

## Pofałdowa dyspersja kierunków w strefie wygięcia płaszczowiny śląskiej w rejonie doliny Dunajca

Marta Rauch\*

*Osie fałdów regionalnych badano we fragmencie płaszczowiny śląskiej, w rejonie doliny Dunajca. Płaszczowina ta tworzy łuk wypukły ku NNE i obszar badań zlokalizowany jest w strefie jej przegięcia. Orientacja osi fałdów regionalnych w płaszczowinie śląskiej zmienia się na granicach badanego regionu. Na wschód od tego regionu osie tych fałdów zorientowane są NW–SE, natomiast na zachód od niego osie fałdów są zorientowane W–E. Wykorzystując pomierzoną orientację uławiczenia przeanalizowano orientację zrekonstruowanych osi fałdów regionalnych. W obrębie badanego regionu wydzielono 17 domen ograniczonych granicami tektonicznymi. Dla każdej z nich wykonano pomiary uławiczenia. Rozkład danych na projekcjach uławiczenia wykazuje zwykle zwarty, pasowy charakter. Zrekonstruowane osie fałdów regionalnych zanurzają się pod niewielkimi kątami, zwykle do 10° (maks. 12°). Orientacje osi tych fałdów wykazują dużą zmienność: od NNW–SSE, poprzez NW–SE i W–E (dominujący), aż po WSW–ENE. Tak dużą zmienność osi fałdów można tłumaczyć przeładowaniem lub pofałdową rotacją domen względem siebie. Pasowe projekcje danych oraz cztery różne kierunki orientacji osi fałdów przemawiają za rotacją domen jako przyczyną rozrzutu orientacji osi. Rotacja ta mogła rozproszyć pierwotny, pojedynczy zespół fałdów. Rotacja miałaby miejsce po fałdowaniu, a więc po późnym badenie (14 mln). Rotację taką mogłoby wywołać wyginanie się płaszczowiny śląskiej, a związana z tym ekstensja powodowałaby popękanie tej płaszczowiny w przegubowej strefie na bloki (domeny) oraz rotację tych bloków.*

**Słowa kluczowe:** *płaszczowina śląska, osie fałdów regionalnych, pofałdowe rotacje*

Marta Rauch — **Postfolding dispersion of fold axes within inflexion zone of the Silesian nappe in the Dunajec River valley region southern Poland.** *Prz. Geol., 47: 187–193.*

*S u m m a r y.* Orientation of map-scale fold axes have been studied within the Silesian nappe in the Dunajec River valley. This nappe was formed into bend convex towards the NNE and the studied area lies within inflexion zone. The map-scale fold axes within the Silesian nappe change their orientation in the studied area. East of this area, these fold axes trend NW–SE, whereas towards the west they strike W–E. The distribution of the regional fold axes has been analysed in the studied area based on measurements of strata orientations. The studied area has been subdivided into 17 domains, bounded by tectonic contacts. Strata orientations have been measured separately for particular domains. The stereoplots of the bedding orientation show generally coherent fabric. All reconstructed fold axes plunge shallowly, generally less than 10° (max. 12°). The orientation of the fold axes differs distinctly between particular domains from N–S to NW–SE, to W–E (predominant), to WSW–ENE. Such variable orientation of the fold axes between particular domains could have been caused either by refolding or by rotations of domains. Coherent fabric of stereoplots and four different directions of fold axes suggest that most likely the rotations caused the fold axes dispersion. These rotations have dispersed a original single fold set. Therefore the rotations were later, than the folding, which took place before the Late Badenian (14 Ma). The rotations could be related to the bending of the Silesian nappe. The bending involved extension probably caused breaking of the bend into blocks (domains) associated with individual rotations of these blocks.

**Key words:** *Outer Carpathians, Silesian nappe, map-scale fold axes, late orogenic rotation*

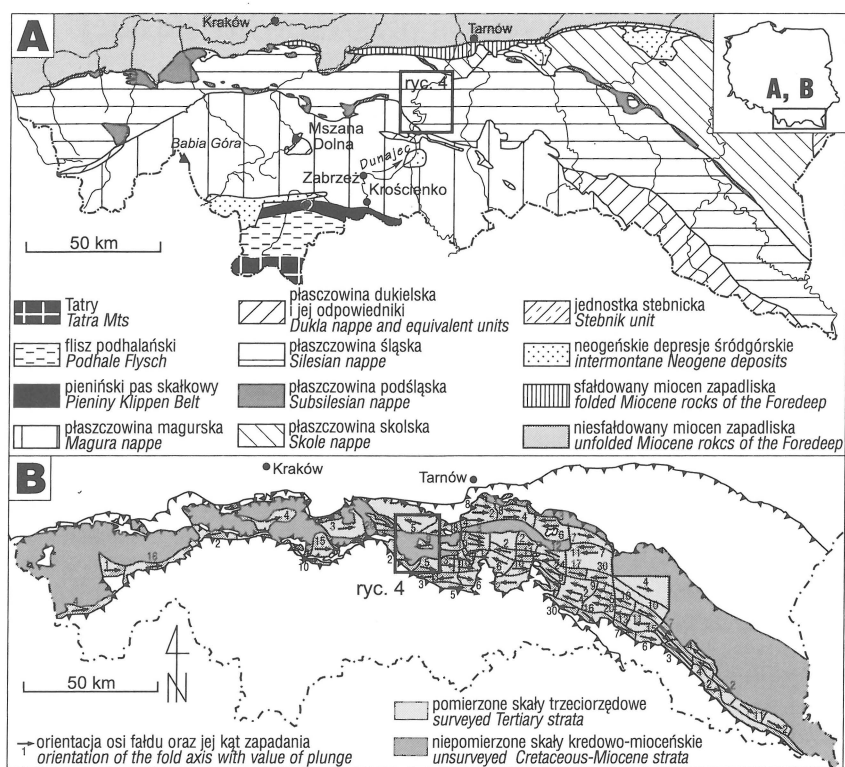
Według Książkiewicza (1972) fałdy w polskim segmencie Karpat zewnętrznych mają przebieg regularny, niekiedy można je śledzić na przestrzeni setek kilometrów. Analizę orientacji osi fałdów regionalnych, w obrębie płaszczowiny śląskiej, na podstawie map geologicznych w skali 1 : 50 000 przeprowadził Szczęśny ([W:] Mastella i in., 1997, fig. 1). Analiza ta pokazuje, że w części tej płaszczowiny, zlokalizowanej na zachód od Tarnowa osie fałdów mają przebieg W–E, natomiast w pozostałej części NW–SE (ryc. 1B).

Szczegółowe badania orientacji osi fałdów w płaszczowinie magurskiej, w polskim segmencie Karpat zewnętrznych prowadzili: Tokarski (1975) w dolinie Dunajca (między Zabrzeżą a Krościenkiem) i Aleksandrowski (1985a, 1989) w rejonie Babiej Góry oraz Mastella (1988) wokół okna tektonicznego Mszany Dolnej oraz w samym oknie (ryc. 1A). W pracach Konona (1996, 1997) można znaleźć informację o orientacji uławiczenia w płaszczowi-

nie magurskiej i śląskiej na północny wschód od okna tektonicznego Mszany Dolnej. Aleksandrowski (1985a) stwierdził występowanie dwóch zespołów fałdów odpowiadających różnym etapom fałdowania, o różnej orientacji pola naprężeń. W przypadku okna Mszany Dolnej (Mastella, 1988) i jego obrzeżenia (Mastella, 1988; Konon, 1996, 1997) również jest stwierdzona wieloetapowość fałdowania. Natomiast między Zabrzeżą, a Krościenkiem (Tokarski, 1975), czyli na obszarze zlokalizowanym najdalej na wschód spośród wzmiankowanych powyżej, sytuacja jest odmienna. Mianowicie, pasowy rozkład danych na projekcjach normalnych do uławiczenia świadczy o tym, że orientacja pola naprężeń nie ulegała, na tym obszarze, istotnym zmianom.

W niniejszej pracy omówiono orientację osi fałdów w skałach płaszczowiny śląskiej w rejonie doliny Dunajca (ryc. 1A). Rejon badań znajduje się dalej na wschód od wzmiankowanych powyżej. Prezentowany rejon wybrano z trzech powodów. Po pierwsze, w polskim segmencie płaszczowiny śląskiej nie przeprowadzono dotychczas szczegółowych badań orientacji osi fałdów. Po drugie, w dolinie Dunajca odsłania się szeroki interwał litostratygraficzny tej płaszczowiny. Wreszcie w tym rejonie zmieniają się zasadniczo zarówno styl tektoniczny płaszczowiny

\*Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Ośrodek Badawczy w Krakowie, ul. Senacka 1, 31-002 Kraków e-mail ndrauch@cyf-kr.edu.pl



Ryc. 1. Szkic geologiczny polskiego segmentu Karpat Zewnętrznych (A) wg Książkiewicz (1972; uproszczony) oraz (B) orientacja osi kartowalnych fałdów, w trzeciorzędowych skałach płaszczowiny śląskiej wg Mastella i in. (1997). Prostokąt — lokalizacja badanego regionu  
**Fig. 1.** Geological sketch of the Polish Carpathians (A) after Książkiewicz (1972; simplified) and (B) orientation of map-scale fold axes in Tertiary strata of the Silesian nappe after Mastella et al. (1997). The location of studied area is boxed

śląskiej (Książkiewicz, 1972; por. niżej), jak i plan strukturalny tej płaszczowiny (ryc. 1B).

Celem badań było prześledzenie orientacji osi fałdów regionalnych oraz ustalenie ilości faz fałdowych. Orientację osi fałdów zrekonstruowano wykorzystując pomiary orientacji uławicenia, które zestawiono osobno dla poszczególnych elementów tektonicznych.

### Uwagi metodyczne

Orientację osi fałdów regionalnych uzyskano wykorzystując graficzną metodę, zwaną diagramem p (Ramsay, 1967, s. 9–12; Koziar, 1982, s. 101–104; Quade, 1984, s. 136–141; Ramsay & Huber, 1987, s. 334–335). Na projekcji (na siatkę równopowierzchniową, Schmidta) normalnych do powierzchni uławicenia konstruuje się łuk koła wielkiego  $\pi$ , zwanego łukiem  $\pi$  (ang.  $\pi$ -circle). Orientacja normalnej do łuku  $\pi$ , tzn. osi  $\pi$  odpowiada orientacji osi fałdu. Powyższa metoda (ang.  $\pi$ -diagram method) opiera się na założeniu, że powierzchnia uławicenia w pomierzonym fałdzie jest powierzchnią walcową (cylicydryczną). Według Turnera & Weissa (1963) zawsze można tak dobrać wielkość obszaru pomiarowego, poprzez jego zmniejszenie, że w jego obrębie, fałd będzie miał charakter cylindryczny. W praktyce jednak nawet, gdy fałd jest cylindryczny, na projekcji uwidacznia się rozrzut danych (normalnych do powierzchni uławicenia), które układają się nie wzdłuż łuku, a wzdłuż pasów (Koziar, 1982; Ramsay & Huber, 1987). Na ten rozrzut danych ma wpływ m.in. błąd pomiaru kompasem ( $\pm 2^\circ$ ). Aby więc skonstruować łuk  $\pi$  najczęściej sporządza się diagram konturowy normalnych do powierzchni uławicenia. Następnie, wizualnie lub statystycznie dopasowuje się łuk  $\pi$  tak, aby przechodził przez maksima diagramu. W pracy Hobbsa i in. (1976; fig. 4.25) można prześledzić rozkład normalnych do uławicenia w różnych fałdach w zależności od kąta zanurzania się osi fałdu i kąta pochylecia fałdu.

Zjawisko superpozycji fałdów, dotyczące często skał metamorficznych (Turner & Weiss, 1963) występuje również w skałach niezmetamorfizowanych (Ramsay, 1967). Styl superpozycji fałdów, w dużym stopniu zależy od kąta zbieżności  $\Delta$  fałdów (ang. *interlimb angle*; Dadlez & Jaroszewski, 1994), które powstały podczas pierwszego fałdowania oraz orientacji, względem osi fałdów pierwotnych, kompresji powodującej przeładowanie (Ramsay, 1967; Ghosh i in. 1996). Struktury powstałe jako efekty nakładania się dwóch fałdowań Ramsay (1967) podzielił na 3 Typy. W toku późniejszych obserwacji terenowych, a głównie badań eksperymentalnych uściślono warunki powstawania tych typów nakładania się fałdów i ich zmienność (m. in. Ghosh & Ramberg 1968; Odonne & Vialon 1987; Ghosh i in. 1992; Ghosh i in. 1995; Ghosh i in. 1996). Według Ramsaya (1967) w Typie 1 powtórne fałdowanie nie zmienia orientacji płaszczyzny osiowej wcześniejszych fałdów (oznaczone niżej literą a) natomiast powoduje undulację ich osi. Nowe fałdy (oznaczone niżej literą b), które powstają podczas tego drugiego fałdowania są podobnie rozwinięte. W miejscu, gdzie przecinają się powierzchnie osiowe tych dwóch zespołów fałdów (a) i (b) tworzy się elewacja, stąd struktura ta zwana jest „elewacjami i depresjami” (ang. *domes and basins*). Kompresja podczas drugiego fałdowania jest zorientowana pod niewielkim kątem do osi fałdów pierwotnych (a). Struktura Typu 1 tworzy się (Gosh i in. 1992), gdy fałdy zarówno zespołu pierwotnego (a), jak i późniejszego (b) mają charakter otwarty (ang. *open fold*; por. Ramsay & Huber, 1987; s. 313). Typ 2 charakteryzuje się tym, że powtórne przeładowanie powoduje deformację powierzchni osiowej pierwotnego (a) zespołu fałdów (Ramsay, 1967). Ten typ superpozycji fałdów powstaje, gdy ciasne fałdy (ang. *tight fold*) zespołu pierwotnego (a) przeładowane zostaną pod wpływem kompresji zorientowanej pod kątem mieszczącym się w zakresie  $0-70^\circ$  do kierunku ich osi (Gosh i in., 1992; Gosh i in., 1996). Typ ten dzieli się na dwa przypadki (Gosh & Ramberg, 1968; Gosh i in., 1992; Gosh i in., 1996). W pierwszym, gdy fałdy pierwotne (a) są

bardzo ciasne, przełażdowaniu ulegają ich skrzydła tak, że nałożony fałd (b) nie kontynuuje się poza przegub pierwotnego (a), a początkowa orientacja przegubu fałdu pierwotnego (a) zostaje zachowana. W drugim przypadku natomiast, gdy pierwotne fałdy (a) nie są zbyt ciasno sfałdowane, ulegają one przełażdowaniu w taki sposób, że pierwotna linia przegubu zostaje sinusoidalnie powyginana (ang. *hinge replacement*). W Typie 3 powtórne fałdowanie w niewielkim stopniu zmienia początkową orientację osi pierwotnego (a) zespołu fałdów (Ramsay, 1967). Przełażdowaniu ulega natomiast powierzchnia osiowa pierwotnego zespołu fałdów (a). Podczas powtórnego fałdowania kompresja jest zorientowana w przybliżeniu prostopadle do osi pierwotnego zespołu fałdów (a). Istnieje też inna, 4 możliwość, która odpowiada Typowi 0 według Ramsaya & Hubera (1987). Mianowicie, gdy późniejsza kompresja nie wywołuje przełażdowania fałdów pierwotnego zespołu (a), natomiast powoduje ich rotację i ścieśnianie zachowując jednocześnie ich cylindryczność (Gosh i in., 1996). Zjawisko to występuje, gdy pierwotnie fałdy (a) są otwarte ale mogą być i jeszcze bardziej zcieśnione, a późniejsza kompresja jest zorientowana pod kątem większym od 30° do ich osi albo też, gdy fałdy (a) są łagodne (ang. *gentle fold*), a kompresja jest zorientowana pod kątem większym od 50°. Rotacji i ścieśnianiu fałdów pierwotnych (a) towarzyszy ścinanie równoległe do ich przegubów zlokalizowane w przegubowych strefach antyklin i wywołujące powstanie szczelin ekstensyjnych.

### Zarys budowy geologicznej płaszczowiny śląskiej

Polski segment Karpat zewnętrznych składa się ze skał obejmujących interwał wiekowy od późnej jury (tyton) po wczesny miocen. Segment ten jest zbudowany z szeregu płaszczowin (ryc. 1A) ponasuwanych na siebie generalnie z południa ku północy. Płaszczowina śląska ciągnie się pasem przez całą polską część segmentu. Wchodzące w jej skład skały obejmują interwał od tytonskich dolnych łupków cieszyńskich po oligoceńskie, (lokalnie — miocenne) warstwy krośnieńskie (Książkiewicz, 1972; Koszarski, 1985).

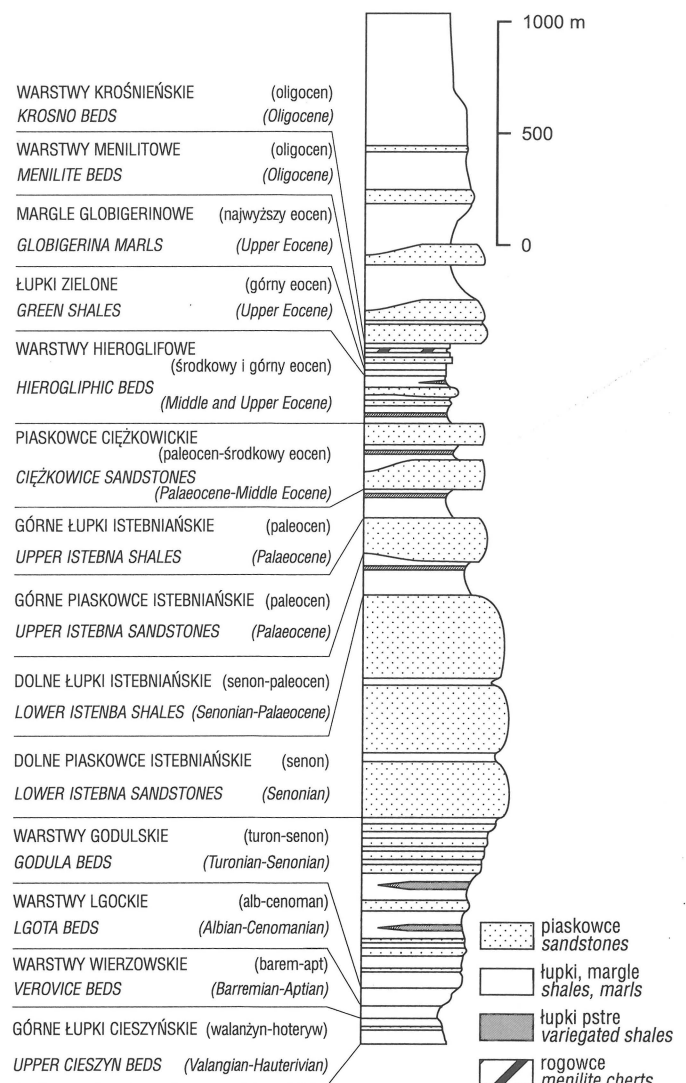
W płaszczowinie śląskiej wyraźnie jest widoczna zmienność stylu tektonicznego z zachodu na wschód (Książkiewicz, 1972). Na zachód od doliny Dunajca płaszczowina śląska składa się z ponasuwanych na siebie płatów, które ku wschodowi przechodzą w złuskowane fałdy, a następnie w fałdy pochylone ku północy. W rejonie doliny Dunajca jest zachowana jeszcze, typowa dla zachodniej części płaszczowiny śląskiej orientacja osi regionalnych fałdów (ryc. 1B), która ma przebieg W–E. Natomiast na wschód od tego rejonu osie fałdów regionalnych mają już przebieg NW–SE.

### Budowa geologiczna płaszczowiny śląskiej w rejonie doliny Dunajca

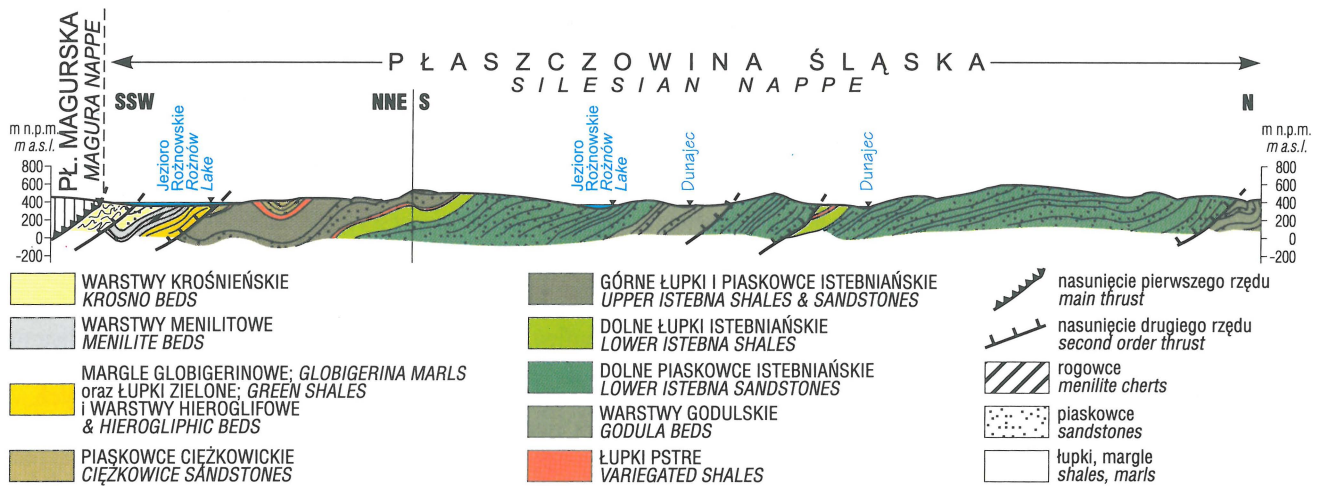
**Litostratygrafia.** W badanym rejonie odsłania się prawie cały interwał litostratygraficzny płaszczowiny śląskiej poczynając od dolnej kredy (górne łupki cieszyńskie) po oligocen (warstwy krośnieńskie) (ryc. 2; por. też: Skoczylas-Ciszewska, 1954; Burtan & Skoczylas-Ciszewska, 1964; Koszarski & Kuciński, 1966; Michalik i in., 1987). Miąższość całej sekwencji skał omawianego fragmentu płaszczowiny śląskiej szacowana jest na ponad 4500 m

(Skoczylas-Ciszewska, 1954; Leszczyński [W:] Michalik i in., 1987; Cieszkowski 1992).

**Tektonika.** Badany fragment płaszczowiny śląskiej ma skomplikowaną budowę strukturalną, jest sfałdowany i pocięty licznymi uskokami (Sokołowski, 1935; Karnkowski, 1959; Skoczylas-Ciszewska, 1960; Burtan & Skoczylas-Ciszewska, 1964; Skoczylas-Ciszewska, 1954; Ślącza, 1964; Koszarski & Kuciński, 1966; Michalik i in., 1987; Cieszkowski, 1992). Fałdy regionalne są zwykle złuskowane, z zachowanym skrzydłem południowym (ryc. 3). W obrębie badanego rejonu można wyróżnić 6 dużych nasunięć o generalnym przebiegu W–E (ryc. 4). Nasunięcia, liczne w dolinie Dunajca, wykazują tendencję do zanikania ku wschodowi na uskockach poprzecznych, a złuskowane fałdy przechodzą w tym kierunku w ciasne antykliny stojące lub pochylone ku N oraz otwarte synkliny (Michalik i in., 1987). Skały płaszczowiny śląskiej, w badanym rejonie, zostały sfałdowane przed górnym bademem (Cieszkowski, 1992). Studiowany region jest pocięty licznymi uskockami poprzecznymi (ryc. 4). Wiele z tych uskocków występuje w osiowej części doliny Dunajca.



**Ryc. 2.** Profil litostratygraficzny skał płaszczowiny śląskiej w rejonie doliny Dunajca wg Cieszkowskiego (1992; uproszczony)  
**Fig. 2.** Lithostratigraphy of the Silesian nappe in the Dunajec River valley after Cieszkowski (1992; modified)



Ryc. 3. Przekrój geologiczny płaszczowiny śląskiej w dolinie Dunajca (lokalizacja na ryc. 4) wg Cieszkowskiego (1992)  
 Fig. 3. Cross-section of the Silesian nappe in the Dunajec valley (for location see fig. 4) after Cieszkowski (1992)

### Observacje

Do celów analizy strukturalnej podzielono badany teren na elementy tektoniczne. Jako odrębne elementy traktowano poszczególne łuski (ryc. 4 i 5; numeracja cyfrowa od południa). Łuski te podzielono jeszcze dodatkowo z uwagi na obecność regionalnych uskoku lub stref uskoku. Najczęściej wyróżniono część zachodnią łuski (litera „a” w symbolu elementu) i wschodnią (litera „b”). Uzyskano w ten sposób 17 elementów tektonicznych, które później nazywane będą domenami (ang. *domain*; por. Turner & Weiss, 1963).

W niniejszej pracy, nie będą rozważane domeny (6b) i (7b) (ryc. 4) z powodu niedostatku odsłoneń, co uniemożliwiło zebranie danych.

**Uławicenie.** Warstwy w omawianym rejonie zapadają generalnie na S (ryc. 3), pod kątami zwykle nie przekraczającymi  $45^\circ$  i znajdują się w położeniu normalnym. Warstwy odwrócone są notowane sporadycznie i najczęściej występują w sąsiedztwie uskoku. Wyjątkiem są domeny (4a) i (4b) (ryc. 4), w których stromo nachylone warstwy odwrócone dominują.

Pakiety warstw, wykształcone jako drobnorytmiczny flisz, albo zawierające w przeważającej ilości łupki, są bardziej podatne na deformacje ciągłe. Nie zaobserwowano jednak odmiennych kierunków uławicenia w zależności od wykształcenia litostratygraficznego badanych warstw (por. ryc. 2, 4 i 6).

Diagramy konturowe orientacji normalnych do uławicenia, wykonane dla poszczególnych domen wykazują zwykle dość dobre skupienie danych (ryc. 5). Dane na powyższych projekcjach układają się generalnie wzdłuż regularnych pasów (ryc. 5; diagramy: 1a, 1b, 1-3a, 2a, 4a, 4b, 5a, 5b) co świadczy o cylindrycznym charakterze pomierzonych fałdów (patrz wyżej, rozdział: Uwagi metodyczne). Jedynie dwa diagramy (ryc. 5; nr 6a i 7a) wykazują wyraźne rozproszenie projekcji, przy zachowaniu jednak tendencji do pasowego rozkładu danych. Obecność szerokiego pasa rozkładu danych na tych diagramach może świadczyć o niewielkiej zmienności orientacji osi fałdu lub też o obecności uskoku, który spowodował rotację warstw. Na obserwowany nierównomierny rozkład danych w obrębie pasów, który na diagramach sygnalizują różnie rozlokowane maksima ma wpływ w dużej mierze kształt fałdu.

Mianowicie najwięcej pomiarów dokonuje się w skrzydłach fałdu (por. Hobbsa i in., 1976; fig. 4.25). Dodatkowym utrudnieniem jest nierównomierne odsłonecie terenu. Na badanym rejonie decydujący wpływ ma jednak fakt, że ten fragment płaszczowiny śląskiej jest pocięty licznymi nasunięciami, a fałdy mają zachowane zwykle tylko skrzydło grzbietowe. Na diagramach może to prowadzić do sytuacji, że otrzymuje się tylko jedno maksimum (ryc. 5; diagramy: 2b, 3a, 3a-b, 3b, 5a-b). Wydłużony kształt, który mają powyższe maksima pozwala jednak zrekonstruować możliwy przebieg fałdu z fragmentu, którego dane te pochodzą.

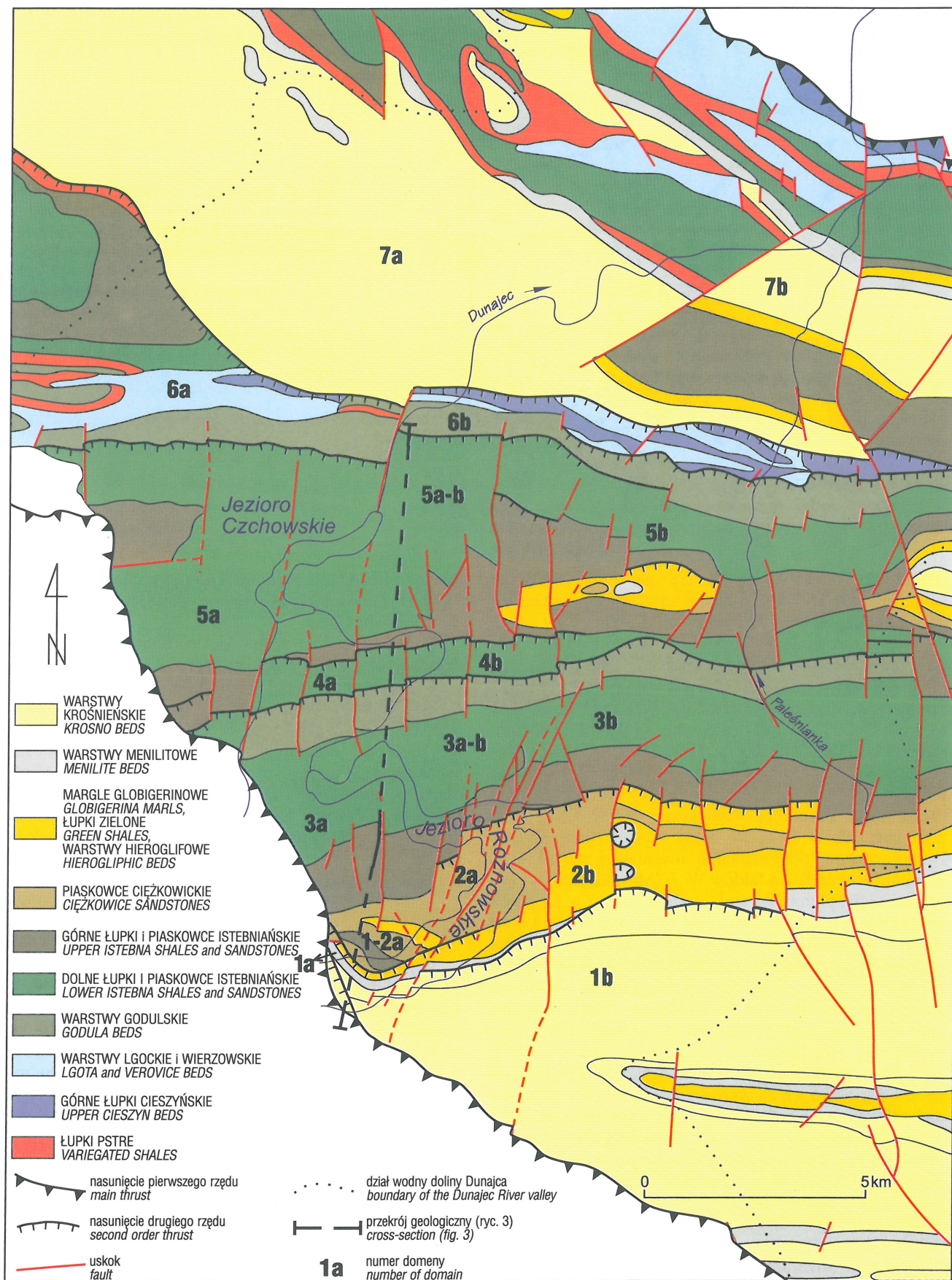
Normalne do powierzchni uławicenia na powyższych projekcjach wykazują generalnie pasowy rozkład świadczący o tym, że w poszczególnych domenach orientacja osi fałdu nie ulegała większym zmianom.

**Osie fałdów.** Orientacje osi fałdów regionalnych w obrębie poszczególnych domen wyznaczono korzystając z metody diagramu  $\pi$  (patrz rozdział: Uwagi metodyczne). Metodę powyższą zastosowano również dla domen (6a) i (7a) (ryc. 4), korzystając z faktu, że wykazują one tendencję do pasowego rozkładu danych. Wyróżniono cztery grupy fałdów o orientacji osi fałdów zbliżonych do kierunków (ryc. 7): (1) W-E (dominujący); (2) WSW-ENE; (3) NW-SE oraz (4) NNW-SSE.

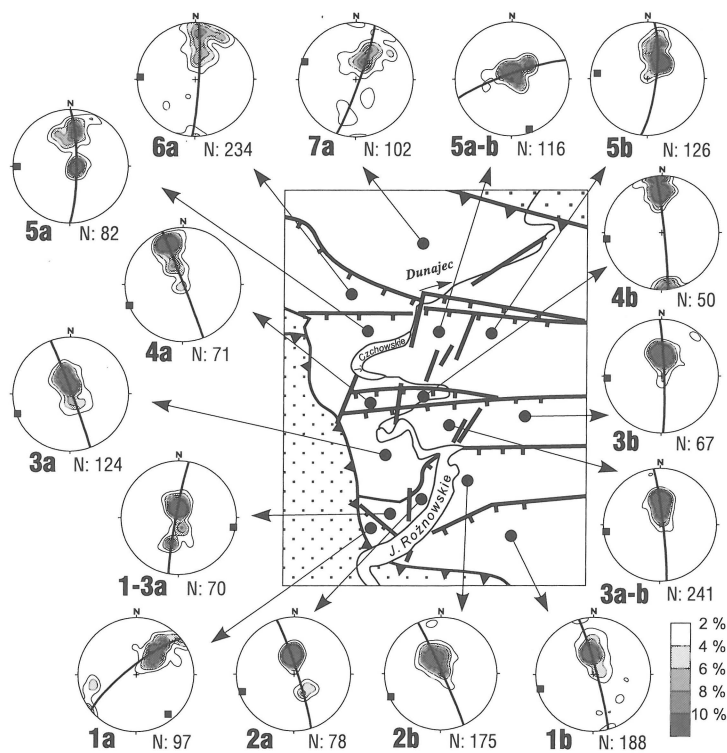
Kąt zanurzania się osi fałdów zwykle nie przekracza  $10^\circ$ . Wyjątkiem są dwie domeny, (1a) i (5b) dla których wynosi on  $12^\circ$ .

### Dyskusja

W płaszczowinie magurskiej, w okolicy Babiej Góry notowane są położenia warstw, których rozkłady normalnych do uławicenia na diagramach są zarówno pasowe, jak i rozproszone (Aleksandrowski, 1989). Diagramy, o rozkładzie pasowym, odpowiadają zwykle dominującym tam fałdom o orientacji osi NE-SW, ale spotykane są też odpowiadające fałdom NW-SE. Obecność diagramów rozproszonych autor ten interpretuje jako nałożenie się dwóch etapów fałdowania (A) i (B), odpowiadających uformowaniu się najpierw fałdów o przebiegu osi NE-SW (A), a następnie NW-SE (B). Superpozycja ta odpowiada Typowi 2 nakładania się fałdów (por. Aleksandrowski, 1989 oraz w tej pracy rozdział: Uwagi metodyczne). Alek-



Ryc. 4. Szkic tektoniczny płaszczowiny śląskiej w dolinie Dunajca wg Cieszkowskiego (1992; uproszczony)  
Fig. 4. Tectonic sketch of the Silesian nappe in the Dunajec River valley after Cieszkowski (1992; simplified)



Ryc. 5. Diagramy konturowe normalnych do powierzchni uławicenia (dolna półkula) z orientacją łuku  $\pi$  (wielki krąg) oraz osi fałdu (kwadrat). Szkic lokalizacji domen wykonano bez skali

Fig. 5. Stereoplots (lower hemisphere) of strata orientation for particular domains with circle  $\pi$  (great circle) and orientation of fold axis (square). Sketch map of study area is not to scale

sandrowski (1985b) uważa, że powyższe zjawisko nakładania się fałdów jest charakterystyczne również dla pozostałej części polskiego segmentu Karpat

W płaszczynie magurskiej, na południe od okna tektonicznego Mszany Dolnej (Mastella, 1988) diagramy orientacji uławicenia wykazują pasowe uporządkowanie i orientację rozciągłości warstw NE–SW. Na północ od okna Mszany Dolnej natomiast diagramy są wyraźnie rozproszone (Mastella, 1988; Konon, 1996, 1997). W oknie tektonicznym Mszany Dolnej diagramy orientacji uławicenia są również rozproszone (Mastella, 1988). W południowej części okna dominują rozciągłości WSW–ENE, a w północnej WNW–ESE. W oknie tektonicznym Mszany Dolnej oraz w płaszczynie magurskiej wokół okna dominuje kierunek osi fałdów W–E (Mastella, 1988) czyli odpowiadający kierunkowi (1) grupy fałdów w tej pracy. Wyjątkiem jest południowa część okna, gdzie przeważają fałdy o orientacji osi WNW–ESE i mogą odpowiadać fałdom (B) wg Aleksandrowskiego (1985a) i fałdom grupy (3) wg tej pracy. Rozproszenie diagramów uławicenia sporządzonych dla okna tektonicznego Mszany Dolnej oraz jego północnego i północno-wschodniego obrzeżenia sygnalizuje dużą zmienność orientacji osi fałdów. Może to sugerować, że dominujący równoleżnikowy kierunek osi fałdów regionalnych na tych obszarach, mógłby odpowiadać nałożeniu się fałdów (A) i (B) wyróżnionych przez Aleksandrowskiego (1985a i b). Mastella (1988) uważa, że fałdy regionalne na tym obszarze tworzyły się w kompresji zorientowanej N–S oraz, że później nastąpiła rotacja kierunku maksymalnej kompresji zgodnie ze wskazówkami zegara, czyli odpowiadająca fazie (B) fałdowania wg Aleksandrowskiego (1989).

Diagram orientacji uławicenia sporządzony dla pasa płaszczyny śląskiej na przedpolu płaszczyny magurskiej, na północny wschód od Mszany Dolnej wykazuje rozproszenie danych (Konon, 1997; fig. 3, diagram IV). Orientacja rozciągłości uławicenia zmienia się, z zachodu na wschód generalnie od kierunku WNW–ESE, poprzez W–E, do ENE–WSW. Taką równoleżnikową zmienność

rozciągłości uławicenia autor ten interpretuje jako dopasowanie się fałdowanej płaszczyny śląskiej do ewentualnej elewacji w podłożu.

W płaszczynie magurskiej, w dolinie Dunajca między Zabrzeżą, a Krościenkiem (ryc. 1A), diagramy orientacji uławicenia mają generalnie regularny, pasowy rozkład punktów projekcyjnych (Tokarski, 1975). Dominują rozciągłości uławicenia WNW–ESE. Regularne pasowe projekcje normalnych do powierzchni uławicenia świadczą o tylko jednym etapie fałdotwórczym. Jedynie diagram pomiarów zlokalizowanych najbardziej na południe (Tokarski, 1975; fig. 3: diagram A) wykazuje duże rozproszenie i jedynie on mógłby świadczyć o nałożeniu się kilku deformacji fałdowych powstałych w różnie zorientowanych polach naprężeń.

### Interpretacja

Zgodnie z obserwacją Aleksandrowskiego (1989), powtórne przeładowanie powinno zaznaczyć się obecnością dwóch dominujących kierunków osi fałdów. Jednocześnie powinna zaznaczyć się obecność stref o niecylicylniczej budowie fałdów, a wynikającej z nałożenia się obu kierunków fałdowania co sygnalizowałyby rozproszony charakter diagramów uławicenia. W niniejszej pracy wyróżniono jednak cztery grupy fałdów (ryc. 4) oraz wykazano ich cylindryczny charakter.

Wspomniane cztery grupy fałdów, ze względu na ich cylindryczny charakter, nie można interpretować jako efekt nałożenia się fałdowań Typu 1 lub 2 (por. rozdział: Uwagi metodyczne). Fałdowanie wymienionych typów zaburzyłoby cylindryczny charakter fałdów pierwotnych, którego efektem byłoby rozproszenie projekcji. Na badanym terenie wykluczyć należy również superpozycje fałdów Typu 3, która nie powoduje zmiany pierwotnego kierunku osi fałdów, więc występowałyby tylko jeden kierunek orientacji fałdów, a nie wyróżnione cztery. Zachowanie cylindryczności fałdów pierwotnych, przy jednoczesnej ich rotacji zakłada Typ 0. Typ ten nie tłumaczy

czy jednak zróżnicowania orientacji osi fałdów pomiędzy domenami.

Odmienne orientacje osi fałdów mogą być efektem rotacji tych domen względem siebie. W takim przypadku fałdy w domenach mogłyby pierwotnie należeć nawet do jednego zespołu. Takie rotacje w badanym regionie są bardzo prawdopodobne ponieważ zlokalizowany jest on w miejscu maksymalnego wygięcia płaszczowiny śląskiej, w którym zmienia się też orientacja osi regionalnych fałdów z W-E na zachodzie, na NW-SE na wschodzie (ryc. 1A i B). Ekstensja związana z tym wygięciem mogła doprowadzić do rozbitcia na bloki tego fragmentu płaszczowiny śląskiej i wywołać niezależną rotację poszczególnych bloków. Za rotacją mogło być przemawiać dobre skupienie projekcji uławicenia dla wyróżnionych domen oraz niewielki kąt znrzania się osi fałdów regionalnych przy aż czterech kierunkach osi fałdów. Zgodnie z powyższą interpretacją, osie (1) grupy fałdów o orientacji W-E i (3) o orientacji NW-SE odpowiadają regionalnym kierunkom panującym odpowiednio na zachód i wschód od badanego regionu (ryc. 1B). Natomiast pozostałe dwie grupy (2) i (4) o orientacjach osi fałdów, odpowiednio WSW-ENE odpowiadają kierunkom lokalnym, związanych z lokalizacją omawianego regionu w strefie przegięcia pasa płaszczowiny śląskiej (ryc. 1A).

Przy przyjęciu powyższej interpretacji wygięcie płaszczowiny śląskiej wydaje się być pofałdowe. Zakładając, że płaszczowina śląska w badanym rejonie była już sfałdowana w górnym badaniu (Cieszkowski, 1992), powyższe wygięcie tej płaszczowiny mogło mieć miejsce w górnym badaniu albo jeszcze później.

### Wnioski

W badanym regionie zaobserwowano występowanie czterech grup fałdów o orientacji osi zbliżonych do kierunków: W-E, dominujący; WSW-ENE; NW-SE oraz NNW-SSE. Wymienione grupy fałdów najprawdopodobniej powstały przez rozbitcie pierwotnie pojedynczego zespołu w wyniku rotacji związanych z wygięciem się płaszczowiny śląskiej w tym regionie. Ewentualne wyginanie płaszczowiny śląskiej mogło mieć miejsce w górnym badaniu lub później.

Serdecznie dziękuję doc. dr hab. Markowi Cieszkowskiemu za wprowadzenie w geologię badanego regionu. Na ręce doc. dr hab. Leonarda Mastelli składam podziękowania za udostępnienie programu komputerowego „StereoNet”, w Instytucie Geologii Podstawowej na Uniwersytecie Warszawskim, do wydruku diagramów konturowych zamieszczonych w niniejszej pracy. Bardzo dziękuję również Antoniemu Tokarskiemu, Annie Świerczewskiej, Pawłowi Aleksandrowskiemu oraz Jackowi Rubinkiewiczowi za przeczytanie manuskryptu niniejszej pracy oraz interesującą dyskusję. Dziękuję również anonimowemu recenzentowi za cenne uwagi.

Powyższy artykuł jest wynikiem prac przeprowadzonych w ramach tematu „Historia rozwoju strukturalnego polskiego segmentu Karpat zewnętrznych” wykonywanego w Instytucie Nauk Geologicznych PAN, Ośrodku Badawczym w Krakowie. Badania terenowe były częściowo finansowane z grantu KBN (Nr 9 T12B02009) dla A. K. Tokarskiego.

### Literatura

ALEKSANDROWSKI P. 1985a — Tektonika regionu babiogórskiego: interferencja zachodnio-wschodniokarpackich kierunków fałdowych. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 55: 375–422.

- ALEKSANDROWSKI P. 1985b — Interference fold structure of the Western Flysch Carpathians in Poland. 13th Congress Carpatho-Balkan Geological Association, Cracow, Proceeding Reports, Part 1: 159–162.
- ALEKSANDROWSKI P. 1989 — Geologia strukturalna płaszczowiny magurskiej w rejonie Babiej Gory. *Stud. Geol. Pol.*, 96: 140.
- BURTAN J. & SKOCZYŁAS-CISZEWSKA K. 1964 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Męcina, wyd. tymczas. Wyd. Geol.
- CIESZKOWSKI M. 1992 — Strefa Michalczowej — nowa jednostka strefy przedmagurskiej w Zachodnich Karpatach Fliszowych i jej geologiczne otoczenie. *Kwart. AGH Geol.*, 18: 124.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. Wyd. Nauk. PWN.
- GHOSH S. K., DEB S. K. & SENGUPTA S. 1996 — Hinge migration and hinge replacement. *Tectonophysics*, 263: 319–337.
- GHOSH S. K., KHAN D. & SENGUPTA S. 1995 — Interfering folds in constrictional deformation. *J. Structur. Geol.*, 17: 1361–1373.
- GHOSH S. K., MANDAL N., KHAN D. & DEB S. K. 1992 — Modes of superposed buckling in single layers controlled by initial tightness of early folds. *J. Structur. Geol.*, 14: 381–394.
- GHOSH S. K. & RAMBERG H. 1968 — Buckling experiments on intersecting fold patterns. *Tectonophysics*, 5: 89–105.
- HOBBS B.E., MEANS W. D., WILLIAMS P. F. 1976 — An outline of structural geology. John Wiley & Sons, New York: 571.
- KARNKOWSKI P. 1959 — Budowa geologiczna synkliny Jankowej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 29: 281–194
- KONON A. 1996 — Tektonika góry Łopień (Beskid Wyspowy). *Prz. Geol.*, 44: 1195–1198.
- KONON A. 1997 — Tektonika masywu Śnieżnicy i jej przedpola (Beskid Wyspowy, płaszczowina magurska). *Prz. Geol.*, 45: 1001–1007.
- KOSZARSKI L. (red.) 1985 — Geology of the middle Carpathians and the Carpathian Foredeep. 13th Congress Carpatho-Balkan Geological Association, Cracow. Guide to Excursion 3.25.4
- KOSZARSKI L. & KUCIŃSKI T. 1966 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski. 1: 50 000, ark. Wojnicz, wyd. tymczas. Wyd. Geol.
- KOZIAR J. 1982 — Ćwiczenia z geologii dynamicznej cz. III. Kompas geologiczny. Technika i analiza pomiarów. Wyd. UWr: 163.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa geologiczna Polski. T. IV. Tektonika. Cz. 3. Karpaty: 228.
- MASTELLA L. 1988 — Budowa i ewolucja strukturalna okna tektonicznego Mszany Dolnej, polskie Karpaty zewnętrzne. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 58: 53–173.
- MASTELLA L., ZUCHIEWICZ W., TOKARSKI A. K., RUBINKIEWICZ J., LEONOWICZ P. & SZCZĘSNY R. 1997 — Application of joint analysis for paleostress reconstructions in structurally complicated settings: Case study from Silesian nappe, Outer Carpathians (Poland). *Prz. Geol.*, 45: 1064–1066.
- MICHALIK M., CIESZKOWSKI M., KOSZARSKI A. & LESZCZYŃSKI S. 1987 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Ciężkowice. Wyd. Geol.
- ODONNÉ F. & VIALON P. 1987 — Hinge migration as a mechanism of superposed folding. *J. Structur. Geol.*, 9: 835–844.
- QUADE H. 1984 — Die Lagenkugelprojektion in der Tektonik – Das SCHMIDTsche Netz und seine Anwendung. *Clausthaler Tektonische, Hefte*, 20: 197.
- RAMSAY J. G. 1967 — Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York: 568.
- RAMSAY J. G., HUBER M. I. 1987 — The techniques of modern structural geology. Vol. 2: Folds and Fractures. Academic Press, London: 309–700.
- SKOCZYŁAS-CISZEWSKA K. 1954 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, ark. Brzesko. Wyd. Geol.
- SKOCZYŁAS-CISZEWSKA K. 1960 — Budowa geologiczna strefy żegocińskiej. *Acta Geol. Pol.*, 10: 485–591.
- SOKOŁOWSKI S. 1935 — Geologia doliny Dunajca między Tropiem a Kurowem. *Kosmos A*, 60: 49–93
- ŚLĄCZKA A. 1964 — Jednostka śląska między Bilskiem a Tabaszową. *Kwart. Geol.*, 8: 199–209.
- TOKARSKI A. K. 1975 — Structural analysis of the Magura Unite between Krościenko and Zabrzeż (Polish Flysch Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 45: 327–359.
- TURNER F. J. & WEISS L. E. 1963 — Structural analysis of metamorphic tectonites. McGraw-Hill, New York: 545.
- ŻYTKO K., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., ZAJĄC R., GARLICKA I., NEMČOK J., ELIÁŠ M., MENČÍK E., DVOŘÁK J., STRÁŇÍK Z., RAKUS M. & MATĚJOVSKÁ O. 1989 — Geological Map of the Western Outer Carpathians and their Foreland without Quaternary formation. Państwowy Instytut Geologiczny. [W:] Geologiczny atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland. Koordynatorzy: D. Poprawa (Polska) i J. Nemčok (Czechosłowacja). Wyd. Państw. Inst. Geol.