

Tomasz WALESIAK<sup>1</sup>

## Kraterzy Morasko w świetle wiedzy na temat ukośnych impaktów

Morasko craters base on knowledge related to oblique impacts

**Abstract:** It is considered that The Morasko meteorite shower happened about 5400 years BP with a trajectory from NE to SW (Bronikowska et al. 2015). Recent studies not only prove that this fall could be observed in February 14, 1271, but also that location of most findings in the area to the east side of the craters, should not be taken as the main indicator of impact direction. The proper answer can be given based on knowledge related to oblique impacts, supported by understanding of complicated fragmentation process. The largest crater in Morasko Meteorite Restricted Area has main ejecta plume located in SE, side walls in SW and NE, and free of ejecta Zone of Avoidance (ZoA) in NW. This clearly shows that impact trajectory was approximately from NW to SE. There were also discovered other structures, 2 km North from Restricted Area, having common features. Their ejecta plumes as well as few raised ducts (possible traces of underground penetration) are directed to SE, pointing the largest structure – Umultowskie Lake, located approx. 2 km ESE from known main Morasko crater. Shapes of cavities, their walls and ejecta asymmetry allow estimating trajectories and defining new Morasko strewnfield, which matches not only location of impact structures and discovered meteorite fragments, but also explains smaller (3–4 kg) findings in the neighborhood of Oborniki Wielkopolskie.

**Keywords:** Morasko meteorite, oblique impact, craters, asymmetry, ejecta, penetration funnels, strewnfield

### Wstęp

Według aktualnie zgromadzonych danych uważa się, że zjawisko deszczu meteorytów Morasko wystąpiło około 5000–5400 lat temu. Biorąc pod uwagę rozmieszczenie znalezisk, uwzględniając fakt, że kraterzy oraz większe indywidualne okazy odnaleziono po zachodniej stronie, wyciągnięto wnioski, że impakt nastąpił z kierunku NE (Bronikowska i in. 2015) lub ENE (Muszyński i in. 2012). Ponadto na bazie symulacji komputerowych stwierdzono, że kąt wejścia w atmosferę wynosił 30–34° (Bronikowska i in. 2015).

Analiza problematyki ukośnych impaktów, wyników doświadczeń w laboratorium i modeli numerycznych a także dostępność danych LiDAR umożliwiających

<sup>1</sup> ul. Skarbka z Gór 65/4, 03-287 Warszawa; e-mail: tomasz.walesiak@wp.pl

odtworzenie trójwymiarowego kształtu zagłębień, prowadzą do wniosku, że dotychczasowe założenie kierunku spadku może być **nieprawidłowe**. Kształt głównego krateru w Rezerwacie, asymetria wyrzuconego materiału to jedno z wielu czynników wskazujących na uderzenie od strony NW. W konsekwencji dalszej weryfikacji nowego kierunku spadku odkryto inne zagłębienia, których cechy budowy odpowiadają największej dotychczas znanej strukturze na tym obszarze. Należy oczekiwać, że podjęcie dalszych badań, pozwoli wykazać wspólną genezę wszystkich obiektów, w szczególności, że ich lokalizacja (dystrybucja mas) dokładnie odpowiada klasycznemu modelowi i jednocześnie potwierdza impakt od strony NW.

Warto zauważyć, że podobny kierunek spadku był rozpatrywany już przeszło 50 lat temu. Pierwszą osobą, która na podstawie asymetrii wału największego krateru zasugerowała kierunek uderzenia od strony NNW lub N, był jeden z twórców polskiej meteorytyki – Jerzy Pokrzywnicki (Pokrzywnicki 1964). Kilka lat wcześniej ten sam autor rozważał, czy meteoryt Morasko może być deszczem syderytów, do którego mogłyby należeć mniejsze meteoryty znalezione w okolicach Obornik (Pokrzywnicki 1955).

## Cechy ukośnego impaktu

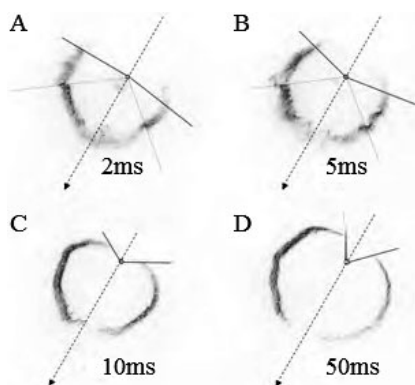
Jak wiemy z modelowania i przeprowadzonych eksperymentów (Gault i in. 1978), wraz ze zmniejszaniem kąta uderzenia, zwiększa się asymetria dystrybucji wyrzuconego materiału. Powstaje tzw. zakazana strefa (z ang. „forbidden zone” lub „zone of avoidance (ZoA)”) od strony spadku (z ang. „uprange”), a przy bardziej płaskich impaktach także na jego przedłużeniu (z ang. „downrange”). Dodatkowo, przy mniejszych kątach uderzenia, zwiększa się proporcja średnic krateru: w osi zgodnej z kierunkiem spadku względem prostopadłej do niej. Zmniejsza się także stosunek głębokości do średnicy zagłębienia. W wielu publikacjach możemy przeczytać, że dla impaktów pod kątem mniejszym niż około  $35^\circ$  w stosunku do horyzontu, kształt wyrzucanego materiału pozwala wyznaczyć kierunek uderzenia (Gault i in. 1978; Herrick i in. 2006; McDonald i in. 2008). Sposób dystrybucji materiału został dość szczegółowo opisany i pokazany na zdjęciach z eksperymentów w pracy na temat eksperymentu Deep Impact (Schultz i in. 2007). W uproszczeniu, zjawisko polega na tym, że materiał wyrzucany z płytkich warstw, przejmując część energii kinetycznej impaktora i zgodnie z wektorem prędkości przemieszcza się dalej w kierunku spadku. Wraz ze wzrostem głębokości kąt wydobywania jest coraz bardziej pionowy i materiał jest dystrybuowany coraz bliżej i bardziej równomiernie dookoła krateru, podlegając ograniczeniu krawędzią zagłębienia. To powoduje odwrócenie stratygrafii – na powierzchnię wokół krateru trafiają najpierw młodsze osady, które następnie są przykrywane starszymi, pochodzącymi z większych głębokości. Nieco innym zjawiskiem powodującym podobny efekt jest tzw. „wywinięcie” (z ang. „overtured ejecta flap”), które w odróżnieniu od poprzedniego zachowuje praktycznie nienaruszony układ warstw, tylko w odwróconym porządku. Jest on widoczny w przypadku wielu struktur impaktowych, w tym

m.in. krateru Barringera (Poelchau 2010). Oprócz badań w laboratorium, analizujących rezultaty ukośnych impaktów, w 2005 roku, przeprowadzono eksperyment Deep Impakt (Schultz i in. 2007), trafiając pod kątem około  $30^\circ$  powierzchnię komety Tempel 1, zbierając jednocześnie, w bardzo szerokim zakresie bezcenne dane na temat podobnych zjawisk. Wyniki tego pionierskiego doświadczenia pomogły rozpoznać podobne cechy dla kraterów Porządzie, Jaszczuły i Ochudno (Walesiak 2016). W przypadku tych obiektów dystrybucja wyrzucanego materiału pozwala jednoznacznie określić przybliżony kierunek impaktu. Takiej analogii należy szukać także w przypadku kraterów w Rezerwacie. Choć nie tylko największa struktura posiada asymetrię „ejecty” to jednak dysproporcja jest tutaj najbardziej czytelna i pozwala jednoznacznie określić kierunek wyrzutu, a tym samym impaktu.

W jednym z ostatnich opracowań (Szokaluk i in. 2015), próbowano odtworzyć pierwotną topografię terenu, aby określić główny kierunek wyrzucania warstw gruntu podczas początkowej fazy formowania krateru. Podstawą miał być poziom tzw. paleogleby, czyli powierzchniowej warstwy humusu na obszarze sprzed impaktu. Problem w tym, że to, co zostało uznane za bardzo cienką warstwę osadów organicznych, przynajmniej w części przypadków, jest najprawdopodobniej granicą warstwy wymywania i wmywania, co widać na załączonej w tej pracy fotografii. W takiej sytuacji jest to w pewnym sensie spekulacja i nie powinna stanowić przyjmowanego punktu odniesienia.

Jak już wcześniej wspomniano, jedną z cech impaktów pod niewielkim kątem może być wydłużenie kształtu krateru zgodnie z kierunkiem spadku. Patrząc na wygląd mniejszych zagłębień w Rezerwacie Morasko zauważymy, że taka tendencja występuje w relacji NW-SE, a więc zgadza się z głównym wałem ejecty znajdującym się w południowo wschodniej części głównej struktury. Na poniższej ilustracji (fig. 1) przedstawiono proces powstawania zakazanej strefy, a właściwie jej zmniejszania się od strony spadku, podczas tworzenia krateru.

Dość często w końcowym efekcie strefa wolna od wyrzutu zawęży się, tworząc ostry kąt od strony spadku, innymi słowy kreśląc literę „V” (Herrick i in. 2008).



**Fig. 1.** Ewolucja zakazanej strefy (ZoA) – impakt pod kątem  $30^\circ$  (Schultz i in. 2006).

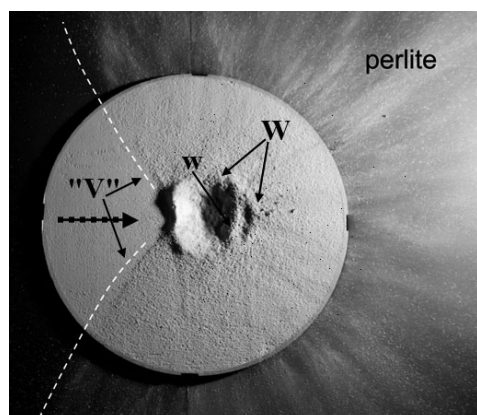


Fig. 2. Efekt eksperymentu – uderzenia pod kątem  $30^\circ$  (Schultz i in. 2007).

Taka strefa występuje właśnie w przypadku największego krateru w Rezerwacie, co zaznaczono na ilustracji (fig. 5), przy czym częściowo została ona zniszczona uderzeniem brył odpowiedzialnych za powstanie kraterów „E” i „F” (według rozmieszczenia na rysunku fig. 3).

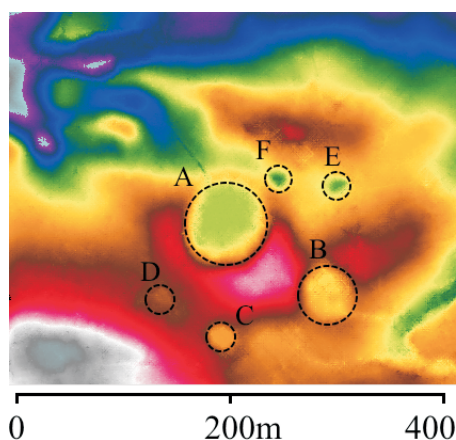


Fig. 3. Rozmieszczenie kraterów w Rezerwacie Meteoryt Morasko.

Oglądając filmy i zdjęcia dokumentujące zjawisko Bolidu Czelabińskiego (fig. 4), można zauważyć, że analogiczny kształt został utrwalony w przypadku conajmniej kilku ukośnych impaktów, o zbliżonych średnicach, w szczególności w mniej twardym podłożu. Dotyczy to właśnie głównego krateru w Rezerwacie (fig. 5), struktury Porządzie w okolicach Wyszkowa (fig. 6), czy 115 m średnicy krateru, odkrytego przez teleskop HiRISE na równinie Planum Boreum na północnej półkuli Marsa (fig. 7) (źródło: NASA/JPL/University of Arizona).

Dość przekonującym przykładem analogii balistycznego kształtu obserwowanego w powietrzu i wyglądu krateru utworzonego w wyniku ukośnego impaktu są struktury Campo del Cielo w Argentynie. Na załączonej ilustracji (fig. 8) zazna-

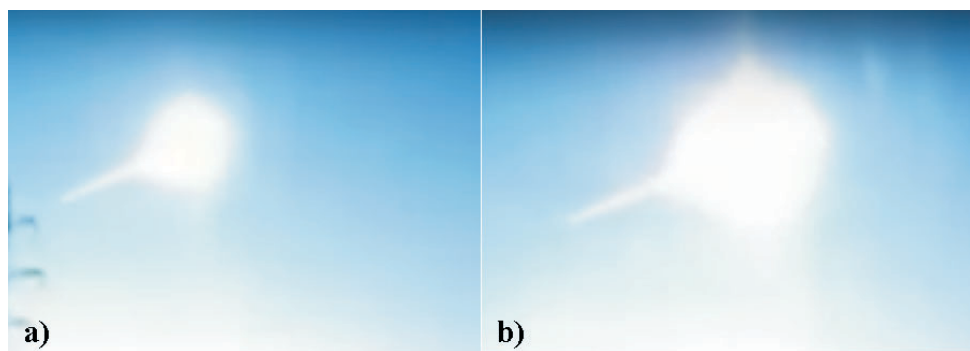


Fig. 4. Meteor Czelebiński w kolejnych sekundach (źródło: [www.youtube.com](http://www.youtube.com)).

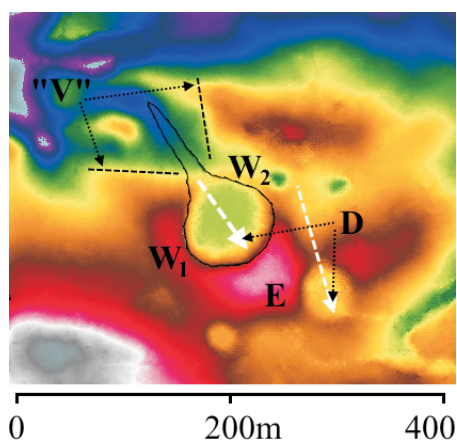


Fig. 5. Kontur bolidu nad Rosją (fig. 4a) przeniesiony na mapę krateru „A”. Oznaczenia: „V” – zakazana strefa („ZoA”), E – główna ejecta, D – kierunek impaktu, W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub> – boczne wały (wał W<sub>2</sub> wyraźnie uszkodzony w związku z impaktem odpowiedzialnym za utworzenie kraterów „E” i „F”).

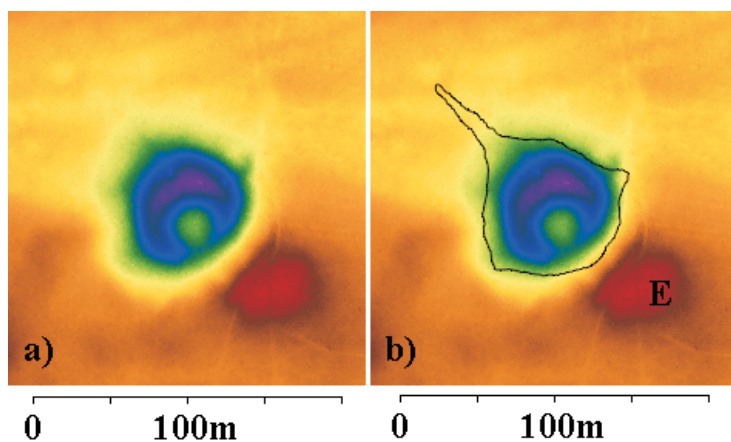


Fig. 6. Struktura Porządzie.



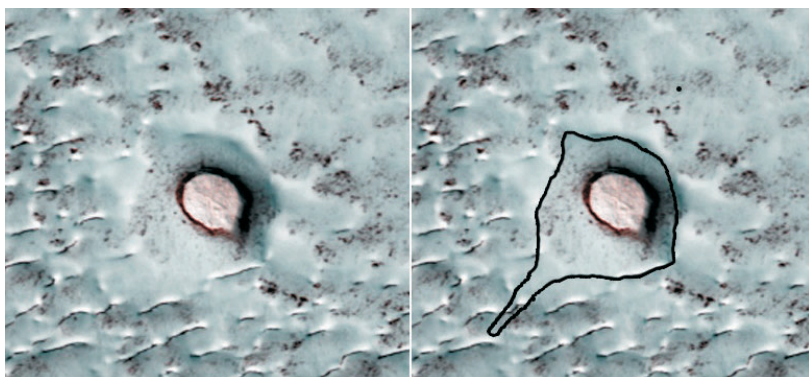


Fig. 7. Krater na równinie Planum Boreum na Marsie (źródło: NASA/JPL/University of Arizona)s.

czone są również miejsca odnalezienia dużych brył meteorytu znajdujących się na przedłużeniu kierunku uderzenia, określonego na podstawie asymetrii zagłębień. Kształt kraterów w Argentynie jest nieco bardziej wydłużony, ale również odpowiada obserwacji dużych bolidów jak ten, który pojawił się w 2013 roku nad Rosją.

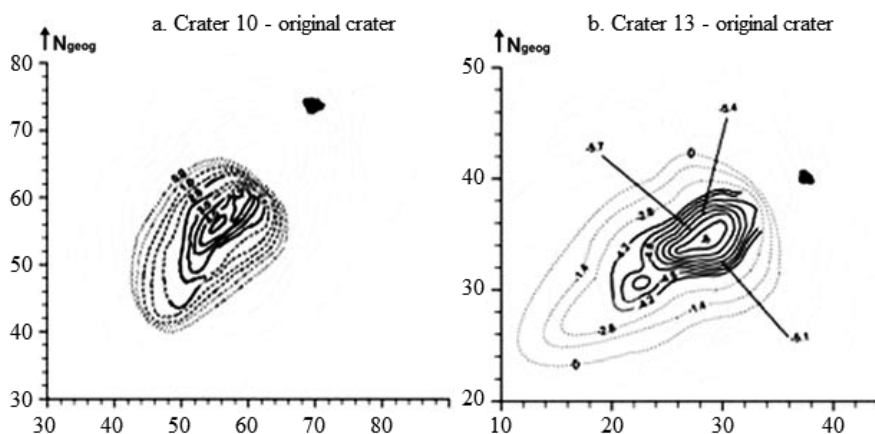
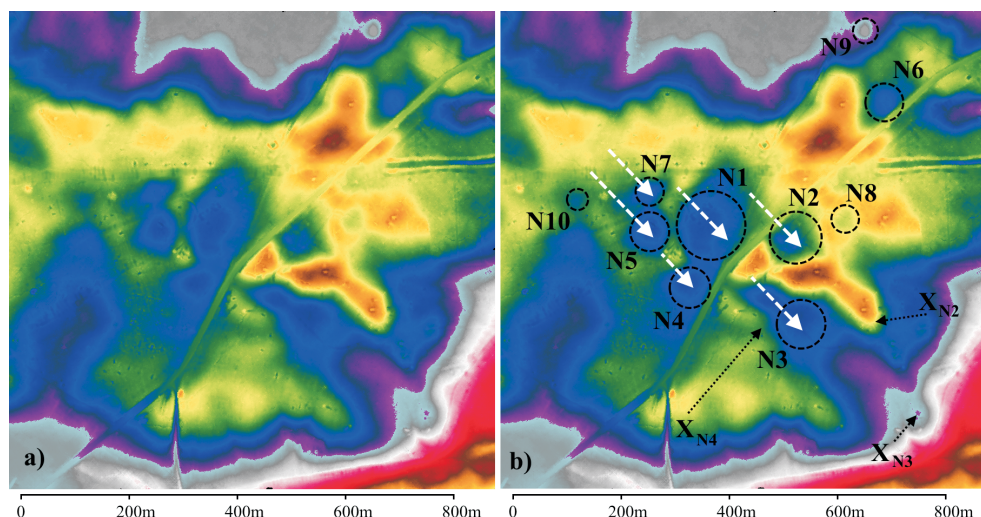


Fig. 8. Campo del Cielo, kraterzy nr 10 i 13 (źródło: Vesconi i in. 2011).

## Nowe zagłębienia

Uwzględnienie nowego kierunku spadku nasunęło pomysł, że może warto by było przyrzeć się topografii w osi NW-SE, poszukując innych struktur. Ponieważ od strony południowej mamy do czynienia z wpływem postępującej urbanizacji, preferowane było zbadanie terenów na północny zachód od dotychczas znanej elipsy rozrzutu meteorytów. Niestety jest to obszar poligonu wojskowego, dodatkowo o bardzo urozmaiconej rzeźbie, utrudniającej weryfikację. W takiej sytuacji przeglądanie map na portalu geodezyjnym (Geoportal), jest pomocne tylko w niewiel-

kim stopniu. Dopiero zamówienie surowych danych laserowego skanowania terenu (LiDAR) i ich analiza, ujawniła wyjątkowe skupienie zagłębień o podobnych cechach do głównego krateru. Występuje ono około 2 km na północ od Rezerwatu, w pobliżu drogi Złotniki-Biedrusko, pomiędzy jeziorami Podkowa i Glinowieckim, na obszarze poligonu (fig. 9).



**Fig. 9.** Nowe kratery na terenie poligonu wojskowego a) widok ogólny b) oznaczenie struktur wraz z przybliżonym kierunkiem impaktu i prawdopodobną lokalizacją wielotonowych brył meteorytu.

Odkryte struktury posiadają, podobną jak krater „A”, asymetrię wału z wyniesieniem w kierunku SE sugerującym uderzenie od strony NW. Poniżej pokazano porównanie profili obiektów „N2” i „A” (fig. 10). Prezentowana nowa struktura ma średnicę (mierzoną z wału) około 90–100 m i głębokość od wierzchołka wału około 8 m, (czego nie widać na mapach udostępnianych za pośrednictwem Geoportalu), podczas gdy główny krater na terenie rezerwatu Morasko ma średnicę 100–110 m i głębokość około 9 m (wyznaczane w podobny sposób). Zauważmy, że wyrzut z obiektu „N2” następował w kierunku obniżającego się terenu, podczas gdy dla krateru „A” w stronę podnóża Góry Morasko.

W przedstawionym rejonie (na poligonie) bez problemu odnajdziemy więcej zagłębień, które mają podobne profile i mogą mieć tą samą genezę. Na tą chwilę należy jednak ostrożnie podchodzić do określania zbyt dużej ich liczby. Szczególnie, że widać ich deformacje spowodowane między innymi działalnością wojskową (stanowiska bojowe, ślady po pociskach), poprowadzoną drogą Złotniki-Biedrusko a w szczególności możliwymi wzajemnymi interferencjami wyrzucanego materiału, zasypującego sąsiednie obiekty. W zależności od ukształtowania terenu oraz rodzaju i wilgotności gruntu, efektywność tworzenia się kraterów zapewne także była zróżnicowana.

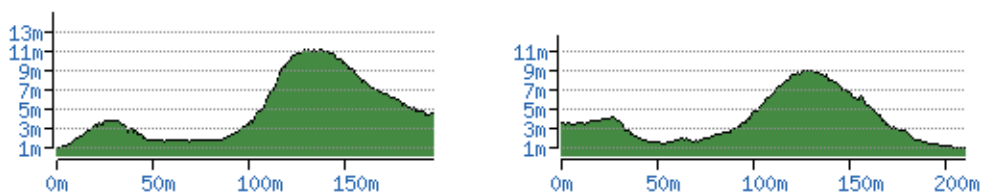


Fig. 10. Porównanie profili krateru „A” (z Rezerwatu) i „N2” (z terenu poligonu).

Wyznaczony na podstawie asymetrii wyrzuconego materiału i ukształtowania wałów domniemany kierunek spadku, podobnie zresztą jak dla kraterów „A” i „B” z Rezerwatu, został przeniesiony na mapę okolicy, pokazaną w dalszej części artykułu przy okazji omówienia obszaru rozrzutu (fig. 15).

Gdy przedstawiłem nowe obiekty na ubiegłorocznej konferencji, jeden z uczestników zasugerował, że być może są to dawne wyrobiska. Takiej hipotezie zdecydowanie zaprzecza jednakowe występowanie koncentracji wyrzuconego materiału, w kierunku SW. Trudno sobie wyobrazić, że podczas eksploracji zwirowisk usypywano obok zawsze z tej samej strony górkę. Jak wcześniej wspomniałem w okolicy widoczne są ślady militarnej działalności człowieka, przede wszystkim w postaci okopów czy pozostałości eksplozji pocisków, ale są one nieporównywalnie mniejsze od efektów impaktu fragmentów meteorytu.

Warto zauważyć, że w przypadku 3 nowych obiektów („N2”, „N3”, „N4”) występuje wydłużenie ejeckty w kierunku spadku, tworząc prostopadły wał w stosunku do kraterów. Prawdopodobnie mamy tutaj do czynienia z wypiętrzeniem gruntu spowodowanym podpowierzchniowym przemieszczaniem się wielotonowych odłamków. Przybliżone lokalizacje tych ogromnych fragmentów meteorytu oznaczono na ilustracji (fig. 9b) odpowiednio „X<sub>N2</sub>”, „X<sub>N3</sub>”, „X<sub>N4</sub>”, przy czym nie można wykluczyć, że „X<sub>N3</sub>” ma związek z kraterem „N1”. Wskazuje na to wyznaczona trajektoria impaktu. Jest to jednak dystans około 400 m, więc musiałyby zaistnieć szczególne warunki do tak dalekiego podziemnego przemieszczania (bardzo płaska trajektoria i odpowiednia gleba np. torfy lub piaski leżące na grubej, elastycznej warstwie gliny). Analogicznie „X<sub>N4</sub>” może być powiązane z kraterem „N5”. Tak czy inaczej należy w tym momencie bliżej się przyjrzeć wynikom badań z Argentyny (Cassidy i in. 1996; Vesconi i in. 2011). Jak widzieliśmy na mapach kraterów Campo del Cielo nr 10 i 13 (fig. 8) meteoryty odnaleziono poza obrysem odtworzonych pierwotnych zagłębień. Na kolejnej ilustracji (fig. 11) przedstawiono estymowane profile tych struktur. Szacuje się, że powstały w wyniku impaktu pod kątem odpowiednio 9,5 i 16° (Vesconi i in. 2011). Choć aktualnie przyjmuje się, że kraterzy Morasko powstały w wyniku mniej płaskiego uderzenia (30–34°), to biorąc pod uwagę, że symulacje były wykonywane przy założeniu innego kierunku, z którego nadleciały meteoryty, należałoby to ponownie zweryfikować. Obserwowane wydłużenie większości mniejszych struktur, przyjmujące proporcje średnic w przybliżeniu 1,2 (dla „B”), 1,5 (dla „F”) czy 1,4 (dla omawianego w dalszej części opracowania obiektu „P”), wskazuje na mniejszy kąt impaktu.



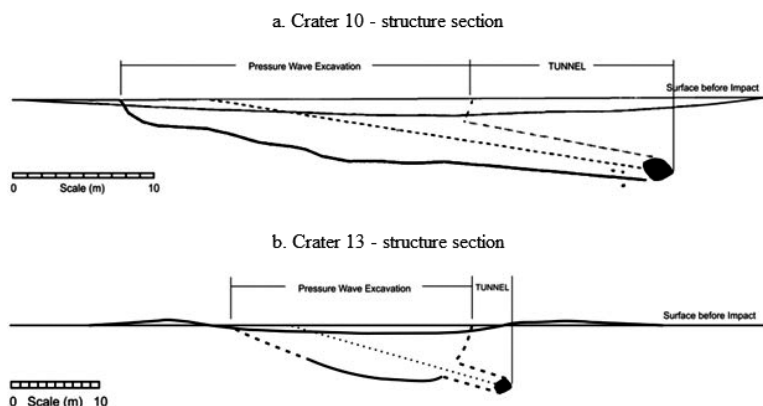


Fig. 11. Campo del Cielo, przekrój kraterów nr 10 i 13 (źródło: Vesconi i in. 2011).

tu, przypadający na zakres  $10\text{--}20^\circ$ . Dla porównania wspomniane wcześniej kratery w Argentynie, które są podobnych rozmiarów jak mniejsze struktury Morasko, mają proporcje 1,4 i 1,7. Trochę większy obiekt (Campo del Cielo nr 6) przy szacowanym kącie uderzenia  $16^\circ$  posiada stosunek długości do szerokości wynoszący około 1,1. Zauważamy, że im większa struktura tym mniejsza proporcja średnic, co można wytłumaczyć tym, że przy ich formowaniu zaczęły dominować różne procesy/zjawiska. Nie wyklucza to oczywiście podziemnego przemieszczania się części bryły impaktora. Być może właśnie taka jest przyczyna nie odnalezienia jeszcze meteorytów w zagłębieniach na terenie Rezerwatu Morasko. Odnosząc się do nowych kraterów na terenie poligonu i potencjalnych widocznych dróg podpowierzchniowego hamowania meteorytów, dłuższy pokonany odcinek może wynikać nie tylko z rodzaju gruntu, ale także z większego pędu tych fragmentów w porównaniu do pędu znalezionych okazów Campo del Cielo.

Oczywiście podziemna trasa wcale nie musi być linią prostą, czego przykładem jest przedstawiony na ilustracji (fig. 12) krater Campo del Cielo nr 9. W sąsiedztwie Rezerwatu Meteoryt Morasko obserwujemy niewielkie zakrzywienie wypiętrzenia pomiędzy strukturą „N4” a punktem „X<sub>N4</sub>”. Jeszcze inną potencjalną drogę biegnącą po łuku widzimy na przedłużeniu kierunku uderzenia, dla omówionego dalej zagłębienia przy ul. Poligonowej (fig. 16).

Zagłębienia znajdujące się na obszarze wykorzystywanym przez Centrum Szkolenia Wojsk Lądowych w Poznaniu posiadają jeszcze jedną intrygującą cechę. Są nią względnie płaskie powierzchnie ścian, przy czym ich łączenia w rogach pozostają łagodne, zaokrąglone. Choć w pierwszej chwili może wydawać się to nienaturalne, to jeśli uwzględnimy wzajemne położenie obiektów, odkryjemy z jak niesamowitym zjawiskiem możemy mieć do czynienia. Kratery można spróbować połączyć jak fragmenty pękniętego lustra. Uwzględnienie odległości między nimi, może być w przyszłości pomocne przy obliczaniu, na jakiej wysokości nastąpiło pęknięcie i rozdzielenie na poszczególne żelazne bloki. Niewątpliwie wydarzyło się to już bardzo nisko. Jeżeli zastanawiamy się nad tym, czy jest możliwe by spadły

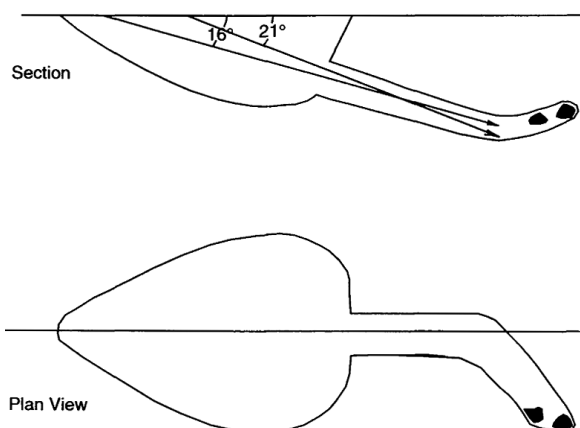


Fig. 12. Campo del Cielo, krater nr 9 (źródło: Cassidy i in. 1996).

tak „kanciaste” bryły, wystarczy spojrzeć na wążący 60 ton, największy znany meteoryt – Hoba (fig. 13). Potencjalne ślady podpowierzchniowego hamowania fragmentów oraz płaskie ściany zagłębień, mogą świadczyć o tym, że wielotonowe meteoryty przetrwały upadek (brak wybuchu) i przy użyciu odpowiedniego sprzętu mogą zostać odnalezione.



Fig. 13. Meteoryt Hoba (fot. Giraud Patrick).

## Krater umultowski

Całkiem nieoczekiwanie, podczas przygotowania materiałów do ubiegłorocznej Konferencji PTMet, przy nanoszeniu potencjalnego wektora spadku, określonego na podstawie wyrzuconego materiału, dokładnie na przedłużeniu linii wyznaczającej ten kierunek ujawnił się niezwykle owalny obiekt wypełniony wodą – Jezioro Umultowski. Ilustracja na potrzeby prezentacji była pogładowa, a dokład-

niejsze pomiary z uwzględnieniem domniemanych dróg podziemnego przemieszczania się brył i cech największej struktury wykazały, że trajektoria dla kraterów na poligonie w rzeczywistości jest nieco bardziej odchylona na wschód ( $3^\circ$ ). Była jednak podstawą dalszych analiz, doprowadzając w efekcie końcowym do wielu bardzo ciekawych wniosków. Z informacji na Wikipedii wiemy, że: „Jezioro Umultowskie jest objęte ochroną od 1994 roku, jako użytek ekologiczny. **Jest zbiornikiem silnie zeutrofizowanym, o kształcie prawie kulistym.** ...Głębokość maksymalna: 5 m”. Obiekt pierwotnie mógł być głębszy o około 15 m lub nawet więcej. Z przeprowadzonych badań tego typu jezior w Polsce wynika, że ulegają one wypłycaniu do 2 cm/rok (przeciętnie 1 cm/rok) (Ptak 2013) a zarówno datowania  $^{14}\text{C}$  jak i dane historyczne wskazują, że deszcz meteorytów Morasko wystąpił około 750 lat temu (obserwacja z dnia 14 lutego 1271 roku). Szczegółowo temat daty spadku został omówiony w osobnym artykule. Jak już wcześniej wspominałem, nowo odkryta struktura ma wiele cech wspólnych z największym kraterem w Rezerwacie Morasko. Obiekt, w którym obecnie znajduje się jezioro Umultowskie posiada wyniesienie, podobnie uformowane w kształt zbliżony do trójkąta, wysunięte w tym samym kierunku (SE). Boczne wały tak samo znajdują się od strony SW i NE, przy czym w stosunku do głównego krateru w Rezerwacie występuje ich odwrotna dysproporcja, tzn. w kraterze w rezerwacie (fig. 5) wyższy jest boczny wał „W<sub>1</sub>”, od strony SW, a mniej wyraźny jest „W<sub>2</sub>” od strony NE, podczas gdy po bokach jeziora Umultowskiego (fig. 14) zdecydowanie wyższy jest wał „W<sub>2</sub>” od strony NE niż ten od strony SW („W<sub>1</sub>”), przy podobnych rozmiarów podstawach. Przyczyną tej dysproporcji w przypadku głównego krateru w Rezerwacie jest interferencja z kraterami „E” i „F”. Dla jeziora Umultowskiego mogła to być pierwotna topografia terenu, która przy okazji skierowała falę uderzeniową głównie w kierunku południowym, wpływając na większą skalę trudnych do wytłumaczenia zniszczeń w Poznaniu, o których dowiadujemy się z badań archeologicznych. Odległość między tymi bocznymi wałami wynosi w Rezerwacie około 100 m, a dla j. Umultowskiego 10× więcej, czyli około 1000 m. Pozostałe proporcje są również zachowane w takiej samej skali. Stosunek szerokości bocznych wałów jest także 10× większy – ich grubość wynosi 25 m dla krateru w Rezerwacie i 250 m dla potężnych nasypów po bokach jeziora Umultowskiego. Podobne proporcje zachowuje także szczyt wyniesienia uformowany z wyrzuconego materiału (oznaczony literą „E”), czyli znajduje się około 10× dalej od środka obiektu – około 720 m dla jeziora Umultowskiego i około 74 m dla krateru „A” w Rezerwacie. W celu porównania obiektów przyjęto podobne oznaczenia na ilustracjach (fig. 5 i fig. 14).

Kiedy zgłosiłem wyniki moich analiz do przedstawiciela Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, który aktualnie prowadzi badania kraterów w Rezerwacie Morasko, dowiedziałem się, że od kilku lat podejmowane są starania o otrzymanie zgody na wykonanie odwiertów w jeziorze. Mam nadzieję, że przedstawione w niniejszym artykule dane pozwolą przyspieszyć ten proces.

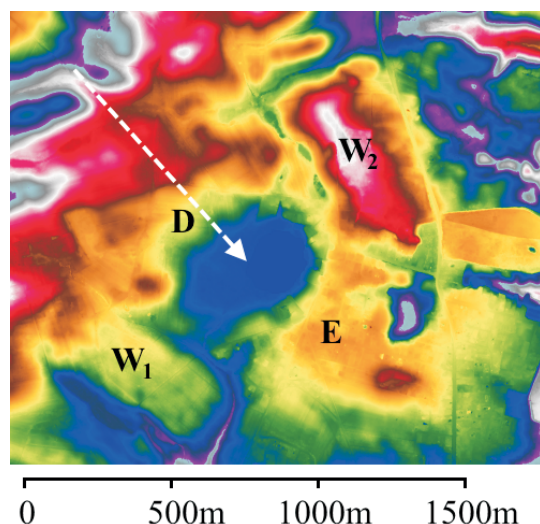


Fig. 14. Jezioro Umultowskie.

## Wyznaczenie nowej elipsy spadku

Podstawę obecnie przyjętej elipsy rozrzutu meteorytu Morasko, a tym samym kierunku spadku, stanowi opracowana mapa z oznaczeniem lokalizacji i masy znalezisk. Niestety oparta jest na efektach poszukiwań w obrębie bardzo ograniczonego obszaru (przez wysypisko, poligon wojskowy, jezioro Glinowieckie, wieś i pobliskie podmiejskie osiedla).

Prawidłowe określenie terenu spadku w oparciu o nowy kierunek, z którego nadleciały meteoryty może być niezwykle trudne. Uwzględniając liczne fragmentacje będziemy mieli do czynienia z wieloma podelipsami, w dodatku wzajemnie się przenikającymi, a więc mniejsze odłamki będą spotykane obok większych brył, czego doskonałym przykładem są same struktury impaktowe w Rezerwacie. Do tego będą dochodziły szrapnele towarzyszące tworzeniu się kraterów. Na tą chwilę, jako podstawowe kryterium definicji nowej elipsy spadku przyjmijmy więc informacje o znaleziskach oraz strukturach poimpaktowych. Na ilustracji (fig. 15) przedstawiono mapę z naniesionymi wektorami impaktu, określonymi na podstawie asymetrii wałów i innych cech charakterystycznych dla poszczególnych kraterów. Niewątpliwie, jako koniec obszaru rozrzutu należy uznać tereny wokół jeziora Umultowskiego. Początkiem dłuższej osi będą zaś okolice Obornik Wielkopolskich, gdzie znaleziono przynajmniej 2 meteoryty o wadze około 3–4 kg (Pokrzywnicki 1964; Stankowski 2009). Lokalizacja wskazana przez tego pierwszego autora (N:52°37' E:16°45') niemal idealnie pokrywa się z trajektorią wyznaczoną dla jeziora Umultowskiego (odchylenie wynosi zaledwie 3°), a jak wiadomo drugi fragment znaleziono trochę bardziej na południe, w kierunku Poznania. Ponieważ okazy zaginęły w czasie wojny, więc nie mamy ostatecznego potwierdzenia, że na pewno były to fragmenty Morasko. Biorąc po uwagę, że zostały odnalezione

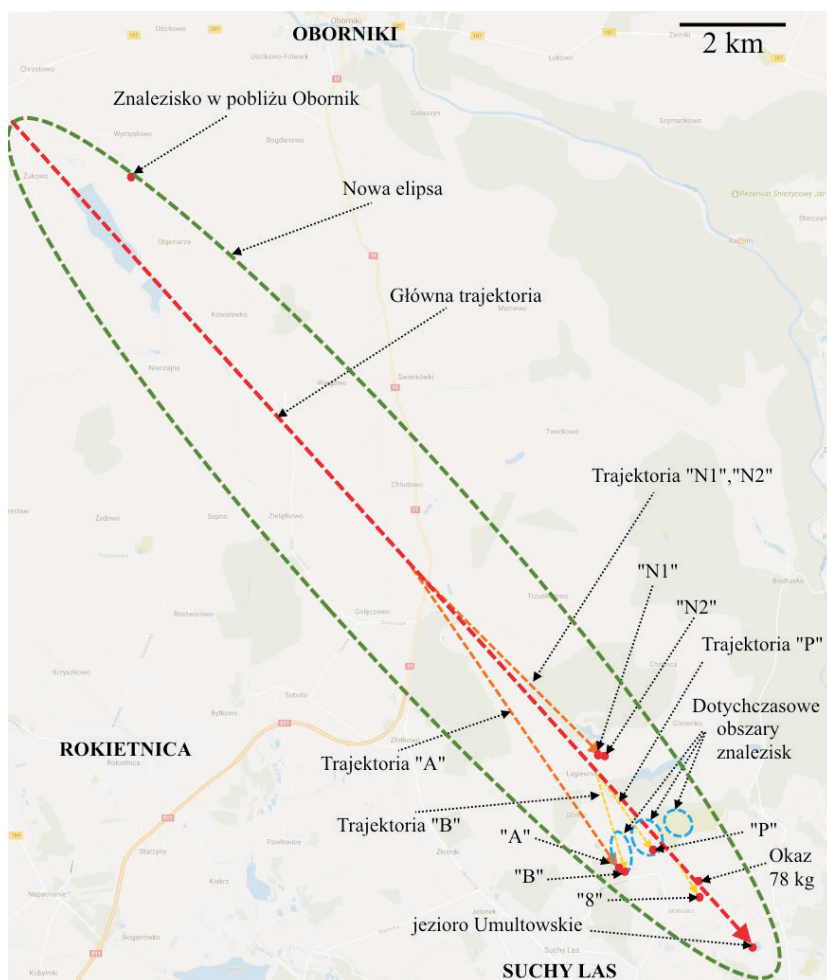


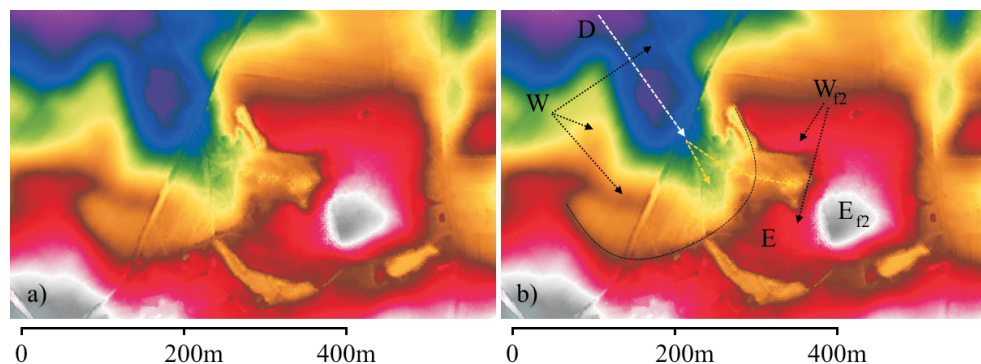
Fig. 15. Nowa elipsa rozrzutu fragmentów meteorytu Morasko, z naniesionymi wektorami spadku.

w dość bliskim sąsiedztwie oraz notatkę sporządzoną przez prof. Krygowskiego stwierdzającą, że na zeszlifowanej powierzchni były widoczne charakterystyczne struktury wskazujące na meteoryt żelazo-nikłowy (Pokrzywnicki 1964), szanse by mogły one pochodzić z odrębnego spadku są niewielkie. Choć nie trafiłem na podobne spostrzeżenie, ale według opracowanej mapy znalezisk wyraźnie widzimy, że koncentrują się one w 3 podobszarach, które zaznaczyłem na mapie i mimo, że w rzeczywistości są podelipsami po fragmentacji, to w przybliżeniu mogą być przyjęte jako umowna szerokość nowej elipsy. Oczywiście musimy pamiętać, że wyniki poszukiwań mają związek z topografią terenu i ograniczoną jego dostępnością. Liczba nakładających się podelips w obszarze dotychczasowych znalezisk prawdopodobnie jest większa i w rzeczywistości próba ich rozróżniania może skutkować błędnymi wnioskami. Na pewno wzdłuż osi prowadzącej do jeziora Umultowskiego należy spodziewać się nowych znalezisk. W kwestii wspomnianych wyżej

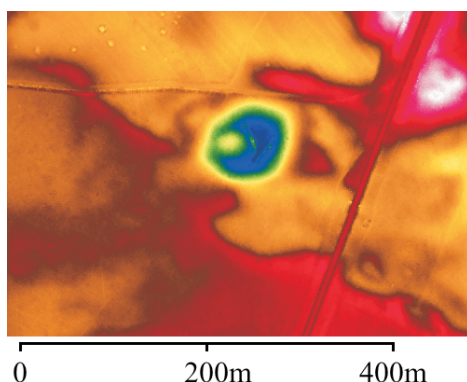


podelips, warto dodać, że właśnie tuż obok głównej trajektorii, przy ul. Poligonowej, pomiędzy Rezerwatem a Lasem Moraskim, znajduje się nietypowy staw (fig. 16). Jest on wydłużony zgodnie z kierunkiem spadku, a jego kształt przypomina, wspomnianą na początku tej pracy, obserwację meteoru nad Rosją w 2013 roku. Posiada charakterystyczne wcięcie od strony spadku i częściowo zachowały się też jego wały (oznaczenie „W” na ilustracji fig. 16b). Jest to zapewne jeszcze jedna struktura impaktowa, ale na jej formowanie silnie wpłynęła topografia terenu sprzed ukośnego impaktu. Jest to jednocześnie pierwsze z zagłębień w okolicy Morasko posiadające półkolisty wał (przerywana linia na fig. 16b) w przedniej części krateru, obserwowany w przypadku struktur Porządzie i Jaszczuły (fig. 17). Dotychczas nie jest w pełni znana natura jego powstawania, przypuszcza się, że ma to związek z uderzeniem strumienia powietrza. Na przedłużeniu kierunku impaktu występuje jeszcze szersze, ale płytsze wcięcie oraz główna ejecta (oznaczona „E”), która w swojej północno-wschodniej części zlewa się z wzniesieniem. Samo wzniesienie wygląda, że mogło być również zmodyfikowane impaktem. Obserwujemy, biegnący po łuku, ślad prowadzący od krateru do środka wzgórza, zakończony wypiętrzeniem (oznaczonym „E<sub>t2</sub>”). Po bokach zaś występują linie podwyższenia („W<sub>t2</sub>”). O ile nie zostało zrobione to przez człowieka, to wytłumaczeniem tego stanu może być rozerwanie bryły meteorytu na 2 części, których prawdopodobny tor wyglądał tak, jak zostało to pokazane przerywaną linią na ilustracji (fig. 16b).

Podążając dalej wzdłuż trasy przelotu głównej masy bolidu, a więc w kierunku jeziora Umultowskiego, nie można nie wspomnieć jeszcze o 2 ważnych miejscach, które zostały zaznaczone na mapie (fig. 15). Choć było o nich wiadomo już przeszło 50 lat temu (Pokrzywnicki 1964), to niestety we współczesnych opracowaniach zostały zupełnie zapomniane. Pierwszym z nich jest tzw. „krater nr 8” (nazwa podana według wymienionej publikacji), leżący tuż przy drodze z Moraska do Umultowa (oznaczenie „8” na fig. 15). Obiekt został przedstawiony na ilustracji (fig. 19) wraz z wektorem impaktu, określonym na podstawie występujących asymetrii, weryfikowanych z mapą sporządzoną w 1962 roku przez W. Mroza i M. Piekutowskiego (fig. 18). W opisie z wymienionej publikacji zasugerowano,



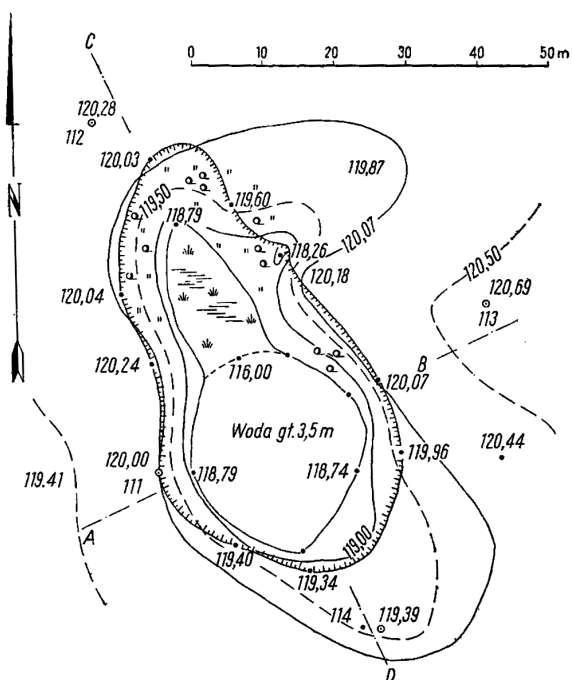
**Fig. 16.** Krater „P” przy ul. Poligonowej, pomiędzy Rezerwatem a Lasem Moraskim a) widok ogólny b) mapa z oznaczeniami.



**Fig. 17.** Krater Jaszczuły – przykład struktury z półkolistym wałem.

ze krater albo został częściowo zasypany, albo mieliśmy do czynienia ze spadkiem dwóch brył kosmolitu. Mapa uzyskana na podstawie pomiarów laserowych wskazuje, że oba te podejrzenia były uzasadnione. Analogiczna sytuacja występuje dla obiektu „N3”, z którym od strony NW styka się mniejsze zagłębienie.

W 1947 roku, zaledwie około 250 m na północ od tej struktury, a więc dokładnie na osi spadku wyznaczonej dla jeziora Umultowskiego, odnaleziono meteoryt o niebagatelnej masie 78 kg. Okaz nie został dotychczas oznaczony na żadnej współczesnej mapie znalezisk.



**Fig. 18.** Krater nr 8 wg opracowania W. Mroza i M. Piekutowskiego (źródło: Pokrzywnicki 1964).

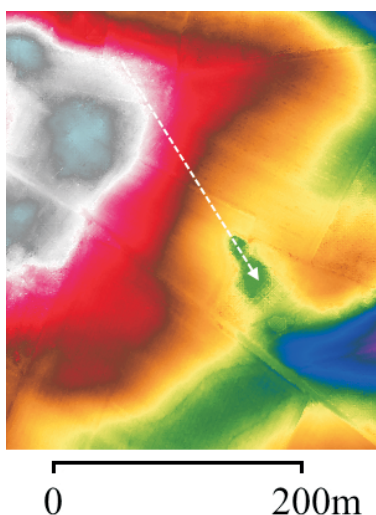


Fig. 19. Krater nr 8 przy drodze z Moraska do Umultowa.

Należy powiedzieć jeszcze kilka słów na temat niepewności wyznaczenia nowej elipsy rozrzutu. Po pierwsze dla uproszczenia przyjęto prostą trajektorię prowadzącą do jeziora Umultowskiego (jako miejsca spadku głównej masy). W celu uniknięcia otrzymania subiektywnych wyników, azymut dla poszczególnych kraterów wyznaczano niezależnie. Podanie ujemnych kątów, w poniższym zestawieniu, oznacza odchylenie przeciwne do ruchu wskazówek zegara, gdzie  $0^\circ$  oznacza północ. Wskazane wartości określają kierunki, z których nastąpił impakt. Niedokładność pomiaru w większości przypadków nie powinna być większa niż  $1^\circ$ .

- Jezioro Umultowskie:  $-42^\circ$  – kierunek wyznaczony jako dwusieczna kąta, utworzonego pomiędzy stosunkowo liniowymi bocznymi wałami, pozostając zgodnym z główną ejectą. Jeżeli podstawą wyznaczenia kierunku miałyby być jedynie okrągła powierzchnia lustra wody oraz wyrzucony materiał to azymut wynosiłby około  $-39^\circ$  do  $-40^\circ$ . W takiej sytuacji krater na poligonie oraz znalezisko z okolic Obornik znajdowały się bezpośrednio na trasie bolidu. Pomijając nieznacznie inną trajektorię impaktu dla struktur „N”, niż wynika to z analizy, jeszcze trudniej by było wytłumaczyć, dlaczego boczny wał „W<sub>1</sub>”, będący w podstawie lustrzanym odbiciem kształtu wału „W<sub>2</sub>”, jest tak daleko od właściwej misy krateru;
- krater „A” w Rezerwacie:  $-34,5^\circ$  – kierunek wyznaczony na podstawie strefy ZoA, głównej ejecty i „rynny” od strony spadku, pokrywający się także z kształtem bolidu Czelabińskiego;
- krater „B” w Rezerwacie:  $-16^\circ$  – w tym przypadku kierunek został wyznaczony na podstawie wydłużenia krateru w osi NNW-SSE, lokalizacji głównej ejecty odpowiadającej wcześniejszej asymetrii oraz „kanału” i charakterystycznego wcięcia od strony spadku;

- kratery „N1” i „N2” na terenie poligonu:  $-45^\circ$  – w obu przypadkach obliczenia opierały się na lokalizacji ejecty, dla struktury „N2” dodatkowo zgadzają się z linią wału, który mógł powstać w wyniku podziemnego przemieszczania się bryły meteorytu;
- krater „P” przy ul. Poligonowej:  $-35,5^\circ$  – kierunek impaktu został wyznaczony w oparciu o wydłużenie kształtu, „kanał” i charakterystyczne wcięcie od strony spadku, oraz główną ejectę, występującą w przedniej części krateru. Półkolisty wał, na przedłużeniu spadku jest wyraźnie przesunięty na zachód (ze względu na wzniesienie terenu po stronie wschodniej), więc ten element nie może być uwzględniony przy ustalaniu wektora impaktu;
- krater „8” przy ul. Lewandowskiego prowadzącej do Umultowa:  $-32^\circ$  – kierunek określony na podstawie wydłużenia krateru, wcięcia od strony spadku i głównej ejecty na przedłużeniu trajektorii, widocznej głównie na mapie z 1962 roku (fig. 18) (Pokrzywnicki 1964). Gęsta roślinność uniemożliwiła pomiar laserowy i dane na ilustracji (fig. 19) w tej części są interpolowane.

Mimo iż, tak jak już wcześniej wspomniałem, wszystkie wektory określano osobno, to okazało się, że trajektoria wyznaczona dla kraterów „N1” i „N2” na poligonie przecina oś spadku głównej masy (jeziora Umultowskiego), w przybliżeniu w tym samym miejscu co trajektoria określona dla krateru „A”. Podobne zjawisko obserwujemy dla obiektów „B” i „P”.

Osobnym tematem jest analiza możliwości wczesnego rozłamu kosmicznego przybysza na co najmniej 3 części, co w kronikach zostało zanotowane jako poja-

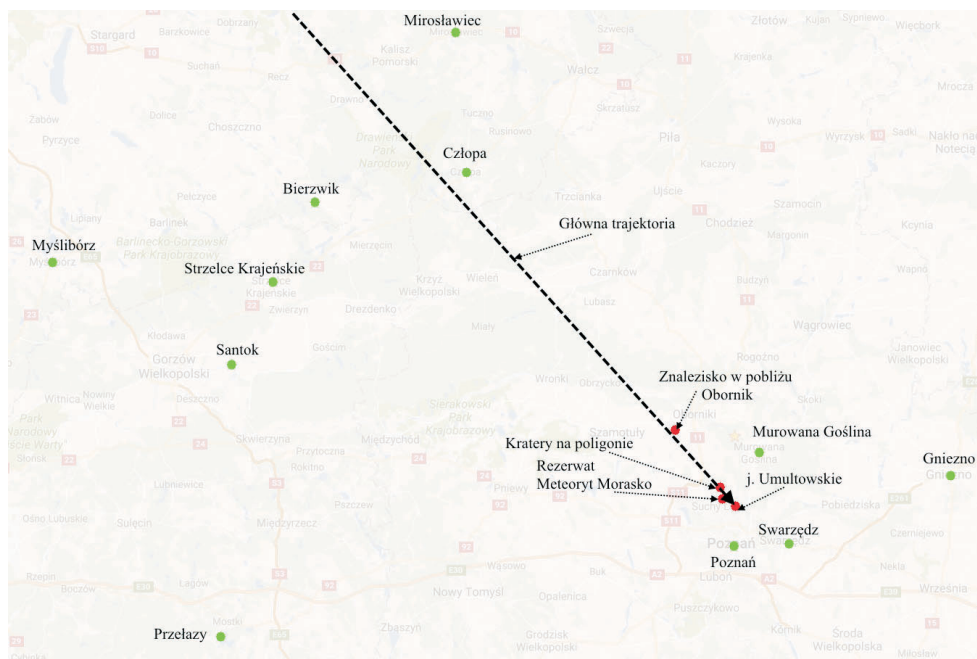


Fig. 20. Trajektoria bolidu na tle Wielkopolski i dawnej Nowej Marchii.

wienie się, w dniu 14 lutego 1271, trzech jednoczesnych słońc po wschodzie słońca. Wtedy być może należałoby mówić o trzech różnych elipsach jednego deszczu meteorów. Istnieją sprzeczne poglądy, czy znaleziska w okolicach Przelaz i Morasko mogą pochodzić z jednego deszczu żelaza. Wiadomo, że nie gwarantuje tego przynależność do tej samej grupy meteorów, aczkolwiek z badań opartych na pierwiastkach śladowych wynika, że skład chemiczny okazów jest niezwykle podobny (szczególnie biorąc pod uwagę zawartość Ir oraz Au), co sugeruje, że należą one do jednego deszczu meteorów (Pilski i in. 2012). Chyba najtrudniej pominąć szczegół, jakim jest około 100 km odległość obu miejsc. W kontekście spadku w okolicach Poznania od strony NW wykluczone jest bowiem wspólne położenie wzdłuż trasy bolidu, co widać na załączonej mapce (fig. 20). Niemniej jednak zastanawiające jest, że w tym samym czasie, kiedy dochodzi do zniszczeń w Wielkopolsce, zostają spalone i zrównane z ziemią zamki i miasta w Nowej Marchii (np. Strzelce Krajeńskie, Myślibórz) (Baszko 1822; Kürbis 2010), znajdujące się na linii pomiędzy miejscem odnalezienia meteoru Przelazy a punktem potencjalnego początku zjawiska 3 jednoczesnych słońc. Co więcej jezioro Niesłysz zlokalizowane jest w podobnym zasięgu co Morasko, biorąc pod uwagę jako miejsce początkowe punkt przecięcia się obu trajektorii, a w torfach otaczających ten akwen, w warstwie datowanej na około  $715 \pm 30$  lat, odnaleziono znaczne zagęszczenie frakcji magnetycznej (Stankowski 2012). Niewątpliwie należy wykonać dalsze badania w tym temacie.

## Podsumowanie

Wiedza na temat ukośnych impaktów i widoczna asymetria wałów głównego krateru w Rezerwacie Morasko, objawiająca się największą objętością wyrzuconego materiału po stronie południowo-wschodniej i wystąpieniem strefy wolnej od ejejty w części północno-zachodniej, dowodzą, że uderzenie bryły meteoru nastąpiło z kierunku NW. Potwierdza to również wydłużenie kształtu mniejszych zagłębień w tej samej osi. Identyczna asymetria występuje w przypadku grupy struktur odkrytych na terenie poligonu wojskowego, a także leżącego prawie dokładnie na przedłużeniu wyznaczonego dla nich kierunku spadku, odkrytego największego krateru, którego dno obecnie wypełnia silnie zeutrofizowane jezioro Umultowskie. Lokalizacja tego ostatniego obiektu jest zgodna z klasycznym rozrzutem meteorów w elipsie, według którego największe fragmenty spadają najdalej. Kierunek impaktu od strony NW można także odczytać, porównując kształt krateru „A” w Rezerwacie, z obserwacją Meteoru Czelabińskiego, który został bardzo dobrze udokumentowany. Mając na uwadze nową trajektorię, przestają dziwić znaleziska w okolicy Obornik Wielkopolskich, leżących tuż obok trasy przelotu głównej masy bolidu, które doskonale wpisują się w elipsę. Odcinek począwszy od tej lokalizacji do otoczenia jeziora Umultowskiego należy przyjąć jako długość nowego umownego obszaru rozrzutu fragmentów meteoru Morasko. Na tą chwilę jego szerokość będzie wyznaczała oś dotychczasowej elipsy.



Choć dla wszystkich rozpoznanych do tej pory struktur kierunek impaktu był od strony NW lub NNW, to nie można wykluczyć, że niektóre meteoryty spadły od strony N lub nawet NNE, a inne symetrycznie względem osi elipsy, od strony WNW, W lub w szczególnych przypadkach WSW. Można zauważyć pewną prawidłowość, że im mniejsza masa fragmentów tym większy kąt odchylenia od głównej trajektorii.

Do otwartych tematów, wymagających dalszych badań należą przede wszystkim:

- pomiar rzeczywistej głębokości (grubości osadów) jeziora Umultowskiego, przy czym odwierty należy wykonać nie tylko w miejscu lustra wody, ponieważ jako rozmiar krateru należy traktować cały obszar pomiędzy bocznymi wałami, który najprawdopodobniej w nierównomierny sposób uległ erozji i wypłycaaniu, bądź samo jego utworzenie było dużo bardziej złożone, przy jednoczesnej skomplikowanej topografii terenu sprzed impaktu;
- próba lokalizacji dużych brył meteorytu na terenie poligonu a jeśli się to uda odtworzenie drogi (kierunku), w jakim się poruszały. Mając tę informację i masę, będzie można oszacować prędkość, trajektorię i rozkład mas całego spadku, a przy okazji zweryfikować kąt uderzenia względem powierzchni, skoro jego dotychczasowe określenie opiera się na innym kierunku spadku;
- wykonanie analizy w okolicy Przełaz pod kątem lokalizacji kraterów z asymetrią wskazującą na uderzenie od północy lub od strony NNW. Byłby to silny argument za tym, że obserwacja jednoczesnych 3 słońc i odnotowanie zniszczeń w podobnym okresie w Nowej Marchii i Wielkopolsce były ze sobą powiązane.

Na koniec można jeszcze dodać, że w kontekście zdefiniowanej nowej elipsy, nawet w świetle wiadomości z kronik o trzech jednoczesnych bolidach, nie jest raczej możliwe by jakieś części meteorytu doleciały do Jankowa Dolnego, a więc potwierdza to wyniki wcześniejszych analiz, wskazujące na brak informacji o prawdziwej lokalizacji tego znaleziska. Przełazy, Nowy Tomyśl, Poznań, Murowana Goślina, Wągrowiec, Nakło nad Notecią będą w przybliżeniu wyznaczały granicę zasięgu fragmentacji, która na bardzo wczesnym etapie mogła nastąpić na dużej wysokości, zaraz po wejściu w atmosferę, gdzieś w okolicach Świnoujścia (lub wcześniej).

## Literatura

- Baszko G., 1822, *Kronika Lechitów i Polaków*, Armoryka, Warszawa 2016.
- Bronikowska M., Artemieva N.A., Wünnemann K., Szczucinski W., 2015, *Determining the initial parameters of the morasko meteoroid*, Bridging the Gap III: Impact Cratering In Nature, Experiments, and Modeling, 2015 University of Freiburg, Germany. LPI Contribution No. 1861, s. 1049.
- Cassidy W.A., Lenard M.L., 1996, *Discovering research value in the Campo del Cielo, Argentina, meteorite craters*, Meteoritics & Planetary Science 31, s. 433–448.
- Gault D.E., Wedekind J.A., 1978, *Experimental studies of oblique impact*, Lunar and Planetary Science Conference, 9th, s. 3843–3875.

- Herrick R.R., Hessen K.K., 2006, *The planforms of low-angle impact craters in the northern hemisphere of Mars*, Meteoritics & Planetary Science, 41(10), s. 1483–1495.
- Herrick R.R., Yamamoto S., Barnouin-Jha O. S., Sugita S., Matsui, T., 2008, *Constraints from laboratory experiments on crater excavation and formation of an uprange forbidden zone in an oblique impact*, Lunar and Planetary Science 39#2305.
- Kürbis B., 2010, *Kronika Wielkopolska*, Universitas, Kraków 2010.
- McDonald M.A., Melosh H.J., Gulick S.P.S., 2008, *Oblique impacts and peak ring position: Venus and Chicxulub*, Geophysical Research Letters, vol. 35, L07203.
- Muszyński A., Kryza R., Karwowski Ł., Pilski A.S., Muszyńska J., 2012, *Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej*, Poznań 2012.
- Pilski A.S., Karwowski Ł., Kryza R., Muszyński A., 2012, *Badania chemiczne deszczu meteorytów żelaznych Jankowo Dolne-Morasko-Przelazy*, ASMP, vol. 3, s. 157–158.
- Poelchau M.H., 2010, *The subsurface structure of oblique impact craters*, Berlin.
- Pokrzywnicki J., 1955, *O meteorytach naszych ziem zachodnich*, Urania nr 6, 1955, s. 165–172.
- Pokrzywnicki J., 1964, *I. Meteoryty Polski. II. Katalog meteorytów w zbiorach polskich*, Studia Geologica Polonica, vol. XV, Wydawnictwa Geologiczne, s. 70–71, Warszawa 1964.
- Ptak M., 2013, *Zmiany powierzchni i batymetrii wybranych jezior pojezierza pomorskiego*, Prace Geograficzne, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2013, z. 133, s. 61–76.
- Schultz P.H., Ernst C., A'Hearn M.F., Eberhardy C., Sunshine J.M., i zespół Deep Impact, 2006, *The Deep Impact collision: a large-scale oblique impact experiment*, Lunar and Planetary Science 37#2294.
- Schultz P.H., Eberhardy C.A., Ernst C.M., A'Hearn M.F., Sunshine J.M., Lisse C.M., i in., 2007, *The Deep Impact oblique impact cratering experiment*, Icarus 190, s. 295–333.
- Stankowski W., 2009, *Meteoryt Morasko. Osobliwość obszaru Poznania*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2009.
- Stankowski W., 2012, *Upadek meteorytu Przelazy w świetle danych geomorfologicznych i geologicznych*, ASMP vol. 3, s. 104–111.
- Szokaluk M., Jagodziński R., Muszyński A., Szczuciński W., 2015, *Ejecta blanket from the Morasko meteorite impact – first results*, Bridging the Gap III: Impact Cratering In Nature, Experiments, and Modeling, 2015 University of Freiburg, Germany. LPI Contribution No. 1861, s. 1100.
- Vesconi M.A., Wright S.P., Spagnuolo M., Jacob R., Cerrutti C., Garcia L., Fernandez E., Cassidy W.A., 2011, Meteoritics & Planetary Science 46, Nr 7, s 935–949.
- Walesiak T., 2016, *Analiza cech impaktu ukośnego na przykładzie struktur Porządzie, Jaszczuły i Ochudno*, ASMP vol. 7, s. 151–176.