

Próba korelacji wyników analizy strukturalnej trzonu granitoidowego Tatr Wysokich i jednostek płaszczowinowych

Edyta Jurewicz*

W pracy zestawiono wyniki rekonstrukcji alpejskiego pola naprężeń dla trzonu granitoidowego Tatr Wysokich, otrzymane z analizy struktur ślizgowych na powierzchniach luster tektonicznych oraz wyniki uzyskane z diagramów położenia warstw dla jednostek płaszczowinowych, którym przywrócono położenia sprzed młodotrzeciorzędowej rotacji. W obu przypadkach uzyskano zbieżne wyniki wskazujące, że w toku nasunięć płaszczowinowych miała miejsce zmiana kierunku kompresji z NW na N (bez uwzględniania dokumentowanych paleomagnetycznie rotacji poziomych). Możliwe też, że za tę zmianę jest odpowiedzialna przeciwna do ruchu wskazówek zegara rotacja podłoża (w sumie o ok. 45°) zachodząca w stałym polu naprężeń.

Słowa kluczowe: Tatry, płaszczowiny reglowe i wierchowe, fałdowania alpejskie, oś kompresji

Edyta Jurewicz — **Tentative correlation of the results of structural analysis in the granitoid core and nappe units of the Tatra Mts. (southern Poland).** Prz. Geol., 48: 1014–1018.

Summary. The paper presents reconstruction of the Alpine stress field for the granitoid core of the High Tatra Mts, based on slickensides, and for the nappe units, based on pole diagrams at positions prior to the Tertiary rotation. Similar results were obtained in both cases, pointing that a change of the direction of compression from NW to N (excluding paleomagnetically documented horizontal rotations) took place during napping and thrusting. The change could also be caused by a counterclockwise rotation of the basement (max. 45°) taking place in a constant stress field.

Key words: Tatra Mts, High-Tatric nappes, Sub-Tatric nappes, Alpine folding, compressile axis

Badania prowadzone w trzonie granitoidowym Tatr Wysokich (ryc. 1A) dotyczące rekonstrukcji pola naprężeń z etapu fałdowań płaszczowinowych (Jurewicz, 2000) w połączeniu z wynikami badań paleomagnetycznych uzyskanymi przez Grabowskiego (1997a, b), pozwoliły postawić tezę o zmieniającym się położeniu osi naprężenia

głównego związanego z fałdowaniami alpejskimi. Z jednej strony mogło to wynikać ze zmiany kierunku kompresji, z drugiej — z poziomej rotacji w podłożu nasuwających się jednostek płaszczowinowych. Celem uzyskania bardziej precyzyjnych informacji dotyczących przebiegu zdarzeń, wyniki z trzonu granitoidowego Tatr Wysokich zostały wstępnie skorelowane z opracowaniami z pokrywy osadowej. Niniejsza praca nie pretenduje do syntezy regionalnej, lecz ma za zadanie wskazanie na nie-

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-081 Warszawa; e-mail: edytaj@geo.uw.edu.pl

które aspekty metodyczne, szczególnie zaś na wykazanie konieczności uwzględnienia przed interpretacją dotyczącą fałdowań płaszczowinowych młodotrzeciorzędowej rotacji bloku tatrzańskiego. Rotacja ta była wykazywana m.in. w pracach Piotrowskiego (1978), Bac-Moszaszwili i in. (1984), Kováč i in. (1994), Sperner (1996).

Punktem wyjścia do zastosowania poniższej metody obróbki danych były wyniki uzyskane z analizy populacji struktur ślizgowych z alpejskich epidotowo-kwarcowych luster tektonicznych, która została przeprowadzona w oparciu o program komputerowy TectonicsFP (Jurewicz, 2000). Analiza ta, wykonana czterema metodami dała zbliżone wyniki. Po zastosowaniu rotacji danych przywracających badanemu zbiorowi luster tektonicznych i rys ślizgowych orientację z przed poeocenijskiej rotacji uzyskane zostały w przybliżeniu poziome położenia osi naprężenia głównego (a więc takie, jakich należało się spodziewać w trakcie powstawania nasunięć płaszczowinowych). Jedną ze stosowanych metod, P-B-T (opracowana przez Turnera (1953) dla lamelek bliźniaczych w kalcycie i zaadoptowana do programu komputerowego TectonicsFP), przedstawia wyniki rekonstrukcji osi naprężeń dla każdego uskoku oddzielnie, dzięki czemu można graficznie przeanalizować rozrzut uzyskanych wyników (ryc. 1Ba). Jak pokazuje diagram uśrednione położenie osi kompresji (P), ustalone poprzez wykreślenie stożka ufności, wskazuje na jej południkowy kierunek. Wynik ten nie jest sam w sobie żadnym odkryciem, jednak na uwagę zasługuje fakt układania się zrekonstruowanych osi P wzdłuż nieznacznie odchylonego od poziomu kręgu sferycznego (o ok. 15°). Osie te wskazują na kierunek kompresji od NW-SE do N-S (od 140° do 180°), a jego zmiana może być związana z wykazywanymi przez Grabowskiego (1997a, b) metodami paleomagnetycznymi poziomymi rotacjami bloku tatrzańskiego. Rotacja pozioma bloku Tatr Wysokich o ok. 15° w lewo była też wykazywana na podstawie analizy kierunków uskoku przez Piotrowską (1997). Wówczas na zmieniające się na diagramie położenia osi P należałoby spojrzeć, jak na stopniową reorientację kierunku kompresji zachodzącą w czasie.

Taki rozkład położeń osi naprężeń domagał się poszukiwania potwierdzenia w jednostkach płaszczowinowych. W pokrywie osadowej uskoki (nasunięcia) mają nieregularny przebieg i noszą cechy wskazujące na powstanie z udziałem rozpuszczania pod ciśnieniem prowadzącym do stylolityzacji kontaktu (Bac-Moszaszwili i in., 1981; Jaroszewski, 1982; Plašienka & Soták, 1996). Charakter powierzchni uskoku sprawia, że nie można zastosować do nich metod statystycznej i geometrycznej analizy, które pozwoliłyby na rekonstrukcję układu naprężeń, jednak w samych diagramach położeń warstw można znaleźć dostateczną ilość informacji do przeprowadzenia analizy strukturalnej.

Metodyka badań

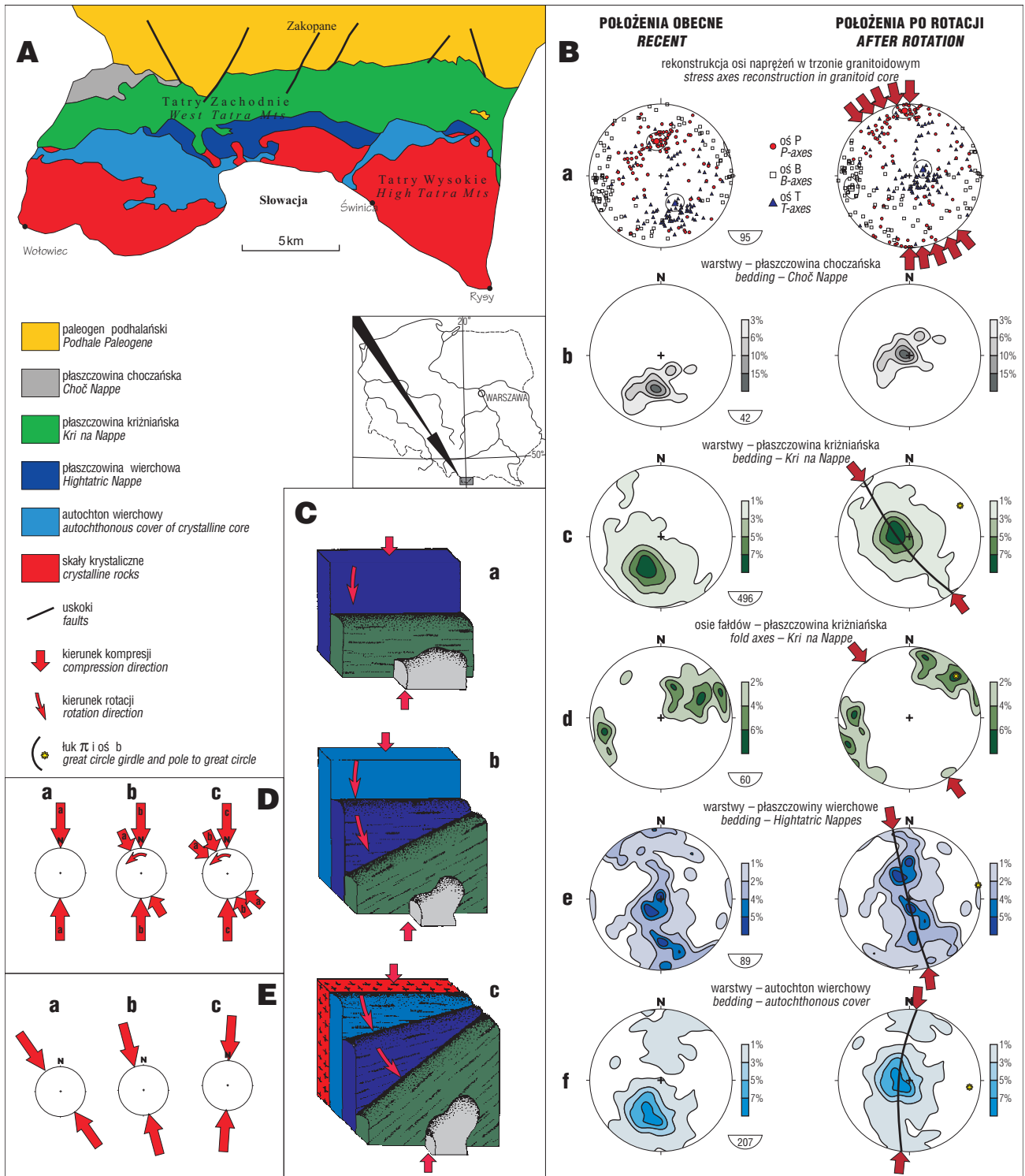
Poniższe zestawienie diagramów położeń warstw zostało wykonane dla polskiej części Tatr Zachodnich w oparciu o pomiary udostępnione przez M. Bac-Moszaszwili z badań prowadzonych w latach 1962–1984 w jednostkach regłowych (Bac, 1971, 1998), z parautochtonicznej pokrywy osadowej i jednostek wierchowych z pracy Jaroszewskiego (1963) i Piotrowskiego (1978) oraz własnych pomiarów zebranych w fałdzie Giewontu. Diagramy położeń warstw, spękań i lineacji b były prezentowane w

opracowaniach tektonicznych (np. Bac-Moszaszwili, 1971; Piotrowskiego, 1978), jednak same w sobie nie stanowiły przedmiotu analizy, czego powodem mógł być trudny do interpretacji rozkład biegunów. Chociaż wiele prac szczegółowo dokumentuje rotację bloku tatrzańskiego związaną z późnomiocenijskim wypiętrzeniem i uwzględnia ją w rekonstrukcjach tektonicznych (Piotrowski, 1978; Burchart, 1972; Bac-Moszaszwili i in., 1984; Kováč i in., 1994; Sperner, 1996), to nie były podejmowane próby rotacji położeń warstw na diagramach. Jednym z powodów mogła być uciążliwość takiej ręcznej rotacji, która dziś z zastosowaniem programów komputerowych (StereoNet, GEOrient, TectonicsFP i in.) stała się technicznie bardzo prosta. Programy te pozwalają również na jednoznacznie interpretację diagramów w oparciu o rachunek wektorowy (kalkulację uśrednionego wektora według algorytmu Davisa (1973), statystykę Fishera, konstrukcję łuku π i jego bieguny — osi b).

Przed przystąpieniem do analizy położeń warstw została wykonana rotacja danych (ryc. 1Ab–f) o kąt 40° ku południowi wokół poziomej osi o kierunku 90° równoległej do północnego brzegu Tatr (ryc. 1Bb–f), a więc dokładnie tak samo, jak w rekonstrukcji układu naprężeń na podstawie struktur ślizgowych w trzonie granitoidowym (Jurewicz, 2000). W ten sposób została im przywrócona pozycja, jaką mogły zajmować w trakcie alpejskich fałdowań płaszczowinowych. Rotacja ta ma duży wpływ na interpretację z uwagi na to, że jej oś jest skośna względem biegu niektórych struktur (np. w jednostce krizniańskiej). Jej efektem jest bardziej zwarty zbiór położeń warstw, niż danych wyjściowych. Należy również przy tej okazji zwrócić uwagę na fakt, że zwyczajowa interpretacja bazująca na konstrukcji kręgów sferycznych (łuków π) jest ścisła tylko w przypadku, jeśli rotacja prowadząca do wychylenia struktur miała miejsce wokół osi prostopadłej do jej biegu. Mając do czynienia z sytuacją odwrotną tzn. jeśli już obserwujemy na diagramie efekt rotacji czyli zbiór położeń warstw układający się wzdłuż łuku π , to nie mamy gwarancji, że wychylenie nastąpiło w płaszczyźnie prostopadłej do osi. Diagram taki nie zawiera żadnej informacji na temat orientacji osi rotacji, co najwyżej wskazuje na jej zwrot i minimalną wartość kąta wychylenia. Gdybyśmy nie mieli żadnych przesłanek na temat przebiegu osi rotacji, to — postępując zgodnie z zasadami sztuki — chcąc przywrócić warstwom, których bieguny układają się wzdłuż łuku π położenia wyjściowe, dokonali byśmy operacji polegającej na kładzie osi b, a wraz z nią rotacji biegunów warstw o kąt równy upadowi osi b. W przypadku jednostki krizniańskiej dałoby to w efekcie różnicę ok. 10° .

Analiza położeń warstw

Na rycinie 1B(b–f) zestawiono diagramy obecnych położeń warstw w poszczególnych jednostkach tektonicznych z diagramami po rotacji o kąt 40° ku południowi, poczynając od najwyższej płaszczowiny regłowej (choczańskiej), przez jednostkę regłową dolną (krizniańską), płaszczowiny wierchowe (fałd Giewontu i Czerwonych Wierchów) po autochton wierchowy. Do płaszczowiny choczańskiej włączono kontrowersyjne jednostki Furkaski i Korycisk, zaliczane niekiedy do płaszczowiny strażowskiej (Kotański, 1986; Iwanow & Wiczorek, 1987; por. Gaździcki & Michalik, 1980). Ich pozycja nie jest tu dyskutowana, gdyż z uwagi na swoje niewielkie rozmiary (i



Ryc. 1. A — szkic tektoniczny masywu tatrzańskiego (wg Bac-Moszaszwili i in., 1979); B — diagramy dla obecnej pozycji bloku tatrzańskiego oraz zrotowanej o kąt 40° ku południowi wokół poziomej osi o biegu 90°; a — rekonstrukcja osi naprężeń metodą P-B-T dla luster tektonicznych w trzonie granitoidowym (w programie TectonicsFP), b-f — położenia warstw (bieguny płaszczyzn) i osi fałdów (punkty przebiecia) w poszczególnych jednostkach tektonicznych (w programie StereoNet); C-D — schemat nasuwania się jednostek płaszczynowych przy założeniu stałego kierunku kompresji i rotacji podłoża w lewo; E — schemat zmian kierunków naprężeń przy założeniu nieruchomego podłoża

Fig. 1. A — tectonic sketch of the Tatra Mountains massif (after Bac-Moszaszwili et al., 1979); B — diagrams with the position of the Tatra Mts massif at present and after vertical rotation (40° southwards); a — reconstruction of stress axes in granitoid core basing on the P-B-T method (TectonicsFP); b-f — attitude of bedding (pole to plane) and fold axes in the tectonic units of the Tatra Mts (StereoNet); C-D scheme of napping and thrusting at the assumption that the direction of compression is constant and the basement rotates counterclockwise; E — scheme of changes of the stress directions at the assumption that the basement is motionless

związaną z nimi małą liczbę pomiarów) mają znikomą użyteczność w statystycznych metodach analizy mezostrukturalnej. W jednostce chochańskiej po rotacji danych uzyskany diagram wskazuje na płaskie, prawie poziome zaleganie warstw (ryc. 1Bb). Niestety, takie położenia warstw nie zawierają informacji o kierunku kompresji i kierunku transportu tektonicznego i są nieprzydatne do dalszej analizy.

W płaszczynie reglowej dolnej — krizniańskiej — diagram po rotacji wskazuje na generalnie płaskie zaleganie warstw, których upady na ogół nie przekraczają 20° (ryc. 1Bc). Na połogie położenia i brak większych struktur fałdowych zwracała uwagę Bac (1971) w jednostce Bobrowca. Płasko zalegające struktury imbrakcyjne z jednostki krizniańskiej opisują Plašienka i Prokesová (1996), które w ostatnim stadium ewolucji (późnym turonie) mogły przemieszczać się na drodze grawitacyjnych splotów (Plašienka, 1996).

Na uwagę zasługuje również układanie się biegunów płaszczyn wzdłuż łuku B (dającego się jednoznacznie wyinterpretować zarówno graficznie, jak i w programie StereoNet), którego oś (ok. $50^\circ/10^\circ$) jest nieznacznie nachylona ku północnemu wschodowi. Przebieg łuku π i położenie osi b wskazują na kierunek kompresji NW–SE (ok. 140°). Potwierdzeniem takiego kierunku kompresji jest diagram położenia osi fałdków, na którym najwyższe maksimum znajduje się w położeniu $50^\circ/10^\circ$ (ryc. 1Bd), a więc pokrywa się z położeniem osi b, jakie można wyinterpretować dla diagramu położenia warstw.

Duża liczba danych pochodzących z płaszczyny krizniańskiej umożliwiła wykonanie oddzielnego opracowania dla regli zachodnich i zakopiańskich oraz wyodrębnienie niektórych jednostek, jednak uzyskana zbieżność wyników pozwoliła na łączne potraktowanie wszystkich pomiarów bez zamieszczania diagramów cząstkowych.

Na diagramie położenia warstw dotyczącym jednostek wierchowych (fałdu Giewontu i Czerwonych Wierchów) nie zaznacza się taki stopień skupienia biegunów warstw, jak dla jednostek reglowych i rozkład ten wskazuje na zdecydowanie większy udział struktur fałdowych (ryc. 1Be). Orientacja kręgu sferycznego, wzdłuż którego układają się maksima wskazuje na poziome położenie osi b, a jej bieg pozwala określić kierunek kompresji na NNW–SSE (ok. 165°). Niewątpliwie jest dużym uproszczeniem łącznie rozpatrywanie położenia warstw w fałdzie Giewontu i Czerwonych Wierchów, gdyż wielokrotnie zwracano uwagę na różne kierunki transportu tektonicznego w obu tych jednostkach (Kotanski, 1961, 1963; Bac-Moszaszwili i in., 1984), jednak dla niniejszego opracowania istotne jest wyznaczenie kierunku kompresji odpowiedzialnego za powstanie fałdów wierchowych, ukazującego tendencje w zmianie względnej orientacji osi naprężeń. Dodatkowym powodem była stosunkowo mała ilość pomiarów nie pozwalająca na udokumentowanie zróżnicowania obu jednostek. Inna rzecz, że to wykazywane w cytowanych pracach zróżnicowanie mogło wynikać bardziej z interpretacji niezrotowanych danych, niż z różnych kierunków transportu tektonicznego. Problem ten wymagać będzie oddzielnej analizy.

Autochtoniczna pokrywa osadowa trzonu krystalicznego po rotacji o 40° ku południowi wykazuje płaskie zaleganie, dominują warstwy o upadach kilka, kilkanaście stopni (ryc. 1Bf). Wyinterpretowana na podstawie łuku π oś kompresji wykazuje orientację N–S (ok. 5°). Podobnie, jak w

jednostce krizniańskiej oś b zanurza się ku wschodowi ($95^\circ/12^\circ$).

Dyskusja wyników

Na diagramach położenia warstw dla jednostek płaszczynowych oraz w rekonstrukcji osi naprężeń na podstawie struktur ślizgowych metodą P-B-T dla trzonu granitoidowego po rotacji danych o 40° ku południowi zaznacza się taka sama tendencja zmiany orientacji osi kompresji odpowiedzialnej za alpejskie fałdowania płaszczynowe: od NW–SE do N–S. Wyjaśnienie tego zjawiska może być dwojakie: albo w toku nasunięć płaszczynowych przy stałym kierunku kompresji miała miejsce synfałdowa, przeciwna do ruchu wskazówek zegara rotacja w podłożu nasuwających się jednostek (ryc. 1C, D), albo kierunek kompresji zmieniał się od NW–SE do N–S (ryc. 1E). Wykazywane badaniami paleomagnetycznymi znaczne wartości kątów rotacji poziomych bloku tatrzańskiego, szacowane na podstawie przedsenońskiego namagnesowania w parautochtonicznej serii wierchowej Tatr na $23^\circ (\pm 6^\circ)$ zgodnie z ruchem wskazówek zegara (Grabowski, 1997a, b) przemawiają raczej za stałym kierunkiem kompresji i rotacją podłoża. Zakładając stałą orientację osi naprężeń głównego należałoby przyjąć, że pomiędzy nasunięciem się jednostek reglowych (ryc. 1Ca, 1Da) i fałdów wierchowych (ryc. 1Cb, 1Db) nastąpiło skrócenie podłoża o ok. 30° w lewo, a przed sfałdowaniem autochtonicznej pokrywy o kolejne 15° (również w lewo — ryc. 1Cc i 1Dc). Tak więc całkowitą rotację, jaka dokonała się w trakcie nasunięć płaszczynowych i która prawdopodobnie miała charakter ciągłego procesu, a nie jednorazowego aktu, można by oszacować na 45° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Zakładając skrócenie się podłoża pozostaje do rozstrzygnięcia kwestia przy jakim kierunku kompresji ona zachodziła.

Z badań paleomagnetycznych Grabowskiego (1997a, b) wynika, że w górnej kredzie ok. 90 mln lat temu miała miejsce rotacja zgodna z ruchem wskazówek zegara, a więc chcąc powrócić do początków fałdowań (z uwzględnieniem młodotrzeciorzędowej rotacji w lewo (Kováč & Márton, 1998; Márton i in., 1999), należałoby obrócić otrzymane wyniki w kierunku przeciwnym. Takie założenie zostało przyjęte w rekonstrukcji pól naprężeń w oparciu o struktury ślizgowe w trzonie granitoidowym (Jurewicz, 2000), na podstawie których otrzymany kierunek kompresji z położenia N–S został skrócony do położenia NNW–SSE. I tu zarysowuje się sprzeczność między wynikami badań paleomagnetycznych wskazujących na prawoskrętną rotację i wyników otrzymanych metodami analizy strukturalnej, do interpretacji których jeśli zastosujemy rotację, to w lewo. Pojawia się problem zmieszczenia w czasie fałdowań płaszczynowych wiązanych z fazą medyterańską (tj. po turonie a przed koniakiem — np. Lefeld, 1997) i być może należałoby rozpatrzyć ewentualność, że górnokredowa rotacja w prawo miała miejsce jeszcze przed fałdowaniami płaszczynowymi, a od początku ich trwania, aż po miocen utrzymuje się tendencja rotacji w lewo.

Opracowania dotyczące rotacji na podstawie badań paleomagnetycznych są zgodne jeśli chodzi o jej kierunek (przeciwny do ruchu wskazówek zegara) w młodszym trzeciorzędzie, różnice dotyczą jedynie wartości kąta rotacji: Kováč & Márton (1998) dowodzą 40–50-stopniowej rotacji w lewo mikroplaty ALCAPA w dolnym miocenie (ottangu); Fodor (1995) przyjmuje dla Karpat Zachodnich

3 fazy rotacji: 1) oligocen-eggenburg=35°; 2) ottang-karpat=20°; 3) badeńska=25° (w sumie 80°); Márton i in. (1999) na podstawie badań z terenu fliszu podhalańskiego określają kąt rotacji na ok. 60°. Większe rozbieżności dotyczą starszych jednostek tektonicznych i odleglejszych przedziałów czasowych (por. Kruczyk i in., 1992; Grabowski & Nemčok, 1999).

Na prezentowane wyniki należałoby też spojrzeć przez pryzmat badań prowadzonych w Karpatach przez Jarosińskiego (1997) i dotyczących współczesnych naprężeń w oparciu o analizę struktur breakouts w otworach wiertniczych. Doprowadziły one do wydzielenia trzech poziomów geodynamicznych, w których — począwszy od powierzchni — wraz z głębokością zmienia się kierunek kompresji od NNE (dla jednostek fliszowych) do NW (dla fundamentu metamorficznego i jego głębszej pokrywy osadowej). Wydaje się, że nie można wykluczyć, że współcześnie aktywne naprężenia mają związek z wcześniej założonymi i w pewnym stopniu odzwierciedlają tendencję zmiany orientacji kompresji w czasie. Zakładając taką możliwość — przy zaskakująco dużej, choć może przypadkowej zbieżności wyników, a na pewno tej samej tendencji zmian kierunku kompresji — należałoby przychylić się raczej do koncepcji prezentowanej na ryc. 1E.

Niniejszą pracę należałoby potraktować jako postawienie problemu dotyczącego korelacji badań paleomagnetycznych i strukturalnych, a nie jego rozwiązanie. W toku dalszych prac należałoby odpowiedzieć na dwa pytania:

1) czy fałdowania zachodziły przy stałym kierunku kompresji, a w trakcie ich trwania miała miejsce rotacja podłoża (ryc. 1C, D), czy też w toku fałdowań płaszczowinowych zmieniał się kierunek kompresji z NW–SE na N–S (ryc. 1E)?

2) czy, zakładając stały kierunek kompresji, należy założyć, że miał on orientację N–S, czy NW–SE?

Autorka składa podziękowania dr Marii Bac-Moszaszwili za pomoc i udostępnienie materiałów terenowych oraz prof. Krystynie Piotrowskiej, dr Jerzemu Piotrowskiemu i dr Jackowi Grabowskiemu za życzliwą i krytyczną dyskusję.

Literatura

- BAC M. 1971 — Tektonika jednostki Bobrowca w Tatrach Zachodnich. *Acta Geol. Pol.*, 21: 279–317.
- BAC-MOSZASZWILI M. 1998 — Budowa geologiczna jednostek reglowych Tatr Zachodnich. *Stud. Geol. Pol.*, 111: 113–136.
- BAC-MOSZASZWILI M., GAMKERLIDZE I.P., JAROSZEWSKI W., SCHOEDER E., STOJANOW S. S. & TZANKOV TZ. V. 1981 — Thrust zone of the Kri na nappe at Stoły in the Tatra Mts. (Poland). *Stud. Geol. Pol.*, 68: 61–73.
- BAC-MOSZASZWILI M., BURCHARD J., GŁĄZEK J., IWANOW A., JAROSZEWSKI W., KOTAŃSKI Z., LEFELD J., MASTELLA L., OZIMKOWSKI W., RONIEWICZ P., SKUPIŃSKI A. & WESTFALEWICZ-MOGILSKA E. 1979 — Mapa geologiczna Tatr Polskich. *Wyd. Geol.*
- BAC-MOSZASZWILI M., JAROSZEWSKI W. & PASSENDORFER E. 1984 — W sprawie tektoniki Czerwonych Wierchów i Giewontu w Tatrach. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 52: 67–88.
- BURCHARD J. 1972 — Fission-track age determination of accessory apatite from the Tatra Mts, Poland. *Earth Plane. Sc. Lett.*, 15: 418–422.
- DAVIS J. C. 1973 — *Statistics and Data Analysis in Geology*. Wiley, New York.
- FODOR L. 1995 — From transpression to transtension: Oligocene-Miocene structural evolution of the Vienna basin and the East Alpine-Western Carpathian junction. *Tectonophysics*, 242: 151–182.
- GA DZICKI A. & MICHALIK 1980 — Uppermost Triassic sequence (Choć nappe of the Strażowska Hornatina and the Tatra Mts (west Carpathians). *Acta Geol. Pol.*, 30: 61–76.
- GRABOWSKI J. 1997a — Paleomagnetic results from the cover (High-Tatric) units and nummulitic Eocene in the Tatra Mts (Central West Carpathians, Poland) and their tectonic implications. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 67: 13–23.
- GRABOWSKI J. 1997b — New paleomagnetic data from Fatricum and Hronicum in the Tatra Mts (Poland) further evidences for Cretaceous remagnetization in the Central West Carpathians. *Prz. Geol.*, 45: 1074.
- GRABOWSKI J. & NEMČOK M. 1999 — Summary of paleomagnetic data from the Central West Carpathians of Poland and Slovakia: evidence for the Late Cretaceous–Early Tertiary transpression. *Physics and Chem. Earth, Part A*, 24: 681–685.
- IWANOW A. & WIECZOREK J. 1987 — Problem najwyższych jednostek tektonicznych w Tatrach. *Prz. Geol.*, 35: 525–528.
- JAROSZEWSKI W. 1965 — Budowa geologiczna górnej części Doliny Kościeliskiej w Tatrach. *Acta Geol. Pol.*, 15: 429–490.
- JAROSZEWSKI W. 1982 — Hydrotectonic phenomena at the base of the Kri na nappe, Tatra Mts. [In:] M. Mahel' (ed.): *Alpine structural elements: Carpathian-Balkan-Caucasus-Pamir orogene zone: 137–148*.
- JUREWICZ E. 2000 — Próba rekonstrukcji pola naprężeń z etapu fałdowań płaszczowinowych w Tatrach na podstawie analizy struktur ślizgowych w trzonie granitoidowym. *Prz. Geol.*, 48: 239–246.
- KRUCZYK J., KĄDZIAŁKO-HOFMOKL M., LEFELD J., PAGA P. & TUNYI I. 1992 — Paleomagnetism of Jurassic sediments as evidence for oroclinal bending of the Inner West Carpathians. *Tectonophysics*, 206: 315–324.
- KOTAŃSKI Z. 1961 — Tektogeneza i rekonstrukcja paleogeografii pasma wierzchowego w Tatrach. *Acta Geol. Pol.*, 11: 187–476.
- KOTAŃSKI Z. 1963 — Nowe elementy budowy masywu Czerwonych Wierchów. *Acta Geol. Pol.*, 28: 636–637.
- KOTAŃSKI Z. 1986 — Jeszcze raz o płaszczowinie strażowskiej w Tatrach, część II. *Prz. Geol.*, 34: 621–628.
- KOVÁČ M., KRÁL J., MÁRTONE E., PLAŠIENKA D. & UHER P. 1994 — Alpine uplift history of the Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic sedimentary and structural data. *Geol. Carpath.*, 45: 83–96.
- KOVÁČ M. & MÁRTONE E. 1998 — To rotate or to not rotate: Palinspastic reconstruction of the Carpatho-Pannonian area during the Miocene. *Slovak Geol. Mag.*, 4: 75–85.
- MÁRTON M., MASTELLA L. & TOKARSKI A. K. 1999 — Large counterclockwise rotation of the Inner Paleogene Flysch – evidence from paleomagnetic Investigations of the Podhale Flysch (Poland). *Phys. Chem. Earth (A)*, 24: 645–649.
- LEFELD J. 1997 — Tektogeneza Tatr. Cykl alpejski. [In:] Lefeld J. & A. Gaździcki (red.). *Przew. 68 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Zakopane 2–4.11.1997: 16–21.
- PIOTROWSKA K. 1997 — Cios, spēkania ścięciowe i uskoki w trzonie granitoidowym polskich Tatr Wysokich. *Prz. Geol.*, 45: 904–907.
- PIOTROWSKI J. 1978 — Charakterystyka mezostrukturalna głównych jednostek tektonicznych w przekroju Doliny Kościeliskiej. *Stud. Geol. Pol.*, 55: 1–190.
- PLAŠIENKA D. 1996 — Mid-Cretaceous (120–80 Ma) orogenic process in the Central Western Carpathians: brief review and interpretation of data. *Slovak Geol. Mag.*, 3–4: 319–324.
- PLAŠIENKA D. & PROKEŠOVÁ R. 1996 — Towards an evolutionary tectonic model of Kri na cover nappe (Western Carpathians, Slovakia). *Slovak Geol. Mag.*, 3–4: 279–286.
- PLAŠIENKA D. & SOTÁK J. 1996 — Rauhackized carbonate tectonic breccias in the West Carpathian nappe edifice: introductory remarks and preliminary results. *Slovak Geol. Mag.*, 3–4: 287–292.
- SPERNER B. 1996 — Computer programs for the kinematic analysis of brittle deformation structures and the Tertiary evolution of the Western Carpathians (Slovakia). *Tübingen Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe A, Bd. 27*: 1–81.
- TURNER F. J. 1953 — Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles. *Am. J. Sc.*, 251: 276–298.