

Zbigniew TYMIŃSKI^{1,2}, Przemysław ŻOŁĄDEK^{2,6}, Artur JAŚKIEWICZ²,
Mariusz WIŚNIEWSKI^{2,3}, Marcin STOLARZ², Krzysztof POLAKOWSKI², Maciej KWINTA²,
Tomasz KRZYŻANOWSKI², Janusz LASKOWSKI², Tomasz ŁOJEK²,
Olga MICHNIEWICZ², Mariusz SZLAGOR², Walburga WĘGRZYK², Paweł ZARĘBA²,
Arkadiusz OLECH⁴, Marcin P. GAWROŃSKI^{2,5}, Mirosław MAZUR⁶, Michał ŻEJMO⁷,
Waldemar OGŁOZA⁸, Adam FRON⁹, Sylwia GZIK¹⁰ oraz PFN

Raport z działalności PKiM oraz PFN w latach 2021–2022

Report on the activities of the PKiM and PFN in period 2021–2022

Abstract: The Polish Fireball Network (PFN), has been undergoing continuous development. Since then, several large grants have been obtained, which were at least partly used for modernization purposes. In recent years, two more grants have been obtained, which allowed for the expansion and modification of the existing PFN infrastructure. In 2021, the PFN76 Kozienice was modernized, but also the PFN14 Zielona Góra station was reactivated and the new PFN77 Suhora station was launched in 2022. Thanks to these improvements, the tracking of meteoroids entering the Earth Atmosphere above Poland became more accurate, which facilitates the search for meteorites and increases the chances of finding new fresh meteorites in Poland.

On the night of May 10, 2021, PFN stations registered an exceptionally slow bolide. The phenomenon named PF100521 Wykrot appeared over central Poland in the Mazowieckie Voivodeship at 21:32 UT and calculations showed that some meteorites may have fallen. This phenomenon was used to conduct a series of analyzes to show how observational uncertainties affect the final results. Two variants of the results are presented in this work.

Keywords: meteoroid, bolide, meteorite falls, Polish Fireball Network

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

² Pracownia Komet i Meteorów, Polska Sieć Bolidowa, ul. Bartycka 18, Warszawa

³ Główny Urząd Miar, ul. Elektoralna 2, Warszawa

⁴ Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, ul. Bartycka 18, Warszawa

⁵ Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK, Toruń

⁶ Zespół Szkół nr 1 im. Legionów Polskich w Kozienicach

⁷ Instytut Astronomii im. prof. Janusza Gila, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra

⁸ Obserwatorium Astronomiczne na Suhorze, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie

⁹ Centrum Diagnostyki Radiowej Środowiska Kosmicznego, Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie

¹⁰ Wydział Teledetekcji Naziemnej, IMGW-PIB, Warszawa

1. Wstęp

Polska Sieć Bolidowa działająca nieprzerwanie od 2004 roku (Olech i in. 2006) zawsze była siecią podlegającą ciągłemu rozwojowi (Wiśniewski i in. 2017), głównie nakładami własnymi obserwatorów. Jedne stacje nie wytrzymywały próby czasu, podczas gdy inne pojawiały się na mapie PFN. Obecnie najmłodszej stacji nadany został numer 77 (PFN Suhora), a wszystkich działających w kraju jest 35 (Wiśniewski 2020). W międzyczasie pozyskanych zostało kilka znaczących grantów, które przynajmniej częściowo przeznaczono na cele modernizacyjne. Pierwszym, który wspomógł rozbudowę PFN był grant od *Siemens Building Technologies* (Wiśniewski 2005). Pozwolił on przetestować i zakupić najlepsze w tym czasie obiektywy do kamer przemysłowych (wtedy były to czułości przetworników do ok. 0,01 lx, F/1.4), dzięki czemu polepszyła się precyzja rejestracji (do 0,02°–0,03°) i obniżony został próg jasności wykrywanych meteorów do 2,0^m. W późniejszych latach (2008/2009) pojawiły się na rynku analogowe kamery Tayama C3102-01A1 o czułości przetwornika ok. 0,005 lx, F/1.2, które są stosowane w sieci bolidowej do dziś.

Najbardziej znaczący grant zasilił PFN w roku 2013 z Narodowego Centrum Nauki (Olech 2013). Zarząd Pracowni Komet i Meteorów podjął wtedy decyzję o wprowadzeniu do sieci nowatorskich kamer cyfrowych – wybrana została DMK23GX236 o rozdzielczości 1920 1200 pikseli, z obiektywami dającymi pola widzenia 120°–150° o światłosile od f/1.8 do f/1.2. Dokonano także wtedy zakupu bardzo czułych kamer analogowych MINTRON 12V6-EX (czułość ok. 0,0001 lx, F/1.0). Kamery te są na stałe na wyposażeniu Polskiej Sieci Bolidowej (Wiśniewski i in. 2017).

Warunki meteorologiczne w Polsce wymagają dużej sieci działających kamer, aby maksymalnie wykorzystać dobrą pogodę. Znamy wiele doniesień o obserwacjach jasnych bolidów, jednakże niejednokrotnie brakuje nam wiążących detekcji. Podobnie było w przypadku bolidu EN15072021, który dał spadek meteoroidów dnia 15 lipca 2021 roku (Spurny i in. 2022; Tymiński 2022, 2023; Krześcińska i in. 2023a, b) ale żadna ze stacji PFN go nie zarejestrowała z powodu grubej warstwy chmur nad Polską.

2. Modernizacje w PFN

Obecne na rynku niezliczone produkty powstałe jako skutek rozwijanych technologii CCTV (ang. *Closed-Circuit TeleVision*) pozwalają na przegląd i wybór czułych kamer o bardzo dobrych parametrach technicznych, umożliwiających rejestrację słabych meteorów (Poleski 2022). Wzorem innych sieci bolidowych, które testowały lub już stosują podobne kamery, także PKiM (Pracownia Komet i Meteorów, która stworzyła projekt PFN) postanowiła wprowadzić kamery megapikselowe do użytku w swojej sieci bolidowej.

2.1. Rozbudowa stacji PFN76

W ostatnich latach udało zdobyć się dwa granty w ramach konkursu „ENEA Wytwarzanie”, co pozwoliło na rozbudowę i modyfikację stacji PFN76 Kozienice

(Jaśkiewicz i in. 2021). Dzięki grantowi wybrano bardzo czułe (0,001 lx, F/5.7) kolorowe przetworniki CMOS StarVis Sony IMX327 pracujące w standardzie transmisji danych zw. AHD (ang. *Analog High Definition*) i szerokokątne obiektywy o ogniskowej 4,0 mm (pole widzenia: 88,4° 47,0°) o jasności $f/0.95$. W Kozienicach zainstalowano cztery takie zestawy, każdy wyposażony w karty video Ultra Video Cap (USB AHD). Rejestratorem strumienia wideo jest komputer z 4-rdzeniowym procesorem i5 i dyskami 5 TB po jednym na każdą kamerę. Do detekcji meteorów wybrano szeroko stosowany program UFOCaptureHD2 (Sonotaco). Na rysunku 1 przedstawiono przykładową detekcję meteoroidu z rodziny Taurydów, który wszedł w ziemską atmosferę nad Kozienicami w okresie aktywności tego roju.



Rys.1. Tauryd, który rozświetlił niebo nad Kozienicami dn. 2022.10.31 o godz.02:20:55 UT zarejestrowany przez PFN76.

Fig. 1. Taurid, which lit up the sky over Kozienice on 2022.10.31 at 02:20:55 UT registered by PFN76.

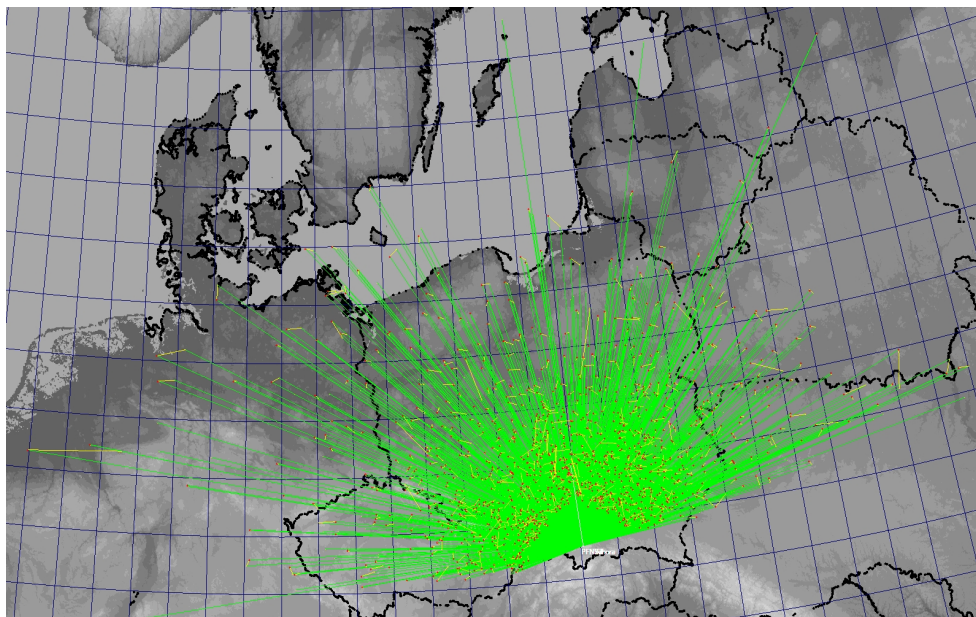
2.2. Reaktywacja PFN14

W 2022 r. nastąpiła reaktywacja Stacji Bolidowej PFN 14 w Zielonej Górze, która od tego czasu rejestruje bolidy oraz zjawiska atmosferyczne (Michniewicz, 2022). Na Wieży Braniborskiej stanowiącej budynek Instytutu Astronomii im. Janusza Gila Uniwersytetu Zielonogórskiego (UZ) zamontowano w roku 2006 dwie kamery Tayama, które w lutym 2022 r. zostały wymienione na nowe megapikselowe kamery AHD, analogiczne do tych zastosowanych w PFN76 Kozienice. Od tego czasu stacja pracuje nieprzerwanie, aczkolwiek w roku 2023 planowany jest remont wieży, co z pewnością wyłączy stację na kilka miesięcy.

2.3. Nowa stacja PFN77 Suhora

Od listopada 2022 roku do sieci PFN dołączyła nowa stacja mieszcząca się w Obserwatorium Astronomicznym na Suhorze, będącym placówką Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Obserwatorium znajduje się w Gorcach, na obszarze Gorczańskiego Parku Narodowego. Doskonałe położenie geograficzne stacji a przede wszystkim wysokość 1008 metrów n.p.m. skutkuje ogromnym zasięgiem obejmującym praktycznie całą Polskę oraz część państw ościennych. Brak detekcji

nad samą stacją wynika z jej kąta widzenia, który nie obejmuje okolic zenitu (rys. 2). Od drugiej połowy listopada 2022 do stycznia roku 2023 dwie kamery tej stacji zarejestrowały 1692 pojedynczych zjawisk, co z pewnością może stanowić rekord pod względem skuteczności sieci bolidowej PFN w tym okresie.



Rys. 2. Mapa z UFOAnalyzera V4 obrazująca położenia wszystkich detekcji meteorowych w PFN77 w czasie od połowy listopada 2022 do stycznia 2023, zielone linie wskazują początek i koniec obserwowanych meteorów.

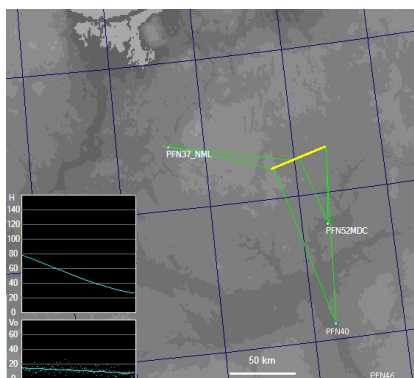
Fig. 2. UFOAnalyzer V4 map showing the locations of all meteor detections in PFN77 from mid-November 2022 to January 2023, green lines indicate the beginning and end of the observed meteors.

3. PF100521, Wykrot – przykład niepewności obliczeniowych

W nocy 10 maja 2021 roku stacje PFN zarejestrowały trzy jasne bolidy, wśród których jeden miał wyjątkowo małą prędkość lotu. Zjawisko to, oznaczone jako PF100521, pojawiło się nad centralną Polską w województwie mazowieckim o godzinie 21:32 UT. Bolid przemieszczał się z zachodu na wschód z lekkim odchyleniem na północ (rys. 3) i osiągnął jasność około $-6,5$ mag. Analiza tego zjawiska wskazywała, iż jego przelot mógł zakończyć się spadkiem meteorytów w okolicach Myszyńca. Problemem okazało się precyzyjne wyznaczenie pola spadku ze względu na niepewności obserwacyjne, do których należą niepewności parametrów jakie wprowadzamy do obliczeń. Są to niepewności wynikające wprost z geometrii obserwacji, z odległości między bolidem a stacjami obserwacyjnymi, jak również niepewności wynikające z jakości sprzętu detekcyjnego – zależne od obecności i charakteru saturacji obrazu, obecności komy, odbłasków i innych wad samego obrazu (Żołądek 2020). Czasem istotne jest też uwzględnienie refrakcji

Rys. 3. Trajektoria bolidu PF100521, zaznaczona żółtą kreską, wyznaczona programem UFOAnalyzer V4 na podstawie danych z PFN37 Nowe Miasto Lubawskie, PFN40 Otwock oraz PFN52 Nowy Sielc. W lewym dolnym rogu pokazano zależność zmian wysokości H (górny wykres) oraz zmian prędkości obiektu w czasie (dolny wykres).

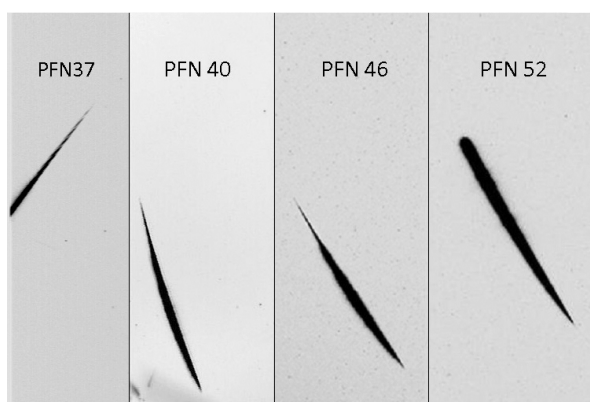
Fig. 3. The trajectory of the PF100521 bolide, marked with a yellow line, determined by the UFOAnalyzer V4 program based on data from PFN37 Nowe Miasto Lubawskie, PFN40 Otwock and PFN52 Nowy Sielc. In the lower left corner, the dependence of the object height H (upper graph) and its velocity as a function of time (lower graph) is shown.



atmosferycznej przy horyzoncie, która może skutkować przesunięciem pola spadku o kilka, a nawet kilkanaście kilometrów.

W przypadku zjawiska PF100521 saturacja na obrazach pochodzących z rejestracji PFN40 i PFN46 (rys. 4) oraz koma obiektywów wniosła znaczny błąd systematyczny przesuwając trajektorię. Natomiast rejestracja końca przelotu z kamery PFN52 (rys. 4), reprezentuje wyjątkowo gładką krzywą prędkości. Z tych danych uzyskano wysokość końcową zjawiska około 26 km n.p.m., prędkość końcową 3,5 km/s oraz prawdopodobną masę meteoroidów ok. 500 g.

Dla przypadku PF100521, podobnie jak dla bolidu Wenecja z 2017 roku we Włoszech (Tymiński i in. 2018), udało się wykorzystać dodatkowe dane z radaru meteorologicznego, który zarejestrował sygnał od obiektów spadających. Metoda detekcji oparta na danych dopplerowskich (Fries 2010; Stolarz 2017) mogła być uwzględniona do niewielkiej korekcji obliczeń pola spadku meteoroidów pod Wykrotem. W przypadku tego bolidu radar w Legionowie zasygnalizował echa radarowe na wysokości ok. 7,8 km n.p.m. co zostało zaznaczone na niebiesko na



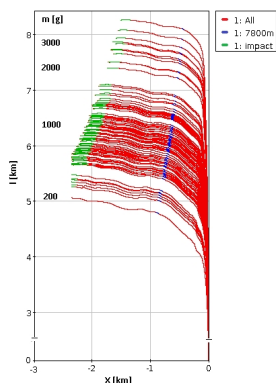
Rys. 4. Negatywy obrazu powstałego po zsumowaniu klatek z filmów przelotu bolidu PF100521 zarejestrowanego w kamerach stacji: PFN37 i PFN40 (kamery analogowe) oraz PFN46 i PFN52 (kamery cyfrowe) – w PFN52 brak początku rejestracji.

Fig. 4. Negatives of the image created after summing up the frames from the videos of the PF100521 bolide recorded in the cameras of: PFN37 and PFN40 (analog cameras), PFN46 and PFN52 (digital cameras) – in PFN52 the recording was delayed.

rysunku 5 jako obszar przecięcia z wysokością 7800 m oraz na rysunku 6 (pole w kolorze niebieskim). Niewielkie różnice wyniku otrzymane metodą symulacji zostały skorygowane do wyniku z detekcji radarowej, gdyż ma większą wagę, ze względu na mniejsze niepewności pomiarowe. Niemniej jednak sam koniec trajektorii lotu daje różne wyniki, w zależności od wyboru danych do analizy z poszczególnych kamer. Dwa warianty wyników obliczeń związane z niepewnościami pomiarowymi zostały zaprezentowane na rysunku 6.

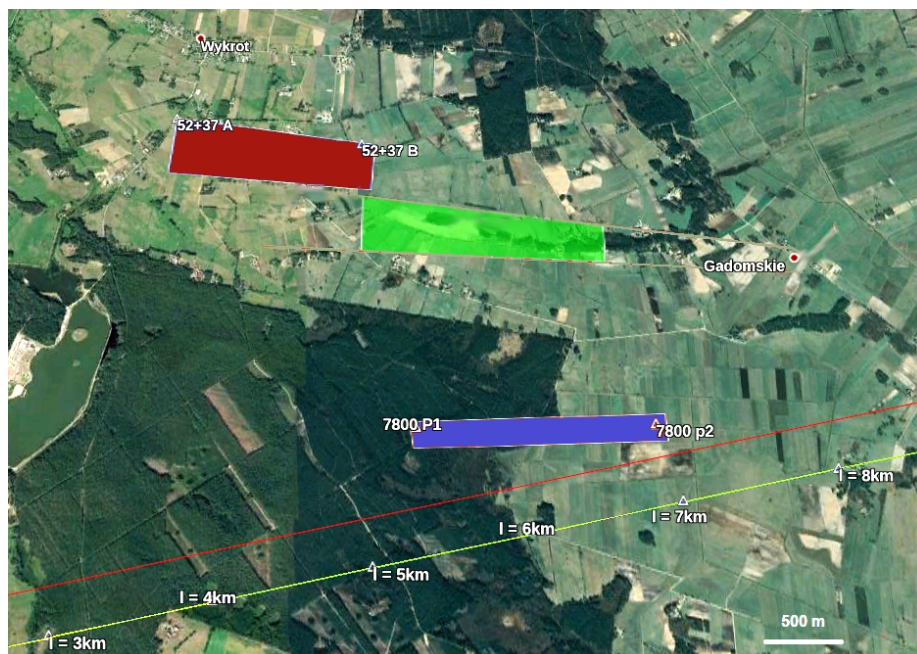
Pierwszy wariant obliczeń oparty tylko na rejestracji przez stacje PFN52 i PFN37, geometrycznie idealny, gdyż obie stacje znajdują się dość blisko siebie i bolid w tym przypadku jest uchwycony z dwóch przeciwległych kierunków. Obliczona prędkość końcowa wynosi $3,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, hamowanie z obu kamer jest takie samo – $3496 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, a wysokość końcowa wynosi około 25,5 km n.p.m. Pole spadku w tym przypadku zaczyna się na południe od miejscowości Wykrot i zaznaczone jest na mapce prostokątem ozn. „52+37A” – „52+37B” (prostokąt brązowy). Trajektoria liczona z danych wszystkich czterech stacji (z uwzględnieniem PFN40 oraz PFN46) jest nieco przesunięta względem poprzedniej o około 600 m. Nieco mniejsza wysokość skutkuje też nieco inną masą końcową, która w tym wypadku wynosi między 150 a 350 gramów. Efektem takiego wariantu jest pole zaznaczone na zielono na rysunku 6, przesunięte o około 1500 m na wschód względem wyliczenia poprzedniego. Tak wyznaczone pola spadku były podstawą do sprawdzenia wyników obliczeń w terenie.

Pierwsze przeszukiwania miejsc prawdopodobnego upadku fragmentów meteorytów odbyły się już 5 dni po rejestracji zjawiska, 15–16 maja 2021 roku. Poszukiwaniami objęte zostały oba wyznaczone obszary, w sumie około 1500 400 m², które były sprawdzane przez 7 osób. Ze względu na ramy czasowe poszukiwania nie były systematyczne, miały charakter losowy – wybrano kilkanaście miejsc uwzględniając ich dostępność oraz dobrą widoczność czarnych meteorytów na powierzchni gruntu. W większości przypadków obszary te stanowiły pola uprawne i łąki (na niektórych już rosła gęsta trawa). Kilka pól było przeoranych i zabronowanych, i te zostały przeszukane dokładniej. Dużo lepiej wyglądały tereny leśne, które poza obszarami porośniętymi krzewami jagód, wydawały się być idealne do poszukiwań.



Rys. 5. Wyniki symulacji pola spadku meteorytów: linie czerwone to rzut na powierzchnię Ziemi wyliczonych trajektorii przelotu meteorytów o symulowanych masach 200–3000 g, skorygowane dla wysokości 7800 m (odczyt z radaru, kolor niebieski); obszar gdzie teoretycznie trafiło większość meteorytów zaznaczono kolorem zielonym; osie współrzędnych pola spadku: oś y – ustawiona wzdłuż kierunku przelotu bolidu, oś x – ustawiona prostopadle do kierunku przelotu bolidu.

Fig. 5. The simulation results of the meteorite fall: red lines are the calculated trajectories of meteorites with simulated masses of 200–3000 g, corrected for the altitude of 7800 m (the weather radar detection, blue), the area of the meteorite impacts is marked in green; the coordinate axes of the strewnfield: axis y – set along the direction of the fireball flight, x – set perpendicularly to the direction of the fireball flight.



Rys. 6. Mapa pola spadku meteorytów pod Wykrotem: kolorem zielonym oznaczono obszar rozrzutu meteorytów uzyskany z danych z czterech kamer, kolorem brązowym – obszar uzyskany z analizy dwóch rejestracji (PFN52 i PFN37), kolorem niebieskim oznaczono detekcję radarową na wysokości 7,8 km n.p.m., dwie równoległe linie reprezentują trajektorie bolidu otrzymane dla dwóch omawianych wariantów.

Fig. 6. The Wykrot meteorite strewnfield map: green rectangle indicates the area of meteorite impacts calculated using four cameras, brown rectangle is the area obtained with two registrations (PFN52 and PFN37), blue area indicates the radar detection at an altitude of 7.8 km above sea level, two parallel lines represent the bolide trajectories for the two discussed variants.

Niestety poszukiwania nie przyniosły pozytywnych rezultatów i tym samym nie byliśmy w stanie potwierdzić, który wariant obliczeń lepiej przewidział rzeczywiste pole spadku.

Podsumowanie

Rozwój Polskiej Sieci Bolidowej jest możliwy przede wszystkim dzięki ludziom, którzy sieć PFN tworzą. Granty zdobywane w ramach PFN oraz dofinansowania uzyskiwane w ostatnich latach pozwoliły na rozbudowę i modyfikację istniejącej infrastruktury. W 2021 roku zmodernizowano PFN76 Kozienice zastępując kamerę analogowa serią kamer megapikselowych. W 2022 roku reaktywowano stację PFN14 Zielona Góra, ale także uruchomiono nową stację PFN77 Suhora. Dzięki tym modernizacjom i rozwojowi sieci monitoring meteoroidów wchodzących w ziemską atmosferę nad Polską staje się bardziej precyzyjny. W rezultacie spodziewamy się, że zaistniałe zmiany ułatwią poszukiwania meteorytów, głównie poprzez zawężenie wyznaczanych pól spadków, co z kolei znacznie zwiększy szanse na znalezienie świeżych meteorytów w Polsce.

Przedstawiona analiza bolidu PF100521 Wykrot pokazała jak trudnym zagadnieniem jest wyznaczenie pola spadku meteorytów na podstawie kilku rejestracji. Niewielkie zaburzenia wynikające z różnych niepewności, np. z geometrii obserwacji czy też z jakości sprzętu detekcyjnego, implikują rozszerzanie wyliczonego pola nawet o kilometry. Jednocześnie dane z dopplerowskich radarów meteorologicznych są w stanie pomóc skorygować analizy, o ile uda się zarejestrować spadające okazy, najlepiej na jak najniższych wysokościach.

Podziękowania

Składamy podziękowania Pani dr hab. Annie Marciniak z Instytutu Obserwatorium Astronomicznego UAM 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 współpracujący z nami: Andrzej Owczarzak, Jarosław Morys, Arkadiusz Bingoraj oraz Mateusz Żmija, Janusz Kosmowski i Marcin Hajwos.

Literatura

- Fries M., Fries J., 2010, *Doppler weather radar as a meteorite recovery tool*, Meteoritics & Planetary Science, 45(9), s. 1476–1487.
- Jaśkiewicz A., Tymiński Z., Mazur M., 2021, *Nowe możliwości obserwacyjne stacji bolidowej PFN 76 ZS 1 Kozienice*, CYRQLARZ No. 245, UPA 05/2022.
- Krzesińska A.M., Tymiński Z., 2023a, *Meteoryt Antonin – 350 g unikatowej informacji o tym, skąd mogą pochodzić i dlaczego docierają na Ziemię chondryty L*, Meteoryt nr 103, <http://www.meteoryt.info> (w przygotowaniu).
- Krzesińska A.M., 2023b, *Charakterystyka petrologiczna i chemiczna meteorytu Antonin – klasyfikacja oraz zarys historii termicznej i uderzeniowej*, Acta Societatis Metheoriticae Polonorum, 14, s. 114–133.
- Michniewicz O., 2022, *Ciekawe zjawiska atmosferyczne*, CYRQLARZ No. 245, UPA 05/2022.
- 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.
- Olech A., Tymiński Z., Żołądek P., Wiśniewski M., Stolarz M., 2013, *Polska Sieć Bolidowa*, Grant NCN nr DEC-2013/09/B/ST9/02168.
- Poleski R., 2022, *Technologia w służbie obserwacji najślabszych meteorów*, CYRQLARZ No. 244, UPA 3-4/2022.
- Shrbený L., Krzesińska A.M., Borovička J., Spurný P., Tymiński Z., Kmiecik K., 2022, *Analysis of the daylight fireball of July 15, 2021, leading to a meteorite fall and find near Antonin, Poland, and a description of the recovered chondrite*, Meteoritics & Planetary Science, 57(12), s. 2108–2126.
- Sonotaco, www.sonotaco.com

- Stolarz M., 2017, *Raport z grantu NCN „Polska Sieć Bolidowa”*, opracowanie wewnętrzne.
- Szlagor M., Węgrzyk W., Zaręba P., Zelevich J., *Raport PFN z poszukiwań meteoroidów latach 2018–2020*, Societatis Meteoriticae Polonorum, 12, s. 98–107.
- Tymiński Z., Stolarz M., Żołądek P., Wiśniewski M., Olech A., Kubalczyk T., Zaręba P., Myszkiewicz 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., Myszkiewicz M., Gawroński M. P., Suchodolski T., Polakowski K., Zaręba P., Olech A., 2018, *Raport z poszukiwań meteoroidów 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., Myszkiewicz M., Zaręba P., Gawroński M. P., Suchodolski T., Olech A., 2019, *15 lat obserwacji – wybrane spadki meteoroidów 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., PFN, 2021, *Raport PFN z poszukiwań meteoroidów w latach 2018–2020*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 12, s. 98–107.
- Tymiński Z., 2022, *Antonin – polski meteoroid spoza Głównego Pasa Planetoid*, CYRQLARZ No. 246, UPA 06/2022.
- Tymiński Z., Burakowska A., Krzezińska A.M., Tyimińska K., Kuć M., Iller E., Kmiecik K., 2023, *Radionuklidy kosmogeniczne w meteoroidzie Antonin*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 14, s. 192–199.
- Wiśniewski M., Olech A., Krasnowski M., Złoczewski K., Mularczyk K., Kędziński P., Jonderko W., 2005, *CCTV lenses for video meteor astronomy*, WGN, 33(1), s. 23–29.
- Wiśniewski M., Żołądek P., Olech A., Tyimiński Z., Maciejewski M., Fietkiewicz K., Rudawska R., Gozdalski M., Gawroński M., Suchodolski T., Myszkiewicz M., Stolarz M., Polakowski K., 2017, *Current status of Polish Fireball Network*, Planetary and Space Science, 143, s. 12–20.
- Wiśniewski M., 2020, *Obserwacje meteoroidów kamerami PFN w 2019 roku*, CYRQLARZ No. 237, UPA 02/2020.
- Żołądek P., 2012, *PyFN – multipurpose meteor software*, Proceedings of the International Meteor Conference, Sibiu, Romania, 15–18 September, 2011, s. 53–55.
- Żołądek P., 2020, *O wyznaczaniu miejsc upadku meteoroidów*, CYRQLARZ No. 239, UPA 04/2020.