

## 10 lat funkcjonowania mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC w PIG-PIB – kronika prac i współpracy

Ewa Krzemińska<sup>1</sup>, Magdalena Pańczyk<sup>1</sup>, Zbigniew Czupyt<sup>1</sup>,  
Stanisław Z. Mikulski<sup>1</sup>, Bartosz Pieterek<sup>1</sup>



E. Krzemińska



M. Pańczyk



Z. Czupyt



S.Z. Mikulski



B. Pieterek

**10 years of operation of the SHRIMP IIe/MC ion microprobe at the PGI-NRI – a chronicle of work and collaboration.** *Prz. Geol.*, 72: 714–718.

W grudniu 2024 r. minęło dokładnie 10 lat odkąd w Polsce, w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) zaczęto realizować pierwsze zlecenia na badania geochronologiczne dla polskiego środowiska naukowego.

Pomysł wyposażenia polskiej służby geologicznej w instrument do badań izotopowych został zainicjowany w 2009 r. przez ówczesnego dyrektora PIG-PIB Jerzego Nawrockiego. Urządzenie miało służyć przede wszystkim wykonywaniu zadań służby geologicznej. Następne dwa lata były potrzebne do opracowania zarysu projektu i studium wykonalności.

Zdobycie funduszy na zakup mikrosondy jonowej odbyło się na drodze konkursu ogłoszonego z inicjatywy Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego o ustanowieniu *Programu wspierania infrastruktury badawczej w ramach Funduszu Nauki i Technologii Polskiej*. Złożony przez PIG-PIB wniosek (FNiTP 562/2010) na sfinansowanie inwestycji z oceną 91,67 pkt na 100, w rankingu FNiTP „nauki przyrodnicze” zajął drugą pozycję w rankingu i został wybrany do finansowania w ramach dotacji nauki i technologii polskiej. Oficjalna decyzja Ministerstwa Nauki 661/FNTiP/616/2011 o przyznaniu dotacji umożliwiła rozpoczęcie przygotowań, które obejmowały działania na kilku płaszczyznach jednocześnie.

Przedsięwzięcie, jakim był zakup mikrosondy jonowej przez PIG-PIB, wymagało przeprowadzenia niezbędnych formalności urzędowych związanych z uzyskaniem zezwolenia konserwatora zabytków na modernizację pomieszczeń w zabytkowym budynku PIG-PIB przy ulicy Rakowieckiej, wybudowanym w latach 1925–1930 wg projektu prof. arch. Mariana Lalewicza. Uzyskanie pozwolenia umożliwiło rozpoczęcie etapu adaptacji przestrzeni biurowej na laboratoryjne obejmujące wzmocnienia stropu i przeprowadzenie wewnętrznej przebudowy przestrzeni pod lokalizację unikatowego instrumentu o wadze 14 t. Wykonawcą prac budowlanych była firma *Projekt*.

Równoległe do podjętych działań przygotowujących do instalacji urządzenia konieczne było przeprowadzenie dwóch postępowań przetargowych, zakończonych podpisaniem umowy na zakup wysokorozdzielczej mikrosondy jonowej o dużej geometrii. Zakupiona mikrosonda jonowa znana jako *Sensitive High Resolution Ion Microprobe*, w wersji SHRIMP IIe/MC powstawała w manufakturze *Australian Scientific Instruments (ASI)*, w Fyshwick w południowo-wschodniej części Canberry. Wieloetapowy proces konstruowania instrumentu wraz z testami trwał ponad osiemnaście miesięcy. Po ich zakończeniu mikrosonda jonowa SHRIMP IIe/MC została rozłożona na moduły i pod koniec kwietnia 2014 r. dostarczona z Canberry do Warszawy w czterech zabezpieczonych drewnianych kontenerach. Za jej instalację w PIG-PIB był odpowiedzialny zespół inżynierów z ASI pod kierunkiem Johna Hydera. Było to już 18. w historii ASI takie spedycyjne przedsięwzięcie poza Australię. Wcześniej dokonano instalacji podobnego modelu SHRIMP IIe w Japonii (Tsukuba), Chinach (Pekin), Korei Południowej (Ochang), w Hiszpanii (Granada) oraz w Brazylii (São Paulo). Dzięki posiadaniu doświadczeniu zespołu, w ciągu miesiąca instrument został nie tylko powtórnie złożony i uruchomiony, ale również przetestowany w ustawieniach dostosowanych dla prowadzenia badań geochronologicznych oraz konfiguracji dedykowanej badaniom izotopów stabilnych pierwiastków lekkich.

Zakupiona przez PIG-PIB mikrosonda jonowa SHRIMP IIe/MC była czwartym na świecie tego typu instrumentem wykorzystywanym w działalności służby geologicznej, podobnie jak to miało miejsce od 1995 r. w Kanadzie (GSC, *Geological Survey of Canada*), od 1998 r. w USA (USGS, *United States Geological Survey*) czy od 2008 r. w Australii (GA, *Geoscience Australia*).

Decyzją ówczesnego dyrektora PIG-PIB prof. Jerzego Nawrockiego został powołany zespół kilku pracowników merytorycznych PIG-PIB (M. Pańczyk, W. Kozdrój i S. Mikulski) do koordynacji i wsparcia projektów badawczych

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; ekrz@pgi.gov.pl

ukierunkowanych na izotopowe badania geochronologiczne U-Pb na nowo uruchomionej mikrosondzie jonowej SHRIMP IIe/MC. Przedmiotem pierwszych prac analitycznych były cyrkony pochodzące z różnych typów skał magmowych i metamorficznych Sudetów, bloków małopolskiego i górnośląskiego czy lessów (np. Jakubauskas i in., 2018; Jastrzębski i in., 2018; Nawrocki i in., 2018; Habryn i in., 2020).

W PIG-PIB Laboratorium Analiz w Mikroobszarze, które jest odpowiedzialne za obsługę mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC, zostało organizacyjnie umieszczone w pionie bezpośrednio podlegającym dyrektorowi ds. badań rozwoju. Aktualnie jest to pion ds. naukowych i wsparcia naukowego państwowej służby geologicznej, które to połączenie najtrafniej oddaje spektrum zadań badawczych realizowanych na mikrosondzie jonowej. Wśród nich czołowe miejsce niezmiennie zajmuje precyzyjne określanie wieku izotopowego skał, historia skorupy ziemskiej, ze szczególnym uwzględnieniem terranów o złożonej historii ewolucji, oraz pochodzenia osadów i ich skał źródłowych. Ponadto laboratorium realizuje pomiary obejmujące zagadnienia związane z paleoklimatem, zachowaniem się systemów izotopowych U-Pb-Th oraz O, S w minerałach w mikroobszarze w różnych warunkach geologicznych.

Instrument SHRIMP IIe/MC od czasu zainstalowania w PIG-PIB w 2014 r. jest intensywnie używany do geochronologii uranowo-ołowiowej (U-Pb). Ta wszechstronna metoda wykorzystuje powolny rozpad radioaktywny macierzystych izotopów U do potomnych izotopów Pb jako naturalny zegar czasu, jaki upłynął od krystalizacji analizowanego materiału, od zaledwie kilkuset tysięcy lat do cyrkonów mających 3–4 mld lat. Pierwszy projekt zewnętrzny o numerze startowym „1” był związany z serią analiz wieku U-Pb próbek cyrkonów obszaru intruzji kłodzko-złotostockiej. Stały się one później częścią rozprawy doktorskiej obronionej na Uniwersytecie Warszawskim (Jakubauskas i in., 2018). W ten sposób już od początku, niemal natychmiast po wdrożeniu, mikrosonda jonowa SHRIMP IIe/MC była dostępna dla środowiska naukowego i wszystkich badaczy zainteresowanych tego typu analityką. Zrealizowane w kolejnych latach badania, głównie geochronologiczne, stały się częścią dwóch prac magisterskich, kilku rozpraw doktorskich i publikacji budujących habilitacyjne osiągnięcie naukowe.

W badaniach geochronologicznych realizowanych w PIG-PIB najczęściej stosowany jest cyrkon. Sprawdza się on przy oznaczaniu wieku krystalizacji skał różnych typów skał plutonicznych, wulkanicznych, piroklastycznych, metamorficznej rekrystalizacji skał i określania wieku materiału detrytycznego w osadach różnych frakcji od zlepieńców po mułowce i lessy. Rzadziej do datowania są wykorzystywane inne geochrometry, takie jak tytanit (sfen), baddeleyit.

Wiek określony dzięki analizom na mikrosondzie jonowej SHRIMP IIe/MC pomógł rozwiązać szereg problemów geologicznych, nie tylko w Polsce, ale także innych krajach istotnych dla rozpoznania geologicznego. Do badań w PIG-PIB trafiały próbki pochodzące ze Słowacji, Czech, Ukrainy, Mongolii, Meksyku, Algierii, Angoli, Syrii, Wielkiej Brytanii (Walii) i Antarktyki Zachodniej.

Wagę i znaczenie uzyskiwanych wyników najlepiej mogą opisać autorzy projektów, dla których prace analityczne zrealizowano na mikrosondzie jonowej. Znaczna część tych wyników została opracowana i udostępniona w formie recenzowanych artykułów naukowych. Praktyka

pokazuje, że dane otrzymane podczas badań na SHRIMP IIe/MC dają możliwość publikowania wyników w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR (*Journal Citation Reports*) czy z listy MEiN, np. w *Lithos*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *Precambrian Research*, *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*, *Journal of the Geological Society*, *International Journal of Earth Sciences*, co doceniają zarówno autorzy artykułów, jak i ich macierzyste instytucje. Miarą zainteresowania i uznania staje się stale rosnąca liczba cytowań opublikowanych danych w czasopismach o bardzo wysokim współczynniku wpływu, takich jak *Nature*, ale również innych prestiżowych czasopismach z zakresu nauk geologicznych, geochemicznych, mineralogicznych i surowcowych. Kolejne wyniki analityczne są w trakcie przygotowywania do publikacji. Niektóre zagadnienia naukowe podjęte w trakcie 10 lat funkcjonowania mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC w PIG-PIB zostały pokrótce przedstawione w niniejszym numerze *Przeglądu Geologicznego*, stanowiąc pewne wprowadzenie w problematykę prowadzonych badań. Jest wśród nich m.in. historia eksploracji wieku skał magmowych w zachodniej Mongolii (Wójcik i in., 2024 – patrz str. 744), czy systematyczne badania wieku formacji skalnych na potrzeby kartografii geologicznej w Sudetach (Cymerman, Krzemińska, 2024 – patrz str. 719). Laboratorium podjęło się także realizacji trudnego technicznie zadania datowania cyrkonów z anortozytów na obszarze złożowym suwalskiego masywu anortozytowego i intruzji Sejn (Grabarczyk-Gurba i in., 2024 – patrz str. 723; Wiszniewska, Krzemińska, 2021). Zaprezentowano także znaczenie analiz izotopowych tlenu w cyrkonach podczas geologicznej interpretacji wyników geochronologicznych i identyfikacji źródeł magm oraz sukcesji procesów magmowych i hydrotermalnych (Mikulski i in., 2024 – patrz str. 735; Krzemińska, Poprawa, 2024 – patrz str. 730). W laboratorium kontynuowano, zainicjowane w Australii, systematyczne badania wieku skał pochodzących z Wyspy Króla Jerzego (Zachodnia Antarktyka). Nowe dane pozwoliły uszczegółowić pozycję chronostratygraficzną jednostek wyróżnionych przez Birkenmajera (2003) (Nawrocki i in., 2010, 2011; Pańczyk, Nawrocki, 2011). Aktualnie w laboratorium są prowadzone są datowania egzotyków z utworów glacialnych zlodowacenia Polonez (Nawrocki i in., 2021; Nawrocki, Pańczyk, 2024 – patrz str. 740).

Tak jak w innych krajach, wyniki analiz izotopowych U-Pb w cyrkonach z różnych typów skał odgrywają kluczową rolę w aktualizacji chronostratygrafii. Jednym z przykładów korekt wieku skał możliwych po wykonaniu badań na mikrosondzie SHRIMP IIe/MC może być wulkanogeniczna formacja sławatycka. Obiektem powtórnego rozpoznania i korelacji (Poprawa i in., 2020) były próbki reprezentujące różne poziomy tufowe z pogranicza Polski i Ukrainy, w tym stratygraficznie najniższe i najwyższe warstwy zdiagenezowanych wulkanicznych popiołów. W tego typu skałach w każdym poziomie tufowym wiek erupcji rejestrowany jest najtrafniej przez najmłodsze kryształy cyrkonu (autokryształy). Udało się ustalić, że epizody efuzywne trwały do 547 ± 6 mln lat temu (Krzemińska i in., 2022), czyli dłużej o 4 mln lat niż od lat wskazywana data 551 mln lat (Compston i in., 1995). Jest to oczywiście drobna korekta, ale w świetle procesów tektonicznych związanych z wulkanizmem wewnątrzpływowym nabiera dodatkowego znaczenia, jeszcze bardziej zbliżając się do aktualnej granicy końca ediakaru (538,8 mln lat), pozwalając na dopracowanie scenariusza rozpadu płyt Rodinia/Pannotia

wzdłuż późniejszego południowo-zachodniego brzegu Baltiki.

Podobnie określenie wieku najmłodszych cyrkonów w osadzie wapienistego mułowca przyczyniło się do oszacowania pozycji warstw kościonośnych w odsłonięciu Lisowice (Lipie Śląskie), dobrze znanego w Europie z nagromadzenia skamieniałości kręgowców i flory końca triasu. Większość potencjalnych wskaźników wieku wspomnianego odsłonięcia ma charakter niejednoznaczny (Brański i in., 2015). Czas deponowania tego poziomu kościonośnego został ustalony na podstawie wieku najmłodszych cyrkonów piroklastycznych (Kowal-Linka i in., 2019), które dobrze definiują maksymalny wiek depozycji warstwy, w tym wypadku  $211 \pm 3$  mln lat przypadając na późny noryk (przy założeniu, że granicę między piętrami wyznacza wiek 208,5 mln lat).

Jedną z większych stratygraficznych niespodzianek stała się weryfikacja wieku diabazu w profilu wiertniczym Mielnik IG 1 w północno-wschodniej Polsce. Potężna żyła skały subwulkanicznej poprzedzająca w profilu późnoneoproterozoiczne (>551 mln lat) pokrywy lawowe od lat uchodziła za przejaw magmatyzmu wendyjskiego (Juszkowiakowa, 1971). Autokryształcy cyrkonów wydobyte z diabazu dowiodły jednak znacznie młodszego niż zakładano późnokarbońskiego ( $300 \pm 4$  mln lat) wieku krystalizacji diabazu (Krzemińska i in., 2021).

Weryfikacja stratygrafii otworów wiertniczych za pomocą geochronologii izotopowej staje się powszechnie stosowaną praktyką w nowo realizowanych wierceniach. Dotyczy ona wybranych poziomów skał osadowych oraz piroklastycznych i subwulkanicznych. Zrealizowanym przykładem jest opracowanie otworu wiertniczego Bibiela IG 1.

Syntetyczne przedstawienie budowy i ewolucji tektonicznej obszaru Polski jest niemożliwe bez systematycznego uzupełnienia i weryfikacji danych geochronologicznych. W ramach prac kartograficznych i indywidualnych projektów badawczych stale zwiększa się ilość danych o wieku skał magmowych i metamorficznych z obszaru sudeckiego oraz z różnych rejonów masywu czeskiego. Poszerza się również baza danych o wieku izotopowym U-Pb i charakterze aktywności magmowej strefy Kraków–Lubliniec, w tym stref mineralizacji związanych z procesami magmowymi w złożu porfirowym (Mo-Cu-W) w Myszkowie na bloku małopolskim. Badania wieku materiału detrytycznego licznych warstw osadowych w Polsce i poza granicami stały się równie fascynującym i przydatnym działaniem. Wprawdzie wymagają one znacznej ilości wykonanych analiz (>100 punktów pomiarowych na próbkę), ale dają wgląd w dość rozległą problematykę. W zależności od miejsca i typu analizowanego osadu mogą dostarczyć danych o wieku depozycji, na podstawie najmłodszego detrytusy. Uzyskane w ten sposób wyniki pomagają w rozważaniach nad bardziej złożonymi problemami, jak zmiany paleokonfiguracji lądów widoczne przy porównywaniu zmian wieku detrytusy w tym samym profilu na przestrzeni setek metrów w jednym profilu wiertniczym. Wiek materiału detrytycznego było obiektem analiz na mikrosondzie SHRIMP w różnych profilach stratygraficznych i w różnych rejonach, np. próbkach z bloku górnośląskiego (otwór Bibiela IG 1, paleozoik) czy systemie basenu Morza Irlandzkiego, w mezozoiku (otwór Mochras, jura).

Kluczowym zadaniem jest zawsze interpretacja wieku depozycji i źródeł detrytusy, tak jak to miało miejsce w przypadku badań pokryw lessowych z obszaru SE Polski i Ukra-

iny, gdzie dodatkowym celem było dla określenie czwartorzędowej paleocyrculacji atmosferycznej między Wisłą a Morzem Czarnym (Nawrocki i in., 2019; Pańczyk i in., 2020), czy też oznaczenia wieku i źródeł materiału detrytycznego z eoceńskich skałach klastycznych w Zewnętrznych Karpat Zachodnich na obszarze Słowacji (Bonova i in., 2019, 2020). Te ostatnie badania były wykonywane we współpracy międzynarodowej z uniwersytetem w Koszycach. Obecnie są prowadzone systematyczne badania fliszu w Karpatach zachodnich z obszaru Polski. Pilotażowy projekt, finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), dotyczący pochodzenia materiału detrytycznego w warstwach krośnieńskich i menilitowych został zakończony w 2023 r. (Nawrocki i in., 2024), a kolejne dwa etapy są trakcie realizacji.

Badania próbek poza obszarem Polski były realizowane w ramach kilku osobnych projektów. Wśród nich znalazły się próbki skał archipelagu Svalbard i północnej części Spitsbergenu.

W ramach międzynarodowego projektu *GEMex* poświęconego badaniom skał w rejonach kalder po niedawno jeszcze aktywnych wulkanach w Meksyku były datowane próbki z dwóch obszarów: Las Minias i kaldery Accaculco. Przeprowadzone badania pozwoliły odkryć dwie generacje granitoidów w podłożu, w tym niespodziewanie rozpoznać starsze granitoidy wieku permo-karbońskiego.

Osobny rozdział w ramach prac w Laboratorium Analiz w Mikroobszarze tworzą badania izotopów stabilnych pierwiastków lekkich, w tym siarki. Mikrosonda jonowa SHRIMP IIe/MC po zmianie ustawień instrumentu ma możliwość wykonywania pomiarów składu izotopowego siarki ( $\delta^{34}\text{S}$  zdefiniowana jako stosunek izotopów  $^{34}\text{S}$  oraz  $^{32}\text{S}$  względem pomierzonych materiałów referencyjnych). W ten sposób aparatura została wykorzystana do rozpoznania składu izotopowego S *in situ* w polimineralnych skupieniach siarczkowych występujących w obszarach mineralizacji w Sudetach (Mikulski i in., 2015), złoża porfirowego Myszków (Naglik i in., 2024), a także w skałach gabrowych dolnej skorupy oceanicznej (Pieterek i in., 2022). Badania składu izotopowego siarki w mineralizacji siarczkowej ze złoża Czarnów wskazały na pomagmowe pochodzenie siarki z pewnym udziałem materiału skorupowego (Mikulski i in., 2015). Wykonano także serię badań nad lateralną i wertykalną strefowością złoża porfirowego Mo-Cu-W Myszków (strefa uskokowa Kraków–Lubliniec), wykorzystując do tego charakterystykę izotopową siarki w pirytycie (Naglik i in., 2024). Zastosowana metodologia umożliwiła precyzyjne wybranie miejsc pomiarowych i tym samym uniknięcie inkluzji czy stref spekań w badanych pirytach, co byłoby niewykonalne w przypadku technik wymagających homogenizacji próbek. Przewaga analiz *in situ* nad analizami całych próbek została również wykorzystana przy kompleksowych badaniach izotopowych siarki w skałach dolnej skorupy oceanicznej (Pieterek i in., 2022). Pomiary *in situ* wykazały, że różne fazy siarczkowe (pirotyn i chalkopiryt) charakteryzują się odmiennymi cechami izotopowymi, co wskazuje na proces rozdziału izotopów (frakcjonacji) siarki pomiędzy współwystępującymi fazami siarczkowymi podczas ochładzania stopu siarczkowego i ich późniejszej rekrytalizacji (Pieterek i in., 2022). Tego rodzaju konkluzje nie są możliwe przy zastosowaniu innych konwencjonalnych technik analitycznych obejmujących homogenizację próbek.

Podczas realizacji początkowych prac badawczych przed mikrosondą jonową SHRIMP IIe/MC stanęły zupełnie nowe zadania z dziedziny bioarcheologii i paleontologii wykorzystujące możliwość punktowej rejestracji izotopowej zmienności, np. bioapatytu jako głównego składnika szkliwa zębów, a jednocześnie czułego wskaźnika zmian warunków temperatury i wilgotności w minionych epokach. Przykładem jest tu projekt związany z badaniami stanowiska archeologicznego w Tell Brak w północno-wschodniej Syrii (starożytna Mezopotamia) z pozostałości miasta z okresu wczesnego chalkolitu (ok. 3800–3400 p.n.e.). W Tell Brak położonym w dorzeczu rzeki Chabur, podczas wykopaliisk archeologicznych zostały odkryte liczne ludzkie szczątki z różnych okresów, aż do końca wczesnej epoki brązu ok. 2900–2100 p.n.e.). Analizy izotopowe tlenu w szkliwie zębów ludzkich ujawniły powtarzające się systematyczne odchylenie od typowej sezonowej zmienności pory suchej i deszczowej, które można wytłumaczyć klęską związaną z kilkuletnią suszą (Krzemińska i in., 2017). To załamanie klimatu zaznaczyło się w równym stopniu na strefach przyrostowych bioapatytu i wartościach  $\delta^{18}\text{O}$ . Podobnie profile izotopowe w zębach kregowców dostarczają znaczących informacji o zmianach paleośrodowiskowych i siedliskach (np. Narkiewicz i in., 2017; Żarski i in., 2018; Wierzbowski i in., 2019).

Patrząc wstecz na okres przepracowanych 10 lat, trudno nie odnotować, że momentami nie był to łatwy czas na prowadzenie działalności badawczej w PIG-PIB. W 2017 r. laboratorium SHRIMP oddzielono od pionu badawczo-rozwojowego i umieszczono w pionie ogólnym. W planie była też znacznie poważniejsza zmiana – demontaż urządzenia i zmiana jego lokalizacji. Mimo szeregu przeciwności udało się konsekwentnie realizować prace analityczne, dbając o właściwą kondycję instrumentu, który wymaga stałego autoserwisu oraz zakupu i wymiany zużytych części. W międzyczasie firma ASI, która była odpowiedzialna za produkcję i instalację mikrosondy jonowej SHRIMP, a także zajmowała się świadczeniem usług wsparcia klientów na całym świecie, po ponad 25 latach działalności, we wrześniu 2018 r., zawarła umowę z chińskim przedsiębiorstwem DTDC (*Dunyi Beijing Technology Development Co.*) o przekazaniu prawa do produkcji, sprzedaży SHRIMP i wsparcia technicznego.

Aktualnie, od końca 2019 r., jedynym światowym dostawcą instrumentu SHRIMP, części zamiennych i usług konserwacji i napraw dla środowiska SHRIMP jest DTDC. Jedną z takich części wymienionych w instrumencie po 10 latach eksploatacji dostarczonych przez DTDC był stolik na próbki. Od sierpnia 2024 r. SHRIMP pracuje ze stolikiem nowej generacji (tzw. piezostage), który wykorzystuje precyzyjne i niezawodne silniki piezoelektryczne. Nie wymagają one regulacji, nie rozgrzewają się w trakcie ruchu i nie powodują degazacji, co w konsekwencji, polepsza stan próżni i ogólną jakość analiz. Dodatkowo mniejsze rozmiary stolika ułatwiają prace serwisowe we wnętrzu komory na próbki. Silniki piezoelektryczne mają specjalne łożyska, których zastosowanie eliminuje problemy z powrotem do zadanego punktu. Precyzja powrotu do punktu pomiarowego wynosi mniej niż 1  $\mu\text{m}$  (powtarzalność powrotu na poziomie  $<0,4 \mu\text{m}$ ). Wysoka precyzja powrotu do badanego punktu bardzo dobrze sprawdza się podczas długich sesji pomiarowych. Przykładem może być jedna z ostatnich w pełni automatycznych sesji trwającej 61 godzin, w trakcie której wykonano 195 precyzyjnie trafionych pomiarów izotopowych w próbce. Podsumowując,

instalacja nowego stolika w znaczący sposób przyczyniła się do bardziej sprawnego i szybszego funkcjonowania urządzenia. Obecnie stolik może poruszać się z większą prędkością do 20 mm/s, co optymalizuje czas pracy urządzenia.

Po tym usprawnieniu można sobie życzyć następnych 10 lat sprawnego użytkowania i ciekawych wyników, które przyniosą nowe zaskakujące odkrycia.

## LITERATURA

- BIRKENMAJER K. 2003 – Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica): A geological monograph. [W:] Birkenmajer K. (red.), Geological results of the Polish Antarctic expeditions. Part XIV. Stud. Geol. Pol., 120: 1–75.
- BÓNOVÁ K., BÓNA J., PAŃCZYK M., KOVÁČIK M., MIKUŠ T., LAURINC D. 2019 – Origin of deep-sea clastics of the Magura Basin (Eocene Makovica sandstones in the Outer Western Carpathians) with constraints of framework petrography, heavy mineral analysis and zircon geochronology. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 514: 768–784.
- BÓNOVÁ K., BÓNA J., PAŃCZYK M. 2020 – Surface microtextures and new U–Pb dating of detrital zircons from the Eocene Strihovce sandstones in the Magura Nappe of the External Western Carpathians: implications for their provenance. *Int. J. Earth Sci.*, 109 (5): 1565–1587.
- BRANŃSKI P., HESSELBO S., HODBOD M., KRZEMIŃSKA E., LENG M., NIEDŹWIEDZKI G., PIENKOWSKI G. 2015 – Lisowice – noryk czy retyk? Konferencja – Śląskie Dinozaury (nie tylko) z Krasiejowa. V Sesja Popularnonaukowa. ING, PAN, Kraków: 5.
- COMPSTON W., SAMBRIDGE M.S., REINFRANK R.F., MOCZYDŁOWSKA M., VIDAL G., CLAESSEON S. 1995 – Numerical ages of volcanics and the earliest faunal zone within the Late Precambrian of East Poland. *J. Geol. Soc. London*, 152: 599–611.
- CYMERMAN Z., KRZEMIŃSKA E. 2024 – SHRIMP wspiera szczegółową kartografię geologiczną w Sudetach. *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 719–722.
- GARBARCZYK-GURBA A., KRZEMIŃSKA E., WISZNIEWSKA J., GURBA D. 2024 – Datowanie cyrkonów z anortozytów – misja niemożliwa? *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 723–729.
- HABRYN R., KRZEMIŃSKA E., KRZEMIŃSKI L., MARKOWIAK M., ZIELIŃSKI G. 2020 – Detrital zircon age data from the conglomerates in the Upper Silesian and Małopolska Blocks and their implications for the pre-Variscan tectonic evolution (S Poland). *Geol. Quart.*, 64 (2): 321–341; doi: 10.7306/gq1539
- JASTRZEBSKI M., MACHOWIAK K., KRZEMIŃSKA E., FARMER L.G., LARIONOV A.N., MENTOR MURTEZI M., MAJKA J., SERGEEV S., RIPLEY E.M., WHITEHOUSE M. 2018 – Geochronology, petrogenesis and geodynamic significance of the Visean igneous rocks in the Central Sudetes (Poland, Czech Republic). *Lithos*, 316–317: 385–405.
- JOKUBAUSKAS P., BAGIŃSKI B., MACDONALD R., KRZEMIŃSKA E. 2018 – Multiphase magmatic activity in the Variscan Kłodzko-Złoty Stok intrusion, Polish Sudetes: evidence from SHRIMP U–Pb zircon ages. *Int. J. Earth Sci.*, 107 (5): 1623–1639.
- JUSKOWIAKOWA M. 1971 – Bazalty Wschodniej Polski. *Biul. Inst. Geol.*, 245: 173–253.
- KOWAL-LINKA M., KRZEMIŃSKA E., CZUPYT Z. 2019 – The youngest detrital zircons from the Upper Triassic Lipie Śląskie (Lisowice) continental deposits (Poland): Implications for the maximum depositional age of the Lisowice bone-bearing horizon. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 514: 487–504; <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.11.012>
- KRZEMIŃSKA E., POPRAWA P. 2024 – Cyrkonony nie są wieczne. Badania izotopowe O–U–Pb cyrkonów ze skał alkalicznych. *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 730–734.
- KRZEMIŃSKA E., POPRAWA P., PACZEŚNA J., KRZEMIŃSKI L. 2022 – From initiation to termination: The evolution of the Ediacaran Volyn large igneous province (SW East European Craton) constrained by comparative geochemistry of proximal tuffs versus lavas and zircon geochronology. *Precam. Res.*, 370 (4): 106560; doi: 10.1016/j.precamres.2022.106560
- KRZEMIŃSKA E., KRZEMIŃSKI L., POPRAWA P., PACZEŚNA J., NEJBERT K. 2021 – First Evidence of the Post-Variscan Magmatic Pulse on the Western Edge of East European Craton: U–Pb Geochronology and Geochemistry of the Dolerite in the Lublin Podlasie Basin, Eastern Poland. *Minerals*, 11 (12): 1361; doi: 10.3390/min1112136
- KRZEMIŃSKA E., SOŁTYSIAK A., CZUPYT Z. 2017 – Reconstructing seasonality using  $\delta^{18}\text{O}$  in incremental layers of human enamel: a test of the analytical protocol developed for SHRIMP IIe/MC. *Geol. Quart.*, 61: 370–383.
- MIKULSKI S.Z., KRZEMIŃSKA E., CZUPYT Z.J. 2024 – Skład izotopowy (U–Pb, O) cyrkonów z wartyjskich skał magmowych w strefie

uskokowej Kraków–Lubliniec i obszarach przyległych w badaniach mikrosondą jonową SHRIMP IIe/MC. *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 735–739.

MIKULSKI S., KRZEMIŃSKA E., CZUPYT Z., WILLIAMS I.S. 2015 – Nowoczesna badania izotopów siarki w minerałach siarczkowych ze złóż polimetalicznych w Sudetach za pomocą mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 464: 61–78.

NAGLIK B., SOSNAL A., HABRYN R., MARKOWIAK M., DERKOWSKI P., CZUPYT Z., TOBOŁA T., DUMAŃSKA-SŁOWIK M. 2024 – Geochemia izotopowa – nowe narzędzie do prospekcji zakrytych złóż typu porfirowego? Badania izotopów siarki w pirycie ze złoża Mo-Cu-W Myszków przy użyciu mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC. *IV Polski Kongres Geologiczny, Poznań*: 112.

NARKIEWICZ M., NARKIEWICZ K., KRZEMIŃSKA E., KRUCHEK S.A. 2017 – Oxygen isotopic composition of conodont apatite in the Equatorial epeiric Belarussian basin (Eifelian) – Relationship to fluctuating seawater salinity and temperature. *Palaios*, 32: 439–447.

NAWROCKI J., BOGUCKI A.B., GOZHİK P., LAN CZOT M., PAŃCZYK M., STANDZIKOWSKI K., KOMAR M., ROSOWIECKA O., TOMENIUK O. 2019 – Fluctuations of the Fennoscandian Ice Sheet recorded in the anisotropy of magnetic susceptibility of periglacial loess from Ukraine. *Boreas*, 48 (4): 940–952.

NAWROCKI J., GOZHİK P., ŁAŃCZOT M., PAŃCZYK M., KOMAR M., BOGUCKI A., WILLIAMS I.S., CZUPYT Z. 2018 – Palaeowind directions and sources of detrital material archived in the Roxolany loess section (southern Ukraine). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 496: 121–135.

NAWROCKI J., PAŃCZYK M. 2024 – Datowania izotopowe skał z Wyspy Króla Jerzego (Antarktyka Zachodnia) za pomocą mikrosondy jonowej SHRIMP IIe. *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 740–743.

NAWROCKI J., PAŃCZYK M., MALATA T., DZIADZIO P., BALICKI L., DERKOWSKI P. 2024 – Insight into Oligocene–Early Miocene palaeogeography of the Carpathians in Poland: first cycle and recycled detrital zircon provenance in the Menilite and Krosno formations. *J. Geol. Soc. London*, 181; <https://doi.org/10.1144/jgs2023-124>

NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WILLIAMS I.S. 2010 – Isotopic ages and palaeomagnetism of selected magmatic rocks from King George Island (Antarctic Peninsula). *J. Geol. Soc.*, 167: 1063–1079.

NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WILLIAMS I.S. 2011 – Isotopic ages of selected magmatic rocks from King George Island (West Antarctica) controlled by magnetostratigraphy. *Geol. Quart.*, 55 (4): 301–322.

NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WÓJCIK K., TATUR A. 2021 – U-Pb isotopic ages and provenance of some far-travelled exotic pebbles from

glaciogenic sediments of the Polonez Cove Formation (Oligocene, King George Island). *J. Geol. Soc.*, 178; doi: 10.1144/jgs2020-113

PAŃCZYK M., NAWROCKI J. 2011 – Geochronology of selected andesitic lavas from the King George Bay area (SE King George Island). *Geol. Quart.*, 55 (4): 301–322.

PAŃCZYK M., NAWROCKI J., BOGUCKI A., GOZHİK P., ŁAŃCZOT M. 2020 – Possible sources and transport pathways of loess deposited in Poland and Ukraine from detrital zircon U-Pb age spectra. *Aeolian Res.*, 45: 100598; <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100598>

PIETEREK B., CIAZELA J., BOULANGER M., LAZAROV M., WEGORZEWSKI A.V., PAŃCZYK M., STRAUSS H., DICK H.J.B., MUSZYŃSKI A. KOEPKE J., KUHN T., CZUPYT Z., FRANCE L. 2022 – Sulfide enrichment along igneous layer boundaries in the lower oceanic crust: IODP Hole U1473A, Atlantis Bank, Southwest Indian Ridge. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 320: 179–206.

POPRAWA P., KRZEMIŃSKA E., PACZEŚNA J., AMSTRONG R. 2020 – Geochronology of the Volyn volcanic complex at the western slope of the East European Craton – Relevance to the Neoproterozoic rifting and the break-up of Rodinia/Pannotia. *Precamb. Res.*, 346, 105817.

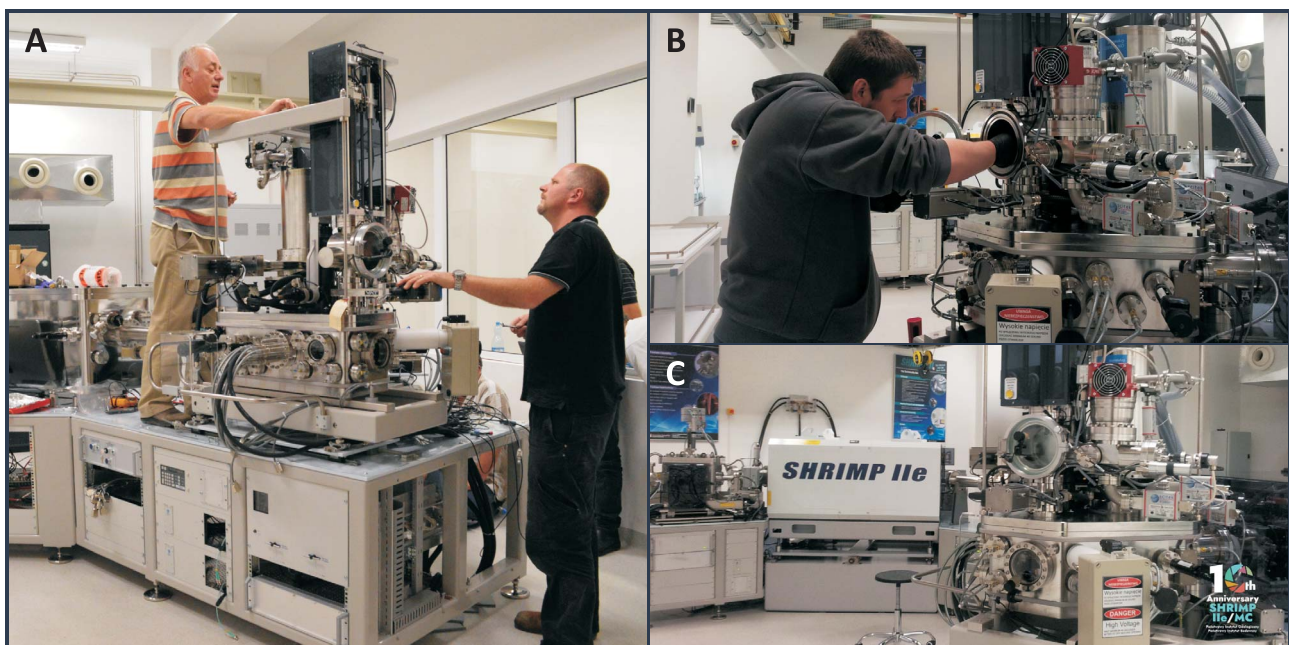
WIERZBOWSKI H., BŁAŻEJOWSKI B., TYBOROWSKI D. 2019 – Oxygen isotope profiles of uppermost Jurassic vertebrate teeth and oyster shells: a record of paleoenvironmental changes and animal habitats. *Palaios*, 34 (12): 585–599; <https://doi.org/10.2110/palo.2019.070>

WISZNIEWSKA J., KRZEMIŃSKA E. 2021 – Advances in geochronology in the Suwałki anorthosite massif and subsequent granite veins, northeastern Poland. *Precamb. Res.*, 361 (106265): 1–20; doi: 10.1016/j.precamres.2021.106265

WÓJCIK A., KRZEMIŃSKA E., SIKORA R., MIKULSKI S.Z., CZUPYT Z.J. 2024 – Wykorzystanie mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC do weryfikacji wieku skał krystalicznych w Górach Khasagt (zachodnia Mongolia). *Prz. Geol.*, 72 (12/1): 744–749.

ŻARSKI M., WINTER H., NADACHOWSKI A., URBANOWSKI M., SOCHA P., KENIG K., MARCINKOWSKI B., KRZEMIŃSKA E., STEFANIAK K., NOWACZEWSKA W., MARCISZA A. 2017 – Stratigraphy and palaeoenvironment of Stajna Cave (southern Poland) with regard to habitation of the site by Neanderthals. *Geol. Quart.*, 61: 350–369.

Praca wpłynęła do redakcji 28.11.2024 r.  
Akceptowano do druku 4.12.2024 r.



Z kroniki mikrosondy jonowej SHRIMP w PIG-PIB: **A** – końcowy etap montażu SHRIMP w maju 2014 r. wykonywany przez inżynierów ASI (*Australian Scientific Instruments*); **B** – rutynowe umieszczanie preparatu z cyrkoniami w komorze na próbki, na co najmniej 24 godziny przed analizami geochronologicznymi; **C** – widok centralnego fragmentu mikrosondy SHRIMP (instrument ma 7 m długości). Fot. E. Krzezińska, Z. Czupyt