

Wiek izotopowy a wiek paleomagnetyczny ryodacytów z Zalasu koło Krakowa (S Polska)

Jerzy Nawrocki*, Anna Lewandowska**, Mark Fanning***



J. Nawrocki A. Lewandowska M. Fanning

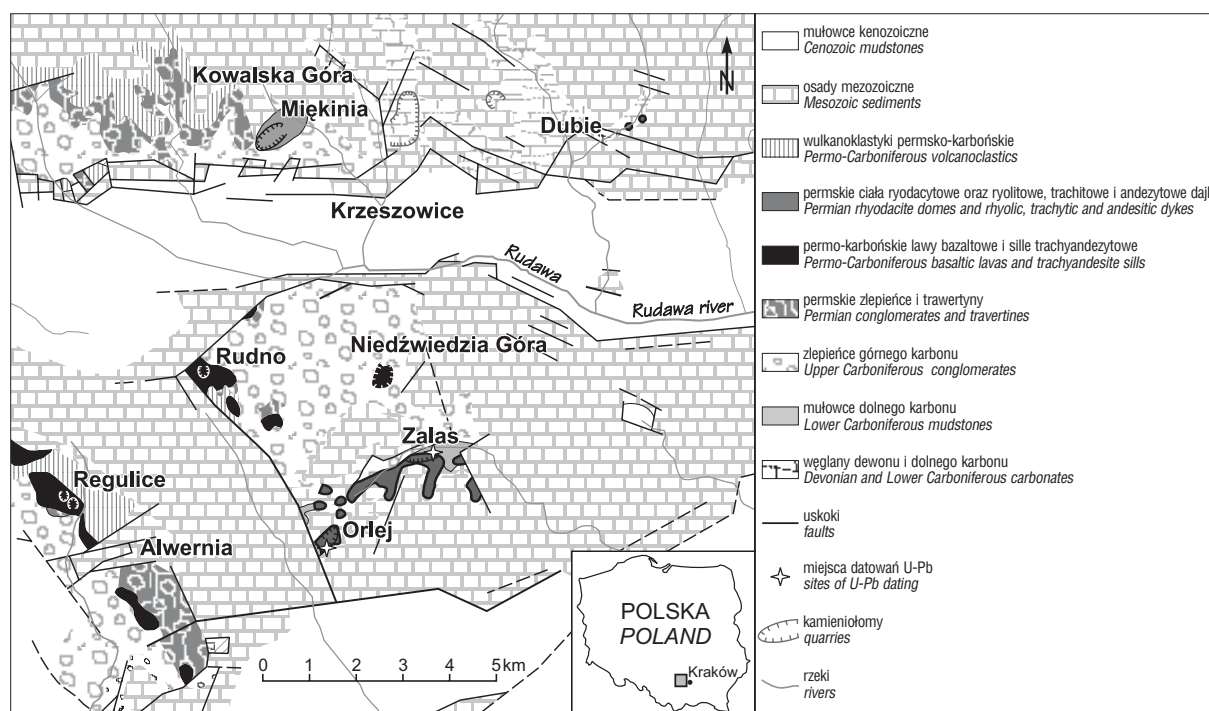
Isotope and paleomagnetic ages of the Zalas rhyodacites (S Poland). *Prz. Geol.*, 55: 475–478.

S u m m a r y . The single-grain U-Pb dating of most zircon grains separated from the Zalas rhyodacites gave mean age of the magma emplacement 294.2 ± 2.1 Ma. Some zircons, however, displayed younger ages (268.7 ± 3.4 Ma), probably related to metasomatic alterations of these rocks. The paleomagnetic ages of the Zalas intrusion and its metasomatism are slightly younger. It is probably connected with a certain error of time calibration of the reference apparent polar wander path used for paleomagnetic dating.

Key words: isotope age, paleomagnetism, rhyodacite, Permian, Southern Poland

Pierwsze oznaczenie wieku wulkanitów z rejonu Krzeszowic polegało na korelacji tufów filipowickich i permjskich martwic wapiennych. Stwierdzono, że tufy te są równoległe z paleontologicznie datowanymi martwicami wczesnego permu (Lipiarski, 1971). Datowania K-Ar całej skały (193 mln lat) oraz biotyty (230 mln lat) nie potwierdziły tego wieku (Borucki & Oberc, 1964). Uzyskana tą metodą informacja wskazywała prawdopodobnie wiek późniejszych procesów hydrotermalnych i diagenetycznych. Wyseparowany z tych skał autigeniczny illit powstał 199 mln lat temu (Michalik i in., 2004). Datowanie ryodacytu z Zalasu metodą trawową wskazało, że etap studzenia intruzji nastąpił około 295 mln lat temu (Skowroński, 1974).

Odsłonięcia skał z rejonu Zalasu i Orleja (ryc. 1) znajdują się na obszarze anomalii magnetycznej o średnicy około 5 km (Kurbiel, 1978). Są to wychodne lakkolitu, który wdarł się w mułowce dolnego karbonu (Dżułyński, 1955). Skały tej intruzji zostały sklasyfikowane jako ryodacyty (Słaby, 1987; Muszyński, 1995; Czerny & Muszyński, 1997). Zmienność ich koloru od zielonkawego do czerwonego nie wynika ze zmienności geochemicznej (Musiał, 1996, Lewandowska & Rospondek, 2003), lecz jest związana z późniejszymi zmianami pomagmowymi (Słaby, 1987; Musiał, 1996). Ryodacyty z rejonu Zalasu i Orleja, jak i skały z innych intruzji rejonu Krzeszowic, ulegały metasomatozie potasowej (Słaby, 1990).



Ryc. 1. Uproszczona mapa geologiczna rejonu Krzeszowic (wg Gradzińskiego, 1993)

Fig. 1. Simplified geological map of Krzeszowice region (after Gradziński, 1993)

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

**Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, ul. Oleandry 2a, 30-063 Kraków

***Research School of Earth Sciences, Australia National University, Canberra ACT 0200, Australia

Skały wulkaniczne rejonu Krzeszowic były przedmiotem badań paleomagnetycznych (Birkenmajer & Nairn, 1964; Nawrocki i in., 2005). Datowanie paleomagnetyczne intruzji Zalas, polegające na porównaniu otrzymanej inklinacji charakterystycznej kierunku pierwotnego z inklinacjami referencyjnymi dla stabilnej Europy, pozwoliło na stwierdzenie, że intruzja ta powstała około 280 mln lat temu (Nawrocki i in., 2005). Stwierdzono również (*op. cit.*), że wtórna składowa namagnesowania, związana z hematytem, utrwaliła się około 262 mln lat temu w wyniku przeobrażeń metasomatycznych.

Do separacji ziaren cyrkonu pobrano świeże próbki ryodacytu z południowo-zachodniej ściany kamieniołomu w Zalasie, około 15 m poniżej stropu lakkolitu, a także z kamieniołomu Orlej, około 20 m na północny wschód od kontaktu intruzji z klastykami dolnego karbonu (ryc. 1). Po pokruszeniu próbek wyodrębniono ciężką frakcją mineralną. Z frakcji minerałów ciężkich oddzielono ziarna cyrkonu. Do datowania metodą U-Pb przeznaczono dwadzieścia trzy kryształki. Datowanie to wykonano za pomocą sondy SHRIMP w laboratorium Narodowego Uniwersytetu Australii (*Research School of Earth Sciences*). Zastosowana procedura analityczna została opisana w publikacji Williamsa (1998). Poprawki redukcyjne i wykresy wykonano używając narzędzi SQUID i ISOPLOT (Ludwig, 1999, 2000).

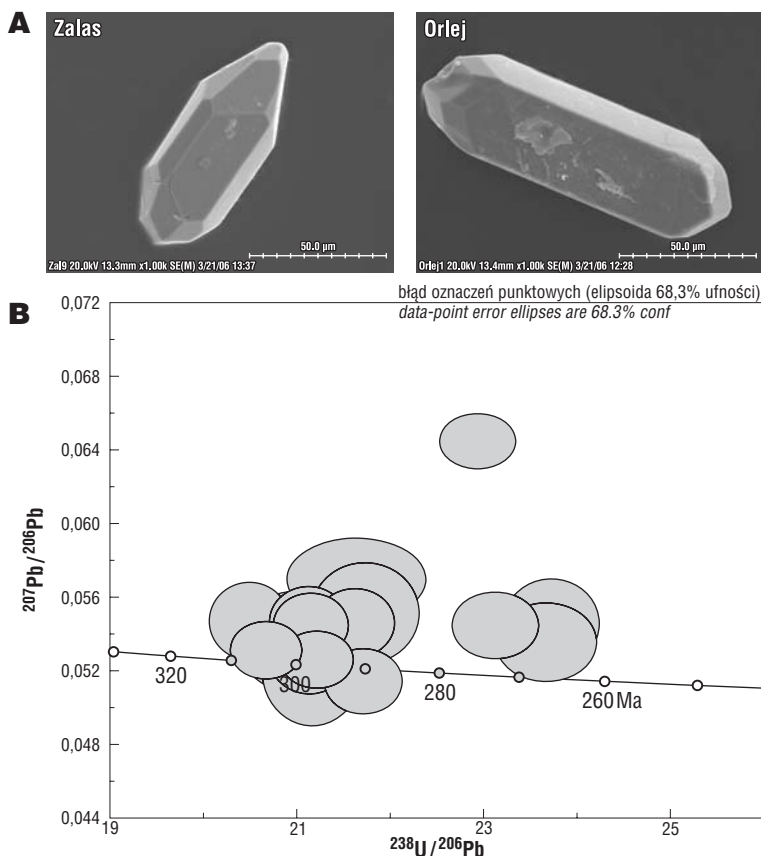
Tab. 1. Wyniki oznaczeń wieku izotopowego metodą U-Pb SHRIMP ziaren cyrkonów z Zalas i Orleja
Table 1. Summary of SHRIMP U-Pb results for zircons from Zalas and Orlej

Ziarno grain Punkt point	Wiek $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ [mln l] $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age [Ma]	Błąd pomiaru [mln l] Measurement error [Ma]
ZALAS		
1,1	297,6	3,9
2,1	306,6	4,2
3,1	271,0	3,2
4,1	266,3	4,0
5,1	299,9	5,7
6,1	298,0	5,0
7,1	297,3	3,7
8,1	298,2	3,9
9,1	265,4	3,8
10,1	297,0	3,6
11,1	297,0	8,4
12,1	289,2	5,1
13,1	304,6	3,7
14,1	290,8	3,7
15,1	290,8	3,7
16,1	185,1	5,5
17,1	272,2	3,6
18,1	289,7	6,5
ORLEJ		
1,1	296,3	4,1
2,1	300,3	8,2
3,1	291,6	3,7
5,1	294,5	3,3
6,1	286,3	3,8

Wyniki nowych analiz izotopowych i ich porównanie z danymi paleomagnetycznymi

Cyrkony wyseparowane z ryodacytu z Zalas i Orleja są własnokształtne, długość kryształów wynosi od 100 do 170 μm , a szerokość od 30 do 45 μm . Kryształy są wyraźnie wydłużone (ryc. 2A), z prawidłowo wykształconymi ścianami słuca, zakończonymi bipiramidami (klasa bipiramidy dytetragonalnej), stosunek długości do szerokości wynosi od 3 : 1 do 5 : 1. W klasyfikacji Pupina (1980) odpowiadają one typom S2, S3 i S7; ponadto stwierdzono cyrkony należące do typów S4, S8, S12 i S13 (Gawęcka i in., 2001). Kryształy cyrkonów są przezroczyste i nie wykazują śladów korozji.

Większość wyników oznaczeń wieku pojedynczych ziaren cyrkonów jest konkordantna — tworzy jedno zgrupowanie ze średnim wiekiem $294,2 \pm 2,1$ mln lat (ryc. 2B). Średni wiek obliczony tylko dla cyrkonów z odsłonięcia w kamieniołomie w Zalasie jest minimalnie starszy i wynosi $295,1 \pm 2,6$ mln lat. Niespodziewanie cztery ziarna cyrkonu z tego odsłonięcia dostarczyły danych grupujących się w innym miejscu, wskazującym na inny średni wiek izotopowy — $268,7 \pm 3,4$ mln lat (ryc. 2B). Tylko jeden wynik analizy (16 ziarno, tab. 1) jest wyraźnie dyskordantny. Dane z ryodacytów intruzji Zalas wskazują na obecność cyrkonów wieku wczesnego permu (sakmar-assel), jak również sugerują obecność cyrkonów o wieku związanym ze środkową częścią permu (word-kungur).



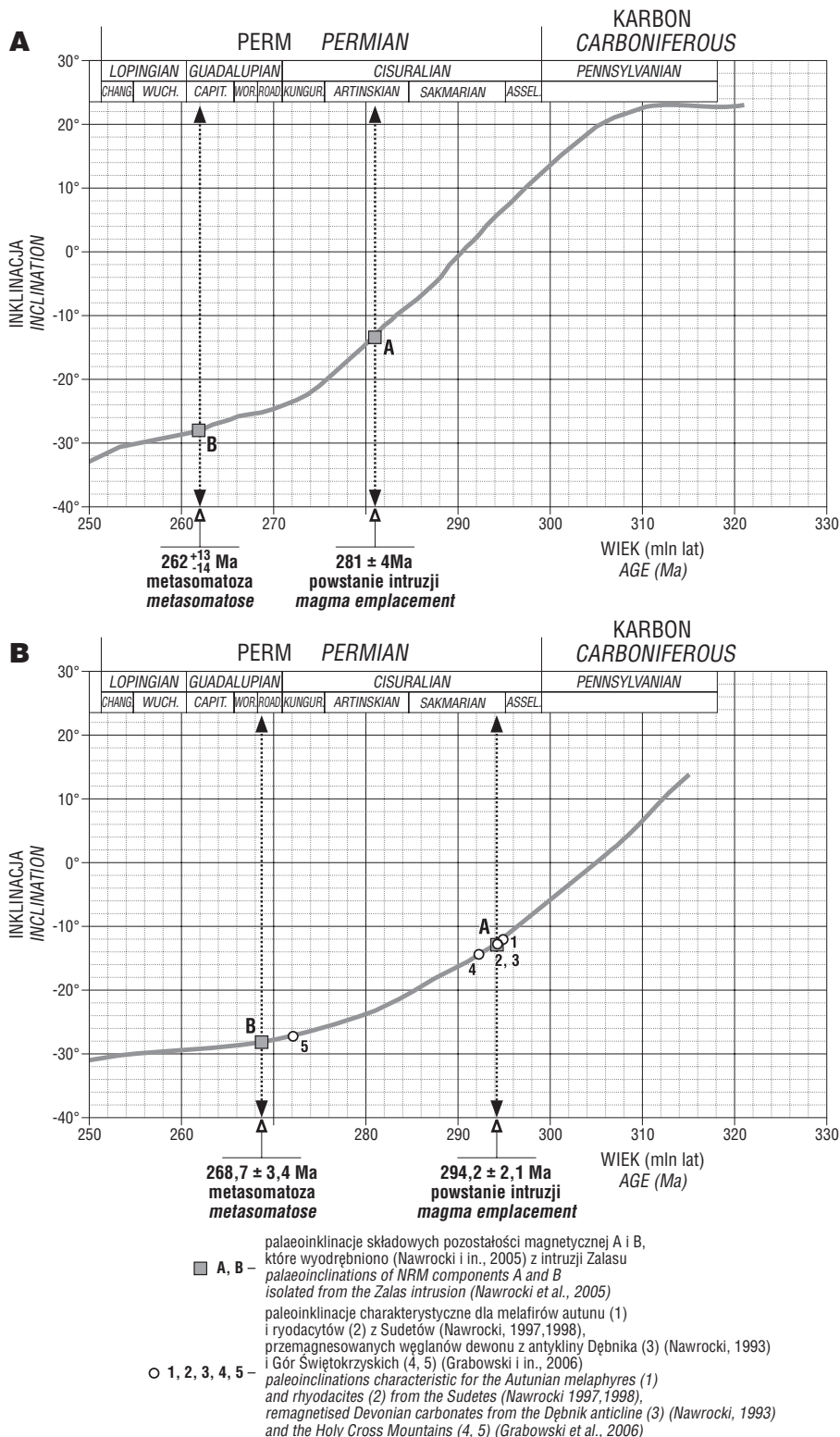
Ryc. 2. A. Przykładowe ziarna cyrkonów, które wyseparowano z lakkolitu zalaskiego dla potrzeb oznaczeń izotopowych; **B.** Diagram konkordii sporządzony na podstawie wyników datowań metodą U-Pb 23 ziaren cyrkonu z ryodacytów odsłaniających się w kamieniołomach Zalas i Orlej

Fig. 2. A. Examples of zircon grains separated from the Zalas laccolite for the isotope study; **B.** Concordia diagram presenting results of U-Pb dating of 23 zircon grains from rhyodacites cropping out in Zalas and Orlej quarries

Młodszy z uzyskanych wieków dobrze koresponduje z wiekiem zmiany metasomatycznych, który określono za pomocą metody paleomagnetycznej na około 262 miliony lat (Nawrocki i in., 2005). Starszy wiek, który najprawdopodobniej definiuje wiek wdarcia się magmy, odbiega znacząco od wyników datowania tego zjawiska za pomocą metody paleomagnetycznej. Porównując dane paleoma-

gnetyczne uzyskane z intruzji Zalaszu z krzywą pozorną wędrówki bieguna paleomagnetycznego referencyjną dla stabilnej Europy stwierdzono, że intruzja powstała około 280 mln lat temu (*op. cit.*).

Różnica wieku izotopowego i paleomagnetycznego wynosi tutaj około 15 mln lat (ryc. 3A). Różnica ta wynika zapewne z nieprecyzyjnej kalibracji czasowej krzywej



Ryc. 3. A. Referencyjna dla stabilnej Europy krzywa zmian inklinacji paleomagnetycznej w okresie od późnego karbonu do późnego permu, przeliczona na współrzędne geograficzne Krakowa. Na tle krzywej pokazano również inklinacje charakterystyczne dla ryodacytów z intruzji Zalaszu — składowe pozostałości magnetycznej A i B (Nawrocki i in., 2005). Zbiór danych referencyjnych zastosowany do konstrukcji krzywej był taki sam, jak w cytowanym artykule. Nie zawierał on składowych A i B. Ich wiek i wiek zjawisk z nimi związanych określono poprzez porównanie z krzywą referencyjną; **B.** Referencyjna dla stabilnej Europy krzywa zmian inklinacji paleomagnetycznej w okresie od późnego karbonu do późnego permu, przeliczona na współrzędne geograficzne Krakowa. Do konstrukcji krzywej zastosowano również inklinacje charakterystyczne dla ryodacytów z intruzji Zalaszu (Nawrocki i in., 2005), których wiek przyjęto zgodnie z wynikami datowań izotopowych prezentowanych w tym artykule. Z krzywą skorelowano paleoinklinatione charakterystyczne dla wybranych autuńskich skał wulkanicznych z niecki północnosudeckiej, a także przemagnesowanych węglanów dewońskich z antykliny Dębника i Gór Świętokrzyskich. Skala czasu wg Gradsteina i in. (2004)

Fig. 3. A. Expected stable European Late Carboniferous to Late Permian inclinations and inclinations of the NRM components A and B isolated from the Zalas rhyodacites (Nawrocki et al., 2005). All data were recalculated for the geographic coordinates of Cracow. Data set used for construction of the plot are the same as in the paper of Nawrocki et al. (2005). This set does not include components A and B. The ages of these components and of geological processes linked with them were estimated as a result of their comparison with the reference plot; **B.** Expected stable European Late Carboniferous to Late Permian palaeoinclinations calculated for the geographic coordinates of Cracow using data set of Nawrocki et al. (2005) and the components A and B with isotope ages presented in this paper. Palaeoinclinations characteristic for selected Autunian rocks from the North Sudetic Basin and remagnetized Devonian carbonates of the Dębnik anticline and the Holy Cross Mountains are also presented. Time scale was adopted from Gradstein et al. (2004)

referencyjnej. Jej fragment wczesnopermski został wyznaczony głównie na podstawie danych ze skał wulkanicznych, których średni wiek w światowej bazie danych paleomagnetycznych (<http://www.ngu.no/dragon/>) określono na 280 mln lat. Nowsze datowania skał wulkanicznych wczesnego permu, przedstawione np. w tym artykule, a także przez Van der Voo i Torsvika (2004), wskazują, że większość tych skał intrudowała kilkanaście milionów lat wcześniej. Po skorygowaniu permski odcinek ścieżki zmian paleoinklinacji referencyjnej przedstawiono na ryc. 3B. Do konstrukcji ścieżki zastosowano również dane paleomagnetyczne, którym przyporządkowano nowe wieki izotopowe U-Pb uzyskane z wulkanitów krakowskich. Z krzywą tą porównano inklinacje charakterystyczne uzyskane z wulkanitów sudeckich oraz inklinacje charakterystyczne dla wtórnych kierunków paleomagnetycznych wyodrębnionych z przemagnesowanych węglanów dewonu z Gór Świętokrzyskich i z obszaru śląsko-krakowskiego. Dzięki temu porównaniu można zauważyć, że analizowane paleomagnetycznie intruzje wulkanitów sudeckich (intruzja ryodacytów z Wielisławia, melafiry z Płóczek Górnych) tworzyły się również około 295 mln temu. Poza przemagnesowaniami waryscyjskimi węglany dewonu były przemagnesowane także w czasie powstawania wczesnopermskich intruzji wulkanicznych oraz ich późniejszej metasomatozy. Należy sądzić, że te same zjawiska tektoniczne (ekstensja, trans tensja?), które umożliwiły wdzieranie się magmy i potem gorących roztworów powodujących metasomatozę, uruchomiły drogi dla roztworów przemagnesowujących węglany dewońskie.

Wnioski

1. Lakkolit Zalasu powstał we wczesnym permie — około 295 mln lat temu.
2. Ryodacyty należące do tego lakkolitu uległy zmianom metasomatycznym przed około 270 mln lat.
3. Autuńskie intruzje wulkaniczne z niecki północnosudeckiej są równowiekowe z intruzją Zalasu.
4. Epizody permskiego przemagnesowania węglanów dewońskich z Gór Świętokrzyskich i obszaru śląsko-krakowskiego wyraźnie nawiązują swoim wiekiem do powstania intruzji Zalasu i jej metasomatozy. Ekstensja, która towarzyszyła wdzieraniu się magmy i późniejszej metasomatozie skał magmowych, uruchomiła drogi dla roztworów przemagnesowujących dewońskie węglany.

Pracę wykonano w ramach projektu statutowego PIG nr 6.92.0005.00.0, projektu PORES oraz projektu badawczego N30702231/1746 (ze środków na naukę ujętych w planie na 2006 r.). Autorzy składają podziękowania Ewie Krzemińskiej i anonimowemu recenzentowi za cenne uwagi, które przyczyniły się do korekty artykułu.

Literatura

BIRKENMAJER K. & NAIRN A.E.M. 1964 — Paleomagnetic studies of Polish rocks. I. The Permian igneous rocks of the Kraków District and some results from the Holy Cross Mountains. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 34: 225–244.

- BORUCKI J. & OBERC A. 1964 — Wiek tufu filipowickiego na podstawie datowań metodą potasowo-argonową. *Kwart. Geol.*, 8: 787–789.
- CZERNY J. & MUSZYŃSKI M. 1997 — Co-magmatism of the Permian volcanics of the Krzeszowice Area in the light of petrochemical data. *Miner. Pol.*, 28: 3–25.
- DŻUŁYŃSKI S. 1955 — O formie porfirów zalaskich. *Biul. Inst. Geol.*, 97: 9–38.
- GAWĘCKA E., SZCZEPANIK P. & KOSZOWSKA E. 2001 — Typological Characteristics of zircons from Zalas and Zawiercie rhyodacites. *Pr. Specjalne PTM*, 19: 46–48.
- GRABOWSKI J., NARKIEWICZ M. & SOBIEN K. 2006 — Termiczne uwarunkowania zjawiska przemagnesowań dewońskich skał węglanowych w regionie kieleckim Gór Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, 54: 895–904.
- GRADSTEIN F., OGG J. & SMITH A. 2004 — A Geologic Time Scale 2004. Cambridge Univ. Press: 589.
- GRADZIŃSKI R. 1993 — Mapa geologiczna regionu krakowskiego bez czwartorzędu i utworów lądowych trzeciorzędu. Geological map of Cracow region without Quaternary and terrestrial Tertiary deposits. Arch. Muzeum ING PAN w Krakowie.
- KURBIEL H. 1978 — Badania magnetyczne i grawimetryczne. *Pr. Inst. Geol.*, 83: 263–272.
- LEWANDOWSKA A. & ROSPONDEK M. 2003 — Geochemistry of Volcanics of the Zalas Area near Kraków, Southern Poland. *Pr. Specjalne PTM*, 23: 119–121.
- LIPIARSKI I. 1971 — Le Flore du Permien inferieur apparaissant dans le travertin de Kamiowice aus environs de Cracovie. *Pr. Inst. Geol.*, 58: 96–112.
- LUDWIG K.R. 1999 — User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10; A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. Special Publication, 2.
- LUDWIG K.R. 2000 — SQUID 1.00, A user's manual. Berkeley Geochronology Center. Special Publication, 2.
- MICHALIK M., BANAŚ M. & SMOLAK W. 2004 — Secondary minerals in the Lower Permian Filipowice tuff; a record of the liasic hydrothermal event. *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged, 4: 72.
- MUSIAŁ J.M. 1996 — Ciemne andezytopodobne wulkanity z Zalasu koło Krakowa. *Prz. Geol.*, 44: 809–812.
- MUSZYŃSKI M. 1995 — Systematic position of igneous rocks from the northern margin of the Upper Silesian Coal Basin. *Miner. Pol.*, 26: 33–49.
- NAWROCKI J. 1993 — The Devonian-Carboniferous platform paleomagnetic directions from the Silesian-Cracow area and their importance for Variscan paleotectonic reconstructions. *Geol. Quart.*, 37: 397–430.
- NAWROCKI J. 1997 — Permian to Early Triassic magnetostratigraphy from the Central European Basin in Poland: Implications on regional and worldwide correlations. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 152: 37–58.
- NAWROCKI J. 1998 — Dane paleomagnetyczne a tektoniczne uwarunkowania sedimentacji utworów permu w Sudetach. *Prz. Geol.*, 46: 1023–1027.
- NAWROCKI J., POLECHOŃSKA O., LEWANDOWSKA A. & WERNER T. 2005 — On the palaeomagnetic age of the Zalas laccolith (southern Poland). *Acta Geol. Pol.*, 55: 229–236.
- PUPIN J.P. 1980 — Zircon and granite petrology. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 73: 207–220.
- SKOWROŃSKI A. 1974 — Oznaczenie wieku bezwzględnego tzw. porfirów z Zalasu metodą śladów rozszczepienia jąder uranu. *Spraw. z Pos. Komis. Nauk. PAN Oddz. w Krakowie*, 17: 236–237.
- ŚLABY E. 1987 — Adularization of plagioclases with accompanying processes in rhyodacites from Zalas near Cracow. *Arch. Miner.*, 42: 69–91.
- ŚLABY E. 1990 — Adular z Miękini. *Arch. Miner.*, 46: 55–66.
- VAN DER VOO R. & TORSVIK T.H. 2004 — The Quality of the European Permo-Triassic Paleopoles and Its Impact on Pangea Reconstructions. [In:] *Timescales of the Paleomagnetic Field*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, 145: 29–42.
- WILLIAMS I.S. 1998 — U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. [In:] McKibben M.A. & Shanks W.C. (Eds), *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1–35.

Praca wpłynęła do redakcji 10.04.2007 r.
Akceptowano do druku 16.05.2007 r.