

Recenzja
rozprawy doktorskiej Pani Joanny Kozakiewicz
pt. "Aeolian transport on Mars in Meridiani Planum"
przygotowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i
Środowisku, Pana prof. dr hab. Michała Gradzińskiego.

Od paru dekad wiadomo, że działalność wiatru jest jednym z najważniejszych procesów sedymentologicznych i morfologicznych rozwijających się obecnie na powierzchni Marsa. W pracach badawczych podejmujących problem współczesnej aktywności eolicznej na Marsie można znaleźć informacje o zróżnicowanej dynamice tych procesów, szczególnie w związku z klimatyczną strefowością marsjańską (np. Bourke i in. 2008; Chojnacki i in. 2014, 2023). Wiedza na ten temat jest jednak w dalszym ciągu dość skąpa, co ostatnio podkreślili Diniege, Burr i in. (2022), stwierdzając, że potrzebne są nowe dane umożliwiające odpowiedź na kilka kluczowych pytań, dotyczących między innymi reakcji form eolicznych na reżim wiatru marsjańskiego, w tym zwłaszcza szybkość transportu eolicznego. W tym nurcie badań aktywności procesów eolicznych na Marsie mieści się dysertacja doktorska Pani Joanny Kozakiewicz.

Na dysertację tę składają się:

- tekst wprowadzający w zagadnienie aktywności procesów eolicznych na Marsie (18 str.), obejmujący m.in. omówienie dotychczasowego stanu znajomości środowiska marsjańskiego, aktywności transportu eolicznego na Marsie, charakterystyki obszaru Meridian Planum i misji Opportunity (NASA MER mission); w tym tekście zaprezentowano również wykorzystane materiały badawcze oraz zastosowane metody badań, a także najważniejsze uzyskane wyniki;
- oryginalny artykuł naukowy autorstwa doktorantki pt. „Image analysis algorithm for detection and measurement of Martian sand grains” (16 str.), opublikowany w 2018 r. w renomowanym czasopiśmie *Earth Sciences Informatics* (IF-2,8);

- oryginalny obszerny artykuł współautorski, (doktorantka jest autorem korespondencyjnym) pt. „Sands on Meridiani Planum, Mars” (30 str.), opublikowany w 2023 r. w *Journal of Geophysical Research: Planets* (IF – 4,8), wraz z dodatkową informacją (27 str.) zawierającą dokumentację fotograficzną wykorzystaną w artykule, a także zestawienia tabelaryczne prezentujące opis 184 obiektów badawczych (Tab. S1), wyniki statystyczne uziarnienia analizowanych osadów (Tab. S2) oraz wyniki analizy kształtu ziaren (Tab. S3).
- deklaracje i opis wkładu własnego współautorów (dr Macieja Kani, dr Doroty Salaty oraz mgr Leszka Nowaka) w powstanie artykułu „Sand on Meridiani Planum, Mars”, z których wynika, że łączny udział współautorów wynosił 11 %.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorantka podjęła ambitny a jednocześnie bardzo trudny problem badawczy, zwłaszcza od strony metodycznej, ponieważ transport eoliczny w środowisku marsjańskim jest z różnych względów trudno uchwytany. Z jednej strony zależy on od znanych globalnych parametrów środowiskowych Marsa, takich jak gęstość atmosfery czy grawitacja, a z drugiej strony na transport eoliczny wpływają zmienne i trudno mierzalne lokalne parametry środowiska, w tym szczególnie prędkość wiatru, skład granulometryczny ziaren oraz gęstość mieszaniny powietrza i pyłu marsjańskiego. A właśnie podczas marsjańskich burz pyłowych następuje najprawdopodobniej najbardziej znaczący transport ziaren mineralnych i lodowych (?) w strefie przypowierzchniowej, a jednocześnie w tym czasie brak możliwości zdalnych obserwacji tych procesów ze względu na zapylenie marsjańskiej atmosfery.

Głównym celem badań Doktorantki jest próba określenia ograniczeń transportu eolicznego na obszarze Meridiani Planum, związanych z właściwościami samych osadów oraz form eolicznych rozwijających się na tym terenie, w tym także stwierdzenie czy formy te są obecnie aktywne, czy rozwijają się tam procesy saltacji i czy aktywność eoliczna wywiera wpływ na samą powierzchnię Meridiani Planum.

Postawiony cel wymagał opracowania szeregu rozwiązań metodycznych umożliwiających ocenę intensywności procesów eolicznych. Jedno z takich rozwiązań, zaproponowano w artykule opublikowanym w *Earth Sciences Informatics* („Image analysis algorithm for detection and measurement of Martian sand grains”), które dotyczyło metody pomiaru wielkości ziaren piasku marsjańskiego. Doktorantka, wykorzystując liczne zdjęcia ziaren piasku wykonane na powierzchni Marsa podczas

misji Mars Exploration Rover przez łaziki marsjańskie (Spirit i Opportunity), zastosowała i przetestowała algorytm Particle Detection and Measurement (PADM), który pozwala na szybką detekcję i pomiar poszczególnych ziaren, a także dostarcza wyniki statystyczne. W celu zwiększenia dokładności pomiarów zastosowano podejście półautomatyczne, umożliwiające ingerencję badacza w proces pomiaru. W procesie testowania zaproponowanej metody użyto także zdjęcia trzech rodzajów ziemskich próbek piasku o zróżnicowanym uziarnieniu oraz składzie mineralnym (1- bazaltowy piasek plażowy z Islandii; 2 – kwarcowy i bazaltowy piasek z pola wydmy Grand Falls z Arizony oraz 3 – drobnoziarnisty piasek kwarcowy z Pustyni Błędowskiej), co pozwoliło na porównanie wyników składu granulometrycznego piasku określonego przy wykorzystaniu procedury PADM z wynikami pomiarów uzyskanych przy pomocy metody sitowej oraz innych systemów pomiarowych stosowanych i opisanych w literaturze przedmiotu (ImageJ oraz Malvern Morphologi G3 system).

W rezultacie okazało się, że opracowana metoda półautomatyczna pozwala na szybką analizę granulometryczną różnych osadów, a jednocześnie zapewnia uzyskanie wyników porównywalnych z analizą sitową lub innymi metodami analizy granulometrycznej. Pozwala również na badanie kształtu ziaren, a ponadto nie ma żadnych ograniczeń co do ich wielkości.

Zaproponowaną metodę Doktorantka zastosowała między innymi w badaniach stanowiących wszechstronne studium osadów eolicznych występujących na trasie przemieszczania się łazika Opportunity przez obszar Meridiani Planum, które zaprezentowano w w/w artykule współautorskim pt. „Sands on Meridiani Planum, Mars”. W studium tym oprócz wnikliwej analizy uziarnienia i kształtu ziaren (z wykorzystaniem wskaźników statystycznych (miary momentowe średniej średnicy, odchylenia standardowego, skośności i kurtozy) określono również normatywny skład mineralny wybranych ziaren (na podstawie wyników analizy geochemicznej, w tym % udziału pierwiastków głównych), a następnie oszacowano gęstość wybranych osadów.

Wnikliwe studium utworów powierzchniowych przeprowadzone przez Doktorantkę na 184 obiektach występujących na trasie przemieszczania się łazika Opportunity oraz ponad 70000 ziaren, dostarczyło unikatowych danych dotyczących odrębności osadów w obrębie różnych sytuacji morfologicznych występujących na Meridian Planum. Inny typ uziarnienia osadów stwierdzono za znaczącymi przeszkodami

topograficznymi (pył i bardzo drobny piasek), inny w zagłębieniach terenu (piasek drobnoziarnisty), inny na polach ripplemarków (piasek bardzo gruboziarnisty), a jeszcze inny na obrzeżach kraterów impaktowych (żwir i kamienie). Natomiast na dnie większych kraterów, w obrębie form wydmowych, przechwytywany jest piasek średnioziarnisty, który nie występuje na terenach równinnych.

Doktorantka udokumentowała również znaczną jednolitość mineralogiczną piasków drobnoziarnistych, w odróżnieniu od piasków gruboziarnistych i żwirów, charakteryzujących się zróżnicowanym składem chemiczno-mineralogicznym. Stwierdziła również, że piaski występujące na równinach charakteryzują się bardziej zaokrąglonymi ziarnami i są wzbogacone w żelazo (okrągłe ziarna hematytu) w porównaniu z osadami na krawędzi krateru.

Wyniki analiz uziarnienia oraz oszacowanej gęstości ziaren pozwoliły Doktorantce na obliczenie prędkości progowych potrzebnych do uruchomienia ziaren o różnych frakcjach, a także prędkości niezbędnych do podtrzymania transportu saltacyjnego. W tym wypadku Pani Joanna Kozakiewicz wykorzystała stosowane w literaturze wzory na obliczenie tych prędkości.

Biorąc pod uwagę fakt, że wyniki badań Pani Joanny Kozakiewicz, stanowiące osiągnięcie doktorskie, zostały opublikowane w renomowanych periodykach naukowych o wysokim IF, a zatem przeszły przez system wnikliwego recenzowania przez specjalistów z zakresu tematyki sedymentologii i morfologii Marsa, nie zgłaszam uwag formalnych i merytorycznych.

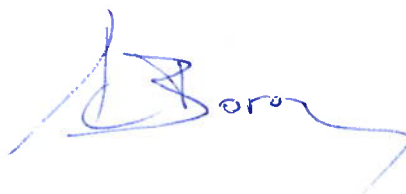
Na marginesie zaprezentowanych wyników badań istotne wydaje się pytanie – czy kuliste ziarna hematytu wyerodowane z osadów środowiska wodnego (jeziornego ? morskiego ?), a stanowiące niekiedy swoisty bruk deflacyjny, zawdzięczają swój kształt procesom obróbki eolicznej czy też jest to ich pierwotny kształt, związany z formą krystalizacji hematytu (konkrecje).

Istotne jest również pytanie, na ile wyniki przeprowadzonych badań na trasie przemieszczania się łazika Opportunity, wspierają lub wykluczają koncepcję impaktowej genezy sferuli hematytowych.

Konkludując należy podkreślić, że w artykułach przedstawionych jako osiągnięcie doktorskie Pani Joanna Kozakiewicz zaprezentowała oryginalne rozwiązanie problemu określenia uziarnienia marsjańskich osadów okruchowych na podstawie zdjęć dostarczonych przez łaziki Spirit i Opportunity. W swoich dociekaniach naukowych wykazała się dogłębną znajomością działalności procesów eolicznych

oraz ich skutków morfologicznych i sedymentologicznych przejawiających się zarówno w warunkach ziemskich jak i w całkowicie odmiennym środowisku marsjańskim. Cały proces badawczy przedsięwzięty przez Doktorantkę, polegający najpierw na opracowaniu odpowiedniej metody pomiarów wielkości i kształtu ziaren marsjańskich osadów okruchowych, a następnie opisu zmienności uziarnienia osadów na trasie przemieszczania się łazika Opportunity, a także powiązania tej zmienności z lokalnymi warunkami morfologicznymi i litologicznymi i wreszcie odpowiedniego opublikowania uzyskanych wyników świadczy o wysokiej dojrzałości naukowej Pani Joanny Kozakiewicz oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowane osiągnięcie doktorskie spełnia z nawiązką warunki określone w *art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 13.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki*. A zatem wnioskuję o dopuszczenie Pani Joanny Kozakiewicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie zwracam się z wnioskiem do Wysokiej Rady Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego o rozważenie przyznania Doktorantce odpowiedniej nagrody naukowej.



Szczecin, dnia 28.03.2024r.