programach, takich jak ArcGIS czy QGIS, mogą sięgnąć do repozytorium NASA (pds.nasa.gov) – wspomina dr Izabela Gołębiowska. – Innym, bardzo przystępnym sposobem na obejrzenie zdjęć z Marsa jest Google Mars, odmiana Google Maps opracowana dla powierzchni Czerwonej Planety. Wersja z rozszerzoną funkcjonalnością i dodatkowymi materiałami (również dawnymi mapami tej planety) dostępna jest w aplikacji Google Earth Pro – dodaje badaczka z UW.

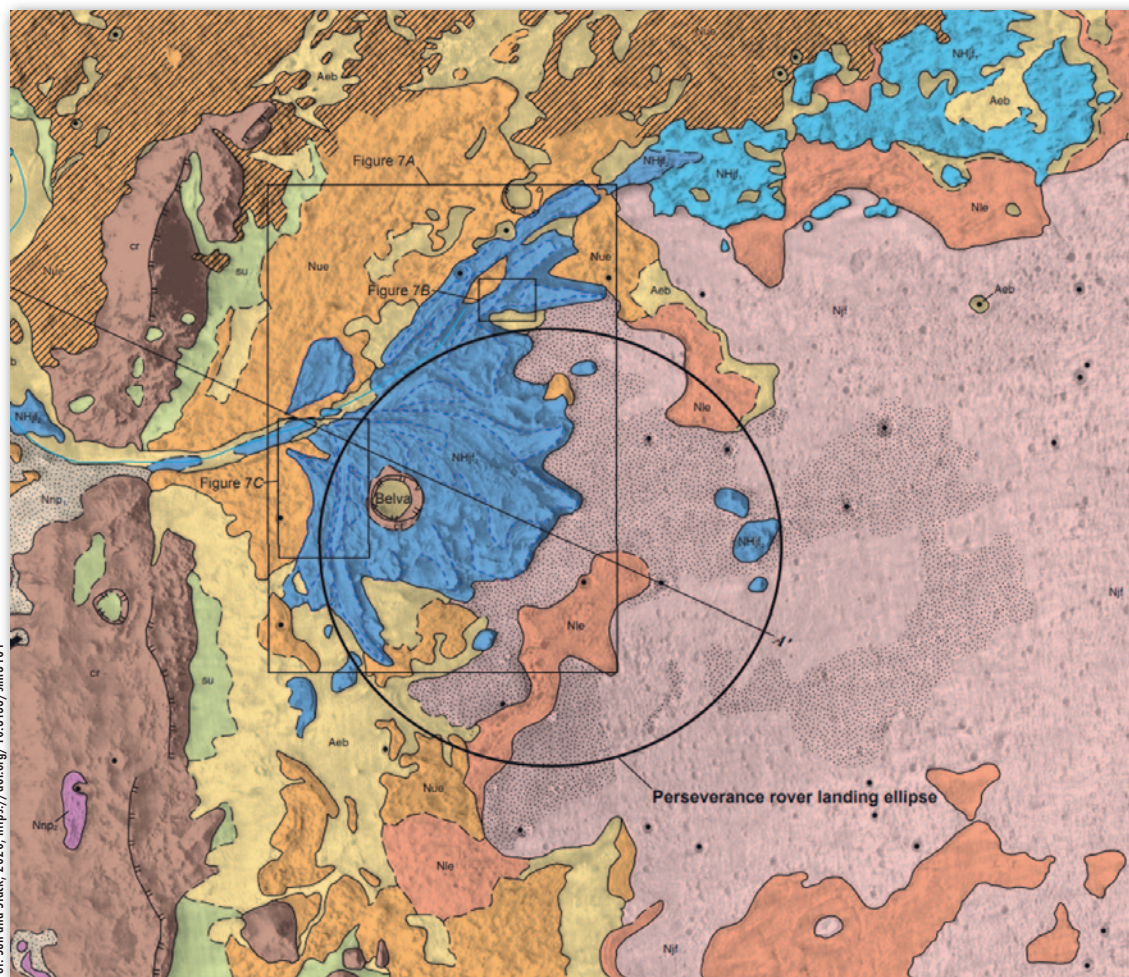
• Polacy nie gęsi

W Polsce badaniami powierzchni Marsa zajmuje się kilkanaście osób zatrudnionych na różnych uniwersytetach i w instytutach naukowych. Ważne ośrodki znajdują się w Warszawie, Wrocławiu i Krakowie. – Dlatego tak istotne są spotkania integrujące nasze niewielkie marsjańskie środowisko, jak np. Ogólnopolskie Seminarium Marsjańskie organizowane przez dr Joannę Kozakiewicz wraz z zespołem pod auspicjami Uniwersytetu Jagiellońskiego. Inną inicjatywą pozwalającą na lepszą komunikację między osobami zajmującymi się różnymi aspektami nauk o kosmosie jest niedaw-

no założone Polskie Towarzystwo Astrobiologiczne – wymienia dr Anna Łosiak.

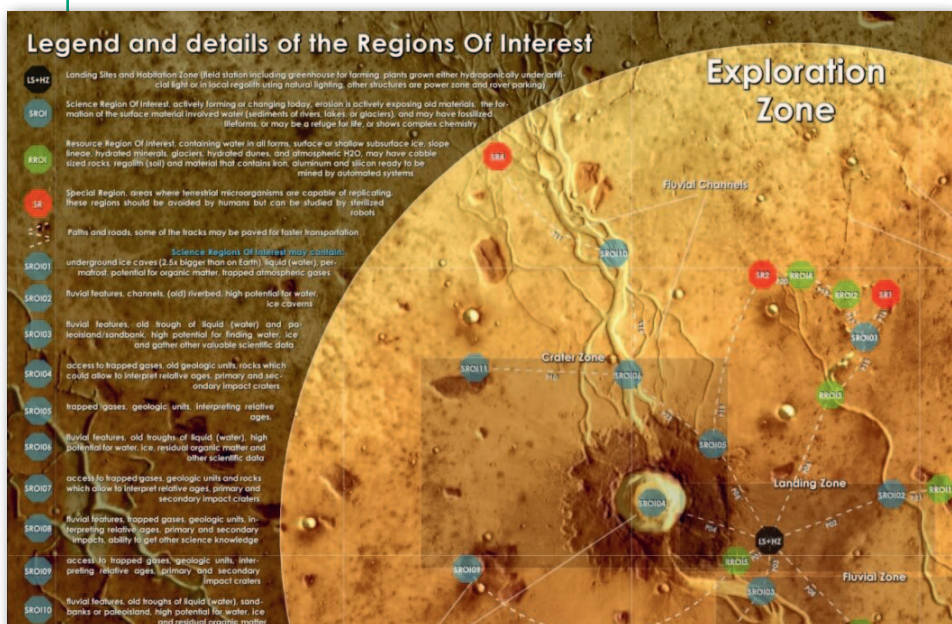
– Nie można zapominać również o młodym pokoleniu naukowców. Przykładowo na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego pod moją i doktor Łosiak opieką realizowane są dwie prace magisterskie dotyczące analiz i kartowania wybranych powierzchni Marsa. Naturalnie mamy nadzieję, że staną się one początkiem przygody z tematyką marsjańską – mówi dr Gołębiowska.

Dr Anna Łosiak i dr Izabela Gołębiowska współpracują ze sobą od lat. Zajmowały się m.in. prowadzeniem eksperymentów i koordynacją zadań zespołu naukowego w czasie analogowych misji marsjańskich (testów na Ziemi w warunkach zbliżonych do marsjańskich) we współpracy z Austrian Space Forum. Zakres prac obejmował również zaplanowanie sposobu organizacji danych przestrzennych wraz z nanoszeniem tras przejścia analogowych astronautów, miejsc poboru przez nich próbek i realizacji eksperymentów. Badaczki z PAN i UW razem opublikowały także rozdział w książce „Planetary Cartography and GIS” na temat znaczenia i potrzeby



For: Sim and Stack, 2020. <https://doi.org/10.3183/jsm3464>

Fragment mapy geologicznej USGS krateru Jezero



Fragment mapy strefy eksploracyjnej Hebrus Valles autorstwa Mateusza Pitury

wykorzystania map w misjach dotyczących eksploracji Marsa.

– Sama zajmuję się głównie badaniem współcześnie zachodzących procesów geologicznych w obrębie północnych równin Czerwonej Planety – tłumaczy dr Łosiak. – Wraz z zespołem przeprowadziłam modelowanie numeryczne przepływu ciepła, które pokazało, że w trakcie najcieplejszych letnich dni promieniowanie słoneczne docierające do planety może być wystarczające do stopienia lodu wodnego poniżej warstwy ciemnego pyłu na najbardziej stromych zboczach skierowanych na południe – opowiada.

Dr Łosiak brała też udział w dużym międzynarodowym projekcie mapowania form terenu związanych z wieloletnią zmarzliną. Jak ustalili wówczas badacze, na północnej półkuli lodu może być więcej, niż dotąd sądzono. Pokazuje to pierwsza szczegółowa mapa form ukształtowania terenu Czerwonej Planety, która powstała w ramach projektu. Dostępny lód może ułatwić kolonizację Marsa i badania samej planety.

• Mapa do prac terenowych

Polscy badacze chętnie podejmują też temat misji załogowych i eksploracji

Czerwonej Planety. W 2016 r. roku Mateusz Pitura, wówczas student V roku geologii z Uniwersytetu Wrocławskiego, zajął pierwsze miejsce w konkursie organizowanym przez NASA oraz Komisję ds. Kartografii Planetarnej Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej, w którym należało wykonać mapę jednej z 47 stref eksploracyjnych Marsa. Wybrał on region o nazwie Hebrus Valles znajdujący się na południowej granicy równiny Utopia Planitia, która w przeszłości była częścią wielkich północnych oceanów. Jak wyjaśnia Mateusz Pitura, jest to imponujące miejsce ze względu na system kanałów oraz zapadnięte elementy terenu, które utworzyły rozbudowany zespół jaskiń. Wielu naukowców uważa, że w jaskiniach tych można znaleźć wodę, lód, a nawet ślady istnienia życia. Obszar Hebrus Valles pokryty jest też ogromnymi i głębokimi kraterami – ich zbadanie może pomóc geologom odtworzyć historię planety.

Przy opracowaniu mapy autor korzystał z danych dostępnych w internecie (w tym numerycznych modeli terenu i zdjęć satelitarnych z marsjańskich orbiterów), artykułów naukowych na temat badanego rejonu i planety, a także z kilku aplikacji: JMars (do analizy i pozyskania zdjęć), ArcGIS (do opracowania kartograficznego) oraz Adobe Photoshop (do opracowania graficznego).

Mateusz Pitura jest przekonany, że stworzona przez niego mapa strefy eksploracyjnej Hebrus Valles ułatwiłaby pracę astronautom podróżującym i starającym się przetrwać w niesprzyjającym marsjańskim środowisku. Zawiera ona informacje zarówno o ważnych, jak i groźnych miejscach, o odległościach czy o bezpiecznych trasach – jakże pomocne w odkrywaniu tajemnic Marsa.

• Cel: terratransformacja

Jeszcze dalej w przyszłość wybiegają naukowcy z wydziałów Geodezji i Kartografii oraz Elektroniki i Techniki Informatycznych



Słowiński Park Narodowy: pomiary testowe form terenowych podobnych do marsjańskich



Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Institut de Planétologie et d'Astrophysique w Grenoble. Celem projektu „Mars”, którym kieruje dr hab. Robert Olszewski z Zakładu Kartografii PW, jest opracowanie koncepcji i prototypu systemu symulacji procesu terratransformacji Marsa. Będzie on służył do wariantowych analiz terratransformacji planety (m.in. poprzez roztopienie czap lodowych, rozpylenie gazów cieplarnianych czy też uderzenie ściągniętej z Pasa Kuipera planetoidy). W tym celu naukowcy przygotowują metodykę i prototyp systemu modelowania procesu terratransformacji, wykorzystując jako narzędzie tzw. automaty komórkowe. Istotnym elementem realizacji tego procesu jest wykorzystanie wiarygodnych danych przestrzennych, dlatego też w ramach prowadzonych badań tworzone są wielorozdzielcze modele terenu na podstawie zobrazowań satelitarnych z orbiterów marsjańskich.

Fot. Emirates Mars Mission/EXI

Ponadto opracowany zostanie system klasyfikacyjny geomorfologicznych form rzeźby terenu (eolicznych i impakto- wych) występujących na Marsie. Wykorzystuje on metody uczenia maszynowego typu *deep learning*, wieloźródłowe dane i modele rzeźby terenu oraz pomiary planetarne realizowane przez łaziki marsjańskie Opportunity oraz Curiosity. W lutym br. udało się już przeprowadzić pomiary testowe w Słowińskim Parku Narodowym. – Szukaliśmy w Polsce form podobnych do marsjańskich, aby móc oszacować dokładność analogicznych pomiarów na Czerwonej Planecie. Zdecydowaliśmy się na słowińskie wydmy. Firma OPEGIEKA wykonała nalot fotogrametryczny, my sami pozyskaliśmy takie zdjęcia naziemne, jakie mógłby zrobić łazik, oraz pomierzyliśmy badane formy metodą RTK. Dzięki temu wynik przetworzenia danych fotogrametrycznych przez system klasyfikacyjny będziemy mogli porównać z pomiarami satelitarnymi, a to pozwoli nam na oszacowanie dokładności zastosowania tej technologii do analizy form marsjańskich – wyjaśnia dr Olszewski.

Prace nad projektem ruszyły jesienią i mają zakończyć się wiosną 2022 roku. W zakresie rozpoznawania form na Marsie jest to pionierskie przedsięwzięcie.

Zdjęcie Marsa wykonane przez sondę Al Amal. Widoczny Olympus Mons – największy wulkan Układu Słonecznego

Zdaniem Roberta Olszewskiego wyniki badań zainteresują dwie grupy odbiorców. – Pierwszą z nich są badacze specjalizujący się w geologii i geomorfologii planet, którzy wcześniej nie dysponowali narzędziami ani umiejętnościami do automatycznego rozpoznawania i klasyfikacji pozaziemskich form terenu. Druga grupa to osoby, które w przyszłości podejmą się realizacji procesu terratransformacji Marsa. Bo wierzę, że prędzej czy później do tego dojdzie – podkreśla naukowiec z PW.

● To jest rok Marsa

Obecnie oczy większości pasjonatów Marsa zwrócone są na łazik Perseverance, który z powierzchni Czerwonej Planety przesyła kolejne zdjęcia i dane. Jednak misja „Mars 2020” nie jest jedyną, która w tym roku weszła w decydującą fazę. 9 lutego na orbitę Marsa dotarła sonda Zjednoczonych Emiratów Arabskich Al Amal (Nadzieja). Głównym zadaniem misji jest badanie marsjańskiej atmosfery. Sonda została wyposażona w trzy instrumenty naukowe: multispektralną kamerę EXI działającą w świetle widzialnym i ultrafioletowym, spektro-

metr dalekiego ultrafioletu EMUS oraz spektrometr skaningowy EMIRS działający w podczerwieni.

Dzień później do sondy Al Amal na orbicie wokół Marsa dołączyła chińska misja Tianwen 1 – pierwsze samodzielne przedsięwzięcie badawcze Czerwonej Planety prowadzone przez Chińską Narodową Agencję Kosmiczną. Najprawdopodobniej w maju orbiter Państwa Środka wypuści lądowik z łazikiem, które wykonają próbę lądowania w Utopia Planitia. Celem tej misji jest m.in. badanie morfologii i struktury geologicznej Marsa, własności gruntu, a także rozmieszczenia wody w formie lodu pod powierzchnią.

W latach 60. i 70. ubiegłego wieku wydawało się, że kosmos stoi przed ludzkością otworem, a loty załogowe na planety Układu Słonecznego to kwestia 20, może 30 lat. Jak dobrze wiemy, przewidywania te okazały się nazbyt optymistyczne. Wygląda jednak na to, że wyścig kosmiczny znów przyspieszył, pojawili się nowi zawodnicy. Ale jakkolwiek by ten wyścig się rozwinął, bez precyzyjnych map i danych przestrzennych raczej nie mamy czego w kosmosie szukać.

Damian Czekaj