

Janusz W. KOSINSKI¹, Ewelina KAMIŃSKA²

Upadek i rozmieszczenie fragmentów meteorytu Pułtusk

The Fall and the Distribution of Fragments the Pułtusk Meteorite

Abstract: From several years the fall of meteorite the Pułtusk is the object of interest again: they are this both theoretical works, as also field. Article presents fragment these workings and it contains the results of intimate works and searching.

Keywords: polish meteorites, Pułtusk meteorite

Wstęp

Meteoryt Pułtusk jest jednym z najbardziej znanych na świecie meteorytów, których upadek nastąpił na terytorium Polski. Pomimo upływu czasu od tego zdarzenia ponad 140 lat, fragmenty meteorytu, jak również obszar ich rozsiania (meteoryt spadł w postaci tysięcy odłamków na powierzchnię kilku dziesiątek kilometrów kwadratowych), są nadal przedmiotem zainteresowania badaczy meteorytów. W niniejszej pracy zaprezentowano wstępne wyniki opracowań kilku wybranych zagadnień z tego zakresu tematycznego, podjętych w ostatnich latach.

Orbita meteoroidu pułtuskiego

Przez wiele lat – w wieku XIX i na początku XX – przyjmowano, że w okolicach Pułtuska, 30 stycznia 1868 r. spadło ciało pochodzące spoza Układu Słonecznego. Jego orbitę niedługo po spadku obliczył J.G. Galle, znany z odkrycia Neptuna – z obliczeń tych wynikało, że orbita meteoroidu była hiperbolą (Galle 1868). Galle obliczył, że prędkość orbitalna meteoroidu wynosiła $54,3 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, zaś prędkość względem Ziemi miała wynosić niemal $28 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Obecnie wiadomo, że taka prędkość ciała w ziemskiej atmosferze daje tylko teoretyczne możliwości dotarcia do powierzchni – obserwacje spadków meteorytów i poprzedzających je zjawisk

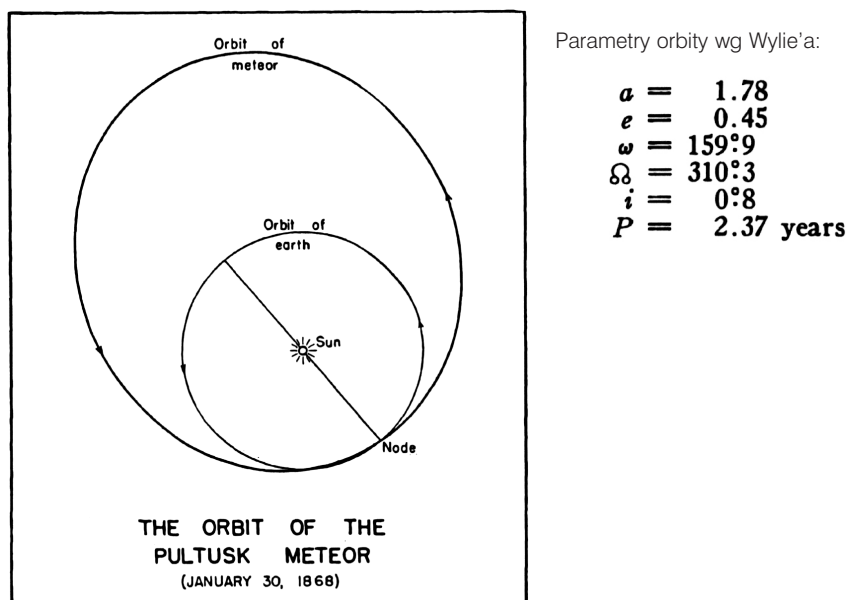
¹ *Wyszków, meteorites@vp.pl*

² *Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geologicznych i Geograficznych*

bolidów, jednoznacznie wskazują, że szanse dotarcia do powierzchni Ziemi, mają ciała o prędkościach nie większych niż $15\text{--}19\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Przy większych prędkościach (względem Ziemi) utrata masy w atmosferze sięga 99% (Norton 2002).

Wiadomo też, że fragmenty meteorytu Pultusk miały na tyle małe prędkości, że nawet największe bryły nie zaryły się w podłożu, a mniejsze leżały na śniegu i lodzie pokrywającym Narew (Kosinski 2007b). A więc spadające ciało zostało wyhamowane skutecznie, co pozwala przypuszczać, że jego prędkość nie była duża. To z kolei pozwoliło znacznej części meteoroidu przetrwać atmosferyczną fazę lotu.

W 1940 r. wyniki uzyskane przez Galle'go zostały krytycznie zweryfikowane – wcześniej nikt tego nie robił, głównie ze względu na autorytet autora. C.C. Wylie gruntownie przeanalizował dane i uwzględnił w nich możliwe błędy, łącznie z czynnikami psychologicznymi i statystycznymi. Uwzględnione zostały również błędy w ocenie czasu trwania zjawiska bolidu oraz efektów dźwiękowych. To wszystko pozwoliło ponownie wyznaczyć orbitę. Okazała się ona elipsą, zaś prędkość względem Ziemi wyliczona na $6,76\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ pozwala przyjąć, że ciało opadało swobodnie pod wpływem siły grawitacji ziemskiej (z prędkością rzeczywistą $11,2\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ – II prędkością kosmiczną). Wyznaczenie nowej orbity pozwoliło określić skąd przybył meteoroid: był to pas planetoid pomiędzy Marsem a Jowiszem (Wylie 1940).



Ryc. 1. Orbita meteoroidu pultuskiego wg Wylie'a (Wylie 1940)

Współczesne badania wskazują na to, że meteoroid ten był wcześniej częścią planetoidy 6 Hebe (Biała 2008).

Obserwacje bolidu pułtuskiego

Prasa codzienna, głównie warszawska, ukazująca się w 1868 r., przynosi szereg opisów zjawiska bolidu. Już pierwsze doniesienia z 31 stycznia i początkowych dni lutego 1868 r., ale również późniejsze, mówią o tym, że widziano dwa bolidy (dwie części), lub też rozpad bolidu w czasie obserwacji zjawiska. Doniesienia takie możemy znaleźć m.in. w Kurjerze Warszawskim z 31 stycznia, Dzienniku Poznańskim z 2 lutego, Dzienniku Warszawskim z 3 lutego, Kurjerze Codziennym z 3 lutego, Gazecie Polskiej z 10 lutego, Dzienniku Warszawskim z 16 lutego, Gazecie Warszawskiej z 19 lutego, Dzienniku Warszawskim z 22 lutego i Gazecie Warszawskiej z 16 marca 1868 r. Na podstawie tych opisów nie uda się określić dokładnie momentu rozpadu pierwotnego meteoroidu, ale wiele wskazuje na to, że takie zjawisko miało miejsce na znacznej wysokości.

Fragmentacja meteoroidu na różnych wysokościach

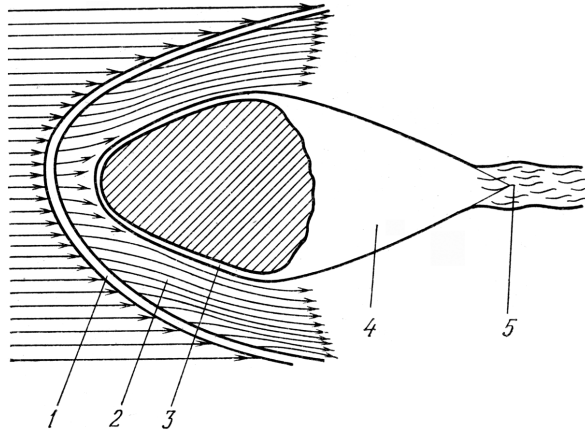
Rozpad meteoroidu na różnych wysokościach mogą potwierdzić znalezione fragmenty meteorytów. Jeśli ciało rozpadło się wysoko, przy dużej prędkości, a więc w czasie występowania intensywnego tarcia, to upadłe fragmenty powinny mieć równomierną i całkowitą skorupę obtopieniową (I stopnia), która zdążyła się utworzyć przed zetknięciem z powierzchnią Ziemi; niektóre fragmenty mogą wykazywać cechy meteorytów orientowanych. Rozpad na niewielkiej wysokości spowoduje, że taka pełna i jednorodna skorupa nie zdąży się wytworzyć i upadłe odłamki będą posiadały tylko jej fragmenty. Spotykana na ogół będzie skorupa obtopieniowa wykształcona częściowo (II stopnia) lub też tylko fragmentaryczna skorupa obtopieniowa na wystających elementach spadającego ciała (III stopnia).

Innym efektem fragmentacji meteoroidu na dużych wysokościach będzie zróżnicowanie rozmieszczenia upadłych fragmentów na powierzchni Ziemi. Może być ono zupełnie odmienne od klasycznego obrazu elipsy z dużymi odłamkami w części przedniej i drobnymi z tyłu. Ostateczny obszar spadku może być w takiej sytuacji złożeniem mniejszych obszarów spadku poszczególnych części, a fragmenty o różnych masach będą wymieszane i klasyczne sortowanie pozornie nie będzie widoczne.

Aby uzyskać dane świadczące o przebiegu rozpadania się pierwotnego ciała, najlepiej byłoby zebrać fragmenty tuż po spadku, oczywiście wszystkie i z bardzo dokładnym określeniem lokalizacji w obszarze spadku. Wydaje się, że w przypadku meteorytu Pułtusk, stoimy od razu na straconej pozycji – od zjawiska minęło 140 lat i powyższych danych nikt nie zebrał. Można jednak zastosować metody pośrednie: statystykę występowania skorupy obtopieniowej i wyniki współczesnych poszukiwawczych prac terenowych.

Wcześniej jednak trzeba spróbować odpowiedzieć na pytanie czy fragmentacja spadającego meteoroidu na dużych wysokościach jest możliwa. Wydaje się bowiem, że w pierwszej fazie przelotu przez górne warstwy atmosfery o małej gęstości gazów, ciśnienie aerodynamiczne jest zbyt małe by meteoroid mógł się rozpaść.

Czynnikiem powodującym rozpad meteoroidu jest bowiem ciśnienie powstające u czoła fali uderzeniowej podczas hamowania w atmosferze planety. Okazuje się, że meteoroidy mogą ulegać rozpadowi w dosyć szerokich granicach oddziaływającego na nie ciśnienia aerodynamicznego (Bronszten 1981).



Ryc. 2 Schemat budowy fali uderzeniowej w otoczeniu meteoroidu. 1 – front fali uderzeniowej, 2 – warstwa główna fali uderzeniowej – zagęszczenie molekuł gazów, 3 – warstwa graniczna – z efektami intensywnego tarcia, 4 – strefa rozrzedzonego gazu, 5 – ślad

Ważnymi czynnikami warunkującymi rozpad ciała jest wytrzymałość materiału z którego powstało, ale również silna vibracja towarzysząca gwałtownemu wyhamowywaniu w atmosferze. To sprawia, że nawet meteoroidy żelazne, mogą rozpaść się przy wejściu w atmosferę, na znacznych wysokościach. Na przykład ciało macierzyste meteorytu Sikhote-Alin rozpadło się, gdy siła ciśnienia aerodynamicznego była dziesięciokrotnie niższa od wytrzymałości materiału budującego meteoroid. Stało się tak, gdyż składał się on z kilkucentymetrowych kryształów kamacytu, które na skutek silnej vibracji rozluźniły swoją strukturę i jego rzeczywista ogólna wytrzymałość bardzo spadła (Żbik 1987).

Dla nas bardzo interesujący jest upadek meteorytu Żowtnewyj Hutor (międzynarodowa nazwa: Zhovtnevyj) z 10 października 1938 r. Spadł wtedy deszcz meteorytów chondrytów typu H5 o stopniu zszokowania S3 – a więc takich jak meteoryt Pułtusk. Obliczono, że rozpad meteoroidu nastąpił przy ciśnieniu aerodynamicznym 300 000 hPa (Bronszten 1981).

Jak krucha może być materia meteoroidu pokazuje przypadek bolidu z 20 czerwca 1977 r. Na podstawie obserwacji fotograficznych stwierdzono, że poruszając się z prędkością $23 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ rozpadł się on na wysokości 69 km przy ciśnieniu aerodynamicznym zaledwie 600 hPa (Bronszten 1981).

Meteoryt Pułtusk ma niejednorodną strukturę (Maneck 1972; Siemiątkowski 2004) i jest zszokowany, co zdecydowanie sprzyjało fragmentacji ciała w czasie przelotu przez atmosferę już w początkowej fazie. Z drugiej strony rozpad na małej wysokości spowodowałby co prawda powstanie wielu fragmentów, ale pozostaje pytanie, jaki rodzaj skorupy obtopieniowej byłby reprezentowany najliczniej.

Stopień obtopienia odłamków meteorytu Pułtusk

Fragmety meteorytu Pułtusk w polskich kolekcjach są dość liczne, a ich liczba wynosi ok. 600 sztuk. Jeśli przyjmiemy, że podjęto ok. 10 tysięcy okazów (Pilski 1999), to krajowe zbiory stanowią ok. 6% zebranych fragmentów. Jest to próba reprezentatywna, tym bardziej, że w zbiorach są zarówno okazy o wadze kilku kilogramów, jak i nieco ponad gram zebrane z całego obszaru spadku.

Za cel przyjęto określenie rodzaju skorupy tak jak największej liczby zgromadzonych okazów znajdujących się w polskich zbiorach i określenie jej zależności od masy. Udało się przebadać 553 okazy z Uniwersytetu Warszawskiego, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Wrocławskiego, Muzeum Ziemi PAN w Warszawie oraz Muzeum Geologicznego PAN w Krakowie. Kryteria przyjęte do przeprowadzenia badań to: obecność I, II i III rodzaju skorupy obtopieniowej, ostrokrawędzistość oraz ewentualna orientacja okazów. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań makroskopowych odłamków meteorytu Pułtusk.

Waga (g)	Ilość odłam.	Ilość odłamków w (%)	I RODZAJ SKORUPY		II RODZAJ SKORUPY		III RODZAJ SKORUPY	
			Ilość odłamków	% w przedziale	Ilość odłamków	% w przedziale	Ilość odłamków	% w przedziale
1–10	322	58,3	320	99,1	50	15,5	10	3,1
10,1–50	159	28,7	155	97,5	73	45,9	18	11,3
50,1–100	20	3,6	20	100,0	10	50,0	2	10,0
100,1–500	35	6,3	35	100,0	13	37,1	5	14,3
500,1–1000	9	1,6	9	100,0	3	33,3	0	0,0
>1000,1	8	1,5	8	100,0	2	25,0	0	0,0
SUMA	553	100,0	547		151		35	

Występowanie dwóch rodzajach skorupy obtopieniowej bardzo plastycznie opisał A. Pilski: „Okazy meteorytu Pułtusk są przykryte czarną, matową, lekko chropowatą skorupą, która miejscami przybiera brązowy odcień. Tam, gdzie jest ona gruba prawie na milimetr powierzchnia meteorytów staje się bardziej gładka, a brzegi łagodnie zaokrąglone. Miejscami jednak skorupa jest cienka, czasem nawet ma postać czarnych łatek nie łączących się ze sobą. Powierzchnia meteorytu jest wtedy nierówna jak powierzchnia świeżo rozłupanego kamienia.” (Pilski 1999).

Opis ten nie uwzględnia jednak III rodzaju. Ten typ skorupy występuje rzadko, a spotykany jest głównie na małych okazach o masie 1–50 g, co stanowi 80% okazów posiadających ten rodzaj skorupy. Jest ona bardzo cienka, występuje zawsze w przypadkach występowania skorup I lub II rodzaju, powierzchnia jej jest nierówna i przypomina lekko nadtopione minerały. Jest ona dowodem kilkakrotnej fragmentacji większych odłamków, które rozpadały się jeszcze tuż nad powierzchnią ziemi.

Małe fragmenty są najszybciej wyhamowywane w atmosferze, ale okazuje się, że mają także bardzo dobrze wykształconą skorupę obtopieniową I rodzaju (ponad 98% wszystkich okazów z przedziału 1–50 g). Pozwala to zatem wyciągnąć wniosek, że fragmentacja zaszła na znacznej wysokości i skorupa zdążyła się wytworzyć w pełnym wymiarze u większości okazów na całej powierzchni. Niektóre odłamki z przedziału 1–50 g mogły też później ulegać fragmentacji, na niższej wysokości, na co wskazuje obecność wszystkich rodzajów skorupy obtopieniowej.

Na dużych fragmentach meteorytu Pułtusk występuje skorupa I i II rodzaju. Wszystkie okazy (100%) o masach powyżej 50 g mają skorupę obtopieniową I rodzaju, a niemal 40% z nich (25–50%) posiada II rodzaj skorupy. Skorupa III rodzaju jest tu spotykana bardzo rzadko.

Obserwacje przelotu oraz słyszane dźwięki świadków upadku meteorytu pułtuskiego, świadczą o tym, że rozpad nie zachodził ani stopniowo ani jednorazowo.

W przypadku meteorytu Pułtusk interpretacja danych wydaje się dość łatwa, ponieważ prawie wszystkie odłamki (około 99,5%) posiadają skorupę I rodzaju.

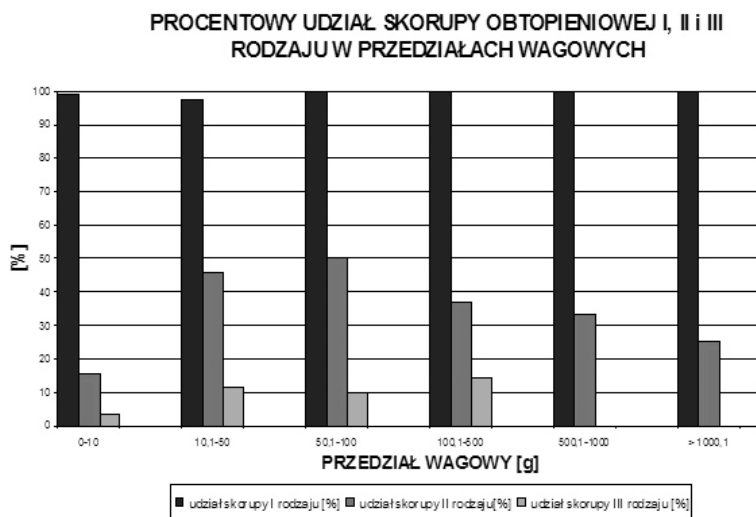
Na wykresie z ryc. 3 daje się zauważyć procentowy wzrost udziału skorupy III stopnia wraz ze wzrostem wielkości okazów. I tak, w przypadku najmniejszych okazów 1–10 g wartość ta wynosi 3%, w przedziale 10,1–50 g ponad 11%, a w przedziale 100,1–500 g wartość ta przekracza 15%. Zastanawiający jest fakt, że w pozostałych okazach tj. powyżej 500 g zauważamy całkowity brak skorupy III rodzaju. Najbardziej prawdopodobną hipotezą wyjaśniającą taki rozkład jest sytuacja, gdy już na początku następuje rozpad na dwa ciała znacznej wielkości wchodzące w atmosferę ziemską. Jedno z nich ulega fragmentacji na drobne elementy, które w znacznym stopniu pokrywają się skorupą I rodzaju. Drugi fragment rozpada się nieco później. Dominują tu większe odłamki: część z nich (największe) nie uległy kolejnym fragmentacjom, które zaowocowałyby obecnością skorupy III rodzaju; część jednak rozpadała się nadal i te posiadają różne rodzaje skorupy, również III rodzaju.

Hipoteza znajduje swoje potwierdzenie w szeregu obserwacji przelotu bolidu pułtuskiego. Przykładami mogą być jeden z opisów zamieszczonych w Kurierze Warszawskim z 31 stycznia 1868 r.: „[...] *alem ja wyraźnie widziała dwie ogniste kule, przelatujące strasznie wysoko po nad Warszawą i to one tak ogromnie świeciły* [...]” czy też opis z Gazety Polskiej z 10 lutego 1868 r.: „[...] *meteor w oczach ludzi patrzących na niego w tamtej stronie, był wielką kulą, która rozdzieliła się na dwie kształtu owalnego – a przy nich naokoło mnóstwo pryskających gwiazdek z ogonkami* [...]”. Doniesienie o obserwacji dwóch bolidów (meteorów) pochodzi też m.in. z Węgier.

Innym efektem fragmentacji meteoroidu na dużych i różnych wysokościach, będzie zróżnicowanie rozmieszczenia upadłych fragmentów na powierzchni Ziemi. W powyższej sytuacji może być ono zupełnie odmienne od klasycznego obrazu elipsy z dużymi odławkami w części przedniej i drobnymi z tyłu. Końcowy obszar spadku może być złożeniem mniejszych obszarów spadku poszczególnych części, a fragmenty o różnych masach będą wymieszane i klasyczne sortowanie nie będzie widoczne.

O orientacji możemy mówić w przypadku najmniejszych i największych odłamków. Najmniejszy orientowany fragment ma wagę 4,5 g, zaś największy – 2860 g. Najwięcej okazów orientowanych, bo aż 80%, spotykamy w przedziale 1–50 g. Są to małe okazy, tak więc mogły one ulec znacznie szybciej orientacji niż okazy o większej masie, ale świadczy to też o znacznej przebytej drodze – okaz taki musi mieć odpowiedni czas, by ustabilizować swoją pozycję w przelocie przez atmosferę. Zastanawiający jest jedynie fakt, czemu jeden z największych przebadanych fragmentów o masie 2860 g także wykazuje orientację. Można przypuszczać, że w czasie fragmentacji na dużej wysokości powstawały nie tylko mniejsze okazy, ale również duże lub też jeden z fragmentów meteoroidu rozsypał się na małe fragmenty drugi zaś na fragmenty większe, z których część już dalszej fragmentacji nie ulegała. Wśród większych okazów rzadziej spotyka się takie, które całkowicie pokryte są skorupą obtopieniową, a szczególnie trudno jest znaleźć okazy z całkowitą skorupą I stopnia. Można natomiast znaleźć tu okazy z powierzchniami w ogóle nie pokrytymi skorupą. Świadczy to o rozpadaniu się tych fragmentów na bardzo niewielkich wysokościach i już bardzo mocno wyhamowanych – dane te doskonale pasują do wcześniejszych wniosków dotyczących występowania różnych rodzajów skorupy obtopieniowej.

Przedstawieniem graficznym omawianych statystyk jest rycina 3, która obrazuje występowanie poszczególnych rodzaj skorupy w przedziałach masowych odłamków meteorytu Pułtusk.



Ryc. 3. Zależność pomiędzy masą fragmentów meteorytu Pułtusk a rodzajem skorupy obtopieniowej (na podstawie tabeli 1)

Rozkład odłamków w obszarze spadku

W literaturze najczęściej spotykamy mapę Samsonowicza ukazującą obszar i rozmieszczenie upadłych fragmentów (Samsonowicz 1952). Jest to oczywiście obraz oparty na metodach pośrednich – Samsonowicz zbierał informacje o spadku

przeszło 50 lat po tym wydarzeniu. Mniej znana jest mapa zamieszczona w cytowanym już opracowaniu Szkoły Głównej Warszawskiej (Kosinski 2007b), a wiele wskazuje na to, że zawiera dane o położeniu meteorytów znajdujących kilka lub kilkanaście dni po upadku.

Może się wydawać, że obecnie, 140 lat po wystąpieniu zjawiska, możliwości odnalezienia okazów są już bardzo niewielkie, a już zupełnie nie ma szans na zweryfikowanie postawionych hipotez czy też uzyskanie nowych danych na podstawie prac terenowych. Systematyczne prace poszukiwawcze zainicjowane w 2002 r. pokazały, że stwierdzenie takie nie jest słuszne (Kosinski 2007a). W ostatnich latach podjęto szereg fragmentów meteorytu Pułtusk. Ich ilość przedstawia tabela 2 – jest to zestawienie tylko zarejestrowanych znalezisk. Niestety, oprócz osób poszukujących okazów w celach dokumentacyjnych, są poszukiwacze o celach czysto komercyjnych, którzy znalezisk nie zgłaszają.

Tabela 2. Ilość okazów meteorytu Pułtusk podjętych od 2002 r.

Rok	Ilość okazów; uwagi
2002	1 szt.; Obszar poszukiwawczy I
2003	1 szt.; Obszar poszukiwawczy I; bardzo zwietrzały
2004	1 szt.; Obszar poszukiwawczy II; pozyskany od mieszkańca
2005	5 szt.; Obszar poszukiwawczy II 1 szt.; Obszar poszukiwawczy I
2006	2 szt.; Obszar poszukiwawczy II
2007	14 szt.; Obszar poszukiwawczy II; dobry stan zachowania
2008	5 szt.; Obszar poszukiwawczy II; zwietrzałe; m.in. tzw. groch pułtuski
2009	3 szt.; Obszar poszukiwawczy II
2010	2 szt.; Obszar poszukiwawczy II
W sumie: 35 szt. o wadze ok. 6,5 kg	
Obszar rozsiania odłamków meteorytu Pułtusk ze względów logistycznych został podzielony na 3 obszary poszukiwawcze: Obszar I – południowa część (na południe od Narwi) Obszar II – środkowa część (na północ od Narwi) Obszar III – północna część (ok. Rzewni)	

Nie ilość okazów jest jednak istotna, lecz wnioski jakie zaczynają się pojawiać na podstawie tych znalezisk. Co więcej, pojawiają się elementy, pasujące do wcześniej prezentowanych hipotez, czy wręcz rzucające na nie nowe światło.

Dwa najważniejsze wnioski z prac terenowych, które pojawiły się w ciągu ostatnich lat są następujące:

- 1) w środkowej części obszaru spadku (Obszar poszukiwawczy II) okazy nie wykazują przyjmowanego wcześniej sortowania – obok siebie są znajdowane okazy kilkunastogramowe, jak również ponad kilogramowe, a dalej na północ, gdzie masa pojedynczych okazów powinna rosnać, spotyka się okazy 30–60 g;

2) odnalezienie okazów całkowitych tzw. grochu pułtuskiego, na północ od Narwi (Obszar poszukiwawczy II) – tam gdzie wg Samsonowicza powinny występować okazy 200–2000 g, stawia w nowej perspektywie nie tylko dane o zjawisku, ale też każe zweryfikować metody i cel prac terenowych. Nie jest to jednak wielkim zaskoczeniem, jeśli weźmiemy pod uwagę chociażby takie doniesienie zamieszczone w Kurierze Codziennym z 3 lutego 1868 r.: „*We wsi Sielcu o 2 mile od Pułtuska* [jest to dzisiejszy Stary Sielc, położony ok. 2 km na północ od Narwi – przyp. autorów] w *majątności p. Gąsowskiego*, – *część ogrodu pokryta została drobnymi odłamkami kamieni.*”

Ze względu na trwające cały czas prace terenowe, szczegółowe wyniki nie są jeszcze objęte publikacją.

Wnioski

Najważniejszym wnioskiem jest konieczność kontynuowania prac poświęconych meteorytowi Pułtusk. Najnowsze teorie dotyczące zjawisk upadku meteorytów na Ziemię przewidują różne scenariusze ich przebiegu, w zależności od wielu czynników dynamicznych i mechanicznych (Collins i inni 2005). Również wyniki badań terenowych, czasami odbiegają od klasycznych teorii upadku meteorytów na powierzchnię Ziemi.

W przypadku meteorytu Pułtusk, wiele argumentów wskazuje na to, że meteoroid rozpadł się dość wysoko nad powierzchnią Ziemi na dwie części. Jedna z nich, prawdopodobnie mniejsza, rozpadła się na drobne fragmenty, które uzyskały pełną skorupę obtopieniową i utworzyły obszar spadku tzw. grochu pułtuskiego. Druga część, większa, rozpadła się na szereg różnomasowych fragmentów (niektóre z nich później rozpadły się na jeszcze mniejsze), a które cechuje zróżnicowany stan obtopienia. Te fragmenty utworzyły obszar spadku o zróżnicowanym, ale nie do końca posortowanym układzie odłamków. Oba obszary spadku częściowo nałożyły się na siebie.

Konieczna będzie również dalsza weryfikacja wielkości obszaru spadku meteorytu Pułtusk, szczególnie w świetle pozyskanych informacji o podjęciu okazów w okolicach Różna oraz Czerwonki – obie lokalizacje znajdują się co najmniej o kilka kilometrów na północ od dotychczas przyjmowanego obszaru spadku meteorytu Pułtusk.

Podziękowania

Autorzy dziękują przede wszystkim osobom zaangażowanym w dotychczasowe prace terenowe oraz tym wszystkim, którzy udostępnili uzyskane dane. Są to: Arkadiusz Bingoraj, Grzegorz Brodowicz, Piotr J. Kosiński, Tomasz Kubalczak, Krzysztof Matwiejczyk, Marcin Stolarz, Zbigniew Tymiński, Piotr Wartecki-Wartecki.

Literatura

- Biała J., 2008. *Skąd przybył meteoryt Pultusk?* [w:] Meteoryt Pultusk. Największy deszcz meteorytów kamiennych, Warszawa: 41–47.
- Bronszten W.A., 1981. *Физика метеорных явлений*, Moskwa.
- Collins G.S., Melosh H.J., Marcus R.A., 2005. *Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth*; Meteoritics and Planetology Science 40, nr 6: 817–840.
- Galle J.G., 1868. *Über die Bahn des am 30 Januar 1868 beobachteten und bei Pultusk im Königreiche Polen als Steinregen niedergefallenen Meteors durch die Atmosphäre*; Jahresbericht und Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft für Vaterländische Culture 45.
- Kamińska E., 2009. *Rodzaje skorup obtopieniowych a rozmieszczenie odłamków meteorytu Pultusk*, praca magisterska (mps), UAM Poznań.
- Kosinski J.W., 2007a. *Czy można jeszcze znaleźć meteoryt Pultusk?* [w:] Materiały III Seminarium Meteorytowego OLSZTYN 2005: 49–54.
- Kosinski J.W., 2007b. „*Notice sur la météorite tombée le 30 Janvier 1868...*” – pierwsze kompleksowe opracowanie naukowe o meteorycie Pultusk, Wyszaków.
- Norton O.R., 2002. *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*, Cambridge.
- Maneck A., 1972. *Studium mineralogiczno-petrograficzne meteorytu Pultusk*; Prace Mineralogiczne 27: 53–69.
- Pilski A.S., 1999. *Nieziemskie skarby*, Warszawa.
- Samsonowicz J., 1952. *O wieku, pochodzeniu i przypuszczalnej ilości oraz masie meteorytu pultuskiego*; Wiadomości Muzeum Ziemi VI: 57–68.
- Siemiątkowski J., 2004. *Chondryt Pultusk: przykład meteorytowej brekcji wieloskładnikowej (H4+H5)*, Meteoryt 2(50): 26–28.
- Wylie C.C., 1940. *The orbit of the Pultusk Meteor*; Popular Astronomy 48: 306–311.
- Żbik M., 1987. *Tajemnice kamieni z nieba*, Warszawa.

Prasa z 1868 roku

- Dziennik Poznański* – 2 lutego
Dziennik Warszawski – 31 stycznia
Gazeta Polska – 10 lutego
Gazeta Warszawska – 19 lutego, 16 marca
Kurjer Codzienny – 3 lutego
Kurjer Warszawski – 3 lutego, 16 lutego, 22 lutego