

Odwzorowanie powierzchni ciosowych piaskowców fliszu podhalańskiego w badaniach wytrzymałościowych z wybranych odsłoneń niecki podhalańskiej

Andrzej Domonik*

Representation of joint surfaces of the Podhale Flysch sandstone in research on strength in selected exposures of the Podhale Basin. Prz. Geol., 51: 430–435.

Summary. Due to its simple geology, the Podhale Flysch rocks that occur almost horizontally in the central zone of the Podhale Basin are a good material for research on the paleostress impact on the current state of the rock matter by means of geomechanical methods. Effect of these historical stresses is "encoded" in rock and manifests itself, e.g., in the shortened time of movement of longitudinal and transverse waves along the directions corresponding to the directions of the joints. This anisotropy also reveals itself during strength testing, byof cracking along certain directions predisposed by the rock material. The orientations of such surfaces can be correlated with the orientations of joints as well as with the results of geomechanical studies.

Key words: joints, palaeostress, anisotropy, geomechanics, strength

Celem tej pracy jest próba wykazania związku pomiędzy spękaniami ciosowymi wykształconymi w utworach fliszowych Podhala a wynikami badań geomechanicznych.

Praca jest zainspirowana częściowo opracowaniami Boretti-Onyszkiewicz (1968a, b) dotyczącymi anizotropii ciosowej oraz pracami m.in.: Książkiewicza (1972), Mastelli (1972), Mastelli i in. (1996) poświęconymi tektonice oraz spękaniom ciosowym we fliszu podhalańskim.

Spękania ciosowe to występujące seryjnie, penetratywne spękania systematyczne, przecinające pojedyncze ławice bez przemieszczeń, lub z niewielką tendencją do ruchu przesuwczego, prostopadłe do uławicenia w odstępach w przybliżeniu równych miąższości przecinanej ławicy (Mastella, 1972; Jaroszewski, 1972; Dadlez & Jaroszewski, 1994; Dune & Hancock, 1994). Spękania ciosowe są jednymi z najpowszechniej występujących struktur tektonicznych na Podhalu.

Zarys budowy geologicznej

Paleogeńska niecka podhalańska, tworzy rozległą synklinę, której południowe skrzydło opiera się o Tatry, północne zaś graniczy z pienińskim pasem skałkowym (ryc. 1A). Kontakt niecki podhalańskiej z Tatrami jest sedymentacyjny a z pienińskim pasem skałkowym tektoniczny (Książkiewicz, 1972). Nieckę podhalańską wypełniają starsze osady eocenu numulitowego oraz zalegającego na nim sedymentacyjnie młodszego fliszu podhalańskiego (Watycha, 1977a, b; Książkiewicz, 1972; Stupnicka, 1997; ryc. 1B). Flisz podhalański rozdziela się na kompleksy litostratygraficzne ze względu na zmienność procentowego udziału ławic łupków i piaskowców (Gołąb, 1959; Watycha, 1968). Na tej podstawie wyróżniono kompleksy skalne: warstwy szafarskie, warstwy zakopiańskie, warstwy chochołowskie oraz warstwy ostryskie.

Obszar badań obejmuje odsłoneń warstw zakopiańskich i chochołowskich w środkowej i zachodniej części niecki podhalańskiej (ryc. 1A).

Metodyka

Spękania ciosowe obserwowano w pojedynczych dużych odsłoneń rozmieszczonych w dnach potoków (ryc. 1A). Pomiary wykonywano z dokładnością do $\pm 2^\circ$. W każdym z odsłoneń zmierzono co najmniej 100

powierzchni spękań ciosowych. Analizę spękań przeprowadzono stosując ogólne zasady dotyczące opracowań statystycznych ciosu (Mastella i in., 1996).

Przyjęto grawitacyjno-odprężeniową, przedfałdową w fazie początkowej, genezę większości zespołów ciosowych (Price, 1959, 1966; Książkiewicz, 1968; Jaroszewski, 1972).

Ponadto założono istnienie (za Boretti-Onyszkiewicz, 1968a) ukrytych, „zapamiętanych” przez skałę powierzchni ułatwionego podziału, nie związanych z oddzielnością warstwową czy laminarną lecz ze stanem naprężeń w obrębie całego masywu.

Z tych samych odsłoneń pobrano zorientowane monolity do laboratoryjnych badań wytrzymałościowych. Monolity stanowiły bloki o wymiarach w przybliżeniu 30 x 20 x 15 cm, tak, aby możliwe było wycięcie co najmniej 3 próbek z jednego fragmentu skalnego. Próbkę wycięto w kierunkach odpowiadających głównym kierunkom naprężeń w polu trójosiowym $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ (w tym wypadku to także osie cylindrycznych próbek, ryc. 3), przy założeniu ścięciowej genezy spękań S_R i S_L (Dunne & Hancock, 1994; Mastella & Zuchiewicz, 2000). Oś największego naprężenia σ_1 została wyznaczona z dwusiecznej kąta ostrego pomiędzy zespołami S_R i S_L . Osie naprężeń σ_1 i σ_3 to w monolicie składowe poziome, prostopadłe do siebie. σ_2 reprezentuje składową pionową (ryc. 3).

Ostatecznie otrzymano 26 próbek cylindrycznych, zorientowanych względem regionalnego układu sieci spękań ciosowych oraz spągu i stropu warstw.

Badania ultradźwiękowe przeprowadzono przy użyciu defektoskopu UMT 11 firmy Unipan, z oprogramowaniem Ultramet przy użyciu głowic nadawczo-odbiorczych o częstotliwości 2 MHz.

Badania wytrzymałości przeprowadzono w warunkach ściskania jednoosiowego w prasie sztywnej MTS 815, zgodnie z procedurą stosowaną w badaniach właściwości i odkształcalności skał (Pinińska, 1994, 1995, 2000) oraz zgodnie z normą PN-84/B-04110.

Podczas badań obserwowano kierunki spękań inicjalnych w pierwszych etapach deformacji.

Charakterystyka spękań ciosowych

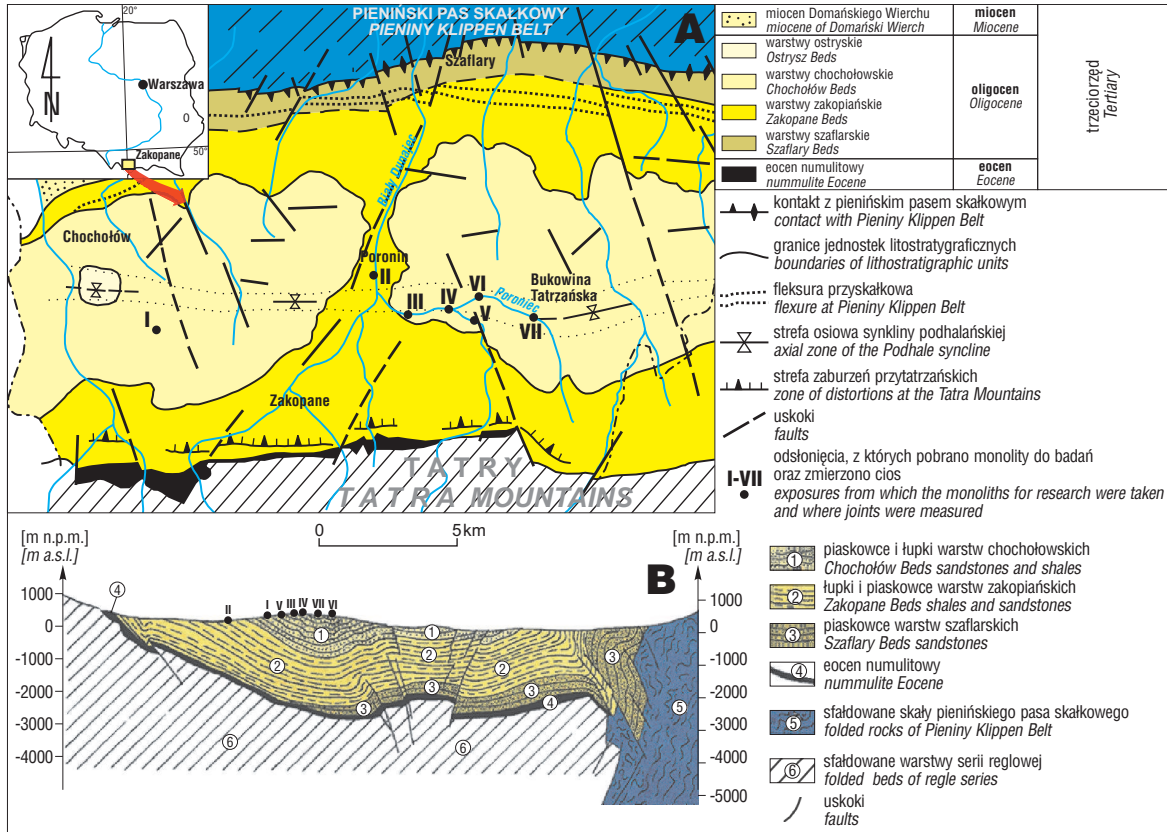
W jednym odsłoneń rejestruje się zwykle trzy lub cztery zespoły ciosowe. Zdarza się, że w ławicy ujawnione są wyraźnie tylko dwa zespoły ciosowe. Zespoły ciosowe wykazują dużą stałość orientacji biegów. Dwa z nich ozna-

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; adomonik@uw.edu.pl

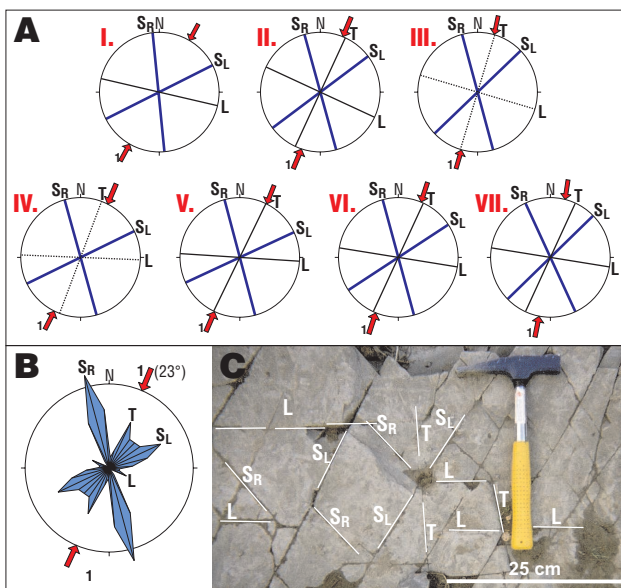
czony jako (S_R i S_L) są skośne do osi fałdów w których występują, zespół T jest niemal prostopadły do osi tych struktur, zespół L zaś jest w różnym stopniu równoległy do nich.

System skośny (zespoły S_R i S_L). Najczęściej obserwowanymi zespołami są zespoły S_R i S_L . Zespół S_R o zakresie biegów 150° – 180° z dominantą 170° i jest najczęściej występującym zespołem ciosu (ryc. 2A–C). Zespół S_L o zakresie biegów 55° – 85° z dominantą 65° jest słabiej wykształcony. Około 20% pomierzonych sphaekn tego

zespołu ma zmineralizowane powierzchnie. Obecne teŝ są lustra tektoniczne i rysy ŝlizgowe. Powierzchnie sphaekn obu zespołów są nierówne, mają się do siebie jak forma — odlew. Na powierzchniach sphaekn częste są struktury piezyczne, niekiedy na powierzchniach ławic widoczne są sphaekna kulisowe, które kontynuują się na powierzchni sphaekna ciosowego w postaci struktur rąbkowych. Takie struktury są efektem odspojenia wzdłuż szeregu kulisowego (Mastella & Konon, 2002), który zapoczątkowany



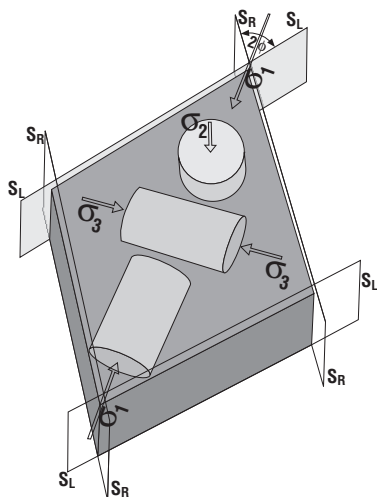
Ryc. 1. A — mapa zasięgu wydzieleni litostratygicznych niecki podhalańskiej z elementami tektoniki (za Mastellą, 2001, zmodyfikowana), **B** — przekrój geologiczny (uproszczony) przez niekę podhalańską (za Mastellą, 2001)
Fig. 1. A — lithostratigraphic map of Podhale Basin with tectonic elements (after Mastella, 2001, modified), **B** — geological cross-section through Podhale Basin (simplified, after Mastella, 2001)



Ryc. 2. A — diagramy przedstawiające połoŝenie dominant zespołów ciosu. Kolor niebieski odpowiada zespołom ciosu diagonalnego (S_R i S_L), kolorem czarnym oznaczono zespoły (T i L). Linia przerywaną zaznaczono słabo uwiadczniające się zespoły naprężenia, czerwone strzałki — kierunki osi maksymalnego naprężenia, **B** — diagram sumaryczny orientacji zespołów sphaekn ciosowych z zaznaczeniem kierunku kompresji (σ_1) i wartości podwójnego kąta ŝcinania (2Φ), **C** — sphaekna ciosowe w płycie piaskowca w rejonie Poronina (potok Poroniec)
Fig. 2. A — diagrams showing orientation of joint sets (dominants). Blue colour indicates the conjugate diagonal system (S_R i S_L) and the black one indicates other joint sets (T and L). Broken line indicates barely recognizable joint sets, red arrows indicate orientation of maximum stress axis (σ_1), **B** — cumulative up diagram of the orientation of joint sets with the orientation of maximum stress axis (σ_1) and the value of the shear angle (2Φ), **C** — joints in a sandstone bed in the Poronin region (Poroniec Stream)

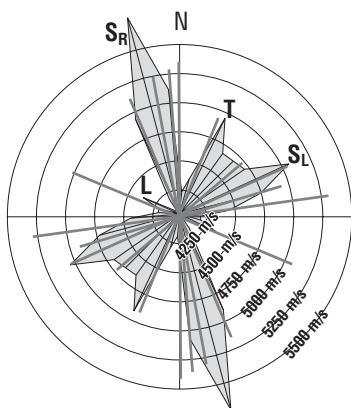
został przez ścienia riedlowskie (termin wg Riedela, 1929; Bartletta i in., 1981). Spękania kulisowe oraz rąbki tektoniczne wskazują na tendencję do ruchu przesuwczego prawo- (zespół S_R) lub lewoskrętnego (zespół S_L) (Mastella & Konon, 2002). Spękania zespołu S_R często kończą się na spękaniach zespołu S_L i odwrotnie. Często jest także zjawisko przechodzenia jednego zespołu w drugi. Wszystko to wskazuje na to, że oba zespoły są sprzężone i powstawały jednocześnie (Jaroszewski, 1972).

Kąt ostry pomiędzy dwoma zespołami jest nazywany podwójnym kątem ścinania (2Φ), a dwusieczna tego kąta wyznacza położenie osi maksymalnego naprężenia σ_1 (Bucher, 1920, 1921; Ramsay & Huber, 1987) i ma w przybliżeniu stały kierunek. Jego średnia orientacja wynosi 23° (ryc. 2B).



Ryc. 3. Rycina przedstawia sposób wycięcia próbek z monolitu skalnego. Osie naprężeń (σ_1 , σ_2 , σ_3) są równoległe do tworzącej cylindrycznych próbek, a prostopadłe względem siebie. S_R i S_L — powierzchnie ciosowe systemu ścięciowego, 2Φ — podwójny kąt ścięcia

Fig. 3. Figure shows the way of cutting out samples of rock monolith specimen. Stress axes (σ_1 , σ_2 , σ_3) are parallel to the regulus of cylindrical form specimens and perpendicular to each other. S_R and S_L — surfaces of shear system, 2Φ — double value of the shear angle



Ryc. 4. Diagram sumaryczny orientacji zespołów spękań ciosowych oraz diagram przedstawiający rozkład prędkości fali podłużnej (V_p) w zależności od kierunku pomiaru. Linie oznaczają wartości prędkości fali podłużnej (V_p)

Fig. 4. Summed up diagram of the orientation of joint sets and diagram showing distribution the speed of longitudinal wave (V_p) depending on directions of measurement. Lines indicates values of the speed of longitudinal wave (V_p)

Zespoły T i L. Zespół T. Spękania tego zespołu o orientacji 25° – 35° z dominantą 25° (ryc. 2A–C) występują z małą częstotliwością, a w odsłonięciu I (Ciche — Podhale Zachodnie) praktycznie nie występują. Spękania tego zespołu przecinają, nie zmieniając swego kierunku, system diagonalny (zespoły S_R i S_L). Najczęściej są to szerokie, nieregularne szczeliny, niekiedy wypełnione kalcytem (wypełnienia wynoszą od kilku do kilkunastu procent). Na nie zmineralizowanych powierzchniach tych spękań licznie występują struktury pierzaste o osi równoległej do kierunku upadu warstw. Na zmineralizowanych powierzchniach spękań są widoczne gdzieś rysy ślizgowe zgodne z kierunkiem biegu spękań.

Zespół L. Spękania tego zespołu mają orientację 95° – 120° z dominantą 115° (ryc. 2A–C). Spękania o tym kierunku spotyka się rzadziej i nie w każdym odsłonięciu są one jednakowo widoczne. Przeważnie są prostopadłe do powierzchni ławic i mają ten sam bieg co przeciętny bieg warstw na określonym odcinku terenu. Najczęściej są to otwarte, szerokie szczeliny o nieregularnych powierzchniach, przecinające niezależnie wszystkie inne zespoły spękań. Powierzchnie spękań zespołu L są sporadycznie zmineralizowane, struktury pierzaste są nieliczne.

Badania ultradźwiękowe

Badania ultradźwiękowe przeprowadzono na próbkach zorientowanych (ryc. 3) w kierunkach zgodnych z głównymi kierunkami spękań ciosowych (S_R , S_L , T i L) oraz dodatkowo w kierunkach N–S i W–E.

Prędkość fali podłużnej (V_p), wzdłuż kierunków równoległych do kierunków spękań ciosowych, zmienia się w przedziale od 4140 m/s do 5340 m/s (ryc. 4). Średnia wartość prędkości propagacji fali podłużnej wynosi 4732 m/s. Natomiast prędkość fali podłużnej (V_p) w kierunkach innych niż kierunki spękań ciosowych przedstawia się następująco: wartość minimalna 4114 m/s, wartość średnia 4529 m/s, wartość zaś maksymalna to 4824 m/s.

Różnice w wielkościach przedziałów określonych przez przyjmowane wartości (V_p) wskazują na istnienie

Nr próbki No. of sample	Rc [MPa]	Orientacja próbek Orientation of sample											
			0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	
1a	152,7		[Bar chart showing Rc values for sample 1a]										
2a	122,0		[Bar chart showing Rc values for sample 2a]										
3a	37,2		[Bar chart showing Rc values for sample 3a]										
5a	104,4		[Bar chart showing Rc values for sample 5a]										
8a	105,8		[Bar chart showing Rc values for sample 8a]										
2b	135,0		[Bar chart showing Rc values for sample 2b]										
3b	125,7		[Bar chart showing Rc values for sample 3b]										
4b	209,6		[Bar chart showing Rc values for sample 4b]										
5b	83,5		[Bar chart showing Rc values for sample 5b]										
8b	192,4		[Bar chart showing Rc values for sample 8b]										
10b	164,3		[Bar chart showing Rc values for sample 10b]										
1c	161,6		[Bar chart showing Rc values for sample 1c]										
4c	110,7		[Bar chart showing Rc values for sample 4c]										
6c	150,8		[Bar chart showing Rc values for sample 6c]										
7c	176,4		[Bar chart showing Rc values for sample 7c]										
9c	222,4	[Bar chart showing Rc values for sample 9c]											
10c	165,9	[Bar chart showing Rc values for sample 10c]											

Ryc. 5. Wytrzymałość próbki (R_c) w zależności od kierunku wycięcia próbki z monolitu skalnego

Fig. 5. Strength of sample (R_c) depending on direction of cutting the sample out of rock monolith specimen

anizotropii kierunkowej. Parametrem opisującym tę anizotropię jest współczynnik anizotropii akustycznej (A_{vp}). W badanych skałach wartość współczynnika anizotropii zmieniała się w przedziale od 0,7 do 1,2, przy czym dla 74% wartości była mniejsza od jedności.

Prędkość fali poprzecznej (V_s), wzdłuż kierunków równoległych do kierunków spękań ciosowych, zmienia się w przedziale od 2812 m/s do 3277 m/s. Średnia wartość to 2979 m/s.

Wyznaczony na podstawie przebiegu charakterystyk (V_p) i (V_s) współczynnik Poissona (ν) ma wartość od 0,08 do 0,30. Zależny od współczynnika Poissona i prędkości (V_p) i (V_s) dynamiczny moduł sprężystości (E_d) zawiera się w przedziale od 43,01 GPa do 61 GPa. Współczynnik anizotropii dynamicznego modułu sprężystości A_{Ed} przyjmuje wartości od 0,87 do 1,19. Zatem parametr ten, będący odniesieniem modułów sprężystości w kierunku pionowym (a równoległym do osi próbki) do modułów sprężystości w kierunkach poziomych (i zgodnych z orientacją spękań ciosowych) wykazuje niewielką anizotropię.

Interpretacja wyników badań ultradźwiękowych. Większe wartości prędkości fali podłużnej (V_p) w kierunkach orientacji spękań ciosowych (ryc. 4) wskazują, że badane piaskowce wykazują pewne właściwości anizotropowe wynikające nie tyle z różnic litologicznych, ile cech strukturalnych. Można to tłumaczyć obecnością powierzchni „ułatwionego poślizgu” wynikających z tekstury laminarnej lub prawdopodobnych powierzchni mikrospekań, szczelin inicjalnych powstałych w procesie ciosotwórczym. Powierzchnie te mogą stanowić predysponowane

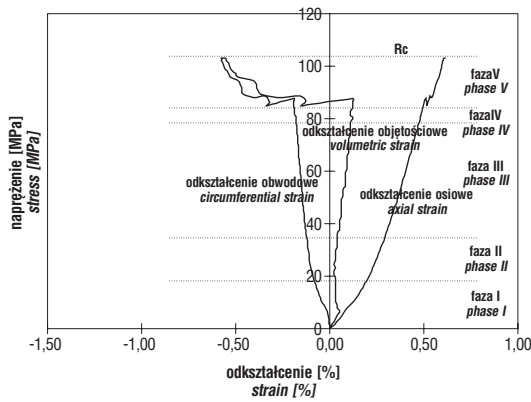
kierunki, wzdłuż których fala podłużna osiąga wyższe prędkości. Na szerokość całego przedziału przyjmowanych wartości (V_p) ma zapewne wpływ obecność warstwowania oraz żyłek ilastych i kalcytowych, a także wtrącenia węglonej szezki roślinnej.

Wykazanie jednoznacznie akustycznej anizotropii kierunkowej względem każdego kierunku ciosu wymaga dalszych badań na zdecydowanie większej liczbie próbek oraz kierunków, tak aby otrzymana liczba pomiarów stanowiła próbę reprezentatywną do opracowań statystycznych.

Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie

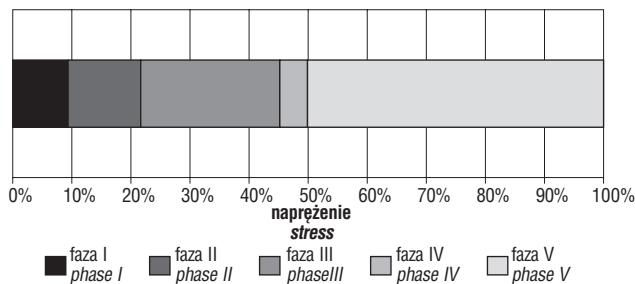
Wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (R_c) zawierają się w przedziale od 37 do 222 MPa (ryc. 5). Średnia wartość to 142 MPa. Według polskiej normy PN-86/B-02480 badane piaskowce fliszowe zaliczają się do grupy skał od małej do dużej wytrzymałości na ściskanie, zaś w klasach ISO (2000) są to skały średnio mocne do bardzo mocnych.

Przebieg procesu deformacji. Do scharakteryzowania przebiegu procesu deformacji w ściskanych jednoosiowo próbkach posłużyła analiza charakterystyk naprężenie



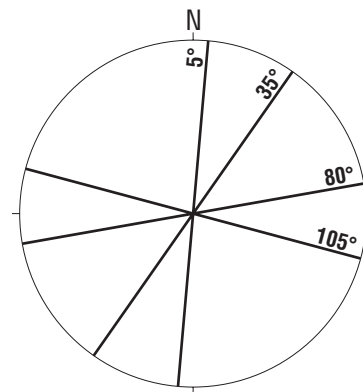
Ryc. 6. Przebieg charakterystyk odkształceń próbki piaskowca (próbka nr 5a, odsłonięcie VI, warstwy chochołowskie)

Fig. 6. Course of stress-strain characteristics in sandstone sample (sample no. 5a, exposure VI, Chochołów Beds)

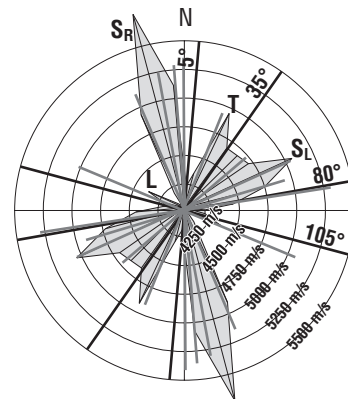


Ryc. 7. Średni procentowy udział progowych wartości naprężeń poszczególnych faz deformacji w całości naprężeń przedkrytycznych

Fig. 7. Average percentage share of individual phases of deformation of threshold stress values in the total pre-critical stresses



Ryc. 8. Diagram orientacji głównych kierunków (dominant) spękań powstałych w trakcie badań wytrzymałościowych
Fig. 8. Diagram of the orientation of main direction (dominants) of cracks formed during strength tests



Ryc. 9. Diagram sumaryczny orientacji zespołów spękań ciosowych oraz orientacji głównych kierunków spękań powstałych w trakcie badań wytrzymałościowych na tle rozkładu prędkości fali podłużnej w zależności od kierunku pomiaru

Fig. 9. Complex diagram of the orientation of joint sets and the main direction of cracks, originated during strength tests against speed of longitudinal wave (V_p) background, depending on direction of measurement

odkształcenie (Kwaśniewski, 1992; Łukaszewski & Bogdańska, 1997; ryc. 6).

Faza I zachodzi zjawisko kompaktacji wstępnej, czyli zamykania pierwotnie istniejących defektów w skale, wartość naprężeń granicznych w próbkach zmieniała się w zakresie od 1 do 19 [MPa], średnia wartość wynosi 9 MPa. Faza I maksymalnie trwa do 19% σ_{Rc} (ryc. 6, 7).

Faza II odpowiada liniowo-sprężystemu odkształcaniu się skały oraz liniowości charakterystyk deformacji odkształceń osiowych, obwodowych i objętościowych. W próbkach piaskowców fliszowych naprężenia fazy II odkształceń liniowo-sprężystych zawierają się w zakresie od 1 do 34 MPa, co stanowi przedział od 1 do 33% naprężeń maksymalnych. Wartościami średnimi naprężenia oraz procentowym udziałem naprężenia progowego (próg mikrodylatancji) są odpowiednio przedziały 9–23 MPa i 9–22%.

Faza III odpowiada nieliniowości odkształceń obwodowych i objętościowych przy liniowości odkształceń osiowych. Po przekroczeniu progu inicjacji mikropeknięcia uwidacznia się propagacja istniejących pierwotnie w skale mikrodefektów. Pojawia się zjawisko dylatancji względnej, element procesu uszkodzania materiału skalnego. Faza III trwa od chwili osiągnięcia minimalnej wartości czyli już od 18 do 79 MPa, czyli w zakresie od 11 do 76% naprężenia maksymalnego. Średnie minimalne wartości wynoszą odpowiednio 23 MPa i 22% naprężenia krytycznego, a maksymalnie 47 MPa oraz 46% σ_{Rc} .

Faza IV związana z procesem stabilnej propagacji szczelin, obserwowana była w próbkach w przedziale 17 do 88 MPa, co stanowi zakres od 14 do 85% σ_{Rc} . Średnie minimalne wartości wynosiły 47 MPa i 46% σ_{Rc} , a średnie maksymalne 51 MPa i 50% σ_{Rc} .

Faza V nieliniowości wszystkich charakterystyk, związana z pojawieniem się procesu niestabilnej propagacji szczelin i wzrostu objętości próbki. W próbkach fazę tę obserwowano po przekroczeniu średniej wartości 51 MPa, czyli 50% maksymalnego naprężenia. Minimalna wartość naprężenia inicjującego tę fazę wynosiła 18, a maksymalna 88 MPa, co odpowiada od 15 do 85% naprężenia maksymalnego.

Wszelkie spekania inicjalne obserwowane makroskopowo podczas badań są zbliżone do kierunków naturalnych spekań, a ich orientacje grupują się w przedziałach azymutów:

I — 0°–15° z dominantą 5°, II — 25°–45° z dominantą 35°, III — 70°–90° z dominantą 80°, IV — 100°–120° z dominantą 105° (ryc. 8).

Interpretacja przebiegu procesu deformacji. Analiza badań wytrzymałościowych wykazuje zmienność wytrzymałościową piaskowców fliszu podhalańskiego. Anizotropia ta ujawnia się już we wczesnych etapach deformacji i przejawia się kierunkowym pękaniem oraz zróżnicowaną wytrzymałością (R_c).

Przebieg procesu deformacji wskazuje na zależność pomiędzy wytrzymałością na ściskanie, a orientacją obciążenia (ryc. 5). Zależność ta rejestrowana jest na krzywej deformacji spadkiem wartości naprężenia, a makroskopowo powstawaniem szczelin inicjalnych. Wytrzymałość (R_c) próbek, których osie są równoległe do osi naprężenia największego (σ_1) jest niższa (o średnio 34%) od wytrzymałości pozostałych próbek, wyciętych w kierunkach odpowiadających osiom naprężeń σ_2 i σ_3 .

Także przyjmowane wartości naprężeń deformacji w poszczególnych fazach, a zwłaszcza w fazie III (ryc. 7) wskazują na pierwotne osłabienie próbek, związane z ist-

nieniem mikroszczelin propagujących się i ujawniających się w tej fazie deformacji. Prawdopodobnie te przestrzennie zorientowane, ukryte powierzchnie nieciągłości, zgodne z głównymi kierunkami spekań ciosowych, występujących w utworach Podhala, odpowiadają wstępnemu stadium ciosu (czyli zakładaniu ciosu w strefie wzmożonych naprężeń), a ich funkcją są „zapamiętane” w skale powierzchnie osłabienia, która ujawniała się podczas „odprężania” czyli w trakcie badań jednoosiowego ściskania.

Podsumowanie

Kierunki (dominanty) najbardziej wyraźnych płaszczyzn spekań powstałych w trakcie badań wytrzymałościowych naniesiono na diagram spekań regionalnych ciosu. Na ten sam diagram naniesiono także rozetę kierunków, wzdłuż których zmierzono prędkość fali podłużnej (ryc. 9).

Na podstawie badań akustycznych, jak i charakterystyki wytrzymałościowej badanych piaskowców fliszowych, stwierdzono, że w próbkach badanych skał zachowane są ślady historycznego pola naprężeń, przejawiające się zmianami odkształcalności ośrodka skalnego, efektem anizotropii wytrzymałościowej i akustycznej. Wyższe wartości osiąganej prędkości propagacji fali podłużnej, nie korelujące się z niską wytrzymałością (R_c), mogą wskazywać na istnienie zorientowanych, ukrytych powierzchni nieciągłości, przeważnie prostopadłych do uwarstwienia i kierunkowo zgodnych z głównymi zespołami spekań ciosowych, wzdłuż których propagacja fal ultradźwiękowych jest ułatwiona. Charakter przestrzenny i morfologiczny powstających w laboratorium spekań wskazuje na to, że istniejące różnice litologiczne pomiędzy poszczególnymi próbkami nie mają dużego wpływu na orientację spekań.

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych na zorientowanych próbkach wynika, że na podstawie analizy badań akustycznych i wytrzymałościowych oraz kierunków spekań powstałych w trakcie jednoosiowego ściskania można odtwarzać kierunki naprężeń głównych oraz ich prawdopodobne, maksymalne wartości, które doprowadziły do powstania ciosu.

Równocześnie obserwacje terenowe powierzchni ciosowych i struktur na nich obecnych można odnosić do morfologii powierzchni spekań powstałych w laboratorium. Nie tylko badania terenowe pozwalają wysnuć wnioski co do sposobu „otwierania się” spekań. Za pomocą odpowiedniej aparatury i oprogramowania można tworzyć trójwymiarowe profile szorstkości tych nieciągłości. Są one wielce pomocne w określaniu genezy spekań, mogą dawać odpowiedź czy spekania mają charakter ścięciowy czy ekstensyjny.

Badania tego typu, z pewnością mogą być uzupełnieniem studiów nad ewolucją tektoniczną masywów.

Literatura

- BARTLETT W., FRIEDMAN M. & LOGAN J. M. 1981 — Experimental folding and faulting of rocks in limestone layers. *Tectonophysics*, 79: 255–277.
- BORETTI-ONYSZKIEWICZ W. 1968a — Anizotropia ciosowa piaskowców fliszowych Podhala Zachodniego. *Biul. Geol. UW*, 10: 115–153.
- BORETTI-ONYSZKIEWICZ W. 1968b — Cios we fliszu zachodniego Podhala. *Acta Geol. Pol.*, 18: 101–142.
- BUCHER W. H. 1920 — The mechanical interpretation of joints, pt. 1. *Jour. Geol.*, 28: 1–28.

- BUCHER W. H. 1921 — The mechanical interpretation of joints, pt. 2. *Jour. Geol.*, 29: 1–28.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. PWN.
- DUNNE W.M. & HANCOCK P.L. 1994 — Paleostress analysis of small scale brittle structures. [In:] *Continental deformation*, P.L. Hancock (ed.), Pergamon Press.
- GOŁĄB J. 1959 — Zarys stosunków geologicznych fliszu Zachodniego Podhala. *Biul. Inst. Geol.*, 149: 225–231.
- HANCOCK P.L. 1994 — From joints to paleostress, [In:] *Peritethyan Platforms*, F. Roure (ed.) and Editions Technip. Paris: 145–158.
- ISO 1. 2000 — Geotechnical engineering – Identification and description of rock. ISO 14689.CENT/TC 250/S.C.7.N 324.
- JAROSZEWSKI W. 1972 — Drobnostukturalne kryteria tektoniki obszarów nieorogenicznych na przykładzie północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. *Stud. Geol. Pol.*, 38: 1–210.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa geologiczna Polski. Tektonika, Karpaty, t. 4. Wyd. Geol.
- KWAŚNIEWSKI M. 1992 — III Szkoła Geofizyki Górniczej. Emisja sejsmoakustyczna w skałach. *Mat. Konfer. Wadowice*.
- ŁUKASZEWSKI P. & BOGDAŃSKA J. 1997 — Laboratoryjne badania występowania efektu pamięci w skałach osadowych rejonu Górnego Śląska. *Mat. 1. Czesko-polskie Geomech. Symp. Ostrawa*: 64–70. Wyd. Inst. of Geonics, ASCR.
- MASTELLA L. 1972 — Independence of joint density and thickness of layers in the Podhale flysh. *Bull. Acad. Pol. Ser. Geol. Geogr.*, 20: 187–196.
- MASTELLA L. KONON A. & MARDAL T. 1996 — Tektonika fliszu podhalańskiego w dolinie Białki. *Prz. Geol.*, 44: 494–1194.
- MASTELLA L. & ZUCHIEWICZ W. 2000 — Jointing in the Dukla Nappe (Outer Carpathians, Poland): an attempt at paleostress reconstruction. *Geol. Quarter.*, 44: 377–390.
- PINIŃSKA J. 1994 — Procesy deformacji i pęknięcia cylindrycznych próbek skalnych. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. i Hydrotech. Polit. Wrocław. Konferencje nr 33*.
- PINIŃSKA J. 1995 — Procesy kruchego pęknięcia skał osadowych przy jednoosiowym ściskaniu ze stałą prędkością odkształcenia. *Prz. Geol.*, 43: 546–553.
- PINIŃSKA J. 2000 — Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. I. Skały osadowe regionu świętokrzyskiego. T. 1. Katalog. Wyd. Tinta, Warszawa.
- Polska** Norma PN-86/B-024880 — Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. PKNiM, Warszawa.
- Polska** Norma PN-84/B-04110 — Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie. PKNiM, Warszawa.
- PRICE N. J. 1959 — Mechanics of jointing in rock, *Geol. Mag.*, 96: 149–167.
- PRICE N. J. 1966 — Fault and Joint Development in Brittle and semi-brittle Rock. Pergamon Press, no. 176.
- RAMSAY J. G. & HUBER M. I. 1987 — The techniques of modern structural geology. Acad. Press Brace Jovanovich Publ., 1–2.
- RIEDEL W. 1929 — Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen, *Centralbl. Min. Pal. Abt. B*.
- RUBINKIEWICZ J. 1998 — Rozwój spękań ciosowych w płaszczynie śląskiej w okolicach Baligrodu (Bieszczady Zachodnie, Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 46: 820–826.
- STUPNICKA E. 1997 — Geologia regionalna Polski. Wyd. Geol.
- WATYCHA L. 1968 — Wstępna ocena warunków i możliwości powstawania ropy naftowej w utworach wschodniej części fliszu podhalańskiego. *Kwart. Geol.*, 12: 898–913.
- WATYCHA L. 1977a — Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1 : 50 000, ark. Czarny Dunajec. Wyd. Geol.
- WATYCHA L. 1977b — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1 : 50 000. Wyd. Geol.
- ZUCHIEWICZ W. 1997 — Reorientacja pola naprężeń w polskich Karpatach zewnętrznych w świetle wstępnych wyników analizy ciosu. *Prz. Geol.*, 45: 105–109.
- ZUCHIEWICZ W. (red.) 2001 — Tektoniczne uwarunkowania występowania martwic wapiennych we fliszu podhalańskim. *Mater. IV Ogólnopol. Konfer. Kom. Neotektoniki, Komitet Badań Czwartorzędu PAN*: 76–79.