

Zbigniew TYMIŃSKI<sup>1,2</sup>, Artur JAŚKIEWICZ<sup>2</sup>, Paweł ZARĘBA<sup>2</sup>, Mirosław MAZUR<sup>2,3</sup>,  
Marcin STOLARZ<sup>2</sup>, Przemysław ŻOŁĄDEK<sup>2</sup>, Tomasz KRZYŻANOWSKI<sup>2</sup>,  
Krzysztof POLAKOWSKI<sup>2</sup>, Maciej KWINTA<sup>2</sup>, Mariusz SZLAGOR<sup>2</sup>, Walburga WĘGRZYK<sup>2</sup>,  
Mariusz WIŚNIEWSKI<sup>2,4</sup>, Arkadiusz OLECH<sup>5</sup>, Marcin P. GAWROŃSKI<sup>2,6</sup>,  
Michał ŻEJMO<sup>7</sup>, Waldemar OGŁOZA<sup>8</sup>, Adam FRONŃ<sup>9</sup>, Katarzyna TYMIŃSKA<sup>1</sup>,  
Sylwia GZIK<sup>10</sup>, Alexander AITOV<sup>11</sup>, Yury HARACHKA<sup>12</sup> oraz PFN

# Raport PKiM / PFN z działalności w latach 2023–2024

## The PKiM / PFN report on activities in 2023–2024

**Abstract:** The Polish Fireball Network (PFN) celebrates its 20<sup>th</sup> anniversary this year. In recent years, the PFN has focused on the detection of bright bolide phenomena which could have produced meteorite strewnfield and fall. Most prominent example of such bolide was the PF270423 event and the meteorite fall on April 27<sup>th</sup> 2023 near Zaręby Kościelne. PKiM members organised the search campaign, but so far no meteorites have been found. PKiM members also took part in an international search campaign for fragments of asteroid 2024 BX<sub>1</sub>, which was discovered before its collision with the Earth. Polish exploration teams were very successful in the strewn field, boosting finds of aubrites near Berlin. The PFN's cooperation with eastern meteor networks resulted in the detection of large fireballs and the recordings of spectra of the meteor light spectra, which allow the elemental composition of meteoroids to be recognised and the type of possible meteorite to be deduced.

**Keywords:** Ribbeck, PF270423, PFN, PKiM

<sup>1</sup> *Narodowe Centrum Badań Jądrowych OR POLATOM, Otwock-Świerk;*  
*e-mail: z.tyminski@polatom.pl*

<sup>2</sup> *Pracownia Komet i Meteorów, Polska Sieć Bolidowa, ul. Bartycka 18, Warszawa*

<sup>3</sup> *Zespół Szkół nr 1 im. Legionów Polskich w Kozienicach*

<sup>4</sup> *Główny Urząd Miar, ul. Elektoralna 2, Warszawa*

<sup>5</sup> *Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, ul. Bartycka 18, Warszawa*

<sup>6</sup> *Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK, Toruń*

<sup>7</sup> *Instytut Astronomii im. prof. Janusza Gila, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra*

<sup>8</sup> *Obserwatorium Astronomiczne na Suhorze, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie*

<sup>9</sup> *Centrum Diagnostyki Radiowej Środowiska Kosmicznego, Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie*

<sup>10</sup> *Wydział Teledetekcji Naziemnej, IMGW-PIB, Warszawa*

<sup>11</sup> *Ukrainian Meteor Network, Kiev, Ukraine*

<sup>12</sup> *Belarusian Meteor Network, Derazhnoye, Belarus*

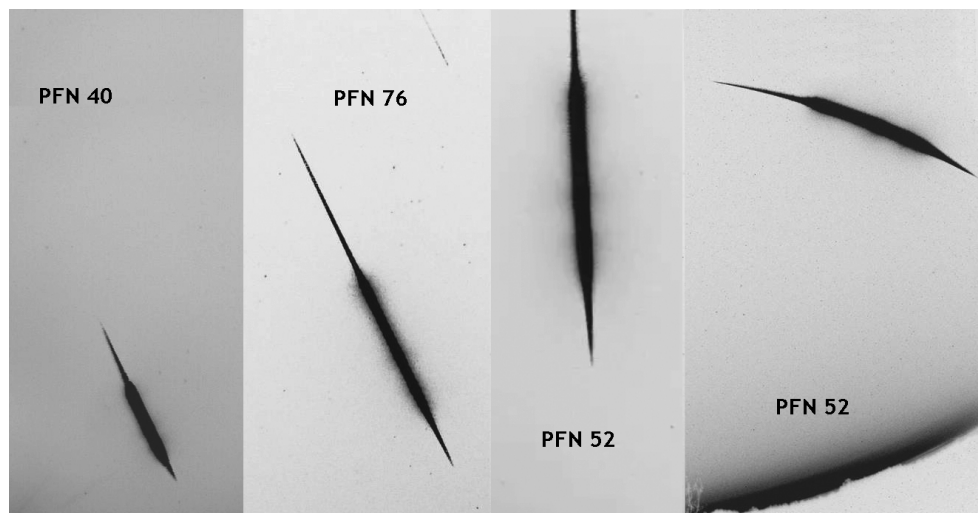
## Wstęp

Polska Sieć Bolidowa (PFN), obchodząca w tym roku swoje 20-lecie działalności, została w ciągu ostatnich kilku lat ukierunkowana na detekcje jasnych zjawisk bolidowych i odnalezienie meteorytów, których spadki rejestruje systematycznie (Tymiński i in. 2018, 2019, 2021, 2023). Przy tej okazji rejestrują się także deorbitacje obiektów wytworzonych przez człowieka, takie jak np. ta z dnia 22.06.2023 r. 00:05 UT, kiedy to drugi człon chińskiej rakiety Chang Zheng 2D zostawił za sobą długi ślad ablacyjny nad Polską, jednak żadne fragmenty nie spadły na Ziemię. Ostatni rok działalności Pracowni Komet i Meteorów (PKiM) minął pod hasłem poszukiwań. Kolejny bolid spadkowy zarejestrowany w PFN został przesłany do obliczeń w internetowym serwisie Strewnify (Jim Goodal, Strewnify.com). Wynikiem tego było wyznaczone pole spadku pod Zarębami Kościelnymi i poszukiwania fragmentów powstałych po przelocie bolidu PF270423. Członkowie PKiM wzięli także udział w międzynarodowej kampanii poszukiwawczej fragmentów powstałych podczas rozpadu odkrytej przed zderzeniem z Ziemią asteroidy 2024 BX<sub>1</sub>. W poszukiwaniach ogromny sukces odniosły polskie ekipy eksploracyjne, które mogą pochwalić się znaleziskami aubrytów pod Berlinem (Żmija 2024, MetBull 2024). Współpraca z sieciami meteorowymi krajów sąsiadujących z Polską na wschodzie, zaowocowała detekcjami bolidów spadkowych, takich jak np. spadek w dniu 8.01.2024 r. pod Rovaniichi (Harachka i in. 2024). Poniżej za to przedstawiamy ciekawe zjawisko z zarejestrowanym spektrum widzianego światła, które dzięki zastosowaniu prostej metody pomiarowej, jaką jest dyfrakcja na siatce dyfrakcyjnej, pozwala rozpoznać skład pierwiastkowy meteoroidów. To z kolei pozwala ustalić do jakiego typu meteorytów należało drobne ciało kosmiczne wchodzące w ziemską atmosferę. Opisany dalej przypadek bolidu z dn. 21.12.2023 r. rozpoznany został jako fragment ciała chondrytowego.

## Bolid PF270423

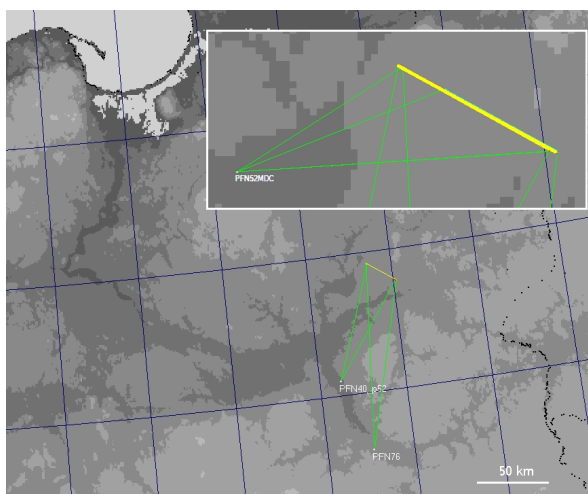
Dnia 27.04.2023 r. o godz. 01:40:48 UT cztery kamery monitorujące nocne niebo w ramach Polskiej Sieci Bolidowej zarejestrowały jasne zjawisko meteorowe. Były to stacje PFN40 Otwock, PFN76 Kozienice oraz dwie kamery w PFN52 Nowy Sielc (rys. 1). Charakterystyka i wielkość blasku wytworzonego przy przelocie meteoroidu wskazywała, iż jego fragmenty mogły przetrwać i dolecieć do powierzchni Ziemi. Jasność absolutną zjawiska oznaczonego jako PF270423 oszacowano na około  $-6^m$ . Wstępna analiza danych programem UFO Orbit określiła końcową prędkość na 3–5 km/s, czym potwierdziła możliwość spadku meteorytów.

Bolid pojawił się nad Polską Centralną około 90 km na północny-wschód od Warszawy i poruszał się po stosunkowo stromej trajektorii z odchyleniem  $24,8^\circ$  od pionu w kierunku SE (rys. 2). Orbita zjawiska wskazywała na ciało pochodzące z głównego pasa planetoid. Podobnie jak w przypadku wcześniej opisywanego zjawiska, PF100521 (Tymiński i in. 2023), pojawiły się problemy z precyzyjnym wyznaczeniem trajektorii lotu, wywołane prześwieceniem klatek zarejestrowanego obrazu (rys. 1). Dodatkowo widoczna była wyraźna fragmentacja a program



**Rys. 1.** Negatywy obrazu powstałego po zsumowaniu klatek z rejestracji przelotu bolidu PF270423 w kamerach ze stacji: PFN40, PFN76 i PFN52 (dwie kamery).

**Fig. 1.** Negatives of the image created after summing the frames from recordings of the bolide PF270423 in the stations: PFN40, PFN76 and PFN52 (two cameras).



**Rys. 2.** Poglądowa mapa z zaznaczonym przelotem bolidu PF270423 nad Polską (żółta linia) oraz zbliżenie na jego trajektorię, wyznaczoną programem UFOAnalyzer V4 na podstawie danych z PFN40 Otwock oraz PFN52 Nowy Sielc i PFN76 Kozienice.

**Fig. 3.** An overview map showing the flight of the PF270423 bolide over Poland (yellow line) and a close-up of its trajectory, determined by the UFOAnalyzer V4 program based on data from PFN40 Otwock and PFN52 Nowy Sielc and PFN76 Kozienice.

UFOAnalyzer konsekwentnie śledził tylko ruch masy głównej. Parametry pozostałych fragmentów trzeba było wyznaczyć ręcznie. Z tego powodu dane ze stacji PFN40, PFN52 i PFN76 zostały powtórnie przeanalizowane a poprawione wyniki wysłane do internetowego serwisu Strewnify (<https://www.strewnify.com>), w celu uzyskania obrazu domniemanego pola spadku meteorytów. Uzyskana nowa

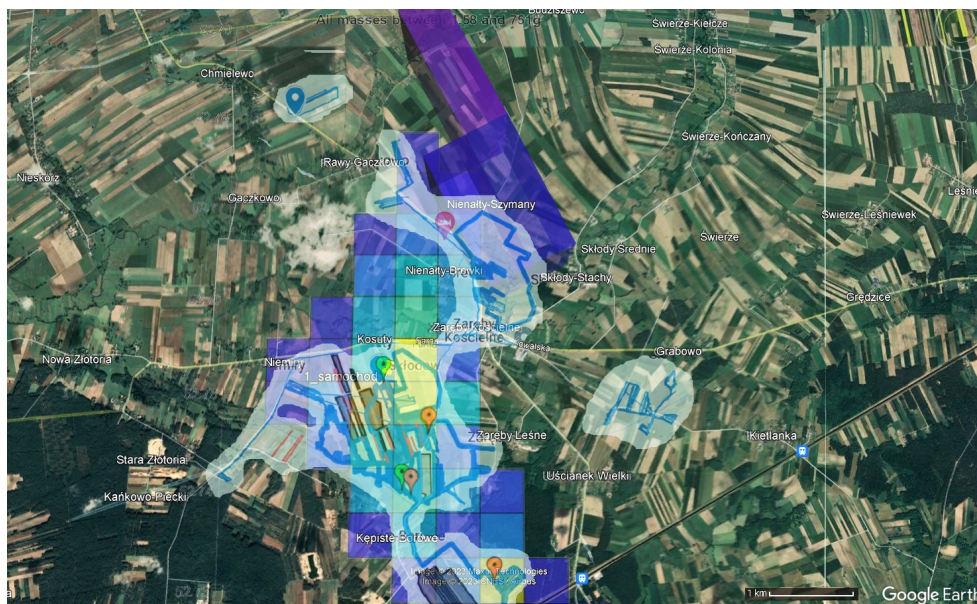
średnia trajektoria przelotu posiadała nieco większą niepewność, co z kolei rozszerzyło wyliczony obszar.

Rezultaty dalszych obliczeń (tab. 1) zaklasyfikowały zjawisko do klasy B, co oznaczało duże prawdopodobieństwo spadku meteorytów na małym obszarze, z sugestią przeprowadzenia kampanii poszukiwawczej. Wyliczone pole spadku trafiło w okolice miejscowości Zareby Kościelne a mapy rozrzutu meteorytów zostały opublikowane na stronie [https://www.strewnify.com/y20230427\\_01z\\_34u/](https://www.strewnify.com/y20230427_01z_34u/) (rys. 3).

**Tabela 1.** Obliczone parametry zjawiska PF270423 (za [www.strewnify.com](http://www.strewnify.com)).

**Table 1.** Calculated parameters of the PF270423 phenomenon (from [www.strewnify.com](http://www.strewnify.com)).

Parametr	Wartość
Data i godzina początku zjawiska	2023.04.27 01:40:50 UTC
Współrzędne końca trajektorii przelotu	52,7582°N; 22,0293°E
Wysokość końca trajektorii przelotu	28,06 km n.p.m.
Szacowana masa początkowa	< 100 kg
Prędkość początkowa	14,3 km/s
Azymut zjawiska	126,9° SE
Nachylenie trajektorii przelotu	24,8° od pionu
Estymowana masa meteorytów	< 14 kg
Estymowana masa głównego fragmentu	< 3,9 kg



**Rys. 3.** Mapa poglądowa terenu spadku bolidu PF270423 pod Zarebami Kościelnymi – obszary zaznaczone kolorem szarym to teren poszukiwań prowadzonych przez ekipę PFN, zarówno w obszarze pola spadku wyznaczonym przez serwis Strewnify.com, jak i poza nim (opis w tekście).

**Fig. 3.** Illustrative map of the strewnfield of bolide PF270423 near Zareby Kościelne – areas marked in gray represent the search area conducted by the PFN team in the strewn field calculated by Strewnify.com (description in the text).



## Poszukiwania meteorytów po bolidzie PF270423

Niedługo po opublikowaniu wyników analizy bolidu z dnia 27.04.2023 r., w okolicach miejscowości Zaręby Kościelne, rozpoczęły się poszukiwania meteorytów, prowadzone przez prywatnych kolekcjonerów. Zespół PFN dołączył do poszukiwań 13.05.2023 r. po uzyskaniu danych z radarów dopplerowskich otrzymanych z IMGW (Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Rekonesans pola spadku rozpoczęto w północnej części wyznaczonego przez Jima Goodala obszaru, pod detekcją radarową nad wioską Nienały-Brewki. Następnie przemieszczono się na południowy zachód, w obszar największego prawdopodobieństwa znalezienia meteorytów wyznaczonym w serwisie Strewnify. Ostatniego dnia poszukiwań sprawdzono pola na południowy wschód i północny zachód od pola spadku, już poza wyliczonym obszarem rozrzutu meteorytów, na przedłużeniu dopplerowskiej detekcji radarowej. Na rysunku 3 przedstawiono mapę, na której fioletowym i ciemno-niebieskim kolorem na północy zaznaczono rzut obrazu detekcji radarowej fragmentów meteorytów lecących w atmosferze, na powierzchnię obszaru. Pozostałe kolory oznaczają prawdopodobieństwo rozrzutu meteorytów od największych mas (jasne kolory) do najmniejszych fragmentów (ciemne barwy), zgodnie z oznaczeniami na stronie [https://www.strewnify.com/y20230427\\_01z\\_34u/](https://www.strewnify.com/y20230427_01z_34u/). Szarym kolorem oznaczono teren poszukiwań prowadzonych przez grupę PFN, zarówno w obszarze pola spadku, jak i poza nim. Prowadzone dotąd poszukiwania nie przyniosły jednak rezultatów, ale planowane są kolejne wyprawy poszukiwawcze.

## Raport z poszukiwań fragmentów planetki 2024 BX<sub>1</sub>

Po wtargnięciu w atmosferę Ziemi asteroidy 2024 BX<sub>1</sub> dn. 21.01.2024 r. w okolicach Ribbeck pod Berlinem, wystartowała międzynarodowa kampania poszukiwawcza. Wielu miłośników i kolekcjonerów meteorytów z Polski ruszyło na poszukiwania fragmentów meteorytów (Żmija 2024). Także w ramach PKiM zostały zorganizowane trzy wyprawy poszukiwawcze. Pierwsza rozpoczęła się już 26 stycznia 2024 r. i trwała 3 dni. Trzyosobowa grupa w składzie: Marcin Stolarz, Paweł Zaręba, Zbyszek Tymiński, pokonała w obszarze pola spadku trasę o długości ponad 40 km, nie odnajdując niestety żadnego fragmentu kosmicznego ciała. Pierwsze poszukiwanie skoncentrowano głównie wokół średnich mas wyznaczonych i opublikowanych przez grupę czeskich astronomów, w skład której wchodził: Pavel Spurný, Jiří Borovička i Lukáš Shrbený, wszyscy z Instytutu Astronomicznego Czeskiej Akademii Nauk (Spurný i in. 2024).

Kolejne poszukiwania rozpoczęto 01 lutego 2024 roku. Do grupy dołączył Artur Jaśkiewicz i ekipa zaczęła od poszukiwań w okolicach miejscowości Berge. Działania zespołu zostały podzielone na dwa obszary, jedna grupa skoncentrowała się na centrum pola spadku, a druga eksplorowała wschodnie krańce obszaru, gdzie przewidywano obecność mniejszych meteorytów o masie 1–2 g, zgodnie z mapą grupy Spurnego. Pierwszy dzień poszukiwań nie przyniósł żadnych



**Rys. 4.** Największy fragment jednego z meteorytów znaleziony w okolicy miejscowości Berge, o wadze całkowitej około 9,2 g, zdjęcie *in-situ* Paweł Zaręba.

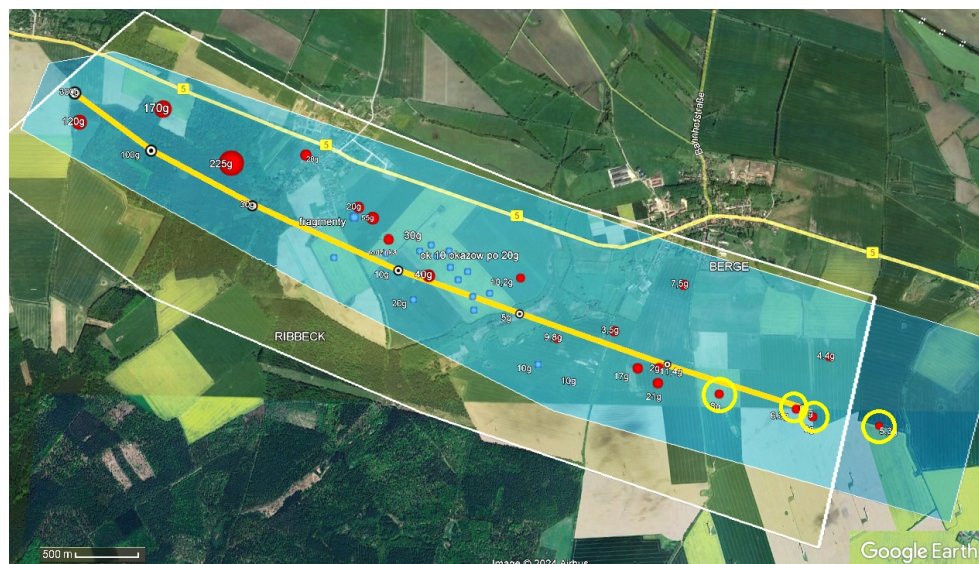
**Fig. 4.** The largest fragment of one of the meteorites found near Berge, weighing approximately 9.2 g, *in-situ* photo Paweł Zaręba.

znalezisk. Drugiego dnia skupiono się na obszarach, gdzie spodziewano się najmniejszych meteorytów. Już o godzinie 10:30, Paweł Zaręba samotnie zmierzający w kierunku najmniejszych mas, odkrył na polu uprawnym fragmenty meteorytu o całkowitej masie 9,2 g (rys. 4).

Znalezisko zostało dokładnie udokumentowane a bliższe oględziny lupą ujawniły spękaną skorupkę obtopieniową, pokrytą pęcherzykami. Dodatkowo z meteorytu wydobywała się wyraźna woń siarkowodoru. Po tym znalezisku postanowiono kontynuować poszukiwania w obszarze przewidywanego spadku mniejszych meteorytów. Trzeciego dnia skoncentrowano się na wschodniej części pola spadku. Pomimo rosnącej liczby poszukiwaczy w terenie, nasz zespół zakończył dzień z dobrym wynikiem, ponieważ uzyskaliśmy aż trzy znaleziska: 8,0 g, 5,7 g (w dwóch kawałkach) oraz 5,3 g, w ciągu kilkunastu godzin poszukiwań (rys. 5). Meteoryty te zostały zidentyfikowane na podstawie tekstury, obecności skorupki obtopieniowej oraz charakterystycznego zapachu siarkowodoru. Należy nadmienić, że ich wygląd nieco różnił się od pierwszego znaleziska, co prawdopodobnie spowodowane było odmienną litologią skały, która mogła pochodzić z innej części rozpadającego się meteoroidu. Ostatni meteoryt, znaleziony w wyschniętej kałuży, nosił ślady znacznego utlenienia. W kolejnych dniach zespół kontynuował poszukiwania, ale bez sukcesu.

Po tygodniu ekipa powróciła do Ribbeck i przeszukiwała pole spadku przez dwa dni. Jednakże zmienne warunki pogodowe utrudniały poszukiwania i nie udało się znaleźć żadnych nowych meteorytów, co zakończyło trzecią fazę ekspedycji. Ostateczny bilans całej wyprawy to cztery odnalezione meteoryty o łącznej wadze około 28 g. Należy dodać, iż wszystkie meteoryty zawierały dodatek ziemskiej wody i po wysuszeniu traciły na masie (drugi co do wielkości fragment z pierwszych znalezionych okazów ważył, po wysuszeniu w temperaturze pokojowej, o 4,9% mniej w stosunku do wagi przed wysuszeniem).

Znalezione przez nas meteoryty będą przebadane w Narodowym Centrum Badań Jądrowych, pod względem zawartości radionuklidów kosmogenicznych.



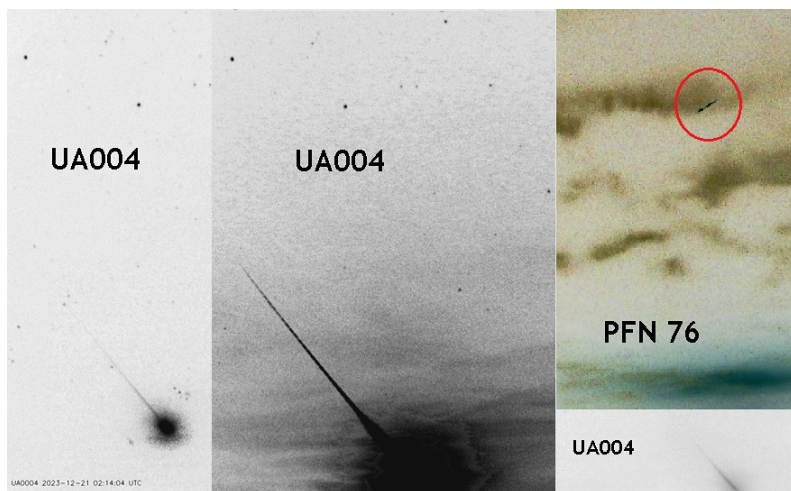
**Rys. 5.** Poglądowa mapa z zaznaczonymi na czerwono i niebiesko przybliżonymi pozycjami znalezisk pierwszych meteorytów w wyliczonym polu spadku asteroidy 2024 BX<sub>1</sub> (obszar otoczony białą linią, Spurný i inni, 2024b) oraz znaleziskami dokonanyymi przez członków PKiM oznaczonymi żółtymi kołami, pomarańczową linią zaznaczono środek pola spadku; pole zaznaczone na niebiesko to przybliżony obszar pozostałych znalezisk.

**Fig. 5.** Illustrative map with the approximate positions of the first meteorite finds marked as red and blue circles in the calculated strewn field of 2024 BX<sub>1</sub> fragments (area surrounded by a white line, Spurný et al., 2024b) and the finds made by PKiM members marked with yellow circles, the center of the strewn field marked as an orange line; the field marked in blue is the approximate area of other meteorite finds.

## Bolid z dn. 21.12.2023 r. godz. 02:14:04 UT

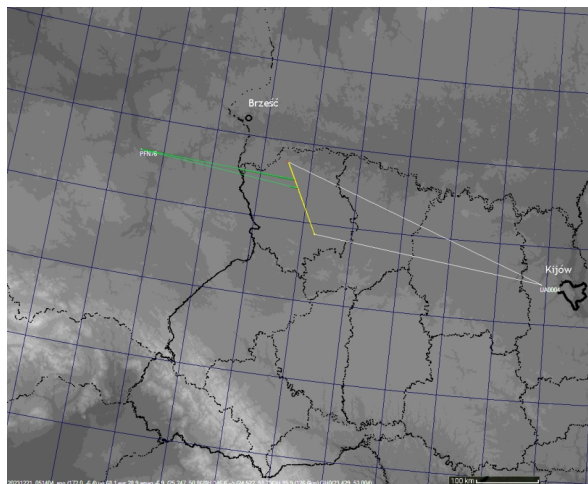
Rankiem 21 grudnia 2023 roku o godzinie 02:14:04 UT jedna z kamer Ukraińskiej Sieci Meteorowej (UMN), kamera oznaczona UA004 (z sensorem IMX462 1920 1080 i obiektywem 6,0 mm F0,95), zanotowała zjawisko o maksymalnym blasku około  $-5,5^m$ . Była to niestety jedyna rejestracja w UMN. Ze względu na niekorzystną pogodę w Polsce, także tylko jedna kamera stacji PFN76 Kozienice (IMX327, 1920 1080, obiektyw 4,0 mm F0.95), zarejestrowała częściowo bolid przez warstwę chmur (rys. 6). Meteoroid przeleciał na linii Kijów – Brześć, pojawiając się na niebie bliżej Brześcia (rys. 7). Jego rozbłysk utrwaliły kamery Białoruskiej Sieci Meteorowej (BMN) jako pojaśnienie nieba, a jednej z kamer, wyposażonej w siatkę dyfrakcyjną, udało się zarejestrować wyraźne widmo. Sam meteor nie został jednak zarejestrowany, ponieważ nie znalazł się w polu widzenia kamery. Chociaż detekcja PFN była niepełna – chmury zadziałały jak filtr osłabiający i zarejestrowano tylko najjaśniejszą część trajektorii, a ukraiński zapis kamerą UA004 był przeświecony (znany problem systemów RMS, które nie radzą sobie z jasnymi bolidami), dokładna analiza zjawiska w programie UFOAnalyzer pozwoliła na wyznaczenie parametrów ciała meteoroidowego poruszającego się w atmosferze.





**Rys. 6.** Negatyw pojedynczej klatki oraz obraz powstały po zsumowaniu klatek z rejestracji bolidu dn. 21.12.2023 r. w kamerach ze stacji UA004 oraz PFN76, oraz utrwalony ślad w UA004 (prawa strona poniżej).

**Fig. 6.** The negative image of a single frame and the sum of frames from the registrations of the bolide on December 21, 2023, in stations UA004 and PFN76, and a recorded meteor trace in UA004 (right side below).



**Rys. 7.** Poglądowa mapa z zaznaczoną trajektorią przelotu bolidu z dn. 21.12.2023 r. na Ukrainie (żółta linia), wyznaczona programem UFOAnalyzer na podstawie danych z rejestracji UMN UA004 i PFN76 Kozienice.

**Fig. 7.** Illustrative map with the trajectory of the 21.12.23 bolide (yellow line) in Ukraine, determined by the UFOAnalyzer program based on data from the UMN UA004 and PFN76 Kozienice.

Obliczenia oparte na danych uzyskanych z trzech sąsiednich sieci bolidowych wskazały, iż w atmosferę ziemską uderzył meteoroid o dużej prędkości i o niezwykle dużej energii kinetycznej. Był to meteor sporadyczny, pochodzący z tzw. apeksu: ciało znajdowało się na kursie przeciwnym do ruchu Ziemi. Jego prędkość geocentryczna była bliska górnej granicy – 67 km/s (górna granica dla ciał poru-



szających się w Układzie Słonecznym to około 72 km/s). Meteor pojawił się na wysokości 156,3 km a eksplodował około 85,9 km nad powierzchnią Ziemi. Ślad meteorowy był widoczny na niebie w obszarze największego pojaśnienia przez około 15 minut. Meteoroid wszedł w atmosferę Ziemi pod kątem 29° i przebył drogę 127 km (tab. 2). Dotarcie ciała do powierzchni Ziemi przy tak dużych prędkościach jest absolutnie niemożliwe i dlatego nie należy spodziewać się znalezienia jakichkolwiek jego pozostałości w obszarze jego przelotu, poza pyłem ablacyjnym.

Chociaż analiza meteoru nie trafiła dokładnie w znany radiant, może on jednak należeć do małego roju Sekstantydów Grudniowych (DEX). Według danych MDC IAU (ang. Meteor Data Center of the International Astronomical Union) tej nocy spodziewany był szczyt aktywności tego roju – Sol 268.3 co odpowiada dacie 20.12.2023, 19:05:45 UT (zjawisko miało miejsce tylko 7 godzin przed maksimum).

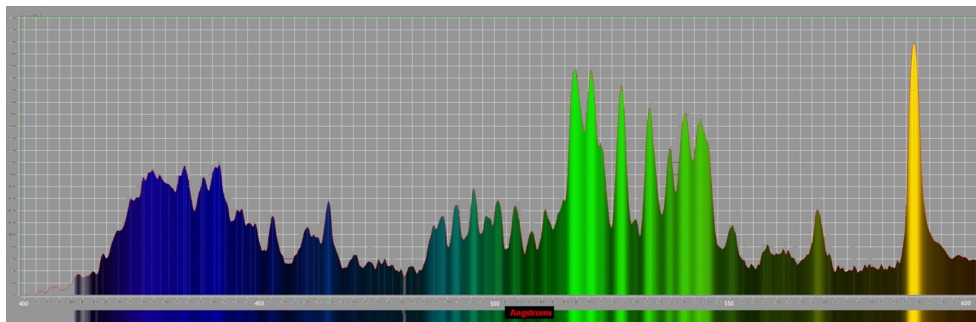
**Tabela 2.** Wyniki analizy danych dotyczących bolidu z dnia 21.12.2023 z kamery UA004 przetworzone przy użyciu programu SkyFit2 (obliczenia wykonał Alexander Aitov, UMN); niepełna detekcja w PFN76 ze względu na duże niepewności nie uwzględniona przy wyznaczeniu orbity.

**Table 2.** The results of data analysis for bolide recorded on 21.12.2023, from UA004 camera processed using the SkyFit2 program (calculations performed by Alexander Aitov, UMN); incomplete detection in PFN 76 due to large uncertainties not included in the orbit analysis.

Parametry zjawiska:	
Data i godzina początku zjawiska	21.12.2023 02:14:04 UT
Współrzędne radiantu (RA, Dec)	163,5°, -3,3°
Wysokość początku trajektorii przelotu	156,3 km
Wysokość końca trajektorii przelotu	78,5 km
Prędkość początkowa	70,4 km/s
Prędkość geocentryczna	69,5 km/s
Długość trajektorii lotu w atmosferze	139 km
Parametry orbity:	
półoś wielka	8,56 AU
odległość peryhelium	0,85 AU
mimośród	0,901
okres obiegu wokół Słońca	25,07 lat
długość perycentrum	45,220°
długość węzła wstępującego	88,603°
nachylenie	162,5°

## Analiza widma bolidu z dn. 21.12.2023 r.

W przypadku zjawiska dn. 21.12.2023 r. kamera Białoruskiej Sieci Bolidowej (Derazhnoye, BMN), znajdująca się w miejscowości Dzierażno na Białorusi, zarejestrowała jego widmo promieniowania w widzialnej części (sensor IMX327, obiektyw 4,0 mm F0,95, siatka dyfrakcyjna: 1200 linii/mm). Zarejestrowane widmo bolidu z tej stacji zaprezentowano na rysunku 8. Jest ono znacznie zaszumione, ponieważ bolid przeleciał poza kadrem w chmurach, co miało znaczenie



**Rys. 8.** Przykładowy fragment widma bolidu z dnia 21.12.2023 zarejestrowanego w stacji bolidowej Derazhnya, pol. Deraynia (zakres od 4000Å do 6000Å) (autor: Yury Harachka (BMN)).

**Fig. 8.** An example of the primary spectrum of bolide recorded on 21.12.2023 obtained at the Derazhnya bolide station (range from 4000Å to 6000Å) (author: Yury Harachka (BMN)).

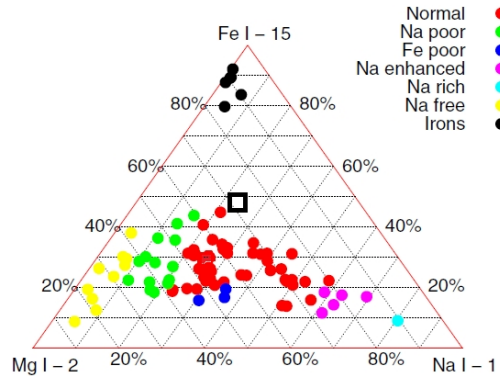
przy opracowywaniu linii o niskich intensywnościach. Dane nadające się do analizy zostały zarejestrowane tylko na dwóch klatkach, w momencie największego błysku. Przetwarzanie i analizę linii widmowych przeprowadzono w programie RSpec z zastosowaniem kalibracji nieliniowej.

Analizowany zakres długości zarejestrowanych fal promieniowania widzialnego meteoru został podzielony na dwa obszary – pierwszy od 4000Å do 6000Å (rys. 7), uzyskany z zapisu drugiego rzędu prążków widma, oraz obszar drugi, powyżej 6000Å otrzymany z zapisu pierwszego rzędu widma. Główne cechy uzyskane w analizie przedstawiono poniżej:

- W widmie zaobserwowane zostały zarówno składniki niskotemperaturowe (4000 K), jak i wysokotemperaturowe (do 10000 K) (Borovička 1994).
- Typowe składniki niskotemperaturowe w widmie to wyraźnie widoczne linie atomów obojętnych, takich jak: Mg I, Fe I, Na I, Ca I, Cr I, Si I, Mn I, O I (atm.), N I (atm.). Są to typowe linie obserwowane przy większości meteorów.
- Składniki wysokotemperaturowe nie są często spotykane w widmach, pojawiają się one tylko w przypadku bardzo szybkich zjawisk lub w momencie wybuchu meteoroidu (w tym przypadku mamy oba warianty).
- Linie jonizowanego wapnia Ca II na 8498,0Å, 8542,1Å i 8662,1Å w paśmie podczerwieni IR (ang. Infrared) są najjaśniejsze w widmie. Ich intensywność przewyższa nawet linię O I na 7774Å, która zwykle jest najjaśniejsza w szybkich meteorach.
- Dodatkowo widmo pokazuje zjonizowane żelazo Fe II na 4923,9Å i 5018,4Å oraz zjonizowany chrom Cr II na 4558,6Å, 4588,2Å i 4618,8Å. Obecność tych linii wskazuje na wysoką temperaturę, jaka powstała w momencie wybuchu, na skutek dużej prędkości meteoroidu.
- Stosunek Mg-Fe-Na (uśredniony dla pierwszego i drugiego rzędu widm) pokazuje na wykresie trójskładnikowym, że widmo należy do typu normalnego. Ten typ jest najpowszechniejszy wśród widm meteoroidów i odpowiada chondrytowemu składowi meteoroidu (rys. 9).

**Rys. 9.** Klasyfikacja widm meteorów. Wykres trójskładnikowy uwzględniający intensywności multipletów Mg I (2), Na I (1) i Fe I (15). Każda grupa meteoroidów jest reprezentowana przez inny kolor (Vojáček i in. 2015); kwadratem oznaczono omawiany przypadek.

**Fig. 9.** Classification of meteor spectra. The ternary graph of the Mg I (2), Na I (1), and Fe I (15) multiplet relative intensities. Every group of meteoroids is represented with a different colour; the discussed case is marked with a square.



## Podsumowanie

Podsumowując kolejny rok działalności PKiM trzeba przede wszystkim podkreślić, iż sieć PFN nastawia się coraz bardziej na jasne bolidy i materię meteorytową z nich pochodzącą. Niestety poszukiwania pod Zarębami Kościelnymi nie przyniosły nowych znalezisk meteorytowych w Polsce. Dwadzieścia lat działalności nie przyniosło dotąd efektów w postaci pozyskanej materii kosmicznej. Niemniej jednak, niektórzy członkowie PKiM (Paweł Zaręba i Artur Jaśkiewicz) mogą pochwalić się swoimi pierwszymi znalezionymi meteorytami z obserwowanego, zarejestrowanego przez europejskie sieci bolidowe, spadku asteroidy 2024 BX<sub>1</sub>. Współpraca z Meteorową Siecią Ukraińską oraz Siecią Białoruską pozwoliły na analizę ciekawych zjawisk na niebie nad wschodnimi obszarami przygranicznymi. Wspólne wyliczenia wskazały, iż meteoroid zarejestrowany 21.12.2023 r. mógł należeć do małego roju Sekstantydów Grudniowych (December Sextantids, DEX). Prawdopodobnie z powodu jego dużej prędkości, w widmie pojawiły się dobrze widoczne linie zjonizowanych atomów Ca II, Fe II i Cr II.

Należy dodać, iż niesłychanie ważna jest współpraca z ośrodkami badawczymi w Polsce i za granicą. Chcemy, aby jak najwięcej znalezionych meteorytów trafiło do badań. W tej chwili na przykład wykonywane są, w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, pomiary nieniszczące niektórych fragmentów meteorytów zebranych pod Ribbeck. Będą także wykonane ich skany 3D oraz tomografia CT, co jest pomocne przy dokładnym modelowaniu lotu i rozpadu meteoroidu w atmosferze.

## Podziękowania

Składamy podziękowania Pani prof. UAM dr hab. Annie Marciniak z Instytutu – Obserwatorium Astronomicznego w Poznaniu za pomoc i cenne uwagi dotyczące pracy.

Podziękowania należą się wszystkim członkom PKiM, którzy codzienną pracą przyczyniają się do rozwoju PFN, do opracowywania spadków meteorytów, jak również pomagają w ich poszukiwaniach. Na podziękowania zasługują także wszyscy biorący udział w poszukiwaniach i współpracującymi z nami: Andrzej Owczarzak z ekipą, Krzyszpin Kmiecik, Jarosław Morys, Arkadiusz Bingoraj oraz Mateusz Żmija, Janusz Kosmowski i Marcin Hajwos.

*We would like to thank the Belarusian and Ukrainian Meteor Networks, which are doing a great job. We would especially like to thank our Ukrainian colleagues who are involved in meteor astronomy during this difficult time.*

## Literatura

- Borovička J., 1994, *Two components in meteor spectra*, Planetary and Space Science, vol. 42(2), s. 145–150.
- Fries M., Fries J., 2010, *Doppler weather radar as a meteorite recovery tool*, Meteoritics & Planetary Science, vol. 45(9), s. 1476–1487.
- Harachka Y., Mikulich A., Morozov K., 2024, *Fireball on the 08<sup>th</sup> of January 2024*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 15, s. 47–55.
- Olech A., Żołądek P., Wiśniewski M., Kransowski M., Kwinta M., Fajfer T., Fietkiewicz K., Dorosz D., Kowalski Ł., Olejnik J., Mularczyk K., Złoczewski K., 2006, *Polish Fireball Network*, Proceedings of the International Meteor Conference, Oostmalle, Belgium, s. 53–62.
- Spurný P., Borovička J., Shrbený L., 2024, [www.asu.cas.cz/~meteor/bolid/2024\\_01\\_21BX1/](http://www.asu.cas.cz/~meteor/bolid/2024_01_21BX1/) Zánik malé planetky 2024 BX1 západně od Berlína 21. ledna 2024 zachycený kamerami Evropské bolidové sítě.
- Spurný P., Borovička J., Shrbený L., Hankey M., Neubert R., 2024b, *Atmospheric entry and fragmentation of small asteroid 2024 BX1: Bolide trajectory, orbit, dynamics, light curve, and spectrum*, arXiv:2403.00634v1 [astro-ph.EP].
- Stolarz M., 2017, *Raport z grantu NCN „Polska Sieć Bolidowa”*, opracowanie wewnętrzne.
- Tymiński Z., Stolarz M., Żołądek P., Wiśniewski M., Olech A., Kubalczak T., Zaręba P., Myszkiwicz M., Polakowski K., Kosiński J.W., 2015, *Meteorite search campaigns of the Polish Fireball Network*, Proceedings of the IMC-2015, Mistelbach, Austria, 2, s. 143–146.
- Tymiński Z., Żołądek P., Wiśniewski M., Stolarz M., Jaśkiewicz A., Myszkiwicz M., Gawroński M. P., Suchodolski T., Polakowski K., Zaręba P., Olech A., 2018, *Raport z poszukiwań meteorytów w ramach PFN w sezonie 2016/2017*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 9, s. 158–163.
- Tymiński Z., Żołądek P., Wiśniewski M., Stolarz M., Polakowski K., Myszkiwicz M., Zaręba P., Gawroński M. P., Suchodolski T., Olech A., 2019, *15 lat obserwacji – wybrane spadki meteorytów rejestrowane w PFN w latach 2004–2019*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 10, s. 160–167.
- Tymiński Z., Żołądek P., Wiśniewski M., Stolarz M., Polakowski K., Jaśkiewicz A., Janasz S., Gawroński M. P., Krzyżanowski T., Kwinta M., Olech A., Piatlicki J., Suchodolski T., Szlagor M., Węgrzyk W., Zaręba P., Zelevich J., 2021, *Raport PFN z poszukiwań meteorytów latach 2018–2020*, Societatis Meteoriticae Polonorum, 12, s. 98–107.
- Tymiński Z., Żołądek P., Jaśkiewicz A., Wiśniewski M., Stolarz M., Polakowski K., Kwinta M., Krzyżanowski T., Suchodolski T., Szlagor M., Węgrzyk W., Zaręba P., Laskowski J., Łojek T., Michniewicz O., Szlagor M., Węgrzyk W., Zaręba P., Olech A., Gawroński M. P., Mazur M., Żejmo M., Ogłóza W., Froń A., Gzik S. oraz PFN, 2023, *Raport z działalności PKiM oraz PFN w latach 2021–2022*, Societatis Meteoriticae Polonorum, 14, s. 183–191.
- Vojáček V., Borovička J., Koten P., Spurný P., Štork R., 2015, *Catalogue of representative meteor spectra*, A&A 580, A67. doi:10.1051/0004-6361/201425047
- Wiśniewski M., Żołądek P., Olech A., Tymięński Z., Maciejewski M., Fietkiewicz K., Rudawska R., Gozdalski M., Gawroński M., Suchodolski T., Myszkiwicz M., Stolarz M.,



- Polakowski K., 2017, *Current status of Polish Fireball Network*, Planetary and Space Science, 143, s. 12–20.
- Żmija M., 2024, *Meteoryt Ribbeck – relacje polskich poszukiwaczy*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 15, s. 202–214.

### Strony internetowe

IAU MDC, <https://www.iaumeteordatacenter.org/>

MetBull, 2024, <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=81447> (Meteoritical Bulletin Database: Ribbeck)

Sonotaco, [www.sonotaco.com](http://www.sonotaco.com)

Strewnify, <https://www.strewnify.com>