

Orientacja ciosu w utworach węglanowych triasu obszaru pomiędzy Brudzowicami a Olkuszem

Marek Król*

Orientation of jointing into Triassic carbonate deposits of area between Brudzowice and Olkusz town (southern Poland). Prz. Geol., 50: 415–423.

S u m m a r y. The examined area is a part of the Silesia–Krakow monocline with outcrops distributed between Brudzowice (near Siewierz) and Olkusz. The monocline sediments cover the lower Paleozoic basement and mask the basement's main tectonic lines of regional importance. The measurements were mainly carried out in carbonate rocks of middle and lower muschelcalc. The aim of this paper is to carry out detailed direction analysis of systematic joints and to distinguish individual joint sets of the Triassic sediments. The results are presented on a 3-dimensional stereonet diagrams and 2-dimensional rose diagrams of joints strike. Based on collected information joint sets were set apart. Parameters of spherical distribution and basic fracturing parameters of rock mass were calculated. A comparison of joints distribution between individual outcrops was carried out using a Kolmogorow–Smirnow test. The jointing is vertical or almost vertical. Very seldom there occur joints with dip angle 30–50°. The frequency relations among joint sets are different in each outcrop of studied area. On the regional scale the most remarkable joint sets have the strike directions NE–SW and NW–SE. In the NW part of the studied area joint sets strikes of WNW–ESE and NNW–SSE directions become more apparent.

Key words: jointing, joints, directions analysis, joints distribution, Triassic carbonate deposits, margin part of Upper Silesian Coal Basin (USCB)

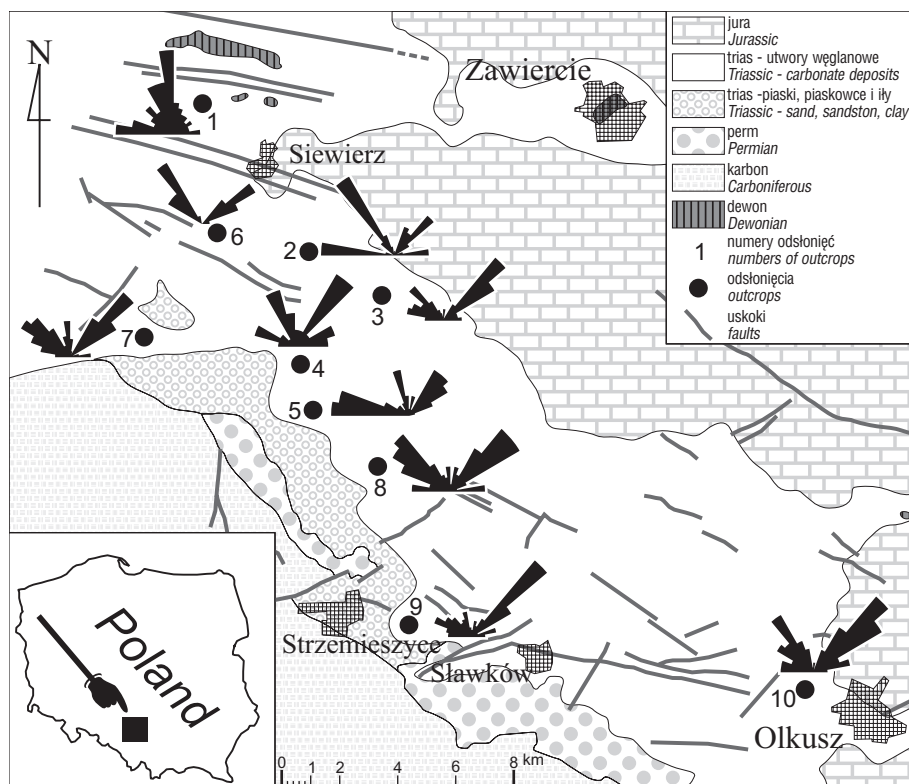
Spękania ciosowe występujące powszechnie zarówno w obszarach platformowych, jak i orogenicznych, mogą mieć duże znaczenie jako źródło informacji tektonicznych. Często jednak to źródło informacji pozostaje niewykorzystane wskutek zbyt formalnego, niegenetycznego traktowania. Zagadnieniem szczegółowej analizy ciosu w utworach triasu monokliny śląsko–krakowskiej zajmowali się Bilan i Krokowski (1973), Krokowski (1974, 1977), Kozioł (1953), Alexandrowicz i Alexandrowicz (1960) i in., jednak ich prace dotyczyły obszaru na południe od Olkusza lub na północ od Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Obszar północno-wschodniej części obrzeżenia GZW jest słabo poznany pod tym względem, aczkolwiek istnieje kilka opracowań o tej tematyce (Teper i in., 1986; Herlich, 1981; Idziak i in., 1991).

Pod względem geograficznym teren badań należy do Garbu Tarnogórskiego, który jest rozczłonkowaną płytą wapienia muszlowego wznoszącą się do 340–380 m n.p.m. i opadającą progiem tektoniczno denudacyjnym ku Wyżynie Katowickiej (Kondracki, 1998).

Badania przeprowadzono głównie w odsłonięciach należących do dolnego lub środkowego wapienia muszlowego (tab. 1). Odsłonięcia są rozmieszczone w pasie o przebiegu NW–SE i obejmują obszar pomię-

dzy Brudzowicami a Starym Olkuszem (ryc. 1).

Utwory triasu wchodzi w skład tzw. pokrywy permo-mezozoicznej, czyli piętra pokrywowego przykrywającego sfałdowane piętro waryscyjskie oraz mocno sfałdowane i jednocześnie lekko zmetamorfizowane piętro kaledońskie. Wyżej wymieniona pokrywa maskuje bardzo ważne dla budowy geologicznej linie tektoniczne występujące w jej podłożu, jednak główne kierunki tektoniczne znajdują swoje odbicie w wykształceniu sieci ciosu (Rud-



Ryc. 1. Szkic geologiczny wraz z lokalizacją odkrywek i naniesionymi różami spękań. Numeracja odsłonięć jak w tab. 1

Fig. 1. Geological sketch map of study area with outcrop location and enclosed rose diagrams. Numbers of the outcrops like in tab. 1

*Uniwersytet Śląsk, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; oprmasz@poczta.wp.pl

Tab. 1. Wykaz odkrywek wraz z krótkim opisem litostratygraficznym

Table 1. List of outcrops with short lithostratigraphy description

L.p.	Nazwa	Opis litostratygraficzny
1	Brudzowice południe	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy) — dolomity diploporowe
2	Trzebieszawice	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy) — dolomity diploporowe
3	Chruszczobród	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy) — dolomity diploporowe
4	Ujejsce-Podrowce	Trias środkowy (dolny wapień muszlowy) — warstwy gogolińskie : wapienie faliste, płytowe, zlepieńcowate i komórkowe
5	Ujejsce-Pańska Góra	Trias środkowy dolny wapień muszlowy — (warstwy gogolińskie) — margle dolomityczne, dolomity i wapienie
6	Zawarpie	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy) — dolomity diploporowe
7	Wareżyn	Trias środkowy (dolny wapień muszlowy) — warstwy gogolińskie : wapienie faliste, płytowe, zlepieńcowate i komórkowe
8	Ząbkowice Będzińskie nieczynny kamieniołom	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy) — warstwy gogolińskie ; naprzemianległe warstwy wapieni i margli
9	Strzemieszyce-Srocza Góra	Trias środkowy (dolny wapień muszlowy) — warstwy gogolińskie
10	Stary Olkusz	Trias środkowy (środkowy wapień muszlowy). Dolomity diploporowe , gruboławicowe, krystaliczne

kowski, 1926; Dżułyński, 1953; Śliwiński, 1964; Krokowski, 1980; Bogacz & Krokowski, 1981; Herbich, 1981; Teper i in., 1986; Idziak i in., 1991; Żaba, 1999).

Metodyka badań terenowych

Dane zbierano w pojedynczych powierzchniowych odsłonięciach wapieni, dolomitów i margli. Pomiary orientacji były dokonywane kompasem geologicznym. W większości odsłoneń udało się przeprowadzić pomiary w dwóch kierunkach w przybliżeniu prostopadłych do siebie, aby zminimalizować, tzw. „efekt przecięcia” (Jaroszewski, 1994).

Celem było przeprowadzenie szczegółowej analizy kierunkowej występujących spękań ciosu systematycznego, wydzielenie poszczególnych zespołów spękań i wykazanie zmienności intensywności występowania dominujących kierunków na badanym obszarze. Podjęto także próbę wyznaczenia niektórych parametrów szczelinowatości masywu skalnego, takich jak: średnie rozwarcie i średni odstęp.

Wstępna interpretacja wyników

Na diagramach konturowych pomiary zostały przedstawione za pomocą normalnych do powierzchni spękań w projekcji na dolną półkulę. Na podstawie zebranych informacji sporządzono:

— trójwymiarowe diagramy konturowe dla całego odsłonięcia

— trójwymiarowe diagramy punktowe dla wydzielonych zespołów spękań

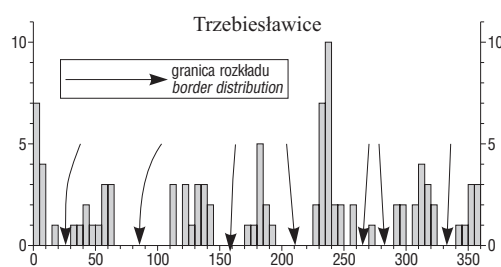
— dwuwymiarowe diagramy rozetowe biegu spękań (przedziały 10°)

— dwuwymiarowe histogramy azymutów upadu spękań (przedziały 5°).

Rozdziału zespołów spękań dokonywano w następujący sposób:

— przy interpretacji diagramu konturowego opierano się na zasadzie, że każde odosobnione maksimum reprezentuje jeden zespół spękań,

— przy interpretacji histogramów azymutów upadu i diagramów rozetowych biegu przyjmowano, że granicami rozdziałów zespołu spękań są minima w rozkładzie spękań (ryc. 2),



Ryc. 2. Określanie granic rozkładu pomiędzy zespołami spękań na przykładzie odsłonięcia Trzebieszawice

Fig. 2. Definition of border distribution among joint sets, Trzebieszawice outcrop

— stosując się do powyższych założeń odrzucano z diagramu punktowego punkty nie należące do rozpatrywanego zespołu. W następnej kolejności dla takiego odseparowanego zespołu obliczono parametry rozkładu sferycznego (tab. 2).

Aby przedstawić dane w ujęciu dwuwymiarowym, zostały wyeliminowane z analizy ciosu spękania ławicowe, gdyż ich upady były prawie poziome i mogły w znaczący sposób (przy większej ilości) zakłamywać obraz. Spękania ciosowe prawie w 95% były reprezentowane przez upady w zakresie od 80–90°. Tak przedstawione wyniki w ujęciu dwuwymiarowym nie powinny zniekształcać w istotny sposób obrazu rozkładu kierunków.

W wyniku analizy kierunkowej wyróżniono osiem zespołów spękań (wyłączając z tego spękania ławicowe). Ich maksima zaznaczają się na obwodach kół w pobliżu azymutów upadu o kierunkach:

— 310°–330° i 130°–150° (zespół A)

— 30°–55° i 210°–235° (zespół B)

— 170°–190° i 350°–10° (zespół C)

— 80°–100° i 260°–280° (zespół D)

Tab. 2. Parametry rozkładu sferycznego spękań w badanych odsłonięciach
 Table 2. Parameters of spherical distribution of joints in the studied outcrops

Nazwa Odkrywki i symbol zespołu	Liczba pomiarów	Azymut upadu wektora średniego	Upad wektora średniego	Znormalizowana długość wektora średniego	Długość wektora wyznaczającego średni kierunek spękań	1/2 kąta wierzchołkowego stożka ufności
Stary Olkusz						
A	59	315	89	0,942	55,578	4,63
B	48	229	88	0,923	44,304	6,00
C	22	177	88	0,96	21,12	6,48
D	5	270	88	0,981	4,905	11,92
Strzemieszyce – Srocza Góra						
A	72	317	87	0,982	70,704	2,27
B	51	32	89	0,941	47,991	5,04
C	21	3	88	0,98	20,58	4,65
E	11	342	90	0,991	10,901	4,56
G	22	252	86	0,932	20,504	8,57
H	17	107	80	0,921	15,657	10,78
Ujejsce – Pańska Góra						
A	28	316	87	0,96	26,88	5,67
F	27	192	86	0,95	25,65	6,50
G	13	259	85	0,97	12,61	7,59
Ujejsce – Podrowce						
A	12	312	80	0,984	11,880	5,78
	9	342	81	0,938	8,442	14,07
E	7	197	88	0,975	6,825	10,46
F	14	259	88	0,935	5,808	6,37
G						
Wareżyn						
A	64	314	89	0,965	61,76	3,41
B	74	215,5	89	0,952	70,448	3,72
C	24	182	87	0,955	22,92	6,56
D	27	84	86	0,942	25,434	7,03
Zawarpie						
A	18	325	89	0,973	17,514	5,92
B	20	48	88	0,963	19,26	6,57
Brudzowice – Południe						
F	34	11	83	0,934	31,76	6,64
G	53	76	87	0,923	48,92	5,70
Trzebiesławice						
A	26	310	88	0,948	24,65	6,78
B	30	235	86	0,956	28,6	5,74
C	30	1	86	0,883	826,49	9,74
Chruszczobród						
A	47	316	90	0,968	45,50	3,82
B	25	224	88	0,966	24,15	5,54
E	10	347	81	0,915	9,15	15,57
F	25	18	88	0,952	23,80	6,64
Ząbkowice Będzińskie — nieczynny kamieniołom						
A	69	315	88	0,964	66,52	3,32
B	70	38	86	0,922	64,54	4,97
C	26	1	89	0,975	25,35	4,63
H	13	281	85	0,945	12,26	10,42

- 335°–350° i 155°–170° (zespół E)
- 10°–30° i 190°–210° (zespół F)
- 240°–260° i 60°–80° (zespół G)
- 100°–125° i 280°–305° (zespół H)

Są to zespoły spękań pionowych lub prawie pionowych, odznaczające się katetalnym stosunkiem do uławienienia. Odstępstwa od tej reguły można jedynie

zaobserwować w rzadko występujących ławicach marglistych, gdzie kąty upadu spękań maleją aż do ok. 50–60°. Porównując te wyniki z obserwacjami innych autorów (Bilan & Krokowski, 1973; Krokowski, 1974, 1977, 1980; Dżułyński, 1953; Kozioł, 1953; Alexandrowicz & Alexandrowicz, 1960; Teper i in., 1986; Herbich, 1981; Kibitlewski & Górecka 1988; Idziak i in., 1991; Żaba, 1999)

badających utwory triasu, stwierdzono analogie odnośnie do głównych, regionalnych kierunków spękań ciosowych oraz pewne różnice, co do kierunków drugorzędnych.

Zaobserwowano również, że średni odstęp spękań w poszczególnych zespołach zmienia się w zależności od rodzaju skały. W ławicach marglistych i wapiennych kontaktujących się ze sobą w profilu litologicznym cios silniej zaznacza się w wapieniach. Różnice pomiędzy średnim odstępem rzeczywistym spękań przekraczały czasem stosunek 1:10 — rozpatrując obydwie ławice z osobna na określonym odcinku pomiarowym. Jednak różnice te nie wszędzie są spowodowane zmianą składu petrograficznego skały. Często zdarza się, że kilka ławic wapienia z tej samej odkrywki różni się znacznie średnim rzeczywistym odstępem spękań. Nie jest to jednak tak duża różnica jak w przypadku ławic o różnej litologii. Średni rzeczywisty odstęp dla ławic wapieni i dolomitów przedstawia tab. 3. W obrębie pojedynczych odkrywek zmieniają się także względne stosunki frekwencyjne pomiędzy zespołami spękań (ryc. 3). Podczas badań zauważono, że lokalnie pojawia się także zmienność w występowaniu orientacji spękań (tab. 2, ryc. 3).

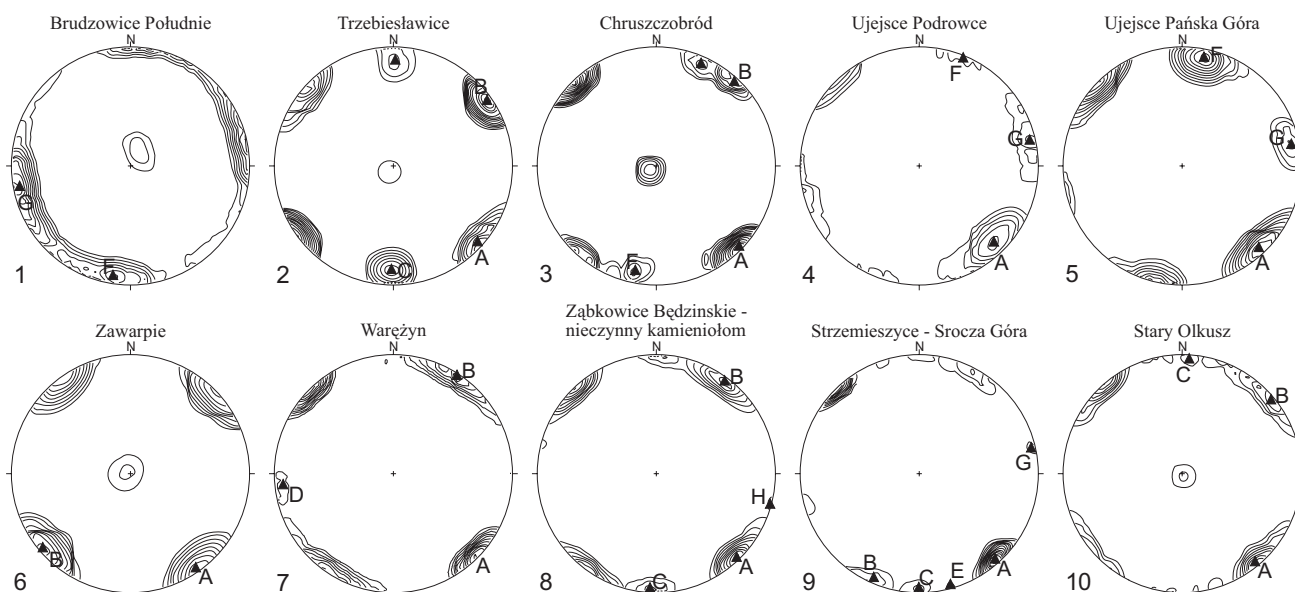
W badanych odkrywkach, zmienność względnych stosunków frekwencyjnych pomiędzy zespołami spękań oraz zmienność orientacji ciosu najprawdopodobniej jest konsekwencją działania lokalnych pól naprężeń działających z różnym nasileniem w określonych kierunkach. Lokalne pola naprężeń mogą również wywierać wpływ na różnice pomiędzy średnim odstępem rzeczywistym spękań ciosowych.

Zauważono, że spękania w ławicach marglistych wykazują mniejsze kąty upadu niż w ławicach wapiennych. Często spotykane są w skałach stylolity, co świadczy o rozpuszczaniu pod ciśnieniem — jednak bardzo trudno zmierzyć jest bezpośrednio na ścianie pomiarowej kierunek dziobków tych struktur świadczących o kierunku największego ciśnienia rozpuszczania. Szczeliny rzadko są wypełnione innym materiałem niż okruszki i zwietrzelina. Miejscami można jednak zaobserwować naloty lub drobne kryształki kalcytu na powierzchniach spękań. Ślady mine-

ralizacji kruszcowej nie zostały stwierdzone. Czasami zdarza się, że szczeliny rozszerzają się ku górze tak znacznie, że różnica w rozwarciu pomiędzy spągami a stropem przekracza nieraz dwa rzędy wielkości (np. od 2 do 200 mm). Szczeliny takie są wypełnione charakterystycznym residuum świadczącym o krasowieniu. Przy szacowaniu średniego rozwarcia wyeliminowano tego typu przypadki szczelin. W niektórych miejscach zostały także stwierdzone zespoły spękań łączące się w kształt litery Y. Drobne spękania odosobnione o małych długościach (do 20 cm) lub spękania mało wyraźne należą często do tych samych zespołów, co wyraźne spękania (o długościach powyżej 5 m). Świadczy to o tym, że niektóre drobne spękania mogą być jeszcze w trakcie rozwoju i tworzą dopiero struktury o większym zasięgu. Drobne spękania inicjalne mogą pod wpływem resztkowych naprężeń przekształcić się w wyraźne spękania ciosowe (Jaroszewski, 1994; Kibitlewski & Górecka, 1988).

Statystyczne opracowanie rozkładów orientacji spękań

O zróżnicowaniu lub podobieństwie orientacji spękań z różnych rejonów lub różnych formacji wnioskuje się zwykle na podstawie wizualnego porównania diagramów. Porównanie takie jest subiektywne, a zatem może być obarczone pewnym błędem. Należy więc dążyć do stosowania metod pozwalających na obiektywne porównywanie diagramów. Aby wykazać zmienność ciosu regularnego, w pracy dokonano porównania rozkładów azymutów upadu spękań poszczególnych odkrywek nieparametrycznym testem zgodności D Kołmogorowa Smirnowa na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Test ten nie wymaga jednakowych liczebności porównywanych populacji w każdej klasie. Należy on do najczęściej stosowanych metod statystycznego wnioskowania, kiedy zachodzi potrzeba porównania dwóch nierównolicznych próbek należących do tej samej populacji generalnej. Zastosowanie tego testu do porównania orientacji spękań między dwoma diagramami było już



Ryc. 3. Zestawienie diagramów konturowych sieci spękań w badanych odsłonięciach (numercja odsłonieć jak w tab.1)

Fig. 3. Comparison of stereonet diagrams of joint net in the studied outcrops (numbers of the outcrops like in tab.1)

niejednokrotnie spotykane w literaturze geologicznej (Nieć & Szczepańska, 1968; Krokowski, 1974; Teper i in., 1986).

Hipoteza H_0 testu D zakłada, że dystrybuanty obydwu populacji próbkowych są sobie równe. W celu zweryfikowania hipotezy zerowej pomiary grupuje się w stosunkowo wąskie klasy, a następnie oblicza wartości empirycznych dystrybuant z obydwu prób. Można je wyrazić wzorami:

$$F_m(p) = \frac{m_{skp}}{M},$$

$$F_n(p) = \frac{n_{skp}}{N} \quad [1]$$

Gdzie:

m_{skp}, n_{skp} — liczebności skumulowane do p -tej klasy
($p = 1, 2, \dots, l$)

l — liczba klas jednoklasowa w obu próbach

$F_m(p), F_n(p)$ — odpowiednie dystrybuanty empiryczne

M i N — liczba obserwacji w pierwszej i drugiej z

porównywanych prób.

Następnie obliczamy wartość statystyki:

$$\lambda = D \sqrt{\frac{MN}{M+N}} = D \quad [2]$$

gdzie:

$$D = \sup_p |F_m(p) - F_n(p)| \quad [3]$$

oraz odczytujemy wartość krytyczną λ_α dla ustalonego poziomu istotności z tablic tego rozkładu. Gdy empiryczna wartość $\lambda \leq \lambda_\alpha$ to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 , a w przypadku gdy $\lambda > \lambda_\alpha$ hipotezę zerową H_0 odrzuca się na ustalonym poziomie istotności. Schemat porównania diagramów w całości przedstawia tab. 4.

W celu przetestowania hipotezy o zgodności rozkładów spękań w badanych odsłonięciach dane orientacji spękań pogrupowano w klasy azymutów co 20° . Brano pod uwagę azymuty upadu. Z testu wyeliminowano spękania ławicowe, gdyż są one prawie poziome, a pomiary tak zorientowanych spękań są obciążone dużym błędem. Wyniki testu D przedstawiono w tab. 5. Widać, że w skali regionalnej zaznacza się duża zmienność w rozkładzie kierunków. Zmienność ta jest opisywana przez częstość występowania zespołów spękań w określonych kierunkach oraz ich orientację. Uwzględniając te dwa czynniki, rozkład kierunków spękań ciosowych wykazuje podobieństwo jedynie w skali lokalnej — nie można wyznaczyć obszaru o podobnym rozkładzie w skali regionalnej. Trudno dopatrzeć się większej liczby odkrywek, gdzie różnica w rozkładzie wszystkich zespołów spękań nie byłaby istotna, tzn. różnica między rozkładami miałaby charakter przypadkowy. Podobieństwa należy raczej dopatrywać się jedynie w rozkładzie pojedynczych zespołów spękań z poszczególnych odkrywek.

Diagramy oraz większość obliczeń parametrów statystycznych wykonano posługując się programem komputerowym „Rock Works”. Korzystając z tego programu przeprowadzono kierunkową analizę wektorową. Dla każdego średniego kierunku została wyznaczona orientacja przestrzenna, długość wektora reprezentującego dany kierunek, oraz stożek ufności (tab. 2). Przyjęto w pracy, że

wyznaczone średnie kierunki mające — $1/2$ kąta wierzchołkowego stożka ufności (Ω) większy niż 10° włącznie, są ze statystycznego punktu widzenia nie do zaakceptowania. Większe kąty Ω powodowałyby nakładanie się sąsiadujących zespołów. Stożek ufności obliczany był ze wzoru [4]:

$$\cos \Omega = 1 - \frac{N-R}{R} \left[\left(\frac{1}{\alpha} \right)^{\frac{1}{N-1}} - 1 \right] \quad [4]$$

gdzie:

N — liczba pomiarów,

R — długość wektora wypadkowego,

α — poziom istotności = 0,05,

Ω — $1/2$ kąta wierzchołkowego stożka ufności.

Konstrukcję diagramów konturowych przeprowadzono na podstawie rozkładu sferycznego Gausa, przyjmując jako jednostkę gęstości rozkładu odchylenie standardowe od oczekiwanej liczby punktów pomiarowych.

Lokalna zmienność ciosu

W odkrywkach 1–5 (ryc. 3) wyraźnie zaznaczają się zespoły o przebiegu WNW–ESE (zespół F) oraz NNE–SSW (zespół G). Na szczególną uwagę zasługuje rozkład kierunków w odkrywce Brudzowice Południe (ryc. 3, diagram 1), gdyż praktycznie brak tutaj głównych zespołów o przebiegu NE–SW oraz NW–SE (zespoły A i B). Dominującą rolę przejmują tu spękania o przebiegu NNW–SSE (zespół G) i WNW–ESE (zespół F).

Na podstawie dokonanych obserwacji można zauważyć, że dużej zmienności ulegają względne stosunki pomiędzy intensywnością pojawiania się zespołów spękań w obrębie poszczególnych odkrywek. Zmienia się także orientacja ciosu. Zmienność nie wykazuje raczej związku z pozycją stratygraficzną. Już pobieżna obserwacja diagramów (ryc. 3) wskazuje na to, że występowanie głównych kierunków ciosu zmienia się niezależnie od pozycji stratygraficznej. Należy jednak zaznaczyć, że badania były prowadzone jedynie w dwóch podpiętrach wapienia muszlowego o małej miąższości. Czasem niektóre zespoły wręcz zanikają a pojawiają się inne (Brudzowice południe a Zawarpie). Zauważono, że cios okolic Siewierza różni się od ciosu na pozostałym obszarze. W odkrywce Brudzowice Południe, najdalej wysuniętej na północny zachód, (ryc. 1) można wyróżnić dwa dominujące zespoły — F oraz G — brak tutaj podstawowego zespołu A i B (ryc. 3, diagram 1). Dalej w kierunku południowo wschodnim, w odkrywce Chruszczobród i Trzebiesławice, pojawia się już zespół A i B, ale oprócz nich z podobną intensywnością występują inne zespoły — w Trzebiesławicach C (ryc. 3, diagram 2) a w Chruszczobrodzie F (ryc. 3, diagram 3) Odsłonięcie Chruszczobród składa się z wielu małych łomików, rozwleczonych na długości ok. 1,5 km. Spękania naniesione na diagram z tak długiego odcinka przejmują już trochę cechy diagramu zbiorczego. Widać tam płynne przejście z kierunku charakterystycznego dla zespołu B w zespół F. W Zespole C z Trzebiesławic zaznacza się drugie, mniejsze maksimum, oddalone od pierwszego o kąt 20° . Taka sytuacja może być wytłumaczona szorstkością pierwszego rzędu zdefiniowaną przez Liszkowskiego i Stochlaka (1977) lub tendencją do przehodzenia w system sprzężony o kącie dwuściennym 10° (ryc. 3, diagram 2). W

odsłonięciu Ujejsce–Pańska Góra najwyraźniej zaznacza się zespół F oraz A. Mniej intensywnie, ale zaznacza się również zespół G. Dość wyraźny zespół F zaznacza się nieopodal w Ujejscu Podrowcach obok głównego systemu A.

Cechą wspólną pięciu wyżej wymienionych odsłonień (ryc. 3, diagramy 1–5) jest to, że z dużą intensywnością występują tu obok dominujących A i B, spękania należące do zespołu F, G (ryc. 3, diagramy 1, 3–5), czy też C (ryc. 3.

diagram 2). W odkrywkach położonych w kierunku północno-zachodnim (pomijając te najbardziej wysunięte na zachód — Wareżyn i Zawarpie) zaznacza się tendencja do dominującej roli zespołu F i G, natomiast w kierunku południowo-wschodnim zespoły te zaznaczają się słabiej w stosunku do A i B aż do prawie całkowitego lub całkowitego zaniku.

Tab. 3. Parametry szczelinowatości badanych odsłonień

Table 3. Fissuring parameters of the studied outcrops

	Brudzowice Południe	Trzebieszowice	Ujejsce Podrowce	Ujejsce– Pańska Góra	Wareżyn	Zawarpie	Ząbkowice Będzińskie– nieczynny kamieniołom	Strzemieszyce –Sroczka Góra	Stary Olkusz
średni rzeczywisty odstęp zespołu spękań [cm]	(F) 0,36 (G) 0,33	(A) 0,61 (B) 0,36 (C) 0,30	(A) 0,42 (F) 6,33 (G) 0,90	(A) 0,66 (F) 0,77 (G) 1,14	(A) 0,75 (B) 0,89 (C) 2,09 (D) 2,61	(A) 1,31 (B) 0,43	(A) 0,34 (B) 0,77 (C) 3,50 (H) 4,01	(A) 0,96 (B) 2,63 (C) 5,81 (E) 7,2 (G) 6,74 (H) 6,00	(A) 0,98 (B) 1,10 (C) 2,77
średnie rozwarście spękań [mm]	2,4	1,4	10,3	1,8	8,2	10,2	8,3	11,6	15,6

Tab. 4. Schemat porównywania rozkładów azymutów upadu spękań ciosowych testem D Kołmogorowa Smirnowa na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla odkrywek Zawarpie i Ząbkowice Będzińskie — nieczynny kamieniołom

Table 4. Distribution of dip directions of systematic joints comprised by Kołmogorow–Smirnow test with level of significance $\alpha = 0,05$, Zawarpie and Ząbkowice Będzińskie — closed quarry

L.p. klas	Liczebności klas		Liczebności skumulowane		Częstości skumulowane		$ F_{im} - F_{in} $
	m_i	n_i	m_{isk}	n_{isk}	$F_{im} = \frac{m_{isk}}{M}$	$F_{in} = \frac{n_{isk}}{N}$	
1	0	9	0	9	0	0,04736842	0,047368
2	5	9	5	18	0,12820512	0,09473684	0,033468
3	7	7	12	25	0,30769230	0,13157894	0,176113
4	2	2	14	27	0,35897435	0,14210526	0,216869
5	0	3	14	30	0,35897435	0,15789473	0,201079
6	0	4	14	34	0,35897435	0,17894736	0,180026
7	4	14	18	48	0,46153846	0,25263157	0,208906
8	5	6	23	54	0,58974359	0,28421052	0,305533
9	1	2	24	56	0,61538461	0,29473684	0,320647 D
10	0	11	24	67	0,61538461	0,35263157	0,262753
11	2	29	26	96	0,66666666	0,50526315	0,161403
12	4	19	30	115	0,76923076	0,60526315	0,163967
13	0	5	30	120	0,76923076	0,63157894	0,137651
14	0	9	30	129	0,76923076	0,67894736	0,090283
15	0	11	30	140	0,76923076	0,73684210	0,032388
16	2	32	32	172	0,82051282	0,90526315	0,084750
17	6	9	38	181	0,97435897	0,95263157	0,021727
18	1	9	39	190	1	1	0

D = 0,3206
 $\lambda_{0,05} = 1,358$
 $\lambda = 1,824$

Tab. 5. Wyniki porównywania rozkładów azymutów upadu spękań ciosowych testem D Kołmogorowa Smirnowa na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ Table 5. Results of comparison of distributions of dip directions of systematic joints by Kołmogorow–Smirnow test with level of significance $\alpha = 0,05$

	Brudzowice Południe	Trzebiesławice	Chruszczobród	Ujejsce Podrowce	Ujejsce – Pańska Góra	Warężyn	Zawarpie	Ząbkowice Będzińskie —nieczynny kamieniołom	Strzemieszycy–Srocza Góra	Stary Olkusz
Brudzowice Południe	X	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Trzebiesławice	–	X	+	–	+	+	+	+	+	+
Chruszczobród	–	+	X	–	–	+	+	–	+	+
Ujejsce Podrowce	–	–	–	X	+	–	–	–	+	–
Ujejsce– Pańska Góra	–	+	–	+	X	–	–	+	–	+
Warężyn	–	+	+	–	–	X	+	–	–	+
Zawarpie	–	+	+	–	–	+	X	–	–	–
Ząbkowice Będzińskie nieczynny kamieniołom	–	+	–	–	+	–	–	X	–	+
Strzemieszycy–Srocza Góra	–	+	+	+	–	–	–	–	X	–
Stary Olkusz	–	+	+	–	+	–	–	+	–	X

(+) – różnica w rozkładzie kierunków nieistotna — difference in direction distribution insignificant

(–) – różnica w rozkładzie kierunków istotna — difference in direction distribution significant

W pozostałych pięciu odkrywkach (ryc. 3, diagramy 6–10) jedynymi dominującymi zespołami są A lub B. Inne zespoły także występują, ale zaznaczają się na ich tle bardzo słabo lub całkowicie zanikają. Na omawianym obszarze cios A i B tworzy układ dwóch prawie ortogonalnie sprzężonych zespołów. Drugi system, znany z opisu innych autorów, składający się z zespołów C i D, jest słabo zauważalny w porównaniu do AB. Szczególnie słabo zaznacza się zespół D.

Dyskusja wyników

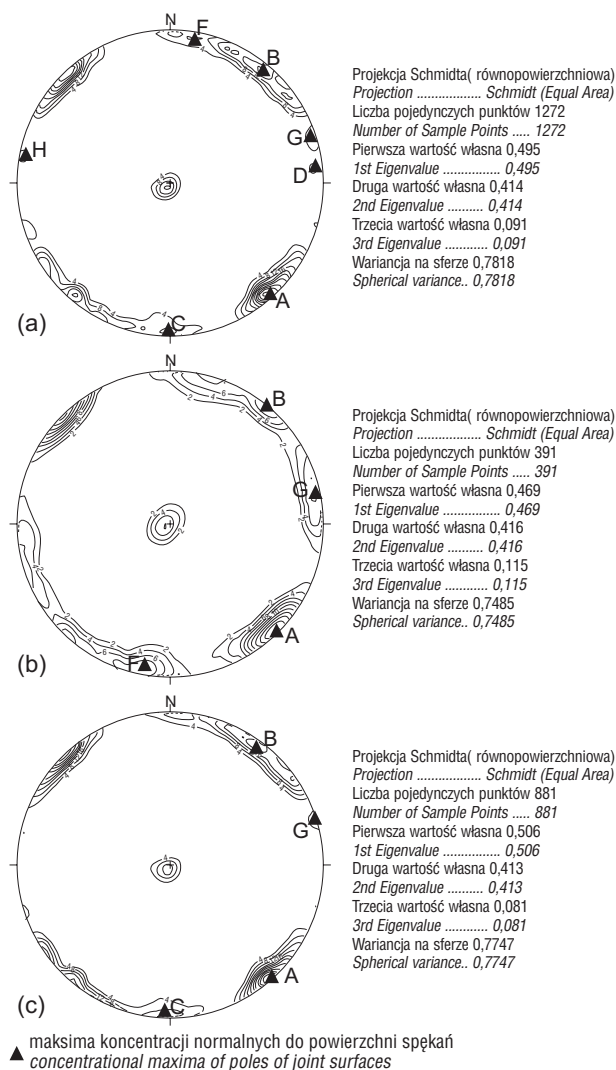
Z interpretacji diagramu zbiorczego wynika, że na całym rozpatrywanym obszarze najwyraźniej na tle regionalnym zaznaczają się spękania o przebiegu NE–SW (ryc. 4). Spękania o tych biegach odgrywają pierwszoplanową rolę. Cechują się nieznacznymi wahaniami orientacji przestrzennej powierzchni spękań, oraz największą frekwencją występowania. Zespół ciosu o takim biegu jest oznaczony na diagramie jako zespół A i często występuje w postaci spękań przewodnich. Drugim wybijającym się na tle regionalnym jest zespół o przebiegu NW–SE. Nie jest on już tak bardzo wyeksponowany jak zespół A, ponieważ wykazuje już pewne rozciągnięcie azymutalne. Zespół ten został oznaczony na diagramie jako B i reprezentuje drugi zespół często występujący w postaci spękań przewodnich. Na omawianym obszarze cios A i B tworzy układ dwóch prawie ortogonalnie sprzężonych zespołów (pionowych lub prawie pionowych), z tym że zespół A odznacza się większą intensywnością występowania i stałością kierunków. Podobną zależność zauważył Górecki (1977) podczas badania ciosu w kopalni „Bolesław”. Na diagramie zbior-

czym można wyróżnić dwa podrzędne maksima (ryc. 4b) należące do zespołu F (biegi WNW–ESE) oraz G (biegi NNW–SSE). Kierunki te lokalnie mogą przybierać duże znaczenie (ryc. 3, diagram 1, 3, 5) a ich intensywność pojawiania się czasem jest większa niż spękań należących do głównych zespołów A oraz B. Inne zespoły spękań znane z literatury dotyczącej triasu monokliny śląsko-krakowskiej reprezentujące biegi N–S oraz W–E odgrywają podrzędną rolę. Jeżeli zespół o przebiegu W–E (na diagramie oznaczony jako C) jest jeszcze dość dobrze dostrzegalny, to N–S (oznaczony na diagramie jako D) prawie całkowicie gubi się na tle całej populacji ciosu.

Wyniki badań prowadzonych przez innych badaczy zajmujących się tematyką ciosu w utworach triasu na obszarze śląsko-krakowskim wskazują na to, że w zdecydowanej większości mamy do czynienia ze spękaniami stromymi o tendencjach katetalnych do uławicenia.

Alexandrowicz i Alexandrowicz (1960) wykonując badania w okolicy Strzemieszyc i Sławkowa (południowa część obszaru badań przedstawionego przez autora niniejszego opracowania) stwierdzają dominację systemu spękań o kierunkach NW–SE i NE–SW. Znacznie słabiej zaznaczony jest system NNW–SSE i WNW–ESE, przy czym spękania te pojawiają się jedynie w północnej stronie ich obszaru badań. Najmniej licznie są reprezentowane płaszczyzny o kierunkach W–E i N–S.

Górecki (1977) prowadzący badania na obszarze kopalni „Bolesław” (na południe od omawianego obszaru badań) wyróżnia we wszystkich ogniwach litostratygraficznych triasu dwa dominujące zespoły. Pierwszy o bardziej stabilnych kierunkach NE–SW i większej intensywności występowania, drugi o kierunku NW–SE.



Ryc. 4. Diagramy zbiorcze sieci ciosu w utworach węglanowych triasu; a — dla wszystkich odkrywek, b — dla odkrywek 1, 3–5; c — dla odkrywek 2, 6–10

Fig. 4. Summary diagrams of joint net within Triassic carbonate sediments; a — for all outcrops; b — for outcrops 1, 3–5; c — for outcrops 2, 6–10

Inne słabo zaznaczające się kierunki przyrównuje do losowo zorientowanego tła. W kopalni „Pomorzany” Kibitlewski i Górecka (1988) wyróżniają jako dominujące, kierunki NW–SE i WNW–ESE, zwracają też uwagę na kierunek N–S oraz NE–SW.

Podobne wyniki przedstawił również Koziół (1953) wykonując badania w utworach triasowych we wschodniej części niecki bytomskiej. Jednak w pracy tego autora należałoby też zwrócić uwagę na cios o kierunku NNE–SSW pojawiający się wyraźnie w sześciu na dziesięć podanych diagramów.

Prowadzący badania w południowej części rozpatrywanego obszaru Teper i in. (1986) stwierdzili dominujące zespoły ciosu o biegach NE–SW i NW–SE oraz słabiej zaznaczające się zespoły o biegach zbliżonych do NNE–SSW oraz WNW–ESE

W obszernym opracowaniu Śliwińskiego (1964) prowadzącego badania geologiczne w obszarze siewierskim (północna i środkowa część omawianego obszaru badań), na temat orientacji ciosu można przeczytać praktycznie

jedno zdanie, gdzie wspomniane jest o szczelinach mających bieg SW–NE zaznaczających się w ciosie.

Wyniki badań wymienionych autorów nad orientacją ciosu w utworach triasu wskazują, że w południowej części obrzeżenia GZW i NE części GZW dominują spękania o kierunku prostopadłym i równoległym do NE granicy GZW (NE–SW i NW–SE). Występuje również cios o kierunku NNW–SSE i WNW–ESE, ale ten zaznacza się znacznie słabiej (tych dwóch ostatnich zespołów, np. w kopalni „Bolesław” praktycznie brak). Najsłabiej zaznacza się cios o przebiegu równoleżnikowym i południkowym. Autor niniejszego artykułu chce podkreślić, że przeprowadzone przez niego badania wskazują na to, iż w utworach triasu w obszarze siewierskim większe znaczenie niż gdzie indziej mają zespoły ciosu o kierunkach WNW–ESE i NNW–SSE. W skrajnym przypadku nawet większe niż dominujące powszechnie zespoły NE–SW i NW i SE.

Krokowski (1980) i Bogacz (1980) prowadząc badania w południowej części obrzeżenia GZW, w odniesieniu do genezy ciosu w piętrze alpejskim sugerują, że systemy spękań mogą być pośrednim odbiciem ortogonalnej sieci lineamentów prekambryjskich.

Prowadząc badania w NE części GZW Herbich (1981) zauważa, że utworzona podczas ruchów warwscyjskich sieć uskoków w karbonie była reprodukowana w utworach młodszych, w tym także utworach triasu. Zauważa przy tym, że pomiędzy powierzchnią ciosu a powierzchnią uskoku często zachowana jest równoległość. Dzieje się tak, gdy stan naprężeń nie stwarza już możliwości do powstania powszechnych przemieszczeń i wówczas mogą utworzyć się spękania ciosowe równoległe i prostopadłe do kierunków uskoków.

Badający utwory triasu Teper i in. (1986) sugerują, że stwierdzone zespoły ciosu o biegach NE–SW i NW–SE należy rozpatrywać jako zbiory spękań związane geometrycznie z systemami struktur kompresyjnych i tensyjnych, natomiast zespoły o biegach zbliżonych do NNE–SSW oraz WNW–ESE należy uznać za system spękań ścinających związanych geometrycznie z uskokami przesuwczymi. W przypadku zespołu WNW–ESE deformacje można kojarzyć z uskokami drugorzędowymi typu A występującymi nad uskokiem głównym, w przypadku zespołu NNE–SSW natomiast z kulisowym szeregiem uskoków przesuwczych tworzących się w pokrywie nad uskokiem głównym. Powstanie struktur tektonicznych jest tu łączone z regionalną transtensją zachodzącą w warunkach zbliżonych do „czystego ścinania”.

Według Żaby (1999) regionalna sieć spękań i mezo-uskoków całego kompleksu permsko-mezozoicznego stanowi w dużej mierze odzwierciedlenie ogólnych założeń planu strukturalnego starszego podłoża. Charakteryzuje się ona wielofazowym rozwojem począwszy od wczesnego triasu po miocen. Rozwój spękań był uwarunkowany postępującą rotacją kierunków tektonicznych oraz zmiennym charakterem układów głównych naprężeń. W wielu przypadkach powierzchnie ścięć mają charakter wtórny, gdyż wymuszona przez plan tektoniczny podłoża przestrzenna orientacja nie stanowiła odbicia panujących w danych okresach stanów naprężeń. Większość głównych zespołów spękań przewodnich zostało już zainicjowanych we wczesnym triasie podczas pionowej ruchliwości dna zbiornika. Wówczas układ naprężeń sprzyjał normalnemu

uskokowaniu, a także wykształceniu ciosu o kierunku NE–SW. Następnie układ naprężeń zaczął stopniowo ulegać zmianie powodując deformacje o charakterze przesuwczym — prawoskrętnym. Rotacja osi głównych naprężeń δ_1 względem nieciągłości występujących w starszym podłożu, powodowała przesuwczę uaktywnianie się coraz to nowych zespołów nieciągłości, jak też otwieranie się kolejnych zespołów spękań ekstensyjnych. Na przykład, w pewnych okresach rolę głównej płaszczyzny poślizgów przesuwczych prawoskrętnych mógł przejąć zespół przewodnich nieciągłości występujących w podłożu o kierunku NW–SE.

Niniejsze opracowanie jest częścią pracy doktorskiej będącej w fazie opracowywania wyników. Obecnie prowadzone są jeszcze badania orientacji i gęstości spękań metodą płytkiej sejsmiki refrakcyjnej w miejscach niedostępnych dla badań bezpośrednich. Dlatego autor na razie nie wnika w tematykę przyczyn zróżnicowania orientacji spękań, nie chcąc wyciągać zbyt pochopnych wniosków. Wnioski odnośnie genezy ciosu i przyczyn jego zróżnicowania badanym obszarze zostaną podane w odrębnej publikacji, dopiero po zakończeniu wszystkich badań w tym także badań sejsmicznych

Wnioski

1. W wyniku analizy kierunkowej wyróżniono osiem zespołów spękań o azymutach upadu:

- 310–330° i 130–150° (zespół A)
- 30–55° i 210–235° (zespół B)
- 170–190° i 350–10° (zespół C)
- 80–100° i 260–280° (zespół D)
- 335–350° i 155–170° (zespół E)
- 10–30° i 190–210° (zespół F)
- 240–260° i 60–80° (zespół G)
- 100–125° i 280–305° (zespół H)

pięć z nich (A, B, C, F, G) odgrywa duża rolę. Reszta jest reprezentowana w sposób mało istotny.

2. Spękania ciosowe tworzą zespoły spękań pionowych lub prawie pionowych, odznaczające się katetalnym stosunkiem do uławicenia. Odstępstwa od tej reguły można jedynie zaobserwować w rzadko występujących marglach.

3. Najwyraźniej na tle regionalnym zaznaczają się spękania o przebiegu NE–SW, są one zaznaczone na diagramie konturowym jako zespół A.

4. Drugim wybijającym się na tle regionalnym jest zespół o przebiegu NW–SE. Nie jest on już tak bardzo wyeksponowany jak zespół A, ponieważ na diagramie wykazuje pewne rozciągnięcie azymutalne. Zespół ten oznaczony został na diagramie konturowym jako B.

5. W północnej i środkowej części badanego obszaru, bardziej niż w pozostałych częściach pokrywy triasu śląsko-krakowskiego, zaznaczają się zespoły ciosu o kierunkach WNW–ESE (zespół F) i NNW–SSE (zespół G). Daje się to zaobserwować w odkrywkach 1, 3–5, gdzie odgrywają one ważną lub w skrajnym przypadku nawet dominującą rolę.

6. Na podstawie dokonanych obserwacji daje się zauważyć, że w badanych odkrywkach dużej zmienności ulegają względne stosunki frekwencyjne pomiędzy poszczególnymi zespołami spękań. Zmienia się także orientacja ciosu.

7. Intensywność występowania głównych kierunków ciosu oraz jego orientacja zmieniają się w zależności od współrzędnych geograficznych.

8. Obserwuje się znaczne różnice pomiędzy średnim odstępem rzeczywistym spękań dla tych samych zespołów w różnych odkrywkach.

9. Zmienność nie wykazuje raczej związku z pozycją stratygraficzną, gdyż mamy tu do czynienia jedynie z dwoma mało miąższymi podpiętrami wapienia muszlowego.

10. Spękania ciosowe mogą być jeszcze w trakcie rozwoju, gdyż spękania o małych długościach lub spękania mało wyraźne należą często do tych samych zespołów, co wyraźne spękania przewodnie.

Literatura

- ALEXANDROWICZ S. W. & ALEXANDROWICZ Z. 1960 — Utwory triasowe w okolicach Strzemieszyc i Sławkowa. Biul. Inst. Geol., 152.
- BILAN W. & KROKOWSKI J. 1973 — A structural analysis of joints and gypsum veins of Sławków clays. Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci., 21: 215–223. PWN.
- BOGACZ K. 1980 — Budowa geologiczna paleozoiku dębnickiego. Roczn. Pol. Tow. Geol. Ann. Soc. Geol. Pol., 50: 183–208.
- BOGACZ W. & KROKOWSKI J. 1981 — Rotation of the Basement of the Upper Silesian Coal Basin. Ann. Soc. Geol. Pol., 51: 361–381.
- DŻUŁYŃSKI S. 1953 — Tektonika południowej części Wyżyny Krakowskiej. Acta Geol. Pol., 3: 376–418.
- GÓRECKI J. 1977 — Orientacja przestrzenna i wykształcenie spękań w utworach triasowych kopalni „Bolesław” k. Olkusza. Prz. Geol., 25: 556–558.
- HERBICH E. 1981 — Analiza tektoniczna sieci uskokuwej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Ann. Soc. Geol., 51: 383–434.
- IDZIAK A. & TEPEL L. & CABALA J. 1991 — Shallow seismic method as a tool for resolving tectonic problems: the northeast border of the Upper Silesian coal Basin. Act. Geoph. Pol., 39: 293–309.
- JAROSZEWSKI W. 1994 — Spękania [W:] Dadlez R. & Jaroszewski W. — Tektonika, PWN, Warszawa: 215–268.
- KIBITLEWSKI S. & GÓRECKA E. 1988 — O strukturach tektonicznych w dolomitach kruszonośnych w kopalni Pomorzany (olkuski rejon złóż Zn–Pb). Prz. Geol., 36: 408–412.
- KONDRACKI J. 1998 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOZIOL S. 1953 — Wykształcenie ciosu w karbonie i nadkładzie triasowym w północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Biul. Inst. Geol., 219.
- KROKOWSKI J. 1974 — Statystyczne opracowanie spękań ciosowych wapieni środkowego triasu i górnej jury między Krakowem i Chrzanowem. Z. Nauk. AGH, Geologia, 19: 45–65.
- KROKOWSKI J. 1977 — Metody statystyczne w strukturalnej analizie spękań. W: Liszkowski J. Stochlak J. (red.), Szczelinowatość masywów skalnych. Wyd. Geol.: 141–172.
- KROKOWSKI J. 1980 — Tektonika piętra waryscyjskiego w świetle badań drobnostrukturalnych. Roczn. Pol. Tow. Geol., 50: 209–246.
- LISZKOWSKI J. & STOCHLAK J. 1977 — Bezpośrednie metody badań szczelinowatości w powierzchniowych punktach badawczych (odsłonięciach naturalnych i sztucznych) [W:] Liszkowski J. & Stochlak J. (red.) — Szczelinowatość masywów skalnych. Wyd. Geol.: 54–58.
- NIEĆ M. & SZCZEPAŃSKA J. 1968 — Porównywanie diagramów spękań metodami statystycznymi. Kwart. Geol., 12: 985–989.
- RUDKOWSKI F. 1926 — O tektonice karbonu we wschodniej części okręgu Dąbrowskiego. Spraw. Państw. Inst. Geol., 3: 502–584.
- ŚLIWIŃSKI S. 1964 — Geologia obszaru siewierskiego. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. Pol. Akad. Nauk Oddz. w Krakowie, 25: 54–56.
- TEPEL L. & HOLLEK IDZIAK J. & IDZIAK A. 1986 — Cios w dolnym wapieniu muszlowym nad rozłamek Kraków—Myszków. Rudy Metale, 31: 106–109.
- ZNOSKO J. 1953 — Budowa geologiczna okolic Błędowa i Niegowonic koło Olkusza. Biul. Inst. Geol., 74.
- ŻABA J. 1999 — Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. Pr. Państw. Inst. Geol., 166: 85–90.