

Alpejskie fazy orogeniczne w Tatrach

Jerzy Lefeld¹Alpine orogenic phases in the Tatra Mts. *Prz. Geol.*, 57: 669–673.

Abstract. The Alpine, orogenic phases which had shaped the Tatra Mts. are set forth. It is argued that the thrust of the Križna nappe over its High-Tatric substratum was a long-lasting and complicated process. The Križna (Lower Sub-Tatric) nappe has various High-Tatric fragments at its sole and in some places rests even on the crystalline core. The overthrusting process had taken place not only in the late Cretaceous times only but also during the Paleogene. In result of the thrust of the European substratum under the Carpathian orogen the Tatra massif overlapped rock masses (presumably sedimentary in origin) that exhibit now very low resistance as it is shown by magneto-telluric soundings. The High-Tatric sheets were thrust in form of “flakes” (Oxburgh’s term (1972)) and not as regular fold nappes as it was argued so far. The lowermost of these “flakes” is detached from the Tatra crystalline core, contrary to previous views stating to be “autochthonous”. The higher High-Tatric units known so far as nappes are, in fact smaller or larger(?) “flakes” that have advanced one over another during the later phases of the Alpine orogeny. In many cases they contain folded parts as remnants of the initial shortening process which had taken place in pre-Coniacian times.

Keywords: tectonic phases, flake tectonics, nappe folding, magneto-telluric soundings

Ruchy orogeniczne, jakim podlegały serie osadowe Tatr w erze mezozoicznej, sprowadza się na ogół do fałdowań późnokredowych, udokumentowanych transgresją kredy gozawskiej na trias Niżnych Tatr (Andrusov i in., 1973). W historii geologicznej Tatr istnieje dość długi okres (przeszło 30 mln lat), o którym niemal nic nie wiadomo. To czas, jaki nastąpił po fazie śródziemnomorskiej (subhercyńskiej) i trwał do środkowego eocenu (lutetu). Według dotychczasowych poglądów (np. Rabowski, 1930) Karpaty wewnętrzne miały w owym czasie stanowić obszar skonsolidowany, nie podlegający już zasadniczym deformacjom tektonicznym. Celem tego artykułu jest wykazanie, że Tatry jako część Karpat wewnętrznych mogły jednak podlegać w paleoogene znaczącym deformacjom.

Problem wieku nasunięcia płaszczowiny kriżniańskiej (regłowej dolnej)

W geologii Tatr na ogół pomijana jest orogeniczna faza austrijska (zob. tab. 1), która przebiegała po apcie a przed

środkowym albem. W trakcie tej fazy nastąpiły fałdowania w Alpach Wschodnich (Oxburgh, 1974; Oberhauser, 1980) oraz w Karpatach Wschodnich. W Karpatach Zachodnich zaznaczyła się ona słabo. Jej rezultatem w Tatrach było zakończenie oceanicznego cyklu depozycyjnego, trwającego nieprzerwanie od keloweju do barremu-aptu. W wyniku tych ruchów w serii wierchowej nastąpiła emersja oraz znaczna denudacja (Kotański, 1959).

Rezultatem ruchów zaliczanych do fazy śródziemnomorskiej (zob. tab. 1) w strefie wierchowej było powstanie takich fałdów, jak na przykład parautochtoniczny fałd Stołów, łuski Organów i Żdziarów (polskie Tatry Zachodnie) czy fałd synklinalny pod Zamkami w masywie Szerokiej Jaworzynskiej (Tatry Wschodnie), a w Tatrach Bielskich — dużych fałdów (*mega-drag folds*) w triasie regłowym pod Nowym Wierchem (Lefeld, 1999).

Limanowski (1904, 1911), który odkrył istnienie regłowej czapki tektonicznej na Gładkim Upłaziańskim ponad Doliną Miętusią (polskie Tatry Zachodnie), stwierdził, że

Tab. 1. Alpejskie fazy tektoniczne w Tatrach i ich efekty

Table 1. Alpine tectonic phases in the Tatra Mts and their tectonic effects

Przybliżony wiek [mln lat] <i>Approx. Age [Mln years]</i>	Faza tektoniczna* <i>Tectonic phase</i>	Efekty tektoniczne <i>Tectonic effects</i>
20–12	miocenna <i>Miocene</i>	dezintegracja blokowa, powstanie zapadlisk (Podhale, Liptów, Spisz) <i>block disintegration, origin of depressions (Podhale, Liptov, Spiš)</i>
45–30	paleogeńska <i>Paleogene</i>	ścięcia poziome i nasunięcia płaskie o różnej amplitudzie i na różnych głębokościach <i>horizontal shears, flat overthrusts of various amplitude, at various depths</i>
85	śródziemnomorska (subhercyńska) <i>Mediterranean (subhercynian)</i>	ruchy fałdowe, ścięcia i nasunięcia <i>folding, shears, overthrusts</i>
100	austrijska <i>Austrian</i>	emersja, penakordancja, całkowita zmiana reżimu sedymentacyjnego <i>emersion, penaccordance, total change of sedimentation regime</i>
205	kimeryjska <i>Cimmerian</i>	ruchy blokowe, wynoszące i obniżające <i>block movements, uplifts, and depressive, vertical movements</i>

*W geologii alpejskiej w zasadzie odchodzi się od faz Stillego, uważając je za mało dokładne i powodujące niepotrzebne „szufladkowanie” (Schmid i in., 2008)
In Alpine geology there is a general trend to abandon the use of Stille’s phases as the concepts too imprecise to apply and leading to unnecessary categorization (Schmid et al., 2008)

¹Institut Nauk Geologicznych PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

skały sekwencji reglowych leżą tam na zniszczonej powierzchni podłoża wierchowego. Tym samym denudacja górnych partii tzw. Fałdu C (jednostka Czerwonych Wierchów) dokonała się w okresie poprzedzającym to nasunięcie reglowe. Również rozbitcie Fałdu C na łuski Organów i Źdzarów (Kotański, 1963) musiało nastąpić przed tym nasunięciem reglowym. Należy zaznaczyć, że sekwencja reglowa na Gładkim Uplaziańskim nosi prawdopodobnie ślady anchimetamorfozy, w postaci pewnej redukcji miąższości w stosunku do „normalnych”, niezmiennych serii reglowych północnej strefy Tatr. Wydaje się, że sekwencja reglowa na Gładkim Uplaziańskim pochodzi z rejonu południowej części Niżnych Tatr, gdyż tam właśnie występują skały reglowe o cechach anchimetamorfozy (Plaśienka i in., 1997).

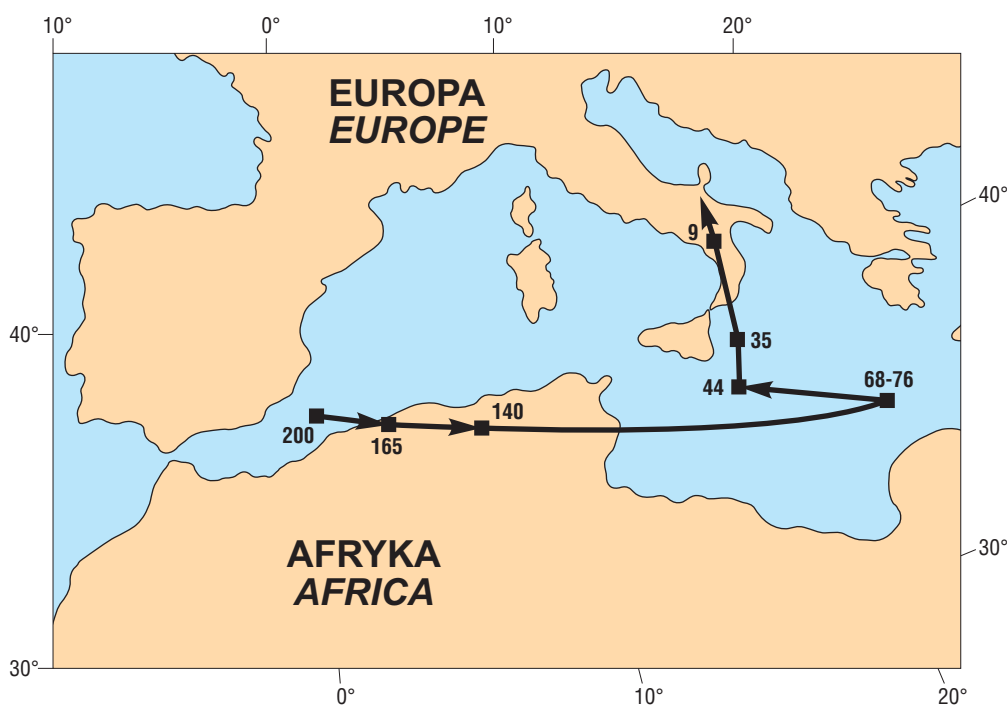
W historii procesu orogenicznego jednostek reglowych istniałyby więc dwie fazy. Jedna zgodna z całym procesem nasuwczym jednostek wierchowych i wszystkich reglowych wieku przedkoniackiego (zasadnicza faza orogeniczna w Tatrach — śródziemnomorska?), i druga — znacznie późniejsza, w czasie której dokonało się między innymi nasunięcie partii reglowych płaszczowiny krizniańskiej, tworzących obecnie czapkę tektoniczną Gładkiego.

Odmiernym rozwiązaniem byłoby przyjęcie jednej fazy nasuwczej wielkiej płaszczowiny krizniańskiej, ale w okresie znacznie późniejszym niż faza śródziemnomorska. Tak czy inaczej proces orogeniczny trwał w Tatrach zapewne bardzo długo i był skomplikowany. Na te problemy rzucają pewne światło odsłonięcia środkowego eocenu na zachodnim krańcu Tatr, w okolicy Zuberca na Orawie. Tam, na Zadnich Koszarzyskach Józef Morozewicz (1909) znalazł odsłonięcie, w którym zlepieńce eoceńskie pokrywają bezpośrednio krystalinik tatrzański. Zlepieńce zawierają niewysortowany materiał dolomitów, definitywnie triasu reglowego, który był prawdopodobnie dostarczany do basenu eoceńskiego z czoła nasuwającej się w owym czasie płaszczowiny krizniańskiej. Blisko, ale nieco dalej ku północy, w innych odsłonięciach przy ujściu Doliny Rohackiej (Tatry Zachodnie) skały krystaliczne trzonu Tatr są pokryte eoceńskimi wapieniami numulitowymi (*vide Geologiczna Mapa Tatier* — Nemčok i in., 1994). Z faktów tych wynika, że pod koniec kredy oraz w paleocenie i wczesnym eocenie denudacja w Tatrach dotarła na Orawie aż do krystaliniku. Bac-Moszaszwili (1993) stwierdziła tam kontakty tektoniczne wieku poeoceńskiego. W paleogenie procesy niszczące trwały w Tatrach Zachodnich bardzo długo i nie wydaje się prawdopodobnym, aby w tym czasie podłoże wierchowe było w całości pokryte płaszczowinami reglowymi. Bardziej prawdopodobna jest hipoteza, że płaszczowiny te nasuwały się na Tatry bardzo stopniowo, również w paleogenie. W oknach tektonicznych w rejonie Mnicha i Suchego Wierchu na zachodnim krańcu Tatr bezpośrednio na krystaliniku leżą dynamicznie zmiażdżone fragmenty dolnej kredy wierchowej, przykryte przez płaszczowinę krizniańską (większe okno) i skały węglanowe reglowego triasu środkowego (okno mniejsze w Dolinie Suchej) (Gorek, 1950). Tym samym szariaż płaszczowin reglowych dokonywał się na podłożu zniszczone uprzednio denudacyjnie i tektonicznie. Toteż istnienie paleogeńskiej fazy orogenicznej w Tatrach wydaje się bardzo prawdopodobne. W świetle tych rozważań można przyjąć, że transport płaszczowin reglowych na strefę wierchową Tatr mógł się odbywać również i w paleogenie (analogia do Alp

Wschodnich). W osadach okruchowych lutetu w Tatrach nie występuje materiał pochodzący z podłoża wierchowego (Roniewicz, 1969), tak więc w owym okresie niszczone były jedynie skały jednostek reglowych (przede wszystkim płaszczowiny krizniańskiej) i to głównie elementy triasowe. W końcowej fazie tych ruchów dotarł do Tatr fragment strefy reglowej (płaszczowiny krizniańskiej) o pewnych cechach anchimetamorfozy, zachowany na Gładkim Uplaziańskim, a pochodzący prawdopodobnie z centralnej strefy Karpat wewnętrznych (południowa część Niżnych Tatr). Również w Alpach metamorfizm wysokotemperaturowy charakteryzuje ich centralne partie (Trümpy, 1985).

Wewnętrzna struktura jednostek wierchowych i wglębna budowa masywu Tatr

Na czas paleogenu przypada znaczny napór tarczy afrykańskiej na Europę (ryc. 1). Ruchy te były przyczyną głównej fazy orogenicznej w Alpach (Trümpy, 1985; Oxburgh, 1974). Łuski powstałe w wyniku ścięć i kruchych nasunięć wieku alpejskiego zostały ostatnio zanotowane w krystaliniku Tatr Zachodnich przez Cymermana (2008). Płaskie nasunięcia w obrębie osadowych skał mezozoicznych dokonywały się na ogół wzdłuż płaszczyzn tworzących się w mało mechanicznie odpornych skałach (łupkach, marglach *etc.*). Jednym z takich poziomów litologicznych w serii wierchowej Tatr są skały górnego werfenu (mułowce, łupki *etc.*), które kontrastują z bardzo mechanicznie odpornymi kwarcytami dolnowerfeńskimi. Właśnie ten poziom był odpowiedzialny za odkłucia, które doprowadziły do oddzielenia tzw. serii tubylczej (seria Kominów Tylkowych *sensu* Passendorfer, 1951) od kwarcytów dolnego werfenu w Tatrach. Tym samym seria Kominów Tylkowych nie jest autochtonem, lecz płasko nasuniętą jednostką bez naturalnego kontaktu z podłożem krystalicznym. Zagadnienie to przedstawił Michalik (1955), lecz jego obserwacje pozostały wówczas bez echa. W Alpach tego typu nasunięcia znane są pod nazwą *flake tectonics* (Oxburgh, 1972), czyli „łuskowe”. Oxburgh (1972) zastosował ten typ odkłuc do interpretacji alpejskiej tektoniki wglębnej, sugerując podsuwanie się masywu czeskiego pod Alpy Wschodnie. W Polsce idea podsuwania się starszego podłoża pod Karpaty została przedstawiona przez Wawrzyńca Teisseyre’a (1921) jako tzw. teoria pessularna i jest stosowana (w nieco innej formie) przez badaczy współczesnych (np. Birkenmajer, 1976). W rzeczy samej jedynie poprzez przyjęcie podsuwania się podłoża europejskiego pod Karpaty można logicznie wytłumaczyć większość zjawisk tektonicznych w orogenie karpackim. Trzeba przyjąć, że działanie pary sił to była akcja, natomiast nasuwanie się, np. płaszczowin z południa, było reakcją (lub kontrakcją) w sensie czysto fizycznym. W Tatrach istnieje wiele przykładów płaskich nasunięć młodszych skał na kwarcyty werfenu — Wielka Kopa Koprowa, grzbiet między Osobitą a Rohem, Liliowe w Tatrach Zachodnich, Koszysta w Tatrach Wysokich (Michalik, 1955) i przełęcz Pod Kopą w Tatrach Wschodnich (Sokołowski, 1948). Wiele tego typu nasunięć było błędnie uznawanych przez Kotańskiego (1961) za naturalne, na ogół denudacyjne kontakty kimeryjskie. Zagadnienie faz starszych, kimeryjskich, było opisywane przez Kotańskiego (1961), który starał się udowodnić powszechność tych ruchów w serii wierchowej Tatr na podstawie niezgodności kontaktów sedymentacyjnych skał triasu i



Ryc. 1. Rekonstrukcja przesuwania się tarczy afrykańskiej względem Europy od wczesnego mezozoiku do dziś, odtworzona na podstawie anomalii magnetycznych zaobserwowanych na Atlantyku — wiek w milionach lat (według Biju-Duval i in., 1977)

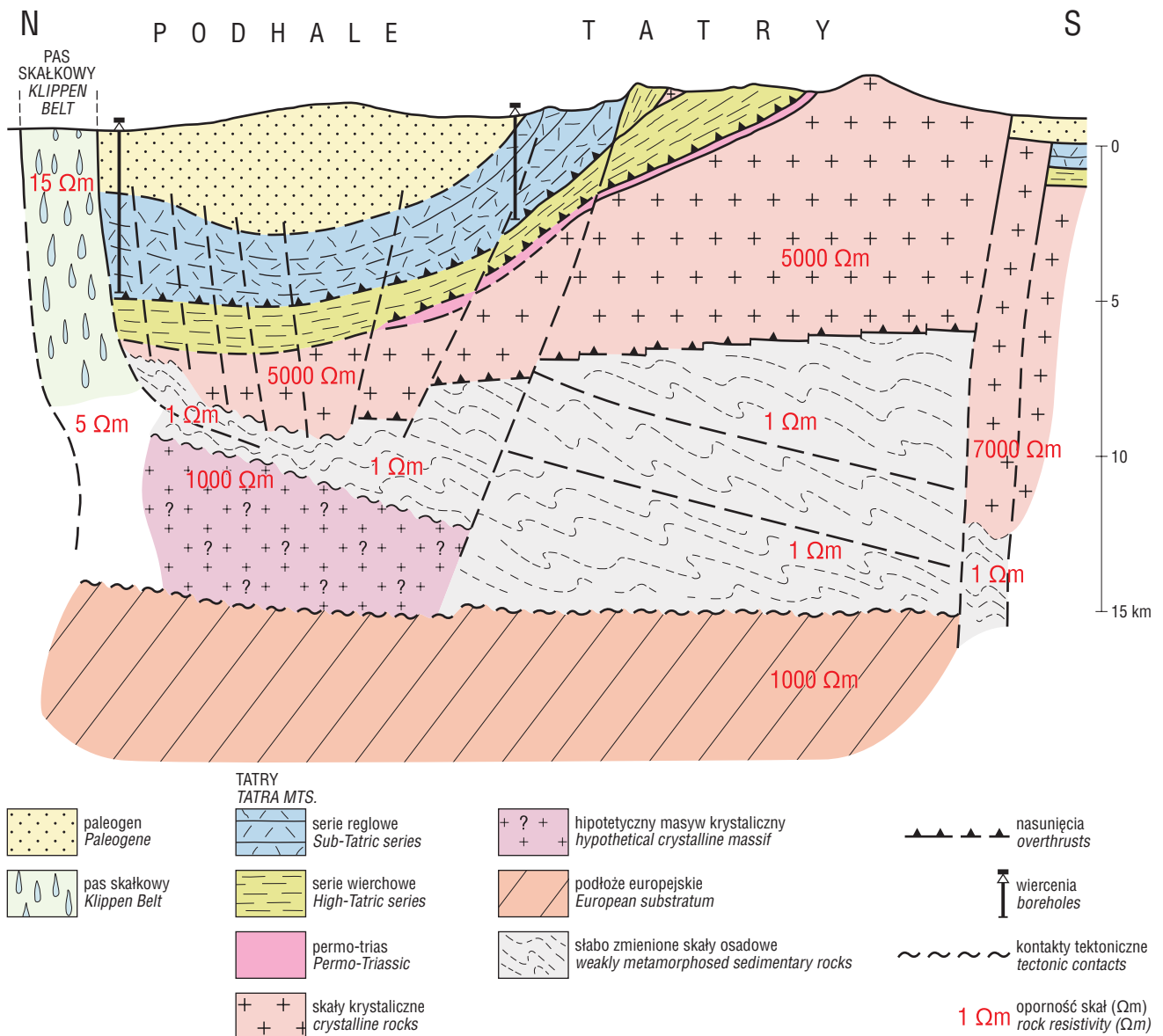
Fig. 1. Path of Africa's relative movement towards Europe from early Mesozoic to present time restored from magnetic anomalies as observed in the Atlantic — in millions of years (after Biju-Duval et al., 1977)

jury. W rzeczywistości jednak wiele z tych niezgodności to kontakty tektoniczne, znacznie późniejsze, wynikające z płaskich nasunięć, a kimeryjskiego wieku są tylko niezgodności w Rzędach pod Ciemniakiem, w łuskach Organów i Ździarów (Bac-Moszaszwili & Grochocka, 1965) oraz w paru stanowiskach w masywie Szerokiej Jaworzynskiej. Stworzone przez Kotańskiego (1961) „serie” są w rzeczywistości tylko jednostkowymi profilami bez jakiegokolwiek możliwości ich powtórzenia. Częściowo błędny, wyimaginowany obraz zjawisk rzekomo kimeryjskich doprowadził Kotańskiego do stworzenia nierealnej, miejscami karkołomnej paleogeografii serii wierzchowej Tatr. Opracowanie to zostało bardzo skrytykowane przez geologów słowackich (Gorek & Veizer, 1965). Niemniej ruchy kimeryjskie zaznaczyły się w Tatrach, choć nie na taką skalę, jak to sobie wyobrażał Kotański. Ekstensywne, kimeryjskie struktury ryftowe strefy wierzchowej były przedmiotem badań Wieczorka (Dumont i in., 1996).

Niejednokrotnie oczywistym dowodem na istnienie tego typu płaskich nasunięć jest obecność klinów gnejsowych między kompleksami skał osadowych. Takie sytuacje występują na lewym zboczu doliny Chochołowskiej, blisko Bobrowca (Wójcik, 1959) i w masywie Małej Fatry, na zachód od Tatr, na jej południowym skłonie, blisko Parnicy, gdzie gnejsy klinem rozdzielają węglanowe skały triasu znajdujące się powyżej i poniżej tych gnejsów. Ta ostatnia sytuacja jest szczególnie myląca, gdyż wszędzie indziej w Małej Fatrze w kompleksie triasowym (tzw. seria obalova) nie widać żadnych niezgodności. W seriach reglowych Tatr częste są przesunięcia „śródwarstwowe” i fałdki ciągnione, świadczące o działaniu pary sił (ogólnie) dół ku S — góra ku N (Lefeld, 1999). Dotyczy to zarówno przesunięć pomiędzy warstwami o różnej odporności

mechanicznej (kontakty, np. łupek–wapień), jak i jednolitych skał (np. wapień–wapień). Oczywiście skala takich translacji jest bardzo różna, zależnie od sił działających na masyw skalny oraz samej litologii. Następstwo litostratigraficzne pozostaje przy tym pozornie nienaruszone. Nie ma na razie żadnych kryteriów dokładnego oznaczenia wieku tych ruchów.

Typ „łuskowy” (*flake*) zdaje się występować i w głębszych partiach Tatr. Na ryc. 2 został ukazany uzupełniony wgłębnny przekrój przez Tatry i Podhale, oparty na nowszych sondowaniach magnetotellurycznych (Ernst i in., 1997). Stanowi on rozwinięcie koncepcji przedstawianej uprzednio (Lefeld & Jankowski, 1985; Lefeld, 1997). Na tym przekroju podłoże europejskie podsuwało się ku S (akcja), a masyw Tatr nasuwał się ku N (reakcja). Pewnym „*novum*” na tym przekroju jest obecność masywu, prawdopodobnie krystalicznego, na głębokości około 15 km, wykazującego oporności ok. 1000 Ωm . Jest on otoczony partiami skalnymi o znikomych opornościach, rzędu 1–5 Ωm , a pod nim oporności są znaczne. Wydzieliłem go jako element odrębny od podścielającego podłoża (prawdopodobnie europejskiego). Od północy zdaje się on przystawać do południowej dyslokacji przypienińskiej, choć nie jest to pewne. Mógłby on odpowiadać hipotetycznemu masywowi Andrusova (Birkenmajer, 1988). Podobny, wgłębnny masyw, przystający do pienińskiego pasa skałkowego od północy, na głębokościach 5–10 km, ukazany na przekroju przebiegającym przez karpacką strefę na Ukrainie (Ernst i in., 2002), został przeze mnie zinterpretowany jako zachodnie, wgłębne przedłużenie masywu marmaroskiego. Nie jest pewne, czy skały występujące pod masywem Tatr, na głębokościach 12–16 km, podległy metamorfozie, co mogłoby wynikać z głębokości, na jakiej się znajdują, ale



Ryc. 2. Hipotetyczny, wglębny profil przez rejon Tatr i Podhala, oparty na sondowaniach magneto-tellurycznych (wg Ernsta i in., 1997)
Fig. 2. Hypothetical, deep profile across the Tatra Mts and the Podhale basin based on magneto-telluric soundings (after Ernst et al., 1997)

temperatury tej strefy mogły być zaniżone w wyniku podsuwania się chłodnego podłoża europejskiego pod orogen karpacki. Sytuacje takie są interpretowane w Alpach jako strefy o metamorfizmie wysokociśnieniowym, lecz nisko-temperaturowym (Trümpy, 1985 i literatura tamże).

Występująca pod Tatrą strefa skał o bardzo niskich opornościach sugeruje nasunięcie krystaliniku tatrzańskiego na pierwotnie osadowy kompleks skalny, być może przesycony wodą (Lefeld & Jankowski, 1985). W opinii Jurewicz (2005) ścięcie i nasunięcie masywu Tatr na ten kompleks mogło być ułatwione większą kruchością skał, wynikającą z wychłodzenia skorupy ziemskiej w tej strefie i zmniejszenia się gradientu geotermalnego. Przeprowadzone ostatnio w ramach programu CELEBRATION głębokie sondowania sejsmiczne w profilu CEL05, przebiegającym nieco na wschód od Tatr, wydają się potwierdzać taką sugestię (Grad i in., 2006). Ewentualna obecność stref grafitowych w tym kompleksie jest zależna od geologicznej historii regionu, m.in. od przecięcia dyslokacjami nie-

ciągłymi, które mogły stanowić drogi transportu materii organicznej, stwarzając warunki do powstawania grafitu, a przede wszystkim od temperatur panujących na takich głębokościach w czasie szarżu i po nim. Studia sejsmiki refleksyjnej w Karpatach czesko-słowackich były dokonywane na zachód od Tatr (Tomek, 1993). Wiek nasunięcia trzonu Tatr na przypuszczalnie pierwotnie osadowe podłoże (może lekko zmetamorfizowane) nie może być bezpośrednio określony. Przez analogię do Alp Wschodnich można powiedzieć, że odbyło się to w czasie eocenu–oligocenu. W Alpach Wschodnich transport płaszczowin wschodnio-alpejskich na podłoże pennińskie i helweckie nastąpił właśnie w tym samym czasie (Oxburgh, 1974; Oberhauser, 1980). Ruchy te są określane tam jako mezoalpejskie (Trümpy, 1985). W opinii Zeyena i Bielika (2001) Karpaty Zachodnie charakteryzują się pogrubioną litosferą w wyniku istnienia (na znacznych głębokościach) pozostałości subdukcji płyty. Współczesne poglądy na budowę Tatr jako części Zachodnich Karpat Wewnętrznych zostały podane w monografii autorów słowackich (Plašienka i in., 1997).

Wnioski

□ Proces nasuwania się płaszczowin reglowych na Tatry był wielofazowy i długotrwały.

□ Szarż odbywał się po podłożu wierchowym, zniszczonym denudacyjnie i tektonicznie.

□ Ruchy nasuwcze płaszczowin reglowych w Tatrach odbywały się również i w paleogenie.

□ W wyniku podsuwania się podłoża europejskiego pod Karpaty wewnętrzne, prawdopodobnie w paleogenie, strefa osadowa wierchowa (tzw. autochtoniczna) została odkluta od kwarcytów dolnego werfenu (Michalik, 1955), tym samym nie stanowi ona naturalnej pokrywy trzonu Tatr, tylko jednostkę łuskową, nasuniętą. Jedynym elementem autochtonicznym, leżącym na trzonie krystalicznym Tatr, są kwarcyty werfenu.

□ W podłożu masywu tatrzańskiego i depresji Podhala, na głębokości około 12–15 km, znajduje się masyw o znacznych opornościach elektrycznych (rzędu 1000 Ω m), będący być może ciałem krystalicznym.

□ Karpaty wewnętrzne (a więc i Tatry) nie były w kenozoiku obszarem całkowicie skonsolidowanym, choć stanowiły masę oporową dla zmian orogenicznych, jakie zachodziły w Karpatach zewnętrznych.

□ W świetle notowanych na Atlantyku zmian anomalii magnetycznych w paleogenie (wyraźne naciski tarczy afrykańskiej na Europę w okresie od 44 do 35 mln lat temu) nasunięcie bloku tatrzańskiego na europejskie przedpole w owym czasie wydaje się wysoce prawdopodobne.

Pani Prof. dr hab. Krystynie Piotrowskiej pragnę podziękować za wnikliwą i konstruktywną recenzję mej pracy. Panu Dr. Jackowi Grabowskiemu dziękuję za wskazanie mi kilku ważnych pozycji literatury.

Literatura

ANDRUSOV D., BYSTRICKY J. & FUSAN O. 1973 — Outline of the structure of the West Carpathians. Guide-book for geological excursion X Congr. Carpat.-Balkan Geol. Assoc., Bratislava.

BAC-MOSZASZWILI M. 1993 — Struktura zachodniego zakończenia masywu tatrzańskiego. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 63:167–193.

BAC M. & GROCHOCKA K. 1965 — Budowa fałdu Czerwonych Wierchów na wschodnim zboczu Doliny Kościeliskiej w Tatrach. *Acta Geol. Pol.*, 15: 331–354.

BIJU DUVAL, DERCOURT J. & LE PICHON X. 1977 — From the Tethys Ocean to the Mediterranean Seas: A plate tectonic model of the evolution of the western Alpine system. [In:] *Int. Symp. Structural History of the Mediterranean Basins*. Editions Technip., Paris.

BIRKENMAJER K. 1976 — The Carpathian orogen and plate tectonics. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, A-2 (101): 43–53.

BIRKENMAJER K. 1988 — Exotic Andrusov Ridge: its role in plate tectonic evolution of the West Carpathian Fold Belt. *Stud. Geol. Pol.*, 91: 7–37.

CYMERMAN Z. 2008 — Kartografia geologiczna krystaliniku Tatr Zachodnich: wyniki prac kartograficznych i strukturalnych na trzech arkuszach SMGT 1 : 10 000. *Państw. Inst. Geol.*

DUMONT T., WIECZOREK J. & BOUILLIN J-P. 1996 — Inverted Mesozoic rift structures in the Polish Western Carpathians (High-Tatric units). Comparison with similar features in the Western Alps. *Ecolgae Geol. Helv.*, 89(1): 181–202.

ERNST T., JANKOWSKI J., SEMENOV V., ADAM A., HVOZDARA M., JÓZWIAK W., LEFELD J., PAWLISZYN J., SZARKA L. & WESZTERGOM V. 1997 — Electromagnetic Soundings across the Tatra Mountains. *Acta Geophys. Pol.*, 45: 33–44.

ERNST T., JANKOWSKI J., JÓZWIAK W., LEFELD J. & LOGVINOV I. 2002 — Geoelectrical Model along the Profile across the Tornquist-Teisseyre Zone in Southeastern Poland. *Acta Geophys. Pol.*, 50: 505–515.

GOREK A. 1950 — Tectonické okna na zapadnom ukončení Vysokých Tatier. *Geol. Sborn.*, 1: 67–69.

GOREK A. & VEIZER J. 1965 — Der Charakter der alpine Tektonik in der Hohen Tatra. *Geol. Sborn.*, 16: 265–272.

GRAD M., GUTERCH A., KELLER G.R., JANIK T., HEGEDÚS E., VOZAR J., ŚLĄCZKA A., TIIRA T. & YLINIEMI J. 2006 — Lithospheric structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL05. *J. Geophys. Res.*, 111, B03301, doi: 10.1029/2005JB003647.

JUREWICZ E. 2005 — Geodynamic evolution of the Tatra Mts. and the Pieniny Klippen Belt (Western Carpathians): problems and comments. *Acta Geol. Pol.*, 55: 295–308.

KOTAŃSKI Z. 1959 — Z zagadnień transgresji albu wierchowego w Tatrach. *Prz. Geol.*, 7: 357–358.

KOTAŃSKI Z. 1961 — Tektogeneza i rekonstrukcja paleogeografii pasma wierchowego w Tatrach. *Acta Geol. Pol.*, 11: 187–410.

KOTAŃSKI Z. 1963 — Nowe elementy budowy masywu Czerwonych Wierchów. *Acta Geol. Pol.*, 13: 149–198.

LEFELD J. 1997 — Cykl alpejski. [W:] *Tektogeneza Tatr*. Przewodnik LXVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Zakopane.

LEFELD J. 1999 — Tectonics of the Subtratic Units, Eastern Tatra Mts., *Studia Geol. Pol.*, 115: 139–166.

LEFELD J. & JANKOWSKI J. 1985 — Model of deep structure of the Polish Inner Carpathians. *Publications Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, A-16: 175.

LIMANOWSKI M. 1904 — Odkrycie płatu dolnotatrzańskiego w paśmie Czerwonych Wierchów na Gładkiem. *Rozpr. Pol. Akad. Um.*, B 44 (ser. III, 4): 56–60.

LIMANOWSKI M. 1911 — Geologiczne przekroje przez wielki fałd Czerwonych Wierchów między dolinami Suchej Wody a Chochołowską w Tatrach. *Bull. Intern. Acad. Pol.*, A/1911: 279–291.

MICHALIK A. 1955 — Tektonika serii wierchowej na obszarze Liliowego i Małej Koszystej. *Biul. Inst. Geol.*, 96: 5–35.

MOROZEWICZ J. 1909 — Z mineralogii i petrografii Tatr. *Kosmos*, 34: 580–599.

NEMČOK J. (red.), BEZAK V., BIELY A., GOREK A., GROSS P., HALOUZKA R., JANÁK M., KAHAN S., KOTAŃSKI Z., LEFELD J., MELLO J., REICHWALDER P., RĄCZKOWSKI W., RONIEWICZ P., RYKA W., WIECZOREK J. & ZELMAN J. 1995 — *Geologická Mapa Tatier*. Geol. Ústav D. Štura, Bratislava.

OBERHAUSER R. (red.) 1980 — *Der geologische Aufbau Österreichs*. Springer Verl., Wien & New York.

OXBURGH E.R. 1972 — Flake Tectonics and Continental Collision. *Nature*, 239/5369: 202–204.

OXBURGH E.R. 1974 — Eastern Alps. [W:] *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts*. Data for Orogenic Studies. *Geol. Soc. Special. Publ.*, 4.

PASSENDORFER E. 1951 — Trias, Jura i Kreda Tatr. [W:] *Regionalna Geologia Polski*. T. I — Karpaty, Pol. Tow. Geol., Kraków.

PLAŠIENKA D., GREČULA P., PUTIS M., KOVAČ M., HOVORKA D. 1997 — Evolution and Structure of the Western Carpathians, an overview. [W:] *Geological Evolution of the Western Carpathians*. Monograph. Miner. Slov.

RABOWSKI F. 1930 — O pochodzeniu limburgitów tatrzańskich i stosunku wzajemnym płaszczowin wyodrębnionych między pasmem skałek a górami Veporu. *Spraw. Państw. Inst. Geol.*, 6 (1): 212–233.

RONIEWICZ P. 1969 — Sedymentacja eocenu numulitowego Tatr. *Acta Geol. Pol.*, 19: 503–608.

SCHMID S., BERNOULLI D., FÜGENSCHUH B., MATENCO L., SCHEFER S., SCHUSTER R., TISCHLER M. & USTASZEWSKI K. 2008 — The Alpine – Carpathian – Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosc.*, 101, 139–183.

SOKOŁOWSKI S. 1948 — Tatry Bielskie — geologia zboczy południowych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 4: 3–47.

TEISSEYRE W. 1921 — Zarys tektoniki porównawczej Podkarpacia. *Kosmos*, 46: 242–474.

TOMEK Č. 1993 — Deep Crustal Structure beneath the Central and Inner West Carpathians. *Tectonophysics*, 226: 417–431.

TOMEK Č., IBRMAJER L., KORAB T., BIELY A., DVOŘAKOVA L., LEXA J. & ZBORIL A. 1989 — Crustal Structures of the West Carpathians on Deep Reflection Seismic Line 2T. *Miner. Slov.*, 1/2: 3–26.

TRÜMPY R. 1985 — Die Plattentektonik und die Entstehung der Alpen. *Neujahrsblatt der Naturforsch. Gesellsch. in Zürich*.

WÓJCIK J. 1959 — Serie wierchowe południowych zboczy Bobrowca. *Acta Geol. Pol.*, 9: 165–200.

ZEYEN H. & BIELIK M. 2001 — Study of the lithosphere structure in the Western Carpathian Pannonian basin region based on integrated modeling. *Geophys. J.*, 20: 941–961.

Praca wpłynęła do redakcji 27.05.2009 r.

Po recenzji akceptowano do druku 22.06.2009 r.