

Strefy tektoniczne południowo-zachodniego Podhala

Radosław Wasiluk¹



Tectonic zones of southwestern Podhale. *Prz. Geol.*, 57: 64–67.

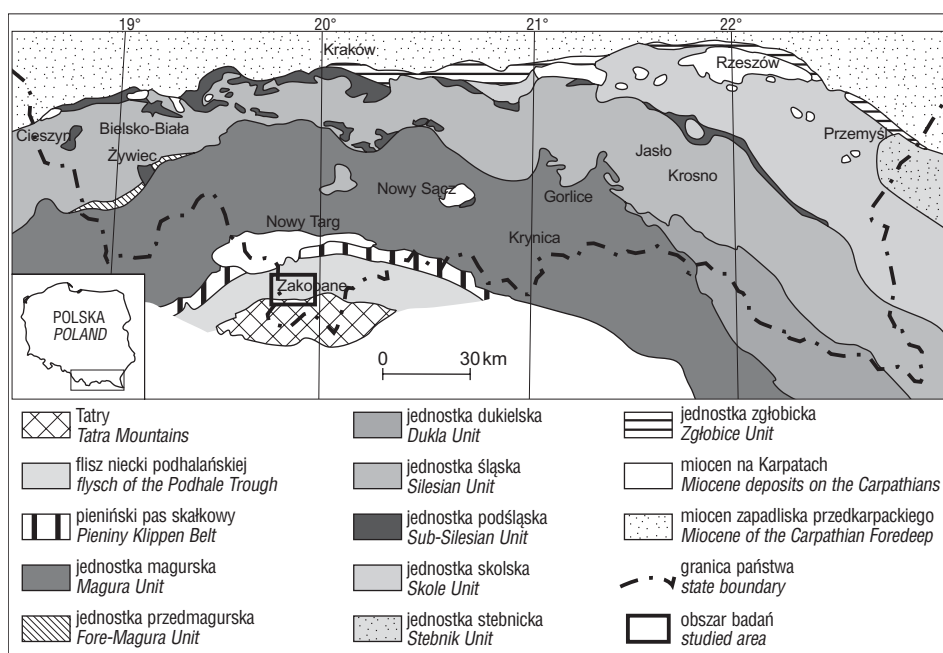
A b s t r a c t. Various structural observations were collected in southwestern Podhale Trough during investigations for Detailed map of Tatra Mts., scale 1 : 10 000. Fault surfaces, strikes and dips of beds and fold axes were measured in the field. Statistical analysis of results allow to recognize 5 groups of dislocations with variable types of movement, directions and age: 1) slickensides on W-E striking, almost horizontal bedding surfaces show reverse motion towards S, 2) steeply-dipping (80–90°) faults, striking parallel to bedding and also showing reverse motion towards S, 3) vertical transcurrent faults associated with main tectonic zones, striking almost N-S, 4) normal faults striking ca 38° (NE-SW) and 135° (NW-SE). Attitudes of beds different from regional trend were separated. Deviations are caused by flexural bending along tectonic zones. Anomalous attitudes of beds coincide with directions of dislocations recognized in the field. A map of lineaments in the study area is also presented. Analysis of landforms on Digital Terrain Model (DTM) led to recognition of series of lineaments related to either tectonic structures or lithology. Main transverse tectonic zones were identified on the map of lineaments: Chochołowski Potok-Czarny Dunajec, Kościeliski Potok, Mała Łąka; as well as some minor faults and zones where particular directions of faults predominate. Statistic analysis of directions of tectoliteaments allows to recognize 4 main directions: 1) about 90°, associated to thrusts and folds (parallel to strikes of beds), 2) N-S and slightly oblique directions associated to transcurrent zones, 3) approximately 40° and 4) 140° directions associated to normal faults. Results obtained using these 3 methods (analysis of field data, analysis of DTM, analysis of attitudes of beds different from regional trend) are consistent with each other.

Keywords: tectonics, lineaments, Podhale Trough, Digital Terrain Model

Opracowanie podhalańskich arkuszy *Szczegółowej mapy geologicznej Tatr w skali 1 : 10 000* (Witów, Kiry i Kościelisko — ryc. 1, 2) poprzedziły prace kartograficzne prowadzone w terenie. Rzeźbę terenu analizowano na nieco większym obszarze — Magury Witowskiej i Gubałówki. Zbadano przebieg lineamentów oraz zmierzono położenie warstw i struktur tektonicznych w 344 odsłonięciach.

Budowę geologiczną i tektoniką Podhala dotychczas zajmowali się m.in. Watycha (1959), Gołąb (1952, 1959), Mastella (1975), Mastella i in. (1988), Mastella i Mizerski (1977) oraz Mastella i Ozimkowski (1979). Cios analizowali m.in. Boretti-Onyszkiewicz (1968) i Ludwiniak (2006). Powstało wiele opracowań kartograficznych tego obszaru: Guzika i in. (1958), Watychy (1976, 1977), Bac-Moszaszwili i in. (1979), Kotańskiego i in. (1998), Piotrowskiej i in. (2007a, b) i Nescieruka i in. (2007). Geologią i tektoniką w ujęciu fotointerpretacyjnym i analizą rzeźby terenu zajmował się Ozimkowski (1980, 1987, 1991).

Utworki fliszu podhalańskiego na badanym obszarze to głównie łupkowe warstwy zakopiańskie dolne wraz z pakietem gruboławicowych piaskowców z Koziańca, łupkowo-drobnopiaskowcowe warstwy zakopiańskie górne oraz średnio- i grubopiaskowcowe warstwy chochołowskie (Gołąb, 1959).



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na tle mapy geologicznej polskich Karpat

Fig. 1. Location of the studied area on a geological map of the Polish Carpathians

Cel pracy, materiały i metody

Celem pracy było zebranie na terenie południowo-zachodniego Podhala nowych informacji oraz weryfikacja zgromadzonych danych geologicznych, kartograficznych i tektonicznych potrzebnych do opracowania *Szczegółowej mapy geologicznej Tatr w skali 1 : 10 000*. Zastosowano trzy metody analizy strukturalnej — dwie pośrednie (analiza lineamentów i niestandardowego położenia warstw) oraz bezpośrednią (pomiarów struktur tektonicznych w terenie). Badania te były poligonem doświadczalnym dla nowej metody analizy rzeźby terenu z zastosowaniem numerycznego modelu terenu, zwanego NMT.

Do opracowania rzeźby terenu wykorzystano NMT w układzie WGS84 (ryc. 2), utworzony na podstawie map

¹Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; radoslaw.wasiluk@pgi.gov.pl

topograficznych w skali 1 : 10 000 w układzie 1992 (teren Polski) i 1 : 25 000 (obszar Słowacji). Zestawienie materiałów o różnej dokładności spowodowało znaczne zmniejszenie czytelności rzeźby po stronie słowackiej w stosunku do polskiej. Dane wyjściowe w formacie TIN przetworzono w programie *ArcGis (ArcScene)* na *TinGrid*. Model w tej postaci poddano analizie w aplikacji *GlobalMapper*. Aby jak najdokładniej zinterpretować wyniki, zastosowano różne oświetlenie (azymuty oświetlenia co 45° oraz kąty padania promieni słonecznych 50–90°), wykonano również mapy nachylenia stoków. Na obszarze podhalańskim arkuszy Witów, Kiry i Kościelisko zostało sporządzone zdjęcie geologiczne w skali 1 : 10 000. Na podstawie wykonanych pomiarów położenia warstw i struktur tektonicznych oraz obrazu kartograficznego wyznaczono przebieg uskoków i stref dyslokacji oraz ich charakter. Statystycznie wyznaczono średnie lokalne położenie warstw, czyli standardowy bieg i upad. Wyseparowano niestandardowe położenie warstw (związane prawdopodobnie z zaburzeniami tektonicznymi) i sporządzono diagramy rozetowe.

Wyniki badań

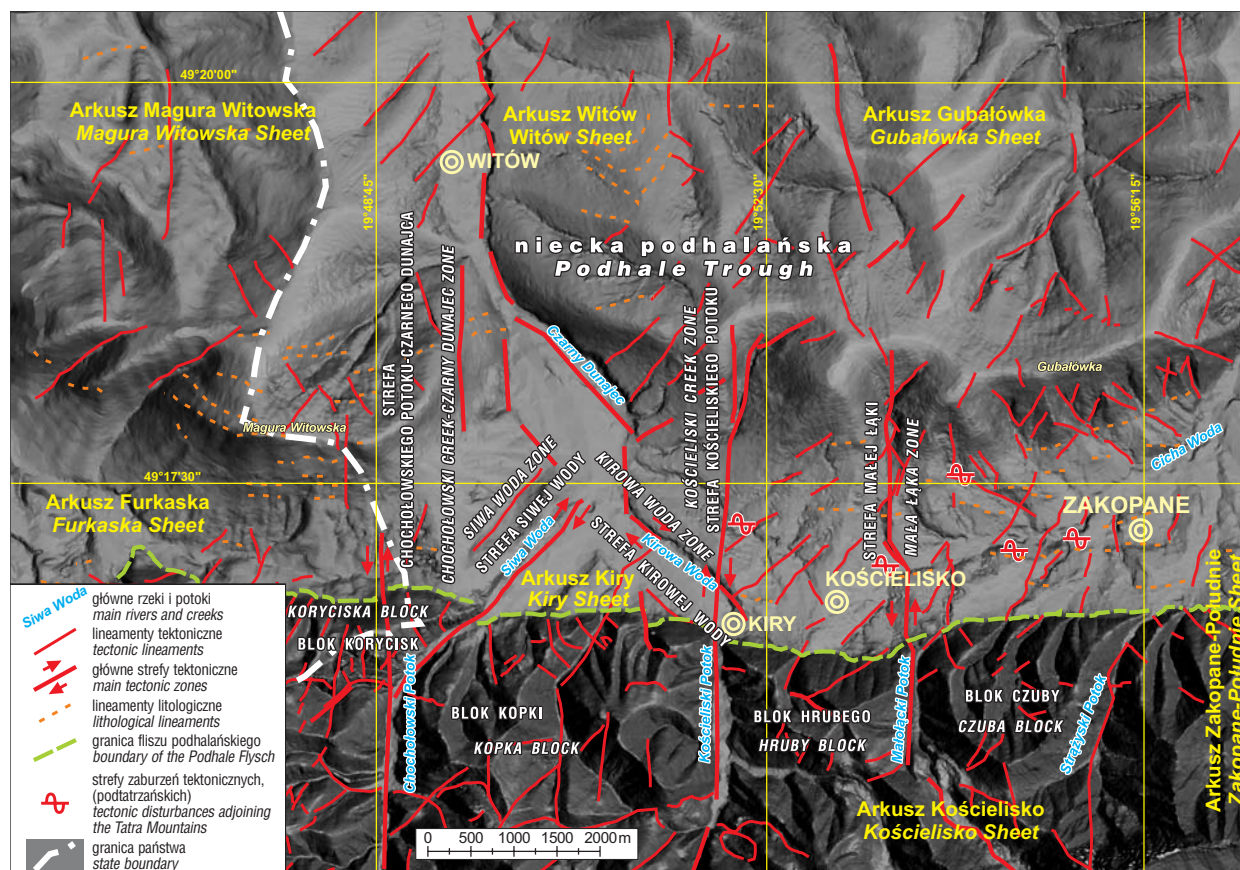
W wyniku interpretacji rzeźby terenu powstała mapa lineamentów, które powiązano bądź to z tektoniką, bądź z rozciągłością warstw (ryc. 2). Wyróżniono główne lineamenty, związane z strefami tektonicznymi tnącymi masyw Tatr i Podhale. Są to strefy o rozciągłości ok. N-S — poprzeczne do niecki podhalańskiej (Chochołowskiego Potoku-Czarnego Dunajca, Kościeliskiego Potoku, Małej Łąki) oraz skośne — NE-SW (Siwej Wody) i NW-SE (Kirowej Wody).

Część poprzecznych lineamentów, prawdopodobnie o genezie tektonicznej, była obserwowana i wyróżniana

przez wcześniejszych badaczy: Gołąb (1952) zakładał, iż strefa Czarnego Dunajca ma podłoże tektoniczne. Również Mastella i Mizerski (1977) wyróżniali tę strefę oraz poprzeczną strefę dyslokacyjną Małej Łąki. Istnienie wielu poprzecznych stref tnących całe Podhale i przedłużających się w obrębie pienińskiego pasa skałkowego i Tatr wzdłuż głównych rzek i potoków na wschodnim Podhalu wykazali Mastella (1975) oraz Mastella i Ozimkowski (1979). Wiele lineamentów wyznaczonych przez autora na podstawie analizy NMT jest zbieżnych z wynikami szczegółowych badań fotointerpretacyjnych Ozimkowskiego (1987, 1991) prowadzonych metodami analizy zdjęć lotniczych, map topograficznych, obrazów satelitarnych i metodą zagęszczonych poziomicy. Głównym strefom dyslokacyjnym towarzyszą lineamenty opierające (najprawdopodobniej związane z uskokami opierającymi). Strefy przewodnie dzielą masyw Tatr na bloki (Korycisk, Kopki, Hrubego, Czuby) wyraźnie przemieszczone względem siebie (ryc. 2). Niektóre tektoliteamenty obrzeżają przypuszczalne strefy osuwiskowe, wiąże się to prawdopodobnie z rozwojem krawędzi osuwisk konsekwentnych wzdłuż stref zluźnień tektonicznych (Rychel & Wasiluk, 2008).

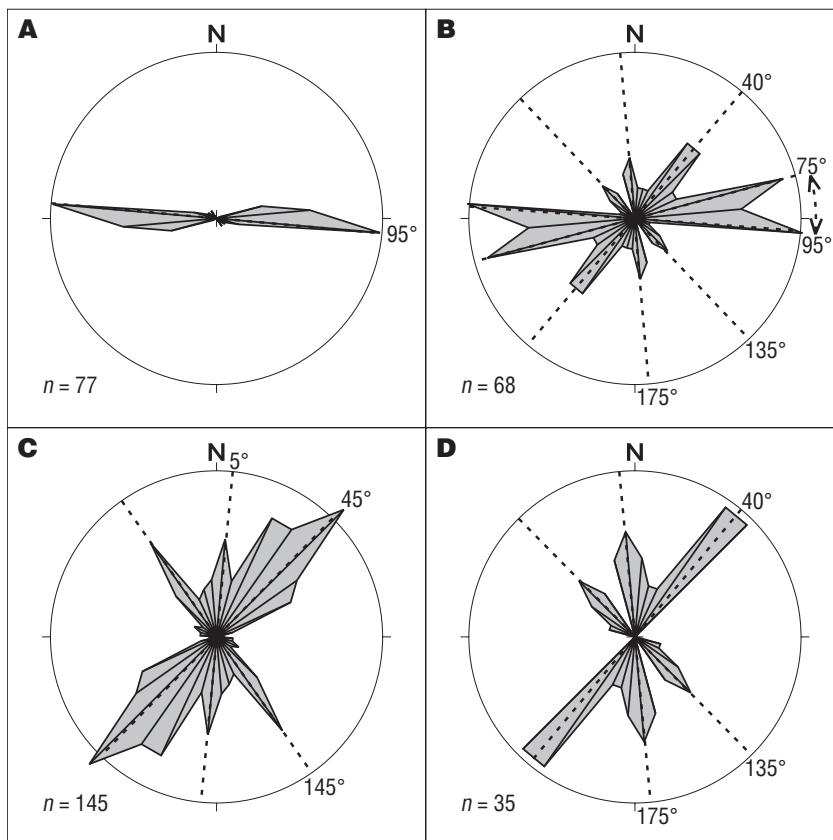
Sporządzono diagramy azymutów przebiegu lineamentów z rozbiem na tekto- i litoliteamenty. Wyróżniono jeden główny kierunek związany z przebiegiem warstw — 95° (ryc. 3A, B) oraz trzy dominujące kierunki morfostruktur tektonicznych: 5°, 45° i 145° (ryc. 3C). Wyniki są zbieżne z rezultatami uzyskanymi na tym terenie przez Ozimkowskiego (1987, 1991) oraz Mastellę i Mizerskiego (1977).

Analizie poddano również dane terenowe: pomiary położenia warstw, powierzchni uskoków i stref nieciągłości. Według mapy lineamentów na zachód od Czarnego Dunajca (w rejonie Magury Witowskiej) wyraźnie zaznaczają się dyslokacje o kierunkach NW-SE, w odróżnieniu od reszty



Ryc. 2. Mapa lineamentów zachodniego Podhala i Tatr na podstawie numerycznego modelu terenu (WGS84)

Fig. 2. Map of lineaments interpreted from Digital Terrain Model (WGS84) of western Podhale Trough and Tatra Mountains



Ryc. 3. Diagramy rozetowe: **A** — lineamentów związanych z przebiegiem warstw na Podhalu na zachód od Zakopanego; **B** — położenia warstw o parametrach niestandardowych — warstwy o biegach w przedziałach 0–50° i 120–180° oraz warstwy o upadach większych od 45°; **C** — tektolineamentów na Podhalu na zachód od Zakopanego; **D** — położenia warstw o parametrach niestandardowych — tylko biegi niezgodne z rozciągłością niecki podhalańskiej

Fig. 3. Rose diagram of: **A** — lineaments of beds of Podhale Trough west from Zakopane; **B** — attitudes of beds variable from standard measurements (regional trend) — strikes 0–50° and 120–180°, and dips more than 45°; **C** — tectonic lineaments of Podhale Trough west from Zakopane; **D** — attitudes of beds variable from standard measurements (regional trend) — only strikes of beds non-parallel to Podhale Trough striking

terenu badań, gdzie dominującym kierunkiem jest NE-SW. Wskazuje to na zmiany lokalnego pola naprężeń. Na podstawie pomiarów terenowych wykonano diagramy położenia warstw fliszu, w których wyniku uzyskano dominantę o wartościach 83°/23° N (ryc. 4). Kierunek ten jest zgodny z rozciągłością niecki podhalańskiej.

Aby ustalić kierunki zaburzeń tektonicznych, wyseparowano warstwy o parametrach niestandardowych — o biegach w przedziałach 0–50° i 120–180° oraz o upadach większych niż 45° (ryc. 3B). Uzyskano cztery główne azymuty wypadkowe biegów warstw: 40°; 135°; 175° oraz przedział 75–95°. W przedziale 75–95° zawierają się warstwy o stromych upadach, zaburzone tektonicznie — sfałdowane i nasunięte ku południowi — zaliczane do strefy zaburzeń podtatrzańskich (ryc. 2) (Mastella & Ozimkowski, 1979). Strefa ta na badanym terenie przebiega we fliszu podhalańskim wzdłuż granicy Tatr — ok. 0,5–1,6 km, średnio 650 m od regli. Powstała na skutek kompensacji tektonicznej podczas blokowego, rotacyjnego wynoszenia Tatr i jednoczesnego wyginania fliszu niecki podhalańskiej na kontakcie z Tatrami (Mastella & Ozimkowski, 1979). Strefa jest rozwinięta w utworach łupkowych warstw zakopiańskich. Zaburzenia tektoniczne zaznaczają się silnie w otoczeniu pakietu gruboławicowych piaskowców (piaskowce z Koziańca). Pozostałe niestandardowe położenia warstw pokrywają się z azymutami tektolineamentów (ryc. 3C, D). Niewielkie,

ok. 10-stopniowe przesunięcie w lewo biegu warstw względem morfostruktur może być spowodowane lewoskrętnością stref uskokowych. Działanie lewoskrętnej pary sił spowodowało powstanie ugięcia — fleksury przyuskokowej, co skutkuje lekko skośnym (opierającym) położeniem warstw.

Na podstawie diagramów położenia powierzchni uskokowych i obserwacji terenowych dyslokacje podzielono na 5 grup (ryc. 5):

1) Uskoki nasuwczcze manifestujące się występowaniem luster na powierzchni uławicenia (Mastella, 1975; Mastella & Mizerski, 1977), związane z posuwem fałdowym wynikającym z wyginania niecki podhalańskiej.

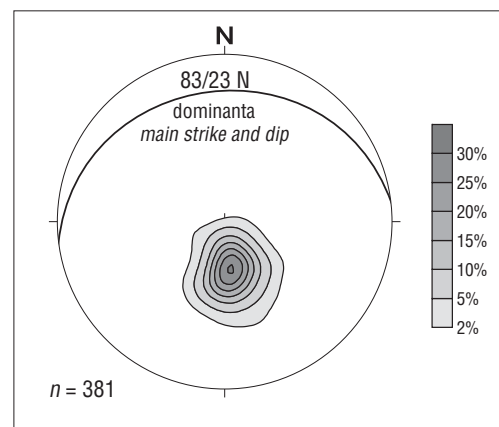
2) Strome uskoki nasuwczcze, głównie w strefie zaburzeń podtatrzańskich, związane z kumulacją naprężeń podczas wyginania niecki podhalańskiej; biegi równoległe do warstw, strome upady (80–90°). Lustra tektoniczne związane z tymi dyslokacjami wskazują na transport tektoniczny z północy.

3) Pionowe uskoki przesuwczcze i przesuwczo-zrzutowe, powstałe w co najmniej dwóch etapach ruchów, związane z głównymi strefami tektonicznymi o rozciągłości w przybliżeniu N-S. Założone najprawdopodobniej w podłożu niecki podhalańskiej (Mastella, 1975), tną też Tatry; przypuszczalnie najstarsze i działające do dziś. W większości są otoczone dyslokacjami opierającymi o średnich azymutach 155°, co wskazuje na lewoskrętny charakter głównych dyslokacji (patrz strefa Małej Łąki — ryc. 2).

4) Uskoki normalne o azymutach średnich 38° i upadach 60–80°.

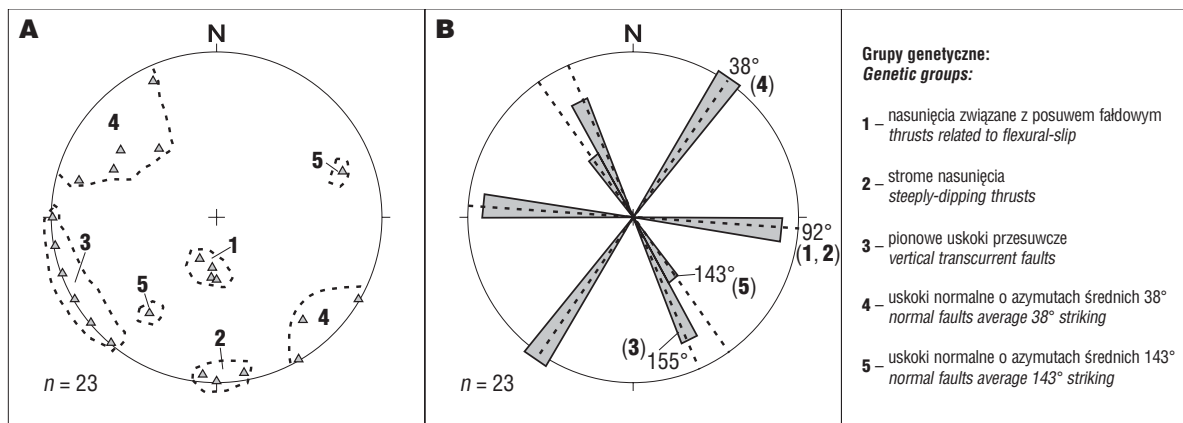
5) Uskoki normalne o azymutach średnich 143° i upadach 60–65°.

Uskoki z grupy **4** i **5** tworzą zespół diagonalny o kącie dwusiecznym wynoszącym ok. 75°, którego dwusieczna wyznacza kierunek 0°. Uskoki te mają kierunki zbieżne z ciosem diagonalnym na Podhalu, prawdopodobnie wykorzystują więc strefy spękań ciosowych (Mastella, 1975;



Ryc. 4. Diagram konturowy położenia warstw fliszu podhalańskiego na zachód od Zakopanego

Fig. 4. Contour diagram of attitudes of beds of Podhale Trough west from Zakopane



Ryc. 5. Podział dyslokacji na 5 grup genetycznych na podstawie (A) diagramu punktowego powierzchni uskokowych zmierzonych w terenie i (B) diagramu rozetowego średnich wartości biegnów powierzchni uskokowych pomierzonych w terenie
Fig. 5. Division dislocation into 5 genetic groups on the basis of (A) points diagram of fault surfaces measured in field and (B) rose diagram of average strikes of fault surfaces measured in field

Ludwiniak, 2006). Są to najmłodsze uskoki powstałe w czasie relaksacji naprężeń po uformowaniu synklinorium podhalańskiego. Zespół tych dyslokacji był założony równocześnie pod wpływem nacisków z kierunku N-S. Statystycznie częściej jednak ujawnia się system 4 (ryc. 2, 3C, D, 5B), co jest spowodowane późniejszym działaniem lewoskrętnej pary sił — rotacją bloku Tatr i całych Karpat wewnętrznych ku wschodowi (Mastella, 1975) Z badań autora wynika, że lewoskrętna składowa przesuwca manifestuje się w Karpatach zewnętrznych, m.in. poprzez sigmoidalne wygięcie jednostek tektonicznych: skolskiej w rejonie Przemyśla czy śląskiej w okolicach Krosna (Wasiluk, 2008a, b). Potwierdzają to również obserwacje dyslokacji z grupy 2 w strefie zaburzeń podtatrzańskich. Występują tam, poza nasunięciami z północy i fałdowaniami, sigmoidalne skrećenia warstw (fleksury) wywołane lewoskrętną parą sił. Zaobserwowano dużą miąższość gruboklastycznych osadów eocenu oraz dużą ilość piaszczystych wkładek w warstwach zakopiańskich na przedłużeniu strefy Małej Łąki. Wiąże się to prawdopodobnie z predeceńskim pochodzeniem dyslokacji i jej działaniem w czasie osadzania się utworów fliszowych. Dyslokacje przesuwcze 3 grupy są prawdopodobnie najstarszymi i najdłuższymi działającymi strefami na Podhalu. Odzwierciedlają one uskoki dzielące na bloki podłoże fliszowe (Mastella, 1975; Ozimkowski, 1991).

Wnioski

Zgodność ze sobą azymutów struktur tektonicznych wyznaczonych trzema sposobami (analiza pomiarów terenowych, modelu numerycznego terenu i niestandardowego położenia warstw) wskazuje na komplementarność tych metod (ryc. 3C, D, 5B).

Na Podhalu wyróżniono cztery kierunki tektoniczne:

□ Około 90°, związany z nasunięciami i fałdowaniami (zgodny z rozciągłością warstw).

□ N-S (0°) i kierunki lekko skośne do 0° (opierające) — 5° i 175°, związane ze strefami przesuwczymi.

□ Około 40° i 140°, orientacja związana z uskoki normalnymi zrzutowymi. Kierunek 40° jest statystycznie częstszy, co potwierdzają wszystkie metody.

Widoczna jest różnica w budowie poszczególnych bloków Podhala porozdzielanych poprzecznymi strefami tektonicznymi. Wyraża się ona w statystycznym rozkładzie dominujących kierunków dyslokacji.

Literatura

- BAC-MOSZASZWILI M., BURCHARDT J., GŁĄZEK J., IWANOW A., JAROSZEWSKI W., KOTAŃSKI Z., LEFELD J., MASTELLA L., OZIMKOWSKI W., RONIEWICZ P., SKUPIŃSKI A. & WESTWALEWICZ-MOGILSKA E. 1979 — Mapa geologiczna Tatr Polskich, 1 : 30 000. Wyd. Geol. Warszawa.
- BORETTI-ONYSZKIEWICZ W. 1968 — Cios we fliszu zachodniego Podhala. *Acta Geol. Pol.*, 18, 1: 101–152.
- GOŁĄB J. 1952 — Tektonika Podhala. *Geol. Biul. Inf.*, 1: 12–13.
- GOŁĄB J. 1959 — Zarys stosunków geologicznych fliszu zachodniego Podhala. *Biul. Inst. Geol.*, 149: 225–237.
- GUZIK K., GUZIK S. & SOKOŁOWSKI A. 1958 — Mapa geologiczna Tatr Polskich, 1 : 10 000. Ark. A2 Hruby Regiel. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOTAŃSKI Z., PIOTROWSKA K. & PIOTROWSKI J. 1999 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1 : 50 000. Ark. Tatr Zachodnie, Tatr Wysokie. PIG, Warszawa.
- LUDWINIAK M. 2006 — Geometria i geneza sieci spękań ciosowych we fliszu Zachodniego Podhala. *Arch. IGP UW, Warszawa.*
- MASTELLA L. 1975 — Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 45, 3-4: 361–401.
- MASTELLA L. & MIZERSKI W. 1977 — Uwagi o budowie geologicznej SW części Podhala. *Prz. Geol.*, 25, 10: 494–499.
- MASTELLA L. & OZIMKOWSKI W. 1979 — Budowa tektoniczna południowo-wschodniej części Podhala. *Prz. Geol.*, 27, 7: 387–393.
- MASTELLA L., OZIMKOWSKI W. & SZCZĘSNY R. 1988 — Tektonika północno-zachodniej części fliszu podhalańskiego. *Prz. Geol.*, 36: 566–572.
- NEŚCIERUK P., GAŹDZICKA E., MARCINIEC P., WASILUK R. & ZIMNAL Z. 2007 — Szczegółowa mapa geologiczna Tatr, 1 : 10 000. Ark. Witów. PIG, Warszawa.
- OZIMKOWSKI W. 1980 — Fotointerpretacja trudno czytelnych obszarów fliszowych na przykładzie Podhala. *Pr. Nauk. UŚI*, 342: 20–24.
- OZIMKOWSKI W. 1987 — Tektonika nieciągła niecki podhalańskiej na podstawie fotointerpretacji i analizy rzeźby terenu. *Prz. Geol.*, 35: 518–520.
- OZIMKOWSKI W. 1991 — Geologia fliszu podhalańskiego w ujęciu fotointerpretacyjnym. *Biul. Geol. UW*, 32: 93–119.
- PIOTROWSKA K., BAC-MOSZASZWILI M., GAŹDZICKA E., IWANOW A., MARCINIEC P., NEŚCIERUK P., WASILUK R. & ZIMNAL Z. 2007a — Szczegółowa mapa geologiczna Tatr, 1 : 10 000. Ark. Kiry. PIG, Warszawa.
- PIOTROWSKA K., BAC-MOSZASZWILI M., GAŹDZICKA E., IWANOW A., MARCINIEC P., NEŚCIERUK P., WASILUK R. & ZIMNAL Z. 2007b — Szczegółowa mapa geologiczna Tatr, 1 : 10 000. Ark. Kościelisko. PIG, Warszawa.
- RYCHEL J. & WASILUK R. 2008 — Zastosowanie Modeli Cyfrowych Terenu w tworzeniu map geologicznych na przykładzie Tatr i Podhala na zachód od Zakopanego. [W:] XV Konf. Stratygrafia Plejstocenu Polski, Zakopane, 1–5.09.2008. PIG, Warszawa: 125–130.
- WASILUK R. 2008a — Strefy tektoniczne na styku Tatr polskich i fliszu podhalańskiego na zachód od Zakopanego. [W:] Tatrzańskie mapy geologiczne, Zakopane, 27–29.05.2008. Mat. konf. PIG, Warszawa: 99–103.
- WASILUK R. 2008b — Analiza spękań w wybranych odsłonięciach na obszarze sigmoidy przemyskiej — Karpaty Żew. [W:] I Polski Kongres Geologiczny, Kraków 26–28.06.2008. Abstrakty. PTG, Kraków: 127.
- WATYCHA L. 1959 — Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. *Prz. Geol.*, 7, 8: 350–356.
- WATYCHA L. 1976 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1 : 50 000. Ark. Czarny Dunajec (1048). Wyd. Geol., Warszawa.
- WATYCHA L. 1977 — Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski, 1 : 50 000. Ark. Czarny Dunajec. Wyd. Geol., Warszawa.