

Przedfaldowa pozostałość magnetyczna intruzji diabazów z synkliny Barda w Górach Świętokrzyskich

Jerzy Nawrocki*

Przedmiotem badań paleomagnetycznych były dwa odsłonięcia diabazów znajdujące się na dwóch przeciwległych skrzydłach synkliny Barda (region południowy Gór Świętokrzyskich). Pozytywny wynik testu faldowego umożliwił zdefiniowanie wieku charakterystycznej pozostałości magnetycznej na późny ludlow–wczesny żedyn. Zbieżność obliczonego paleobieguny (Lat. = 12°S, Long. = 340°E) z ludlowskim odcinkiem krzywej referencyjnej dla kontynentu Baltiki, a także przesłanki geologiczne wskazują, że najprawdopodobniejszy jest jej późnoludlowski wiek. Dane paleomagnetyczne z synkliny Barda świadczą, że tuż przed deformacjami wieku młodokaledońskiego badany obszar znajdował się już w swoim obecnym położeniu przy platformie wschodnioeuropejskiej. Dane te nie wspierają hipotezy o wielkoskalowym przemieszczeniu i prawoskrętnej rotacji południowej części Gór Świętokrzyskich w epoce waryscyjskiej.

Słowa kluczowe: Góry Świętokrzyskie, diabazy, paleomagnetyzm

Jerzy Nawrocki — Prefolding remanent magnetization of diabase intrusion from the Bardo syncline in the Holy Cross Mts (Central Poland). *Prz. Geol.*, 47: 1101–1104.

S u m m a r y. Diabase intrusion cropping out in the Bardo syncline (southern region of the Holy Cross Mts) was paleomagnetically investigated. Positive results of paleomagnetic fold test enabled to define the age of characteristic remanent magnetization as the late Ludlovian–early Gedinian. Geological evidences point to its late Ludlovian age. Paleomagnetic pole (Lat. = 12°S, Long. = 340°E) fits well to the Ludlovian segment of the Baltic apparent polar wander path. Hence paleomagnetic data indicate that the Bardo area was located in the present position at the margin of the East European Platform as early as the latest Silurian. They do not support hypothesis about large-scale rotation of southern region of the Holy Cross Mts in the Variscan time.

Key words: Holy Cross Mts, diabases, paleomagnetism

Od wielu lat Góry Świętokrzyskie są miejscem intensywnych badań paleomagnetycznych. Jak do tej pory przedmiotem ich były wyłącznie skały osadowe. Uzyskane dane paleomagnetyczne posłużyły do powstania oryginalnej koncepcji geotektonicznej. Jej autor — Lewandowski (1993), opierając się na wynikach analizy paleomagnetycznej dewońskich i ordowickich piaskowców z południowej części Gór Świętokrzyskich, dowodzi, że w okresie waryscyjskim region ten uległ prawoskrętnej rotacji o amplitudzie około 60°. Rotacja ta była związana z wielkoskalowym, prawoskrętnym przemieszczeniem południowej części Gór Świętokrzyskich wzdłuż krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej. Przed dewonem obszar ten znajdował się w pobliżu Krymu. Zdaniem Nawrockiego (1993a, b), uzyskane na obszarze Górnego Śląska dane paleomagnetyczne nie wspierają powyższej koncepcji, a raczej przemawiają za względnie stacjonarnym modelem waryscyjskiej ewolucji geotektonicznej obszaru zawartego między Sudetami a krawędzią platformy wschodnioeuropejskiej. Prawoskrętne przemieszczenie masywu małopolskiego wzdłuż krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej mogło rzeczywiście mieć miejsce, tylko że nie w okresie waryscyjskim, lecz we wczesnym paleozoiku (Nawrocki, 1994).

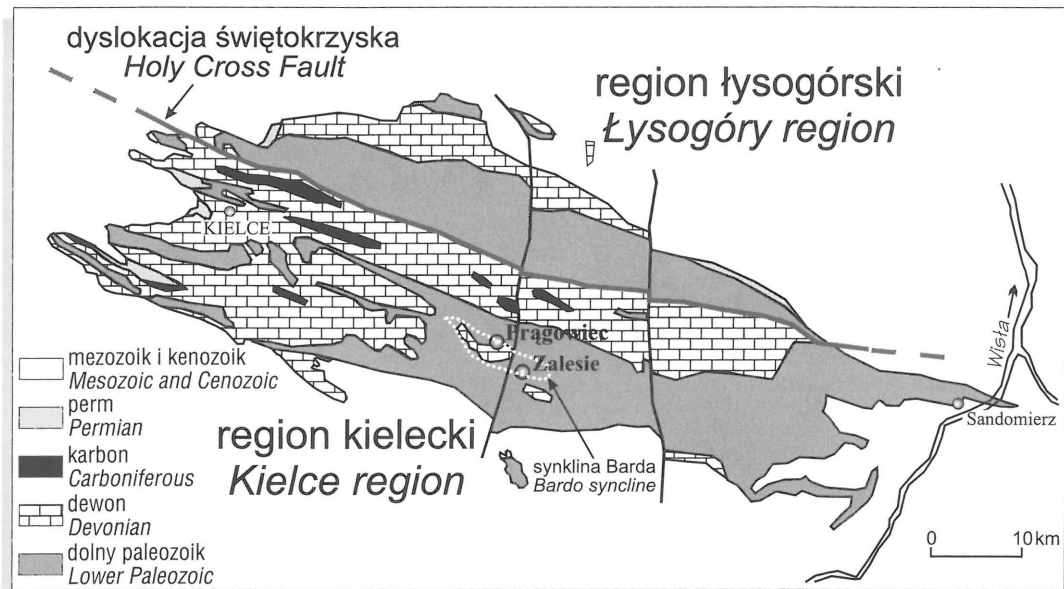
Od odkrycia diabazów w skałach ludlowu z synkliny Barda minęło już 80 lat (Czarnocki, 1919). Od tego czasu skały te były przedmiotem wszechstronnych badań geologicznych, których celem było określenie ich rozprzestrzenienia, genezy i wieku. Początkowo sądzono, że są one intruzjami karbońskimi (np. Czarnocki, 1939). Następnie zaczął przeważać pogląd, że reprezentują późnosylurski wylew podmorski (np. Małkowski, 1954). Wykonane później szczegółowe studia kartograficzne doprowadziły

do powstania obowiązującego do dzisiaj modelu intruzji bardziańskiej. Stwierdzono, że diabazy bardziańskie występują wyłącznie na pograniczu dolnego i górnego ludlowu. Nie można ich jednak w każdym miejscu uznać za typową sill, gdyż miejscami przyjmują pozycję lekko skośną do zdefiniowanych za pomocą fauny graptolitowej późnosylurskich horyzontów chronostratygraficznych (Kowalczewski & Lisik, 1974). Wykonane w okolicy Prągowca wiercenia badawcze dostarczyły dowodów wskazujących ponad wszelką wątpliwość, że występujące tam diabazy wraz ze skałami syluru są niezgodnie przykryte osadami emsu (Kowalczewski & Lisik, 1974). Tak więc skały te należy uznać za młodsze od pogranicza dolnego i górnego ludlowu a starsze od emsu. Diabazy bardziańskie wspólnie z utworami sylurskimi zostały zdeformowane w wyniku ruchów młodokaledońskich, których początek należy wiązać najprawdopodobniej ze schyłkiem ludlowu (Stupnicka, 1995) lub z późnym żedynem (Kowalczewski & Migaszewski, 1993; Malec, 1993). Stąd można wnioskować, że diabazy te nie powinny być młodsze od wczesnego żedynu. Jeszcze bardziej wiek diabazów bardziańskich zawęża interpretacja Przybyłowicz i Stupnickiej (1991). Ich zdaniem fakt, że występowaniu silli i żył diabazów w miejscu krzyżowania się uskóków (Kowalczewski & Lisik, 1974) towarzyszą zwiększone miąższości późnoludlowskich szarogłazów niewachłowskich, może wskazywać na istnienie zbieżności między drogami wydobywania się materiału wulkanicznego w czasie sedimentacji szarogłazów oraz migracji magmy w czasie tworzenia się silli i żył diabazowych.

Miejsca, zakres i metodyka badań

Próbki do badań paleomagnetycznych pobrano z dwóch odsłoneń znajdujących się na przeciwległych skrzydłach synkliny Barda (ryc. 1). Z odsłoneń w Zale-

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: jnaw@pgi.waw.pl



Ryc. 1. Synklina Barda z zaznaczonymi miejscami badań paleomagnetycznych na tle zgeneralizowanej mapki trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich
Fig. 1. The Bardo syncline and sampling localities on the background of generalized geological map of the Holy Cross Mts

siu, w którym skały ludlowu i przenikający je diabaz zapadają pod kątem 38° na NNE, pobrano połową wiertarką 25 próbek. Drugie odsłonięcie to od wielu lat opisywana (Czarnocki, 1919; Tomczyk, 1962; Kowalczewski & Lisik, 1974) wychodnia diabazów, znajdująca się u wylotu jaru Prągowiec do rzeczki Kierdonki. W otoczeniu opróbowanego fragmentu intruzji skały ludlowu zapadają średnio pod kątem 52° na SSW. Sama intruzja ma nieco stromszy upad. Znajdujące się w pobliżu wschodnie skał dewońskich charakteryzuje dużo mniejsza wartość upadu (15° na SSW). Z odsłonięcia Prągowiec pobrano 19 próbek do badań paleomagnetycznych.

Pilotowe próbki poddano rozmagnesowaniu termicznemu oraz rozmagnesowaniu zmiennym polem magnetycznym. Skuteczniejszą metodą okazało się rozmagnesowanie zmiennym polem magnetycznym. Dlatego zasadniczy zbiór prób rozmagnesowano właśnie tą metodą.

Naturalną pozostałości magnetyczną (NRM) mierzono za pomocą magnetometru rotacyjnego JR-5, natomiast podatność magnetyczną i jej anizotropię — mostkiem KLY-2. Składowe namagnesowania wyodrębniano stosując program oparty na algorytmie Kirschvinka (1980).

Otrzymane kierunki poddano testowi fałdowemu McFadena (1990). Nośniki namagnesowania badano analizując krzywe termomagnetyczne oraz obrazy uzyskane pod mikroskopem elektronowym.

Artykuł ten nie zawiera opisu wyników analiz petromagnetycznych. Ich rezultaty można sprowadzić do stwierdzenia, że charakterystyczna pozostałość magnetyczna próbek z obydwu badanych odsłonięć jest oparta na drobnoziarnistym magnetycie, natomiast osie anizotropii podatności magnetycznej nie wykazują żadnej zbieżności z wyodrębnionym kierunkiem charakterystycznym. Ziarna magnetytu powstały w wyniku wysokotemperaturowego utlenienia tytanomagnetytu. Utlenienie to doprowadziło do odmieszania fazy ilmenitowej i podziału dużych kryształów tytanomagnetytu na drobne, wysokokoercyjne ziarna magnetytu, już tylko nieznacznie wzbogacone w tytan.

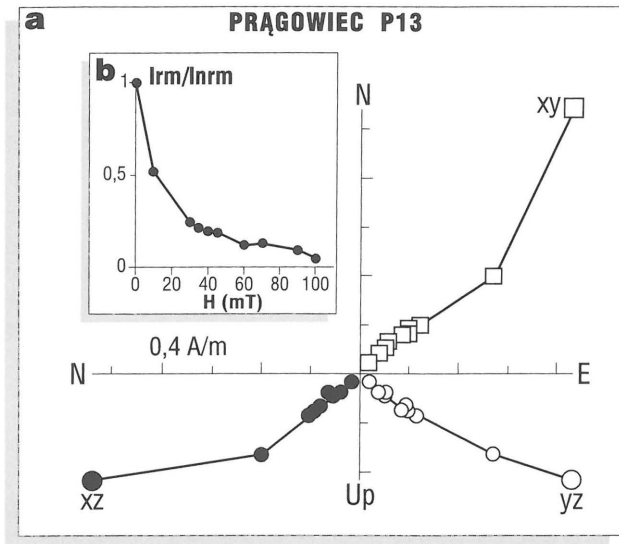
Wyniki badań paleomagnetycznych i ich dyskusja

Wartości natężeń NRM diabazów z Prągowca zawierały się w przedziale 0,3–1,1 A/m. Natężenia NRM próbek diabazów z Zalesia były średnio o jeden rząd wielkości

Tab. 1. Statystyka kierunku charakterystycznego uzyskanego z diabazów synkliny Barda

Odsłonięcie	n/N	Dane przed korekcją tektoniczną				Dane po korekcji tektonicznej					
		D	I	α_{95}	K	D	I	α_{95}	K	Lat.	Long
Prągowiec	15/2	89	-74	3,4	127	42	-31	3,3	134,7	13°S	340°E
Zalesie	24/3	39	6	3,3	82,2	42	-32	3,3	83,6	12°S	340°E
Prągowiec, Zalesie	39/5	47	-25	50,5	3,1	42	-32	3,4	505,4	12°S	340°E
										dp=2	dm=4

n — liczba próbek, N — liczba miejsc opróbowania, D — deklinacja, I — inklinacja, α_{95} , K — parametry statystyki Fishera, Lat. — szerokość geograficzna paleobieguny, Long. — długość geograficzna paleobieguny, dp — błąd odległości pomiędzy miejscem badań a paleobiegunem, dm — błąd paleodeklinacji

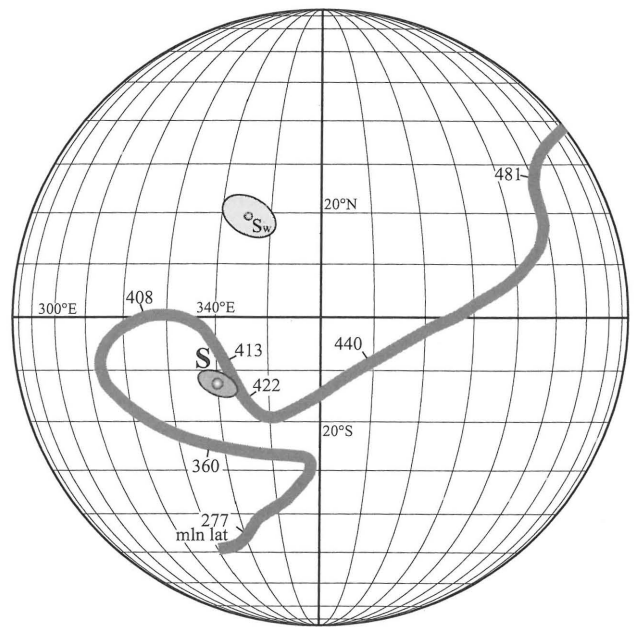


Ryc. 2. Wyniki rozmagnesowania zmiennym polem magnetycznym próbki diabazu z odsłonięcia Prągowiec; a — projekcja ortogonalna (diagram Zijdervelda) ścieżki rozmagnesowania w układzie po korekcy tektonicznej (x, y, z — płaszczyzny projekcji), b — znormalizowana krzywa spadku natężenia pozostałości magnetycznej z biegiem rozmagnesowania zmiennym polem magnetycznym wykreślona dla tej samej próbki co diagram ortogonalny (Irm — natężenie pozostałości na danym poziomie rozmagnesowania, Inrm — natężenie początkowe). Przy konstrukcji obydwu wykresów zastosowano program komputerowy PDA (Lewandowski i in., 1997)

Fig. 2. Results of alternating field demagnetization of diabase sample from Prągowiec; a — orthogonal projection (Zijderveld diagram) of demagnetization path presented after tectonic correction (x, y, z — planes of projection), b — normalized intensity decay curve prepared for the same sample from Prągowiec (Irm — intensity of the remanence at a given demagnetization level, Inrm — initial magnetization). Both plots were prepared using PDA package (Lewandowski et al., 1997)

wyższe. W próbkach z obydwu odsłonięć w trakcie rozmagnesowania w polach wyższych od 20 mT obserwowano tylko jedną składową NRM (ryc. 2). Związane z tą składową kierunki charakterystyczne poddano obróbce statystycznej. Bardzo dobrą zbieżność średniego kierunku z Prągowca oraz średniego kierunku z Zalesia (liczonych na poziomie statystycznym prób) otrzymano po wykonaniu całkowitej korekcy tektonicznej (tab. 1). Częściowa korekcy tektoniczna kierunku z Prągowca, uwzględniająca synwarwycyjskie wychylenie skał dewonu, nieznacznie tylko zmniejsza ogromną rozbieżność kierunków z Prągowca i Zalesia, obserwowaną w układzie przed korekcy tektoniczną. Ponadto kierunek z Prągowca, otrzymany po częściowej korekcy tektonicznej, charakteryzuje inklinacja ($I = -65^\circ$) trudna do zaakceptowania ze względu na ogólnie znane posylurskie ramy paleogeograficzne obszaru badań.

Idealna zbieżność kierunków średnich z Prągowca i Zalesia po całkowitej korekcy tektonicznej wskazuje, że kierunki te utrwaliły się przed deformacją utworów syluru. Potwierdzeniem tego wniosku jest pozytywny wynik testu fałdowego McFadena (1990), w którym dla analizownych kierunków wartość krytyczna rozkładu Fishera na poziomie 95% ufności wynosi 3,57, natomiast wartość diagno-



Ryc. 3. Otrzymany z diabazów synkliny Barda biegun paleomagnetyczny S na tle bałtyckiej krzywej wędrówki paleobieguna. Krzywą bałtycką o interwałach czasowych zdefiniowanych według skali Palmera (1983) sporządzono za pomocą programu GMAP (Torsvik & Smethurst, 1994). Biegun Sw jest biegunem otrzymanym z diabazów z odsłonięcia Prągowiec, przedstawionym po częściowej korekcy tektonicznej, w której uwzględniono wyłącznie deformacje pokaledońskie

Fig. 3. Ordovician-Permian Apparent Polar Wander Path for Baltica and the paleopole of Bardo diabases (labeled S). The APWP with the ages defined according to Palmer's (1983) scale was constructed using the GMAP display package (Torsvik & Smethurst, 1994). Paleopole Sw from Prągowiec diabase intrusion was presented after partial tectonic correction for post-Caledonian deformations only

stycznego parametru SCOS1 jest równa 0,356. Tak więc już na tym etapie analizy można zawęzić wiek utrwalonej w diabazach z synkliny Barda pozostałości magnetycznej jak też i samej intruzji, która wnikała w poziomo zalegające skały syluru, do przedziału późny ludlow-wczesny żedyn. Wysokie wartości natężenia pozostałości magnetycznej przy braku przejawów regionalnego podgrzania skał otaczających (Bełka, 1990), a także wyniki analiz nośników namagnesowania wskazują, że pozostałość ta może być pierwotną, termiczną lub termochemiczną pozostałością magnetyczną.

Biegun paleomagnetyczny, obliczony dla wszystkich próbek z synkliny Barda, porównano z krzywą pozornej wędrówki paleobieguna referencyjną dla kontynentu Baltiki (ryc. 3). Biegun ten jest zbieżny z odcinkiem krzywej o wieku zawartym między 420 a 412 mln lat, co odpowiada ludlowowi (Palmer, 1983). Jest to wiek skał, w których występuje intruzja. Wyniki testu fałdowego wskazują na przeddeformacyjną genezę charakterystycznej pozostałości magnetycznej. Jak już wspomniano na wstępie, w południowej części Gór Świętokrzyskich początek ruchów młodokaledońskich jest datowany na późny ludlow (Stupnicka, 1995) lub późny żedyn (Kowalczewski & Migaszewski, 1993; Malec, 1993). Stąd badane diabazy

bardziańskie należy uznać za starsze od schyłku ludlowu lub późnego żedynu. Nie można zatem wykluczyć nieco młodszego od ludlowu, związanego z przydoli lub wczesnym żedynem wieku diabazów i zarazem wieku charakterystycznej pozostałości magnetycznej. Takie rozwiązanie jest jednak mniej prawdopodobne ze względu na przesłanki geologiczne wskazujące na powstanie intruzji w okresie późnego ludlowu.

Za tym wiekiem przemawia istnienie zbieżności między drogami wydobywania się materiału wulkanicznego w czasie sedymentacji późnoludlowych szarogłazów niewachlowskich oraz migracji magmy w czasie tworzenia się sillii i żył diabazowych (Przybyłowicz & Stupnicka, 1991). Innym argumentem wspierającym ludlowski wiek badanych diabazów jest fakt ich przywiązania do wąskiego interwału stratygraficznego tj. pogranicza dolnego i górnego ludlowu. Utrwalenie się charakterystycznej pozostałości magnetycznej po ludlowie, we wczesnym żedynie lub przydoli, implikowałoby posylurską, niewielką (kilkunastostopniową) lewoskrętną rotację badanych skał, niezbędną do sprowadzenia otrzymanego tutaj paleobieguna na późnosylurski odcinek krzywej referencyjnej.

Niezależnie od tego, czy otrzymany biegun jest wieku późnoludlowskiego, czy też jest nieco młodszy, nie popiera on koncepcji postkaledońskich, wielkoskalowych ruchów przesuwczych wzdłuż krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej (Badham, 1982; Pegrum, 1984; Lewandowski, 1993), jak również nie wskazuje na występowanie posylurskich lokalnych, prawoskrętnych rotacji badanych skał. Tego rodzaju przemieszczenia tektoniczne nie towarzyszyły także deformacjom późnokaledońskim, w wyniku których powstały zręby synkliny Barda.

Wnioski

1. Biegun paleomagnetyczny, który wyodrębniono z odsłaniających się w synklinie Barda diabazów, jest oparty na pozostałości magnetycznej utrwalonej przed deformacją badanych skał tj. w przedziale późny ludlow (wiek najmłodszych skał zawierających intruzję) — wczesny żedyn.

2. Bardzo dobra zbieżność bieguna z synkliny Barda z ludlowskim odcinkiem krzywej referencyjnej dla kontynentu Baltiki jest argumentem wspierającym koncepcje geologiczne wskazujące na taki właśnie wiek bardziańskiej intruzji.

3. Jeśli pozostałość magnetyczna diabazów z synkliny Barda rzeczywiście utrwaliła się w późnym ludlowie, co jest bardzo prawdopodobne, to położenie otrzymanego bieguna na równowiekowym odcinku krzywej referencyjnej upoważnia do stwierdzenia, że tuż przed deformacjami późnokaledońskimi południowa część Gór Świętokrzyskich znajdowała się już w tej samej pozycji w odniesieniu do krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej co i dzisiaj. Od późnego syluru nie uległa ona znaczącej rotacji.

4. Mniej prawdopodobny, nieco późniejszy, odnoszący się do przełomu syluru i dewonu (tj. przydoli lub wczesnego żedynu) wiek intruzji diabazowej i zarazem pozostałości magnetycznej, implikowałby niewielką (kilkunastostop-

niową), lewoskrętną rotację tektoniczną badanych skał. Nawet i to rozwiązanie nie wspiera więc koncepcji waryscyjskich wielkoskalowych ruchów przesuwczych wzdłuż krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej i związanej z nimi prawoskrętnej rotacji południowej części Gór Świętokrzyskich.

Składam gorące podziękowania Stasi Zbroi, Zdzisławowi Migaszewskiemu, Sylwestrowi Salwie (wszyscy z Oddziału Świętokrzyskiego PIG) za wskazanie i pomoc przy opróbowaniu odsonięć. Dziękuje również doc. Zbigniewowi Kowalczewskiemu za cenne informacje geologiczne. Pracę wykonano w ramach programu badań regionalnych *Paleozoiczna akrecja Polski*.

Literatura

- BADHAM G.P.N. 1982 — Strike-slip orogens - an extrapolation for the Hercynides. *J. Geol. Soc. Lond.*, 139: 493–504.
- BELKA Z. 1990 — Thermal maturation and burial history from Conodont Alteration Data, Holy Cross Mountains, Poland. *Courier Forsch.-Inst., Senckenberg*, 118: 241–251.
- CZARNOCKI J. 1919 — Stratygrafia i tektonika Gór Świętokrzyskich. *Pr. Tow. Nauk. Warsz.*, 28: 1–177.
- CZARNOCKI J. 1939 — Sprawozdanie z badań terenowych wykonanych w Górach Świętokrzyskich w 1938 r. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 15: 1–27.
- KIRSCHVINK J. 1980 — The least square line and plane and analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 62: 699–718.
- KOWALCZEWSKI Z. & LISIK R. 1974 — Nowe dane o diabazach i budowie geologicznej okolic Pragowca w Górach Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.*, 275: 113–158.
- KOWALCZEWSKI Z. & MIGASZEWSKI Z. 1993 — Key problems of the Tectonics and Stratigraphy of the Paleozoic Rocks in the Holy Cross Mountains. *Europe Symposium, Jabłonna 1991. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.*, A–20: 99–105.
- LEWANDOWSKI M. 1993 — Paleomagnetism of the Paleozoic rocks of the Holy Cross Mts (Central Poland) and the origin of the Variscan orogen. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 265: 1–85.
- LEWANDOWSKI M., WERNER T. & NOWOŻYŃSKI K. 1997 — PDA — a package of FORTRAN programs for paleomagnetic data analysis. *Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, Warsaw.
- MALEC J. 1993 — Upper Silurian and Lower Devonian in the western Holy Cross Mts. *Geol. Quart.*, 37: 501–536.
- MAŁKOWSKI S. 1954 — O przejawach wulkanizmu w dziejach geologicznych Gór Świętokrzyskich. *Acta Geol. Pol.*, 4: 1–52.
- McFADDEN P.L. 1990 — A new fold test for paleomagnetic studies. *Geophys. J. Int.*, 103: 163–169.
- NAWROCKI J. 1993a — 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. 1993b — Nowy środkowodewoński biegun paleomagnetyczny z antykliny Siewierza — upadek koncepcji waryscyjskich, wielkoskalowych ruchów przesuwczych wzdłuż SW krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej !? *Prz. Geol.*, 41: 853–856.
- NAWROCKI J. 1994 — Paleomagnetyzm osadów dewonu i karbonu z obszaru śląsko-krakowskiego. *CAG Państw. Inst. Geol.*
- PALMER A.R. 1983 — The decade of North American geology (DNAG) 1983 geological time scale. *Geology*, 11: 503–504.
- PEGNUM R.M. 1984 — The extension of the Tornquist Zone in the Norwegian North Sea. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 64: 39–68.
- PRZYBYŁOWICZ T. & STUPNICKA E. 1991 — Przejawy wulkanizmu w ordowiku i sylurze południowej części Gór Świętokrzyskich. *Arch. Miner.*, 47: 137–154.
- STUPNICKA E. 1995 — Fazy ruchów tektonicznych w górnym sylurze i dolnym dewonie w południowej części Gór Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, 43: 110–112.
- TOMCZYK H. 1962 — Problem stratygrafii ordowiku i syluru w Polsce w świetle ostatnich badań. *Pr. Inst. Geol.*, 35: 1–83.
- TORSVIK T.H. & SMETHURST M.A. 1994 — GMAP for Windows — Geographic Mapping and Paleoreconstruction Package (Manual). *NGU, Trondheim*.