

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. XLVIII, 23

SECTIO B

1993

Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego
i Bieszczadzka Stacja Naukowa Instytutu Nauk o Ziemi UMCS

Witold ZUCHIEWICZ, Andrzej HENKIEL

**Orientacja późnokenozoicznych naprężeń tektonicznych w świetle analizy
pomiarów spękań ciosowych w SE części Karpat Polskich**

Orientation of Late Cainozoic Stress Field Axes in the Light of Joint Pattern Analysis in SE Part of the Polish
Carpathians

WPROWADZENIE

Celem pracy jest charakterystyka wybranych mezostruktur jednostek dukielskiej i śląskiej wschodniej części Karpat polskich w Bieszczadach Wysokich i Niskich na podstawie analizy przeszło 7000 pomiarów spękań ciosowych (tab. 1) oraz ich relacji do struktur fałdowych.

Badania mezostrukturalne w polskich Karpatach Zewnętrznych koncentrowały się najczęściej w ich zachodniej części (M. Książkiewicz 1968; A. K. Tokarski 1975 b, 1977; P. Aleksandrowski 1985 a, b, 1986, 1989; L. Mastella 1988; N. Oszczypko i inni 1991); Karpaty Wschodnie były – jak dotychczas – przedmiotem sporadycznych opracowań.

Analizę spękań ciosowych kilku struktur fałdowych wschodniej części jednostki śląskiej zaprezentowali A. Henkiel i W. Zuchiewicz (1988, 1989). Inne prace (por. K. Żytko 1968; A. Ślaczka 1971, 1985; M. Książkiewicz 1972; A. K. Tokarski 1975 a; S. Wdowiarz 1985; J. Kuśmierk 1979, 1990; J. Kuśmierk, M. Stefaniuk 1985) koncentrują się na ogół na ewolucji struktur tektonicznych w skali regionalnej.

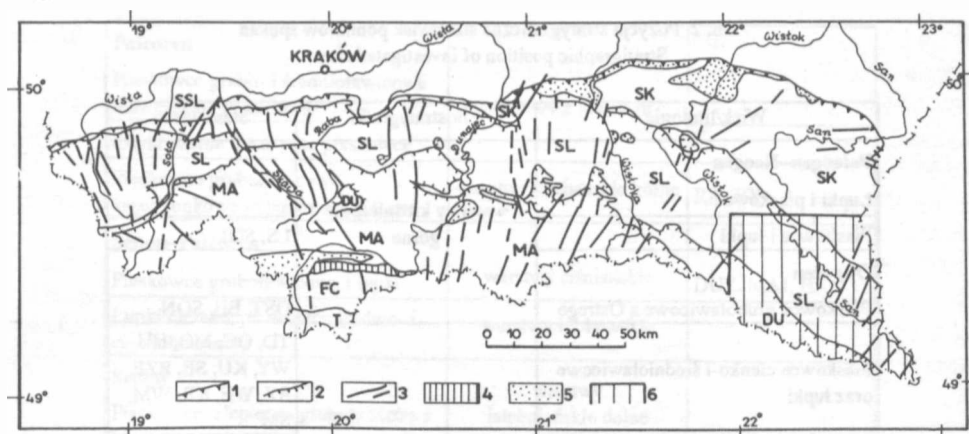
POŁOŻENIE GEOGRAFICZNE

Obszar objęty badaniami mezostrukturalnymi (ryc. 1) znajduje się we wschodniej części polskich Karpat Zewnętrznych, obejmującej Góry Sanocko-Turczańskie oraz Bieszczady Zachodnie, zaliczane do Karpat Wschodnich; a w części zachodniej także Pogórze Bukowskie i Beskid Niski, należące do Beskidów Zachodnich (J. Kondracki 1988). Według klasyfikacji L. Starka (1972), rejon ten należy do wschodniej części Beskidu Niskiego oraz Bieszczadów Wysokich i Niskich.

Tab. 1. Zestawienie stanowisk pomiarów spękań ciosowych
List of sites of joint measurements

Jednostka dukielska					
Fałd Przysłopia – Wielkiego Jasta					
BA	Balnica	c	SMO	Zubeńsko	ł
SM	Smolnik	c	KR	Smolnik Krywy	c
WM	Wola Michowa	c	MN	Wola Michowa	c
WO	Wola Michowa	c	MH	Wola Michowa	c
RY	Rybniczek	c/s	SO	Smolnik	c
CHI	pot. Chliwny	l	CHL	pot. Chliwny	c
MNW	Maniów	c	PW	Popów Wierch	c
KO	Komańcza	c	DSZ	G. Dyszowa	ł
MA	Maniów	c	PR	Przysłop	c
SZ	Szczerbanówka	c	KI	Kiczera	g/s
ROZ	Roztoczka	c	MI	Mików	s
GŁB	pot. Głębok	s/g	MIK	pot. Mikowy	s/g
MAJ	Majdan	s/g			
Fałd Chryszczatej – Wołosania – Wielkiej Rawki					
WW	Wistok Wlk.	c	KZ	Rzepedź	g
PI	Prętki	g	DU	Duszatyn	m
GK	Korostyńska	s	DUS	pot. Olchowaty	g/s
KG	Kogucik	s	DUZ	pot. Olchowaty	s
Jednostka śląska					
Strefa przeddukielska					
CI	Cisna	s	WŁ	Wołosate	c
RZ	Rzepedź	c	WE	Wełina	c/s
BG	Berehy Grn.	s/c	RZP	Rzepedź	c
RA	Rabe	g	BY	Bystre	g
RB	Rabe kłm	c			
Strefa otrycka					
DO	Dołżyca kłm	g/s	KN	Kalnica	g
HB	Hnatowe Berdo	g	PRO	Prowcza	g
JA	Jaworzec	c/s	BUK	Buk	g
HU	Hulskie	s/g	WOŁ	Wołkowyja	g
BK	Bukowiec	s			
Strefa leska					
OL	Olchowa	g	PH	Pobulanka	s
HO	Hoczew	g	POL	Polańczyk	g
OC	Olchowiec	c	RO	Rosolin	g
OST	Ostre	g	LS	Lesko Baszta	c
SOL	Solina CPN	c	BB	Bóbrka	c
SON	Solina	c	KL	Kamień Leski	g
MY	Myczkowce	g	ŁOB	Łobozew	g
Przekrój Oslawy					
SE	Szczawne	c	SK	Kulaszne	s
KU	Kulaszne	c/s	WY	Wysoczany kłm	s/g
MŁ	Mokre	s/g	MO	Mokre	s/g
TD	Tarnawa Dln.	c	UB	Uboz	s/g

Symbole litologiczne: g – piaskowce gruboławicowe; g/s, s/g – piaskowce średnio- i gruboławicowe; s – piaskowce średnioławicowe; c – piaskowce cienkoławicowe z wkładkami łupków; c/s, s/c – piaskowce cienko- i średnioławicowe z wkładkami łupków; ł – kompleksy łupkowe; m – margliste.



Ryc. 1. Szkic geologiczny Karpat polskich wraz z lokalizacją obszaru badań (wg M. Książkiewicza 1977); 1 – nasunięcie brzeżne Karpat fliszowych, 2 – pozostałe nasunięcia, 3 – główne uskoki, 4 – pieniński pas skałkowy, 5 – molasy mioceńskie leżące na zerodowanych utworach fliszowych, 6 – obszar badań. Karpaty Wewnętrzne: T – jednostki tatrzańskie, FC – flisz podhalański; Karpaty Zewnętrzne – płaszczowiny: MA – magurska, DU – dukielska, SL – śląska, SSL – podśląska, SK – skolska

Geologic sketch of the Polish Carpathians showing location of the area studied (based on Książkiewicz 1977); 1 – Carpathian frontal thrust, 2 – other thrusts, 3 – main faults, 4 – Pieniny Klippen Belt, 5 – Miocene molasses resting on eroded flysch complexes, 6 – area studied. Inner Carpathians: T – Tatra units, FC – Central Carpathian Flysch (Podhale Flysch); Outer Carpathians – thrust sheets: MA – Magura, DU – Dukla, SL – Silesian, SSL – sub-Silesian, SK – Skole

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Analizowany obszar obejmuje fragmenty dwóch jednostek tektoniczno-facjalnych (M. Książkiewicz 1972): dukielskiej i śląskiej (ryc. 1–3, tab. 1, 2).

Jednostka dukielska (ryc. 1, 2) składa się z kilku, stłoczonych w odcinku wschodnim, a rozchodzących się wachlarzowato i obniżających ku zachodowi, złuskowanych i stromo ustawionych fałdów, deformujących utwory fliszowe wieku od górnej kredy po oligocen (A. Ślącza 1971, 1985; L. Koszarski 1985). Minimalna stwierdzona wielkość nasunięcia jednostki dukielskiej na śląską wynosi na południe od Wetliny 15 km (M. Cieszkowski i inni 1985). Omawiana jednostka nasuwa się bardzo stromo, niekiedy pionowo (między Wetliną a Cisną notuje się także wsteczne obalenie płaszczowiny nasunięcia) na strefę przeddukielską (por. A. Ślącza 1985). Połogie nasunięcie dzieli jednostkę dukielską na podjednostki wewnętrzną i zewnętrzną, wykazujące silną redukcję NE skrzydeł fałdów (A. Ślącza 1971, 1985). Podjednostka zewnętrzna jest silniej elewowana i składa się ze stromo ustawionych, złuskowanych fałdów (J. Wdowiarz 1931; A. Ślącza 1959, 1971, 1985). Są to od S ku N fałdy: Wysokiego Gronia–Czerenina, Łupkowa–Hyrlatej, Wiśłoka Wielkiego–Przysłupia–Wielkiego Jasła oraz Chryszczatej–Wołosania–Wielkiej Rawki.

Tab. 2. Pozycja stratygraficzna stanowisk pomiarów spękań
Stratigraphic position of investigated sites

Wiek/litologia	Litostratygrafia	Stanowiska
Paleogen–Neogen		
Łupki i piaskowce	warstwy krośnieńskie górne	
Piaskowce i łupki		LS, SOL
Oligocen		
Piaskowce gruboławicowe z Ostrego		OST, BB, SON
Piaskowce cienko- i średnioławicowe oraz łupki	warstwy krośnieńskie dolne	TD, OC, MO, HU, WY, KU, SE, RZP, RZ, WE, KR, WM, SM
Piaskowce gruboławicowe i łupki		RO, MY, KL, ŁOB, UB, OL, PH, MŁ
Wapień jasielskie		
Piaskowce gruboławicowe otryckie		HO, POL, WOŁ, BK, BUK, SK, PRO, KN, HB, DO
Piaskowce cienko- i średnioławicowe oraz łupki i wkładki piaskowców otryckich		JA, BG
Łupki i piaskowce warstw przejściowych	warstwy przejściowe	WŁ, WW, CHI, CHL, MNW, RY, SO, MN, WO, MH
Łupki brunatne, rogowce oraz piaskowce	warstwy menilitowe	PW
Łupki brunatne		KO, DSZ, PR, MA, SZ, SMO
Piaskowce gruboławicowe cergowskie		KZ, PI, KI
Margle krzemionkowe podcergowskie		DU
Eocen–Oligocen		
Piaskowce gruboławicowe z Mszanki; w strefie przeddukielskiej wraz z hieroglifowymi	warstwy hieroglifowe strefy przeddukielskiej	CI
Eocen		
Łupki zielone, ilaste		
Piaskowce gruboławicowe z Przybyszowa		DUS
Łupki pstre, ilaste		
Łupki i piaskowce średnio- i cienkoławicowe	warstwy hieroglifowe	KG, GK, GŁB, MIK, MI, ROZ
Piaskowce gruboławicowe i zlepienie	piaskowce ciężkowickie	

Paleocen		
Piaskowce grubo- i średnioławicowe oraz ciemne łupki ilaste	warstwy z Majdanu	
Łupki czarne ilaste oraz piaskowce		
Piaskowce gruboławicowe krzemionkowe i ciemne łupki ilaste	warstwy istebańskie górne	RA, BY
Senon–Paleocen		
Piaskowce gruboławicowe i łupki	warstwy ciśnieńskie	DUZ, MAJ, BA
Łupki ciemne, piaskowce średnio- i cienkoławicowe	warstwy łupkowskie	
Senon		
Piaskowce, zlepieńce gruboławicowe i łupki	warstwy istebniańskie dolne	
Cenoman–Senon		
Łupki ilaste czerwone	łupki godulskie	
Alb–Cenoman		
Piaskowce krzemionkowe, cienko- i średnioławicowe oraz łupki czarne	warstwy Igockie	RB
Hoteryw–Apt		
Piaskowce wapniste gruboławicowe i łupki	warstwy grodzkie	
Walażyn–Hoteryw		
Piaskowce średnio- i cienkoławicowe oraz łupki ciemne	warstwy cieszyńskie górne	

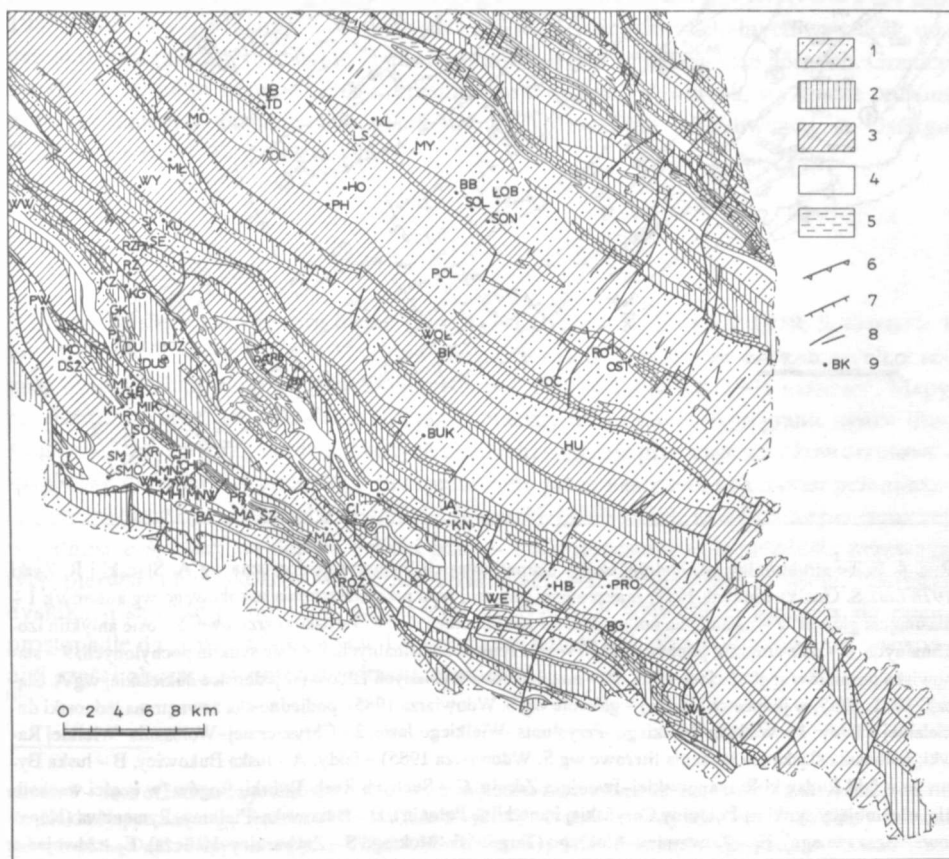
Litostratygrafia opracowana łącznie dla jednostek dukielskiej i śląskiej wg A. Ślączi i K. Żytki (1978) oraz S. Gucika i innych (1979); stanowiska RO, MY, KL oraz ŁOB reprezentują fluksoturbidyty warstw krośnieńskich dolnych.

W obrębie badanego fragmentu jednostki dukielskiej najbardziej odpornym ogniwem litostratygraficznym są gruboławicowe piaskowce warstw ciśnieńskich, wieku gómkredowo-paleoceńskiego, odsłaniające się w obrębie fałdu brzeźnego (Chryszczatej–Wołosania–Wielkiej Rawki). W odwodowych synklinach fałdów zachodniej części jednostki pojawiają się skały eocenu oraz oligocenu, o zróżnicowanej odporności (A. Ślączi 1971). W usytuowanym dalej ku południowi fałdzie Wisłoka Wielkiego–Przysłupia–Wielkiego Jasta dominują natomiast wychodnie mało odpornych warstw przejściowych i krośnieńskich.

Prawie cała jednostka śląska różnicuje się na badanym obszarze na trzy strefy wchodzące, wraz z jednostką podśląską i wewnętrzną strefą jednostki skolskiej, w skład centralnej depresji karpackiej (J. Nowak 1927; K. Tołwiński 1933). Do jednostki śląskiej należą strefy: przeddukielska, otrycka i północna (W. Sikora 1959), zwana również strefą leską. Centralne synklinorium składa się w odcinku wschodnim z 7 antyklin zbudowanych z warstw krośnieńskich; jedynie w wewnętrznej części synklinorium (Za-

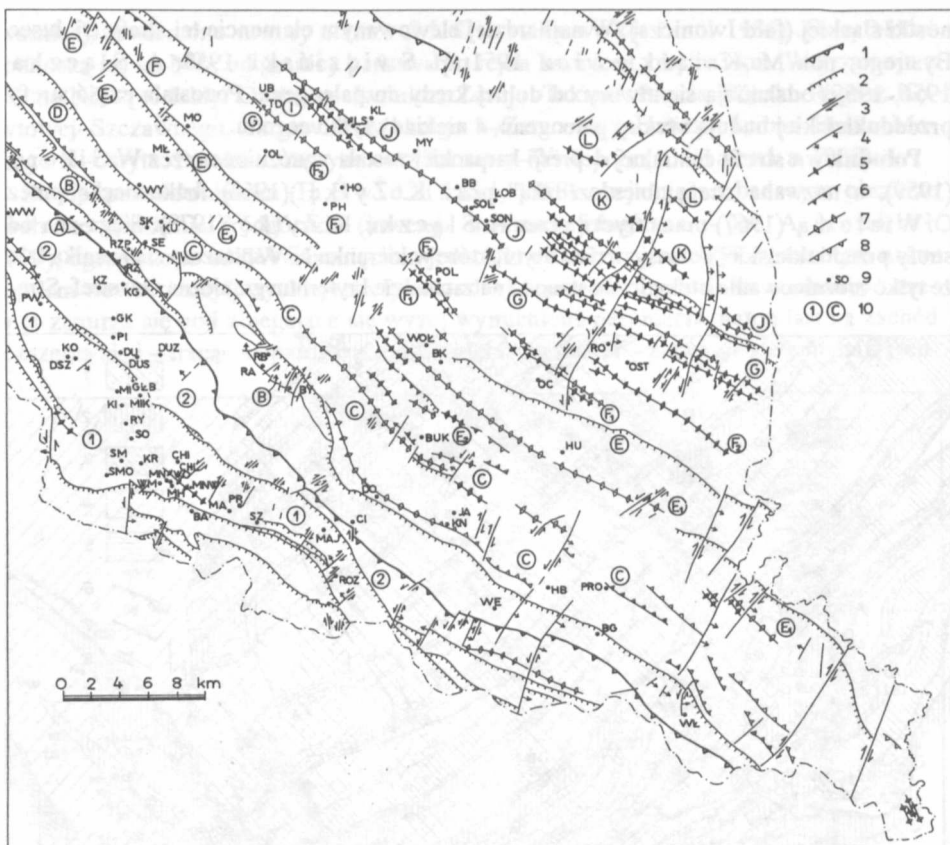
noszki śląskiej (fałd Iwonicza). W najbardziej elewowanym elemencie tej strefy (tj. łusce Bystrego; por. M. Książkiewicz 1951; H. Świdziński 1953; A. Ślaczka 1956, 1959) odsłaniają się utwory od dolnej kredy do paleogenu. Pozostała część strefy przeddukielskiej budują utwory paleogenu, a niekiedy tylko eocenu.

Południowa strefa centralnej depresji karpackiej została wyróżniona przez W. Sikorę (1959), a nazwana strefą „bieszczadzką” przez K. Żytkę (1968), bukowiecką przez O. Wiąłową (1967) oraz otrycką przez A. Ślaczkę, K. Żytkę (1978). Sięga ona od strefy przeddukielskiej po nasunięcie Otrytu, które w kierunku NW spłaszcza się i zanika tak, że tylko zróżnicowanie litologiczne stanowi na zachodzie kryterium graniczne obu stref. Stre-



Ryc. 3. Szkic litologiczny wschodniej części Karpat polskich (wg A. Słaczki i R. Żytki 1978 oraz S. Gucika i innych 1979); 1 – piaskowce gruboławicowe, 2 – sliż cienko- i średnioławicowy, 3 – sliż cienkoławicowy, 4 – kompleksy łupkowe, 5 – kompleksy margliste, 6 – nasunięcia główne, 7 – nasunięcia podrzędne, 8 – uskoki, 9 – stanowiska pomiarów spekań ciosowych

Lithological map of the eastern part of the Polish Carpathians (based on Ślaczka, Żytko 1978; Gucik et al. 1979); 1 – thick-bedded sandstones, 2 – medium- to thin-bedded turbidites, 3 – thin-bedded turbidites, 4 – shaly complexes, 5 – marly complexes, 6 – main thrusts, 7 – subordinate thrusts, 8 – faults, 9 – sites at which joint sets have been measured



Ryc. 4. Szkic strukturalny wschodniej części Karpat polskich (sytuacja geologiczna wg A. Ślęczki i R. Żytka 1978 oraz S. Gucika i innych 1979; interpretacja zwrotu i typu przemieszczenia uskokuwego wg autorów); 1 – nasunięcia główne, 2 – nasunięcia podrzędne, 3 – uskoki przesuwce, 4 – uskoki zrzutowe, 5 – osie antyklin izoklinalnych, 6 – osie antyklin pochylonych, 7 – osie synklin izoklinalnych, 8 – osie synklin pochylonych, 9 – stanowiska pomiarów spekań ciosowych, 10 – nazewnictwo wybranych fałdów (w jednostce dukielskiej wg A. Ślęczki 1971, 1985; w jednostce śląskiej – głównie wg S. Wdowiarza 1985); podjednostka zewnętrzna jednostki dukielskiej – fałdy: 1 – Wisłoka Wielkiego-Przysłupia-Wielkiego Jasta, 2 – Chryszczatej-Włosania-Wielkiej Rawki; jednostka śląska (oznaczenia literowe wg S. Wdowiarza 1985) – fałdy: A – łuska Bukowicy, B – łuska Bystrzego – fałd Rudawki Rymanowskiej-Iwonicza Zdroju, C – Suchych Rzek-Bóbrki-Rogów (w części wschodniej obejmujący synklinę Połoniny Caryńskiej i antyklinę Połonin), D – Bukowska-Pielnicy-Rymanowa (Kopytowej-Szczawnego), E₁ – Zatwarnicy-Mokrego (Targowisk-Mokrego S – Zatwarnicy-Halicza), E₂ – zdwojenie fałdu, E – Rajskiego-Otrytu-Mokrego N – Beska-Łubna, F₁ – Rosochatego-Lutowisk-Rajskiego Wsi-Hoczwi-Czaszyna, F₂ – Skłodnego-Polany-Hoczwi-Niebieszczan, G – Czarnej-Soliny-Tarnawy-Nowosielec-Potoka, I – Tarnawy-Wielopola (Czarnej-Uherzec-Zagórza-Tarnawy-Wielopola), J – kopalni Czarna-Łobozwi-Jankowicz-Sanoka-Turzego Pola-Woli Komborskiej (obejmujący na badanym obszarze antyklinę Sokółowej Woli-Teleśnicy Oszwarowej oraz synklinę Czulni-Jawora), K – Bystrego-Równi-Ustjanowej-Olszany-Zatuża-Międzybrodzia-Grabownicy; jednostka skolska: L – fałd Ustrzyk Dolnych

Structural sketch of the eastern sector of the Polish Carpathians (geology based on Ślęczka, Żytka 1978; Gucik et al. 1979; sense of faulting interpreted by the authors); 1 – main thrusts, 2 – subordinate thrusts, 3 – strike-slip faults, 4 – dip-slip faults, 5 – axes of isoclinal anticlines, 6 – axes of inclined anticlines, 7 – axes of isoclinal syn-

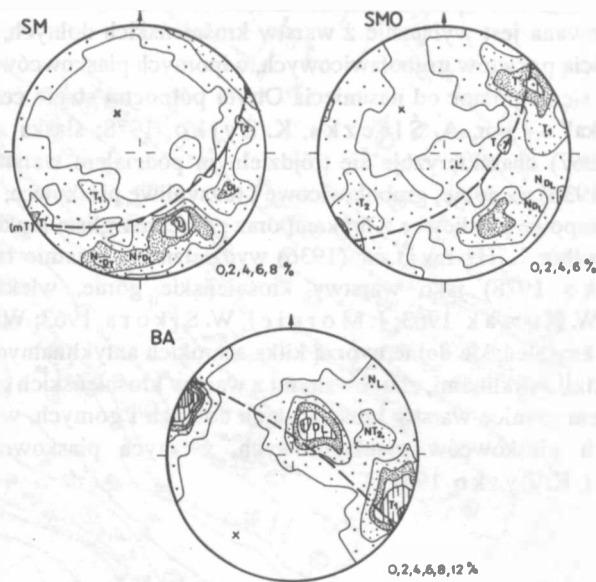
fa otrycka zbudowana jest wyłącznie z warstw krośnieńskich dolnych, charakteryzujących się obecnością pakietów gruboławicowych, odpornych piaskowców z Otrytu.

Rozciągająca się na północ od nasunięcia Otrytu północna strefa centralnej depresji karpackiej („leska” — por. A. Ślącza, K. Żytka 1978; śląska *sensu stricto* — O. Wiałow 1967) charakteryzuje się trójdzielnym podziałem warstw krośnieńskich (L. Horwitz 1936) na dolne, gruboławicowe i rozsypliwie piaskowce, środkowe, cienkoławicowe skorupowe piaskowce z łupkami oraz górne, margliste łupki. Warstwy środkowe i górne według L. Horwita (1936) wydzielane są ostatnio łącznie (A. Ślącza, K. Żytka 1978) jako warstwy krośnieńskie górne, wieku miocenijskiego (J. Blaicher, W. Nowak 1963; J. Morgiel, W. Sikora 1963; W. Nowak i inni 1985). Warstwy krośnieńskie dolne tworzą kilka szerokich antyklinalnych wysadów, oddzielonych wąskimi synklinami, zbudowanymi z warstw krośnieńskich górnych. Granice synklin, a zarazem granice warstw krośnieńskich dolnych i górnych, wyznacza poziom gruboławicowych piaskowców glaukonitowych, zwanych piaskowcami z Ostrego (L. Koszarski, K. Żytka 1961).

USKOKI

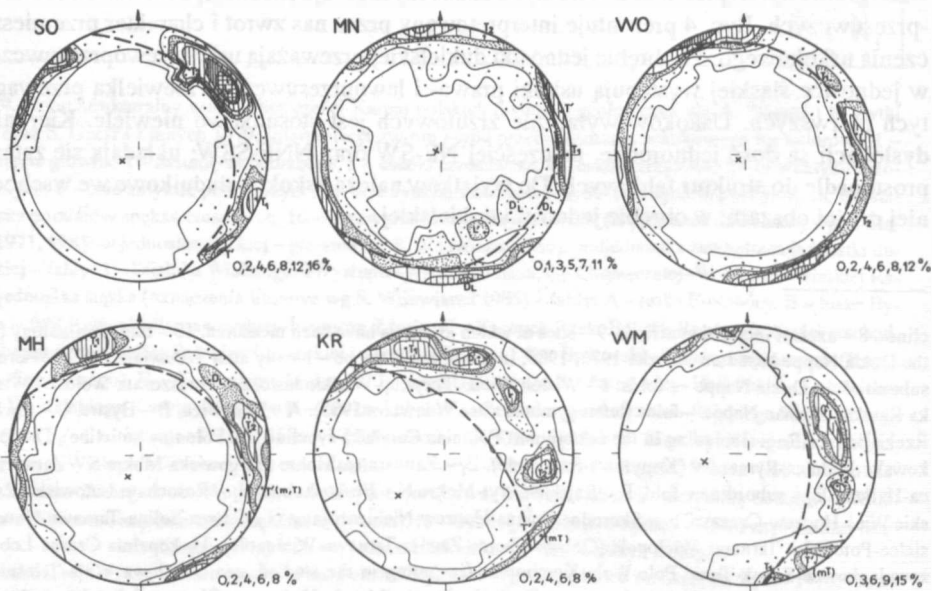
Mapy geologiczne obszaru badań (por. A. Ślącza, K. Żytka 1978; S. Gucik i inni 1979; S. Wdowiarz 1985) ujawniają znaczną ilość uskoków poprzecznych, z reguły o niewielkiej długości, przecinających pojedyncze fałdy lub czoła nasunięć. Mapy nie określają bliżej ich charakteru. Obraz intersekcyjnie przesuniętych granic ogniw litostratygraficznych (przy bardzo stromych upadach) sugeruje przewagę uskoków zrzutowo-przesuwczych. Ryc. 4 prezentuje interpretowany przez nas zwrot i charakter przemieszczenia uskoku. W obrębie jednostki dukielskiej przeważają uskoki lewoprzesuwcze; w jednostce śląskiej występują uskoki prawo- i lewoprzesuwcze, z niewielką przewagą tych pierwszych. Uskoków wyłącznie zrzutowych jest stosunkowo niewiele. Kierunki dyslokacji są dość jednorodne, najczęściej NE-SW oraz NNE-SSW; układają się zatem prostopadle do struktur fałdowych. Do wyjątków należą uskoki południkowe we wschodniej części obszaru, w obrębie jednostki dukielskiej.

clines, 8 – axes of inclined synclines, 9 – sites at which joint sets have been measured, 10 – fold terminology (in the Dukla Nappe based on Ślącza 1971, 1985; in the Silesian Nappe – mostly after Wdowiarz 1985): external subunit of the Dukla Nappe — folds: 1 – Wisłok Wielki-Przysłop-Wielkie Jasło, 2 – Chryszczata-Wołosań-Wielka Rawka; Silesian Nappe – folds (letter symbols after Wdowiarz 1985): A – Bukowica, B – Bystre, C – Suche Rzeki-Bóbrka-Regi (including in the eastern part Polonina Caryńska syncline and Poloniny anticline), D – Bukowsko-Pielnica-Rymanów (Kopytowa-Szczawne), E₁ – Zatwarnica-Mokre (Targowiska-Mokre S – Zatwarnica-Halicz), E₂ – subordinate fold, E – Rajske-Otryt-Mokre N – Besko-Łubno, F₁ – Rosochate-Lutowiska-Rajskie-Wieś-Hoczew-Czaszyn, F₂ – Skorodne-Polana-Hoczew-Niebieszczany, G – Czarna-Solina-Tarnawa-Nowosielce-Potok, I – Tarnawa-Wielopole (Czarna-Uherce-Zagórz-Tarnawa-Wielopole), J – kopalnia Czarna-Łobozew-Jankowce-Sanok-Turze Pole-Wola Komborska (including in the studied area Sokółowa Wola-Teleśnica Oszarowa anticline and Czulnia-Jawor syncline), K – Bystre-Równia-Ustjanowa-Olszany-Załuż-Międzybrodzie-Grabownica; Skole Nappe: L – Ustrzyki Dolne fold



Ryc. 5. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki dukielskiej (a). Każdorazowo wykonywano 100 pomiarów; projekcja na górną półkulę siatki Schmidta; linia przerywana oznacza położenie warstw; krzyżyk – biegun uławiczenia. Lokalizacja – por. ryc. 2; pozostałe objaśnienia w tekście

Contoured diagrams of joints within rocks of the Dukla Nappe (a). Each time 100 measurements have been made; equal-area projection on upper hemisphere, Schmidt net. Dashed line – stereographic plot of bedding plane, cross denotes pole to bedding. Letter symbols discussed in the text; for location – see Fig. 2



Ryc. 6. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki dukielskiej (b); objaśnienia – por. ryc. 5
Contoured diagrams of joints within rocks of the Dukla Nappe (b); for explanations – see Fig. 5

Wyodrębniają się tutaj trzy regiony o nieco odmiennych cechach układu uskoków; oddziela je wsteczne nasunięcie strefy otryckiej (WSW-ENE) oraz poprzeczna strefa Wetlina–Krościenko (SSW-NNE). W regionie wchodzącym w skład jednostki dukielskiej i strefy przeddukielskiej (po Wetlinę) występuje znaczna ilość krótkich uskoków NNE-SSW; obecne są również dyslokacje południkowe. W zachodniej i środkowej części centralnej depresji karpackiej cytowane opracowania kartograficzne nie wykazują praktycznie obecności uskoków, natomiast dla wschodniej części centralnej depresji karpackiej oraz strefy przeddukielskiej charakterystyczne są długie, faliste lub skręcające łukami z N-S ku NE-SW, często parzyste uskoki, zarówno prawo-, jak i lewoprzesuwowe, z niewielką składową zrzutową.

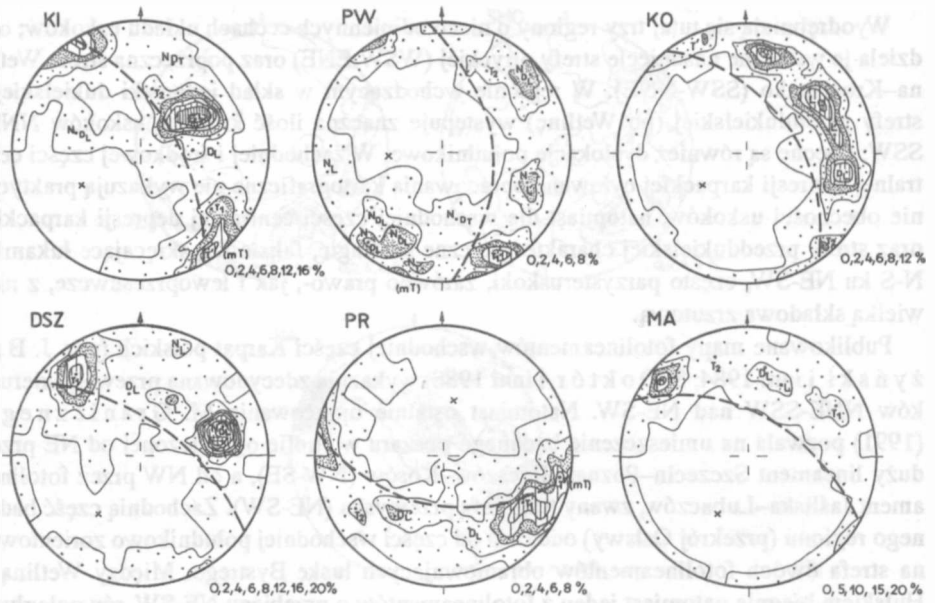
Publikowane mapy fotolineamentów wschodniej części Karpat polskich (por. J. Bażyński i inni 1984; S. Doktor i inni 1988) wykazują zdecydowaną przewagę kierunków NNE-SSW nad NE-SW. Natomiast ostatnie opracowanie M. Granicznego (1991) pozwala na umieszczenie badanego obszaru w strefie ograniczonej od NE przez duży lineament Szczecin–Poznań–Rzeszów–Kosów (NW-SE), a od NW przez fotolineament Jaślicka–Lubaczów, zwany też strefą przemyska (NE-SW). Zachodnią część badanego regionu (przekrój Oslawy) oddziela od części wschodniej południkowo zorientowana strefa dwóch fotolineamentów obramowujących łuskę Bystrego. Między Wetliną a Hulskiem biegnie natomiast jeden z fotolineamentów o przebiegu NE-SW, równoległych do pojawiającej się dalej ku SE strefy Stryja (Skole–Krzemieniec).

METODY BADAŃ

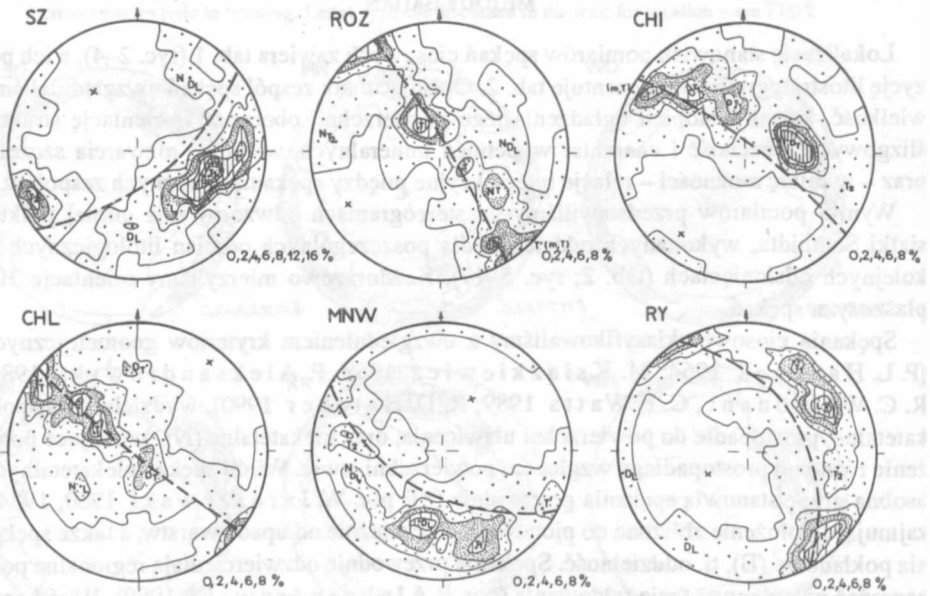
Lokalizację stanowisk pomiarów spękań ciosowych zawiera tab. 1 (ryc. 2–4), a ich pozycję litostratygraficzną prezentuje tab. 2. Opisując dany zespół spękań uwzględnialiśmy wielkość, kształt i stopień ogładzenia jego powierzchni, obecność i orientację struktur ślizgowych, obecność i charakter wypełnień mineralnych, wielkość rozwarcia szczeliny oraz – w miarę możliwości – relacje intersekcyjne między spękaniami różnych zespołów.

Wyniki pomiarów przedstawiliśmy na stereogramach odwzorowania górnej półkuli siatki Schmidta, wykonanych oddzielnie dla poszczególnych odmian litologicznych w kolejnych odsłonięciach (tab. 2; ryc. 5–17). Każdorazowo mierzyliśmy orientacje 100 płaszczyzn spękań.

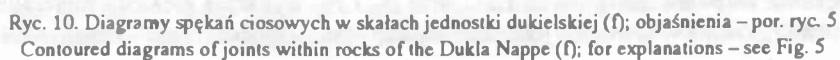
Spękania ciosowe sklasyfikowaliśmy z uwzględnieniem kryteriów geometrycznych (P. L. Hancock 1964; M. Książkiewicz 1968; P. Aleksandrowski 1989; R. C. Whistonant, C. F. Watts 1989; R. D. Hatcher 1990), wydzielając zespoły katetalne, prostopadłe do powierzchni uławicenia, oraz niekatetalne (N), zajmujące położenie różne od prostopadłego względem powierzchni ławic. Wśród spękań niekatetalnych osobną grupę stanowią spękania przewodnie (σ T; por. W. Jaroszewski 1980, 1984), zajmujące położenie zbliżone do pionowego, niezależnie od upadu warstw, a także spękania pokładowe (B), tj. oddzielność. Spękania przewodnie odzwierciedlają regionalne pole naprężeń w końcowej fazie fałdowania (por. P. Aleksandrowski 1989). Wśród spękań katetalnych i niekatetalnych wydzieliliśmy następnie spękania poprzeczne (T), podłużne (L) i ukośne (D) względem rozciągłości dominujących struktur fałdowych (M.



Ryc. 7. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki dukielskiej (c); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Dukla Nappe (c); for explanations – see Fig. 5



Ryc. 8. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki dukielskiej (d); objaśnienia - por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Dukla Nappe (d); for explanations – see Fig. 5



Książkiewicz 1968; P. Aleksandrowski 1985 a, b, 1989). Spękania ukośne dzielą się na poprzeczne (D_T) i podłużne (D_L) względem orientacji fałdów podłużnych. W odróżnieniu od podejścia P. Aleksandrowskiego (1989), położenie ciosu określało każdorazowo względem lokalnego biegu warstw.

Wydzielamy następujące zespoły spękań ciosowych:

1) ostrokątny system ciosu poprzecznego T , złożony z dwóch komplementarnych i sprzężonych względem lokalnego przebiegu osi fałdów zespołów T_1 i T_2 ; towarzyszą im zbliżone orientacją zespoły T i T' ;

2) zespół ciosu podłużnego L i związany z nim zespół L' (w odległości kątowej 20–25°); ten ostatni stanowi ortogonalny odpowiednik zespołu T' ; wymienionym zespołom odpowiadają niekatetalne zespoły N_L oraz $N_{L'}$;

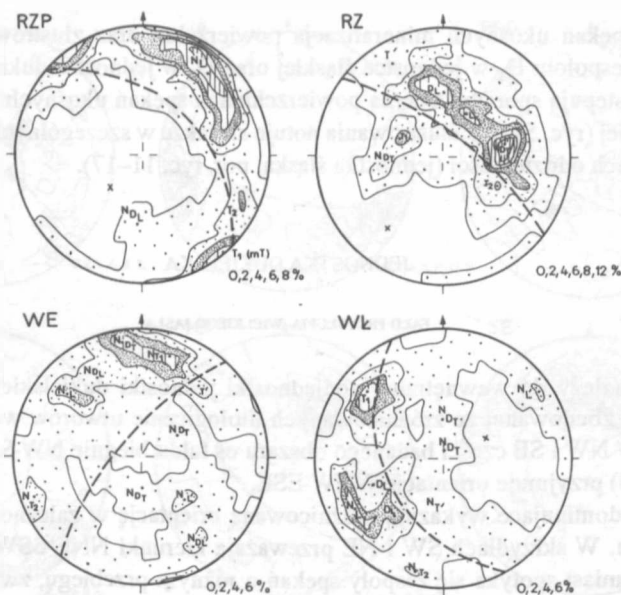
3) zespoły ciosu ukośnego D oraz D_D , poprzeczne i podłużne.

ANALIZA UKŁADU SPĘKAŃ CIOSOWYCH

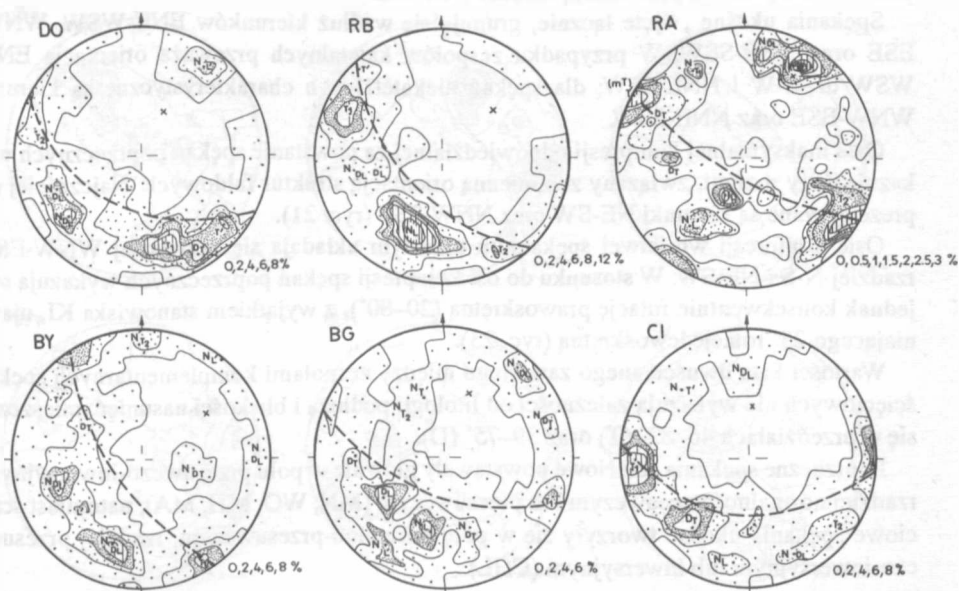
Cios poprzeczny obejmuje bardzo wyraźnie zaznaczone spękania, dominujące nad innymi zespołami. W ich skład wchodzi komplementarne zespoły T_1 i T_2 , spośród których zespół T_1 jest wyraźniej zaznaczony (przyjmujemy tutaj kryterium M. Książkiewicza 1968). Dwusieczna kąta ostrego zawartego między spękaniami T_1 i T_2 zajmuje położenie prostopadłe do lokalnej orientacji osi fałdów podłużnych. W pobliżu T_2 plasuje się niekiedy subwertykalny zespół T' , któremu towarzyszą często rozwarte szczeliny, względnie zespół $N_{T'}$, o zbliżonej orientacji. Prostopadłe do niego układają się spękania L' , a niekiedy N_L , odchylone od przebiegu spękań podłużnych L o 20–25°. W sporadycznych przypadkach (głównie w obrębie jednostki dukielskiej; por. ryc. 5–10) zaznaczają się dodatkowe zespoły spękań poprzecznych T lub N_T , zajmujące pozycje równoległą do dwusiecznej kąta między T_1 i T_2 . Bardzo rzadko spotyka się odsłonięcia zawierające pojedynczy zespół poprzeczny.

Spękania T_1 i T_2 posiadają powierzchnie płaskie, gładkie, niekiedy zlustrowane (do 25–30% ogółu spękań). Spękania zespołu T_1 są najczęściej zbliżnione kalcytem grubokryształicznym, sporadycznie włóknistym (łuska Bystrego). Często obserwuje się zlustrowania i rysy ślizgowe; także w obrębie powłoki mineralizującej. Spękania zespołu T_2 znacznie rzadziej ujawniają mineralizację kalcytową względnie zlustrowania. Sporadycznie w obu zespołach spotyka się struktury pierzaste. Rozwarte szczeliny towarzyszą wyłącznie zespołowi T' w stanowisku KG (ryc. 10) jednostki dukielskiej oraz stanowiskach MO (ryc. 15) i BK (ryc. 14) jednostki śląskiej. Zbliżnienia kalcytem włóknistym dotyczą spękań łuski Bystrego (RB, BY) w odniesieniu do zespołów T_1 , L , N_L i N_{DL} (ryc. 12), a także stanowiska MH (ryc. 6) w jednostce dukielskiej (T_1 , T_2). W strefach występowania serii menilitowo-krośnieńskiej spękania zespołów poprzecznych są zbliżnione jarosytem względnie realgarem (PR, MA, SZ, PW, SMO, KO). Odpowiednie, niekatetalne zespoły ciosu poprzecznego znacznie rzadziej ujawniają mineralizację powierzchni spękania czy też jej zlustrowanie.

Spękania zespołów podłużnych L , L' oraz N_L i $N_{L'}$ wykazują niekiedy mineralizację kalcytową (głównie w utworach jednostki śląskiej) oraz – sporadycznie – zlustrowania. W



Ryc. 11. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki śląskiej (a); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (a); for explanations – see Fig. 5



Ryc. 12. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki śląskiej (b); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (b); for explanations – see Fig. 5

przypadku spękań ukośnych mineralizacja powierzchni oraz zlustrowania towarzyszą najczęściej zespołom D_r w jednostce śląskiej oraz D_L w jednostce dukielskiej. Struktury pierzaste występują sporadycznie na powierzchniach spękań ukośnych w obrębie jednostki dukielskiej (ryc. 5–10). Zlustrowania notuje się także w szczególnych przypadkach na powierzchniach oddzielności (jednostka śląska; por. ryc. 11–17).

JEDNOSTKA DUKIELSKA

FAŁD PRZYSŁUPIA–WIELKIEGO JASŁA

Fałd ten należy do wewnętrznej podjednostki jednostki dukielskiej (A. Ślaczka 1971, 1985), zbudowanej ze zróżnicowanych litologicznie utworów wieku od kredy do oligocenu. W NW i SE części badanego obszaru oś fałdu biegnie NW-SE; w części środkowej (ryc. 4) przyjmuje orientację WNW-ESE.

Spękania dominujące wykazują zróżnicowaną orientację w zależności od pozycji w obrębie fałdu. W skrzydłach SW i NE przeważają kierunki NNE-SSW i N-S, w części osiowej natomiast spotyka się zespoły spękań o różnym przebiegu, związane ze zmiennym położeniem osi fałdu oraz obecnością licznych uskoków przesuwczych. Są to spękania zarówno poprzeczne, jak i podłużne, rzadziej ukośne (MN, CHI, MNW, DSZ, MI; ryc. 6–8).

Zespoły spękań przewodnich układają się NNW-SSE, NE-SW, NNE-SSW oraz WNW-ESE. W skrzydle NE przeważają zespoły N50–60E.

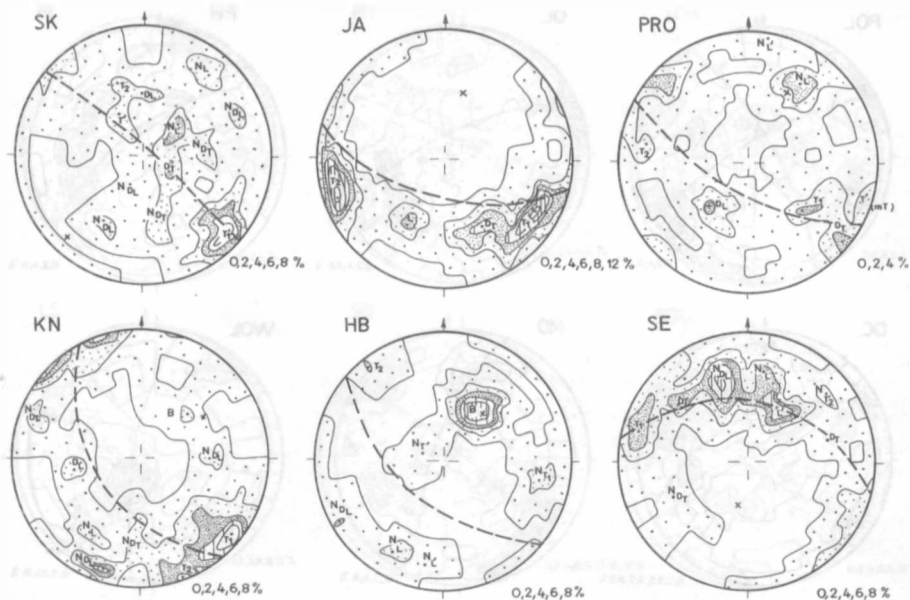
Spękania ukośne, ujęte łącznie, grupują się wzdłuż kierunków ENE-WSW, WNW-ESE oraz NNE-SSW. W przypadku zespołów katetalnych przeważa orientacja ENE-WSW do E-W i NNE-SSW; dla spękań niekatetalnych charakterystyczne są kierunki WNW-ESE oraz NNE-SSW.

Osie maksymalnej kompresji odpowiedzialnej za powstanie spękań poprzecznych wykazują duży rozrzut, związany ze zmienną orientacją struktur fałdowych. Najczęściej reprezentowane są kierunki NE-SW oraz NNW-SSE (ryc. 21).

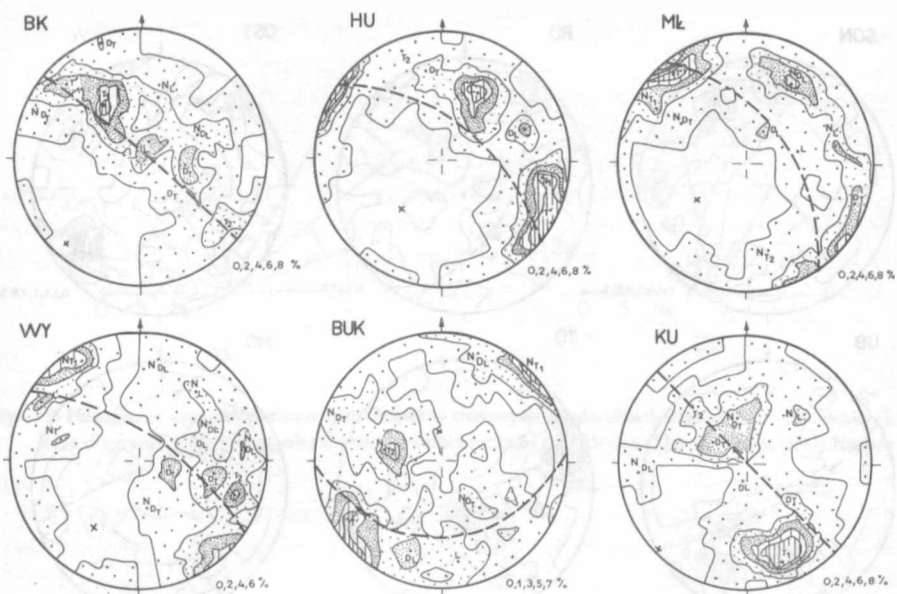
Osie kompresji właściwej spękanom ukośnym układają się zazwyczaj WNW-ESE, rzadziej N-S i NE-SW. W stosunku do osi kompresji spękań poprzecznych wykazują one jednak konsekwentnie rotację prawoskrętną (20–80°), z wyjątkiem stanowiska KI, ujawniającego 25° rotację lewoskrętną (ryc. 23).

Wartości kąta dwuściennego zawartego między zespołami komplementarnych spękań ścięciowych nie wykazują zależności od litologii podłoża i bliskości nasunięć, mieszcząc się w przedziałach 46–82° (T) oraz 39–75° (D).

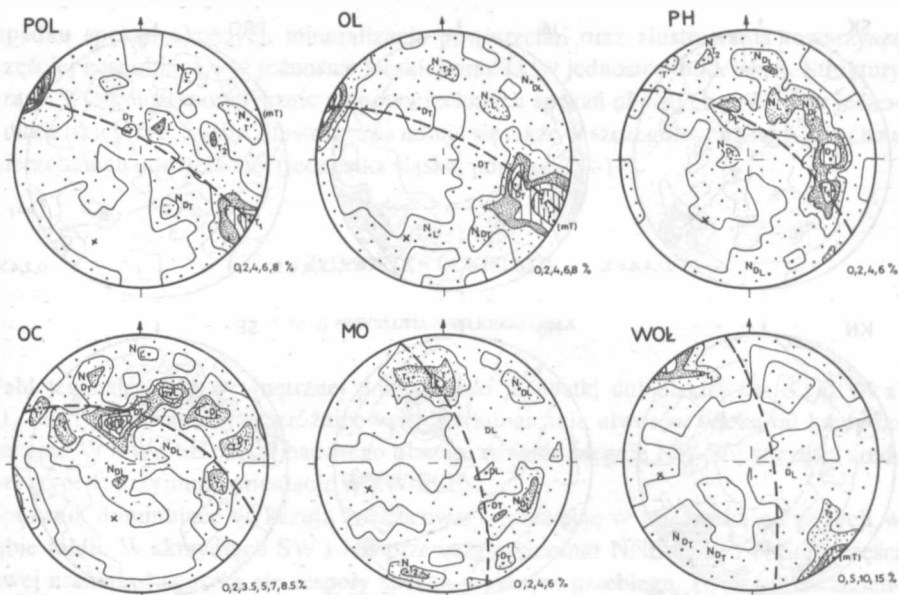
Poprzeczne spękania ścięciowe powstawały głównie w polu przesuwczo-inwersyjnym, rzadziej normalno-przesuwczym lub przesuwczym (MN, WO, MH, MA), natomiast ścięciowe spękania ukośne tworzyły się w polu normalno-przesuwczym, rzadziej przesuwczo-inwersyjnym lub inwersyjnym (CHL).



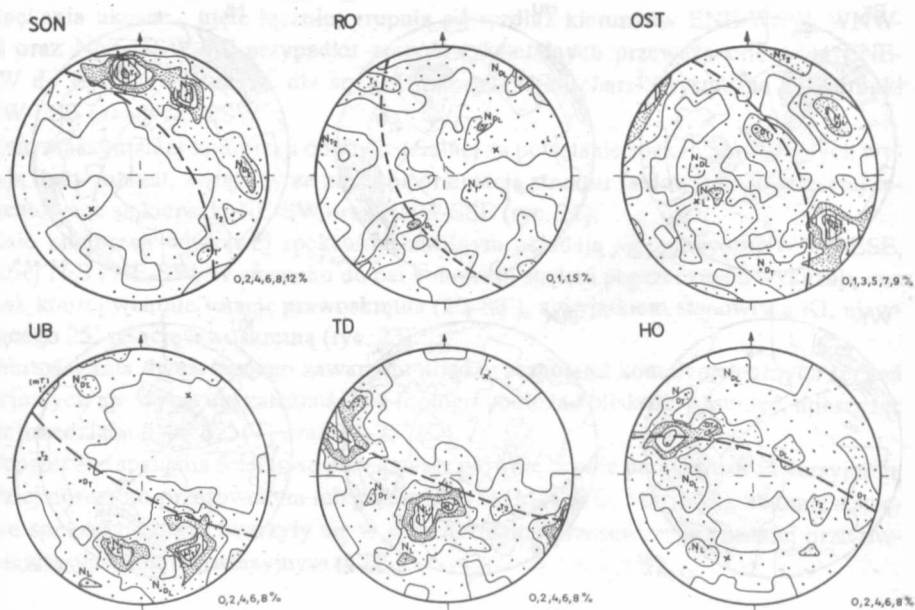
Ryc. 13. Diagramy spleciań ciosowych w skałach jednostki śląskiej (c); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (c); for explanations – see Fig. 5



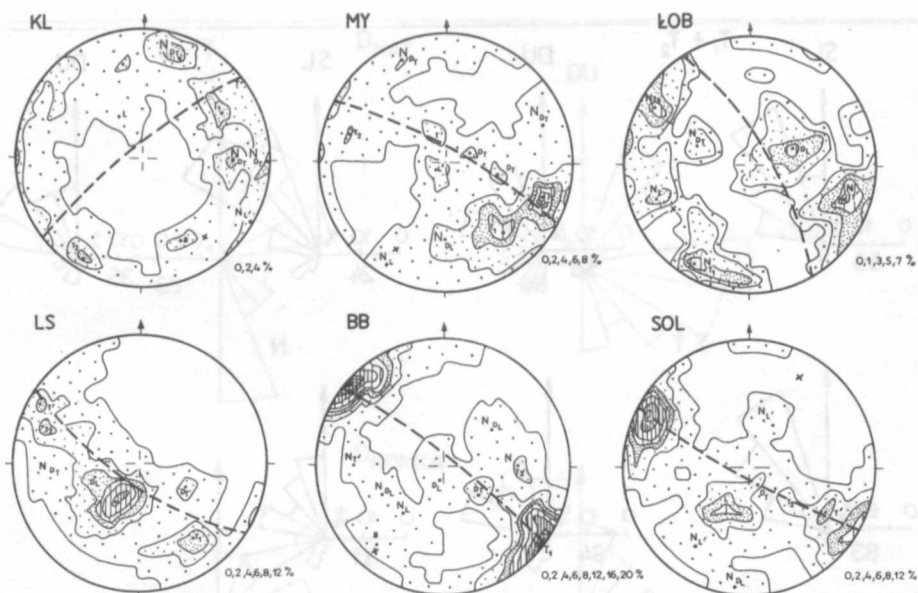
Ryc. 14. Diagramy spleciań ciosowych w skałach jednostki śląskiej (d); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (d); for explanations – see Fig. 5



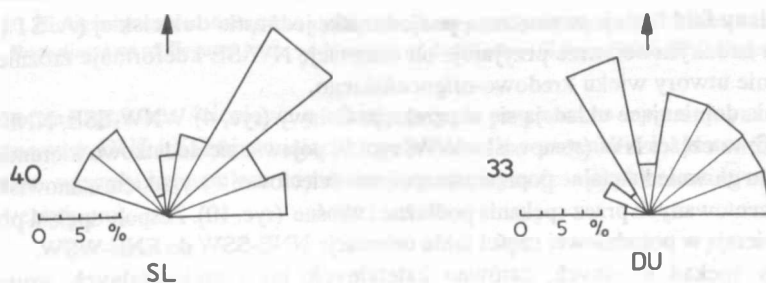
Ryc. 15. Diagramy splećń ciosowych w skałach jednostki śląskiej (e); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (e); for explanations – see Fig. 5



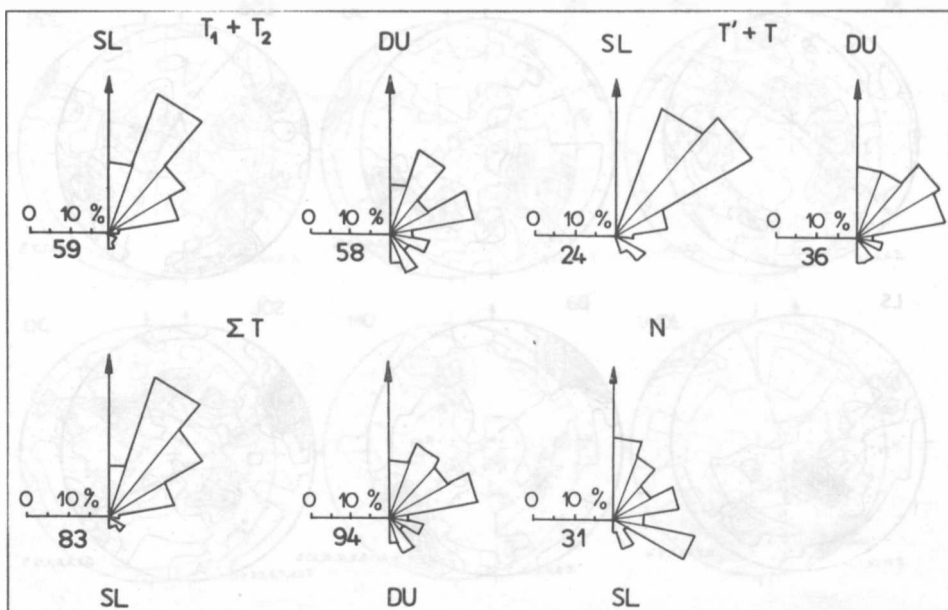
Ryc. 16. Diagramy splećń ciosowych w skałach jednostki śląskiej (f); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (f); for explanations – see Fig. 5



Ryc. 17. Diagramy spękań ciosowych w skałach jednostki śląskiej (g); objaśnienia – por. ryc. 5
 Contoured diagrams of joints within rocks of the Silesian Nappe (g); for explanations – see Fig. 5



Ryc. 18. Histogramy azymutalne dominujących spękań ciosowych w jednostkach śląskiej (SL) i dukielskiej (DU)
 Rose diagrams of dominant joint directions within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes



Ryc. 19. Histogramy azymutalne spękań poprzecznych w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU)
Rose diagrams of transversal joints within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes

FAŁD CHRYSZCZATEJ-WOŁOSANIA-WIELKIEJ RAWKI

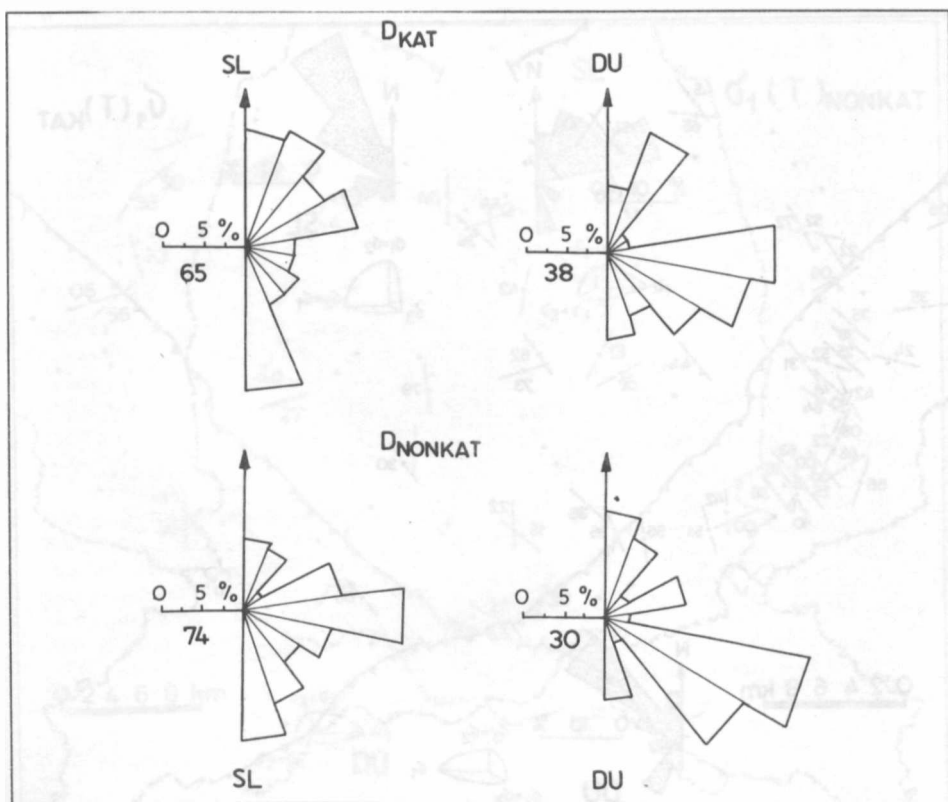
Omawiany fałd buduje zewnętrzną podjednostkę jednostki dukielskiej (A. Ślągocka 1971). Na badanym obszarze przyjmuje on orientację NW-SE i deformuje zróżnicowane litologicznie utwory wieku kredowo-oligocenńskiego.

Spękania dominujące układają się w przekroju Oslawy (ryc. 4) WNW-ESE, NNE-SSW i NNW-SSE; w części NW (stanowisko WW; ryc. 9) pojawia się dodatkowo kierunek ENE-WSW. Są to głównie katetalne poprzeczne spękania ścięciowe; z wyjątkiem stanowisk DUS i KG, reprezentowanych przez spękania podłużne i ukośne (ryc. 10). Zespoły spękań przewodnich przybierają w południowej części fałdu orientację NNE-SSW do ENE-WSW.

Zespoły spękań ukośnych, zarówno katetalnych, jak i niekatetalnych, grupują się wzdłuż kierunków WNW-ESE oraz NNE-SSW. W przypadku zespołu katetalnego dodatkowo pojawia się kierunek NNW-SSE.

Osie maksymalnej kompresji związanej z poprzecznymi spękaniami ścięciowymi mieszczą się w sektorze NE-SW do ENE-WSW. Jedynie w NW części fałdu (WW) przybierają orientację WNW-ESE (ryc. 21). Osie kompresji związanej z zespołami ukośnych spękań ścięciowych (ryc. 23) układają się w przekroju Oslawy N-S (KZ, GK) oraz ENE-WSW (PI, DU).

Wartości kąta między komplementarnymi zespołami ścięciowymi systemów T i D mieszczą się w przedziale 49–73°, nie wykazując zależności od litologii podłoża czy też sąsiedztwa nasunięć.



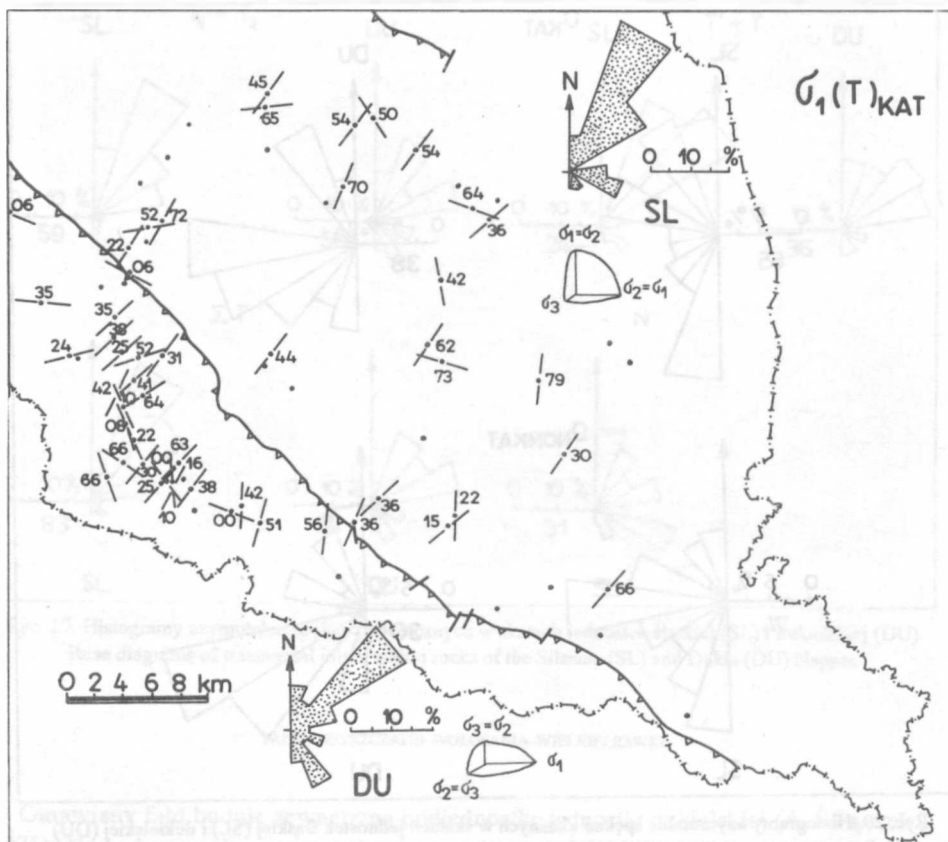
Ryc. 20. Histogramy azymutalne spękań ukośnych w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU)
Rose diagrams of diagonal joints within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes

Poprzeczne spękania ścięciowe powstały w polu przesuwczo-inwersyjnym (z wyjątkiem stanowisk DUS i KG ujawniających pole normalno-przesuwcze). Natomiast spękania ukośne wiązały się z polem normalno-przesuwczym (z wyjątkiem stanowiska KZ o polu inwersyjnym).

JEDNOSTKA ŚLĄSKA

STREFA PRZEDDUKIELSKA

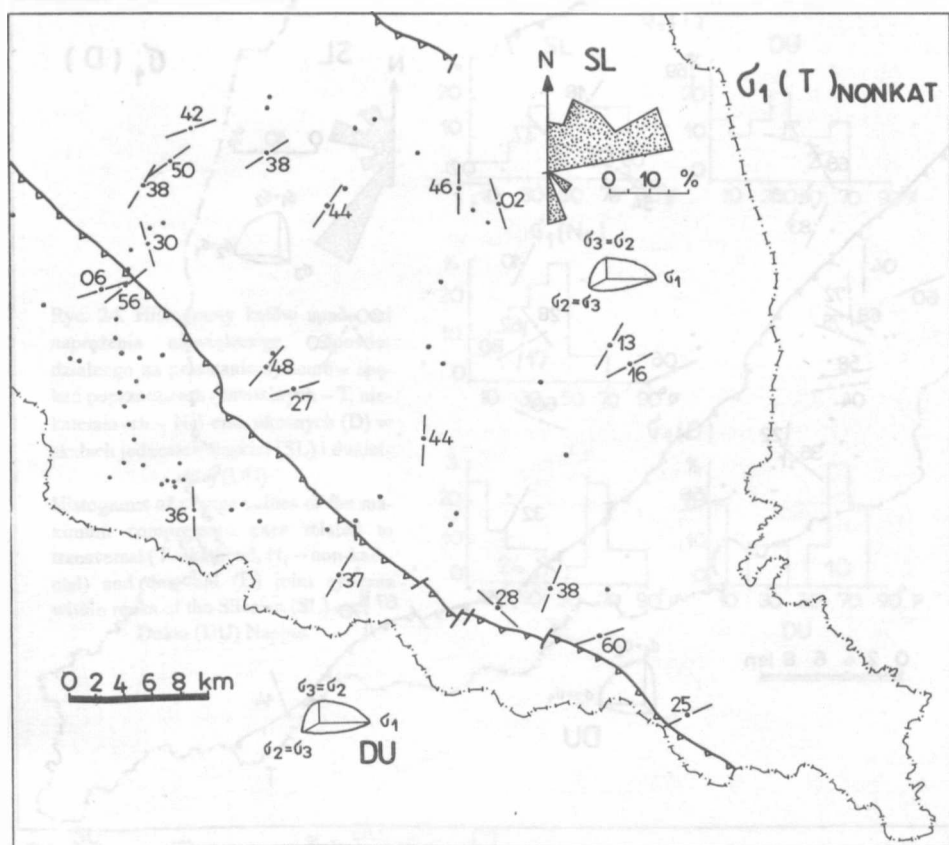
Strefa ta obejmuje fałdy o kierunku WNW-ESE, znajdujące się na bezpośrednim przedpolu nasunięcia jednostki dukielskiej, zbudowanym z cienko- i średnioławicowych kompleksów fliszowych wieku eoceńsko-oligocenńskiego (piaskowce z Mszanki, warstwy przejściowe, warstwy krośnieńskie dolne). W skład strefy wchodzi także łuski Bukowicy oraz Bystrego o osiach ułożonych NW-SE (ryc. 3, 4).



Ryc. 21. Orientacja osi największego naprężenia wynikająca z analizy katetalnych spękań poprzecznych w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU). Liczby oznaczają kąty upadu osi σ_1 ; diagramy obrazują przeważający mechanizm formowania spękań

Axes of maximum compression inferred from analysis of cathetal transversal joints within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes. Numbers denote values of plunge of σ_1 axes; diagrams represent the most common mechanism of joint formation

Dominujące kierunki spękań wykazują znaczne zróżnicowanie, układając się N-S, NE-SW, NW-SE i E-W na przedpolu nasunięcia dukielskiego oraz WNW-ESE do NW-SE w łuskach Bukowicy i Bystrego. Stanowiska CI i WL (N-S, NE-SW) usytuowane są w pobliżu uskokuw odpowiednio prawo- i lewoprzesuwczych, o przebiegu zbliżonym do południkowego. W obu wymienionych stanowiskach (ryc. 11, 12) spękania dominujące odpowiadają zespołowi T_1 , podczas gdy w stanowiskach RZ, WE i BG (ryc. 11, 12) są to spękania diagonalne, a w łuskach Bukowicy i Bystrego – nickatetalne spękania podłużne lub (RA; ryc. 12) oddzielność. Spękania przewodnie w obu tych łuskach układają się odpowiednio N50E i N30E.

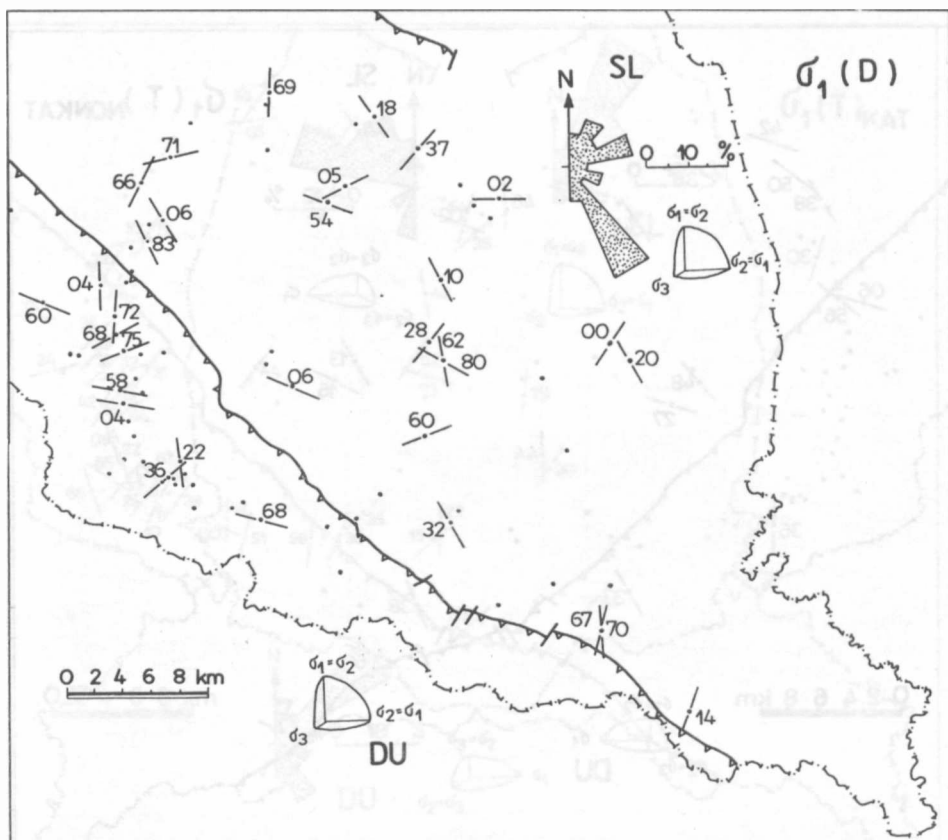


Ryc. 22. Orientacja osi największego naprężenia wynikająca z analizy niekatedralnych spękań poprzecznych w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU); objaśnienia – por. ryc. 21
 Axes of maximum compression inferred from analysis of nonkathetal transversal joints within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes; for explanations – see Fig. 21

Spękania ukośne strefy przeddukielskiej grupują się wzdłuż kierunków N-S i E-W. W przypadku zespołów katedralnych przeważa orientacja N-S i NW-SE, natomiast zespoły niekatedralne układają się najczęściej N-S oraz ENE-WSW do E-W.

Osie kompresji związanej ze ścięciowymi spękaniami poprzecznymi odznaczają się znacznym rozrzutem kierunków: NNE-SSW, ENE-WNW i WNW-ESE na przedpolu nasunięcia dukielskiego oraz NE-SW w łuskach Bukowicy i Bystrego (ryc. 21).

Osie kompresji właściwej spękanom ukośnym przybierają orientację NNE-SSW do N-S; jedynie w łusce Bystrego notuje się kierunek WNW-ESE (ryc. 23). W stosunku do kompresji związanej z systemem T, osie σ_1 (D) podlegały rotacji lewoskrętnej, z wyjątkiem łuski Bystrego wskazującej na rotację prawoskrętną.



Ryc. 23. Orientacja osi największego naprężenia wynikająca z analizy spękań ukośnych w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU); objaśnienia – por. ryc. 21

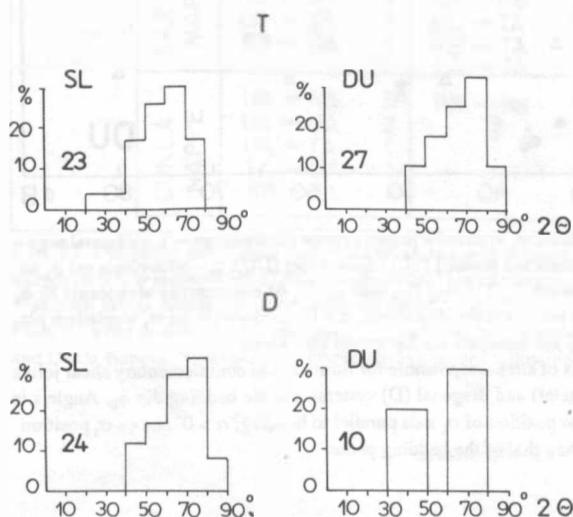
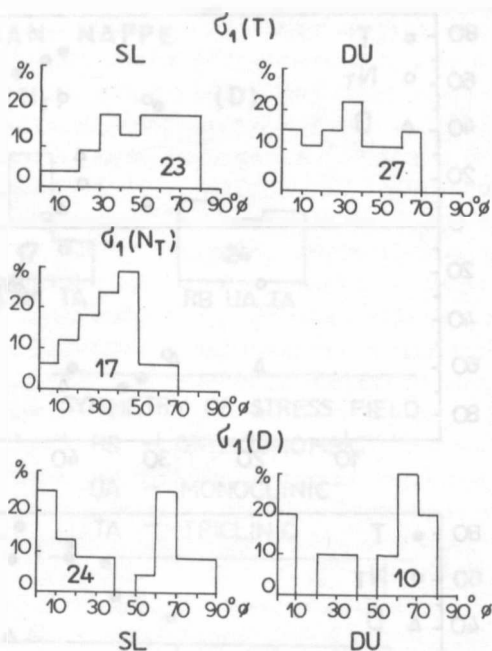
Axes of maximum compression inferred from analysis of diagonal joints within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes; for explanations – see Fig. 21

Kąt dwuścienny między komplementarnymi zespołami spękań poprzecznych i ukośnych mieści się w granicach 30–80°, nie wykazując uwarunkowań litologicznych czy też strukturalnych (przebieg nasunięć).

Poprzeczne spękania ścięciowe powstawały dzięki mechanizmowi przesuwczo-inwersyjnemu, rzadziej (BG, RB) przesuwczo-normalnemu. Spękania ścięciowe diagonalne zostały uformowane dzięki mechanizmowi inwersyjno-przesuwczemu (WŁ, BY) lub normalno-przesuwczemu (BG). To ostatnie stanowisko (Berehy Górne; por. ryc. 4), położone w pobliżu czoła nasunięcia strefy przeddukielskiej na otrycką, zdaje się świadczyć o dominującej pionowej składowej ruchów w brzeżnej strefie jednostki przeddukielskiej.

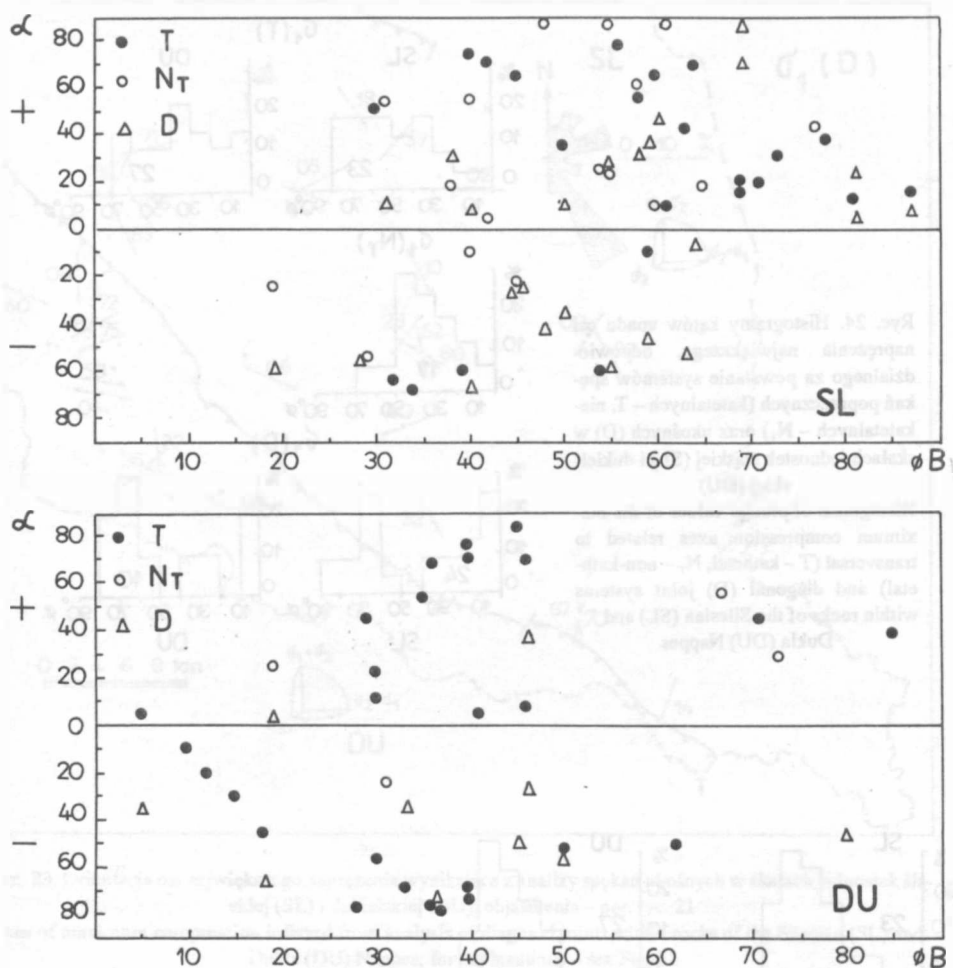
Ryc. 24. Histogramy kątów upadu osi naprężenia największego, odpowiedzialnego za powstanie systemów spękań poprzecznych (katetalnych – T, niekatetalnych – N_T) oraz ukośnych (D) w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU)

Histograms of plunge values of the maximum compression axes related to transversal (T – katedral, N_T – non-katedral) and diagonal (D) joint systems within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes



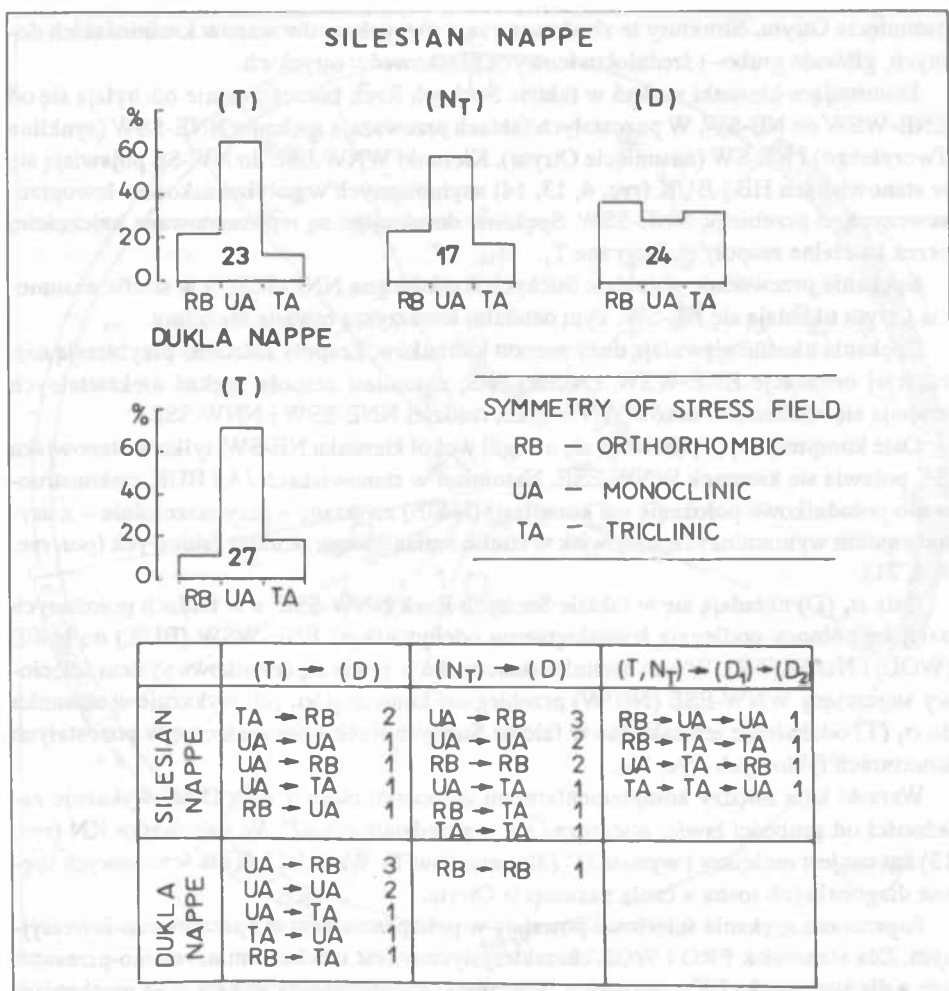
Ryc. 25. Rozkłady wartości kąta dwuściennego (2θ) między komplementarnymi sprzężzonymi zespołami spękań ścięciowych systemu poprzecznego (T) i ukośnego (D) w skałach jednostek śląskiej (SL) i dukielskiej (DU)

Histograms of values of dihedral angle (2θ) between complementary conjugate shear joint sets of the transversal (T) and diagonal (D) systems within rocks of the Silesian (SL) and Dukla (DU) Nappes



Ryc. 26. Diagram obrazujący zależność położenia σ_1 systemów poprzecznego (katetalnego – T, niekatetalnego – N_T) oraz ukośnego (D) od upadu ławic w jednostkach śląskiej (SL) i dukielskiej (DU); α – odchylenie osi σ_1 naprężenia macierzystego dla zespołów ścięciowych T_1 , T_2 i N_{T1} , N_{T2} oraz D_1 , D_2 od płaszczyzny uławicenia B ; ϕ_B – kąt upadu ławic; $\alpha = 0^\circ$: położenie osi σ_1 w płaszczyźnie uławicenia, $\alpha > 0^\circ$: nachylenie osi σ_1 względem płaszczyzny poziomej jest mniejsze niż kąt upadu uławicenia

Diagram showing relationship between σ_1 axis of stress responsible for formation of complementary shear joints of the transversal (T – kathetal, N_T – nonkathetal) and diagonal (D) systems and the bedding dip ϕ_B . Angle α is defined by $\alpha = \angle(\sigma_1, B)$; $\alpha = 0^\circ$ corresponds to position of σ_1 axis parallel to bedding; $\alpha > 0^\circ$ shows σ_1 position flatter than that of the bedding plane



Ryc. 27. Diagramy obrazujące typ symetrii spękań poprzecznych katetalnych (T) i niekatetalnych (N_T) oraz ukośnych (D) w jednostkach śląskiej i dukielskiej. Typy symetrii: RB – rombowa, UA – jednoskośna, TA – trójskośna; tabela przedstawia częstotliwość zmian typu symetrii w miarę rozwoju kolejnych generacji spękań. Plots showing symmetry of transversal (T – katedral, N_T – nonkatedral) and diagonal (D) joints in the Silesian and Dukla Nappes. Table presents frequency of changes following the development of successive generations of joints

STREFA OTRYCKA

Strefa otrycka jednostki śląskiej (ryc. 4) obejmuje w badanym przekroju (SW-NE) kilka fałdów o przebiegu WNW-ESE: fałd Suchych Rzek–Bóbrki–Rogów (por. S. W d o w i a r z 1985), złożony z synkliny Połoniny Caryńskiej i antykliny Połonin; fałd Rajskiego–Otrytu–Zatwarnicy–Mokrego; synklinę Tworylnego–Bukowca oraz zachodnią część

nasunięcia Otrytu. Struktury te zbudowane są z różnych ogniw warstw krośnieńskich dolnych, głównie grubo- i średnioławicowych piaskowców otryckich.

Dominujące kierunki spękań w fałdzie Suchych Rzek konsekwentnie odchylają się od ENE-WSW do NE-SW. W pozostałych fałdach przeważają spękania NNE-SSW (synklina Tworylnego) i NE-SW (nasunięcie Otrytu). Kierunki WNW-ESE do NW-SE pojawiają się w stanowiskach HB i BUK (ryc. 4, 13, 14) usytuowanych w pobliżu uskoków lewoprzesuwczych, o przebiegu NNE-SSW. Spękania dominujące są reprezentowane najczęściej przez katetalne zespoły poprzeczne T_1 .

Spękania przewodnie w fałdzie Suchych Rzek biegną NNE-SSW, a w strefie nasunięcia Otrytu układają się NE-SW. Tym ostatnim towarzyszą otwarte szczeliny.

Spękania ukośne ujawniają duży rozrzut kierunków. Zespoły katetalne przybierają najczęściej orientacje ENE-WSW, rzadziej N-S; natomiast zespoły spękań niekatetalnych grupują się wzdłuż kierunków WNW-ESE, rzadziej NNE-SSW i NNW-SSE.

Osie kompresji σ_1 (T) układają się na ogół wokół kierunku NE-SW; tylko w stanowisku BK pojawia się kierunek WNW-ESE. Natomiast w stanowiskach JA i BUK zrekonstruowano południkowe położenie osi kompresji (N40E) związane – przypuszczalnie – z usytuowaniem wymienionych stanowisk w strefie zmiany biegu struktur fałdowych (por. ryc. 3, 4, 21).

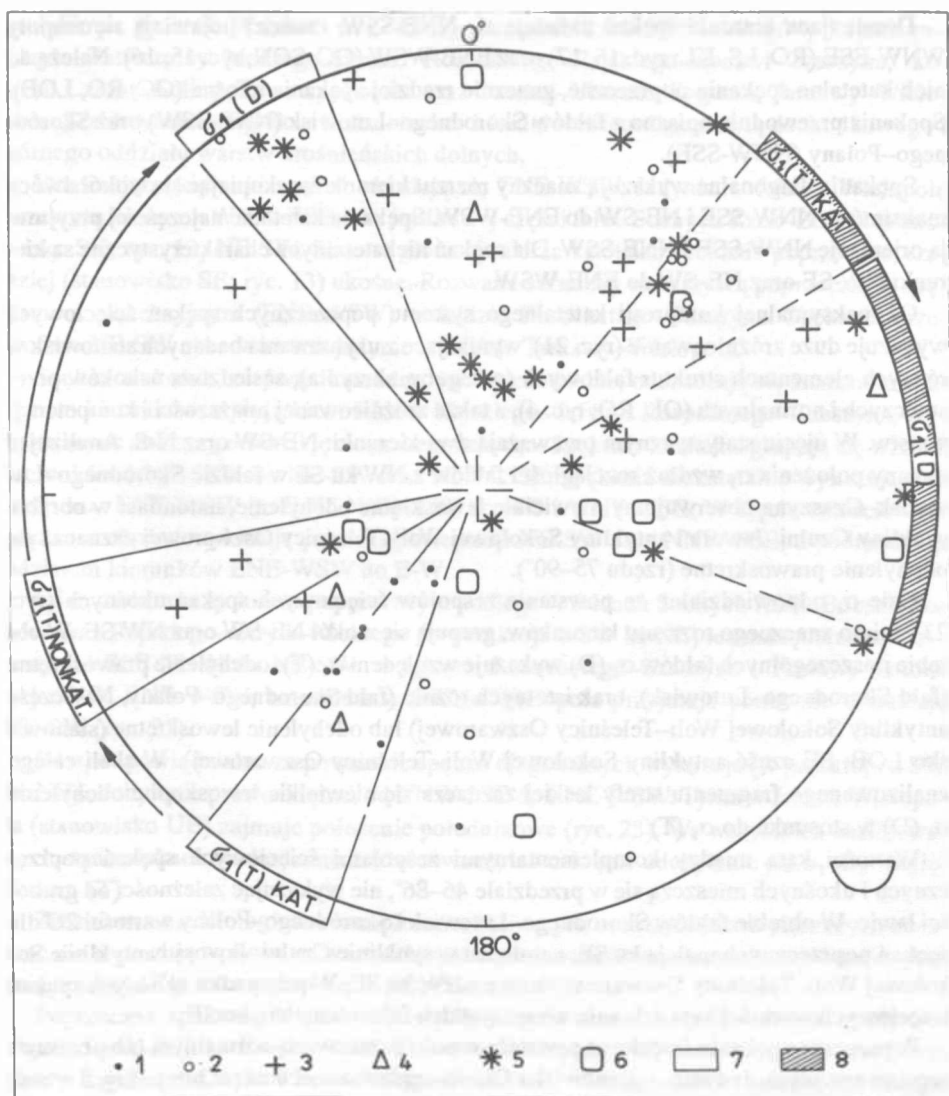
Osie σ_1 (D) układają się w fałdzie Suchych Rzek NNW-SSE, a w fałdach położonych dalej ku północy podlegają lewoskrętnemu odchyleniu od ENE-WSW (BUK) do N40E (WOL) i N10W (BK). W tym ostatnim stanowisku pojawia się dodatkowo system ścięciowy sugerujący WNW-ESE (N60W) przebieg osi kompresji. σ_1 (D) wykazuje w stosunku do σ_1 (T) odchylenie lewoskrętne w fałdzie Suchych Rzek i prawoskrętne w pozostałych strukturach fałdowych (ryc. 23).

Wartość kąta między komplementarnymi zespołami ciosu T oraz D nie wykazuje zależności od grubości ławic, mieszcząc się w przedziale 48–82°. W stanowisku KN (ryc. 13) kąt ten jest mniejszy i wynosi 31° (dla zespołów T). Wartości 2Θ dla ścięciowych spękań diagonalnych rosną u czoła nasunięcia Otrytu.

Poprzeczne spękania ścięciowe powstały w polu przesuwczym i przesuwczo-inwersyjnym. Dla stanowisk PRO i WOL charakterystyczny jest mechanizm normalno-przesuwczy, a dla stanowiska BK – normalny. Natomiast cios diagonalny wskazuje na mechanizm normalno-przesuwczy, rzadziej przesuwczo-inwersyjny.

STREFA LESKA

W obrębie strefy leskiej („północnej”) analizowano w przekroju z SW na NE (ryc. 4) następujące fałdy o osiach zorientowanych NW-SE: Skorodnego–Lutowisk–Rajskiego Wsi–Czaszyna–Niebieszczań (por. S. W d o w i a r z 1985), Skorodnego–Polany–Lutowisk–Czaszyna, Ostrego, Czulni–Jawora oraz Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej. Wymienione struktury zbudowane są ze środkowego i górnego ognia warstw krośnieńskich dolnych oraz dolnego i środkowego ognia warstw krośnieńskich górnych. W antyklinie Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej analizowano wyłącznie fluksoturbidyty warstw krośnieńskich dolnych.



Ryc. 28. Orientacja osi naprężenia największego wynikająca z analizy spękań ciosowych poprzecznych katetalnych: 1 – w jednostce śląskiej, 2 – w jednostce dukielskiej; poprzecznych niekatetalnych: 3 – w jednostce śląskiej, 4 – w jednostce dukielskiej; ukośnych: 5 – w jednostce śląskiej, 6 – w jednostce dukielskiej. Dominujące klasy katowe azymutów osi naprężenia największego w jednostkach: 7 – śląskiej, 8 – dukielskiej. Strzałki wskazują kierunek rotacji σ_1 w miarę rozwoju coraz to młodszych generacji spękań; projekcja na dolną półkulę siatki Wulffa

Axes of maximum compression inferred from analysis of transversal cathetal joints: 1 – in the Silesian Nappe, 2 – in the Dukla Nappe; transversal noncathetal joints: 3 – in the Silesian Nappe, 4 – in the Dukla Nappe; and diagonal joints: 5 – in the Silesian Nappe, 6 – in the Dukla Nappe. Dominant angular classes of σ_1 azimuths in the: 7 – Silesian, 8 – Dukla Nappes. Arrows indicate sense of rotation of σ_1 with the development of increasingly younger generations of joints. Equal-angle projection on lower hemisphere, Wulff net

Dominujące kierunki spękań układają się NNE-SSW, rzadziej pojawiają się zespoły WNW-ESE (RO, LS, KL; ryc. 16, 17) oraz ENE-WSW (OC, SON; ryc. 15, 16). Należą do nich katetalne spękania poprzeczne, znacznie rzadziej spękania ukośne (OC, RO, LOB). Spękania przewodnie opisano z fałdów Skorodnego–Lutowisk (NNE-SSW) oraz Skorodnego–Polany (NNW-SSE).

Spękania diagonalne wykazują znaczny rozrzut kierunków, skupiając się wokół dwóch maksimów: NNW-SSE i NE-SW do ENE-WSW. Spękania katetalne najczęściej przyjmują orientację NNW-SSE i NNE-SSW. Dla spękań niekatetalnych charakterystyczne są kierunki NW-SE oraz NE-SW do ENE-WSW.

Oś maksymalnej kompresji katetalnego systemu poprzecznych spękań ścięciowych wykazuje duże zróżnicowanie (ryc. 21), wynikające z usytuowania badanych stanowisk w różnych elementach struktur fałdowych (przeguby, skrzydła), sąsiedztwa uskoków przesuwczych i normalnych (OL, RO; ryc. 4), a także zróżnicowanej miąższości i kompetencji warstw. W ujęciu statystycznym przeważają dwa kierunki: NE-SW oraz N-S. Analizując zmiany położenia σ_1 wzdłuż rozciągłości fałdów z NW ku SE w fałdzie Skorodnego–Lutowisk–Czaszyna obserwujemy niewielkie lewoskrętne odchylenie, natomiast w obrębie synkliny Czulni–Jawora i antykliny Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej zaznacza się odchylenie prawoskrętne (rzędu 75–90°).

Osie σ_1 odpowiedzialne za powstanie zespołów ścięciowych spękań ukośnych (ryc. 23), mimo znacznego rozrzutu kierunków, grupują się wokół NE-SW oraz NW-SE. W obrębie poszczególnych fałdów σ_1 (D) wykazuje względem σ_1 (T): odchylenie prawoskrętne (fałd Skorodnego–Lutowisk), brak istotnych różnic (fałd Skorodnego–Polany, NW część antykliny Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej) lub odchylenie lewoskrętne (stanowisko LOB; SE część antykliny Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej). W skali całego analizowanego fragmentu strefy leskiej zaznacza się niewielkie lewoskrętne odchylenie σ_1 (D) w stosunku do σ_1 (T).

Wartości kąta między komplementarnymi zespołami ścięciowych spękań poprzecznych i ukośnych mieszczą się w przedziale 46–86°, nie wykazując zależności od grubości ławic. W obrębie fałdów Skorodnego–Lutowisk i Skorodnego–Polany wartości 2θ dla spękań poprzecznych maleją ku SE, natomiast w synklinie Czulni–Jawora i antyklinie Sokołowej Woli–Teleśnicy Oszwarowej rosną z NW ku SE. W przypadku ukośnych spękań ścięciowych wartości kąta ścinania we wszystkich fałdach maleją ku SE.

Poprzeczne spękania ścięciowe powstały w polu przesuwczo-normalnym lub przesuwczo-inwersyjnym. Jedynie w stanowisku OC stwierdzono mechanizm normalny, a w stanowisku RO – wyłącznie przesuwczy. To ostatnie stanowisko znajduje się w pobliżu dużego uskoku lewoprusuwczego. W fałdzie Skorodnego–Lutowisk zaznaczył się wyłącznie mechanizm przesuwczo-inwersyjny.

Spękania ukośne powstały natomiast w polu przesuwczo-inwersyjnym lub inwersyjnym (POL, RO, LOB); znacznie rzadziej zaznaczał się mechanizm normalno-przesuwczy (PH).

PRZEKROJ OSŁAWY

W zachodniej części analizowanego fragmentu jednostki śląskiej kierunki fałdów układają się NW-SE (ryc. 4). W przekroju Osławy (SW-NE) pojawiają się następujące struktu-

ry fałdowe (por. S. Wdowiarsz 1985): Suchych Rzek–Bóbrki–Rogów, Rajskiego–Otrytu–Zatwarnicy–Mokrego–Beska, Rosochatego–Rajskiego–Hoczwi–Czaszyna, kopalni Czama–Soliny–Tamawy–Potoka oraz Czarnej–Uherzec–Zagórze–Tamawy–Wielopola. Sfałdowane kompleksy fliszu cienko- i średnioławicowego należą do środkowego i górnego oddziału warstw krośnieńskich dolnych.

Dominujące kierunki spękań układają się ENE-WSW. Jedynie w fałdzie Wielopola przeważa kierunek WNW-ESE, a w środkowej części fałdu Suchych Rzek–Bóbrki (stanowisko SK; ryc. 13) NE-SW. Są to w głównej mierze katetalne spękania poprzeczne, rzadziej (stanowisko SE; ryc. 13) ukośne. Rozwarte szczeliny towarzyszą poprzecznym spękaniami ekstensyjnym (ENE-WSW) w fałdzie Rosochatego–Czaszyna. Spękania przewodnie NE-SW obserwowano jedynie w fałdzie Tamawy–Wielopola.

Spękania ukośne, zarówno katetalne, jak i niekatetalne, odznaczają się znacznym rozrzutem kierunków, z wyjątkiem fałdów Rajskiego–Otrytu i Rosochatego–Czaszyna, wykazujących zbliżoną orientację ciosu diagonalnego. Spękania katetalne grupują się wzdłuż kierunków NNE-SSW do NE-SW oraz NNW-SSE; spękania niekatetalne wykazują trzy maksima: ENE-WSW do E-W, NNW-SSE do N-S i WNW-ESE. W ujęciu całościowym spękania ukośne wykazują przewagę orientacji NE-SW oraz NNW-SSE, z podrzędnym udziałem kierunków ENE-WSW do E-W.

Oś σ_1 związana z ciosem poprzecznym podlega w fałdach Suchych Rzek–Bóbrki–Rogów oraz Rajskiego–Otrytu–Mokrego (w przekroju z SW ku NE) lewoskrętnemu odchyleniu od SSE-NNW do NE-SW; w fałdach Rosochatego–Czaszyna i Tamawy–Potoka układa się ENE-WSW; natomiast w fałdzie Wielopola przyjmuje ponownie orientację NE-SW (ryc. 21).

Oś σ_1 odpowiedzialna za powstanie spękań diagonalnych wykazuje (w przekroju z SW ku NE) odchylenie prawoskrętne, od NNW-SSE do ENE-WSW. Tylko w fałdzie Wielopola (stanowisko UB) zajmuje położenie południkowe (ryc. 23). We wszystkich analizowanych stanowiskach stwierdzono zróżnicowane, lewoskrętne odchylenie osi σ_1 (D) względem σ_1 (T).

Zróżnicowanie litologiczne kompleksów fliszowych oraz sąsiedztwo płaszczyzn nasunięć nie wykazują wpływu na wartości kąta między komplementarnymi zespołami spękań ścięciowych. Kąt ten zawiera się w przedziale 50–80°.

Poprzeczne spękania ścięciowe powstały w polu normalno-przesuwczym (fałdy Suchych Rzek–Bóbrki–Rogów oraz Tamawy–Wielopola) lub przesuwczo-inwersyjnym (fałdy Rajskiego–Otrytu i Rosochatego–Czaszyna). W tym ostatnim przypadku badane stanowiska znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie płaszczyzny nasunięcia.

Spękania ukośne powstały w polu normalno-przesuwczym lub (SE) normalnym. Jedynie stanowisko KU ujawnia mechanizm inwersyjno-przesuwczy.

DYSKUSJA

Spękania ciosowe w jednostce dukielskiej układają się najczęściej NNW-SSE, natomiast w jednostce śląskiej wyodrębniają się trzy dominujące zespoły: NE-SW, ENE-

PROPERTIES OF JOINT SYSTEMS		SILESIA NAPPE	DUKLA NAPPE
PREVALING ORIENTATION OF JOINTS		1. N40E 2. N80E 3. N50W	N20W
T	$T_1 + T_2$	N30E	1. N30E 2. N70E 3. N30W 4. N70W
	$T' + T$	N50E	N50E
	ΣT	N30E	1. N70E 2. N30E 3. N30W 4. N70W
N _T	$N_{T1} + N_{T2}$	1. N70W 2. N10E 3. N70E	N50E
	$N_{T'} + N_T$	N30E	
	ΣN_T	1. N70W 2. N10E 3. N70E	1. N50E 2. N70W
D	D	1. N10W 2. N30E 3. N70E	1. N90E 2. N30E 3. N10W
	N _D	1. N90E 2. N10W	1. N70W 2. N10E 3. N70E
	D + N _D	1. N10W 2. N90E	1. N70W 2. N30E
MASTER JOINTS mT		N 20 - 50E	1. N60 - 70E 2. N20 - 50E
$G_1(T)$		1. N30E 2. N70W	1. N50E 2. N30W
$G_1(N_T)$		1. N70E	VARIABLE (0-75°)
$G_1(D)$		1. N30W / HIGHLY 2. N70E / SCATTERED	VARIABLE (N60 - 120E)
2θ	T_1, T_2	60 - 70°	70 - 80°
	N_{T1}, N_{T2}	60 - 70°	60 - 70°
	D_1, D_2	70 - 80°	60 - 80°
ψ	$G_1(T)$	130 - 40° 250 - 80°	130 - 40° 250 - 10° 360 - 70°
	$G_1(N_T)$	40 - 50°	30 - 40°
	$G_1(D)$	160 - 70° 20 - 10°	160 - 70° 20 - 10°
STRESS FIELD MECHANISM	T	OBLIQUE - NORMAL	OBLIQUE-REVERSE
	N _T	OBLIQUE - REVERSE	OBLIQUE-REVERSE
	D, N _D	OBLIQUE - NORMAL	OBLIQUE - NORMAL
SYMMETRY	T	MONOCLINIC	MONOCLINIC
	N _T	MONOCLINIC	MONOCLINIC
	D, N _D	1. ORTHORHOMBIC 2. TRICLINIC	ORTHORHOMBIC MONOCLINIC
G ₁ JOINTS VS. AXES OF FOLDS THRUSTS	T	PERPENDICULAR	PERPENDICULAR
	N _T	PERPENDICULAR OBLIQUE	PERPENDICULAR OBLIQUE
	D, N _D	OBLIQUE, PARALLEL	PARALLEL

WSW oraz NW-SE (ryc. 18). Orientacja ciosu jednostki dukielskiej wykazuje jednak największy rozrzut, zwłaszcza w przypadku zespołów niekatetalnych.

W odróżnieniu od spękań poprzecznych, przybierających zróżnicowaną orientację w zależności od przebiegu struktur fałdowych (ryc. 19), spękania diagonalne ujawniają większą stałość kierunków: WNW-ESE, NNE-SSW i ENE-WSW do E-W w jednostce dukielskiej oraz NNW-SSE i NE-SW do ENE-WSW w jednostce śląskiej (ryc. 20). Spękania przewodnie na całym badanym obszarze grupują się w sektorze N20E do N50E. W obrębie jednostki dukielskiej zaznacza się dodatkowo kierunek ENE-WSW.

Rekonstruowane położenie osi maksymalnej kompresji również odznacza się znacznym rozrzutem kierunków, szczególnie w odniesieniu do niekatetalnych zespołów ciosu poprzecznego i ukośnego. Kompresja właściwa systemowi T_1 i T_2 (ryc. 21, 22) ujawnia dwa dominujące kierunki, różne dla obu analizowanych jednostek: N50E i N30W w jednostce dukielskiej oraz N30E i N70W w jednostce śląskiej. Wskazują one na lewoskrętną „rotację” (20–40°) jednostki śląskiej względem dukielskiej (por. ryc. 28). Oś kompresji związane ze spękaniami ukośnymi (ryc. 23) wykazują – w stosunku do kompresji spękań poprzecznych – odchylenie lewoskrętne w jednostce śląskiej i prawoskrętne w dukielskiej. W obrębie jednostki śląskiej notuje się także sporadycznie odchylenia prawoskrętne. Dominujące kierunki σ_1 (D) układają się w jednostce dukielskiej w sektorze N60E do S60E, natomiast w jednostce śląskiej grupują się wokół osi N30W, z podrzędnym udziałem kierunku N70E.

Wartości kąta nachylenia osi naprężenia największego przedstawia ryc. 24. Mieszczą się one w bardzo szerokich granicach (od 0° do 80°). Kąt dwuścienny między komplementarnymi zespołami spękań ścięciowych poprzecznych (tj. podwójna wartość kąta ścinania) przyjmuje wartości 20–80° w jednostce śląskiej oraz 40–85° w dukielskiej (ryc. 25), najczęściej jednak mieści się w przedziałach odpowiednio 60–70° i 70–80°. Nieco wyższe wartości charakteryzują kąty ścinania spękań ukośnych.

Odstępstwa powierzchni ciosu poprzecznego od położenia katetalnego i wynikające stąd odchylenia osi naprężenia σ_1 właściwego dla ciosu T są znaczne i sięgają niekiedy 70°. Podobna prawidłowość dotyczy spękań ukośnych (ryc. 26). Może to przemawiać za pofałdowym wiekiem omawianych zespołów ciosu (J. H. Dietrich, N. L. Carter 1969; P. Aleksandrowski 1989).

Zespoły ciosu poprzecznego odznaczają się symetrią jednoskośną w obu jednostkach (ryc. 27), podczas gdy spękania ukośne wykazują symetrię rombowa i – podrzędnie – trójskośną (jednostka śląska) lub jednoskośną (jednostka dukielska). Dominacja symetrii jed-

Ryc. 29. Tabela podsumowująca statystycznie dominujące cechy systemów spękań ciosowych w skałach jednostek śląskiej i dukielskiej. Spękania: T – poprzeczne katetalne, N_T – poprzeczne niekatetalne, D – ukośne katetalne, N_D – ukośne niekatetalne, T – przewodnie; ϕ – kąt upadu, 2Θ – kąt dwuścienny między komplementarnymi zespołami spękań ścięciowych. Mechanizm formowania ciosu: oblique-normal – przesuwczo-normalny, oblique-reverse – przesuwczo-inwersyjny. Symetria spękań: orthorhombic – rombowa, monoclinic – jednoskośna, triclinic – trójskośna. Położenie σ_1 związanej z powstaniem spękań ciosowych względem nasunięć i osi fałdów: perpendicular – poprzeczne, parallel – równoległe, oblique – ukośne

Table summarizing dominant properties of different generations of joints in the Silesian and Dukla Nappes

noskośnej systemów spękań T oraz N_T sugeruje, iż istotną rolę w ich powstaniu odegrały naprężenia poziome (por. W. J a r o s z e w s k i 1980). Natomiast rombowa i trójskośna symetria właściwa młodszemu zespołowi ciosu diagonalnego wskazuje na późniejsze wypiętrzanie.

Zespoły ścięciowych spękań poprzecznych w jednostce śląskiej oraz ukośnych w obu jednostkach powstały dzięki mechanizmowi przesuwczo-normalnemu. Katetalne spękania poprzeczne jednostki dukielskiej oraz niekatetalne spękania poprzeczne w obu jednostkach wskazują natomiast na dominację mechanizmu przesuwczo-inwersyjnego (ryc. 29).

Osie maksymalnej kompresji zrekonstruowane na podstawie układu spękań ciosowych zajmują położenie: poprzeczne (T), poprzeczne lub ukośne (N_T), względnie równoległe (D) w stosunku do przebiegu osi fałdów oraz orientacji nasunięć (ryc. 29).

Analiza orientacji osi naprężenia największego, właściwego spękanom ścięciowym poprzecznym i ukośnym (ryc. 28), ujawnia znaczne różnice między jednostkami dukielską i śląską. Osie kompresji w obrębie jednostki dukielskiej wykazują konsekwentne odchylenie prawoskrętne względem jednostki śląskiej. W obu jednostkach zaznacza się ponadto prawoskrętne odchylenie σ_1 od pola spękań poprzecznych katetalnych, poprzez niekatetalne do pola spękań ukośnych. Rozmiary tego odchylenia w jednostce śląskiej wynoszą przeciętnie $100\text{--}120^\circ$; w jednostce dukielskiej nie przekraczają 35° .

Analizowane zespoły spękań ciosowych należą do kilku generacji wiekowych, na co wskazują przesłanki intersekcyjne oraz usytuowanie ciosu względem osi fałdów i rozciągłości płaszczyzn nasunięć. W opinii P. A l e k s a n d r o w s k i e g o (1985 a, 1989), podtrzymującego stwierdzenia N. J. P r i c e ' a (1966), formowanie kolejnych zespołów nakładało się w czasie i było procesem trwającym od wczesnego stadium fałdowania po czasy współczesne. Otwarcie zespołów ścięciowego ciosu poprzecznego T_1 i T_2 wiązało się przypuszczalnie ze schyłkiem głównej fazy fałdowań, podczas gdy w trakcie następujących później ruchów wypiętrzających zostały utworzone ekstensyjne zespoły L , a następnie L' , T' oraz T . Nieco młodszą generację reprezentują spękania niekatetalnych zespołów poprzecznych i podłużnych, nawiązujące do orientacji spękań katetalnych. Najmłodszą generację reprezentują katetalne i niekatetalne zespoły ścięciowo-ekstensyjnego ciosu ukośnego związane, jak się zdaje, z ruchami nasuwczymi (por. P. A l e k s a n d r o w s k i 1985 a; A. H e n k i e l, W. Z u c h i e w i c z 1988; N. O s z c z y p k o i inni 1991). Niewykluczone, iż pewne zespoły spękań ukośnych (głównie niekatetalne) powstały w tym samym polu naprężeń, w którym utworzone zostały uskoki przesuwcze NE-SW oraz NNE-SSW, przecinające struktury fałdowe jednostek śląskiej i dukielskiej. Mogło się to wiązać ze wzrostem krzywizny łuku Karpat Zewnętrznych (sygmoidea przemyska), zaznaczającym się ok. 11–12 Ma (por. Z. B a l l a 1987).

UWAGI KOŃCOWE

Prawoskrętna rotacja osi największego naprężenia, interpretowana na podstawie analizy spękań ciosowych w jednostkach dukielskiej i śląskiej, potwierdza wyniki badań paleogeograficznych, tektonicznych i mezostrukturalnych (K. Ż y t k o 1985; N. O s z c z y p k o, A. T o m a ś 1985; N. O s z c z y p k o, A. Ś l a c z k a 1985, 1989; P. A l e -

ksandrowski 1986, 1989; W. Zuchiewicz 1989; L. Csontos i inni 1991), sugerujących prawoskrętny kierunek rotacji σ_1 w Karpatach Zewnętrznych w późnym neogenie, rzędu 40° (L. Csontos i inni 1991; W. Zuchiewicz 1994) lub $60\text{--}65^\circ$ (pozostali cytowani wyżej autorzy). Kierunek NE-SW, wiązany z położeniem σ_1 we wczesnym sarmacie (K. Żytko 1985), a w Karpatach Zachodnich z etapem tworzenia fałdów ukośnych po wczesnym badenie (P. Aleksandrowski 1985 a, 1986), odpowiada położeniu σ_1 (T) w jednostkach dukielskiej (N50E) oraz śląskiej (N30E), a także średniej orientacji spekań przewodnich na całym badanym obszarze. Natomiast kierunek N20W, wiązany przez I. Liszkowskiego (1985) i W. Zuchiewicza (1988, 1989) z regionalnym położeniem σ_1 w pliocenie i czwartorzędzie, odpowiada pozycji σ_1 (D) w jednostce śląskiej.

Miłym obowiązkiem autorów jest złożenie podziękowań dr. Stanisławowi Leszczyńskiemu oraz prof. Andrzejowi Ślącze za dyskusję wyników i krytyczne przejrzenie pierwszej wersji maszynopisu. Panu prof. Janowi Kuśmierkowi dziękujemy za wnikliwe zrecenzowanie pracy.

Badania zostały sfinansowane z grantu Komitetu Badań Naukowych nr 6 6134 92 03p/01.

LITERATURA

- Aleksandrowski P. 1985 a; Tektonika regionu babiogórskiego: interferencja zachodnio- i wschodniokarpackich kierunków fałdowych. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, Vol. 55, 375–423.
- Aleksandrowski P. 1985 b; Interference fold structure of the Western Flysch Carpathians in Poland. *Proc. Reports 13th Congress Carpatho-Balkan Geol. Assoc.*, Pt. I, 159–162.
- Aleksandrowski P. 1986; Zadania analizy strukturalnej w Karpatach śląskich. *Przegl. Geol.*, No. 10, 552–555.
- Aleksandrowski P. 1989; Geologia strukturalna Płaszczowiny Magurskiej w rejonie Babiej Góry. *Studia Geol. Polon.*, Vol. 96, 1–140.
- Balla Z. 1987; Tertiary palaeomagnetic data for the Carpatho-Pannonian region in the light of Miocene rotation kinematics. *Tectonophysics*, Vol. 139, 67–98.
- Bażyński J., Doktor S., Graniczny M. 1984; Mapa fotogeologiczna Polski. Inst. Geol., Warszawa.
- Blaicher J., Nowak W. 1963; Mikrofauna otwornic łupkowej serii warstw krośnienskich z Niebylca. *Kwart. Geol.*, T. VII, z. 4, 710–711.
- Cieszkowski M., Ślącza A., Wdowiarz S. 1985; New data on structure of the flysch Carpathians. *Przegl. Geol.*, Nr 6, 313–333.
- Csontos L., Tari G., Bergerat F., Fodor L. 1991; Evolution of the stress fields in the Carpatho-Pannonian area during the Neogene. *Tectonophysics*, Vol. 199, 73–91.
- Dieterich J. H., Carter N. L. 1969; Stress history of folding. *Amer. Jour. Sci.*, Vol. 267, 129–154.
- Doktor S., Graniczny M., Pożaryski W. 1988; The main photolineaments of Poland and the surrounding areas and their connection with geology. *Biul. Inst. Geol.*, T. 359, 61–70.
- Graniczny M. 1991; Możliwości wykorzystania fotolineamentów do oceny sejsmicznego zagrożenia terenu. *Biul. PIG*, T. 365, 5–46.
- Gucik S., Paul Z., Ślącza A., Żytko K. 1979; Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Przemysł, Kalników. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Hancock P. L. 1964; The relations between folds and lateformed joints in South Pembrokeshire. *Geol. Mag.*, Vol. 101, 174–184.

- Hatcher R. D., Jr. 1990; *Structural Geology. Principles, Concepts and Problems*. Merrill Publ. Comp., Columbus, 531 pp.
- Henkiel A. 1977; Zależność rzeźby Karpat Zewnętrznych od budowy geologicznej jednostek fliszowych i ich głębokiego podłoża (na przykładzie wschodniej części Karpat polskich). Rozpr. habilit. UMCS, Lublin, 100 pp.
- Henkiel A., Zuchiewicz W. 1988; On jointing in eastern part of the Silesian Unit, Low Bieszczady Mts., Polish Carpathians. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci.*, Vol. 36, 59–66.
- Henkiel A., Zuchiewicz W. 1989; Relations between folding and jointing in the eastern Silesian Unit, West Carpathians, Poland. *Extended Abstracts, 14th Congress CBGA*, Vol. 2, 510–512, Sofia.
- Horwitz L. 1936; Geologia centralnej depresji karpackiej na północ od Lutowisk. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 12, 335–352.
- Jaroszewski W. 1980; *Tektonika uskoku i fałdów*. Wyd. 2, Wyd. Geol., Warszawa, 360 pp.
- Jaroszewski W. 1984; *Fault and Fold Tectonics*. Ellis Harwood, Chichester, 565 pp.
- Kondracki J. 1988; *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Wyd. 6, Warszawa, 464 pp.
- Koszarski L. 1985; General remarks on the geology of the Dukla Unit and its relation to the pre-Dukla Zone. *Guide to Exc. 3, 13th Congress CBGA*, p. 193–201, Geol. Inst., Kraków.
- Koszarski L., Żytko K. 1961; Łupki jasielskie w serii menilitowo-krośnieńskiej w Karpatach środkowych. *Biul. Inst. Geol.*, T. 166, 87–232.
- Książkiewicz M. 1951; Kreda Karpat zewnętrznych. *Regionalna geologia Polski*, T. I, z. 1, Pol. Tow. Geol., Kraków, p. 86–112.
- Książkiewicz M. 1968; Spostrzeżenia nad rozwojem ciosu w Karpatach fliszowych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 38, 335–384.
- Książkiewicz M. 1972; *Karpaty. Budowa geologiczna Polski*, T. IV, Tektonika, cz. 3, Wyd. Geol., Warszawa, 228 pp.
- Książkiewicz M. 1977; The tectonics of the Carpathians. *Geology of Poland*, Vol. IV, Wyd. Geol., Warszawa, p. 476–618.
- Kuśmierek J. 1979; Deformacje grawitacyjne, nasunięcia wsteczne, a budowa wgłębna i perspektywy naftowe przedpola jednostki dukielskiej. *Prace Geol. Kom. Nauk. Geol. PAN, Oddz. Krak.*, T. 114, 1–68.
- Kuśmierek J. 1990; Zarys geodynamiki centralnokarpackiego basenu naftowego. *Prace Geol. Kom. Nauk. Geol. PAN, Oddz. Krak.*, T. 135, 1–85.
- Kuśmierek J., Stefaniuk M. 1985; Rozwój tektonicznych deformacji fliszowego pokrowa na fonie morfologii fundamenta w rozreze Wola Michowa-Przemysł. *Proc. Reports 13th Congress CBGA*, Pt. I, p. 303–306, Geol. Inst., Kraków.
- Liszkowski J. 1985; Crustal structure, gravity and geothermics versus recent and neotectonic geodynamics of the Carpatho-Balkan region. *Proc. Reports 13th Congress CBGA*, Pt. II, p. 524–526, Geol. Inst., Kraków.
- Mastella L. 1988; Budowa i ewolucja strukturalna okna tektonicznego Mszany Dolnej, polskie Karpaty Zewnętrzne. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, Vol. 58, 53–173.
- Morgiel J., Sikora W. 1963; Mikrofauna z warstw krośnieńskich z Liskowatego koła Ustrzyk Dolnych. *Kwart. Geol.*, T. VII, z. 2, 306–318.
- Nowak J. 1927; *Zarys tektoniki Polski*. II Zjazd Słowiańskich Geografów i Etnografów, Kraków, 160 pp.
- Nowak W., Geroch S., Gasiński A. 1985; Oligocene/Miocene boundary in the Carpathians. *Abstracts, VIII Congress RCMNS, Budapest, Hung. Geol. Surv.*, p. 427–429.
- Oszczypko N., Cieszkowski M., Zuchiewicz W. 1991; Variable orientation of folds within Upper Cretaceous-Palaeogene rocks near Szczawa, Bystrica Subunit, Magura Nappe, West Carpathians. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci.*, Vol. 39, 88–107.
- Oszczypko N., Ślaczka A. 1985; An attempt to palinspastic reconstruction of Neogene basins in the Carpathian Foredeep. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, Vol. 55, 55–75.
- Oszczypko N., Ślaczka A. 1989; The evolution of the Miocene basin in the Polish Outer Carpathians and their foreland. *Geol. Zbornik – Geologica Carpathica*, Vol. 40, 23–36.
- Oszczypko N., Tomáš A. 1985; Tectonic evolution of marginal part of the Polish Flysch Carpathians in the Middle Miocene. *Kwart. Geol.*, T. XXIX, z. 1, 109–128.
- Price N. J. 1966; *Fault and joint development in brittle and semi-brittle rocks*. Pergamon, Oxford, 176 pp.

- Sikora W. 1959; Uwagi o stratygrafii i paleogeografii warstw krośnieńskich na przedpolu Otrytu między Szewczenkiem a Polaną. *Kwart. Geol.*, T. III, z. 3, 569–582.
- Starkel L. 1972; Karpaty Zewnętrzne. Geomorfologia Polski. T. 1, PWN, Warszawa, p. 52–112.
- Ślącza A. 1956; Stratygrafia serii śląskich na przedpolu fałdów dukielskich. *Przegl. Geol.*, Nr 10, 459–460.
- Ślącza A. 1959; Stratygrafia serii śląskiej tuski Bystrego na południe od Baligródu. *Biul. Inst. Geol.*, T. 131, 203–251.
- Ślącza A. 1971; Geologia jednostki dukielskiej. *Prace Inst. Geol.*, T. 63, 1–97.
- Ślącza A. 1985; Geology of Polish part of Fore-Dukla Zone and Dukla Unit. Guide to Exc. 4, 13th Congress CBGA, p. 64–85, *Geol. Inst.*, Kraków.
- Ślącza A., Żytko K. 1978; Mapa geologiczna Polski 1:200 000, ark. Łupków. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Świdziński H. 1953; Karpaty fliszowe między Dunajcem a Sanem. *Regionalna geologia Polski*, T. I, cz. 2, *Pol. Tow. Geol.*, Kraków, p. 326–418.
- Świdziński H. 1958; Mapa geologiczna Karpat polskich 1:200 000, część wschodnia. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Tokarski A. K. 1975 a; Geologia i geomorfologia okolic Ustrzyk Górnych (polskie Karpaty Wschodnie). *Studia Geol. Polon.*, Vol. 48, 1–90.
- Tokarski A. K. 1975 b; Structural analysis of the Magura Unit between Krościenko and Zabrze (Polish Flysch Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 45, 327–359.
- Tokarski A. K. 1977; Rotated joints in folded Magura flysch (Polish Flysch Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 47, 147–161.
- Tołwiński K. 1933; Centralna depresja karpacka. *Geologia i Statystyka Naftowa*, T. 11, Borysław.
- Wdowiarz J. 1931; Geologia Karpat Dukielskich. *Kosmos*, Ser. A, T. 55, 675–691.
- Wdowiarz S. 1985; Niektóre zagadnienia budowy geologicznej oraz ropo- i gazonośności centralnego synklinorium Karpat w Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, T. 350, 5–52.
- Whisonant R. C., Watts C. F. 1989; Using dip vectors to analyze structural data. *Jour. Geol. Education*, Vol. 37, 187–189.
- Wiatow O. 1967; Niektóre ogólne rozważania o tektonicznych strefach w Karpatach i o ich nomenklaturze (artykuł dyskusyjny). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 37, 189–206.
- Zuchiewicz W. 1988; Evolution of the Eastern Beskid Niski Mts. and morphotectonics of the Polish Carpathians. *Zesz. Nauk. AGH, kwart. Geologia*, T. 13, z. 3–4, 1–167.
- Zuchiewicz W. 1989; Neotectonics versus gravity and crustal thickness: a case study of the Polish Flysch Carpathians. *Tectonophysics*, Vol. 163, 277–284.
- Zuchiewicz W. 1994; Late Cainozoic jointing and small-scale faulting in the Polish Outer Carpathians: hints for stress field reorientation. *Bull. INQUA Neotectonics Commission*, No. 17, Stockholm, p. 34–38.
- Żytko K. 1968; Budowa geologiczna Karpat między dorzeczem Strwiąża a Welliną w Bieszczadach (niepubl.). *Arch. P.I.G. Oddz. Karp.*, Kraków.
- Żytko K. 1985; Some problems of a geodynamic model of the Northern Carpathians. *Kwart. Geol.*, T. XXIX, z. 1, 85–108.

SUMMARY

We have analyzed more than 7,000 measurements of joint surfaces within Cretaceous to Lower Miocene flysch rocks that build the Dukla and Silesian Nappes in eastern part of the Polish Carpathians. Several generations of joint systems have been distinguished. Kathetal and nonkathetal joints include – with respect to the orientation of fold axes – transversal (T, N_T), longitudinal (L, N_L) and diagonal (D, N_D) sets, the last one being the youngest.

In the Dukla Nappe, the most frequent are joints aligned NNW-SSE, whereas in the Silesian Nappe three dominant directions are visible (NE-SW, ENE-WSW, NW-SE). As far as all the dominant types of joints are concerned (T, N_T , D), the Dukla Nappe displays the highest scatter, particularly within nonkathetal joints. The master joints, in turn, reveal similar orientation throughout the area studied (N_{20E} to N_{50E}); although in the Dukla Nappe an additional, ENE-WSW trend, has also been found.

The reconstructed position of the maximum compression axis is highly scattered, especially when related to nonkathetal transversal and diagonal joints. The compression associated with transversal shear joints T_1 and T_2 shows two predominant directions, different for the two tectonic units: N50E and N30W for the Dukla Nappe, as well as N30E and N70W for the Silesian Nappe; all of them being indicative of sinistral rotation (20° to 40°) of the Silesian Nappe versus the Dukla Nappe. The maximum compression axes inferred from the position of diagonal shear joints display, in relation to transversal joints, sinistral rotation in the Silesian Nappe and dextral rotation in the Dukla Nappe. The former unit shows as well subordinate dextral rotations.

Transversal joints in the Silesian Nappe and diagonal joints in both the Dukla and Silesian Nappes originated due to oblique-normal mechanism; kathetal transversal joints in the Dukla Nappe and the nonkathetal ones in both nappes point, in turn, to the oblique-reverse field.

The axes of maximum compression are: perpendicular (T), either perpendicular or oblique (N_T), and parallel (D , N_D) to the dominant orientation of folds and thrusts.

The joint sets analyzed belong to several age generations. The opening of kathetal transversal shear joints (T_1 , T_2) was probably associated with the end of folding, whereas during the subsequent uplift extensional sets L and T were formed. A still younger generation is represented by nonkathetal, transversal and longitudinal joints. The youngest generation, in turn, includes both kathetal and nonkathetal, shear-extensional diagonal sets that were formed during the Late Tertiary thrusting. Some of nonkathetal diagonal joint sets might have originated under the same stress field which was responsible for the formation of NE-SW and NNE-SSW-oriented strike-slip faults. These faults displace both the Silesian and Dukla Nappes and are, most probably, coeval with the bending of the Carpathian arc near Przemyśl.

A clockwise orientation of the maximum compression axis, inferred from geometry of joint systems in the Dukla and Silesian Nappes, is consistent with the results of palaeogeographic, structural and microtectonic studies that suggest a dextral sense of rotation of σ_1 in the Outer Carpathians during the Middle and Late Miocene. The NE-SW position of σ_1 , typical of the Early Sarmatian (Żytko 1985) relates to the orientation of σ_1 (T) in the Dukla (N50E) and Silesian (N30E) Nappes, as well as to the dominant alignment of master joints throughout the area studied. The N20E direction, in turn, considered to be characteristic of Plio-Quaternary times (Zuchiewicz 1989) coincides with the analogous position of σ_1 (D) in the Silesian Nappe.

On a larger scale, specific orientation of the principal stress axes associated with transversal joints might have resulted either from large-scale left-lateral shear at the Inner/Outer Carpathians boundary, or from thin-skinned extension within intramontane troughs of the Inner Carpathians. Reorientation of stress axes seems to have been confined to the formation of the Przemyśl sigmoid and that of the strike-slip faults.

Biblioteka Uniwersytetu
MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
w Lublinie

4052

48

1993

MANUSCRIPTA

Adresse:

UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
WYDAWNICTWO

Pl. M. Curie-Skłodowskiej 5 20-031 LUBLIN

POLOGNE