

Wstępne wyniki badań nad spękaniami ciosowymi w jednostce skibowej (skolskiej) Karpat Ukraińskich*

Witold Zuchewicz**, Ihor M. Bubniak***, Marta Rauch****

Jointing in the Skiba (Skole) Unit, Ukrainian Carpathians

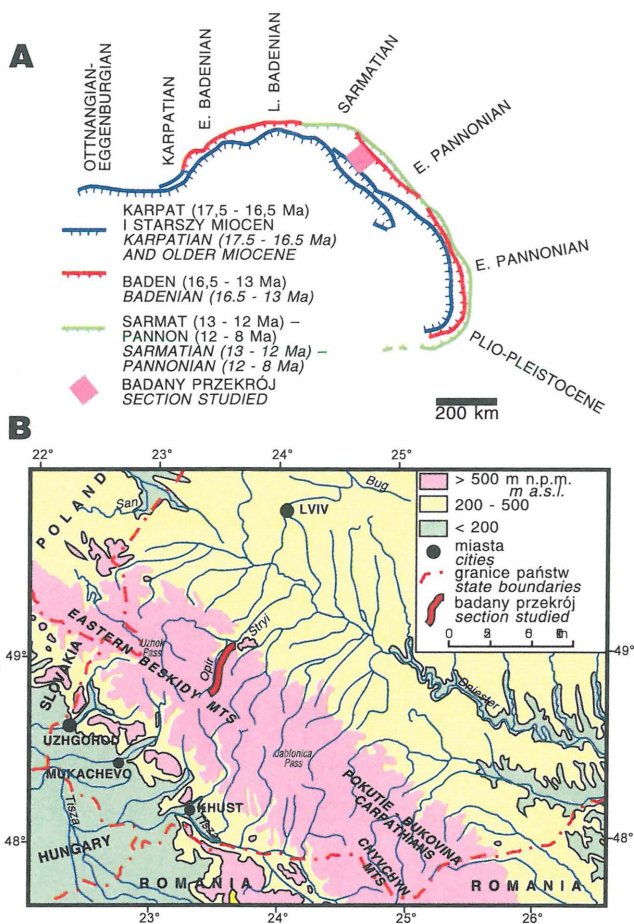
Summary. The Skiba (Skole) nappe is composed of a number of imbricated slices thrust one upon another in the middle-late Miocene times. In a SW–NE oriented profile, these are Slavsko, Rozhanka, Zelemianka, Parashka, Skole, Orovskaya and Beregovaya (marginal) slices, whose lithostratigraphic inventory includes Upper Cretaceous through Oligo-Miocene flysch sequences of differentiated thicknesses. Joints and shear/hybrid shear fractures have been measured at some 40 stations equally spaced throughout all but the marginal slices of the Skiba nappe along the Opir river section. The fractures are mostly cathetal ones and cluster into two to three cross-fold sets, accompanied by a single orogen-parallel set. The axes of maximum stress associated with jointing usually trend NE–SW to W–E, as far as Paleogene and Miocene strata are concerned, being subperpendicular to the overall strike of thrusts and folds. In the Upper Cretaceous strata, however, the axes in question strike N–S to NNE–SSW. These results suggest that jointing must have been coeval with folding and thrusting of the Skiba nappe.

Motto: *Badania historii geologicznej spękań napotykają na nieustanne trudności.* Twiss & Moores (1992, s. 37)

Jednostka skibowa (skolska) jest jedną z większych jednostek tektonicznych zewnętrznych Karpat Wschodnich (ryc. 1, 2). Składa się ona z wielu skib o wergencji NE, nasuniętych na siebie w środkowym–późnym (?) miocenie (ryc. 1, 3–5). Należą do nich (od SW ku NE) skiby: Sławska, Rożanki, Zelemianki, Paraszki (Paraszki–Arszycy), skolska, orowska oraz brzeżna. Inwentarz litostratygraficzny (por. ryc. 4) obejmuje górnokredowe, cienko- do średnioławicowych warstwy stryjskie (inoceramowe *sensu lato*), paleoceńskie gruboławicowe piaskowce jamneńskie, paleoceńsko-eoceńskie łupki pstry oraz zróżnicowanej miąższości turbidyty warstw maniańskich, pasieczniańskich, wyhodzkich i bystrzyckich, oligoceńskie warstwy menilitowe oraz wapieniste i krzemionkowe warstwy hołowieckie, a także oligo-miocenijskie, średnio- do gruboławicowych kompleksy piaskowcowo-łupkowe warstw werchowińskich (krośnieńskich). W większości przypadków, w miarę zbliżania się do czoł nasunięć kolejnych skib pojawiają się wychodnie utworów coraz starszych (ryc. 4, 5).

Badany obszar obejmuje 35 km długości przekrój przez jednostkę skibową wzdłuż doliny Oporu i fragmentu doliny Stryja, między Ternową na południowy zachód i Nyznem Synewidnem na północny wschód (por. ryc. 5). Ten fragment jednostki skibowej był przedmiotem szczegółowego zdjęcia geologicznego badaczy polskich (m.in. Tołwiński, 1935), a następnie rosyjskich i ukraińskich (por. Głuszko &

Krugłow, 1979; Wiałow, 1984; Krugłow & Cypko, 1988; Kulczycki, 1989). W ostatnich latach szczegółowe prace kartograficzne prowadzili Kuzowenko (1990) oraz Głuszko i in. (1994). Badania mezostukturalne i mikrotektoniczne ograniczyły się do studiów Kopystiańskiego (1966) oraz Kopystiańskiego i Kryzewicza (1985), stwierdzających zapadanie osi maksymalnej kompresji w trakcie nasunięć miocenijskich ku NE pod kątem 25–45° oraz NW–SE orientację osi naprężenia pośredniego, zgodną z przebiegiem osi fałdów. Prezentowane poniżej wstępne wyniki badań mezostukturalnych, przeprowadzonych w 1996 roku, są efektem współpracy między Uniwersytetem Jagiellońskim, Polską Akademią Nauk oraz Instytutem Geologii i Geochemii Ukraińskiej Akademii Nauk we Lwowie.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań: A — wiek ostatniego epizodu ruchów nasuwczych w Karpatach zewnętrznych (wg Royden, 1988). Prostokąt wskazuje lokalizację obszaru; B — szkic topograficzny Karpat Ukraińskich

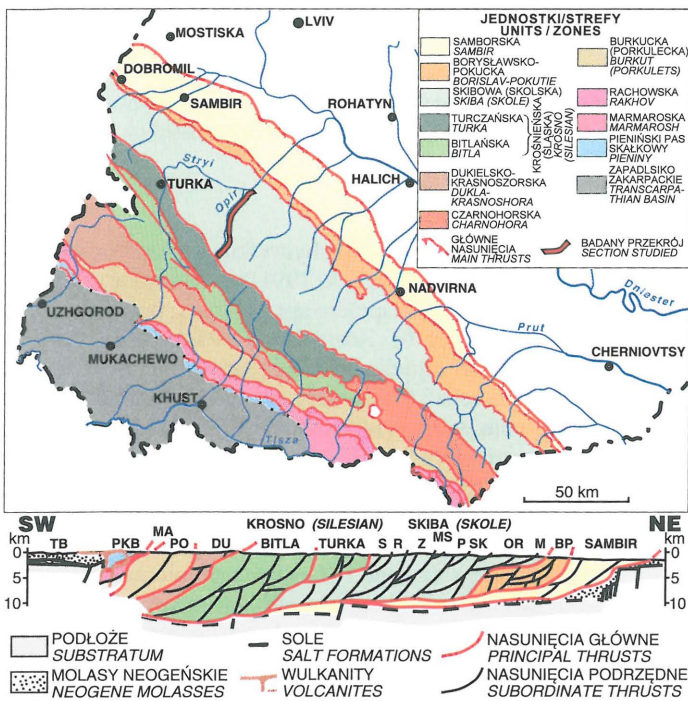
Fig. 1. Location of the study area: A — ages of the last episode of thrusting in the Outer Carpathians (based on Royden, 1988); solid bar marks the section studied; B — topographic sketch of the Ukrainian Carpathians

*Badania zrealizowano w ramach grantu KBN nr 9 T12B 020 09

**Instytut Nauk Geologicznych, UJ, ul. Oleandry 2A, 30-063 Kraków; e-mail: witold@ing.uj.edu.pl

***Instytut Geologii i Geochemii Paliw Kopalnych Ukraińskiej Akad. Nauk, Naukowa 3a, Lwów; e-mail: BUBNIAK@franko.lviv.ua

****Instytut Nauk Geologicznych PAN, Senacka 3, 31-002 Kraków



Ryc. 2. Szkic tektoniczny oraz przekrój poprzeczny przez Karpaty ukraińskie (wg Głuszko i in., 1994). Jednostki/strefy tektoniczne: PKB — pieniński pas skałkowy; płaszczowiny Karpat zewnętrznych: MA — marmaroska, PO — porkulecka, DU — dukielska, BP — borysławsko-pokucka; skiby jednostki skibowej (skolskiej): S — Sławska, R — Rożanki, Z — Zelemianki, MS — malmannstalska, P — Paraszki, SK — skolska, OR — orowska, M — brzeźna

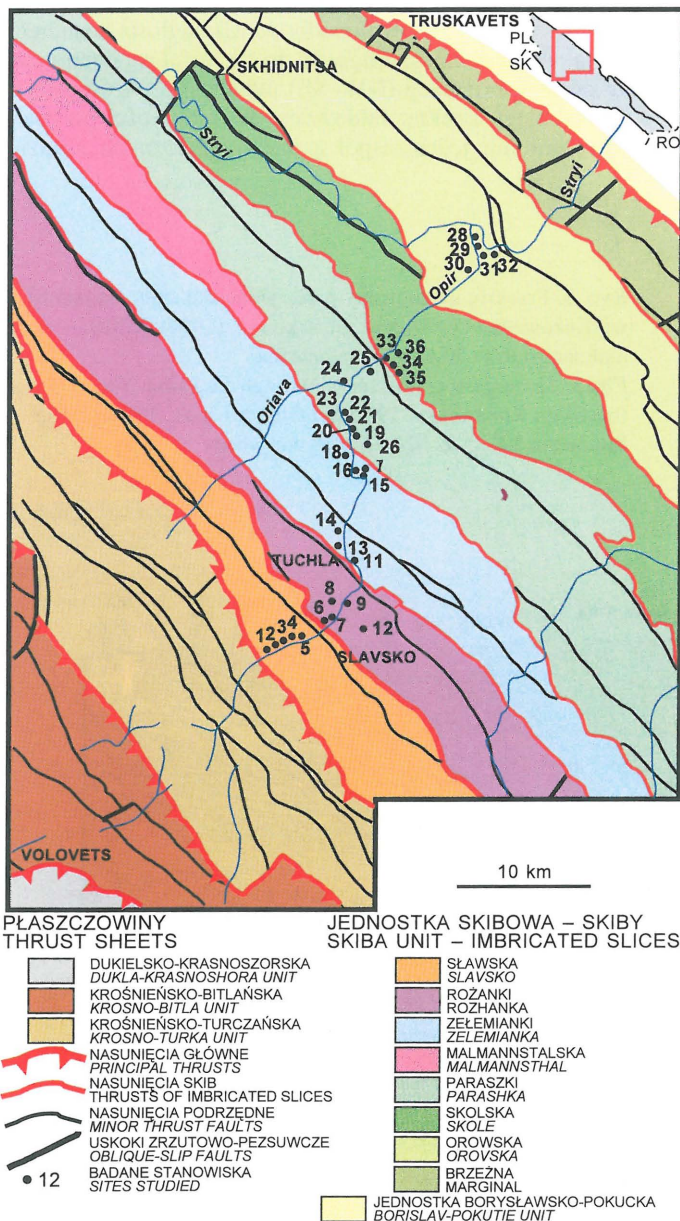
Fig. 2. Tectonic sketch and section across the Ukrainian Carpathians (based on Głuszko et al., 1994); simplified). Tectonic units/zones: PKB — Pieniny Klippen Belt; Outer Carpathian thrust sheets: MA — Marmarosh, PO — Porkulets, DU — Dukla, BP — Borislav-Pokutie; slices of the Skiba (Skole) thrust sheet: S — Slavsko, R — Rozhanka, Z — Zelemianka, MS — Malmannsthal, P — Parashka, SK — Skole, OR — Orowska, M — marginal

Materiał

Spękania ciosowe pomierzono w 41 stanowiskach rozmieszczonych równomiernie w obrębie wszystkich, za wyjątkiem brzeźnej, skibach jednostki skibowej, w profilu doliny Oporu (ryc. 3, 4). Większość analizowanych odsłoneń reprezentuje utwory eocenu (32%) i oligocenu (32%), w mniejszym stopniu górnej kredy (19,5%), paleocenu (7%) oraz oligo-miocenu (9,5%). Analizowano głównie kompleksy gruboławicowe (34%) oraz średnio- do gruboławicowych (29%), wykonując ponad 4000 pomiarów. Rezultaty badań nad drobnymi uskoki i fałdami zostaną przedstawione w odrębnym opracowaniu.

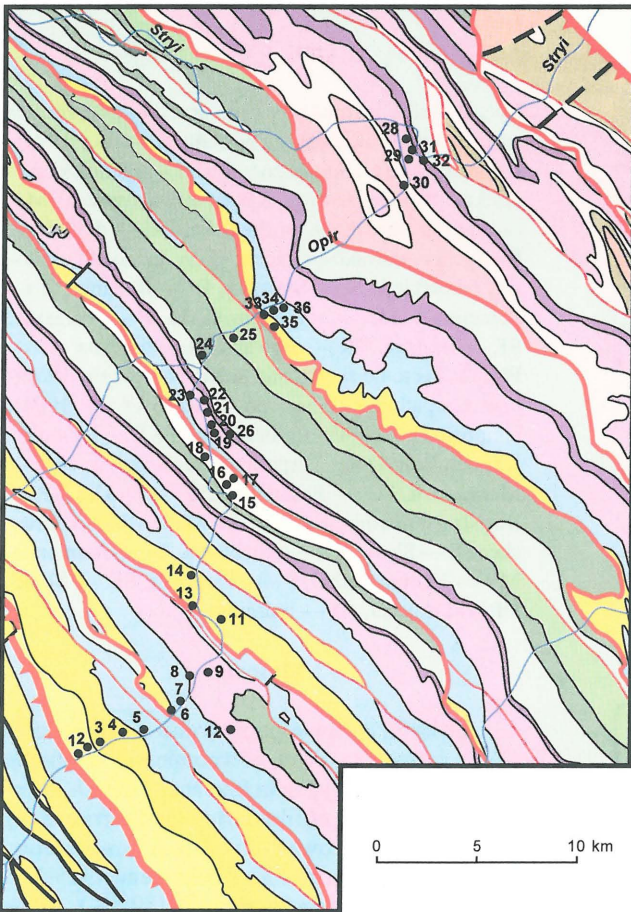
Wyniki

Analizowane spękania ciosowe są prawie wyłącznie spękaniami katetalnymi, które należą do kilku zespołów: podłużnego (L), subrównoległego do rozciągłości struktur (0–25° w stosunku do azymutu linii biegu warstw), ukośnego (D; 25–45° względem uławicenia) oraz — najczęściej spotykanych — dwóch do trzech zespołów poprzecznych (T; 45–90°). Spękania ekstensyjne wykazują zazwyczaj powierzchnie nierówne, szorstkie, niekiedy zakrzywione i zabliźnione żyłami kalcytowymi do 3 cm grubo-



Ryc. 3. Szkic tektoniczny obszaru badań (wg Kuzowenko, 1990). Mapa w prawym górnym rogu wskazuje lokalizację obszaru badań w obrębie Karpat Ukraińskich

Fig. 3. Tectonic sketch of the area studied (geology based on Kuzowenko, 1990). Inset map shows the location of the area in the Ukrainian Carpathians



Ryc. 4. Szkic geologiczny obszaru badań (wg Kuzowenko, 1990)
 Fig. 4. Geological sketch of the area studied (based on Kuzowenko, 1990)

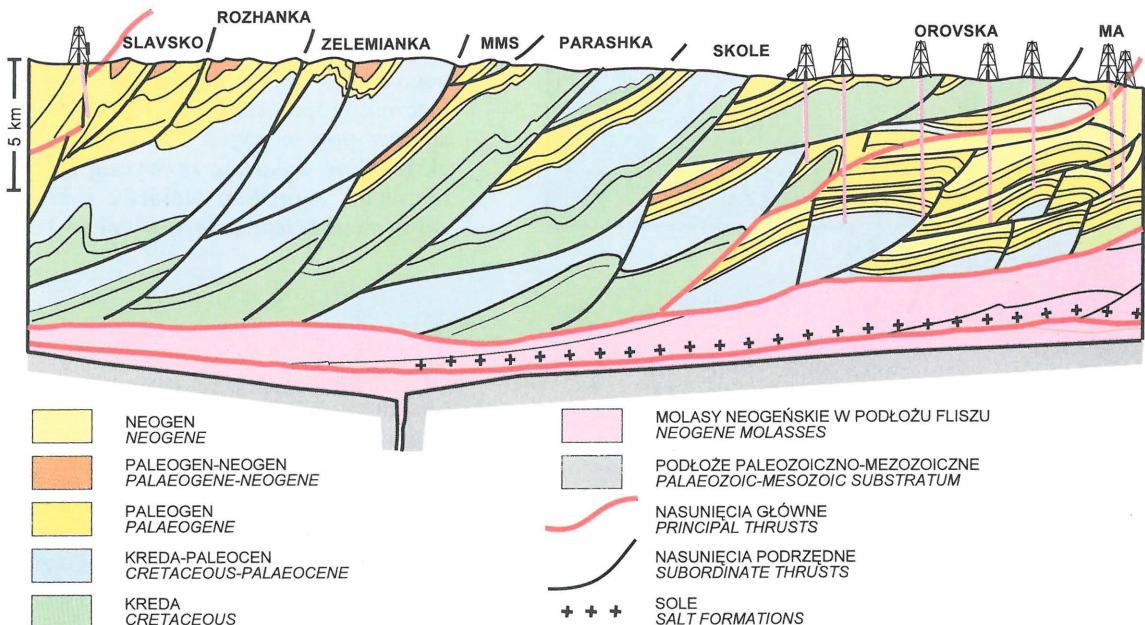
ści. Spękania ścięciowe oraz hybrydowe (*shear or hybrid-shear fractures*; por. Hancock, 1991) są ogładzone, planarne i często tworzą pary zespołów sprzężonych, przecinających się pod kątem 40° do 70°. Zdecydowana większość głównych zespołów spękań zajmuje położenie niemal pionowe; można zatem przypuszczać iż powstały one u schyłku fałdowania, przy położeniu warstw zbliżonym do obecnego. Wypiętrzenie postorogeniczne, a co za tym idzie wychylenie osi fałdów są — w obecnym stadium badań — trudne do oszacowania, stąd też przedstawione poniżej wyniki mogą być obarczone pewnym niewielkim błędem.

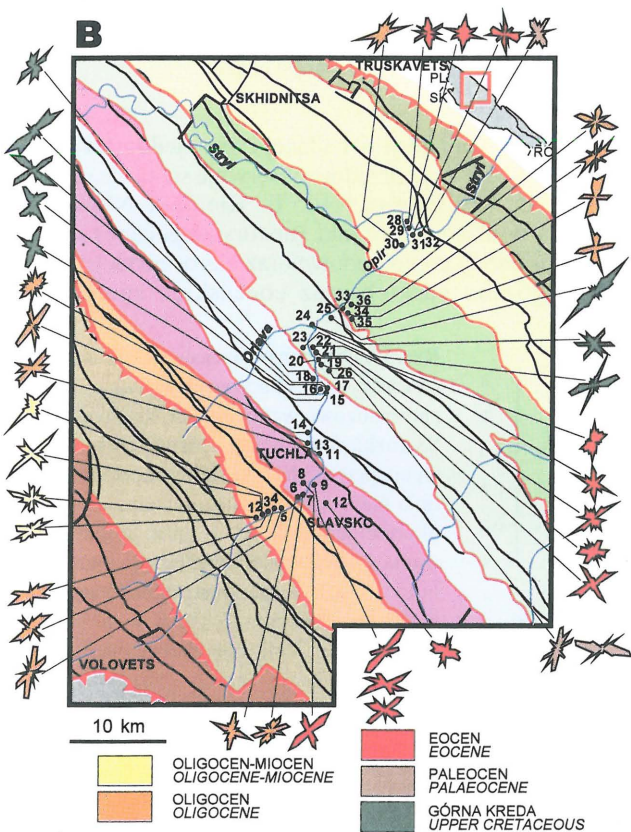
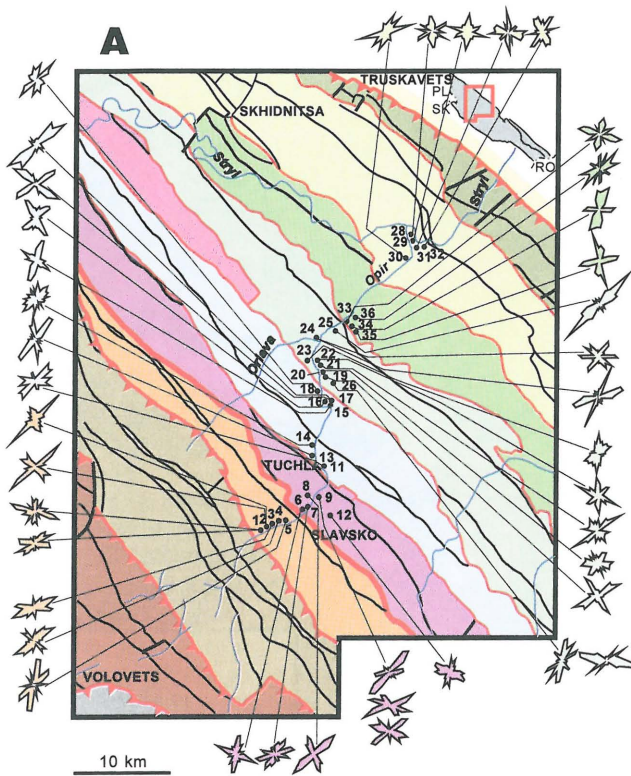
Spękania ekstensyjne i ścięciowe pomierzone w przekroju doliny Oporu wykazują bardzo regularny układ (ryc. 6), zdominowany przez cztery główne kierunki: NE–SW, NW–SE, NNE–SSW oraz ESE–WNW. Pierwszy (NE–SW) i ostatni (ESE–WNW) występują we wszystkich analizowanych stanowiskach. Najczęściej obserwowany kierunek NE–SW jest niemal prostopadły do rozciągłości nasunięć i osi fałdów, natomiast drugie co do częstości występowania maksimum orientacji (NW–SE) układa się subrównoległe do przebiegu struktur fałdowych. W większości przypadków dominuje jeden zespół spękań poprzecznych, rzadziej



Ryc. 5. Przekrój geologiczny przez jednostkę skibową (skolską) wg Kuzowenko (1990) oraz Głuszko i in. (1994); MMS — skiba malmannstalska, MA — skiba brzeżna
 Fig. 5. Geological cross-section through the Skiba (Skole) Nappe (based on Kuzowenko, 1990 and Głuszko *et al.*, 1994); MMS — Malmannsthal slice, MA — marginal slice

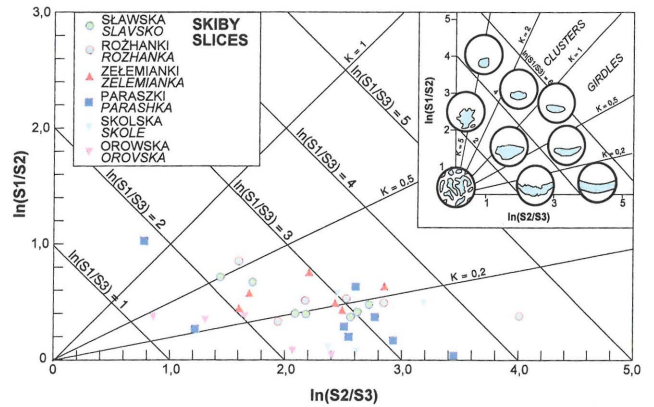
- WARSTWY WOROTYSZCZEŃSKIE (MIOCEN)
- WARSTWY WERCHOWYŃSKIE ŚRODKOWE (OLIGOCEN-MIOCEN)
- WARSTWY WERCHOWYŃSKIE DOLNE (OLIGOCEN)
- WARSTWY HOŁOWIECKIE (OLIGOCEN)
- WARSTWY MENILITOWE GÓRNE (OLIGOCEN)
- WARSTWY MENILITOWE ŚRODKOWE (OLIGOCEN)
- WARSTWY MENILITOWE DOLNE (OLIGOCEN)
- UTWORY EOCENU, NIEROZDZIŁONE
- WARSTWY JAMNENSKIE (PALEOCEN)
- WARSTWY STRYJSKIE GÓRNE (SENON-PALEOCEN)
- WARSTWY STRYJSKIE ŚRODKOWE (SENON)
- WARSTWY STRYJSKIE DOLNE (KREDA GÓRNA)
- UTWORY GÓRNOKREDOWE, NIEROZDZIŁONE
- NASUNIĘCIA GŁÓWNE (PRINCIPAL THRUSTS)
- NASUNIĘCIA SKIB (THRUSTS OF IMBRICATED SLICES)
- NASUNIĘCIA PODRZĘDNE (MINOR THRUST FAULTS)
- USKOKI (FAULTS)
- 1 BADANE STANOWISKA (SITES STUDIED)





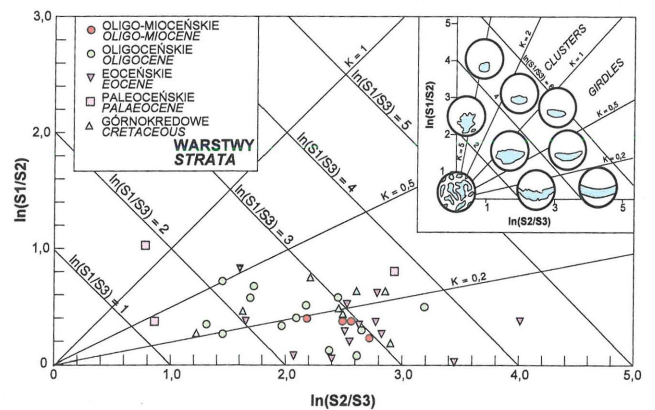
Ryc. 6. Róże spękań ciosowych w obrębie skib jednostki skibowej (skolskiej) w przekroju doliny Oporu. Kolory odpowiadają kolejnym skibom (a) oraz wiekowi warstw (b)

Fig. 6. Joint pattern in the Skiba (Skole) Nappe along the Opir river section. Colours refer to individual slices (a) and the age of strata (b)



Ryc. 7. Diagram logarytmiczny wskaźników znormalizowanych wartości własnych S1, S2 i S3, obrazujących rozkłady spękań ciosowych w kolejnych skibach jednostki skibowej (skolskiej). Diagram w prawym górnym rogu pokazuje typowe rozkłady dla określonych przedziałów znormalizowanych wartości własnych (clusters — zgrupowania, girdles — łuki) w ujęciu Woodcocka (1977)

Fig. 7. Two-axis logarithmic plot of ratios of normalized eigenvalues S1, S2 and S3, showing joint distributions throughout the slices of the Skiba (Skole) Nappe. Inset diagram shows typical arrangements of girdle/cluster distributions depending on ratios of normalized eigenvalues (adapted from Woodcock, 1977)

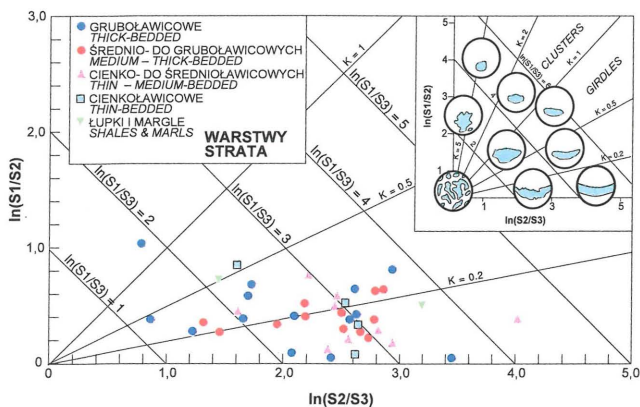


Ryc. 8. Diagram logarytmiczny wskaźników znormalizowanych wartości własnych S1, S2 i S3, obrazujących rozkłady spękań ciosowych w różnowiekowych seriach fliszowych jednostki skibowej (skolskiej)

Fig. 8. Two-axis logarithmic plot of ratios of normalized eigenvalues S1, S2 and S3, showing joint distributions throughout the flysch series of different age in the Skiba (Skole) Nappe

ukośnych czy też podłużnych. Najczęściej spotykane orientacje spękań poprzecznych, ukośnych i podłużnych wynoszą, odpowiednio, N45°E, N5°E oraz N35°W.

Parametry statystyczne rozkładów orientacji spękań, przedstawione na diagramie Woodcocka (1977), nie wykazują większego zróżnicowania pomiędzy badanymi stanowiskami. Zarówno wiek warstw, jak też cechy litologiczne względnie pozycja tektoniczna nie odgrywają tutaj istotnej roli (tab. 1, ryc. 7–9). Można zatem przypuszczać, iż badane spękania powstały w tym samym polu naprężeń. Uśrednione wartości parametrów K i C wynoszą, odpowiednio 0,26 i 2,71, wskazując na dominację rozkładów typu łukowego (girdle-type distribution) oraz bardzo umiarkowany stopień „uporządkowania” (fabric strength) spękań wokół kierunku



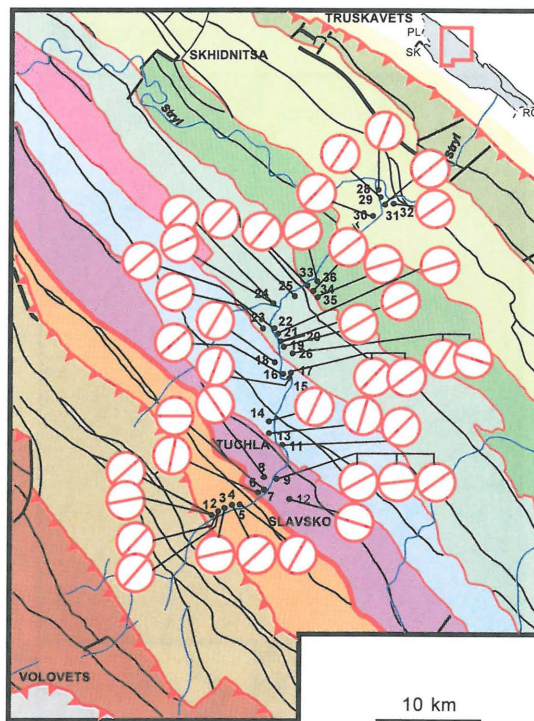
Ryc. 9. Diagram logarytmiczny wskaźników znormalizowanych wartości własnych S1, S2 i S3, obrazujących rozkłady spękań ciosowych w warstwach o różnej grubości w obrębie jednostki skibowej (skolskiej)

Fig. 9. Two-axis logarithmic plot of ratios of normalized eigenvalues S1, S2 and S3, showing joint distributions within flysch strata of different thickness in the Skiba (Skole) Nappe

ków dominujących (wartości parametru C zmieniają się od 1,91 do 3,04). Skiby Rożanki oraz skolska zdają się wykazywać nieco lepsze uporządkowanie orientacji spękań, natomiast w skibie orowskiej rozkład orientacji zbliża się niemal do układu losowego (ryc. 10). Z drugiej strony, skiby skolska i orowska wykazują najmniejsze wartości parametru K (0,12 i 0,20), typowe dla wyraźnie zaznaczonych rozkładów typu łukowego.

Dyskusja

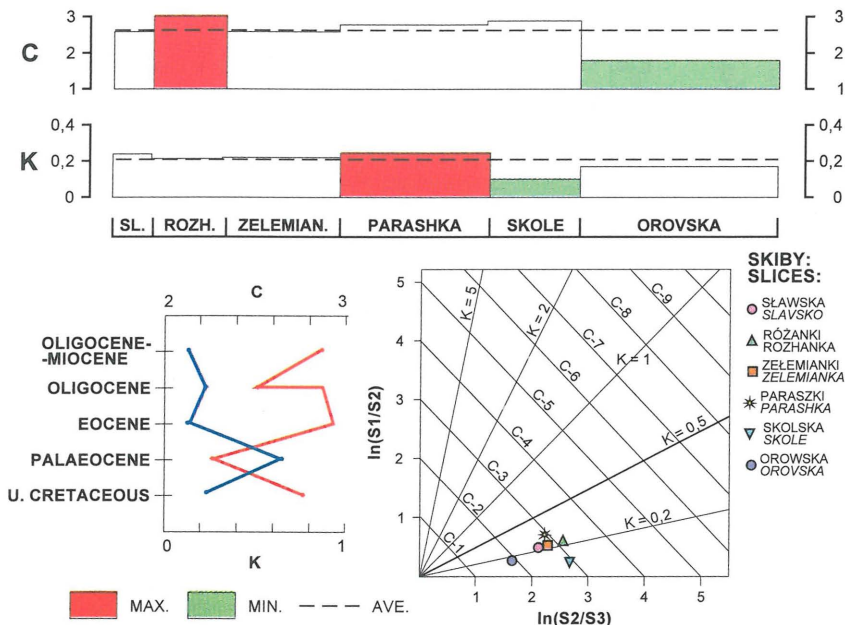
Położenie osi maksymalnego nacisku rekonstruowano w oparciu w orientację pojedynczych, wyraźnych maksimumów poprzecznych spękań ekstensyjnych oraz odtwarzając dwusieczną kąta ostrego między sprzężonymi zespołami spękań ścięciowych (ryc. 11). Uśredniona orientacja osi



Ryc. 11. Orientacja osi maksymalnego nacisku tektonicznego, rekonstruowana według układu spękań ciosowych w jednostce skibowej (skolskiej)

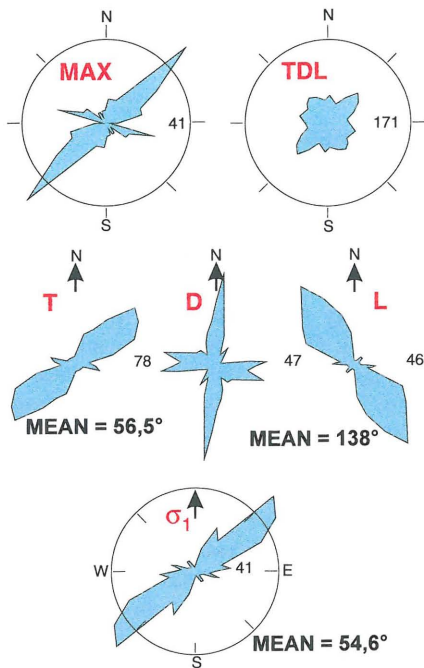
Fig. 11. Orientation of the axes of maximum stress inferred from the joint patterns in the Skiba (Skole) Nappe

maksymalnej kompresji w badanej części jednostki skibowej wynosi N55°E; podrzędnie obserwuje się także orientacje N25°E, N85°E oraz N105°E. Kierunki NNE–SSW dominują w skibach Rożanki (utwory oligocenu) i Zelemianki (warstwy górnokredowe oraz oligocenijskie); w skałach oligo-miocenijskich oraz eocenijskich spotyka się



Ryc. 10. Diagram obrazujący średnie wartości parametrów C i K, obliczonych według wskaźników znormalizowanych wartości własnych S1, S2 i S3 rozkładów spękań ciosowych w przekroju Oporu przez jednostkę skibową (skolską). Gruba linia przerywana wskazuje wartość uśrednioną dla całej jednostki; C — miara stopnia zgrupowania danych wokół określonego kierunku, $C = \ln(S1/S3)$; K — parametr określający typ rozkładu (zgrupowania, łuki), $K = \ln(S1/S2) : \ln(S2/S3)$; K = 1 definiuje granicę między zgrupowaniami a łukami; łuki występują pod tą linią ($0 \leq K \leq 1$), zgrupowania powyżej

Fig. 10. Plot showing mean values of C and K parameters, calculated from ratios of normalized eigenvalues S1, S2 and S3 of joint distributions along the Opor river section across the Skiba (Skole) Nappe. Thick dashed line shows the average values throughout the nappe; C — measure of the strength of the preferred orientation, $C = \ln(S1/S3)$; K — parameter defining girdle/cluster tendencies, $K = \ln(S1/S2) : \ln(S2/S3)$; K = 1 defines girdle/cluster transition, girdles plot below this line ($0 \leq K \leq 1$) and clusters plot above



również kierunki, odpowiednio: ENE–WSW oraz ESE–WNW. Skiby Paraszki, skolska i orowska wykazują układ bardziej jednorodny, zdominowany przez orientację NE–SW (ryc. 11, 12). Niewielka liczba stanowisk badawczych nie pozwala jednak na wychwycenie zależności między wiekiem i miąższością warstw a orientacją osi maksymalnej kompresji.

Podsumowanie

Osie maksymalnej kompresji związanej ze spękaniami ciosowymi w badanym fragmencie jednostki skibowej układają się najczęściej NE–SW w utworach paleogenu i miocenu, poprzecznie do rozciągłości nasunięć i osi fałdów (ryc. 12). W nielicznych przypadkach, w seriach górnokredowych, osie te przybierają orientację NNE–SSW do NE–SW. Uzyskane wyniki potwierdzają częściowo rezultaty studiów mikrostrukturalnych Kopyściańskiego i Kryżewicza (1985) nad orientacją osi optycznych zdeformowanych ziarn kwarcu i sugerują, iż formowanie ciosu było równoczesne z fałdowaniem i nasuwaniem warstw.

Literatura

- GŁUSZKO W. W. & KRUGŁÓW S. S. 1979 — Głównyje osobienosti tiektoniki i razwitia Ukrainskih Karpat. Min. Geol. SSSR, WIEMS, Moskwa.
 GŁUSZKO W. W., SZLAPIŃSKI W. E., KULCZYCKI J. O., KUZOWENKO W. W. & HARASZCZUK A. W. 1994 — Shema tektonicznego rajonuwania Ukrainskih Karpat, 1 : 1 000 000. DDP Zakhidukrgeologia, Lwiwskii derzhawnyi uniwersitet. Lwow (niepubl.).



Ryc. 12. Diagram zbiorczy parametrów spękań ciosowych w jednostce skibowej (skolskiej) w przekroju doliny Oporu. MAX — rozkład dominujących kierunków spękań ciosowych (każdorazowo brano pod uwagę najsilniejsze maksimum dla każdego stanowiska), TDL — rozkład najczęstszych kierunków spękań (z uwzględnieniem wszystkich maksimów orientacji dla każdego stanowiska), T — histogram dominujących spękań poprzecznych, D — histogram dominujących spękań ukośnych, L — histogram dominujących spękań podłużnych; pozycja maksimów spękań względem rozciągłości warstw: T — poprzeczne (45–90°), D — ukośne (25–45°), L — podłużne (0–25°); dolny diagram wskazuje rozkład osi maksymalnego nacisku tektonicznego zrekonstruowanych w oparciu o układ spękań poprzecznych

Fig. 12. Summary plot of joint pattern parameters in the Skiba (Skole) Nappe along the Opir river section. MAX — distribution of predominant joint orientations (the strongest maximum at each site has been taken into account), TDL — distribution of dominant joint orientations (including all maxima identified at each site), T — histogram of dominant transversal (cross-fold) joints, D — histogram of dominant diagonal joints, L — histogram of dominant longitudinal joints; position of joint maxima in relation to bedding: T — transversal (45–90°), D — diagonal (25–45°), L — longitudinal (0–25°); the lowermost circular plot shows distribution of the axes of maximum stress inferred from cross-fold joint pattern

- HANCOCK P. L. 1991 — Phil. Trans. Royal Soc. London A, 337: 29–40.
 KOPYSTIAŃSKI R. S. 1966 — Problema triszcziniuwatosti porid u naftowej geologii. Naukowa Dumka, Kijów.
 KOPYSTIAŃSKI R. S. & KRYŻEWICZ W. L. 1985 — Mikrostrukturalnyj analiz fliszowych otłozienii Karpat i jego znaczenie dla nieftiegazowej geologii. AN USSR, Inst. Geol. Geoch. Gor. Iskop., Lwow.
 KRUGŁÓW S. S. & CYPKO A. K. (red.) 1988 — Tektonika Ukrainy. Niedra, Moskwa.
 KULCZYCKI J. O. (red.) 1989 — Objasnitielnaja zapiska k riegionalnoj stratigraficzeskoj shiemie mielowych otłozienii Ukrainskih Karpat. AN USSR, Inst. Geol. Geoch. Gor. Iskop., preprint 89–5: 1–50, Lwow.
 KUZOWENKO W. W. (red.) 1990 — Izuczienie gieoologo-gieofiziczeskih materialow po skibowej i krosnienskoj zonom składczych Karpat s celu wjawlenia pierspiektiwnyh na nieft i gaz obiektow. PGO Zapukrgieologia, tiematiczeskaja partia, Lwowskij gosuniwersitet. Lwow (niepubl.).
 ROYDEN L. H. 1988 — AAPG Mem., 45: 27–48.
 TOŁWIŃSKI K. 1935 — Carte gologique générale de la Pologne au 100 000-e, feuille Skole. Ed. Sérvice Géologique de Pologne, Varsovie.
 TWISS R. J. & MOORES E. M. 1992 — Structural Geology. W. H. Freeman and Comp., New York.
 WIAŁÓW O. S. (red.) 1984 — Objasnitielnaja zapiska k riegionalnoj stratigraficzeskoj shiemie paleogienowych otłozienii Ukrainskih Karpat. AN USSR, Inst. Geol. Geoch. Gor. Iskop., preprint, 84–19: 1–50, Kijów.
 WOODCOCK N. H. 1977 — Bull. Geol. Soc. Amer., 88: 1231–1236.