

KOMPLEMENTARNE STREFY KATAKLAZY W PIASKOWCACH SYNKLINORIUM PÓŁNOCNOSUDECKIEGO

UKD 551.24:552.513(438:234.57)

Synklinorium północnosudeckie (ryc. 1) jest strukturą laramijską utworzoną w obrębie epiwaryscyjskiej pokrywy platformowej Sudetów. Pokrywa ta zaczęła rozwijać się w górnym karbonie (9) i zalega niezgodnie na metamorficznym kompleksie kaczawskim sensu (16). W wyniku posantońskiej aktywności tektonicznej epiwaryscyjska pokrywa platformowa uległa deformacji, której rezultatem jest struktura określana mianem synklinorium północnosudeckiego. Struktura ta reprezentuje saksoński (sensu Stille – 14) styl tektoniki.

Osie laramijskich struktur synklinorium północnosudeckiego przebiegają w kierunkach NW–SE i WNW–ESE. Struktury te często mają charakter półtrówów i półzrębów. Upad warstw jest przeważnie niewielki. Jedynie w pobliżu uskoku dochodzi do zestromienia warstw, a niekiedy nawet do ich obalenia.

Najczęstszymi strukturami dostępnymi do obserwacji w odsłonięciach są spękania. Przy ich opisie zastosowano terminologię zaproponowaną przez W. Jaroszewskiego (6). Równoległe do kierunków osi fałdów (półtrówów i półzrębów) przebiegają dwa zespoły ciosu podłużnego (ryc. 2). Zachowują one pozycję katetalną i w warstwach nachylnych zapadają w kierunkach NNE i NE oraz przeciwnych. Prostopadłe do struktur synklinorium przebiegają spękania ciosu poprzecznego (ryc. 2). Są one najczęściej pionowe i prostopadłe do warstw.

Obok spękań katetalnych, w synklinorium północnosudeckim dobrze wykształcone są zespoły oryginalnych, komplementarnych stref kataklazy (KSK), skośnych względem uławicenia. Zespoły te przecinają się pod kątem ostrym. Dwuściana kąta ostrego jest równoległa do uławicenia, a dwuściana kąta rozwartego prostopadła i zachowuje pozycję katetalną. Zespoły KSK są szczególnie dobrze wykształcone w piaskowcach dolnotriasowych i koniackich. Stwierdzono je w licznych odsłonięciach na całym obszarze synklinorium na zachód od Twardocic.

KOMPLEMENTARNE STREFY KATAKLAZY W PIASKOWCACH DOLNOTRIASOWYCH

Utwory dolnego triasu (pstry piaskowiec) odsłaniają się głównie w południowej części synklinorium północnosudeckiego. Obecność KSK stwierdzono w wielu odsłonięciach (ryc. 1). Zjawisko niszczenia skały wiąże się z silnym rozdrobnieniem ziarna (ryc. 3), a niekiedy z jego rekrytalizacją. W piaskowcach dolnotriasowych, a częściowo także koniackich, występują trzy typy morfologiczne stref kataklazy, różniące się m.in. stopniem zaawansowania procesu zniszczenia (ryc. 4).

Typ A występuje w obrębie ławic o znacznej miąższości. Składa się on z pojedynczych, nieznacznej długości stref kataklazy przecinających się w środku ławicy. Nie do-

chodzą one ani do spągu, ani do stropu ławicy, lecz najczęściej kończą się strukturami typu koński ogon, które są rezultatem rozwidlania się propagującej strefy kataklazy.

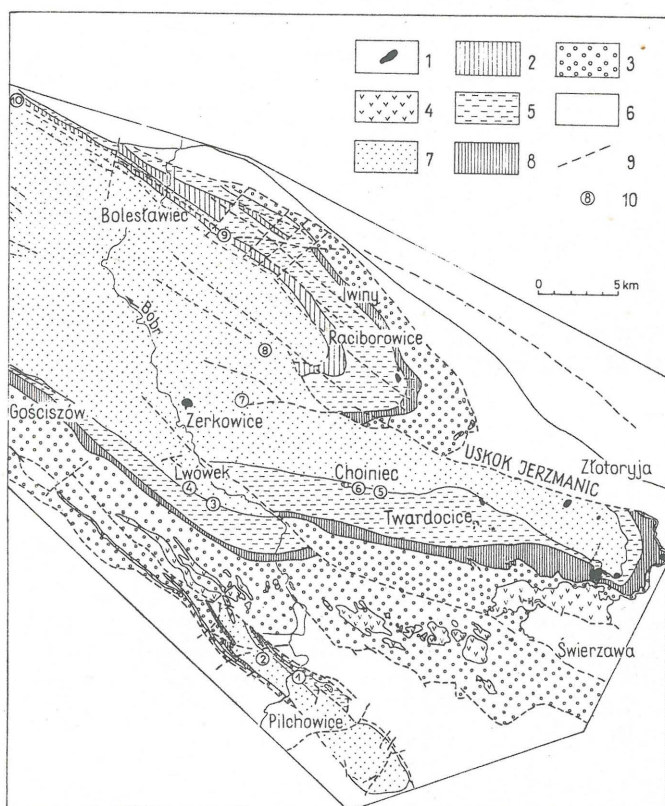
Typ B występuje w obrębie ławic o nieznacznej miąższości. Składa się on z siatki stref kataklazy. Sieć ta jest utworzona przez dwa zespoły sprzężonych, przecinających się pod kątem ostrym planarnych stref kataklazy. Poszczególne strefy oddalone są od siebie o kilka centymetrów, a ich grubość wynosi kilka milimetrów. Strefy kataklazy przecinają całą ławicę od spągu do stropu i krzyżują się w jej środku.

Typ C występuje w obrębie ławic o miąższości kilku metrów. Strefy kataklazy przecinają ławicę od stropu do spągu. Osiągają one długość kilkunastu centymetrów. Z powodu znacznych rozmiarów trudno jest zaobserwować więcej niż jedną taką strefę w skali odsłonięcia. Niekiedy w większych odsłonięciach jest widoczny zespół równoległych do siebie stref planarnych, odległych o kilka metrów. Sporadycznie można obserwować drugi sprzężony zespół, wówczas punkt przecięcia wypadła w pobliżu środka ławicy.

W poszczególnych odsłonięciach występują różne typy KSK. Typ A widoczny jest w odsłonięciu 5, położonym ok. 1 km na SSE od Choinca. Typ B jest najlepiej wykształcony

w najwyższej części utworów pstrego piaskowca – w ławicy o miąższości ok. 0,5 m, odsłaniającej się bezpośrednio pod spągami zlepionca cenomańskiego, w obrębie skałek tzw. Szwajcarii Lwóweckiej (odsłonięcie 3, ryc. 1) i w nieczynnym kamieniołomie we Lwówku, położonym przy szosie do Gryfowa (odsłonięcie 4, ryc. 1). Strefy kataklazy z tego ostatniego odsłonięcia opisał J. Milewicz (8) jako żyły kwarcowe. W tymże odsłonięciu, ok. 10 m poniżej spągu cenomanu, występuje też typ C. Pojedyncze strefy kataklazy tego typu stwierdzono w nieczynnym kamieniołomie położonym na północ od Łazisk (odsłonięcie 9, ryc. 1).

Orientacja wszystkich typów KSK w zbadanych odsłonięciach jest stała. W stosunku do struktur synklinorium zajmują one pozycję analogiczną do spękań i uskoków odwróconych towarzyszących procesowi zginania (por. 7, ryc. 274). Jeden z zespołów KSK zapada ku NE, a drugi ku SW. Można zauważyć (ryc. 5) lekką bimodalność, wskazującą na istnienie w obrębie zespołu zapadającego ku NE, dwóch podzespołów o biegach NW–SE i WNW–ESE. Podobne zjawisko jest widoczne w obrębie zespołu zapadającego ku SW. Bimodalność ta odpowiada bimodalności osi fałdów i ciosu katetalnego. Próbie jej wytłumaczenia można podjąć bazując na modelu Z. Rechsa (10),

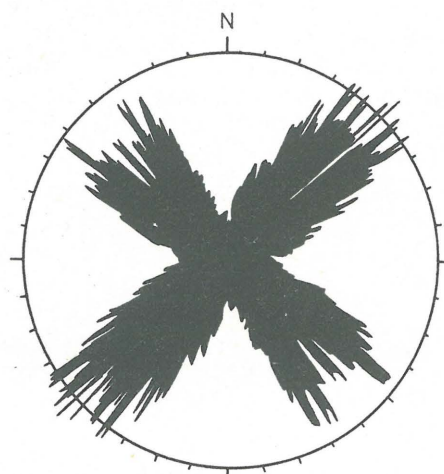


Ryc. 1. Mapa wschodniej części synklinorium północnosudeckiego, wg A. Soleckiego (13), uproszczona

1 – wulkanytry trzeciorzędowe, 2 – wulkanytry permieńskie, 3 – górna kreda, 4 – wapień muszlowy, 5 – pstry piaskowiec, 6 – cechsztyń, 7 – czerwony spągowiec, 8 – epimetamorficzne skały kompleksu kaczawskiego, 9 – uskoki, 10 – odsłonięcia

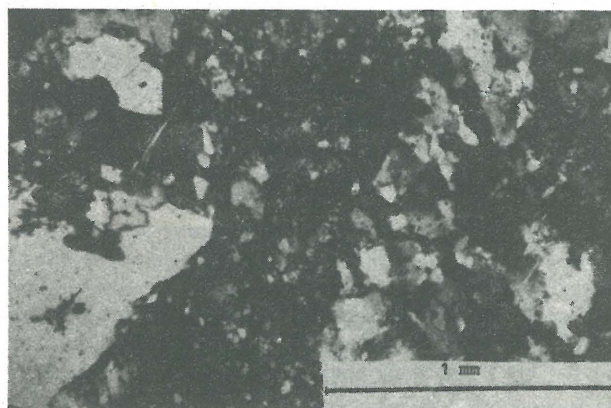
Fig. 1. Map of the eastern part of the North-Sudetic Synclinorium (after 13, simplified)

1 – Tertiary volcanic rocks, 2 – Permian volcanic rocks, 3 – Upper Cretaceous, 4 – Muschelkalk, 5 – Buntsandstein, 6 – Zechstein, 7 – Rotliegendes, 8 – epimetamorphic rocks of the Kaczawa complex, 9 – faults, 10 – outcrops



Ryc. 2. Orientacja ciosu katetalnego w synklinorium północnosudeckim (histogram wykonano przy użyciu ZX-Spectrum dla 809 pomiarów w przedziałach jednostopniowych i wygładzono przy użyciu średniej ruchomej o przedziale 12°)

Fig. 2. Kathetal joints orientation (diagram for 809 measurement, prepared with the ZX-Spectrum, calculated in one-degree intervals next smoothed by the moving point average of 12 degree interval)



Ryc. 3. Mikroskopowy obraz strefy kataklazy

Fig. 3. Zone of the cataclasis, thin section

bądź też przyjmując dwa kierunki kompresji działającej na fałdowane utwory synklinorium.

Model Z. Rechesa (10) zakłada, że przy trójosiowym stanie naprężeń będą powstawały nie dwa, a cztery zespoły ścieg komplementarnych, ułożone w sposób analogiczny do opisywanego przypadku. Podkreślić należy, że model ten został potwierdzony eksperymentalnie (11), ale nie został dostosowany do spękań towarzyszących fałdom. W przypadku przyjęcia tego modelu powstanie obserwowanych KSK wiązałoby się z jednym epizodem kompresji o kierunku NE – SW.

Intrygującym zjawiskiem jest brak widocznych przesunięć związanych z KSK. Proces zniszczenia został „zamrożony” na etapie powstawania stref i nie doszło do powstania uskoków. Zgodnie z często wyrażaną opinią (3, 4, 12) tak daleko zaawansowana kataklaza ziarna (ryc. 3) i znaczna grubość stref kataklazy powinny wiązać się z przesunięciami rzędu kilkudziesięciu centymetrów, a nawet kilku metrów. Wyjaśnieniem tego paradoksu może być zjawisko wzmocnienia porowatych piaskowców w trakcie rozwoju procesu ścinania (stress hardening), opisane przez A. Aydina (1). Zdaniem tego autora, w rezultacie kataklazy i wzrostu ilości kontaktów międzyziarnowych dochodzi do usztywnienia i wzmocnienia strefy kataklazy. Strefa ta staje się bardziej sztywna i wytrzymała. Można sądzić, że przy powtarzających się naciskach, nierozkruszona („niewzmocniona”) skała otaczająca strefę kataklazy ulega oscylacyjnym przemieszczeniom w stosunku do bardziej sztywnej strefy skataklazowanej. Ten względny ruch prowadzi do lateralnego przyrostu strefy kataklazy przez rozwój nowych stref równoległych do już istniejącej. Zjawisko to ułatwia także tworzenie KSK. Sztywna sieć stref kataklazy penetrująca skałę zapobiega następnie powstawaniu większych przemieszczeń.

Dobrym przykładem ilustrującym omawiane zjawisko jest niewielka skała w środkowej części nieczynnego kamieniołomu we Lwówku (odsłonięcie 4, ryc. 1). Na

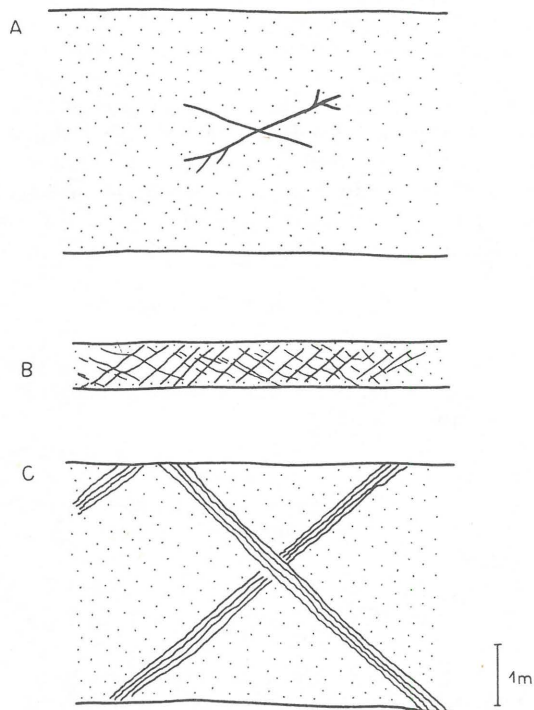
powierzchni skałki widoczna jest gęsta sieć stref kataklazy nałożona na warstwowanie przekątne. Brak tu widocznego zniekształcenia pierwotnych struktur sedymentacyjnych (ryc. na okładce).

KOMPLEMENTARNE STREFY KATAKLAZY W PIASKOWCACH KONIACKICH

Piaskowce koniackie wyróżniają się wśród utworów górnokredowych tym, że są drobno- i równoziarniste, a także występowaniem w formie kilkumetrowych ławic. Obecność KSK w utworach górnokredowych jest ograniczona do tych utworów. Brak tych struktur nawet w utworach cenomańskich zalegających na tych ławicach piaskowców dolnotriasowych, które są pocięte gęstą siecią KSK. Morfologicznie podobne struktury ścięciowe związane z kataklazą ziarna występują niekiedy w piaskowcach cenomańskich i turońskich, lecz wiążą się one z przebiegiem stref uskokowych i nie zachowują prawidłowej pozycji w stosunku do uławicenia. Przykładem tego typu zjawisk mogą być ścięcia obserwowane w niewielkiej skałce na południowym zboczu doliny Chrośnickiego Potoku (odsłonięcie 1, ryc. 1) i w skałkach na zachodnim brzegu Kwisy (odsłonięcie 10, ryc. 1).

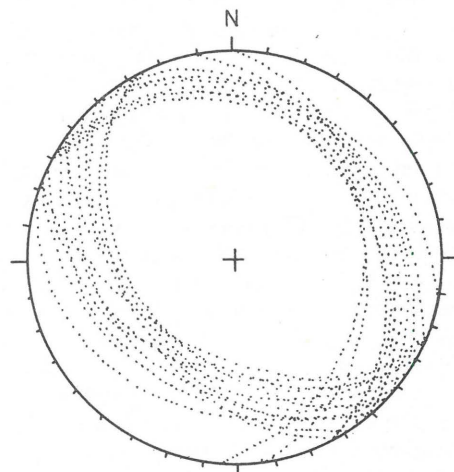
Piaskowce koniackie odsłaniają się w dwóch izolowanych obszarach. Obszar południowy leży w środkowej części rowu Wlenia (odsłonięcie 2, ryc. 1); obszar północny znajduje się na północ od Żerkowic, w środkowej części synkliny Bolesławca. Obecność KSK stwierdzono w odsłonięciach 2, 7, 8 (ryc. 1), a także w licznych odsłonięciach rozrzuconych w zachodniej części synklinorium północnosudeckiego, poza obszarem mapy. Zebrane obserwacje pozwoliły stwierdzić, że w piaskowcach koniackich dominującym typem KSK jest typ C. Dominacja tego typu wiąże się z gruboławicową formą występowania piaskowców. W obrębie obszaru ujętego na załączonej mapie typ C występuje w odsłonięciu 8, w nieczynnych łomach położonych na wschód od Żeliszowa.

Unikatową strukturę ścięciową (ryc. 6) stwierdzono w nieczynnym łomie położonym na NE od Gaszowa (odsłonięcie 6, ryc. 1). Struktura ta jest przykładem słabo zaawansowanego procesu zniszczenia i porównywana być może z typem A. Występuje ona w środkowej części ławicy



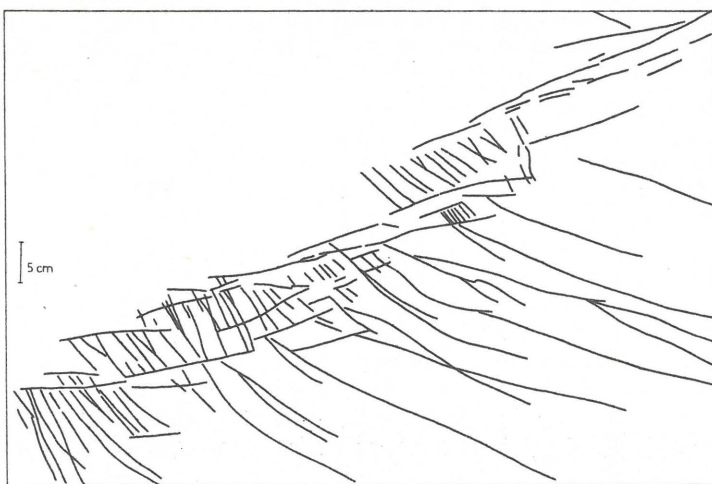
Ryc. 4. Typy komplementarnych stref kataklazy (KSK)

Fig. 4. Types of the conjugate cataclastic zones



Ryc. 5. Orientacja KSK w odsłonięciu 3 (łuki płaszczyzn w projekcji na górną półkulę, diagram wykonano przy użyciu ZX-Spectrum)

Fig. 5. Orientation of the conjugate cataclastic zones in the outcrop 3 (the upper hemisphere projection prepared with ZX-Spectrum microcomputer)



Ryc. 6. Struktura ścięciowa w piaskowcu koniackim, odsłonięcie 7

Fig. 6. En echelon shear zones with the second order Riedel shears in the Coniacian sandstone, outcrop 7

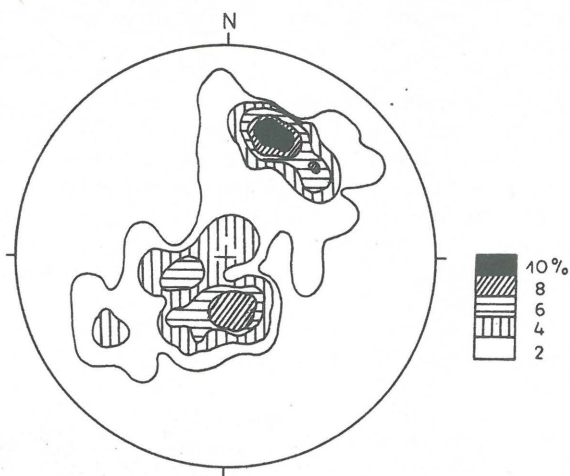
o miąższości ok. 4 m. Proces zniszczenia skały nie przebiegał w tym przypadku wzdłuż dwóch sprzężonych płaszczyn, lecz wiązał się z szeregiem kulisowo ułożonych spękań głównych. Spękania te wykształciły się w formie planarnych stref kataklazy o grubości ok. 1 mm. Z powierzchniami spękań głównych są związane dwa zespoły ścięć pochodnych (drugiego rzędu). Dochodzą one pod kątem ostrym do powierzchni spękań głównych i przecinają się wzajemnie pod kątem ostrym. Spękania te przypominają zatem ścięcia R' i R'' Riedla (Riedel shears, por. 2, 5, 15). W pobliżu powierzchni spękań głównych zaznacza się zestromienie ścięć pochodnych. Jest to prawdopodobnie rezultat częściowo podatnego odkształcenia skały.

Orientacja KSK w piaskowcach koniackich nie różni się od tejże w piaskowcach dolnotriasowych. I tutaj zaznacza się lekka bimodalność orientacji (ryc. 7), sugerująca istnienie zespołów o biegach NW-SE i WNW-ESE. Analogiczne są także wnioski dotyczące pola naprężeń.

WNIOSKI

W obrębie piaskowców synklinorium północnosudeckiego stwierdzono KSK jednorodne pod względem morfologii i orientacji. Nieznaczne różnice morfologiczne wynikają głównie ze zróżnicowania piaskowców. Orientacja tych struktur wskazuje, że kształtowały się one w polu naprężeń związanym z podkredowym (laramijskim) rozwojem struktury fałdowej synklinorium. W utworach pstrego piaskowca i piaskowcach koniackich zauważa się lekką bimodalność orientacji KSK. Bimodalność ta wyraża się istnieniem zespołów o biegach NW-SE i WNW-ESE, analogicznych do przebiegu głównych struktur synklinorium.

Istotny wpływ na rozwój KSK miało uławicenie. Zaczętkowanie procesu zniszczenia zachodziło zazwyczaj w pobliżu środka ławicy (typ A). W zależności od miąższości ławicy dochodziło do powstania zróżnicowanych struktur (typy B i C). Powierzchnie oddzielności ławicowej stanowią najczęściej granicę rozwoju poszczególnych stref kataklazy. Strefy sprzężone są ułożone symetrycznie w stosunku do lokalnego kierunku upadu warstw, który pokrywa się z orientacją dwusiecznej kąta ostrego między płaszczyznami dwóch sprzężonych zespołów. Dwusieczna kąta rozwartego jest zorientowana prostopadle do uławicenia, bez względu na pozycję warstw (katetalnie).



Ryc. 7. Orientacja KSK w piaskowcach koniackich synklinorium północnosudeckiego (143 pomiary, górna półkula, odrys diagramu wykonanego przy użyciu ZX-Spectrum)

Fig. 7. Orientation of the conjugate cataclastic zones of the coniacian sandstones of the North-Sudetic Synclinorium (143 measurements, upper hemisphere, prepared with the ZX-Spectrum, next redrawn)

Sprężone zespoły KSK powstały prawdopodobnie jednocześnie w wyniku procesu ścinania; można je więc określić mianem komplementarnych. Występowanie KSK jest ograniczone do dwóch horyzontów piaskowców: dolnotriasowego i koniackiego. Prawdopodobnie wiąże się to z przebiegiem powierzchni neutralnej w fałdach. Piaskowce dolnotriasowe mogły znajdować się poniżej powierzchni neutralnej w antyklinie (półrzębie), a piaskowce koniackie — powyżej tej powierzchni w synklinie. Powierzchnia neutralna przebiegała prawdopodobnie w obrębie utworów cenomanu i turonu. Skokowy zanik KSK na granicy utworów dolnotriasowych i cenomańskich wynika częściowo z gruboziarnistego charakteru tych ostatnich i pokrywania się w tym przypadku przebiegu powierzchni (strefy) neutralnej z granicą litologiczną.

Przedstawiony materiał stanowi fragment pracy doktorskiej wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. Ireny Wojciechowskiej, której pragnę serdecznie podziękować. Pragnę podziękować także prof. dr hab. Wojciechowi Jaroszewskiemu za dyskusję. Osobne podziękowania należą się dr Ryszardowi Kryzie i mgr Jerzemu Stachowiakowi za pomoc w wykonaniu zamieszczonych fotografii. Mgr Kalinie Dymnej dziękuję za wykreślenie rycin.

LITERATURA

1. Aydin A., Johnson A.M. — Analysis of faulting in porous sandstones. Journ. Struct. Geol. 1983 vol. 5 no. 1.
2. Bles J.L., Feuga B. — La fracturation des roches. Orleans 1981 BRM 8.
3. Draper G. — Grain size as an indication of shear strain in brittle fault zones. Tectonophysics 1976 vol. 35 no. 4.
4. Engelder J.T. — Cataclasis and the generation of fault gauge. Geol. Soc. Am. Bull. 1974 vol. 85 no. 10.
5. Jaroszewski W. — Drobnostukturalne kryteria tektoniki obszarów neorogenicznych na przykładzie północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. Stud. Geol. Pol. 1972 vol. 38.

6. Jaroszewski W. — Słownik tektoniczny (cz. IV) — drobne struktury tektoniczne w skałach osadowych. Prz. Geol. 1980 nr 10.
7. Jaroszewski W. — Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. Geol. 1981.
8. Milewicz J. — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów, arkusz Lwówek Śląski. Ibidem 1964.
9. Milewicz J., Górecka T. — Wstępne uwagi o karbonie w depresji północnosudeckiej. Kwart. Geol. 1965 nr 1.
10. Reches Z. — Faulting in rocks in three-dimensional strain fields. II Theoretical analysis. Tectonophysics 1983 vol. 95 no. 1/2.
11. Reches Z., Dietrich J.H. — Faulting of rocks in three-dimensional strain fields. I. Failure of rocks in polyaxial, servo-control experiments. Ibidem.
12. Robertson E.C. — Relationship of fault displacement to gouge and breccia thickness. Techn. Pap. Min. Engin. 1983 vol. 35 no. 10.
13. Solecki A. — Tektonika dysjunktywna i jej wpływ na warunki występowania kopalin w synklinorium północnosudeckim. Praca doktorska UW. 1987.
14. Stille H. — Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Bornträger Berlin 1924.
15. Tchalenko J.S. — The evolution of kink bands and the development of compression textures in sheared clays. Tectonophysics 1968 vol. 6 no. 2.
16. Teisseyre J. — Budowa geologiczna wschodniej części okrywy granitu Karkonoszy w okolicach Miedzianki (Sudety Zachodnie). Geol. Sudetica 1968 vol. 4.

SUMMARY

Unusual conjugate cataclastic zones in the Buntsandstein and Coniacian sandstones of the North-Sudetic Synclinorium were described. Origin of these structures was interpreted as the result of the stress field connected with the Laramian folding of the area.

Two directions (NW—SE and WNW—ESE) of folds, joints and cataclastic zones were described. The possibility of the Reches's (10) model application for the explanation of this bimodality was suggested.

Various morphologic types of conjugate cataclastic zones were distinguished. The proposed classification is based on differentiated development of the shearing process.

Although shear zones with strong cataclasis can be as

thick as 15 cm, no visible displacement was found (see Fig. on the cover). This fact can be explained by the stress hardening (sensu Aydin — 1) of the shear zone in porous sandstone. During repeating cyclic compression the „hard” cataclastic zones and the „weak” sandstone behave in different manner resulting in oscillative movements at the interface hard/weak rock. In this way the lateral growth of the shear zones is performed.

No differences were found between the orientations of the cataclastic zones in the Buntsandstein and Coniacian sandstones. Occurrence of the conjugate cataclastic zones only in these two horizons can be explained by the position of the neutral plane in the folded sequence.

Translated by the author

РЕЗЮМЕ

Описана оригинальная форма сопряженных зон катаклаза в нижнетриасовых и коньякских песчаниках Северосудетского синклиория. Констатируется, что формирование этих зон происходило в поле нагрузок, связанных с ларамийской складчатостью.

Отмечается бимодальный характер осей складок, трещин и сопряженных зон катаклаза, выражающийся в наличии двух направлений простирания структур — ЗЗС—ВВЮ и СЗ—ЮВ. Для объяснения этого явления можно использовать модель Речеса (10).

Различаются морфологические типы сопряженных зон катаклаза, обусловленные разной интенсивностью процесса дробления пород. Несмотря на мощность зон катаклаза до 15 см и сильного раздробления зерен, не наблюдались смещения вдоль этих зон (рис. 6).

В итоге раздробления зерен пористых песчаников зоны катаклаза приобретали большую жесткость (1) и при деформациях пород на их границе происходило разнонаправленное смещение, вызывавшее дальнейшее дробление и горизонтальное наращивание зоны катаклаза. Даже при нулевом значении составляющей таких смещений мощность зоны катаклаза и степень раздробления зерен могут быть значительными.

Различия в ориентировке сопряженных зон катаклаза в нижнетриасовых и коньякских породах не отмечаются. Приуроченность зон катаклаза к этим двум горизонтам обусловлена, вероятно, простиранием нейтральной поверхности в складках и частично благоприятными литологическими условиями.