

## TEKTONIKA NIECIĄGŁA NIECKI PODHALAŃSKIEJ NA PODSTAWIE FOTOINTERPRETACJI I ANALIZY RZEŻBY TERENU

UKD 551.243:528.77(438-924.51)

Analizując związki rzeźby terenu niecki podhalańskiej z geologią utworów fliszowych (8), zauważono wiele prostoliniowych odcinków dolin i skarp, których przebieg sugerował związek z tektoniką nieciągłą. Otrzymany na tej podstawie obraz przebiegu prawdopodobnych stref nieciągłości tektonicznych poddano kontroli, a następnie opracowano statystycznie ich kierunki. Niniejsza praca prezentuje uzyskane wyniki – zarówno metodyczne, jak i regionalne.

### METODYKA

Przeanalizowano 3 rodzaje obrazów rzeźby terenu:

- stereoskopowe zdjęcia lotnicze pionowe, przeglądane w zmiennych powiększeniach za pomocą interpretoskopu (skala 1:30 000 i większa),
- poziomicowy rysunek rzeźby terenu w skali 1:25 000 o cięciu poziomicowym 5 m,
- poziomicowy rysunek rzeźby terenu w skali 1:150 000, będący 6-ciofoldnym fotograficznym zmniejszeniem rysunku 1:25 000, dzięki znacznemu zagęszczeniu elementów rzeźby zbliżony do małoskalowych zdjęć radarowych (6).

Za związane z tektoniką nieciągłą uznano prostoliniowe odcinki dolin potoków i ograniczających je skarp (a także prostoliniowe smugi ciemnych fototonów na zdjęciach lotniczych), skośne względem biegów warstw, zwłaszcza jeśli układały się wzdłuż jednej linii o większej długości, lub jeśli były równoległe do siebie.

Uzyskany obraz poddano kontroli porównując go ze szczegółowymi zdjęciami geologicznymi wybranych obszarów. Nie stwierdzono na nich występowania dużych dyslokacji, obserwowano natomiast wzrost liczby niewielkich uskoków grupujących się wzdłuż wyinterpretowanych stref nieciągłości, co czyni te strefy zbliżonymi – mimo ich stosunkowo niewielkich rozmiarów – do klasycznych lineamentów (5). Lineamenty tego typu, prawdopodobnie w wyniku działania młodych ruchów tektonicznych, ujawniają się nad nieciągłościami podłoża (7). Jest więc wysoce prawdopodobne, że prostoliniowy przebieg niektórych elementów rzeźby terenu Podhala jest predysponowany

przez strefy stosunkowo drobnych nieciągłości tektonicznych rozwinięte nad dyslokacjami w podłożu fliszu.

Przeprowadzono obliczenia mające wykazać w jakim stopniu otrzymany obraz tektoniki nieciągłej pokrywa się z danymi terenowymi. Na przebadanych odcinkach kontrolnych ponad 45% uskoków widocznych w odśrodkach było czytelnym również w rzeźbie terenu, a także – co ważniejsze – ok. 55% wyinterpretowanych stref nieciągłości odpowiadało nagromadzeniom niewielkich uskoków stwierdzonym w terenie. Zgodność z obserwacjami terenowymi sięgała nawet 70%, gdy rozpatrywano wyłącznie strefy nieciągłości wyznaczone fotointerpretacyjnie.

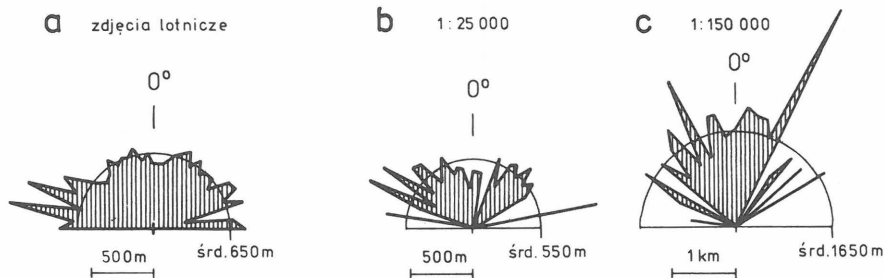
Przeciętna długość stref nieciągłości zaobserwowanych na zdjęciach lotniczych wynosiła 650 m, na mapie rzeźby terenu w skali 1:25 000 – 550 m, w skali zaś 1:150 000 – 1650 m. Zwraca uwagę wzrost długości stref w miarę zmniejszania skali analizowanego obrazu rzeźby terenu, choć nie jest to prosta zależność liniowa.

Przeanalizowano przeciętne długości stref nieciągłości w poszczególnych przedziałach azymutów (ryc. 1), lecz nie stwierdzono istnienia kierunków wyraźnie uprzywilejowanych pod względem długości. Jednakże porównując wykonane diagramy (ryc. 1) z rozetami azymutów stref nieciągłości (ryc. 2) można spostrzec, że dłuższe są na ogół strefy nieciągłości o rzadziej spotykanych kierunkach.

### KIERUNKI STREF NIECIĄGŁOŚCI

Na obszarze fliszowej niecki Podhala wyznaczono łącznie 737 stref nieciągłości tektonicznych – 443 na podstawie analizy zdjęć lotniczych, 186 – rysunku poziomicowego rzeźby terenu w skali 1:25 000 i 108 – rysunku poziomicowego 1:150 000. Strefy te, predysponujące znaczną część dolin rzek i potoków podhalańskich (8), wykazują dość wyraźne uporządkowanie kierunków, szczególnie dobrze widoczne na rozetach azymutów stref nieciągłości (ryc. 2, 3). Wykonano takie rozety dla długości i liczby stref, osobno dla każdego z 3 rodzajów analizowanego obrazu powierzchni terenu (ryc. 2a–c) oraz osobno dla każdego z 3 wydzielonych obszarów:

- na zachód od Białego Dunajca (ryc. 3a),



Ryc. 1. Diagramy rozetowe przeciętnych długości stref nieciągłości o poszczególnych azymutach (w przedziałach  $5^\circ$ ) dla całej niecki podhalańskiej; a – interpretacja zdjęć lotniczych, b – poziomicowego rysunku rzeźby terenu w skali 1:25 000, c – poziomicowego rysunku rzeźby terenu 1:150 000, śrd. – średnia długość wszystkich stref nieciągłości wyinterpretowanych daną metodą (a, b, c)

Fig. 1. Rosette diagrams of average length of discontinuity zones in  $5^\circ$  azimuth intervals for the whole Podhale Basin. a – interpretation of air photos, b – interpretation of contour line image in scale of 1:25,000, c – interpretation of contour line image in scale of 1:150,000, śrd. – mean length of all discontinuity zones interpreted by the applied method (a, b, c)

- między Białym Dunajcem a Białką (ryc. 3b) oraz
- na wschód od Białki (ryc. 3c).

Z analizy rozet azymutów stref nieciągłości wynika, że na całym obszarze niecki Podhala (ryc. 3) wyróżnia rysują się 2 zespoły stref nieciągłości tektonicznych:

- NW–SE do NNW–SSE (140–170°) oraz
- NNE–SSW do NE–SW (30–40°).

Zespoły te krzyżują się ze sobą pod podobnymi kątami na zachodzie i wschodzie Podhala (50–70°), pod nieco zaś mniejszym kątem (40–50°) na obszarze między Białym Dunajcem a Białką. Ponadto na wszystkich analizowanych obszarach widoczny jest zespół stref nieciągłości o kierunku zbliżonym do N–S, przy czym jego udział wydaje się wzrastać ku wschodowi (ryc. 3a–c).

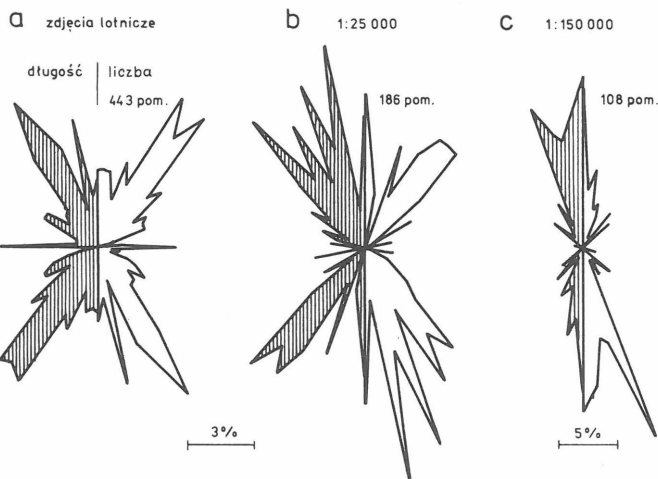
Zgodnie ze spostrzeżeniem S. Kibitlewskiego (2) z analizy 3 rodzajów obrazów powierzchni terenu uzyskano 3 odmienne rozety azymutów stref nieciągłości (ryc. 2), różniące się między sobą, lecz zawsze wykazujące pewne uporządkowanie rozkładu kierunków. Strefy nieciągłości tworzące zespoły 140–170° i 30–40° są czytelne zarówno na zdjęciach lotniczych (ryc. 2a), jak i w poziomicowym rysunku rzeźby terenu w skali 1:25 000 (ryc. 2b). Zespół 140–170° jest także dobrze czytelny w skali 1:150 000 (ryc. 2c), zespół zaś N–S na rysunku poziomicowym w obu stosowanych skalach (ryc. 2b, c). Zwraca uwagę duże podobieństwo kierunków nieciągłości uzyskanych z interpretacji poziomicowego rysunku rzeźby terenu w skali 1:25 000 (ryc. 2b) i zdjęć lotniczych (ryc. 2a), przy jednoczesnych znacznych różnicach względem interpretacji rysunku rzeźby terenu w skali 1:150 000 (ryc. 2c), choć jest on jedynie fotograficznym zmniejszeniem rysunku 1:25 000 i nie różni się od niego treścią. Można

więc sądzić, że większy wpływ na wynik interpretacji ma skala analizowanego obrazu niż jego rodzaj.

## INTERPRETACJA WYNIKÓW

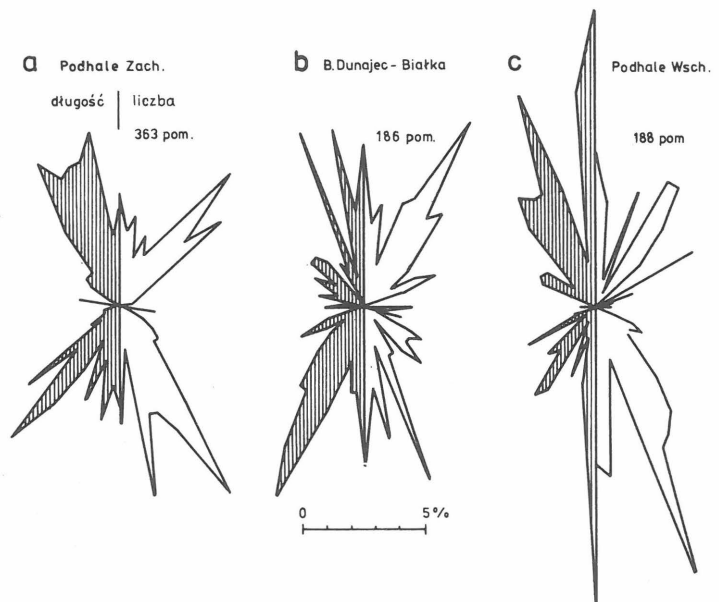
Przecinające się zespoły stref nieciągłości tektonicznych o azymutach 30–40° i 140–170° są zapewne związane z dwoma zespołami uskoków występującymi w podłożu fliszu (8). Przecinanie się uskoków na dużym obszarze pod stosunkowo stałymi kątami, różnymi od kąta prostego, może przemawiać za komplementarnym charakterem tych uskoków, zwłaszcza gdy jednocześnie występuje ich sprzężenie względem jakiegoś kierunku strukturalnego (1). W omawianym wypadku dwusieczne kątów ostrych między zespołami stref nieciągłości, wyznaczające kierunki maksymalnych naprężeń, są dla 3 analizowanych części Podhala praktycznie równoległe i zawierają się w przedziale azymutów 5–10°, czyli są zgodne z południkowym kierunkiem nacisków fałdowań karpackich.

Najpewniejszym kryterium komplementarności omawianych uskoków byłoby stwierdzenie ich przesuwczego charakteru przy konsekwentnie przeciwnym zwrocie względnego ruchu wzdłuż nich; występujące w podłożu uskoki przesuwcze powinny dawać na powierzchni efekty w postaci prostego przedłużenia uskoku wgłębnego, zbioru podrzędnych kulisowych uskoków pochodnych lub szeregu fałdów kulisowych o poziomych osiach (1). Takich efektów w sposób jednoznaczny nie stwierdzono, lecz ich brak nie musi negować przesuwczego charakteru uskoków wgłębnych, gdyż duża miąższość i znaczna podatność fliszu mogły uniemożliwiać przekazywanie ruchu przesuwczego wzdłuż uskoku wgłębnego na powierzchnię.



Ryc. 2. Diagramy rozetowe procentowego udziału stref nieciągłości o danym azymucie wśród wszystkich stref wyznaczonych na obszarze niecki podhalańskiej na podstawie: a – interpretacji zdjęć lotniczych, b – poziomicowego rysunku rzeźby terenu w skali 1:25 000, c – poziomicowego rysunku rzeźby terenu 1:150 000. Lewa strona diagramu = procentowy udział długości stref o danym azymucie w całkowitej długości wszystkich stref wyznaczonych daną metodą, prawa strona = procentowy udział ich liczby

Fig. 2. Rosette diagrams of percentage contents of discontinuity zones of azimuths amidst all the zones distinguished in the Podhale Basin on the basis of: a – interpretation of air photos, b – interpretation of contour line image in scale of 1:25,000, c – interpretation of contour line image in scale of 1:150,000. Left side of the diagram = percentage content of lengths of zones of given azimuth in total length of all the zones defined by the applied method, right side, – percentage content of their number



Ryc. 3. Diagramy rozetowe procentowego udziału stref nieciągłości o danym azymucie wśród wszystkich stref wyznaczonych łącznie trzema opisanymi metodami: a – na zachód od Białego Dunajca, b – między Białym Dunajcem a Białką, c – na wschód od Białego Dunajca. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 2

Fig. 3. Rosette diagrams of percentage content of discontinuity zones of given azimuth amidst all the zones defined in total by the three described methods: a – to the west of Bialy Dunajec, b – between Bialy Dunajec and Bialka, c – to the east of Bialy Dunajec. For other explanations see Fig. 2



Ryc. 4. Fragment mapy stref nieciągłości wyznaczonych na podstawie fotointerpretacji i analizy rzeźby terenu (W. Ozimkowski, 8, nieco uproszczone). Widoczne przemieszczanie w miejscach przecięć lub stykania się to jednego, to znów drugiego zespołu stref nieciągłości (1, 2), a także łukowate przechodzenie jednego zespołu w drugi (3)

Fig. 4. Fragment of a map of discontinuity zones distinguished on the basis of photographic interpretation and analysis of landforms (W. Ozimkowski, 8, slightly simplified). Note displacement in crossing zones or contact of one or the other system of discontinuity zones (1, 2) and also arch-like pass of one system into the other (3)

Jest też możliwe, że młodsze fazy ruchów wzdłuż omawianych uskoków nie miały charakteru przesuwczego, co doprowadziło do zatarcia przejawów ruchów wcześniejszych.

Za komplementarnym charakterem uskoków w podłożu stref nieciągłości przemawia również sposób przecinania się tych stref, sugerujący równowiekowość krzyżujących się zespołów, a także zaobserwowane w kilku wypadkach (ryc. 4) łukowate przechodzenie jednego zespołu w drugi (por. 1).

Jeżeli przecinające się zespoły stref nieciągłości o azymutach  $30-40^\circ$  i  $140-170^\circ$  są rzeczywiście związane z 2 zespołami uskoków tworzącymi w podłożu fliszu system ściąć komplementarnych, to zmiany kąta ostrego między tymi uskokami świadczą o zmianach stosunku naprężenia największego do najmniejszego i mogą być wyzyskane do określenia regionalnego zróżnicowania nacisków powodujących te naprężenia (3). Na obszarach o mniejszych wielkościach kąta ostrego między takimi zespołami stosunek naprężenia maksymalnego do minimalnego jest największy (4). W niecce podhalańskiej może to oznaczać, że fragment jej podłoża ograniczony obecnie dolinami Białego Dunajca i Białki był poddany silniejszemu południkowemu ścisnaniu niż obszary przylegające od wschodu i zachodu (8).

#### LITERATURA

1. Jaroszewski W. — Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. Geol. 1981.

2. Kibitlewski S. — Geological interpretation of selected remote sensing images of the Podhale Basin and neighbouring areas. Kwart. Geol. 1985 nr 1.
3. Mierzejewski M.P. — Rozwój i następstwo niektórych struktur w plutonie Karkonoszy. Mat. konf. teren. „Kryteria strukturalne w określaniu rozwoju granitoidów bloku karkonosko-izerskiego”. Inst. Geol. Uniw. Wrocław. 1973.
4. Muehberger W.R. — Conjugate joint sets of small dihedral angle. The Jour. of Geology Chicago 1961 vol. 69 no. 2.
5. O’Leary D.W., Friedman J.D., Phon H.A. — Lineament, Linear, Lineation: Some proposed new standards for old terms. Geol. Soc. Amer. Bull. Boulder 1976 vol. 87 no. 10.
6. Ostaficzuk S. — Badania młodych ruchów tektonicznych metodą zagęszczonych poziomic. Mat. symp. „Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce”. Wyd. Geol. 1975 t. 1.
7. Ostaficzuk S. — Lineamenty jako odwzorowanie zjawisk tektonicznych na tle wybranych przykładów z Polski. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW 1981 t. 29.
8. Ozimkowski W. — Geologia Podhala w ujęciu fotointerpretacyjnym. Pr. dokt., maszynopis. Arch. Wydz. Geol. UW 1985.

#### SUMMARY

Analysis of stereoscopic air photos and contour maps (ordinary as well as photographically reduced for enhancement of key features of landscape) resulted in a discovery of a lineament system in the Podhale Synclinorium. These lineaments correspond in the field with zones of increased density of minor faults, reflecting probably dislocations in a substrate of the Podhale flysch. In the whole area there are two diagonal assemblages of discontinuity zones that cross each other at sharp angles, and a single transversal assemblage that cuts a sharp angle between them into halves (it runs almost north-south) — Fig. 3. Diagonal assemblages correspond probably to complementary strike-slip faults in the flysch substrate, formed due to compression perpendicular to extent of Carpathian folds.

#### РЕЗЮМЕ

Анализ стереоскопических аэрофотосъемок и изогипсовых карт (обыкновенных и фотографически уменьшенных для выделения основных черт рельефа) привел к открытию сети линейментов на территории подгальского синклинория. Этим линейментам соответствуют зоны увеличенной густоты мелких сбросов, которые вероятно являются отображением дислокации в основании подгальского флиша. На этой территории можно выделить два диагональных комплекса зон дисъюнкции, пересекающихся под острым углом и один поперечный комплекс пересекающий пополам этот острый угол (приблизительно меридиональный) — рис. 3. Диагональные комплексы вероятно соответствуют комplementарным сдвигам в основании флиша, которые образовались под действием компрессии перпендикулярной к простирации карпатских складок.