

100 tysięcy meteorów w 2016 roku!

Polish Fireball Network (PFN) to projekt polegający na regularnym monitorowaniu nieba nad Polską w celu rejestracji meteorów i bolidów. W 2016 roku 71 kamer PFN zarejestrowało 100 389 meteorów. Pozwoliło to na wyznaczenie 19 087 trajektorii oraz orbit meteoroidów.

Polish Fireball Network

Obserwacje meteorów prowadzone przez sieci kamer pozwalają na wyznaczenie trajektorii lotu meteoroidów, a następnie orbit, po jakich poruszały się, zanim trafiły do naszej atmosfery. Dzięki temu jest możliwe określenie, z którego obszaru Układu Słonecznego do nas przybyły. Meteory należące do strumienia meteoroidów mają orbity o podobnych parametrach i widzimy je na naszym niebie jako wylatujące z jednego miejsca, zwanego radiantem. Systematyczne obserwacje prowadzone każdej nocy pozwalają na badanie charakterystyki strumieni meteoroidów, ich zmienności oraz cech fizycznych należących do nich obiektów.

Jeszcze nigdy ziemska atmosfera nie była tak masowo monitorowana przez kamery sieci bolidowych. W ostatnich latach dzięki większej dostępności odpowiedniego sprzętu w cenach przystępnych dla miłośników astronomii powstało wiele nowych sieci na całym świecie. Jedną z pierwszych sieci opartych o obserwacje prowadzone przez niedrogie, ale czułe kamery video była Polish Fireball Network (PFN) uruchomiona przez Pracownię Komet i Meteorów (www.pkim.org).

PFN rozpoczęła swoje obserwacje w 2004 r. od zaledwie 3 stacji w Ostrowiku, Złotokłosie i Poznaniu. Od tego czasu sieć zmieniła się w projekt, w którym uczestniczy kilkadziesiąt osób. Projekt pozwala na naukowe wykorzystanie obserwacji wykonywanych głównie przez miłośników astronomii, obserwatoria astronomiczne, ośrodki kultury i szkoły.

Sprzęt PFN do obserwacji meteorów

Głównym narzędziem do obserwacji meteorów przez ostatnie 13 lat są stosunkowo tanie czułe analogowe kamery video. Wśród zastosowanych modeli największą jest kamera Tayama C3102-01A1. Kamery te produkowane były do celów dozorowych, jednak znakomicie sprawdzają się w zastosowaniach astronomicznych. Standardem przyjętym w PFN są obiektywy o ogniskowej $f=4$ mm i światłosile $F=1,2$. Zestaw taki umożliwia zarejestrowanie meteorów jaśniejszych od 2 mag., z rozdzielczością wystarczającą do wykonywania obliczeń trajektorii i orbit meteoroidów. W ciągu typowej nocy jedna kamera rejestruje od kilku do kilkunastu meteorów, a nawet kilkadziesiąt podczas maksymalnych dużych rojów. Kamery przytwierdzone nieruchomo do ścian lub kominów przez okrągły rok prowadzą obserwacje. W celu zabezpieczenia ich przed opadami deszczu i mrozem są umieszczane w standardowych obudowach stosowanych w systemach dozorowych.

W PFN są wykorzystywane również najczulsze dostępne kamery analogowe Mintron 12V6HC-EX oraz obiektywy o światłosilach nawet $F=0,75$. Koszt takiego zestawu może

być 10-krotnie wyższy niż opisanego powyżej, ale pozwala na zarejestrowanie nawet 4-krotnie większej ilości słabszych meteorów, niemożliwych do zaobserwowania przez tańsze zestawy. Kamery te ustawiane są parami, by umożliwić późniejsze liczenie trajektorii.

W ostatnich latach bardzo szybko rozwijały się możliwości cyfrowych kamer video. Obecnie ich czułości dogoniły te, jakimi charakteryzują się tanie kamery analogowe. Dodatkowo oferują znacznie większą rozdzielczość oraz lepszą jakość obrazu dzięki wyeliminowaniu analogowej transmisji. W naszej sieci zastosowaliśmy kamery DMK 23GX236 o rozdzielczości 1920×1200 , wyposażone w obiektywy Tamron 2,4–6 mm ze światłosilą $F=1,2$. Koszt tego zestawu również jest kilkukrotnie wyższy od podstawowego, ale umożliwia uzyskanie znacznie dokładniejszych wyników.

Oprogramowanie

Wykrywanie meteorów odbywa się automatycznie. W przypadku kamer analogowych jest wykorzystywany do tego program MetRec lub UFOCapture. Zastosowanie pierwszego wymaga zainstalowania kosztownej karty Matrox Meteor-2 do digitalizacji obrazu. Drugi program zadziała nawet z bardzo tanim EasyCap, ale wymaga wykupienia licencji. Obydwa programy pracują w środowisku Windows.

Kamery cyfrowe mogą być podłączone bezpośrednio do komputera. Pierwsze dwie zostały uruchomione z UFOCapture. Następne pracują już pod Linux ze zmodyfikowanym przez nas programem Freeture stworzonym dla francuskiej sieci bolidowej. Oprogramowanie to uwolniło nas od wykupywania licencji na Windows i UFOCapture oraz dało możliwość dostosowania programu do naszych potrzeb.

Dane rejestrowane przez kamery przesyłane są przez obserwatorów lub automatycznie na centralny serwer, gdzie jest dokonywana ich analiza i wyznaczanie trajektorii. Programem do wstępnego przeglądania wyników z sieci bolidowej jest UFOOrbit. Precyzyjne obliczenia są wykonywane za pomocą pakietu PyFN stworzonego przez Przemysława Żołądka.

Rekordowy rok

Każdego roku PFN zwiększa ilość kamer, które monitorują niebo nad Polską. Zestawienie wyników z ostatnich lat przedstawia tabela 1. Szczególnie szybki wzrost nastąpił po uzyskaniu dofinansowania z Narodowego Centrum Nauki w 2014 r., dzięki któremu możliwe było zakupienie wielu czułych kamer analogowych i cyfrowych.

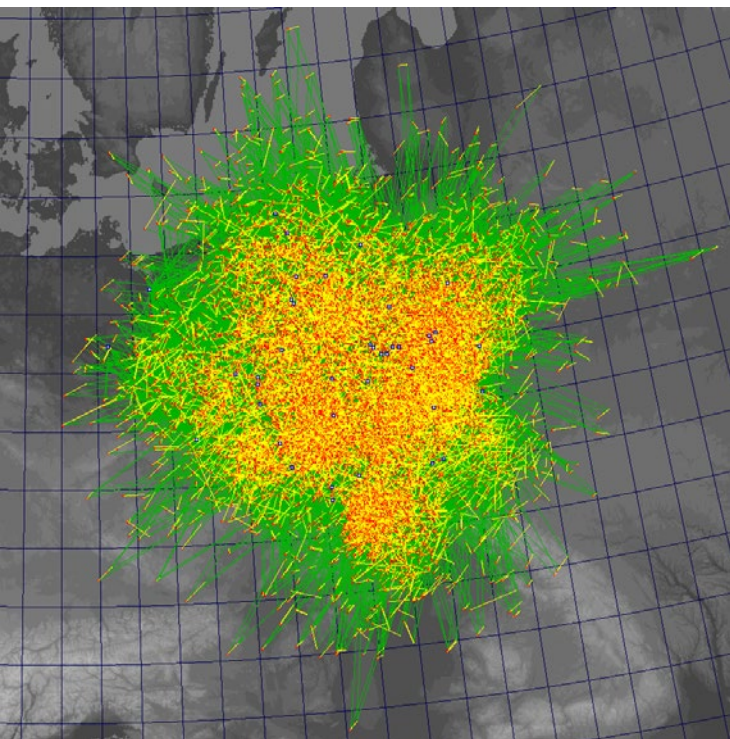
Tabela 1. Obserwacje wykonane przez PFN oraz wyznaczone orbity w latach 2011–2016.

Rok	Detekcje	Orbity (Q0)	Orbity (Q1)
2011	24063	3424	2280
2012	28527	4166	2791
2013	36424	6133	4377
2014	46928	7349	5163
2015	79754	13685	10198
2016	100389	19087	13700

W 2016 r. po raz pierwszy przekroczyliśmy 100 tys. zjawisk zarejestrowanych w jednym roku. Ilości zarejestrowa-

Ogłoszenie

W dniach 10–12 marca 2017 roku w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika w Warszawie odbyło się XXXI Seminarium i XIV Walne Zgromadzenie PKiM. Na spotkaniu udzielono absolutorium ustępującemu oraz wyłoniono nowy zarząd w składzie: Przemysław Żołądek – prezes; Mariusz Wiśniewski – skarbnik; Maciej Maciejewski – sekretarz. Komisja rewizyjna: Andrzej Skoczewski; Krzysztof Polakowski; Zbigniew Tymiański Zarząd PKiM



Trajektorie meteorów wyznaczone na podstawie danych z 2016 r. Na niebiesko zostały zaznaczone pozycje stacji PFN

nych meteorów przez poszczególne kamery zestawione zostały w tabeli 2. Dzięki tak wielkiej ilości danych możliwe było wyznaczenie aż 19087 orbit (ozn. Q0), z czego 13700 orbit było dobrej jakości (ozn. Q1).

Mapa na rysunku 1 przedstawia wszystkie policzone trajektorie meteoroidów, co daje nam obraz pokrycia nieba nad Polską przez kamery PFN. Najlepiej jest patrolowany obszar nad centralną i południowo-wschodnią Polską.

Duży wpływ na wyniki uzyskiwane przez PFN ma pogoda. Szczególnie niekorzystna jest pierwsza połowa roku, w czasie której zwykle uzyskiwane jest zaledwie 20% wszystkich rocznych obserwacji. Kolejny spadek ilości pogodnych nocy następuje jesienią.

Poszukiwania meteoroidów

Jednym z celów projektu PFN jest zarejestrowanie i odnalezienie świeżego meteoroidu na terytorium Polski. W zeszłym roku kilka jasnych bolidów było bardzo obiecujących. Wyznaczona została dla nich precyzyjna trajektoria lotu, z uwzględnieniem wiatrów wiejących na niskich wysokościach oraz potencjalny obszar spadku. Zorganizowaliśmy wiele wypraw poszukiwawczych, w których uczestniczyło kilkanaście osób. Niestety, do tej pory nie udało się odnaleźć meteoroidów.

Rozbudowa sieci PFN

Potrzebujemy wielu chętnych do współpracy, szczególnie z północnych i zachodnich województw. Działanie stacji w bliskim sąsiedztwie nie oznacza, że nie przyda się kolejna. Zwiększa to precyzję obliczeń i zmniejsza prawdopodobieństwo braku danych z powodu chwilowej awarii lub wystąpienia zachmurzenia. Można dołączyć ze swoim sprzętem lub poprosić o wsparcie PFN. Najnowsze cyfrowe kamery pracujące na linux nie wymagają zakupu dodatkowych licencji i są prawie całkowicie bezobsługowe. Wymagają jedynie dostępu do prądu i internetu. Zgłoszenia prosimy kierować na adres pkim@pkim.org.

Mariusz Wiśniewski

Tabela 2. Zestawienie obserwacji wykonanych w 2016 roku.

PFN ID	Stacja	Obserwator	Kam.	met.
PFN01	Ostrowik	Maciek Myszkiewicz	PAV01	118
PFN03	Złotokłos	Karol Fietkiewicz	PAV03	212
PFN06	Kraków	Maciej Kwinta	PAV06	1245
			PAV07	2150
			PAV79	3267
			PAV14	161
			PAV08	4752
PFN13	Toruń	Tomek Fajfer	PAV25	212
PFN19	Kobiernice	Mariusz Szlagor	PAV26	1566
PFN20	Urzędów	Mariusz Gozdalski	PAV38	276
			PAV99	3083
			PAV40	507
			PAV35	6103
PFN24	Gniewowo	Krzysiek Polakowski	PAV36	5878
PFN32	Chełm	Maciej Maciejewski	PAV43	3507
			PAV60	6053
			PAV41	1081
			PAV44	1231
PFN37	Nowe Miasto Lub.	Janusz Laskowski	PAV49	695
PFN38	Podgórzyn	Tomek Krzyżanowski	PAV50	578
			PAV42	958
			PAV09	1166
PFN39	Rosocha	Andrzej Dobrychłop	PAV52	2341
PFN40	Otwock	Zbyszek Tymiński	PAV45	1186
			PAV53	1166
PFN41	Twardogóra	Henryk Krygiel	PAV47	159
PFN42	Błonie	Paweł Zaręba	PAV48	135
			PAV56	131
			PAV58	6
			PAV23	53
			PAV27	2956
PFN43	Siedlce	Maciej Myszkiewicz	PAV61	1529
PFN45	Łańcut	Łukasz Woźniak	PAV55	262
PFN46	Grabniak	Tomasz Łojek	PAV57	3296
PFN47	Jeziorko	Tomek Lewandowski	PAV13	2130
			PAV62	1393
			PAV63	624
			PAV65	624
PFN48	Rzeszów	Marcin Bęben	PAV59	1655
			PAV64	1108
			PAV77	640
			PAV23	1472
PFN49	Helenów	Paweł Woźniak	MDC22	—
PFN59	Brzozówka	Andrzej Skoczewski	PAV22	854
PFN51	Zelów	Jarosław Twardowski	MDC04	808
PFN52	Stary Sielc	Marcin Stolarz	MDC12	700
			PAV66	5274
PFN53	Bełęcin	Michał Kałużny	PAV75	2381
PFN54	Lęgowo	Grzegorz Tisler	PAV68	1415
PFN55	Ursynów	Przemek Żołądek	PAV69	384
			MDC01	—
PFN57	Krotoszyn	Tomasz Suchodolski	MDC02	—
PFN58	Opole	Filip Kucharski	PAV70	921
PFN60	Bystra	Piotr Nowak	PAV72	831
			PAV74	291
PFN61	Piwnice	Marcin Gawronski	PAV80	5115
PFN62	Szczecin	Zbigniew Laskowski	PAV10	1843
PFN63	Starowa Góra	Arek Raj	MDC05	148
PFN64	Grudziądz	Sebastian Soberski	MDC13	139
PFN67	Nieznaszyn	Walburga Węgrzyk	MDC18	128
PFN68	Dąbrowa	Przemek Żołądek	PAV78	3521
			MDC02	134
PFN69	Lamkówko	Jacek Kapcia	MDC03	120
PFN70	Kodeń	Piotr Onyszczyk	MDC04	75
PFN71	Radomsko	Hubert Drózd	MDC05	114
PFN72	Kozmin Wlk	Krzysztof Polak	PAVO1	941
			PAVO2	1474
PFN74	Brwinów	Paweł Zaręba	PAVO1	574
			PAVO2	981

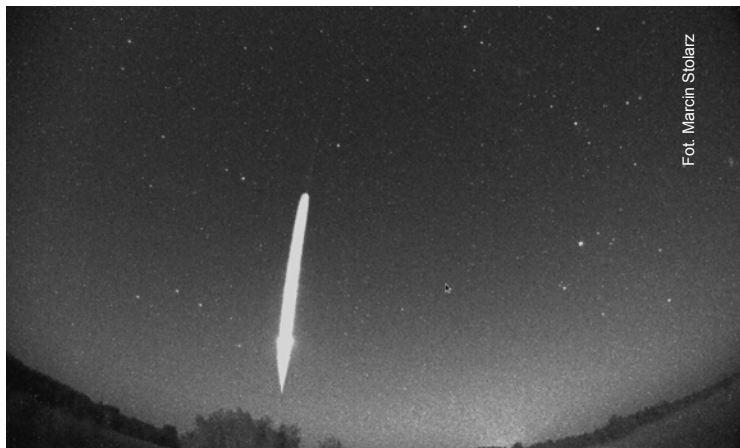
Bolid Piecki PF120916 i meteoryt Reszel

Niniejszy artykuł oparto na publikacji w recenzowanym czasopiśmie naukowym *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso* (nr 47/2017) „PF120916 Piecki fireball and Reszel meteorite fall”, której autorami są członkowie Polskiej Sieci Bolidowej (PFN).

Obserwacje meteorów mają to do siebie, że w przeciwieństwie do „klasycznej” astronomii, w każdym razie tej dostępnej amatorowi, nic nie jest pewne. O ile każdy, dysponując jedynie dostępem do internetu, może się dowiedzieć tysięcy lat naprzód, o której godzinie danego dnia wszędzie Księżyc, kiedy będzie zaćmienie Słońca lub nastąpi zakrycie — o tyle meteory, a zwłaszcza bolidy, są bardziej nieprzewidywalne. Kalendarz meteorowy podpowiada, w które dni powinniśmy obserwować wzmogoną aktywność, związaną z przejściem Ziemi przez orbitę któregoś z rojów — ale bolidy się z tego wyłamują. Mimo że wiadomo, kiedy wystąpią maksima znanych rojów i ile mniej więcej dadzą zjawisk — to niewiele pewnego da się z góry powiedzieć o liczbie i czasie wystąpienia ponadprzeciętnie jasnych meteorów — takich, które mogą owocować spadkiem meteorytu — zwłaszcza że często są meteorami sporadycznymi.

Sieć PFN rejestruje takich zjawisk kilka w roku — a ich pojawienie się stawia wszystkich na równe nogi — bo chcielibyśmy odnaleźć nasz pierwszy, najpierw zaobserwowany przez kamery, potem obliczony a następnie odszukany w przewidzianym miejscu, jeszcze ciepły meteoryt. Te gorące godziny i dni przebiegają według stałego schematu: ktoś redukując dane z nocy albo i patrząc na żywo na obraz z kamery, zauważa takiego „kolosa”. Wici rozchodzą się sms-ami oraz drogą mailową i w ciągu godzin wszyscy posiadający dane przesyłają je na serwer PFN. „Centrala” PFN liczy i przeważnie obwieszcza, mówiąc z przymrużeniem oka, „że wyglądało ładnie, ale nie spadło”. Czasami jednak wynik obliczeń jeszcze bardziej elektryzuje wszystkich — i tak było tym razem...

Dnia 12 września 2016 r., o godzinie 23.44.07 naszego czasu nad północno-wschodnią Polską rozbłysnął bolid o jasności $-9,2$ mag. Bolid został zarejestrowany przez 6 kamer PFN (najdalsza w Rzeszowie, a najbliższa w Starym Sielcu). Wstępne analizy pokazały, że możemy mieć do czynienia



Bolid Piecki zarejestrowany przez stację PFN52 w Starym Sielcu

ze spadkiem meteorytu. Pierwsze podejście do zjawiska jest wykonywane za pomocą programu UFO ANALYZER Sonotaco. W przypadku bolidów to pierwsze automatyczne oszacowanie jest obciążone dużym błędem — przede wszystkim z powodu niedoskonałości samej obserwacji.

Obraz bolidu na poszczególnych klatkach wideo jest prześwietlony — „wypalony” — nie wiadomo, w którym miejscu obszaru o 100% jasności jest w rzeczywistości meteoroid, a obszar ten potrafi być sporym wycinkiem całego kadru. Dlatego na drugim etapie programowi wskazuje się ręcznie przewidywany na danej klatce punkt, w którym jest meteor. Może to wydawać się dziwne, ale oko ludzkie wygrywa w tym sposobie z aproksymacją komputera. Postępując w ten sposób z sekwencją obrazów z każdej kamery, wyznacza się drogę meteoru w czasie na tle gwiazd. Ponieważ meteor jest na wysokości rzędu 100 km, a gwiazdy w praktycznej nieskończoności — różne kamery widzą meteor na tle różnych gwiazd. Składając te dane metodą triangulacji, otrzymuje się trójwymiarową trajektorię meteoru w atmosferze. Obliczeń tych dokonuje się programem PyFN, autorstwa Przemysława Żołądka.

Po takiej obróbce danych wiadomo było, że bolid przeleciał, świecąc trasę ponad 90 km rozpoczynając na wysokości ponad 80 km (dość nisko), a gasnąc na wysokości 26 km. Prędkości wejścia i końcowa wynosiły odpowiednio 16,7 i 5,0 km/s — i to ta druga wartość była najbardziej elektryzująca, ponieważ wskazywała na możliwość spadku meteorytu. Maksymalne opóźnienie ciała wdzierającego się w atmosferę wynosiło 2457 m/s² (ponad 250 g). Maksimum blasku wystąpiło nad miejscowością Piecki, od której bolid wziął nazwę. Masa, która przetrwała „ognisty rajd” przez atmosferę, szacowana jest na 15 kg — przy czym na skutek fragmentacji najprawdopodobniejsza jest masa największego fragmentu rzędu



Poszukiwania. Na zdjęciu od lewej: Sylwia Janasz, Paweł, Zaręba, Maciek Myszkiwicz, Justyna Korzeniec i Marcin Stolarz. Fot. Tomasz Kubalczyk

5 kg. Podane wartości oznaczają, że prawie na pewno doszło do spadku meteorytu — nie są to bowiem wartości małe, mieszczące się w granicach błędu.

O ile uzyskanie tych danych z klitek wideo można uznać za drugi krąg wtajemniczenia (pierwszy to zastosowaniu automatycznie działającego programu), o tyle przejście od punktu, w którym meteoroid przestał świecić do punktu, w którym spadł na ziemię, można uznać za krąg trzeci. W zasadzie sprawa jest prosta — ciało pchnięte w kierunku nieprostym i nierównoległym do sił pola grawitacyjnego to rzecz banalna — rzut ukośny, czyli geometrycznie parabola, równanie kwadratowe — „tu wylata, tam wylata”. Sir Newton dał wzory. Z tym że trzeba uwzględnić dodatkowo opór powietrza — co sprawę komplikuje ze względu na niewiadomy kształt ciała — ale jest to wciąż jakaś balista, rzecz do sprawdzenia w tabelach artyleryjskich... Przy czym należy uwzględnić fakt, że gęstość atmosfery na drodze meteoroidu zmienia się nie „trochę”, jak w artylerii, ale od niemal zerowej do prawie odpowiadającej ciśnieniu na poziomie morza. Jest jeszcze szczegół — atmosfera nie jest stała, wieją w niej wiatry. Złośliwie wieją z różną, ale dużą prędkością i w różnych kierunkach zależnie od wysokości. W sposób nieprzewidywalny.

Z tego powodu informacja o widocznej trajektorii świecącego meteoru w atmosferze, sama w sobie daje tak obszerne ograniczenie obszaru poszukiwań, że byłyby one przysłowiowym szukaniem igły w stogu siana. Dlatego też w trzecim kręgu wtajemniczenia trzeba się posłużyć aktualnym w chwili zdarzenia profilem atmosfery. Skąd wiadomo, jak i na jakiej wysokości wieją wiatry w atmosferze? Co pewien czas wypuszczane są i śledzone balony meteorologiczne, a ich lot daje informacje o kierunku i prędkości wiatrów. Balon taki osiąga wysokość około 30 km, po czym pęka. W tym wypadku użyto tak wysondowanych profili atmosfery z Kaliningradu i Łeby. Jak się okazało, szczęśliwie wiatry wiały generalnie przeciwnie do kierunku lotu meteoroidu, co było o tyle istotne, że nie wprowadzało poprawki bocznej oraz spowodowało skrócenie pola spadku (meteoryty łądowały „pod wiatr”).

Tutaj występuje kolejna niepewność — meteoroid na skutek gwałtownego ogrzania ablacją i gwałtownej deceleracji mógł się rozpaść. Informacje o kierunku i sile wiatrów trzeba było złożyć z parametrami ruchu meteoroidów, które poruszały się w atmosferze. Za moment rozpadu uważa się rozbłyski — gwałtowne zwiększenia jasności na zapisie wideo — ale mimo wszystko ilość i masę poszczególnych fragmentów można tylko zakładać, gdyż nie wiadomo, czy rozpad nastąpił na dwa czy więcej fragmentów. Dlatego też przeprowadzono szereg obliczeń dla wybranych zestawów ilości i mas fragmentów — to zaś dało pewien obszar na powierzchni Ziemi, na który, zależnie od swej masy, mogły spaść odłamki. W tym wypadku obszar ten miał około 100–200 m szerokości i długość około 4 km, znajdował się ok. 4 km na południe od miasta Reszel.

Natychmiast po ustaleniu tego obszaru członkowie PFN rozpoczęli poszukiwania. Już na drugi dzień po dokonaniu tych obliczeń pierwsi poszukiwacze wyszli w teren, przeczesując go dosłownie metr po metrze. Czas naglił, ponieważ była jesień, po zebraniu plonów orano pole za polem i szanse na wypatrzenie meteorytu leżącego na powierzchni ziemi malały z każdą godziną. W sumie, na zmianę, ponad 20 osób poszukiwało meteorytu, przechodząc łącznie ponad 1200 km. Niestety nic



Obszar spadku z zaznaczoną osią trajektorii lotu meteoroidu. Większym prostokątem zaznaczono wyliczone pole spadku meteorytów o masach od 15 do 2 kg. Obszarem zakreskowanym oznaczono miejsca spenetrowane przez ekipy PKiM

nie znaleziono. Przewidywane miejsce spadku zostało podane do publicznej wiadomości w nadziei, że meteoryt zostanie odnaleziony i przekazany, przynajmniej w części, do badań. Jak dotąd nie możemy niestety świętować sukcesu, choć poszukiwania jeszcze trwają — teraz już przy użyciu wykrywaczy metalu. Możliwe też, że sukces jest wykluczony — połowa obszaru spadku to jeziora lub bagna i meteoryt Reszel może niestety nigdy nie zostać odnaleziony.

Maciej Maciejewski

Pozyskanie danych możliwe było dzięki otrzymanemu przez PFN grantowi Narodowego Centrum Nauki nr 2013/09/B/ST9/02168.



„Gdzie teraz szukać?” — naradzają się, od lewej: Marcin Hajwos, Maciej Skierski i Andrzej Owczarzak. Fot. Jacek Drajkowski