

## O wieku paleomagnetycznym mineralizacji miedziowej, uranowej i cynkowo-ołowiowej w Polsce określanym metodą porównania charakterystycznych namagnesowań z krzywą referencyjną pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego

Jerzy Nawrocki<sup>1</sup>



**On the paleomagnetic age of copper, uranium and zinc-lead mineralization in Poland, determined by comparison of characteristic magnetizations with the reference apparent polar wander path.** *Prz. Geol.*, 65: 105–108.

*A b s t r a c t.* Paleomagnetic poles obtained earlier from mineralization zones of Kupferschiefer (hematitic Rote Fäule, North Sudetic Basin), uranium-bearing rocks (Kletno abandoned mine, Sudetes) and zinc-lead ores (Cracow–Silesian district) were compared with the newest version of the apparent polar wander path (APWP) for “stable” Europe, deprived of paleoinclination error. Paleomagnetic data exclude age of the Rote Fäule younger than ca. 250 Ma. The pole matches the new APWP in the interval enclosed between ca. 250 Ma and ca. 258 Ma (age of the host rocks) after the correction of original data of about 10–15° on inclination error. It means that hematitic mineralization of the Rote Fäule was developed before compaction of sediments. The paleomagnetic pole isolated

from the zinc-lead mineralization zone of the Cracow–Silesian district cannot be used anymore as the basic argument for its Tertiary age. Its large oval of confidence overlaps the Early Cretaceous segment of the reference APWP (100–120 Ma) as well. The Early Cretaceous (120–140 Ma) paleomagnetic age is the most probable in the case of uranium-bearing mineralization from the Kletno abandoned mine.

**Keywords:** paleomagnetic age, mineralization, Poland

Do datowania procesów mineralizacji, których głównym lub ubocznym efektem są tlenki żelaza, od lat stosuje się metodę paleomagnetyczną. Datowanie to polega na porównaniu bieguna paleomagnetycznego uzyskanego z danej strefy mineralizacji z dobrze datowaną ścieżką pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego, referencyjnego dla fragmentu litosfery (płyty, terranu), na którym znajduje się miejsce badań. Tego typu ścieżka, przedstawiona w skali czasu, może mieć fragmenty zapisujące zarówno szybką migrację bieguna po sferze, jak i miejsca, gdzie położenie bieguna przez wiele dziesiątków milionów lat niewiele się zmieniało. Oczywiście w pierwszym przypadku możliwości i rozdzielczość metody paleomagnetycznej w datowaniu skał i procesów geologicznych są o wiele większe niż w drugim.

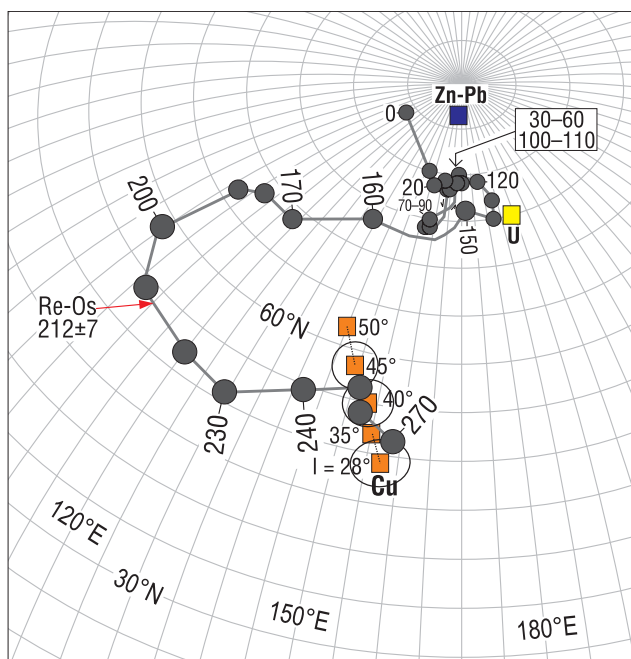
Począwszy od permu fragment skorupy ziemskiej tworzący pozaalpejską część Europy zachowywał się jako całość w swej tektonicznej wędrówce. Stąd opracowane dla niego różne wersje ścieżki pozornej wędrówki bieguna przypisano tzw. stabilnej Europie. Ścieżka dla „stabilnej” Europy jest referencyjna również dla Polski pozakarpacskiej, która należała do tego fragmentu Europy już od późnego karbonu. Do konstrukcji ścieżek, czy inaczej krzywych pozornej wędrówki paleobieguna, stosowano dane paleomagnetyczne pochodzące w dużej mierze z występujących w obrębie danego fragmentu litosfery skał osadowych. Porównując równowiekowe kierunki pochodzące z nich i ze skał magmowych, badacze doszli do wniosku, że inklinacje uzyskane z formacji osadowych są wyraźnie niższe, co wynika z podepozycyjnej kompaktacji nośników namagnesowania. Dlatego w najnowszych opracowaniach są już prezentowane ścieżki pozornej wędrówki

bieguna, które uwzględniają zaniżenie inklinacji kierunków paleomagnetycznych pochodzących ze skał osadowych. Na potrzeby tego komunikatu zastosowano właśnie taką, skorygowaną o błąd inklinacji, ścieżkę pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego charakterystycznego dla „stabilnej” Europy w okresie ostatnich 270 mln lat (Torsvik i in., 2012).

### BIEGUNY PALEOMAGNETYCZNE ZE STREF MINERALIZACJI MIEDZIOWEJ, URANOWEJ I CYNKOWO-OŁOWIOWEJ NA TLE ŚCIEŻKI REFERENCYJNEJ

Prawie 30 lat temu Jowett i in. (1987) przedstawili bardzo dobrej jakości dane paleomagnetyczne otrzymane z hematytowych skał poziomu „Rote Fäule” niecki północnosudeckiej, uważanych za równoczesowe z głównym epizodem tamtejszej mineralizacji miedziowej (np. Wodzicki & Piestrzyński, 1994; Bechtel i in., 1999). Autorzy wspomnianych badań paleomagnetycznych, porównując swoje dane z ówczesnie zdefiniowaną ścieżką pozornej wędrówki bieguna charakterystycznego dla „stabilnej” Europy, określili wiek bieguna z niecki północnosudeckiej na środkowy trias. Ponad dziesięć lat później Nawrocki (2000) wskazał, że biegun ten utrwalił się najprawdopodobniej wcześniej, tj. na przełomie permu i triasu (ok. 250 mln lat temu), co dawało już wyraźną różnicę w stosunku do postulowanych późnotriasowych wieków mineralizacji miedziowej z basenu cechsztyńskiego, opartych na wynikach datowań diagenetycznego illitu (Bechtel i in., 1999). Jednym z wyjaśnień takiego stanu rzeczy była możliwość

<sup>1</sup> Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, al. Kraśnicka 2cd, 20-718 Lublin, jerzy.nawrocki@poczta.umcs.lublin.pl.



**Ryc. 1.** Bieguny paleomagnetyczne uzyskane ze skał zawierających hematytową mineralizację „Rote Fäule” z niecki północnosudeckiej (biegun Cu; Jowett i in., 1987), uranonośną mineralizację polimetaliczno-fluorytową z nieczynnej kopalni w Kletnie (biegun U; Sobień & Nawrocki, 2011) i mineralizację cynkowo-ołowiową z regionu śląsko-krakowskiego (biegun Zn-Pb; Symons i in., 1995) na tle krzywej pozornej wędrówki bieguna charakterystycznego dla „stabilnej” Europy (Torsvik i in., 2012). Na figurze przedstawiono też wiek siarczkowej mineralizacji miedziowej z rejonu wydobywania Lubin-Sierszowice, który określono metodą Re-Os (Mikulski & Stein, 2015). Poza oryginalnym położeniem bieguna „Cu” (inclinacja  $I = 28^\circ$ ) pokazano również jego położenie po wprowadzeniu korekty na spłaszczenie inklinaacji o 7, 12, 17 i  $22^\circ$ . Dla wszystkich położenia bieguna „Cu” zaprezentowano owale ufności. Wiek w punktach węzłowych krzywej referencyjnej podano w mln lat. Korekcja inklinaacji do wartości ok.  $40^\circ$  sprowadza biegun „Cu” do miejsca odpowiadającego wiekowi skały, w której występuje mineralizacja

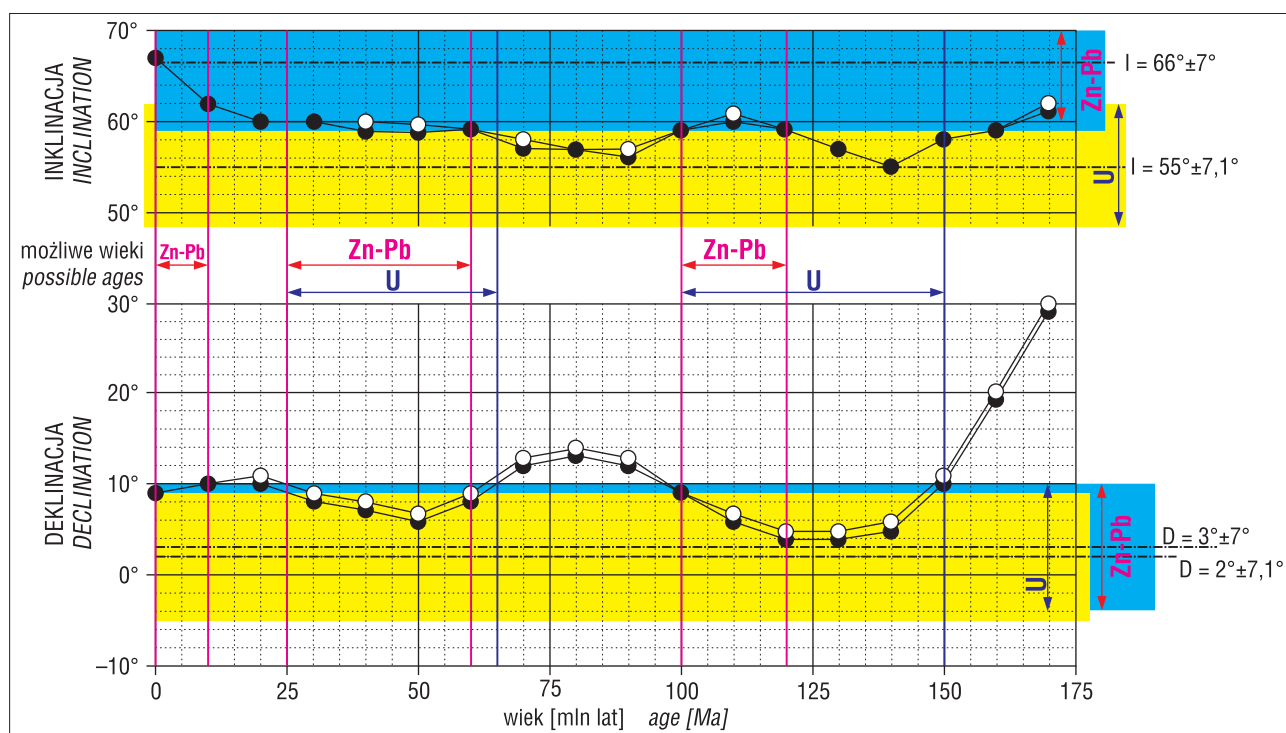
**Fig. 1.** Paleomagnetic poles isolated from the rocks containing hematitic mineralization of “Rote Fäule” type (North Sudectic Basin; pole Cu; Jowett et al., 1987), uranium-bearing polymetallic-fluorine mineralization (Kletno abandoned mine; pole U; Sobień & Nawrocki, 2011) and Zn-Pb mineralization (Silesia-Cracow district; pole Zn-Pb; Symons et al., 1995) on the background of apparent polar wander patch for “stable” Europe (Torsvik et al., 2012). The Re-Os age of sulphide copper mineralization from the Lubin-Sierszowice mine district (Mikulski & Stein, 2015) is also presented. Apart from the original location of paleopole “Cu” (inclination  $I = 28^\circ$ ) its migration after correction for the error of inclination shallowing by about 7, 12, 17 and  $22^\circ$ , is also presented. The absolute value of inclination of about  $40^\circ$  moves the paleopole “Cu” to the reference curve in its parts coeval with the age of the host rocks. Ages in tie-points of the reference curve are in million years

występowania w skałach cechsztyńskich SW Polski mineralizacji miedziowej o charakterze wieloetapowym, rozciągniętej w czasie i różnowiekowej w różnych obszarach SW Polski (por. Wodzicki & Piestrzyński, 1994; Oszczepalski, 1999). Tymczasem porównanie położenia bieguna Jowetta i in. (1987) z nową ścieżką pozornej wędrówki bieguna Torsvika i in. (2012) wskazywałoby, że jego wiek wynosi ok. 270 mln lat, czyli jest starszy niż badana skała,

co jest oczywiście niemożliwe. Biegun ten wędruje do strefy ścieżki referencyjnej o wieku 258–250 mln lat dopiero po zwiększeniu wartości bezwzględnej inklinaacji kierunku charakterystycznego dla „Rote Fäule”, która wynosi  $28^\circ$ , o 10 do  $15^\circ$ . Przy jeszcze wyższej inklinaacji skorygowany biegun oddala się od ścieżki referencyjnej (ryc. 1). Mineralizacja hematytowa musiała zatem powstawać w osadzie, który wraz z cząstkami hematytu uległ pod nadkładem późniejszej kompaktacji, rotującej te cząstki w kierunku płaszczynny poziomej o kąt  $10\text{--}15^\circ$ . Kompaktacja taka mogła zachodzić w trakcie sedymentacji na utworach cechsztynu, względnie miąższych osadów triasowych (Chrzastek & Wojewoda, 2011).

Ze względu na charakter skał, błędu inklinaacji pochodzenia kompacyjnego zapewne nie zawiera pozostałość magnetyczna uranonośnej mineralizacji polimetaliczno-fluorytowej z nieczynnej kopalni w Kletnie. Razem z nią w brekcji tektonicznej występują minerały uranu i fluoru. Średni dla tej mineralizacji biegun paleomagnetyczny, oparty na kierunkach charakterystycznych o normalnej i odwrotnej polarności (Sobień & Nawrocki, 2010), koresponduje ze ścieżką referencyjną w jej fragmencie o wieku ok. 140 mln lat (ryc. 1). Jednak granice błędu określenia średniego kierunku charakterystycznego, na podstawie którego go policzono, wskazują, że możliwy jego wiek zawiera się w przedziale 100–150 mln lat, jak również 30–60 mln lat (ryc. 2). Wiek paleogeński należy uznać jednak za mniej prawdopodobny, ponieważ referencyjna deklinacja paleomagnetyczna zachodzi tutaj tylko w niewielkim stopniu na stożek ufności kierunku paleomagnetycznego z Kletna. Analizując dane źródłowe, należy jednak zauważyć, że z mineralizacji w Kletnie otrzymano dwa kierunki paleomagnetyczne o przeciwnych polarnościach (*op. cit.*). Biegun otrzymano tylko z kierunków o polarności normalnej jest oddalony znacząco od bieguna obliczonego z kierunków paleomagnetycznych tylko o polarności odwrotnej, który znalazł się wyraźnie poza krzywą referencyjną. W tej pojedynczej lokalizacji mamy najprawdopodobniej do czynienia z namagnesowaniem nabywanym dwukrotnie, każdorazowo w relatywnie krótkim czasie, które dla poszczególnych polarności nie uśredniło krótkookresowych zmian wiekowych pola geomagnetycznego. Stąd biegun średni, otrzymany z kierunków o różnej polarności, prawdopodobnie najlepiej odzwierciedla kierunek ówczesnego pola dipolowego i wiek powstania mineralizacji.

Biegun paleomagnetyczny otrzymany z zawierających mineralizację cynkowo-ołowiową dolomitów kruszczońskich z obszaru śląsko-krakowskiego dowodzi, zdaniem autorów badań (Symons i in., 1995), trzeciorzędowego wieku tego okruszcowania, związanego z orogenezą alpejską. Bazując na danych paleomagnetycznych, wspomniani autorzy określili nawet czas trwania późnej dolomityzacji i zjawisk mineralizacji, jako nie dłuższy niż 20 mln lat. Porównanie bieguna paleomagnetycznego Symonsa i in. (*op. cit.*) z krzywą referencyjną dla „stabilnej” Europy autorstwa Torsvika i in. (2012) wskazuje, że biegun ten jest wyraźnie oddalony od kredowo-kenozoicznego segmentu tej krzywej, będąc najbliższym bieguna współczesnego. Tylko „dzięki” dużemu błędowi analitycznemu przedział ufności wyjściowego kierunku paleomagnetycznego obejmuje wieki kredowe (100–120 mln lat) i paleogeńsko-neogeńskie (<60 mln lat). Nie może być zatem mowy o paleomagne-



**Ryc. 2.** Zmiany inklinacji i deklinacji charakterystycznej dla Kletna (czarne kółka) i Olkusza (białe kółka) w ciągu ostatnich 170 mln lat, obliczone z krzywej referencyjnej pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego, charakterystycznego dla „stabilnej” Europy (Torsvik i in., 2012). Na wykresach za pomocą grubszych linii przerywanych przedstawiono średnie wartości deklinacji (D) i inklinacji (I), uzyskanych z mineralizacji uranonośnej w Kletnie i cynkowo-olowiowej z regionu śląsko-krakowskiego, wraz z przedziałami ufności, zaznaczonymi kolorem żółtym (mineralizacja uranonośna) i niebieskim (mineralizacja cynkowo-olowiowa). Obszary wspólne krzywej referencyjnej i składowych kierunku otrzymanego z mineralizacji cynkowo-olowiowej (100–120 mln lat i 25–60 mln lat) są wyraźnie oddalone od średnich wartości tych składowych. Zwłaszcza w przypadku inklinacji znajdują się one na krawędzi przedziału ufności. Krzywe referencyjne znajdują się najbliższe średniego kierunku z Kletna ok. 145 mln lat temu

**Fig. 2.** Changes of inclination and declination characteristic for Kletno (black circles) and Olkusz (white circles) during the last 170 million years, calculated from the reference apparent polar wander patch for “stable” Europe (Torsvik et al., 2012). Bold broken lines on the graphs indicate the mean values of declination (D) and inclination (I) obtained from uranium-bearing mineralization in Kletno and zinc-lead mineralization from the Silesia-Cracow district. Yellow colour marks areas of confidence of mean D and I for uranium-bearing mineralization. Blue colour indicates areas of confidence of mean D and I for zinc-lead mineralization. Common areas of reference curve and components of paleodirection isolated from zinc-lead mineralization (100–120 Ma and 25–60 Ma) are distant from the mean values of inclination and declination. The reference inclinations correspond here with the margins of confidence area for mean inclination. The reference curves are in the nearest proximity of the mean direction from Kletno of about 145 million years ago

tycznym dowodzie na „trzeciorzędowy” wiek mineralizacji cynkowo-olowiowej z regionu śląsko-krakowskiego. Dane paleomagnetyczne Symonsa i in. (1995) wskazują, że równie prawdopodobny jest tutaj wiek kredowy.

## DYSKUSJA

Poza wspomnianymi badaniami wieku mineralizacji miedzionośnej w łupku cechsztyńskim za pomocą datowania diagenetycznego illitu, w ostatnich kilkunastu latach coraz szerzej stosuje się do tego celu metodę izotopową Re-Os. Datowania tą metodą na całej skale łupka miedzionośnego, przeprowadzone w różnych miejscach basenu cechsztyńskiego, dostarczyły zarówno permskich, jak i środkowo- i późnotriasowych wieków (por. Mikulski & Stein, 2015). Datowania ciał siarczkowych z obszarów górniczych kopalni Lubin i Polkowice są już bardziej jednoznacznie osadzone w skali stratygraficznej, a konkretnie w jej późnotriasowym segmencie (Mikulski & Stein, 2010, 2015). Skąd zatem rozbieżność między dobrze zdefiniowanym wiekiem paleomagnetycznym mineralizacji „Rote Fäule” (258–250 mln lat) a późnotriasowymi wiekami uzys-

kany metodą Re-Os z siarczków i wcześniejszymi, również późnotriasowymi datami K-Ar diagenetycznego illitu? Zakładając, że wszystkie wymienione metody dostarczyły rzeczywistych wieków mineralizacji, musimy wtedy wnioskować, że mineralizacja „Rote Fäule” z basenu północnosudeckiego, gdzie otrzymano bardzo dobrej jakości dane paleomagnetyczne (Jowett i in., 1987), jest ok. 40 mln lat starsza od mineralizacji siarczkowej z Lubina i Polkowic. Potwierdziłoby to wieloetapowy, rozciągnięty w czasie charakter mineralizacji utworów permskich (Wodzicki & Piestrzyński, 1994; Oszczepalski, 1999). Ich główna faza, formująca rudę późnodiagenetyczną związaną z „Rote Fäule” (Wodzicki & Piestrzyński, 1994), nie byłaby wówczas źródłem siarczków datowanych metodą Re-Os (Mikulski & Stein, 2015). Inne rozwiązanie wyjaśniające ten problem to proponowany podział mineralizacji „Rote Fäule” na dwa etapy, obejmujące pierwotne i wtórne epigentyczne utlenianie (zob. Piestrzyński i in., 1996). Datowana paleomagnetycznie mineralizacja z niecki północnosudeckiej pochodziłaby tutaj z pierwszego, diagenetycznego etapu.

W kredzie i kenozoiku tempo przemieszczania się wirtualnego bieguna charakterystycznego dla „stabilnej” Europy było niewielkie. Stąd w tym okresie rozdzielczość datowań paleomagnetycznych jest znacznie mniejsza niż w triasie czy jurze, nawet przy niezbyt dużych wartościach błędów określenia kierunków paleomagnetycznych. Na uwagę zasługuje fakt, że preferowany tutaj kredowy wiek paleomagnetyczny uranonośnej mineralizacji polimetaliczno-fluorytowej z Kletna nawiązuje do wieku paleomagnetycznego części żyłowej mineralizacji kalcytowej z Gór Świętokrzyskich (Lewandowski, 1999). Zmienna polarność kierunku paleomagnetycznego z Kletna wskazuje, że proces mineralizacji musiał być znacząco rozciągnięty w czasie. Możliwość kredowego wieku paleomagnetycznego mineralizacji cynkowo-ołowiowej z regionu śląsko-krakowskiego mogą wspierać np. wyniki oznaczeń Rb-Sr (Heijen i in., 2003).

### WNIOSKI

Porównanie położenia bieguna paleomagnetycznego, otrzymanego ze strefy mineralizacji „Rote Fäule” w niecce północnosudeckiej, ze skorygowaną o błąd inklinacji referencyjną krzywą pozornej wędrówki bieguna charakterystycznego dla „stabilnej” Europy wskazuje, że mineralizacja ta powstała nie później niż ok. 250 mln lat temu, obejmując skały, które jeszcze nie uległy kompaktacji pod nadkładem triasowym.

Biegun paleomagnetyczny otrzymany z zawierających mineralizację cynkowo-ołowiową dolomitów kruszconych regionu śląsko-krakowskiego nie dowodzi jej kenozoicznego wieku, ponieważ w granicach błędu obejmuje również kredowy fragment krzywej referencyjnej.

Wczesnokredowy wiek paleomagnetyczny jest najbardziej prawdopodobny w przypadku strefy uranonośnej mineralizacji polimetaliczno-fluorytowej w Kletnie.

Bardzo dziękuję recenzentom Krzysztofowi Nejbortowi i Rafałowi Szaniawskiemu za konstruktywne uwagi, które niewątpliwie przyczyniły się do ulepszenia pierwotnej wersji manuskryptu.

### LITERATURA

- BECHTEL A., ELLIOT W.C., WAMPLER J.M. & OSZCZEPALSKI S. 1999 – Clay mineralogy, crystallinity, and K-Ar ages of illites within the Polish Zechstein Basin: implications for the age of Kupferschiefer mineralization. *Econ. Geol.*, 94: 261–272.
- CHRZĄSTEK A. & WOJEWODA J. 2011 – Mezozoik południowo-zachodniej Polski (synklina północnosudecka). [W:] Żelazniewicz A., Wojewoda J. & Cieżkowski W. (red.), *Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska. Przewodnik LXXXI Zjazdu PTG*, Wrocław: 1–10.
- HEIJEN W., MUCHEZ P., BANKS D., SCHNEIDER J., KUCHA H. & KEPPELS E. 2003 – Carbonate-Hosted Zn-Pb Deposits in Upper Silesia, Poland: Origin and Evolution of Mineralizing Fluids and Constraints on Genetic Models. *Econ. Geol.*, 98: 911–932.
- JOWETT E.C., PEARCE G.W. & RYDZEWSKI A. 1987 – A Mid-Triassic paleomagnetic age of the Kupferschiefer mineralization in Poland based on a revised apparent polar wander path for Europe and Russia. *J. Geoph. Res.*, 92: 581–598.
- MIKULSKI S.Z. & STEIN H.J. 2010 – Re-Os age of chalcopyrite sample from the Lubin Cu-Ag mine, Kupferschiefer, SW Poland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (12S), A708, Suppl 1.
- MIKULSKI S.Z. & STEIN H.J. 2015 – Re-Os Ages for Ag-Bearing Cu Sulphide Ores from the Kupferschiefer in Poland. *Mineral Resources in a Sustainable World, 13<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting 2015. Proceedings*, 2: 607–610.
- LEWANDOWSKI M. 1999 – A palaeomagnetic study of fracture fills in the Holy Cross Mountains of Central Poland and its application in dating tectonic processes. *Geophys. J. Inter.*, 137 (3): 783–792.
- NAWROCKI J. 2000 – Clay mineralogy, crystallinity, and K-Ar ages of illites within the Polish Zechstein Basin: implications for the age of Kupferschiefer mineralization – a discussion. *Econ. Geol.*, 95: 241–244.
- OSZCZEPALSKI S. 1999 – Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Min. Dep.*, 34 (5): 599–613.
- PIESTRZYŃSKI A., WODZICKI A. & BANASZAK A. 1996 – Złoto w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 44 (11): 1098–1102.
- SOBIEN K. & NAWROCKI J. 2011 – Palaeomagnetic and petromagnetic study of uranium-bearing polymetallic-fluorite mineralization in the Orlik-Kładsko crystalline complex (near Kletno, Lower Silesia, Poland). *Geol. Quart.*, 54 (3): 325–336.
- SYMONS D.T.A., SANGSTER D.F. & LEACH D.L. 1995 – A Tertiary Age from Paleomagnetism for Mississippi Valley-Type Zinc-Lead Mineralization in Upper Silesia, Poland. *Econ. Geol.*, 90: 782–794.
- TORSVIK T.H., VAN DER VOO R., PREEDEN U., MAC NIOCAILL C., STEINBERGER B., DOUBROVINE P.V., VAN HINSBERGEN D.J.J., DOMEIER M., GAINA C., TOHVER E., MEERT J.G., McCAUSLAND P.J.A. & COCKS L.R.M. 2012 – Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth Sci. Rev.*, 114: 325–368.
- WODZICKI A. & PIESTRZYŃSKI A. 1994 – Au ore genetic model for the Lubin-Sieroszowice mining district, Poland. *Min. Dep.*, 29 (1): 30–43.

Praca wpłynęła do redakcji 28.07.2016 r.

Akceptowano do druku 10.11.2016 r.