

AFRYKAN KISŁOW & STEFAN POŁTOWICZ

## Regionalny przekrój geologiczny Kraków-Zakopane w świetle badań sejsmicznych (Karpaty Środkowe)

GEOLOGICAL SECTION IN THE KRAKÓW—ZAKOPANE PLANE  
IN THE LIGHT OF SEISMIC INVESTIGATIONS (MIDDLE CARPATHIANS)

**STRESZCZENIE:** Interpretacja geologiczna sejsmicznego przekroju refrakcyjnego Kraków-Zakopane w oparciu o wyniki głębokich wierceń pozwoliła wydzielić w podłożu Karpat regionalne strefy dyslokacji związane z rozwojem zapadliska przedkarpackiego. Kontakt Karpat wewnętrznych z zewnętrznymi zinterpretowano jako strefę subdukcji kredowo-irzeczorzędowej, w której podłożu geosynkliny fliszowej oraz południowa część fliszu uległy w miocenie wchłonięciu z równoczesnym nasunięciem płaszczowinowym części utworów fliszowych ku północy.

Regionalne zdjęcie sejsmiczne prowadzone od szeregu lat w Karpatach umożliwiło naszkicowanie zarysu wgłębnej budowy geologicznej zewnętrznych Karpat fliszowych oraz ich podłoża jak również związek pomiędzy nimi. Stosunkowo dokładną interpretację geologiczną uzyskanych danych geofizycznych można było wykonać wzdłuż linii Kraków-Zakopane opartej na refrakcyjnym przekroju sejsmicznym R-4K-VI-69<sup>1</sup>, dzięki istnieniu kilku odwiertów, w których rozpoznano utwory fliszowe i ich bezpośrednio podłożu (Gucik 1975, Jasionowicz 1975, Jasionowicz & Liszkowa 1975). Północny kraniec przekroju osiąga nieckę miechowską, a południowy dochodzi do Tatr (fig. 1).

Przedstawiona wersja interpretacji geofizycznej (fig. 2a) została oparta na ponownym opracowaniu hodografów przy zastosowaniu metody graficznej (Kisłow 1948). Zasada interpretacji geologicznej polega na łączeniu odcinków o jednakowych lub zbliżonych wartościach pozornych prędkości fal sejsmicznych charakteryzujących warstwy, przez które, według założeń metody, przebiega impuls sprężysty. Wartości te, zależne od rodzaju skał i ułożenia warstw, zmieniają się zależnie od kąta upadu.

<sup>1</sup> A. Mikołajczak, Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie.

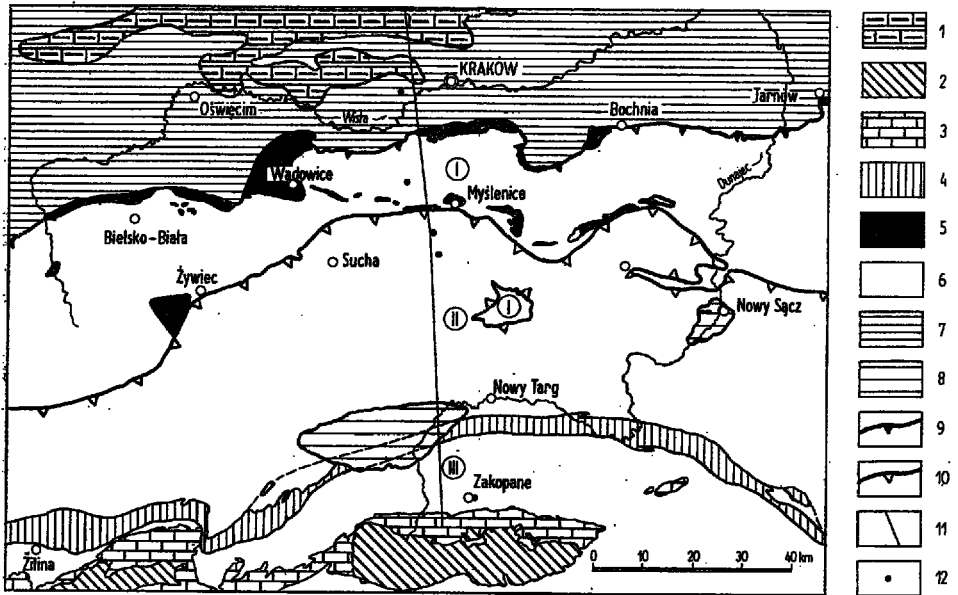


Fig. 1. Szkic tektoniczny Karpat Środkowych i ich przedpola (Tectonic outline of the Middle Carpathians and their foreland)

1 — utwory paleozoiczne i mezozoiczne Wyżyny Śląsko-krakowskiej (Paleozoic and Mesozoic rocks of the Silesia-Cracow Highland), 2-4 — utwory przedtrzeciorzędowe Karpat wewnętrznych (Pre-Tertiary rocks of the Inner Carpathians): trzon krystaliczny (crystalline core) (2), jego pokrywa osadowa (its sedimentary cover) (3), osady pieniąskiego pasa skałkowego (sediments of the Pieniny Klippen Belt) (4); 5 — flysz jednostki podśląskiej (flysch of the Sub-Silesian unit), 6 — flysz pozostałych jednostek Karpat zewnętrznych i flysz Karpat wewnętrznych (flysch of the remaining Outer Carpathians and the flysch of the Inner Carpathians), 7-8 — miocen (Miocene): osady morskie zapadliska przedkarpackiego (marine sediments of the Carpathian foredeep) (7), osady słodkowodne niecki orawsko-nowotarskiej i Kotliny Sądeckiej (the freshwater sediments of the Orava — Nowy Targ basin and those of the Nowy Sącz basin) (8); 9 — brzeg Karpat (Carpathian margin), 10 — brzeg jednostki magurskiej (margin of the Magura unit), 11 — linia przekroju sejsmiczno-geologicznego — fig. 2 (line of the seismic-geological cross section — fig. 2), 12 — odwiert (borehole)

W wyniku zastosowanej metodyki strzelania na pojedynczych ciągach strzałowych początek ustawienia geofonów był oddalony o 6—10 km od punktu strzałowego. Skutkiem tego przekrój nie jest kompletny i zawiera lukę w przedziale górnych warstw. Interpretację tej strefy ułatwiły wyniki wierceń, położonych na północ od skrajy przekroju oraz ogólne rozpoznanie geologiczne regionu.

Zestawienie wartości prędkości pozornych odpowiadających poszczególnym utworom geologicznym (Kisłow 1971) dało podstawę do geologicznej interpretacji omawianego przekroju sejsmicznego (fig. 2b). Jako podstawową granicę przyjęto prędkość pozorną równą 6000 m/s. Prędkość tę oraz od niej większe uważa się za charakterystyczne przede wszystkim dla skał węglanowych. Skały metamorficzne podłoża charakteryzują się izotropowością sejsmiczną i posiadają prędkości pozorne mieszczące się w

przedziale 5700—6000 m/s. Dodatkową cechą odróżniającą skały węglanowe od metamorficznych jest zależność prędkości dla nich charakterystycznych od uwarstwienia skał i kąta upadu warstw.

Skały ilasto-piaszczyste o niskiej kompaktacji charakteryzują się prędkościami pozornymi mieszczącymi się w granicach 3400—4100 m/s. Należą do nich osady miocenne i utwory fliszowe jednostki magurskiej. W utworach fliszowych jednostki śląskiej występują prędkości pozorne 4500—4800 m/s. Podobne prędkości mogą charakteryzować utwory miocenne starsze od badenianu występujące prawdopodobnie pod fliszem w południowej części przekroju (Połtowicz 1974).

Obecność uskoków w podłożu fliszu i miocenu może być stwierdzona na podstawie hodografów w sposób dość łatwy i nie wymagający specjalnej interpretacji. Bardzo wyraźnie zaznaczają się dwie dyslokacje: szeroka strefa dyslokacyjna około 25 km na północ od pienińskiego pasa skałkowego i dyslokacja znajdująca się około 10 kilometrów na północ od poprzedniej (fig. 2b). Obie te strefy dyslokacyjne są widoczne na dużych głębokościach i dochodzą do powierzchni podmiocennej przecinając ją.

Na szczególną uwagę zasługuje granica występująca na południe od pienińskiego pasa skałkowego. Wyrażona jest ona nagłym wzrostem prędkości pozornych od 5500 m/s do powyżej 6300 m/s i zwiększających się ku południowi do powyżej 8100 m/s. Wskazuje to na istnienie strefy dyslokacyjnej na kontakcie Karpat wewnętrznych z zewnętrznymi, przewidywanej przez szereg badaczy (Birkenmajer 1960, Książkiewicz 1960, 1963 i in.).

W górnej części przekroju występują utwory charakteryzujące się małymi prędkościami pozornymi (4100—4900 m/s), które kontaktują z utworami o prędkościach 6000 m/s. W świetle badań geologicznych na Podhalu (Gołąb 1959, Watycha 1959) oraz wyników odwiertu Zakopane IG-1 (Sokołowski 1973) granica między prędkością 4100 m/s a prędkością 4900 m/s mogłaby odpowiadać kontaktowi warstw chochołowskich i zakopiańskich fliszu podhalańskiego. Natomiast granica między prędkościami 4900 m/s a 6000 m/s może wyznaczać kontakt fliszu z utworami węglanowymi płaszczowin ręglowych. Utwory o prędkościach pozornych powyżej 8100 m/s występują już pod płaszczowiną wierchową.

Między pienińskim pasem skałkowym a Tatrami występuje strefa wypełniona prawdopodobnie skałami magmowymi, w których prędkości pozorne są najwyższe spośród obserwowanych w tej części przekroju. Przymuszczalnie są to młode, trzeciorzędowe skały wulkaniczne. Godnym uwagi jest, że bezpośrednio nad tą strefą uzyskano w odwiercie Zakopane IG-1 przyływ wód termalnych.

Strefa uskoków o małych prędkościach pozornych na granicy Karpat wewnętrznych i zewnętrznych obejmuje pieniński pas skałkowy i południową część jednostki magurskiej. Całkowita jej szerokość wynosi około 8 km. Od głębokości około 4000 m jej północna krawędź przesuwa się kil-

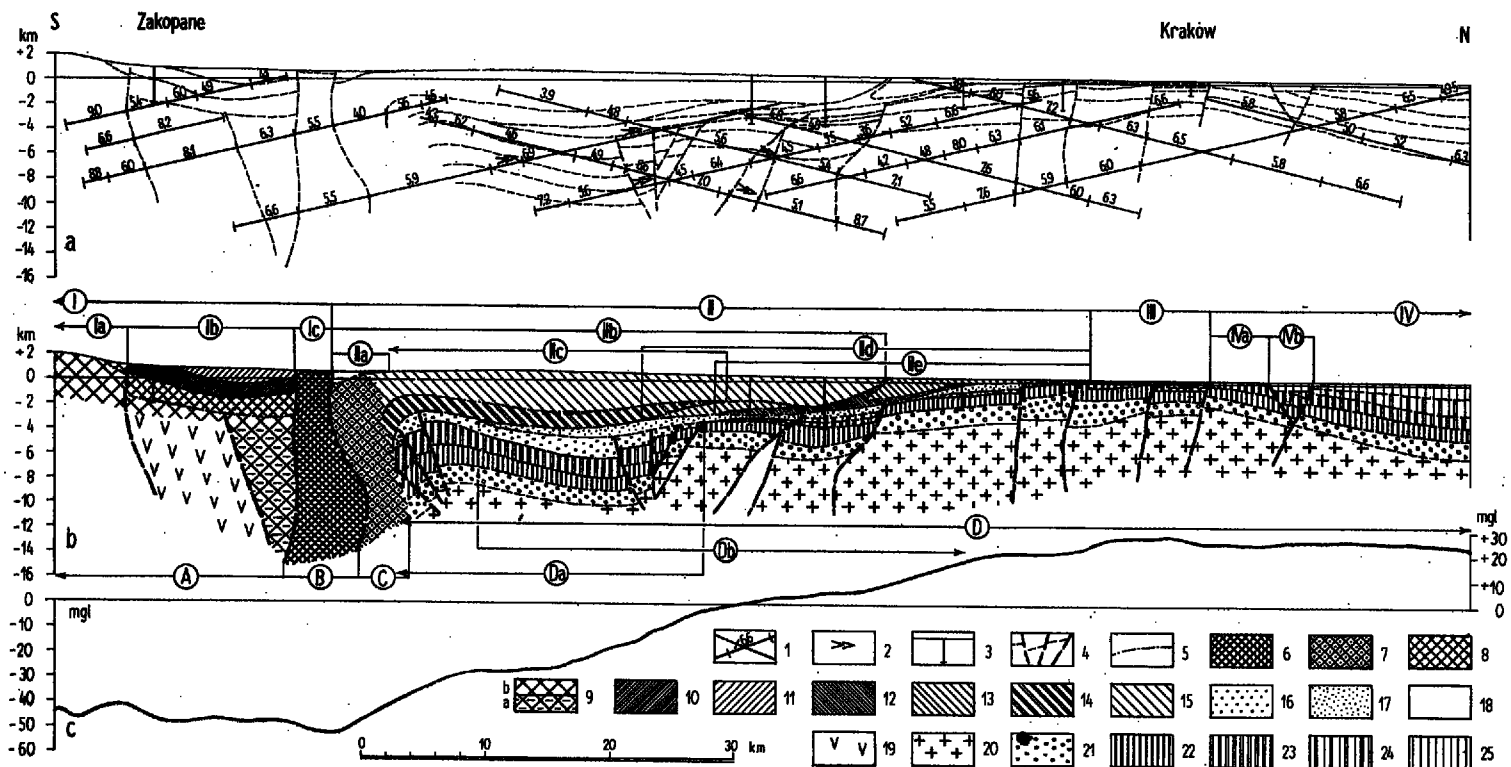


Fig. 2. Przekrój sejsmiczno-geologiczny Kraków-Zakopane (Seismic-geological Kraków-Zakopane cross section): a — przekrój sejsmiczny (seismic cross section), b — przekrój geologiczny (geological cross section), c — wykres natężenia siły ciężkości (intensity of gravity diagram)

ka kilometrów ku północy. Zasięg głębokościowy tej strefy jest znaczny. Wynosi on co najmniej kilkanaście kilometrów, podczas gdy w niecce Podhala sięga ona do głębokości 2,5 km a na obszarze zewnętrznych Karpat fliszowych dochodzi do około 7 km i obejmuje występujące tam prawdopodobnie molasowe utwory neogenu.

Interpretacja geologiczna tej wąskiej strefy o niskich prędkościach pozornych jest możliwa wyłącznie przy założeniach mobilizmu skorupy ziemskiej. Jest to ślad po strefie subdukcji (strefie Benioffa) rozwiniętej na kontakcie kolizyjnym dwóch kontynentów: afrykańskiego (łącznie ze skałowymi przed trzeciorzędem alpidami) i euroazjatyckiego. W wyniku kolizji nastąpiło nasunięcie fliszu kredowo-paleogeńskiego w postaci płaszczowin Karpat zewnętrznych na południową krawędź kontynentu euroazjatyckiego, przykrytą molasą neogeńską rowu przedgórskiego. W takiej interpretacji pieniński pas skałkowy jest skonsolidowaną strefą subdukcji kredowo-paleogeńskiego wieku, a kilkukilometrowy pas położony

1 — rozmieszczenie wartości pozornej prędkości fal sejsmicznych (distribution pattern of the apparent velocities of seismic waves) (km/s), 2 — strefy anomalnych wartości pozornej prędkości fal sejsmicznych (zone of anomalous values of apparent seismic wave velocities), 3 — odwiert (borehole) Zakopane IG-1, 4 — uskoki i strefy dyslokacyjne (faults and dislocation zones), 5 — główne nasunięcia (major overthrusts), 6 — pieniński pas skałkowy (Pieniny Klippen Belt), 7 — południowa część fliszu Karpat zewnętrznych wchłonięta w strefie subdukcji (southern part of the Outer Carpathian flysch in the consuming plate margin — Benioff's zone), 8 — utwory mezozoiczne płaszczowin reglowych (Mesozoic deposits of the sub-tatric nappes), 9 — utwory węglanowe (carbonate rocks) nieokreślonej przynależności (indeterminate) (a), płaszczowiny wierzchowej (of the high-tatric nappe) (b); 10—11 — flisz podhalański (Podhale Flysch): warstwy zakopiańskie (Zakopane beds) (10), warstwy chochołowskie i ostrzyckie (Chochołów and Ostryż beds) (11); 12—15 — flisz Karpat zewnętrznych (Outer Carpathian Flysch): jednostka podśląska (Sub-Silesian unit) (12), jednostka śląska (Silesian unit) (13), jednostka dukielsko-grybowska i jej odpowiedniki (Dukla-Grybów unit and its equivalents) (14), jednostka magurska (Magura unit) (15); 16—17 — miocen autochtoniczny zapadliśka przedkarpacciego (autochthonous Miocene of the Carpathian foredeep): karpatian (Ottangian-Carpathian) (16), Badenian (17); 18 — słodkowodny neogen niecki orawskono-wotarskiej (freshwater Neogene of the Orawa — Nowy Targ basin), 19 — kenozoiczne skały nowotarskiej (freshwater Neogene of the Orawa — Nowy Targ basin), 20 — podłoże krystaliczne (crystalline substratum), 21—25 — pokrywa osadowa paleozoiczno-mezozoiczna (sedimentary Paleozoic-Mesozoic cover): dewon dolny (Lower Devonian) (21), dewon środkowy i górny (Middle and Upper Devonian) (22), karbon dolny i górny (Lower and Upper Carboniferous) (23), jura (Jurassic) (24), kreda górna (Upper Cretaceous) (25)

I — Karpaty wewnętrzne (Inner Carpathians): Tatry (Tatra Mts) Ia, niecka Podhala (Podhale basin) Ib, pieniński pas skałkowy (Pieniny Klippen Belt) Ic; II — Karpaty zewnętrzne (Outer Carpathians): niecka orawsko-nowotarska (Orawa — Nowy Targ basin) Iia, jednostka magurska (Magura unit) Iib, jednostka dukielsko-grybowska i jej odpowiedniki (Dukla — Grybów unit and its equivalents) Iic, jednostka śląska (Silesian unit) Iid, jednostka podśląska (Sub-Silesian unit) Iie; III — przedgórze Karpat (Carpathian foreland); IV — Wyżyna Śląsko-Krakowska (Silesia-Cracow Highland); strefa zrębów Lasu Wolskiego i Tęczynka-Mydlnik (the Las Wolski and Tęczynek-Mydlniki horst zone) IVa, rów krzeszowicki (Krzeszowice graben) IVb

A — krystalinik, paleozoik, mezozoik i kenozoiczne wulkanity Karpat wewnętrznych (crystallinicum, Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic volcanites of the Inner Carpathians), B — kredowo-paleogeńska strefa subdukcji (Cretaceous-Paleogene consuming plate margin — Benioff's zone), C — neogeńska strefa subdukcji (Neogene consuming plate margin), D — zapadliśko przedkarpaccie (Carpathian foredeep): dolnomioceniczne do karpatianu włącznie (Lower Miocene including the Carpathian) Da, górnomiceniczne (Upper Miocene) Db

od niego na północ stanowi strefę subdukcji neogeńskiej, w czasie której południowa część geosynkliny zewnętrznych Karpat fliszowych łącznie z jej podłożem została wchłonięta działalnością subkrustalnych prądów konwekcyjnych.

Rozmieszczenie strefy niskich prędkości pozornych na głębokości poniżej 4000 m może wskazywać na istnienie systemu uskoków, zrzucających podłoże Karpat ku południowi. Pierwsza strefa uskokowa położona na północ od krawędzi subdukcyjnej jest jednym z regionalnych uskoków, wzdłuż których podłoże Karpat schodowo obniża się ku południowi. Uskok ten prawdopodobnie miał zasadnicze znaczenie w rozwoju zbiornika sedymentacyjnego ottnangianu i karpatianu, ograniczając go od północy.

Obniżanie się podłoża Karpat systemem schodowych dyslokacji ma swoje odzwierciedlenie w rozkładzie mas. Krzywa natężenia siły grawitacji (fig. 2c) w strefie występowania dyslokacji posiada zwiększony gradient. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w strefie subdukcji i w strefie pierwszej dyslokacji regionalnej położonego na północ od pienińskiego pasa skałkowego. Począwszy od tej dyslokacji w linii przekroju Kraków-Zakopane występują już ujemne wartości siły ciężkości z minimum przebiegającym na kontakcie pienińskiego pasa skałkowego z jednostką magurską, w strefie, gdzie nastąpiło spiętrzenie stosunkowo lekkich skał osadowych pienińskiego pasa skałkowego i gdzie powierzchnia Mohorovičića najbardziej się obniża. Począwszy od pienińskiego pasa skałkowego ku południowi siła ciężkości stopniowo wzrasta.

W strefie minimum grawitacyjnego rozwinięta jest śródgórska niecka orawsko-nowotarska, wypełniona słodkowodnymi osadami neogenu (Birkenmajer 1954), której powstanie może się wiązać z aktywnością tektoniczną strefy subdukcji pod koniec miocenu i w pliocenie.

Geologiczna interpretacja materiałów sejsmicznych wykazała bardzo dalekie nasunięcie utworów fliszowych na obszar zapadliska przedkarpacciego sięgającego aż po pieniński pas skałkowy, do strefy subdukcji. Tak daleki ku południowi zasięg miocenijskich osadów zapadliska przedkarpacciego przewidywał już Uhlig (1907), aczkolwiek w oparciu o odmienną koncepcję tektoniki Karpat. W świetle przedstawionej interpretacji niemożliwe jest występowanie autochtonicznych osadów fliszowych pod nasunięciem Karpat na skutek wchłonięcia geosynkliny fliszowej Karpat zewnętrznych i bardzo dużego jej skrótu orogenetycznego (Książkiewicz 1960).

*Instytut Naftowy*  
ul. Lubicz 25a, 31-154 Kraków

*Zakład Opracowań Geologicznych*  
*Górnictwa Naftowego „Geonafte”*  
ul. Lubicz 25, 31-154 Kraków

*Kraków, w styczniu 1976 r.*

#### LITERATURA CYTOWANA

- BIRKENMAJER K. 1954. Sprawozdanie z badań geologicznych przeprowadzonych nad neogenem na Podhalu, w latach 1949—1951. *Biul. Inst. Geol.*, 86, 59—86. Warszawa.

- 1960. Geology of the Pieniny Klippen Belt of Poland. *Jb. Geol., B. A.* 103, 1—36. Wien.
- GOŁĄB J. 1959. Zarys stosunków geologicznych fliszu zachodniego Podhala. *Biul. Inst. Geol.*, 149, 225—237. Warszawa.
- GUCIK S. 1975. Wyniki badań serii skalnych w profilu otworu wiertniczego Głogoczów IG-1. *Kwart. Geol.*, 19 (4), 936—937. Warszawa.
- JASIONOWICZ J. 1975. Wstępne wyniki badań podłoża fliszu w otworze wiertniczym Tokarnia IG-1. *Kwart. Geol.*, 19 (4), 953. Warszawa.
- JASIONOWICZ J. & LISZKOWA J. 1975. Wstępne wyniki badań osadów fliszowych z otworu Tokarnia IG-1 (część 1). *Kwart. Geol.*, 19 (2), 491—492. Warszawa.
- KISŁÓW A. 1948. Przybliżona metoda obliczeń refrakcyjnych. *Nafta*, 4 (4), 124—128.
- 1971. Warunki petrofizyczne i stosowanie metody sejsmicznej na obszarze zachodniego Przedgórzia Karpat. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41 (3), 487—514. Kraków.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1960. Zarys paleogeografii polskich Karpat fliszowych. *Prace Inst. Geol.*, 33, 209—231. Warszawa.
- 1963. Evolution structurale des Carpathes polonaises. *Livre à la memoire du prof. P. Falot*, 2, 529—562. Paris.
- POŁTOWICZ S. 1974. Problem utworów karpatańskich w podłożu Karpat Zachodnich. *Geof. Geol. Naft.*, 5—6, 121—126. Kraków.
- SOKOŁOWSKI S. 1973. Geologia paleogenu i mezozoicznego podłoża południowego skrzydła nieckiej podhalańskiej w profilu głębokiego wiercenia w Zakopanem. *Biul. Inst. Geol.*, 265, 5—74. Warszawa.
- UHLIG V. 1907. Über die Tektonik der Karpathen. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien*, 66 (1), 871—982. Wien.
- WATYCHA L. 1950. Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. *Przeł. Geol.*, 8, 350—356. Warszawa.

A. KISŁÓW & S. POŁTOWICZ

### SUMMARY

An analysis of the distribution pattern of the apparent velocities of seismic waves in the Kraków-Zakopane section plane, supplemented by deep-boring data, permits to present the main features of the geology of the Carpathians and their substratum in a cross section of the Outer Flysch Carpathians. Several regional dislocations, connected with the evolution of the Carpathian foredeep, have been noted in the Mesozoic-Paleozoic substratum. The contact area of the Inner Carpathians with the Outer Carpathians, c. 8 km in width, comprising the Pieniny Klippen Belt and the southern part of the Magura unit, has been interpreted as the consuming plate margin of the Euro-Asiatic plate in the Cretaceous and Tertiary time. Processes taking place in the southern part of the Outer Carpathians Flysch geosyncline have led to the consumption of the plate margin owing to subcrustal convection currents while the Flysch of the northern part of the geosyncline has been overthrust northwards.

In the light of the presented interpretation the presence of autochthonous Flysch deposits under the Carpathian overthrust seems hardly admissible.