

Mateusz ŻMIJA¹

Spadki meteorytów w 2017 roku. Okoliczności i obserwacje

Meteorite falls in 2017. Circumstances and observations

Abstract: This scientific paper is a summary of the meteorite falls in 2017: Broek in Waterland (Holland), Tres Irmaos (Brazil), Serra Pelada (Brazil) and Kheneg Ljouâd (Morocco). The study also includes a section about unconfirmed falls, such as Puya Medio (Colombia), Mukundpura (India), Crawford Bay (Canada) and Sadiya (India). The vast majority of these specimens is ordinary chondrites of the L and LL groups. Only Serra Pelada meteorite turned out to be eucrite and Mukundpura is suspected to be carbonaceous chondrite. The author collects and organizes basic information about these findings and compares the latest data with statistics from previous years. The description of the circumstances of finding meteorites are brief and maintained in the popular-scientific tone. The text also includes a set of fireballs and bolides that could end with a meteorite fall. Among them is also a bolide that was visible from Poland. The thesis resembles the criteria for dividing meteors and notes the differences in their naming. It is extended by analogies and comparisons that make possible to look at the issues from different perspectives: from the statistical, through the media, to the historical one.

Keywords: meteorite, meteorite fall, meteor, fireball, bolide, summary, chondrite, eucrite

Spadki to jeden z najbardziej spektakularnych aspektów meteorytyki. Dzięki nim profesjoniści pozyskują świeży materiał badawczy, amatorzy astronomii mają okazję zachwycić się widokiem jasnych meteorów lecących po nieboskłonie, a kolekcjonerzy pozyskują nowe okazy. Niejednokrotnie są za nie skłonni zapłacić bardzo wysokie kwoty.

Jak szacują członkowie American Meteor Society, każdego dnia spada na Ziemię od 10 do 50 meteorytów (AMS 2018). Zdecydowana większość z nich ląduje w wodach, ponieważ 71% powierzchni Ziemi zajmują oceany i morza (Williams 2016), lub spada na tereny niezamieszkałe. Każdego dnia ludzkość ma więc szansę odnotować zaledwie kilka spadków. Jeżeli dodamy do tego, że część zjawisk ma miejsce za dnia i umyka kamerom stacji bolidowych bądź oczom obserwatorów, liczba potencjalnych meteorytów staje się jeszcze bardziej ograniczona.

¹ Autor bloga „Skarby Kosmosu” (www.skarbykosmosu.pl); e-mail: kontakt@skarbykosmosu.pl

Celem niniejszej pracy jest zgromadzenie i uporządkowanie wiedzy na temat spadków w 2017 roku, ze szczególnym uwzględnieniem okoliczności ich znalezienia. Posłużą do tego nie tylko oficjalne informacje opublikowane w Meteoritical Bulletin Database, ale również artykuły prasowe i wpisy w mediach społecznościowych. Okazuje się, że w ubiegłym roku spadki miały miejsce w Holandii, Brazylii, Maroku oraz – przypuszczalnie – w Indiach, Kolumbii i Kanadzie. Wbrew informacjom powielanym przez tabloid Super Express (SE.pl 2018), w Polsce oficjalnie nie potwierdzono żadnego spadku.

Istotnym elementem pracy jest też porównanie informacji na temat typów i wagi spadków z 2017 roku ze statystykami z lat wcześniejszych.

Spadki potwierdzone przez The Meteoritical Society

Broek in Waterland

Chondryt zwyczajny (L6)

TKW: 530 g

Miejsce spadku: 52°26'N, 4°59'E (Holandia)

Klasyfikacja: L.M. Kriegsman, M. Langbroek (NBC)

Pierwszy spadek w 2017 roku miał miejsce w miasteczku Broek in Waterland koło Amsterdamu. Na podstawie nagrania z rejestratora samochodowego określono, że spadek nastąpił 11 stycznia 2017 r. o 17:09 czasu lokalnego. Meteor nie został zarejestrowany przez sieci bolidowe, ponieważ większość kamer w tym regionie uruchamiała się automatycznie dopiero po zmroku. Kierowca, który zarejestrował bolid kamerą umieszczoną w samochodzie (YouTube 2017a), jechał autostradą niedaleko Weerde w Belgii. To około 165 km w linii prostej od miejsca spadku (Gyssens 2017).



Okaz meteorytu Broek in Waterland (fot. Marco Langbroek, za zgodą)

Następnego dnia okazało się, że meteoryt uderzył w ogrodową szopę. Właściciele zauważyli dziurę w dachu i odłamki dachówek leżące na ziemi. Wewnątrz szopy znajdował się czarny kamień. Miał wielkość małej pięści i ważył 530 g. Prawie cała powierzchnia kamienia była pokryta cienką skorupą obtopieniową z widocznymi otarciami po uderzeniu w dach budynku. Okoliczności spadku meteorytu Broek in Waterland sprawiły, że został też nazwany *hammerem*, czyli meteoritem, który wyrządził na ziemi określoną szkodę.

Właściciele uszkodzonego budynku skontaktowali się z holenderskimi naukowcami. Powiadomienie o spadku otrzymał Niek de Kort z Royal Dutch Astronomy & Meteorology Association. Przebywał jednak za granicą, więc sprawą zajęli się Leo Kriegsman i Marco Langbroek (Dutch National Museum of Natural History in Leiden). Badania naukowe były prowadzone niemal równoległe z poszukiwaniami w rejonie miejsca spadku. Innych fragmentów nie znaleziono.

Masa główna meteorytu Broek in Waterland znajduje się w rękach znalazcy, który pragnie pozostać anonimowy. Drobne fragmenty i proszek z cięcia o łącznej wadze 20 g trafiły do siedziby Naturalis Biodiversity Center w Holandii, a do klasyfikacji posłużył fragment o wadze 14,42 g (Meteoritical Bulletin Database).

Tres Irmaos

Chondryt zwyczajny (L6)

TKW: 890 g

Miejsce spadku: 14°7'1"S, 43°3'51"W (Brazylia)

Klasyfikacja: M.E. Zucolotto (MN/UFRJ), A.A.Tosi (IGEO/UFRJ)

26 maja 2017 roku o godz. 11:30 czasu lokalnego meteoryt spadł w brazylijskim mieście Palmas de Monte Alto. Mimo znakomitej, słonecznej pogody, nikt nie zauważył na niebie bolidu. Mieszkańcy miasta słyszeli co prawda wybuchy, ale uznali, że to hałas powodowany przez robotników przy budowie nowej linii kolejowej albo detonacje w pobliskim kamieniołomie. Jedna z mieszanek, Euzani Pais, usłyszała też świst i odgłos uderzenia przedmiotu o glebę. Wyszła na zewnątrz. Zaskoczyły ją kłęby piasku unoszące się w powietrzu. Zawołała córkę i wnuczkę, z którymi wspólnie odnalazła dołek w piaszczystej drodze oraz leżący tam czarny kamień.

Wideo z tego zajścia opublikował w internecie historyk, Nilton Azevedo. Na miejsce przybył kolekcjoner Andre Moutinho, M. E. Zucolotto (MNRJ) i W. Carvalho (GPA/UFBA). Potwierdzili oni autentyczność okazu i 2 czerwca kupili go wspólnie z burmistrzem miasta.

Teraz 450 g meteorytu Tres Irmaos jest własnością ratusza, a 50 g trafiło do Muzeum Narodowego w Rio de Janeiro (Meteoritical Bulletin Database). Pozostała część jest w rękach prywatnych i można ją zakupić w cenie około 70 \$/g.

Region Bahia, w którym zaobserwowano spadek meteorytu Tres Irmaos, słynie też z pięciu innych okazów. Największym z nich jest Bendegó (IC), który waży 3,56 t. Został znaleziony w 1784 roku (Buchwald 1975). Historia tego odkrycia jest warta przypomnienia.



Płytką meteorytu Tres Irmaos (fot. Andre Moutinho, za zgodą)

Meteoryt odnalazł młody pasterz bydła na półpustynnej wyżynie nad rzeką Bendegó. Lokalna ludność uznała znalezisko za kilkunetonową grudę srebra, a na miejsce wyruszyła ekspedycja złożona z 30 mężczyzn i 20 par wołów. Wyprawa zakończyła się jednak fiaskiem, bo ładunek okazał się za ciężki dla prowizorycznego wozu, który został skonstruowany z myślą o wyprawie. Prymitywny pojazd rozpadł się i razem z meteorytem stoczył ze zbocza do suchego koryta rzeki Bendegó, zaledwie 180 m od miejsca znalezienia. Przez niemal cały XIX wiek badacze docierali w ten rejon, by przeprowadzić wizje lokalne, odłupać fragmenty meteorytu, przebadac je i przesłać do Europy, gdzie były nabywane przez kolekcjonerów.

Szansa na skuteczny transport meteorytu do Rio de Janeiro pojawiła się niepełna sto lat później, bo w 1883 roku. W odległości 113 km od miejsca spadku zbudowano nową linię kolejową. Długa podróż do torowiska udała się przede wszystkim dzięki kreatywności emerytowanego oficera marynarki, Jose Carlosa de Carvalho i jego syna – Vincente. Mężczyźni zbudowali wóz z kutego żelaza, który był wyposażony w dwa zestawy kół. Jeden był wykonany z żeliwa, a drugi z drewna. Pod czujnym okiem konstruktorów, mężczyźni z pobliskich wiosek oraz ich 20 wołów ciągnęło meteoryt przez 172 dni aż do nowej linii kolejowej.

Bendegó znajduje się w wielu kolekcjach, także prywatnych, a jego historia daje wyobrażenie o postępie technologicznym i logistycznym, który dokonał się w XIX i XX wieku (Buchwald 1975).

Innymi popularnymi spadkami w regionie Bahia są meteoryty: Palmas de Monte Alto (IIIAB) o wadze 97 kg, 59-kilogramowy Quijingue (PMG), ważący zaledwie 118 g Rio de Pires (L6) oraz Vitoria da Conquista (IVA) o wadze 10,5 kg. Ten ostatni został odnaleziony w 2007 roku (Meteoritical Bulletin Database).

Serra Pelada

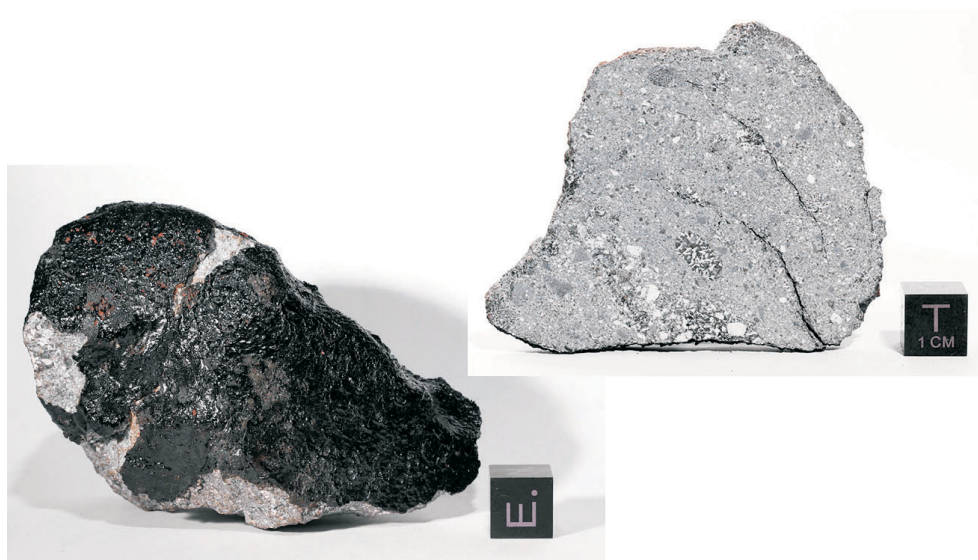
Achondryt HED (Eukryt)

TKW: 12 kg

Miejsce spadku: 5°57.135'S, 49°39.238'W (Brazylia)

Klasyfikacja: M.E. Zucolotto (MN/UFRJ), Debora Rios (GPA/UFBA), A.A.Tosi (IGEO/UFRJ), C.V.N. Villaça (UFRJ)

Kolejny spadek w 2017 roku miał miejsce 29 czerwca, także w Brazylii. O 10:35 czasu lokalnego, nad południowo-wschodnim regionem Pará pojawił się bolid. Lecił z północnego-wschodu na południowy-zachód. Miejscowi usłyszeli odgłosy eksplozji i skojarzyli je z katastrofą samolotu. W wiosce Serra Pelada, która do tej pory była znana głównie z ogromnej kopalni złota², również dało się słyszeć odgłosy detonacji. Potwierdzili to uczniowie szkoły Rita Lima de Souza oraz dozorca, Manuel da Silva. Kilka chwil później kamienie spadły na drogę koło szkoły.



Fragment i płytka meteorytu Serra Pelada (fot. Andre Moutinho, za zgodą)

Na niebie była widoczna smuga dymu, a w powietrzu unosił się pył po niedawnym impakcie. Meteoryt spadł na ziemię mocno pofragmentowany, a jego części zostały błyskawicznie zebrane przez mieszkańców wioski. Znalazcy podzielili je między sobą. Naukowcom nie udało się ustalić dokładnej wagi tych fragmentów, ale mieszkańcy oceniają, że mogły ważyć około 6 kg.

² W latach 80. w bardzo trudnych warunkach pracowało tam nawet 100 tys. ludzi. Kopalnia stała się tematem reportaży fotograficznych. Na zdjęciach uwieczniali ją między innymi: Alfredo Jaar i Sebastiao Salgado.

Inny kamień o wadze 5,4 kg spadł zaledwie kilka metrów od pracującego elektryka. Ten okaz został sprzedany anonimowemu kolekcjonerowi. Świadcówkę skontaktowali się też z geologiem. Marcilio Cardoso Rocha przeprowadził wstępną analizę kamienia i wysłał próbki do badań oraz klasyfikacji.

Ponad 5 kg meteorytu Tres Irmaos nadal znajduje się w anonimowych rękach. 50 g trafiło do Muzeum Narodowego w Rio de Janeiro. Kolekcjoner Andre Moutinho posiada 1,1 kg, a Mendi Ouzillou 2,1 kg. Resztą podzielili się mieszkańcy (Meteoritical Bulletin Database). Cena okazów meteorytu Sella Pelada oscyluje wokół 100 \$/g.

Także i w tym przypadku można pozwolić sobie na pewną dygresję geograficzną. W 1989 roku w regionie Pará odnaleziono ważący 7 kg meteoryt Ipitinga (H5). Podczas prac geologicznych natknął się na niego S.L. Martini. Kamień był pokryty skorupą obtopieniową i leżał na pobliskiej drodze. Przypuszcza się jednak, że został przesunięty z pierwotnego miejsca spadku podczas prac z udziałem buldożerów.

Znaleziony kamień wyróżniał się spośród otaczających go skał. Miał wieloboczny kształt z wypolerowanymi krawędziami. Przejawiał również właściwości magnetyczne. Początkowo został uznany za skałę ultrazasadową, jednak w pobliżu nie odnaleziono podobnych okazów. W lipcu 1989 roku A. M. Dreher przeprowadził badania cienkiej płytki tego kamienia. Wtedy po raz pierwszy stwierdzono, że jest to meteoryt (Meteoritical Bulletin Database).

Kheneg Ljouâd

Chondryt zwyczajny (LL5/6)

TKW: 10 kg

Miejsce spadku: 28°59'03.3"N, 8°24'38.7"W (Maroko)

Klasyfikacja: H. Chennaoui (FSAC), L. Garvie, (ASU)

Ostatni potwierdzony przez The Meteoritical Society spadek meteorytu w 2017 roku miał miejsce w Maroku. 12 lipca o godz. 23:13 czasu lokalnego na niebie zauważono jasny bolid przelatujący z północnego-wschodu na południowy-zachód. Zjawisko trwało kilka sekund i niosło za sobą serię wybuchowych odgłosów, słyszanych na południu Maroka (Meteoritical Bulletin Database). Sprawą zajęła się marokańska telewizja (YouTube 2017b), a na miejscu rozpoczęto szeroko zakrojone poszukiwania, które były relacjonowane w lokalnych mediach.

Były to jednak poszukiwania obarczone ogromnym ryzykiem utraty zdrowia, a nawet życia. Miejsce spadku meteorytu Kheneg Ljouâd leży co prawda w Maroku, ale blisko granicy z Algierią. Stosunki dyplomatyczne między tymi dwoma krajami są napięte, dlatego osoby poruszające się po strefie zmilitaryzowanej spotykają się z gwałtownymi reakcjami ze strony armii obu krajów. Mimo to, na miejsce jako pierwsi dotarli właśnie nomadowie. Pierwsze kawałeczki znaleźli już po 12 godzinach od spadku.

Polowa misja w tamtym regionie była prowadzona przez zespół: H. Chennaoui Aoudjehane (FSAC), M. Aoudjehane, A. Bouferra i H. El Harbi. Dotarli oni na miejsce w niedzielę 15 lipca i uzyskali od miejscowych szczegółowe informacje na



Fragment meteorytu Kheneg Ljouâd (fot. Gary Fujihara, za zgodą)

temat spadku. Zdobyli też próbki meteorytu do klasyfikacji. Zespół otrzymał również pozwolenie na wjazd do strefy zmilitaryzowanej. Spotkał tam kilku poszukiwaczy ze świeżymi okazami meteorytu Kheneg Ljouâd, pokrytymi czarną skorupą obtopieniową. Największy widziany przez nich fragment ważył 850 g. Masa całkowita zebranych fragmentów wyniosła około 10 kg.

Meteoryt Kheneg Ljouâd ma postać stosunkowo małych kamyczków. Najmniejsze nie ważą nawet grama, a największe okazy to około kilogramowe kamienie. Matowa skorupa obtopieniowa pokrywa większość okazów. Ich wnętrze przypomina inne chondryty typu LL5/6 – jest jasnoszare, z delikatnymi żyłkami szokowymi.

Wiele fragmentów meteorytu Kheneg Ljouâd trafiło do sprzedaży dla prywatnych kolekcjonerów. Można je nabyć chociażby na portalach aukcyjnych. 57 g znalazło się na Uniwersytecie Hassana II w Casablance za sprawą marokańskiego Stowarzyszenia Amatorów i Kolekcjonerów Meteorytów, a następnie posłużyło do klasyfikacji meteorytu. Niewielki fragment o wadze 34 g znajduje się też w Arizona State University (Meteoritical Bulletin Database).

Spadki niepotwierdzone przez The Meteoritical Society

Puya Medio

Chondryt zwyczajny (L/LL?)

TKW: ?

Miejsce spadku: Kolumbia

Jeden z najbardziej zagadkowych spadków ubiegłego roku mógł mieć miejsce w Kolumbii, niedaleko miasta portowego Turbo. Taka informacja pojawiła się na blogu Karmaka Meteorites (2017a). O spadku wiadomo jednak bardzo niewiele.

Meteoryt prawdopodobnie uderzył w ziemię 15 lutego o godz. 14:40 czasu lokalnego. Świadcowie twierdzą, że został znaleziony w krzakach trzciny guadua i bambusa. W internecie można znaleźć kilka zdjęć domniemanego okazu i krótki



Okaz meteorytu Puya Medio (zrzut ekranu; YouTube 2017c)

reportaż lokalnej telewizji (YouTube 2017c), który zawiera relacje świadków o zaobserwowanym bolidzie.

Na ten temat brak szczegółowych informacji oraz publikacji naukowych.

Mukundpura

Chondryt węglisty (CM2?)

TKW: ~ 2,73 kg

Miejsce spadku: 26°52'53.3"N 75°39'50.2"E (Indie)

6 czerwca 2017 roku o godz. 17:15 w Indiach miał spaść kolejny kamień z kosmosu. Miejsce spadku to pole uprawne w wiosce Mukundpura niedaleko metropolii Jaipur. Jak podaje strona Karmaka Meteorites (2017b), wielu mieszkańców okolicznych wsi widziało bolid, który jaśniał na niebie przez około sześć sekund i leciał z północnego-zachodu. Obserwatorzy słyszeli też głośne eksplozje przypominające grzmoty.

Anonimowy znalazca twierdzi, że meteoryt leżał w utworzonym przez siebie dołku, 15 cm pod powierzchnią gruntu. Sam dołek miał średnicę około 45 cm. O swoim odkryciu znalazca niezwłocznie poinformował policję. Kamienie miały postać dwóch, większych fragmentów (około 15 cm i 10 cm długości) oraz wielu drobnych odłamków. Łączna waga domniemanego meteorytu wyniosła 2,23 kg (przed oczyszczeniem z piasku). Wstępna inspekcja znalezionych fragmentów ujawniła, że były gorące i miały wyraźny zapach siarki (Ray i Shukla 2017).

Z relacji medialnych wynika, że policja zebrała wszystkie fragmenty, zawiozła na komisariat i zorganizowała tam konferencję prasową (Karmaka 2017b). Następnie meteoryt trafił do Geological Survey of India.



Fragmenty meteorytu Mukundpura (źródło: Geological Survey of India, facebook)

16 czerwca 2017 r. na stronie Geological Survey of India na portalu Facebook ukazał się tekst przybliżający wygląd i charakter znaleziska. Okazało się, że kamień posiada regmaglipty, a kolor skorupy obtopieniowej minimalnie różni się od barwy wnętrza meteorytu. Opis wskazuje również, że na skorupie obtopieniowej znajduje się ciemnobrązowa smuga. Na powierzchni meteorytu naukowcy dostrzegli także linie spływu, a jego powierzchnia w jasnym świetle miała wyróżniać się tęczkowym połyskiem. Geological Survey of India tłumaczy to obecnością utlenionego metalu i siarczków (GSI 2017).

Potwierdzić autentyczność meteorytu i sklasyfikować go jako chondryt CM2 mieli naukowcy z Meteorite & Planetary Science Division, GSI, NCEGR w Kalkucie. Próbkę zostały też wysłane do National Meteorite Repository (NMR), GSI w Kalkucie oraz skatalogowane pod numerem S-458 (Karmaka 2017b).

Crawford Bay

Chondryt zwyczajny (?)

Historia tego meteorytu zaczyna się 4 września o godz. 23:10. Nad zachodnią częścią granicy amerykańsko-kanadyjskiej pojawił się wówczas bardzo jasny bolid. Blask był tak silny, że budynki i przedmioty znajdujące się na zewnątrz rzucały na ziemię długie cienie. Meteoroid leciał na północ, wzdłuż jeziora Kootenay Lake na terenie Kolumbii Brytyjskiej (Kanada). Jego lot zakończył się serią błysków. Bolid

został odnotowany na stronach International Meteor Organization. Zjawisko potwierdziło 314 raportów naocznych świadków (IMO 2017).

29 października na działce nieopodal Crawford Bay poszukiwacze z University of Calgary odnaleźli fragmenty meteorytu. Poszukiwania w tym rejonie odbywały się z inicjatywy Alana Hildebranda, eksperta tego Uniwersytetu. Naukowcy wyliczyli, że meteoroid podczas wejścia w atmosferę ważył nie więcej niż pięć ton. Minął granicę USA i Kanady, kierując się na północ. Ekspłodował w atmosferze, a swój lot zakończył 20 kilometrów na wschód od Crawford Bay.

W określeniu miejsca spadku niebagatelne znaczenie miały nagrania przelatującego bolidu. Aby wytyczyć elipsę spadku, badacze przeanalizowali cztery nagrania zamieszczone w Internecie oraz film z kamery typu *all-sky* umieszczonej na terenie College of the Rockies w Cranbrook.

Zespół Hildebranda odnalazł jeszcze kilka drobnych fragmentów na działkach sąsiadujących z miejscem odkrycia pierwszego okazu. Ich znalazcy to Fabio Ciceri i Lincoln Hanton (Harper 2017).

Sadiya

Chondryt zwyczajny (LL5)

TKW: 3 kg?

Miejsce spadku: 27°50'09"N, 95°51'34"E (Indie)

18 września 2017 ukazał się raport z klasyfikacji nowego meteorytu (Saikia i in. 2017), sygnowany przez Journal of Astrophysics & Aerospace Technology. Jest w nim informacja, że 5 czerwca 2017 roku meteoryt spadł na teren wioski Natun Baliyan, która leży 21 km na wschód od miasta Sadiya. Raport wskazuje, że spadek miał miejsce o godz. 4:30 czasu lokalnego.

Zdaniem świadków, pojedynczy kamień z hukiem spadł na pole ryżowe. Utworzył dołek o głębokości metra. Kamień był w całości pokryty skorupą obtopie-



Okaz meteorytu Sadiya (Saikia i in. 2017)

niową, miał opływowe kształty i regmaglipty. Waga meteorytu to 3 kg. Mały fragment został poddany analizie, która wykazała, że jest to chondryt typu LL5. Masa główna pozostała w rękach lokalnych władz.

Spadek nie został jednak potwierdzony przez The Meteoritical Society.

Bolid jako zwiastun potencjalnego spadku

Ze spadkami meteorytów wiążą się także obserwacje bolidów, czyli meteorów o znacznej jasności, którą podaje się w magnitudo (oznaczenie mag lub ^m) – jednostkach jasności gwiazdowej. W tej skali, jasność Słońca wynosi $-26,7$ mag, Księżyc w pełni łni z jasnością $-12,7$ mag, jasność Wenus podczas opozycji to $-4,6$ mag, a najjaśniejsza gwiazda nocnego nieba (Syriusz) ma blask $-1,47$ mag. Różnica 5 mag to stokrotnie większa jasność (Woźniak 2018a).

W środowisku astroamatorskim mianem bolidu określa się wyjątkowo jasny meteor. To określenie dalece nieprecyzyjne, ponieważ niezbyt jasny meteor na ciemnym, wiejskim niebie może wyglądać zdecydowanie bardziej widowiskowo, niż bardzo jasny meteor obserwowany z centrum dużego miasta, a w konsekwencji zaburzać obiektywizm obserwatora. Koniecznością staje się więc każdorazowe określanie punktów odniesienia w czasie obserwacji lub rejestracji bolidów. To stosunkowo łatwe w przypadku detekcji bolidu za pomocą kamery lub aparatu fotograficznego, ale może prowadzić do rozbieżności w relacjach obserwatorów, co jest często spotykane w raportach na stronie internetowej International Meteor Organization. Przykładowo, niektórzy obserwatorzy z prowincji Manitoba (Kanada) ocenili jasność zjawiska 43-2018 (IMO 2018) na -28 mag, podczas gdy inni sugerowali jasność 0 mag. To oznacza, że niemal w tej samej lokalizacji bolid był dla pewnej grupy obserwatorów prawie 600 razy jaśniejszy, co rodzi pytania o obiektywizm naocznych świadków.

W Polsce za bolidy uznaje się meteory przekraczające jasność -4 mag, czyli jaśniejsze od Wenus w momencie opozycji tej planety (Polakowski 2018). W powszechnym, a zwłaszcza medialnym obiegu, funkcjonuje także kategoria superbolidy, wykorzystywana najczęściej w kontekście meteorów wielokrotnie jaśniejszych od Księżyca w pełni.

Poza granicami Polski system kategoryzowania zjawisk bolidowych jest nieco bardziej rozbudowany. W krajach anglojęzycznych funkcjonuje bowiem określenie *fireball*, które obejmuje meteory od około -4 mag do -14 mag. Z kolei słowo *bolide* jest częściej stosowane w przypadku meteorów o blasku -14 mag lub jaśniejszych. Natomiast określenie *superbolide* zarezerwowano dla meteorów o blasku co najmniej -17 mag (Di Martino i Cellino 2004).

Nie jest to jednak podział stosowany konsekwentnie we wszystkich publikacjach, ponieważ strony internetowe NASA wskazują, że termin *bolide* odnosi się do meteoroidów eksplodujących w atmosferze.³ Co więcej, słowo *bolide* pojawia się

³ Bolid może powodować efekty akustyczne. W relacjach najczęściej porównuje się je do grzmotów lub syków.

w kontekście meteorów, które osiągają jasność zenitalną na poziomie -3 mag (NASA CNEOS 2018a).

Podsumowując, w publikacjach mamy do czynienia z szeregiem nieścisłości pod względem nazewnictwa zjawisk bolidowych, a określenia *fireball* i *bolide* bywają używane zamiennie. W Polsce te dwa pojęcia zostały niejako uproszczone do jednego określenia, w którym mieszczą się wszystkie meteory jaśniejsze od -4 mag.

Skąd wiadomo, że bolid mógł zakończyć się spadkiem meteorytu? Odpowiedź na to pytanie znajduje się w pracy Eleanor Kate Sansom. Autorka opiera się na publikacjach Zdenka Ceplechy i wskazuje, że gdy meteoroid wpada w ziemską atmosferę z prędkością 72 km/s, bardzo gwałtownie zwalnia i nagrzewa się pod wpływem zjawiska tarcia. Ciała do 20 cm średnicy spalają się jeszcze w górnych warstwach atmosfery i nie mają najmniejszych szans na dotarcie do powierzchni Ziemi, choć są widoczne jako jasne bolidy. Dopiero te meteoroidy, które znajdują się na wysokości mniejszej niż 35 km i mają przy tym prędkość poniżej 10 km/s, dają dużą szansę na spadek. Takie parametry wiążą się z ustaniem ablacji, czyli usuwania zewnętrznych warstw meteoroidu poprzez topnienie lub parowanie w ziemskiej atmosferze pod wpływem wysokiej temperatury (Sansom 2016).

American Meteor Society precyzuje, że potencjalny spadek powinien być widoczny jeszcze na wysokości 20 km and powierzchnią gruntu. Natomiast meteory rzędu -15 mag lub więcej niekoniecznie przynoszą nowe spadki, zwłaszcza gdy meteoroid ma pochodzenie kometarne (AMS 2018).

Potencjalne spadki meteorytów można lokalizować na podstawie relacji co najmniej dwóch obserwatorów. Kluczowe znaczenie ma tutaj perspektywa, ponieważ ten sam meteor dla różnych obserwatorów może przelatywać na tle innych gwiazd. Dzięki tym danym, astronomowie określają lokalizację potencjalnego meteorytu. Mogą też wyznaczyć orbitę samego meteoroidu przed wejściem w atmosferę (Polakowski 2018).

Przypuszczalne spadki

Superbolid w Chinach

4 października 2017 około godz. 20:00 bardzo jasny meteor pojawił się nad rejonem Shangri-La County w południowo-zachodniej części Chin. Z publikacji medialnych wynika, że jego lot trwał około 5 sekund (You 2017).

Płonący meteoroid pędził z prędkością 14,6 km/s i był widoczny do wysokości 37 km nad powierzchnią Ziemi. NASA potwierdza, że eksplozja meteoroidu wyzwoliła energię porównywalną z 540 kg trotylu (NASA CNEOS 2018b). Zdjęcia i nagrania bolidu błyskawicznie obiegły internet. Jak relacjonowali świadkowie, wybuch zatrząsł szybami w oknach, a rozpad meteoroidu był doskonale widoczny gołym okiem.

Na podstawie parametrów lotu nie można wykluczyć, że fragmenty meteoroidu dotarły do powierzchni ziemi. Jeden z pracowników hostelu w Shangri-La

opowiedział mediom, że gdy na niebie pojawił się bolid, obserwował pełnię Księżyca razem z gośćmi na tarasie. Twierdził również, że słyszał o spadku meteorytu w odległości 40 km od miejscowości Shangri-La (You 2017). Spadek nie został jednak oficjalnie potwierdzony.

Superbolid nad Finlandią

16 października o 18:40 bolid rozjaśnił niebo nad Finlandią. Przelot został uwieczniony w bardzo dobrej jakości przez zespół Aurora Service Tours, transmitujący w tym czasie zorzę polarną na portalu YouTube. Świadkowie informowali, że odczuli efekty eksplozji meteoroidu w atmosferze. Potwierdzają to wskazania sejsmografów (Space24.pl, 2017).

Bolid był też widoczny w Norwegii i Rosji. Jak wskazuje analiza nagrań, jego jasność była bliska -20 mag. To blask ponad 100 razy jaśniejszy niż w przypadku pełni Księżyca.

Istnieje podejrzenie, że do powierzchni ziemi dotarło nawet kilkadziesiąt kilogramów kosmicznej materii. Za miejsce spadku uważa się trudno dostępny teren wokół jeziora Inari (Gazeta.pl, 2017). Ewentualne poszukiwana uniemożliwiła noc polarna.

Bolid nad Polską i Morzem Bałtyckim

Kolejny bolid rozświetlił niebo nad Polską. Jak informuje Pracownia Komet i Meteorów, istnieje bardzo duża szansa, że kosmiczne kamienie przetrwały lot przez atmosferę. Jeżeli tak było, to znajdują się obecnie na dnie Morza Bałtyckiego. W raporcie sporządzonym przez PKiM jest informacja, że: *Bolid pojawił się 30 października o godzinie 22:11 UT (23:11 czasu lokalnego). Zaobserwowany został przez stację PFN52 Stary Sielc (kamera megapikselowa MDC04) oraz fotograficznie przez pana Dariusza Wiosnę z okolic Rawy Mazowieckiej (Żołądek 2017).*

Członkowie PKiM błyskawicznie przystąpili do pomiarów na podstawie wykonanych zdjęć. Meteoroid zaczął płonąć na wysokości 75 km. Następnie spadał pod kątem 45 stopni z prędkością bliską 20 km/s. Aż do wysokości 23 km kosmiczna skała nie uległa rozpadowi. Później nastąpiła pierwsza gwałtowna eksplozja, widoczna jako rozbłysk o jasności przewyższającej Księżyc w pełni. Bolid wytracał prędkość, a kiedy znajdował się na wysokości około 19 km, był już nisko nad horyzontem i zaczął znikać z pola widzenia kamer.

Gdy został zakryty przez drzewa, doszło do kolejnego rozbłysku, którego dowodem jest pojaśnienie odległych chmur. Nie można więc wykluczyć, że wpadł do Morza Bałtyckiego pod postacią wielu mniejszych meteorytów.

Pracownia Komet i Meteorów potwierdza, że to zjawisko było wyjątkowe: *Bolidy z tak niewielką wysokością końcową w całej historii badań można policzyć na palcach obu rąk. Podobną wysokość końcową zaobserwowano między innymi dla bolidu Stubenberg z 6 marca 2016 roku który to obserwowany był do wysokości 17,6 km. Nieco wyżej znajdowała się końcówka bolidów Benesov i Janov natomiast zaobserwowany w kwietniu 2009 roku nad Słowenią bolid Jesenice miał swój koniec na wysoko-*

ści 18 kilometrów. Wyraźnie mniejsze wysokości końcowe zaobserwowano tylko w przypadku bolidu Turji-Remety (13,5 km) oraz dla słynnego Bolidu Czelabińskiego (13,6 km) – pisze dalej w swoim raporcie Przemysław Żołądek, prezes Pracowni Komet i Meteorów.

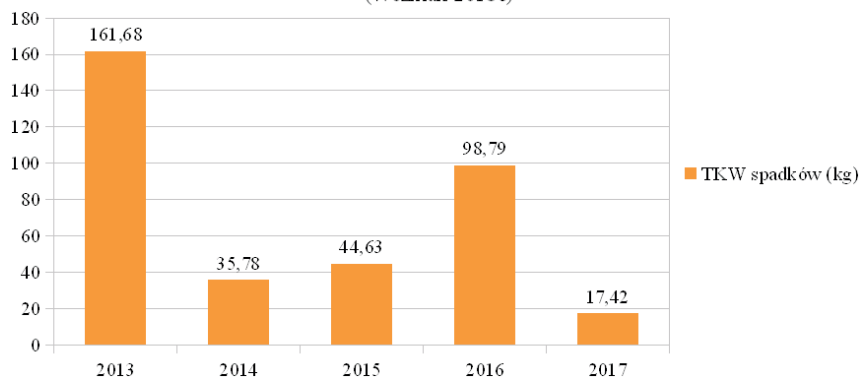
Astrofotograf Dariusz Wiosna nie widział bolidu na własne oczy. Dostrzegł go dopiero później, na wykonanym przez siebie zdjęciu. Przyznał, że tej nocy panowały trudne warunki. Zbyt trudne, by skutecznie i wyraźnie rejestrować obiekty głębokiego nieba, a nawet sam Księżyc, który zwykle jest prostym obiektem fotograficznym. Wiatr wprowadzał sprzęt w drgania, a słaba widoczność (*seeing*) powodowała falowanie rejestrowanego obrazu.

Dariusz Wiosna postanowił więc robić zdjęcia śladu gwiazd na nieboskłonie (tzw. *startrails*), na polach w miejscowości Jasień koło Rawy Mazowieckiej. Podczas naświetlania jednej z klitek, w polu widzenia obiektywu znalazł się zielony bolid, lecący nisko nad północnym horyzontem.

Statystyka spadków potwierdzonych przez The Meteoritical Society w 2017 roku

Spadki w 2017 roku znacząco odbiegały od spadków z pięciu poprzednich lat pod względem liczby i masy. W 2016 roku udało się potwierdzić spadek jedenastu meteorytów, w 2015 roku – ośmiu, w 2014 roku – sześciu, a w 2013 roku – pięciu (Woźniak 2018b). Odnotowano wówczas również zdecydowanie większą łączną masę spadków. Przedstawia to niniejsza tabela:

Porównanie całkowitej wagi potwierdzonych spadków w latach 2013 - 2017
(Woźniak 2018c)



Typy spadków z 2017 roku można porównać ze średnią, którą wyliczył Marek Woźniak. Po uwzględnieniu wszystkich spadków do 2008 roku okazało się, że na ziemię najczęściej spadają: chondryty typu L6 (23,44%), H5 (14,98%), LL (7,63%), L5 (6,88%), H4 (5,58%) i eukryty (3,16%) (Woźniak 2018c). W te statystyki wpisują się dane z 2017 roku, ponieważ wynika z nich, że połowa potwierdzonych spadków z tego roku była chondrytami typu L6, a jeden chondrytem

typu LL5/6 (25%). Z kolei czwarty okazał się eukrytem (25%). Wśród niepotwierdzonych spadków były wyłącznie chondryty.

Z zestawień tworzonych przez Marka Woźniaka można wysnuwać także inne wnioski. Okazuje się, że meteoryt Broek in Waterland to piąty spadek w historii Holandii. Wcześniejszy spadek miał tam miejsce przed 28 laty. Był to meteoryt Glanerbrug o wadze 670 g i typie L/LL5 (Woźniak 2018d).

Natomiast meteoryty Tres Irmaos i Meteoryt Serra Pelada stanowią 23. i 24. odnotowany spadek w Brazylii. Poprzednio takie zjawisko miało miejsce zaledwie 3 lata temu, 9 stycznia 2015 roku. Chodzi o meteoryt Porangaba (chondryt L4, TKW: 976,4 g).

Gdyby meteoryty Sadiya i Mukundpura zostały oficjalnie potwierdzone, byłyby meteorytami numer 131. i 132. w historii Indii. Ostatnio w Indiach odnotowano spadek meteorytu Komargaon (chondryt L6, TKW: 12,095 kg), który uderzył w ziemię 13 listopada 2015 r. Wcześniejsze spadki to niepotwierdzony Jalangi z 8 lipca 2012 roku oraz potwierdzony spadek Katol z 22 maja 2012 roku (chondryt L6, TKW: >13 kg). Warto odnotować również spadek meteorytu Sulagiri o TKW: 110 kg, który odnotowano 12 września 2008 roku. Ze statystyk Marka Woźniaka, obejmujących przedział od 861 roku n.e. do 2008 roku wynika również, że Indie mogą się poszczycić imponującym stosunkiem spadków do znalezisk – 126:9 (Woźniak 2018d).

Z kolei meteoryt Puya Medio byłby dopiero drugim odnotowanym spadkiem w Kolumbii. W 2007 zaobserwowano tam spadek meteorytu Cali o wadze 478 g i typie H/L4.

Meteoryt Crawford Bay może natomiast zostać 17. oficjalnym spadkiem w Kanadzie. W 2009 roku spadł tam meteoryt Grimsby (chondryt H5, TKW: 215 g), a w 2008 – Buzzard Coulee (chondryt H4, TKW: 42 kg).

Prawdziwy ewenement w tym gronie to meteoryt Kheneg Ljouâd, który spadł w marokańskim rejonie Igdi. Marcin Cimała zwraca uwagę, że: *Na przestrzeni dosłownie kilku lat miały tam miejsce aż 4 spadki obserwowane i to na niewielkim obszarze. Coś nieprawdopodobnego, z racji tego, że meteoryty spadają na Ziemię w sposób prawie całkowicie przypadkowy. Piszę „prawie” gdyż może się zdarzyć, że Ziemia przecina cyklicznie jakiś kosmiczny śmietnik pozostawiony na przykład przez kometę lub też coś podobnego i to powoduje, że w danym czasie występuje większa szansa na spadek. Ale w dalszym ciągu cały proces jest wybitnie przypadkowy. W końcu czym jest Ziemia w porównaniu z ogromem kosmosu.*

Właściciel sklepu Polandmet.com przytacza też historię spadków w rejonie Igdi. W 2011 roku spadł tam szergoty Tisint, w 2014 roku eukryt Tirhert, zaledwie rok później chondryt L4 – Sidi Ali Ou Azza, a w 2017 roku Kheneg Ljouâd. Pewną ciekawostką pozostaje fakt, że wszystkie te spadki miały miejsce w lipcu. Są jednak na tyle zróżnicowane pod względem typu, że trudno łączyć je z jednym strumieniem kosmicznych cząstek (Cimała 2017).

Istotny jest fakt, że w miejscu spadku meteorytu Kheneg Ljouâd panują doskonałe warunki do obserwacji nocnego nieba, a więc również rejestracji bolidów oraz spadków. Mapy zanieczyszczenia światłem (Light Pollution Map 2018) wskazują,

że pogranicze Maroka i Algierii wyróżnia się jasnością nieba na poziomie $22,0 \text{ mag/arcsec}^2$, co oznacza niemal doskonale ciemne niebo. Są to warunki praktycznie nieznanne mieszkańcom miast w rozwiniętych krajach Ameryki, Europy i Azji, gdzie jasność nieba uniemożliwia nawet dostrzeżenie wielu jasnych gwiazd.

Podsumowanie

Analiza spadków z 2017 roku prowadzi do szeregu wniosków. Należy zauważyć, że tylko jeden spadek – Serra Pelada – okazał się eukrytem. Wszystkie pozostałe, potwierdzone spadki były chondrytami, ponieważ meteoryty Tres Irmaos i Broek in Waterland zostały zakwalifikowane jako L6, natomiast Kheneg Ljouâd jako LL5/6. Co łączy i dzieli te dwie nieodległe grupy chondrytów?

Grupa L gromadzi meteoryty, które niegdyś zdecydowanie częściej nazywano chondrytami *oliwinowo-hiperstenowymi* ze względu na wysoką frekwencję tych dwóch minerałów. Zawartość oliwinu wynosi w nich od 30% do 60%, natomiast hiperstenu – a właściwie piroksenu rombowego – od 25% do 35%. W chondrytach oliwinowo-hiperstenowych można znaleźć także plagioklaz (5–10%), troilit (około 5%) oraz stop Fe-Ni (1–10%). To zdecydowanie mniej żelaza niż w przypadku grupy H (*chondryty oliwinowo-bronzytowe*), gdzie oliwin i hipersten niejako „ustępuje miejsca” stopowi Fe-Ni, który w meteorytach typu L zawiera się w przedziale od 16% do 21%.

Z kolei grupa LL to amfoteryty lub inaczej: chondryty *oliwinowo-pigeonitowe*. W tej grupie znajdują się najsilniej utlenione chondryty zwyczajne. Dopóki nie odnaleziono w nich chondr, były nawet uważane za achondryty (Żbik 1987). Najpopularniejszymi minerałami są tu – ponownie – hipersten i oliwin, ale meteoryty typu LL zawierają jeszcze mniej metalicznego żelaza. Można go tam znaleźć zaledwie <1–3%, stąd magnes będzie przyciągany bardzo słabo. Mimo to, błyszczące punkciki stopu Fe-Ni niewątpliwie uda się zaobserwować gołym okiem (Norton i Chitwood 2008).

W 2017 roku nie odnotowano żadnego spadku meteorytu żelaznego ani żelazno-kamiennego. To oznacza, że ostatnim obserwowanym spadkiem meteorytu żelaznego pozostaje Kavarpura (IIE-an), który w 2006 roku spadł na teren Indii. Łączna waga tego meteorytu wyniosła 6,8 kg (Woźniak 2018d).

Istotnym spostrzeżeniem jest fakt, że z czterech potwierdzonych i czterech niepotwierdzonych spadków, tylko dwa zostały zarejestrowane przez kamery. Dzięki filmom zamieszczonym w internecie oraz nagraniu z kamery *all-sky* umieszczonej na terenie jednej ze szkół, udało się odnaleźć fragmenty meteorytu Crawford Bay. Natomiast w przypadku meteorytu Broek in Waterland urządzeniem rejestrującym spadek nie była kamera sieci bolidowej, a rejestrator samochodowy. Rodzi to pytania o skuteczność sieci bolidowych w detekcji spadków, zwłaszcza następujących za dnia, oraz może być wstępem do rozważań na temat kierunków rozwoju tego typu instalacji.

Niewyjaśnione pozostają przyczyny niskiej liczebności i wagi spadków w 2017 roku. Trend spadkowy nie jest jednak nowym zjawiskiem, a kilka hipotez w tej

kwestii przedstawiał już Marek Woźniak. Należy do nich narastające zanieczyszczenie światłem (*light pollution*), które utrudnia rejestrację słabych zjawisk. Jego zdaniem, na mniejszą liczbę spadków może wpływać także słabnące zainteresowanie zjawiskami astronomicznymi, przy jednoczesnym nasilaniu się zjawisk antropogennych, takich jak światła samolotów i przeloty satelitów. Do tego może dochodzić rosnące tempo życia i fakt, że liczba obserwatorów nie rośnie wprost proporcjonalnie do liczby ludności. Poza tym, spadki mogą nie być zauważane i zgłaszane, ponieważ społeczeństwa konsumpcyjne troszczą się raczej o sprawy bytowe. Wśród hipotez pojawia się także omijanie przez Ziemię skupisk cząstek w Układzie Słonecznym bądź wpływ grawitacji innych planet (Woźniak 2018c).

Spadki meteorytów niewątpliwie wymagają dalszych, wzmoczonych badań. Zasadna byłaby także dyskusja o rozbudowie sieci bolidowych na całym świecie. Takie działania pozwolą zminimalizować liczbę przeoczonych spadków. Dzięki temu naukowcy i kolekcjonerzy zyskają kolejne, niezwykle cenne okazy.

Literatura

- Buchwald V.F., 1975, *Handbook of Iron Meteorites: Their History, Distribution, Composition and Structure*, University of California Press, 2, s. 315–316.
- Saikia B.J., Parthasarathy G., Borah R.R., Borthakur R., Sarmah A.J.D., 2017, *Meteorite Fall at Sadiya, India: A Raman Spectroscopic Classification*, *Journal of Astrophysics & Aerospace Technology*, 5(2), doi:10.4172/2329-6542.1000149.
- Di Martino M., Cellino A., 2004, *Physical properties of comets and asteroids inferred from fireball observations*, [w:] M.J.S. Belton, T.H. Morgan, N. Samarasinha, D.K. Yeomans, *Mitigation of hazardous comets and asteroids*, Cambridge University Press, Cambridge, s. 156.
- Ray D., Shukla A.D., 2017, *The Mukundpura meteorite, a new fall of CM chondrite*, *Planetary and Space Science*, in press, doi:10.1016/j.pss.2017.11.005.
- Norton O.R., Chitwood L.A., 2008, *Field Guide to Meteors and Meteorites*, Springer-Verlag, Londyn, s. 80–81.
- Sansom E.K., 2016, *Tracking Meteoroids in the Atmosphere: Fireball Trajectory Analysis*. s. 2–3, doi:20.500.11937/55061.
- Żbik M., 1987, *Tajemnice kamieni z nieba*, Instytut Wydawniczy Nasza Księgarnia, Warszawa, s. 71.

Źródła internetowe

- AMS, 2018, *FIREBALL FAQs*, <https://www.amsmeteors.org/fireballs/faq/> [dostęp 13.01.2018]
- Cimała M., 2017, *Czwarty spadek meteorytu w Igdi w Maroku*, <http://www.meteoryty.pl/czwarty-spadek-meteorytu-w-igdi-w-maroku/> [dostęp 13.01.2018]
- Gazeta.pl, 2017, *Tak, to zdjęcie powstało w środku nocy. Niebo rozświetlił blask meteoroidu [WIDEO]*, <http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/7,114881,22668056,tak-...-blask.html> [dostęp 13.01.2018]

- Gyssens M., 2017, *Sixth authenticated meteorite fall over the Netherlands*,
<https://www.imo.net/sixth-authenticated-meteorite-fall-over-the-netherlands/>
[dostęp 13.01.2018]
- GSI (Geological Survey of India), 2017,
<https://www.facebook.com/gsipage/posts/1386746801407350> [dostęp 13.01.2018]
- Harper T., 2017, *Meteorite fragments found near Crawford Bay*,
<https://www.castlegarnews.com/news/meteorite-fragments-found-near-crawford-bay/>
[dostęp 13.01.2018]
- IMO (International Meteor Organization), 2017, *Event 3068-2017*,
http://fireballs.imo.net/members/imo_view/event/2017/3068 [dostęp 13.01.2018]
- IMO (International Meteor Organization), 2018, *Event 43-2018*,
http://fireball.imo.net/members/imo_view/event/2018/43 [dostęp 13.01.2018]
- Karmaka Meteorites, 2017a, *Possible meteorite fall on 15 February 2017 (~2.40 p.m.) in Puya Medio, Co. San Jose de Mulatos, Turbo, Uraba, Antioquia, Colombia*,
<http://karmaka.de/?p=11732> [dostęp 13.01.2018]
- Karmaka Meteorites, 2017b, *MUKUNDPURA (CM2) meteorite fall*,
<http://karmaka.de/?p=12751> [dostęp 13.01.2018]
- Light Pollution Map, 2018,
<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=10&lat=3407744&lon=-874628&layers=B0FFFFTTTT> [dostęp 13.01.2018]
- Meteoritical Bulletin Database,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php> [dostęp 13.01.2018]
- NASA CNEOS, 2018a, *Fireballs: Introduction*,
<https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/intro.html> [dostęp 13.01.2018]
- NASA CNEOS, 2018b, *Fireball and Bolide Data*,
<https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/> [dostęp 13.01.2018]
- Polakowski K., 2018, *Meteor – słowniczek*,
http://www.pkim.org/?q=pl/meteor_podstawy [dostęp 13.01.2018]
- SE.pl, 2017, *Śląskie: tajemniczy obiekt runął na stodołę. Rodzina jest przerażona [ZDJĘCIA]*,
http://www.se.pl/wiadomosci/polska/slaskie-tajemniczy-obiekt-runal-na-stodole-rodzina-jest-przerazona-zdjecia_1033129.html [dostęp 13.01.2018]
- Space24.pl, *Lekkie wstrząsy sejsmiczne w Finlandii spowodowane najpewniej przez meteoryty*, 2017,
<http://www.space24.pl/700524,lekkie-wstrzasy-sejsmiczne-w-finlandii-spowodowane-najpewniej-przez-meteoryty> [dostęp 13.01.2018]
- Williams M., 2016, *WHAT PERCENT OF EARTH IS WATER?*,
<https://www.universetoday.com/65588/what-percent-of-earth-is-water/>
[dostęp 13.01.2018]
- Woźniak M., 2018a, *Bolidy (typy)*,
[http://wiki.meteoritica.pl/index.php5/Bolidy_\(typy\)](http://wiki.meteoritica.pl/index.php5/Bolidy_(typy)) [dostęp 23.01.2018]
- Woźniak M., 2018b, *Obserwowane spadki meteorytów po 2007 roku (Meteorite falls – after 2007)*,
<http://www.woreczko.pl/meteorites/falls/Falls-a-after2007.htm> [dostęp 13.01.2018]
- Woźniak M., 2018c, *Obserwowane spadki meteorytów (Meteorite falls)*,
http://www.woreczko.pl/meteorites/falls/c_Falls.htm [dostęp 13.01.2018]
- Woźniak M., 2018d, *Obserwowane spadki meteorytów (Meteorite falls – sort by countrys)*,
http://www.woreczko.pl/meteorites/falls/f_Falls-countrys.htm [dostęp 13.01.2018]

- You T., 2017, *Out of this world! Incredible moment a meteor explodes and lights up the night sky over China*,
<http://www.dailymail.co.uk/news/article-4951178/Incredible-moment-meteorite-explodes-China.html> [dostęp 13.01.2018]
- YouTube, 2017a, Metro Nederland. *Meteoriet neergestort in Noord-Holland*,
<https://www.youtube.com/watch?v=c776nzZiABU> [dostęp 13.01.2018]
- YouTube, 2017b, Tata Press, *2M Tata Meteor 2017*,
<https://www.youtube.com/watch?v=CbMuLhF580E> [dostęp 13.01.2018]
- YouTube, 2017c, Teleantioquia Noticias, *En Turbo se presentó la caída de un cuerpo rocoso que podría ser un meteorito*,
<https://www.youtube.com/watch?v=gJmaim2yCqc> [dostęp 13.01.2018]
- Żołądek P., 2017, *Ogromny bolid nad Bałtykiem*, Urania,
<http://urania.edu.pl/wiadomosci/ogromny-bolid-nad-baltykiem-3735.html>
[dostęp 13.01.2018]