

Małgorzata BRONIKOWSKA<sup>1</sup>

# Jak powstały Kratery Morasko? Rewizja istniejących poglądów dotyczących genezy zagłębień w rezerwacie pod Poznaniem

How the Morasko craters were formed? The revision of existing opinions regarding the formation of depressions in the reserved area near Poznan

**Abstract:** Although the first Morasko meteorite has been found over 100 years ago, the discussion about the Morasko strewn field and craters is still ongoing. In this paper, the revision of existing opinions on the Morasko craters formation and origin is conducted regarding to numerical modeling results and current knowledge about impact cratering processes.

**Keywords:** impact craters, strewn field, iron meteorite

## Wstęp

Kratery Morasko znajdujące się w rezerwacie przyrody pod Poznaniem od lat budzą wiele kontrowersji. W dyskusji dotyczącej ich genezy, morfologii oraz wieku pojawiają się zarówno dowodzenia naukowe, jak i nieścisłości, czy dalece idące hipotezy amatorskie. Mnogość poglądów dotyczących powstania bezodpływowych zagłębień obserwowanych w Rezerwacie Morasko powoduje nie tylko chaos informacyjny i dezorientację. Wymusza także usystematyzowanie funkcjonujących dziś poglądów w celu podzielenia ich na fakty naukowe i daleko idące koncepcje nie mające ugruntowania w wiedzy dotyczącej kolizji ciał kosmicznych z Ziemią. Artykuł ten ma na celu rewizję współczesnych poglądów dotyczących spadku moraskiego poprzez poddanie ich naukowej krytyce. Stanowi więc polemikę z tymi hipotezami odnoszącymi się do powstania kraterów Morasko, które nie posiadają ugruntowania naukowego.

Pierwszą część artykułu stanowi streszczenie istniejących hipotez dotyczących spadku moraskiego, w tym hipotezy Bolidu Wielkopolskiego (Czajka 2010, 2011), poglądu głoszącego, że obserwowane kratery mają genezę glacialną, zaś znajdujące meteoryty Morasko spadły współcześnie (Socha 2011), czy hipotezy

---

<sup>1</sup> Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geologii, ul. Krygowskiego 12, 60-680 Poznań; e-mail: [malgorzata.bronikowska@amu.edu.pl](mailto:malgorzata.bronikowska@amu.edu.pl)

skośnych impaktów (Walesiak 2017). Następnie, główne tezy przedstawione przez autorów są poddane krytyce opartej na współczesnej wiedzy dotyczącej kolizji ciał niebieskich z Ziemią. Ostatnia część artykułu stanowi podsumowanie faktów naukowych dotyczących kraterów Morasko oraz ich implikacji dla genezy oraz wieku zagłębień. W związku z tym obowiązująca teoria naukowa powstania kraterów oraz elipsy rozrzutu w rezerwacie pod Poznaniem omówiona jest w niewielkim stopniu i jedynie na końcu niniejszego opracowania. Jej szczegółowy opis znaleźć bowiem można w innych artykułach (np. Bronikowska i in. 2017).

## Istniejące hipotezy dotyczące powstania kraterów Morasko

### Koncepcja Bolidu Wielkopolskiego

Koncepcję Bolidu Wielkopolskiego opartą na pracy Bartoszewitza (2001) zaproponował po raz pierwszy Wiesław Czajka (2010). Autor tego poglądu, opierając się na zapiskach historycznych, odtwarza trajektorię meteoroidu moraskiego z kierunku SE do NW, uznaje meteoryty Przełazy oraz Morasko jako ślady pozostawione przez ten sam bolid (Bolid Wielkopolski), a także z dużą precyzją datuje ich spadek na początek 1304 rok (Czajka 2010). Mimo, że hipoteza ta była w późniejszych pracach Czajki (2015) nieznacznie modyfikowana, jej główne założenia pozostały niezmienione. Niezmieniona pozostała także, oparta na źródłach historycznych, argumentacja na rzecz hipotezy Bolidu Wielkopolskiego.

### Koncepcja glacialnej genezy kraterów Morasko

Pogląd głoszący glacialne pochodzenie zagłębień obserwowanych w rezerwacie Morasko oraz współczesną genezę elipsy rozrzutu meteorytów Morasko został zaprezentowany przez Krzysztofa Sochę (2011) i stanowi pewną kontynuację wcześniejszych poglądów. Przypuszczenia Sochy oparte zostały o badania fragmentu meteorytu wbitego w korzeń drzewa oraz przeprowadzone przez niego eksperymenty mające na celu odtworzenie procesu grzęźnięcia meteorytu żelaznego w drewnie. Z badań tych, Socha wyciągnął wnioski dotyczące młodego wieku spadku, a co za tym idzie – braku powiązania pomiędzy meteorytami a obserwowanymi zagłębieniami bezodpływowymi.

### Koncepcja skośnych impaktów

Ostatnim omawianym poglądem na genezę kraterów Morasko jest hipoteza głosząca, że powstały one na skutek skośnego uderzenia fragmentów meteorytu nadlatujących od strony południowego wschodu. Hipoteza ta oparta o obserwowany kształt kraterów, a także asymetrii otaczających je wałów została zaprezentowana przez Tomasza Walesiaka (2017). Autor tego poglądu uważa ponadto, że obserwowane w rezerwacie Morasko krateru uderzeniowe reprezentują przykład kraterów skośnych, przy czym pod tym pojęciem Walesiak rozumie zagłębienia powstałe na skutek uderzenia meteorytów o małych prędkościach i jednocześnie

pod bardzo niewielkim kątem. Walesiak twierdzi także, że dotychczasowa elipsa rozrzutu meteorytu Morasko powinna zostać poszerzona o znalezisko w Obornikach oraz o zagłębienia znajdujące się na poligonie Biedrusko.

## Hipotezy powstania kraterów Morasko w świetle badań naukowych

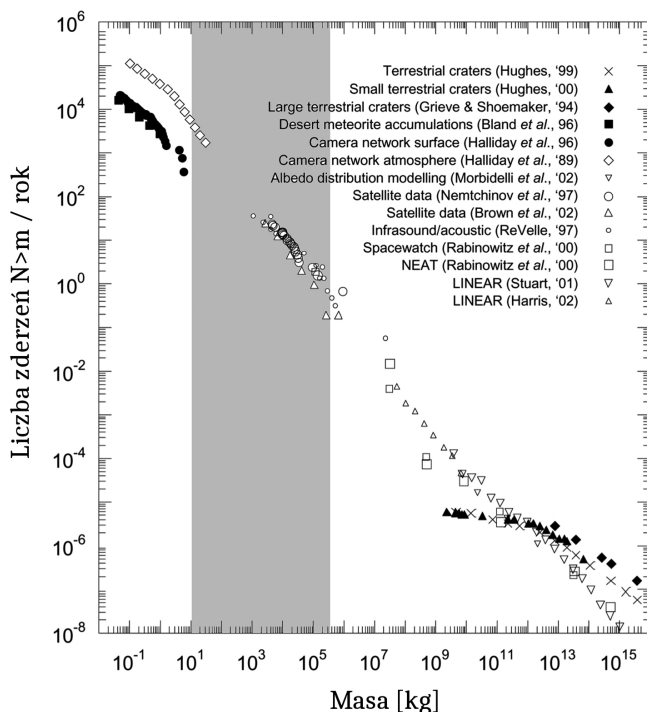
Przedstawione poglądy dotyczące powstania kraterów Morasko wymagają szerszego omówienia i weryfikacji opartej na metodzie naukowej. W związku z tym rozdział ten stanowić będzie porównanie najważniejszych punktów wspomnianych poglądów oraz używanej przez ich autorów argumentacji do współczesnej wiedzy o kolizjach ciał niebieskich z Ziemią.

### Weryfikacja hipotezy Bolidu Wielkopolskiego

Hipoteza Bolidu Wielkopolskiego opiera się na założeniu, że źródła historyczne opisujące spadek „ognistych kamieni” odnoszą się do spadku meteorytu Morasko. Publikowane w rocznikach i kronikach opisy obserwowanego w XIV wieku deszczu meteorytów są zdaniem Czajki (2010) dowodem nie tylko na południowo-wschodni kierunek przylotu meteoroidu Morasko, ale także na bardzo precyzyjne datowanie powstania kraterów uderzeniowych (1304 rok). Tymczasem jednak założenie, jakoby opisywane przez historyków zdarzenie miało jakikolwiek związek z impaktem moraskim jest zbyt daleko idącym wnioskiem. Nie ma bowiem żadnego powodu aby sądzić, że obserwowany w XIV wieku bolid utworzył obecną pod Poznaniem elipsę rozrzutu meteorytów żelaznych.

Po pierwsze, spadki meteorytów wraz z towarzyszącymi im gwałtownymi eksplozjami następującymi w atmosferze ziemskiej (ang. *airburst*) nie są wbrew pozorom zjawiskiem bardzo rzadkim. Wszyscy mogliśmy przekonać się o tym obserwując w lutym 2013 roku bolid Czelabiński. Wówczas niewielka planetoida o średnicy około 20 metrów weszła w atmosferę ziemską, uwolniła w niej około 500 kT energii, spowodowała powstanie fali uderzeniowej wystarczającej do wybiicia okien w budynkach znajdujących się na obszarze kilku kilometrów, a następnie spadła na Ziemię w postaci deszczu niewielkich meteorytów kamiennych (Borovicka i in. 2013; Brown i in. 2013). Mimo spektakularnych efektów dźwiękowych i świetlnych towarzyszących fragmentacji meteoroidu kamiennego nad Czelabińskiem, a także ogromnej energii uwolnionej przez bolid, spadek ten nie dał w efekcie żadnych kraterów uderzeniowych. Takie spektakularne eksplozje obiektów kosmicznych w atmosferze ziemskiej, mogące być widoczne w promieniu nawet kilkuset kilometrów, zdarzają się nawet co kilkadziesiąt lat. Trudno zatem zakładać, że obserwowany w 1304 roku bolid był właśnie tym, który utworzył kratery uderzeniowe, bowiem pewna koincydencja tych zdarzeń jest możliwa, choć niezwykle mało prawdopodobna.

Kolejną słabą stroną koncepcji Bolidu Wielkopolskiego jest założenie, że fragmentacja meteoroidu Morasko była w ogóle spektakularnie widoczna. Jak wiadomo, interakcja meteoroidów żelaznych z atmosferą ziemską jest znacznie mniej



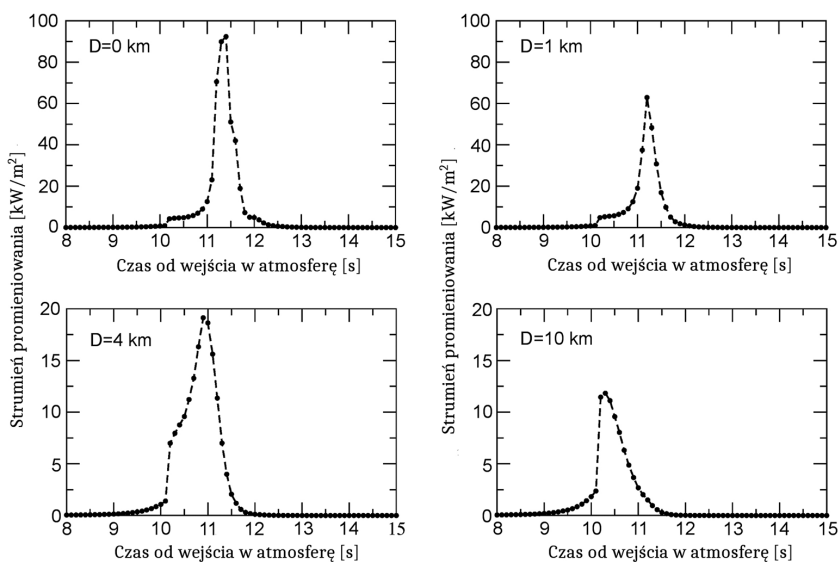
**Fig. 1.** Częstości występowania zderzeń Ziemi (oś Y) z obiektami o różnych masach (oś X), wykres zmodyfikowano za Bland i Artemiewa (2006) poprzez zaznaczenie szarym obszarem zakresu mas obiektów, których spadki mogą skutkować jasnymi bolidami nie pozostawiającymi po sobie kraterów uderzeniowych. Na wykresie różne symbole oznaczają punkty uzyskane za pomocą różnych technik obserwacyjnych oraz analitycznych (patrz legenda). Warto zaznaczyć, że wykres ten bierze pod uwagę jedynie masę obiektów, nie zaś ich skład chemiczny. Jak można zauważyć, obiekty o masie kilkudziesięciu ton spadają na Ziemię w interwale czasowym około 1 roku. Rozbłyski takich obiektów mogą być widoczne w promieniu kilkudziesięciu kilometrów, zaś ich spadki mogą skutkować niewielkimi elipsami rozrzutu.

widowiskowa niż ich kamiennych odpowiedników. Dzieje się tak ponieważ sposób dystrybucji energii w atmosferze jest inny dla ciał o różnej wytrzymałości i składzie chemicznym (Chyba i in. 1993). Podczas gdy meteoroidy kamienne „wybuchają” deponują niemal całość swojej energii początkowej w atmosferze, fragmentacja meteoroidów żelaznych przebiega znacznie mniej dynamicznie, w efekcie czego, część energii pozostaje zdeponowana na Ziemi i zużyta na powstanie kraterów uderzeniowych. Również wśród meteoroidów żelaznych istnieją różnice w wytrzymałości, które sprawiają, że fragmentacje niektórych z nich (na przykład Sikhote-Alin) są bardziej widowiskowe od innych. W przypadku multi-fragmentacji, podczas której meteoroid doświadcza kolejnych gwałtownych zmian prędkości deponując przy tym znaczną ilość energii w atmosferze, świecenie obiektu jest znacznie intensywniejsze niż w sytuacji, kiedy mamy do czynienia z jedną główną fragmentacją. Podczas impaktu moraskiego, co dowiedziono numerycznie (Bronikowska i in. 2017), kratery uderzeniowe powstały z fragmentów pochodzących z jednego rozpadu, trudno zatem mówić, że uwolniona wówczas energia wystarczyła do spektakularnego świecenia. O ile zatem w przypadku bolidu Czelabińskiego

możemy mówić o wielkim, widowiskowym rozbłyku (mimo braku kraterów), o tyle w przypadku Moraska zaistnienie takiego zjawiska jest wysoce mało prawdopodobne.

Na figurze 2 przedstawiono wykresy obrazujące ilość energii termalnej uwolnionej w atmosferze przez meteoroid Morasko. Wykresy te powstały przez obliczanie sumy różnic energii na poszczególnych interwałach wysokości podczas spadku meteoroidu żelaznego o parametrach początkowych reprezentatywnych dla meteoroidu Morasko (Bronikowska i in. 2017), a następnie przeliczenie jej na energię termalną zgodnie z przelicznikiem powszechnie używanym dla meteoroidów żelaznych. Wykresy te jawnie wskazują, że ilość energii wypromieniowanej w postaci ciepła była w przypadku meteoroidu Morasko znikoma. Najprawdopodobniej zatem bolid ten był obserwowany przez ludzi zamieszkujących obszar w promieniu kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów od kraterów uderzeniowych. Dystans ten mógł być jeszcze mniejszy, jeśli impakt Moraski wydarzył się w ciągu dnia.

Podsumowując, hipoteza Bolidu Wielkopolskiego opiera się na dalece idących, nieuprawnionych założeniach, które w świetle metody naukowej nie kwalifikują jej do grona teorii mogących wyjaśniać powstanie kraterów Moraskich. Założenia, na których oparty jest pogląd Czajki są jednak nie tylko nieuprawnione w sensie metodologicznym. Zaprzeczają one także współczesnym osiągnięciom naukowym w dziedzinie zderzeń Ziemi z obiektami kosmicznymi poprzez ignorowanie faktów, takich jak częstość pojawiania się jasnych bolidów na niebie. W związku z powyższym hipotezę tę należy uznać za jednoznacznie nienaukową.



**Fig. 2.** Wyliczony przy pomocy modelowania numerycznego (opis metody można znaleźć w Bronikowska i in. 2017) strumień promieniowania termalnego padającego na metr kwadratowy powierzchni w odległości 0, 1, 4 i 10 kilometrów od największego krateru Morasko w funkcji czasu od wejścia meteoroidu w atmosferę ziemską. Wyraźne maksima widoczne na wykresach są spowodowane uderzeniem największego fragmentu meteoroidu (w przypadku bliskich odległości od kraterów) lub jego fragmentacją (w przypadku odległości 10 km).

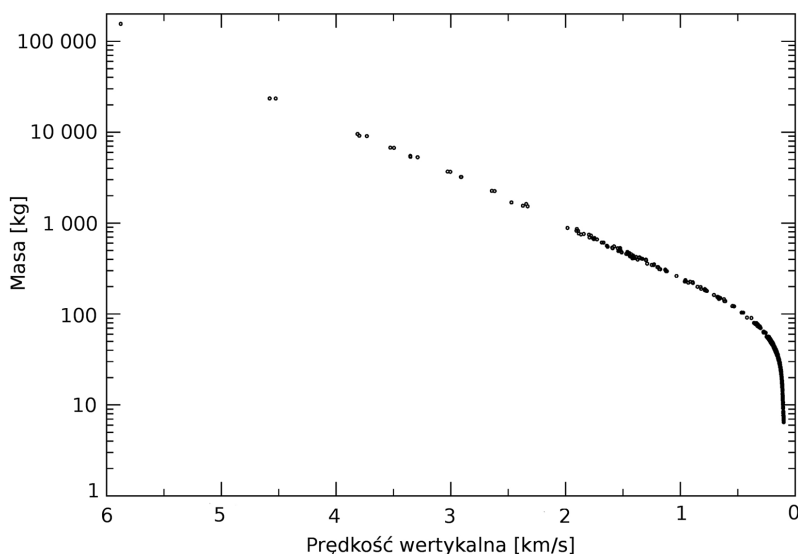
## Weryfikacja hipotezy glacialnej genezy kraterów Morasko i niezależnie istniejącej elipsy rozrzutu

Hipoteza glacialnej genezy zagłębień bezodpływowych obserwowanych na terenie rezerwatu Morasko ma swoje podstawy w badaniach wykonanych przez Karczewskiego w latach 70. ubiegłego wieku (Karczewski 1976). Wówczas to, na podstawie wykonanych odsłonień, Karczewski stwierdził, że obserwowana przez niego budowa geologiczna w pobliżu kraterów jest przykładem rzeźby polodowcowej. Taka interpretacja danych zebranych podczas prac terenowych była oczywistym odzwierciedleniem ówczesnego stanu wiedzy – nauka o kraterach uderzeniowych dopiero powstawała, zaś sama rzeźba terenu jest typowa dla historii geologicznej regionu. Nie dysponując datowaniami organicznego wypełnienia zagłębień oraz nie znajdując gleby przykrytej przez osad wyrzucony podczas formowania się kraterów, Karczewski nie mógł dojść do innych niż opisane przez siebie wnioski. Mimo, że swoją pracę wykonał niezwykle sumiennie i dokładnie, nie mógł odgadnąć znanych dziś faktów.

Jako pierwsi datowanie wskazujące na wiek zagłębień obserwowanych w rezerwacie Morasko znacznie młodszy od ostatniego zlodowacenia Polski uzyskali Tobolski (1976) oraz Stankowski i Muszyński (1999). Wówczas hipoteza o glacialnym pochodzeniu kraterów została ostatecznie sfalsyfikowana. Kolejne datowania (Stankowski 2008; Szczuciński 2016) potwierdziły, że niezależnie od użytej metody wyznaczenia wieku spadku Morasko, wydarzenie to nie miało związku z pokrywą lodową. Skoro zatem istnienie kraterów uderzeniowych Morasko stało się faktem, naturalnym było także połączenie ich z występującą w tym samym miejscu elipsą rozrzutu. Trudno bowiem spodziewać się dwóch osobnych spadków meteorytów na tak niewielkim obszarze.

Socha zdaje się jednak w swojej hipotezie ignorować fakty naukowe. Zamiast tego dowodzi, że znaleziony przez niego kawałek meteorytu wbity w korzeń, uderzył pionowo we współcześnie rozwijające się drzewo (Socha 2011). Popelnia przy tym także szereg błędów merytorycznych. Po pierwsze – twierdzi, że okaz o wadze poniżej 1 kg miał prędkość uderzenia wystarczającą do wbicia się w drewno. Jak wiadomo, deceleracja (spowolnienie) będąca odwrotnie proporcjonalna do masy, działa w atmosferze najsilniej właśnie na niewielkie meteority (Chyba i in. 1993). Obserwacyjnym odbiciem tej zasady jest fakt, że niewielkie meteority (poniżej 1 kg) nie są znajdowane głęboko w ziemi. Przykładowe prędkości wertykalne meteorytów powstałych wskutek fragmentacji meteoroidu żelaznego w atmosferze ziemskiej przedstawiono na figurze 3. Prędkości te zostały obliczone w drodze symulacji numerycznych (Bronikowska i in. 2017). Wyjątek mogą stanowić szrapnele – fragmenty powstałe po eksplozji towarzyszącej powstaniu krateru. Takie wbite w pnie drzew szrapnele obserwowano wielokrotnie w przypadku innych impaktów.

Po drugie, Socha twierdzi, że znaleziony przez niego okaz był indywidualny, natomiast w chwili wbicia się w drzewo oznaczał się wysoką temperaturą. Takie twierdzenie również przeczy współczesnej wiedzy na temat kolizji ciał niebieskich

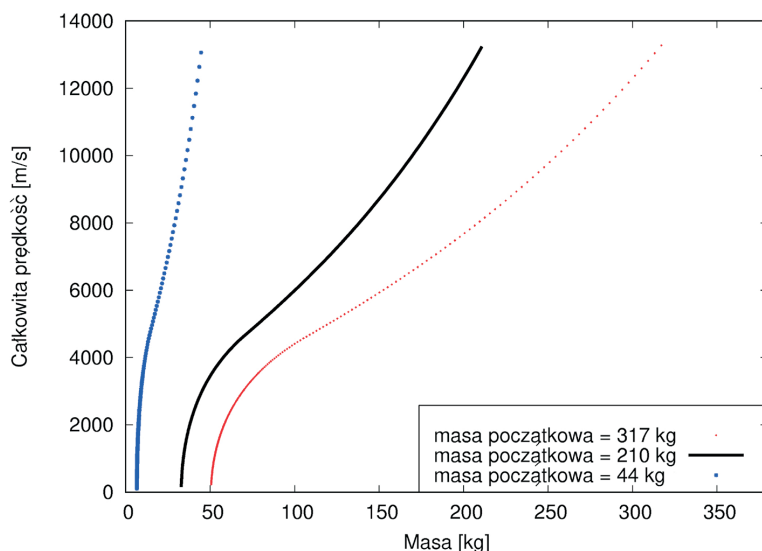


**Fig. 3.** Prędkości wertykalne meteoroidów żelaznych powstałych wskutek fragmentacji meteoroidu o parametrach początkowych reprezentatywnych dla meteoroidu Morasko (Bronikowska i in. 2017) w chwili uderzenia w Ziemię.

z Ziemią oraz procesów, którym poddawany jest meteoroid jeszcze w atmosferze ziemskiej. Bowiem małe meteoryty spadają zimne. Dzieje się tak, ponieważ tarcie cząsteczek atmosfery o powierzchnię meteorytu powodujące ablację i będące głównym źródłem ciepła, zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się prędkości spadającego ciała. Kiedy osiąga ono prędkość spadku swobodnego, ciepło przestaje być wytwarzane, natomiast kontakt meteorytu z zimną atmosferą powoduje niemal natychmiastowe stygnięcie.

Figura 4 pokazuje w jaki sposób deceleracja (utrata prędkości) zależy od zmieniającej się podczas spadku masy (ablacji). Widać, że niewielkie meteoryty bardzo szybko wytracają swoją prędkość, przez co spadają z niewielką energią oraz z prędkością niewystarczającą do wytworzenia ciepła. Czas, który ze względu na swój powolny spadek spędzają w atmosferze jest też na tyle długi, aby je całkowicie wystudzić. Oczywiście twierdzenie, że niewielkie meteoryty spadają z małą energią kinetyczną jest prawdziwe w przypadku, kiedy są one wynikiem fragmentacji. Dysrupcja atmosferyczna spowalnia bowiem ciało macierzyste do tego stopnia, że jego fragmenty „dziedziczą” prędkość nie większą niż kilkanaście km/s. W przypadku pojedynczego meteorytu wchodzącego w atmosferę ziemską z prędkością rzędu kilkudziesięciu km/s, może on spaść w siłą pozwalającą na wbicie się w litą skałę.

Trudno także na przedstawionych przez Sochę zdjęciach zidentyfikować „kanał”, który miał zostać uformowany przez spadający meteoryt. Znacznie bardziej możliwe jest, że okaz ten leżał płytko pod warstwą gleby, a następnie wrósł w drzewo jeszcze przed jego ścięciem. Niestety Socha poza swoimi domysłami nie przedstawia dowodów na proponowany przez siebie pogląd.



**Fig. 4.** Prędkości meteoroidów (oś Y) o różnej masie początkowej (legenda wykresu) w funkcji ich masy podczas spadku od wysokości fragmentacji do Ziemi (oś X). Na wykresie widać wyraźnie, że wraz ze spadkiem masy powodowanym ablacją zmniejsza się całkowita prędkość spadającego ciała, przy czym spadek ten jest szybszy dla meteoroidów o mniejszych masach. Prędkości wyznaczone przez symulacje numeryczne (Bronikowska i in. 2017).

Hipoteza Sochy niestety nie bierze pod uwagę współczesnej wiedzy dotyczącej zderzeń Ziemi z ciałami kosmicznymi. W związku z tym jej również nie można uznać za tłumaczącą powstawanie kraterów Morasko.

### Weryfikacja hipotezy skośnych impaktów

Hipoteza skośnych impaktów (Walesiak 2017) oparta jest na założeniu, że kratery Morasko powstały na skutek uderzenia odłamków meteoroidu spadających pod niewielkim kątem, przez co nie tylko zachowały one morfologię specyficzną dla tego typu kraterów, ale także ujawniają kierunek, z którego nadleciał meteoroid będący ciałem macierzystym dla obserwowanej elipsy rozrzutu. Zdaniem autora tego poglądu, dotychczasowa elipsa rozrzutu związana z impaktem moraskim powinna zostać poszerzona o zagłębienia znajdujące się na poligonie wojskowym Biedrusko w kierunku NE. Podobnie jednak, jak w przypadku wcześniej omawianych poglądów, także ten pełen jest merytorycznych błędów i nieuprawnionych wniosków. Weryfikację hipotezy Walesiaka należy jednak zacząć od omówienia podstaw teoretycznych dla kraterów skośnych.

Kratery uderzeniowe, których kształt wykazuje wydłużenie w kierunku będącym przedłużeniem trajektorii tworzącego go meteoroidu, oraz które cechują się asymetrią ilości materiału wyrzucanego z krateru podczas jego formowania tworzą się wówczas, kiedy kąt uderzenia jest mniejszy niż około  $15^\circ$  (Elbeshausen i in. 2009). Aby taki kąt uderzenia mógł zaistnieć, kąt wejścia meteoroidu w atmosferę ziemską musi być większy, ponieważ trajektoria fragmentów meteoroidu po fragmentacji

dąży do spadku wertykalnego ze względu na decelerację – innymi słowy, podczas podróży odłamków przez atmosferę ziemską, kąt ich trajektorii względem horyzontu zwiększa się (Passey i Melosh 1980). Tego typu kratery są zatem rzadko spotykane na Ziemi, ze względu na fakt, że prawdopodobieństwo wejścia w atmosferę ziemską obiektu pod tak niskim kątem jest znikome (Shoemaker 1962). Już biorąc pod uwagę obecny stan wiedzy dotyczący kraterów Morasko oraz skośnych impaktów, hipoteza Walesiaka może zostać sfalsyfikowana. Bowiem w przypadku Moraska dowiedziono przez symulacje numeryczne (Bronikowska 2017), że kąt wejścia meteoroidu w atmosferę był nie mniejszy niż  $30^\circ$ . W związku z tym, w przypadku tego spadku, bardzo wątpliwe jest, aby kąt uderzenia odcisnął się w jakikolwiek sposób na obserwowanej morfologii kraterów. Uwzględniając też skomplikowaną rzeźbę polodowcową, w której utworzone zostały kratery Morasko, a także fakt, że przez długi czas mogły być one erodowane w naturalnych procesach, lub modyfikowane przez działalność ludzką (znajdują się na byłym poligonie wojskowym) trudno zakładać, że morfologia zagłębień obserwowana obecnie jest tą, które została oryginalnie utworzona przez spadające fragmenty meteorytu. Dodatkowo, trajektoria spadku meteorytu Morasko jest jasno wyznaczona przez obserwowaną elipsę rozrzutu (Pilski i in. 2012), na której masy meteorytów posortowane są rosnąco zgodnie z kierunkiem impaktu.

Dodatkowym problemem hipotezy Walesiaka jest włączenie w obręb elipsy rozrzutu zagłębień znajdujących się na poligonie Biedrusko. Pomijając fakt, że dalece nieprawdopodobnym jest, aby kolejne kratery utworzyły się w tak dużej odległości od obecnie obserwowanych w rezerwacie (por. Bronikowska i in. 2017), samo szukanie kraterów uderzeniowych na poligonie jest dosyć wątpliwe metodologicznie. Nie istnieje bowiem żadne kryterium, które pozwala w sposób jednoznaczny odróżnić zagłębienie powstałe w ziemi po eksplozji materiałów wybuchowych, od faktycznego krateru impaktowego. Dlatego przyjmuje się, że aby sugerować impaktowe pochodzenie zagłębienia, koniecznym jest znalezienie w pobliżu meteorytów oraz oznak wskazujących na obecność fali szokowej w podłożu. Niestety warunki te nie są spełnione w przypadku nowych kraterów proponowanych przez Walesiaka, w związku z tym nie ma żadnych przesłanek, aby przyjąć, że powstały one w wyniku kosmicznej kolizji.

Nowa elipsa rozrzutu wyznaczona przez Walesiaka także opiera się na wątpliwych metodologicznie przesłankach. Po pierwsze, autor poglądu skośnych impaktów włącza w nią znalezisko z Obornik, które nie jest zarejestrowanym meteorylem i którego skład chemiczny wraz z miejscem znalezienia nigdy nie został zweryfikowany. Założenie, że jest to meteorylet należący do tej samej elipsy rozrzutu co meteorylet Morasko nie jest zatem uprawnione. Ponadto wątpliwym zdaje się być nakreślenie dokładnej trajektorii odłamków meteoryletu. Trajektorie nakreślone przez Walesiaka zdają się wybiegać z jednego punktu, które zapewne uznaje on za miejsce fragmentacji meteoroidu. Nie podaje on jednak żadnego powodu, dla którego jego zdaniem fragmentacja nastąpiła właśnie tam, a nie w innym miejscu. Jest tak najprawdopodobniej dlatego, że wyznaczenie ścisłego miejsca dysrupcji meteo-

roidu w atmosferze jest niemożliwe, zaś wyznaczenie jego przybliżonego położenia wymaga zaawansowanych symulacji numerycznych.

W poglądzie Walesiaka dopatrzyć się można wielu nieuprawnionych założeń, które wymagają weryfikacji w celu ich dalszego rozpatrywania. Niestety nie uniknął on także błędów merytorycznych wynikających z lekceważenia współczesnych dokonań naukowych dotyczących fizyki zderzeń obiektów o prędkościach ponad dźwiękowych z Ziemią.

## Co zatem faktycznie wydarzyło się na Morasku?

Jak pokazano, wiele nienaukowych poglądów, które w ostatnim czasie próbowały wyjaśnić powstanie kraterów uderzeniowych w rezerwacie pod Poznaniem, posługuje się nieuprawnionymi założeniami lub opiera się na błędnym rozumieniu procesów fizycznych zachodzących podczas zderzeń Ziemi z obiektami kosmicznymi. Pozostaje zatem pytanie, co o kraterach Morasko mówią badania naukowe oparte na obserwacjach, badaniach terenowych oraz symulacjach numerycznych.

Po pierwsze impakt moraski nastąpił między 5000 a 6000 lat temu (Tobolski 1976; Muszyński i Stankowski 1999; Stankowski 2008; Szczuciński 2015). Wskazują na to zarówno datowania wypełnień kraterów, jak i datowania paleogleby, znajdującej się pod warstwą osadów wyrzuconych z największego krateru. Meteoroid Morasko nadleciał od strony północno-wschodniej, o czym świadczy elipsa rozrzutu, na której znaleźć można meteoryty posegregowane w ten sposób, że kierunek wzrostu ich mas wskazuje na kierunek poruszania się meteoroidu oraz jego odłamków. Parametry dynamiczne meteoroidu Morasko w chwili jego wejścia w atmosferę ziemską były typowe dla niewielkich planetoid poruszających się w pobliżu Ziemi – prędkość wejścia w atmosferę wynosiła 16–18 km/s, kąt wejścia między 30 a 43° (Bronikowska i in. 2017). Masa wszystkich znalezionych do tej pory meteorytów, a także niewielkie rozmiary kraterów uderzeniowych sugerują, że meteoroid Morasko był nie cięższy niż 1100 ton, co przekłada się na średnicę około 6 m. (Bronikowska i in. 2017). Symulacje numeryczne pokazują także, że po rozpadzie ciała macierzystego w atmosferze ziemskiej nastąpił spadek wielu dużych kawałków meteorytu, z których tylko niektóre miały wystarczającą energię, aby utworzyć krater uderzeniowe.

Ponadto obserwowane kraterory są kraterami prostymi o kształtach przypominających misy, które ze względu na procesy geologiczne oraz działalność ludzką zdają się być zerodowane i zniekształcone. Asymetria wałów kraterów znajdujących się w rezerwacie jest najprawdopodobniej wynikiem pierwotnego ukształtowania terenu (Włodarski i in. 2017). Polodowcowa historia obszaru rezerwatu sugeruje możliwość, że jeszcze przed uderzeniem meteorytów znajdowały się w nim niewielkie wzniesienia oraz nierówności. Model numeryczny powstawania największego krateru Morasko wskazuje także, że podczas tego zdarzenia nie została wytworzona mierzalna objętość materiału, który zawierałby ślady metamorfizmu szokowego (Bronikowska i in. 2017). O ile bowiem maksymalne pojawiające się w tym procesie ciśnienie wynosiło kilkadziesiąt Gpa, co w zupełności wystarczy do powstania

struktur deformacyjnych w kwarcu, o tyle przez właściwości materiałowe materiału podłoża, jakim są piaski, gliny oraz ily polodowcowe, tworząca się zaraz po kontakcie meteorytu z Ziemią fala szokowa została bardzo szybko wygłuszona. Właśnie to spowodowało, że ilość osadów, która faktycznie doświadczyła wysokiego ciśnienia była znacząco mniejsza niż w przypadku innych zdarzeń impaktowych, w których meteoryt uderzał w podłoże o właściwościach pozwalających na lepszą propagację fali szokowej. Tłumaczy to, dlaczego do tej pory nie znaleziono struktur szokowych na terenie rezerwatu. Temperatura, która towarzyszyła uderzeniom odłamków meteorytu także nie była tak wysoka, jak w przypadku większych impaktów. Szacuje się, że mogła sięgnąć nawet 400°C, jednak była ona tak duża tylko przez ułamki sekundy. Czas występowania wysokiej temperatury podczas impaktu moraskiego nie był wystarczający do zwęglenia będących w pobliżu drzew.

## Podziękowania

Prowadzone badania były finansowane z grantu Narodowego Centrum Nauki nr 013/09/B/ST10/01666 (Projekt „Morasko”). Dziękuję również Profesorowi A. Muszyńskiemu za jego konstruktywne i cenne uwagi. Autorka dziękuje także recenzentowi A. Pilskiemu za jego wnikliwą i rzetelną recenzję, która znacząco przyczyniła się do ulepszenia niniejszego manuskryptu.

## Literatura

- Bartoschewitz R., 2001, *Morasko – największy znany obszar rozrzutu na świecie?* Meteoryt, 4, s. 20.
- Bland P.A., Artemieva N.A., 2006, *The rate of small impacts on Earth*, Meteoritics & Planetary Science, 41, s. 607–631.
- Borovicka J., Spurny P., Brown P., Wiegert P., Kalenda P., Clark D., Shrubenberg L., 2013, *The trajectory and origin of the Chelyabinsk asteroidal impactor*, Nature, 503, s. 235–237.
- Bronikowska, M., Artemieva, N.A., Wünnemann, K., 2017, *Reconstruction of the Morasko meteoroid impact—Insight from numerical modeling*, Meteoritics & Planetary Science, 52, s. 1704–1721. doi:10.1111/maps.12882
- Brown P.G., Assink J.D., Astiz L., Blaauw R., Boslough M.B., Borovicka J., Brachet N., Brown D., Campbell-Brown M., Ceranna L., Cooke W., de Groot-Hedlin C., Drob D.P., Edwards W., Evers L. G., Garces M., Gill J., Hedlin M., Kingery A., Laske G., Le Pichon A., Mialle P., Moser D.E., Saffer A., Silber E., Smets P., Spalding R.E., Spurny P., Tagliaferri E., Uren D., Weryk R.J., Whitaker R., Krzeminski Z., 2013, *A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors*, Nature, 503, s. 238–241.
- Chyba C.F., Thomas P.J., Zahnle K.J., 1993, *The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid*, Nature, 361, s. 40–44.
- Czajka W., 2010, *Rozważania na temat bolidu wielkopolskiego*, Meteoryt, 3, s. 7–9.
- Czajka W., 2011, *Weryfikowanie XIX-wiecznych katalogów spadków z terytorium Polski (Verification of the Catalogues of Meteorites and Fireballs from XIX Century in the Territory of Poland)*, Acta Societatis Metheoriticae Polonorum, 2, s. 16–24.
- Czajka W., 2015, *Mechanizm tworzenia się zagłębień bezodpływowych na morenie oraskiej, tak zwanych „kraterów meteorytowych”*, Meteoryt, 1, s. 20–25.
- Elbeshausen D., Wünnemann K., Collins G.S., 2009, *Scaling of oblique impacts in frictional targets: Implications for crater size and formation mechanisms*, Icarus, 204, s. 716–731.

- Karczewski A., 1976, *Morphology and litology of closed depression area located on the northern slope of Morasko Hill near Poznań*, [w:] H. Hurnik, *Meteorite Morasko and the region of its fall*, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Seria Astronomia, 2, s. 7–19.
- Passey Q. and Melosh H. J., 1980, *The effects of atmospheric breakup on crater field formation*, *Icarus*, 42, s. 211–233.
- Pilski A. S., Wasson J.T., Muszyński A., Kryza R., Karwowski Ł., Nowak M., 2013, *Low-Ir IAB irons from Morasko and other locations in central Europe: One fall, possibly distinct from IAB-MG*, *Meteoritics & Planetary Science*, 48, s. 2531–2541.
- Shoemaker E.M., 1962, *Interpretation of lunar craters*, [w:] Z. Kopal (eds.), *Physics and astronomy of the moon*, San Diego, Academic Press., s. 283–359.
- Socha K., 2011, *Pożegnanie kraterów Morasko*, *Acta Societatis Metheoriticae Polonorum*, 2, s. 127–137.
- Stankowski W., 2008, *Meteoryt Morasko. In Osobliwość obszaru Poznania (Morasko Meteorite. A curiosity the Poznań region)*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.
- Stankowski W., Muszyński A., 1999, *Meteorite craters from Morasko. The dating of Quaternary marine and land sediments*, June 21–25, 1999, Poznań, Poland. Abstract of papers, posters and explanation to field trip.
- Szczuciński W., Pleskot K., Makohonienko M., Tjallingii R., Apolinarska K., Cerbin S., Goslar T., Nowaczyk N., Rzedkiewicz M., Woszczyk M., Brauer A., 2016, *Environmental effects of small meteorite Impact in unconsolidated sediments—Case of iron meteorite shower in Morasko, Poland (abstract)*, *Meteoritics & Planetary Science*, 51(Suppl.), s. A6433.
- Tobolski K., 1976, *Palynological investigations of bottom sediments in closed depressions, Meteorite Morasko and region of its fall*, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Seria Astronomia, 2, s. 21–26.
- Walesiak T., 2017, *Kraterzy Morasko w świetle wiedzy na temat ukośnych impaktów*, *Acta Societatis Metheoriticae Polonorum*, 8, s. 149–168.
- Włodarski W., Papis J., Szczuciński W., 2017, *Morphology of the Morasko crater field (western Poland): Influences of pre-impact topography, meteoroid impact processes, and post-impact alterations*, *Geomorphology*, 295, s. 586–597.