

## Datowanie apatytów z żył kwarcowo-chlorytowo-apatytowych w fyllitach z Podmachocic (Góry Świętokrzyskie)

Sylwester Salwa<sup>1</sup>, Krzysztof Szopa<sup>2</sup>



S. Salwa



K. Szopa

**Dating of apatites from the quartz-chlorite-apatite veins in phyllites from Podmachocic (Holy Cross Mountains).** Prz. Geol., 71: 298–300; doi: 10.7306/2023.28

*Abstract.* Metamorphic rocks of greenstone facies (phyllites) have been discovered quite recently in the Lysogóry region of the Holy Cross Mountains. The following minerals predominate in the mineral composition of these rocks: bright mica (sericite), quartz, chlorites, rutile, pyrophyllite, xenotime, pyrite, tourmaline, apatite and monacite, while chalcopyrite, sphalerite and galena are also present in mineral veins. The phyllites from Podmachocic are intensely tectonically deformed, while their metamorphism displays a syndeformation character. The age of the tectonic-metamorphic processes has been initially estimated based on their relation to the silicification process. The phyllites are cut by numerous hydrothermal mineral veins, including quartz-chlorite-apatite ones. These veins occur as small post-tectonic and syntaxial forms, a few

centimetres long and up to 1 cm thick. In the central parts of the veins, apatite forms colourless crystals, up to 1 mm long and up to 0.1 mm thick. The age of the apatites was determined by means of the laser ablation system combined with the mass spectrometer. The results of isotopic measurements were reduced using the “Vizual Age” reduction program. The U-Pb age has been estimated to  $\sim 389 \pm 18$  Ma (upper intercept) that points to the maximum Devonian age (Eifelian/Givetian) of formation of the quartz-apatite veins. This is the first dating that points to hydrothermal activity of this age in the study area. As the veins cut discordantly the metamorphic rocks, the metamorphism itself may be older than the apatite age.

**Keywords:** apatite, hydrothermal veins, metamorphism, Holy Cross Mountains

Skały metamorficzne facji zieleńcowej (fyllity) odkryto w regionie lysogórskim Gór Świętokrzyskich (ryc. 1) stosunkowo niedawno (Salwa, 2006). W ich składzie mineralnym dominują: droбноuścielkowa, jasna mika (serycyt), kwarc, chloryty, z których najliczniej jest reprezentowany ripidolit (zarówno nisko- jak i wysoko żelazowy) oraz rutyl. Z minerałów akcesorycznych powszechnie występuje pyrofyllit, ksenotym, piryty, turmalin, a w żyłach mineralnych także chalkopiryty, sfaleryt i galena. Do najrzadziej spotykanych minerałów należą: monacyt i apatyt. Jako ciekawostkę należy wymienić także obecność cyrkonu, który co prawda jest minerałem detrytycznym z niewielkimi oznakami regeneracji, ale występuje w kilku postaciach. Znajduje się nieobtoczone kryształy automorficzne z wyraźnie widoczną budową pasową, okruchy słabo obtoczone i stopniowo przechodzące do bardzo dobrze obtoczonych. Ubogi skład mineralny fyllitów z Podmachocic jest pochodną uboższego składu protolitu oraz bardzo niskiego i niskiego stopnia metamorfizmu.

Fyllity z Podmachocic charakteryzują się silnym stektonizowaniem, a ich metamorfizm przebiegał syndeformacyjnie. Zuskokowaniu nasuwczemu i sfałdowaniu towarzyszyły: intensywny rozwój penetratywnego kliważu typu złupkowacenia dachowego, dwie generacje kliważu krenulacyjnego oraz powszechne powstawanie żył mineralnych. Deformacja miała przebieg progresywny – początkowo czysto nasuwczy, następnie transpresyjny, a w końcowym etapie czysto przesuwczy (Salwa, 2006). Wiek procesów tektonicznych określono na podstawie ich relacji do sylifikacji. Nie stwierdzono obecności deformacji w spoiwie rekrytalizacyjnym, toteż uznano, że deformacje są przedsylifikacyjne. Nastąpiły one zatem przed sylurem górnym, ponieważ

tak są datowane zlepieniec miedzianogórskie, w których występują otoczaki zsylikowanych piaskowców kwarcytowych pochodzące z erozji skał kambru lysogórskiego (Kowalczewski, Dadlez, 1996; Malec, 2001; Salwa, 2006).

Zdeformowane tektonicznie fyllity są pocięte przez liczne żyły mineralne pochodzenia hydrotermalnego, w tym także przez żyły kwarcowo-chlorytowo-apatytowe. Celem prac badawczych było poznanie wieku apatytów, a więc ograniczenie od góry przypuszczalnego zakresu wieku metamorfizmu fyllitów.

### METODY BADAWCZE

Podstawowych obserwacji dokonano pod mikroskopem polaryzacyjnym oraz pod stołowym mikroskopem elektronowym Hitachi TM3030. Charakterystykę chemiczną obserwowanych ziaren minerałów oraz ich tekstury określono na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego FET Philips 30 (15 kV i 1 nA), wyposażonego w detektor EDS (EDAX). Analizy apatytu, florencytu, rutylu i cyrkonu (pierwiastki główne i śladowe) wykonano mikrosondą elektronową WDS Cameca SX-100 (15 kV, 20 nA) w Międzyinstytutowym Laboratorium Mikroanalizy Mineralów i Substancji Syntetycznych w Warszawie. Dane o wieku U-Pb apatytu uzyskano na Wydziale Geologii, Trinity College Dublin w Irlandii, stosując system laserowej ablacji (Photon Machines Analyte Exite 193 nm ArF Excimer), sprzężony ze spektrometrem masowym (Thermo Scientific iCAP Qc). Wyniki pomiarów izotopowych zostały zredukowane za pomocą programu redukcyjnego Vizual Age (Petrus, Kamber, 2012).

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25–953 Kielce; sylwester.salwa@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0000-0001-6364-2842

<sup>2</sup> Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec; krzysztof.szopa@us.edu.pl; ORCID ID: 0000-0002-7588-7836

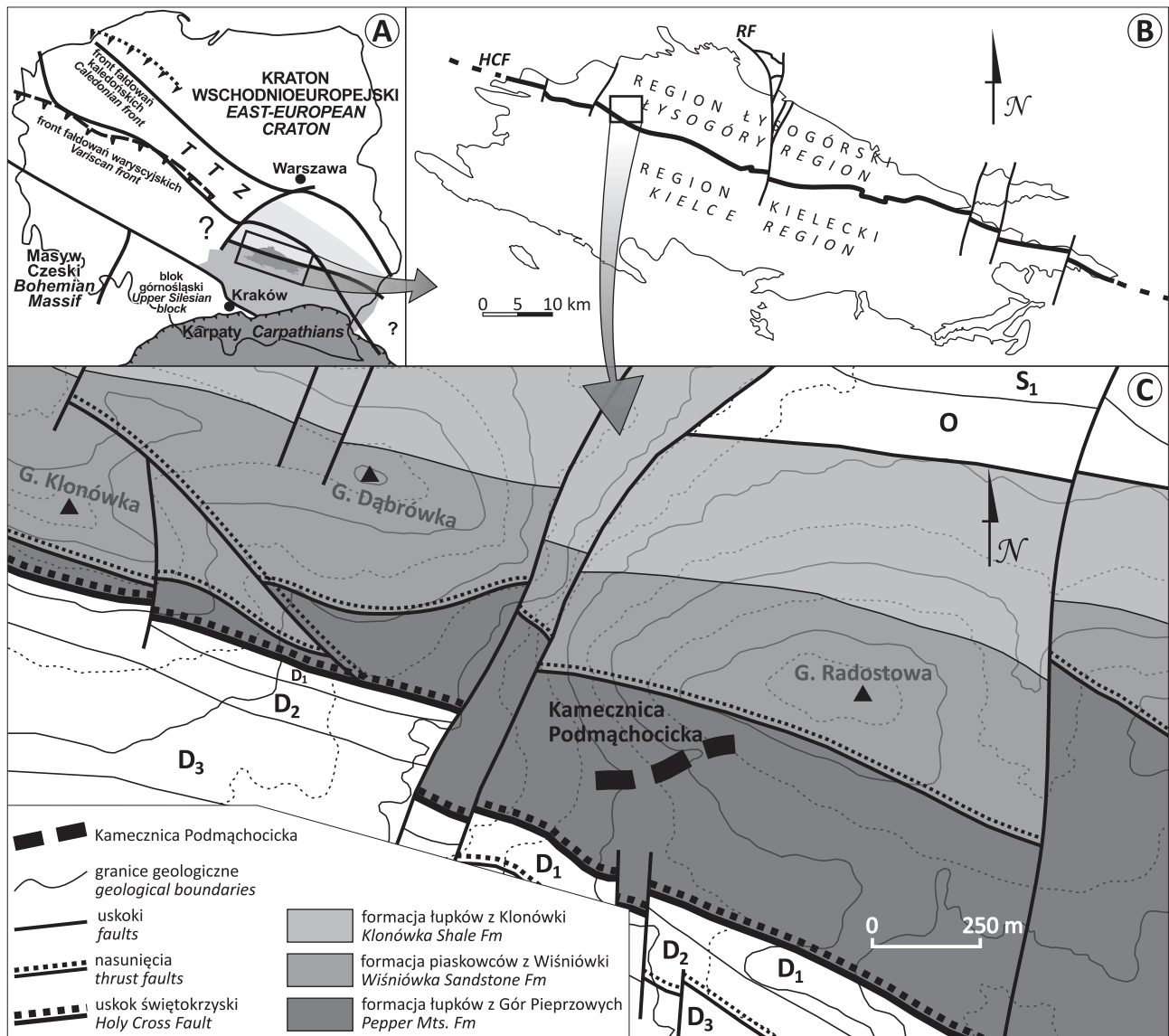
## CHARAKTERYSTYKA MINERALNA ŻYŁ KWARCOWO-CHLORYTOWO-APATYTOWYCH

Procesom tektonicznym towarzyszyła intensywna mineralizacja żyłowa o zmiennych relacjach względem odkształceń tektonicznych. Powstały żyły predeformacyjne (syntaksjalne), syndeformacyjne (antyaksjalne i złożone) oraz postdeformacyjne (syntaksjalne). Żyły są także zróżnicowane pod względem składu mineralnego. Zdecydowanie dominują żyły kwarcowe, obok których również często pojawiają się żyły kwarcowo-chlorytowe. Oba typy powszechnie przechodzą w siebie nawzajem wzdłuż swej rozciągłości. Znacznie rzadziej w fiyllitach stwierdza się obecność żył składających się z minerałów węglanowych: syderytowo-dolomitowych i sporadycznie ankerytowych. W żyłach węglanowych są obecne także autigeniczne kryształy rutylu lub też anatazu.

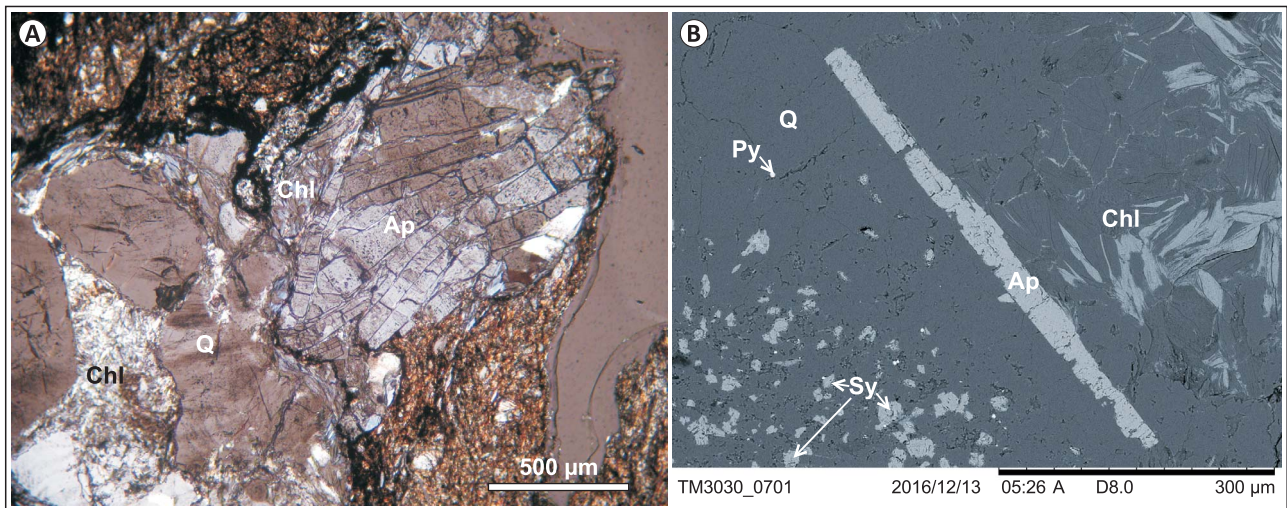
Żyły kwarcowo-chlorytowo-apatytowe zaliczono do posttektonicznych żył syntaksjalnych. Tworzą one niewielkie formy o długości najczęściej do kilku cm i grubości do 1 cm (ryc. 2A), przecinające niezgodnie fiyllity. Wskazuje to

na uformowanie ich już po procesie deformacji i metamorfizmu, tym bardziej że minerały wypełniające żyły nie wykazują cech zniszczenia mechanicznego i odkształcenia, które można powiązać z procesami tektonicznymi, jak wcześniej sądzono (Salwa, 2015), ale raczej z procesem hydrotermalnego formowania żył i krystalizacji minerałów oraz towarzyszącemu im przepływowi fluidów pod zmieniającym się ciśnieniem. W salbandach żył, tzn. na ich obrzeżach, powszechnie występują także strefy wzbogacenia w minerały ciężkie, takie jak: apatyt, cyrkon, rutyl, tlenki i wodorotlenki żelaza (magnetyt lub goetyt), florencyt-Ce oraz najpowszechniej notowany piryt. Sporadycznie stwierdzano także monacyt-Ce, ksenotym-Y, a także chloryt.

Kwarc jest podstawowym minerałem żył. Tworzy on relatywnie duże osobniki, osiągające do 2 mm długości i 0,5 mm grubości. Powszechnie występują w nich inkluzje o niewielkich rozmiarach. Mineral ten zajmuje przeważnie środkowe części żyły, a w miejscach pozbawionych chlorytu zajmuje on całą dostępną przestrzeń. Dość powszechnie w kryształach kwarcu spotyka się wrostki prawidłowo wykształconych kryształów chlorytów oraz apatytu.



**Ryc. 1.** Lokalizacja Kamecznicy Podmachocickiej (C) na tle jednostek strukturalnych Polski (A) i Gór Świętokrzyskich (B; wg Dadleza i in., 1994; Czarnockiego, 1950; Kowalczewskiego, 1975 – zmienione i uzupełnione): HCF – uskoki świętokrzyski, RF – uskoki Rudek  
**Fig. 1.** Location of the study area (C) in relation to the main structural units of Poland (A) and the Holy Cross Mountains (B; after Dadlez et al., 1994, Czarnocki, 1950, Kowalczewski, 1975 – modified): HCF – Holy Cross Fault, RF – Rudki Fault



**Ryc. 2.** Kryształy apatyty w żyłach kwarcowo-chlorytowych: **A** – obraz w mikroskopie polaryzacyjnym, nikole X; **B** – obraz w SEM; **Ap** – apatyt, **Q** – kwarc, **Chl** – chloryty, **Py** – piryt, **Sy** – syderyt. Fot. S. Salwa

**Fig. 2.** Apatite crystals in quartz-chlorite veins: **A** – polarized microscope image, XPL; **B** – SEM image; **Ap** – apatite, **Q** – quartz, **Chl** – chlorites, **Py** – pyrite, **Sy** – siderite. Photo by S. Salwa

Chloryty są najstarszymi minerałami w żyłach, ale mają w nich mniejszy udział procentowy niż kwarc. Powszechnie występują na ścianach szczelin, swobodnie narastając ku ich środkowi i niekiedy całkowicie je zarsatają. Tworzą prawidłowo wykształcone kryształy, zgrupowane w charakterystyczne wachlarze. Pojedyncze kryształy osiągają wielkość do dwóch milimetrów, przez co makroskopowo są widoczne jako zielonawe blaszki o szklistym połysku. Część blaszek charakteryzuje się wyraźną budową strefową, podkreśloną przez zmiany w składzie chemicznym od ripidolitu do klinochloru.

Apatyt występuje w środkowych częściach żył. Nie stwierdzono, by narastał na brzegach szczelin. Jego orientacja względem ścian szczelin jest zróżnicowana. Obserwowane kryształy są bezbarwne i przezroczyste z tłustym połyskiem. W badanych populacjach dominuje apatyt o długich, pryzmatycznych kryształach. Najczęściej występują one w grupach, gdzieniedzie sprawiających wręcz wrażenie stłoczenia kryształów w żyłach (ryc. 2A), rzadko natomiast jako pojedyncze osobniki. Długość pojedynczych kryształów waha się przeważnie od 0,2 do 1 mm, a ich grubość dochodzi do 0,1 mm (ryc. 2B). Rzadko spotyka się kryształy połamane lub silnie spękane, pomimo ich mocno wydłużonego kształtu. W trakcie badań stwierdzono także kilka niezwykle dużych ziaren apatyty, z wyraźnie widoczną deformacją sprężystą, jednakże żaden z badanych kryształów nie wykazywał budowy zonalnej ani w obserwacjach optycznych, ani w BSE.

#### CHARAKTERYSTYKA CHEMICZNA (EMP) I DATOWANIE APATYTU (U-PB LA-ICP-MS)

Wszystkie datowane kryształy apatyty pochodzące z fyllitów można zaliczyć do fluoroapatytu o zawartości 3,5–3,9% wag. F [ok. 3,7 atomu na jednostkę wzoru]. W ich składzie chemicznym zwraca uwagę nieco mała, ale zmienna, zawartość  $Al_2O_3$  (0,47–1,56% wag., średnia 1,02% wag.),  $Y_2O_3$  (0,08–0,32% wag., średnia 0,18% wag.), a także  $Na_2O$  (0,04–0,15% wag.).

Wiek U-Pb badanego materiału został oszacowany na ~389 mln lat  $\pm$  18 mln lat (górna granica). Uzyskany w ten sposób wynik daje dowód na maksymalny wiek dewoński (eifel/żywet) formowania się żył kwarcowo-apatytowych,

co najprawdopodobniej wskazuje na ich związek z końcowym etapem ruchów kaledońskich. Jest to pierwszy tak precyzyjny przedział wiekowy, wskazujący na działalność hydrotermalną w badanym obszarze. Jednocześnie jego poznanie pozwala odnieść się do datowania metamorfizmu jako starszego niż wskazana data. Dotychczas wiek ten określano jedynie w odniesieniu do procesu sylicyfikacji, co pozwalało ograniczyć go od góry co najwyżej do górnego syluru (Salwa, 2006). Brak mineralizacji kwarcowo-chlorytowej w skałach młodszych od tremadoku wskazywał na przedtremadocki wiek deformacji i powiązanego z nią metamorfizmu, jednak datowanie apatytów wskazuje, że wiek tych procesów jest młodszy, a ograniczenie zasięgu mineralizacji może wynikać z przyczyn tektonicznych lub litologicznych albo obu tych przyczyn jednocześnie. Możliwe bowiem, że miększa seria osadów ilastych ordowiku i syluru stanowiła ekran dla migracji roztworów hydrotermalnych ku górze profilu serii skalnych, ograniczając w ten sposób występowanie żył kwarcowo-chlorytowych jedynie do skał kambryjskich.

Autorzy dziękują Recenzentce – dr hab. Ewie Krzemińskiej – za cenne uwagi i poprawki manuskryptu.

#### LITERATURA

- CZARNOCKI J. 1950 – Geologia regionu łysogórskiego w związku z zagadnieniem złoża rud żelaza w Rudkach. Pr. Państw. Inst. Geol., 1.  
 DADLEZ R., KOWALCZEWSKI Z., ZNOSKO J. 1994 – Some key problems of the pre-Permian tectonics of Poland. Geol. Quart., 38 (2): 169–189.  
 KOWALCZEWSKI Z. 1975 – Tektonika i tektogeneza paleozoiku i mezozoiku Gór Świętokrzyskich. Studium strukturalne Pasma Masłowskiego i Klonowskiego. Arch. PIG-PIB, Kielce.  
 KOWALCZEWSKI Z., DADLEZ R. 1996 – Tectonics of the Cambrian in the Wisniówka area (Holy Cross Mts., Central Poland). Geol. Quart., 40 (1): 23–46.  
 MALEC J. 2001 – Sedimentology of deposits from around the Late Caledonian unconformity in the western Holy Cross Mts. Geol. Quart., 45 (4): 397–415.  
 SALWA S. 2006 – Wstępna charakterystyka strukturalno-petrograficzna fyllitów z Podmachocic w regionie łysogórskim Gór Świętokrzyskich. Prz. Geol., 54: 513–520.  
 SALWA S. 2015 – Quartz-apatite veins in metamorphic rocks of the Holy Cross Mountains. Mineralogia, Sp. Pap., 44: 99.  
 PETRUS J.A., KAMBER B.S. 2012 – VisualAge: A Novel Approach to Laser Ablation ICP-MS U-Pb Geochronology Data Reduction. Geostand. Geoanalyt. Res., 36: 247–270.

Praca wpłynęła do redakcji 26.04.2023 r.  
 Akceptowano do druku 10.05.2023 r.