

Jolanta WARTOŁOWSKA-ŚWIDROWSKA

## Analiza strukturalna brachyantykliny Dobromierza (południowo-zachodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich)

### WSTĘP

Brachyantyklina Dobromierza jest najbardziej wysuniętą ku SW strukturą mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (fig. 1A). W kierunku południowo-zachodnim utwory albu i kimerydu zanurzają się pod osady kredy górnej, stanowiące północno-wschodnie skrzydło niecki Nidy. Od zachodu omawiana struktura graniczy z elewacją radomską. Budowa geologiczna okolic Dobromierza była przedstawiana wielokrotnie, m. in. w pracach H. Świdzińskiego (1932, 1935), E. Passendorfera (1923, 1924, 1927), S. Cieślińskiego (1956), H. Jurkiewicza (1965), H. Jurkiewicza, J. Wońskiego (1965), H. Jurkiewicza, Z. Kowalczewskiego, J. Wońskiego (1965) oraz J. Kutka (1968).

Artykuł niniejszy zawiera próbę analizy strukturalnej tej jednostki. Dane terenowe (obraz kartograficzny i obserwacje drobnych struktur tektonicznych) zostały zebrane w 1969 r. (J. Wartołowska, 1970), a ostatnio uzupełnione analizą zdjęć lotniczych w skali 1 : 12 500. Duży stopień odsłonięcia brachyantykliny Dobromierza pozwolił na dokładne skartowanie wychodni, a zmienność litologiczna utworów kimerydu (zastosowano wydzielenia wg J. Kutka, 1968) stanowiła szansę dla zlokalizowania uskoku.

Autorka pragnie złożyć podziękowania doc. dr hab. E. Stąpnickiej za pomoc w trakcie zbierania materiałów i przy ich wstępnym opracowywaniu oraz doc. drowi hab. W. Jaroszewskiemu za uwagi krytyczne, wskazówki i pomoc w przygotowywaniu artykułu.



## ELEMENTY BUDOWY TEKTONICZNEJ REJONU DOBROMIERZA

## BRACHYANTYKLINA DOBROMIERZA

Obserwowana na powierzchni struktura Dobromierza (fig. 1B) zbudowana jest głównie z wapieni kimerydu; w strefie jądrowej, przykrytej czwartorzędem, może występować oksford. Skrzydła brachyantykliny tworzą piaskowce albu, które wypełniają przyległą od NE synklinę Józefowa. Promień tak zarysowanego fałdu wynosi ok. 3 km, jego amplituda zaś ok. 350 m; jest to więc fałd szerokopromienny. Oś brachyantykliny o kierunku 110—115° można prześledzić w obrębie wschodni utworów jurajskich na odcinku ok. 4,3 km (długość brachyantykliny). Szerokość brachyantykliny w tych samych granicach wynosi ok. 2 km.

Brachyantyklina Dobromierza jest formą asymetryczną. Stromo nachylone skrzydło południowo-zachodnie wykazuje dużą zmienność upadów (33—90°), natomiast skrzydło północno-wschodnie cechują upady niewielkie (7—13°). Istnieje także asymetria w kierunku prostopadłym do omówionego: upady warstw w obrębie perykliny północno-zachodniej wynoszą 15°, a w obrębie perykliny południowo-wschodniej zaledwie 5°.

Zarówno szerokopromiennosc, jak i asymetryczność oraz brachyantyklinalny charakter tej struktury nadają jej cechy typowe dla struktur występujących na całym południowo-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (por. E. Stupnicka, 1972).

Brachyantyklinę Dobromierza przecina duży uskok (zwany dalej uskokiem Dobromierza) o średnim azymucie 80°. Charakter tej struktury po obu stronach uskoku — a szczególnie gęstość i rodzaj zaburzeń nieciągłych — jest różny. Część znajdująca się w obrębie północnego skrzydła uskoku cechuje się znacznie większą asymetrią w przekroju prostopadłym do osi, szybkim zanurzeniem się osi na peryklinie, dużą liczbą drobnych uskoczków i luster tektonicznych, częstymi lokalnymi odchyleniami biegu i upadu warstw od wartości wynikających z obrazu kartograficznego oraz gęstą siecią spękań ciosowych o zmiennej orientacji. Część stanowiąca

Fig. 1. A — Sytuacja geologiczna rejonu Dobromierza

A — Geological setting of the Dobromierz area

1 — paleozoik; 2 — trias i jura; 3 — kreda; 4 — lineament świętokrzyski  
1 — Palaeozoic; 2 — Triassic and Jurassic; 3 — Cretaceous; 4 — Świętokrzyski dislocation.

B — Mapa geologiczna brachyantykliny Dobromierza

B — Geological map of the Dobromierz brachyanticline

Oksford — kimeryd: a — utwory nad wapieni kredowatych; kimeryd: b — kompleks oolitowo-grabowy, c — horyzont onkolitowy, d — kompleks oolitowo-platek, e — wapień płytkowy, f — muszlowce skorkowskie, g — wapień płytkowy górny, h — ility stropowe; alb: i — piaskowce; 1 — uskoki Dobromierza; 2 — uskoki drugorzędne; 3 — uskoki peryklinalne; 4 — uskoki promieniste; 5 — diagramy głównych kierunków ciosu; 6 — oś brachyantykliny Dobromierza; 7 — granica utworów mezozoicznych i czwartorzędowych; 8 — otwór wiertniczy Boża Wola IG-1

Oxfordian — Kimmeridgian: a — deposits overlying Chalky Limestones; Kimmeridgian: b — Oolite-„Grab” member, c — Onkolite horizon, d — Oolite-Platy member, e — Shaly Limestones, f — Skerków Lumachelle, g — Upper Platy Limestones, h — Top Clays; Alban: i — sandstones; 1 — Dobromierz fault; 2 — second-order faults; 3 — periclinal faults; 4 — radial faults; 5 — diagrammes of principal directions of jointing; 6 — axis of Dobromierz brachyanticline; 7 — boundary between Mesozoic and Cainozoic deposits; 8 — borehole Boża Wola IG-1

południowe skrzydło uskoku wykazuje mniejsze różnice upadów warstw na SSW i NNE, łagodne zanurzanie się osi na peryklinie południowo-wschodniej, rzadkie uskoki oraz mniejszą gęstość spękań. Biegi i upady pomierzone w odsłonięciach nie wykazują większych odchylen od wartości wynikających z obrazu kartograficznego.

#### USKOK DOBROMIERZA

Uskok Dobromierza przecina brachyantyklinę tworząc z jej osią kąt ostry (ok. 34—38°). Celem ustalenia charakteru tego uskoku wykonano przekrój wzdłuż linii uskokowej (fig. 2), na którym widać, że uskok Dobromierza jest typu zrzutowo-przesuwczego. W obrębie brachyantykliny ruch pionowy spowodował obniżenie północnego skrzydła uskoku w stosunku do skrzydła południowego o ok. 60 m, natomiast przemieszczenie poziome osiągnęło ok. 300 m. Wartości te są przybliżone zarówno ze względu na małą skalę mapy, jak i na nieuniknione uproszczenie zarysu tej struktury na przekroju. W artykule będzie stosowana terminologia zjawisk uskokowych podana przez W. Jaroszewskiego (1974), według której powyższe wartości odpowiadają odpowiednio: zrzutowi uskoku i ślizgowi biegowemu.

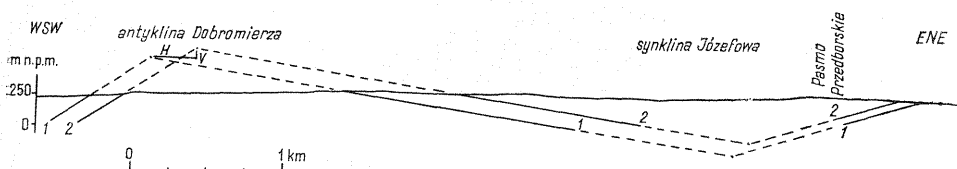


Fig. 2. Metoda graficzna odczytania parametrów przemieszczenia uskoku Dobromierza

Graphic technique of reading parameters of Dobromierz fault displacement

1 i 2 — kontakt muszlowców skorckowskich z wapieniami płytkowymi górnymi na obszarze północnego (1) i południowego (2) skrzydła uskoku; H — ślizg biegowy (ok. 300 m); V — zrzut uskoku (ok. 60 m)

1 and 2 contact between Skorków Lumachelle and Upper Platy Limestones in northern (1) and southern (2) sides of the fault; H — strike slip (about 300 m)

Blizsze dane o omawianym uskoku można znaleźć w pracach H. Jurkiewicza, J. Wońskiego (1965), H. Jurkiewicza, Z. Kowalczewskiego, J. Wońskiego (1965) oraz W. Pożaryskiego (1971). H. Jurkiewicz i J. Woński (1965) sugerują nachylenie powierzchni uskoku w kierunku SE i określają skrzydło południowe jako zrzucone, północne zaś jako wiszące, a więc tym samym opowiadają się za normalnym charakterem uskoku. W. Pożaryski (1971) twierdzi natomiast, że jest to uskok „... odwrócony, zrzucający stronę północną...”. Przedstawiony na fig. 1B obraz kartograficzny potwierdza to ostatnie stwierdzenie, przy czym znacznie większą rolę niż składowa pionowa odgrywa składowa pozioma przemieszczenia. Ze względu na składową poziomą jest to uskok lewoskrętny (sinistralny), a na składową pionową — odwrócony. Na podstawie linii intersekcyjnej

tej dyslokacji można przypuszczać, że nachylenie jej powierzchni jest strome.

W kierunku wschodnim uskók Dobromierza niknie pod osadami czwartorzędowymi, które przykrywają osiową strefę synkliny Józefowa, a dalej znowu wyraźnie zaznacza się na powierzchni przecinając Pasma Przedborskie, utworzone przez wychodnie północnego skrzydła tej synkliny. Jak wynika z fig. 2, parametry przemieszczenia na tym terenie zmieniają się, co może być związane ze znanym zjawiskiem zmienności naprężeń wzdłuż linii uskoku lub też z obecnością uskoków poprzecznych. Ta ostatnia możliwość jest prawdopodobna, gdyż na północ od uskoku Dobromierza synklinę Józefowa przecina duży uskók o kierunku NNE—SSW (S. Cieśliński, 1956; D. Wlaziło, 1970).

### KLIN TEKTONICZNY PRZY USKOKU DOBROMIERZA

W centralnej części brachyantykliny w 1964 r. został wykonany otwór wiertniczy Boża Wola IG-1 (fig. 3), w którym pod grubą serią piasków czwartorzędowych stwierdzono występowanie piaskowców albu o miąższości 50 m. Utwory jurajskie leżące poniżej (99—185 m; na fig. 4 oznaczone literą J) były opisywane bądź jako astart i kimeryd (H. Jur-

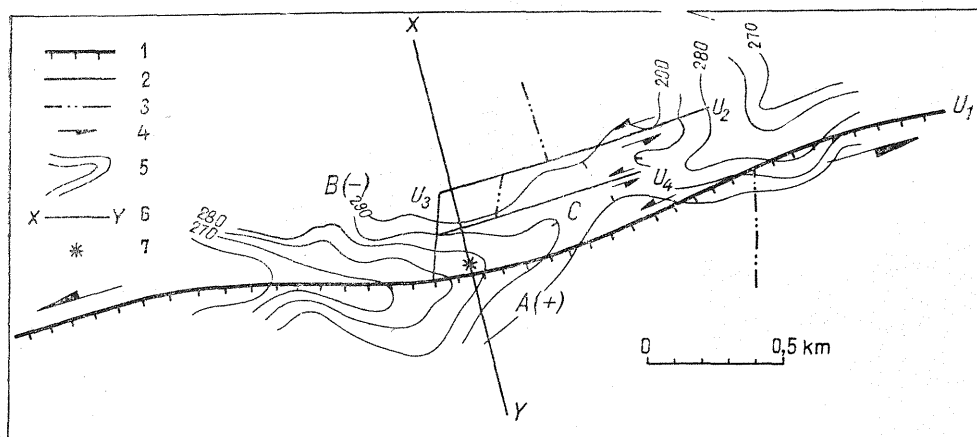


Fig. 3. Plan uskoków w rejonie otworu wiertniczego Boża Wola IG-1 z uwzględnieniem morfologii terenu

Location plan of faults in the vicinity of borehole Boża Wola IG-1 with the reference to terrain morphology

1 — uskók Dobromierza ( $U_1$ ); 2 — uskoki drugorzędne ( $U_2, U_3, U_4$ ); 3 — kontakt muszłowców skorkowskich i wapieni płytkowych górnych; 4 — kierunki względnych przemieszczeń poziomych wzdłuż powierzchni uskoków  $U_1, U_2, U_4$ ; 5 — izohipsy; 6 — linia przekroju geologicznego; 7 — otwór wiertniczy Boża Wola IG-1; A(+), B(-) — skrzydło wiskoku Dobromierza; C — klin przyuskokowy

1 — Dobromierz fault ( $U_1$ ); 2 — second-order faults ( $U_2, U_3, U_4$ ); 3 — contact between Skorków Lumachelle and Upper Platy Limestones; 4 — directions of relative horizontal displacements along planes of faults  $U_1, U_2, U_4$ ; 5 — isohypses; 6 — line of geological cross-section; 7 — borehole Boża Wola IG-1; A(+), B(-) — upthrown side of Dobromierz fault; B(-) — downthrown side of Dobromierz fault; C — fault wedge

kiewicz, J. Woiński, 1965), bądź tylko jako kimeryd (H. Jurkiewicz, 1965; H. Jurkiewicz, Z. Kowalczewski, J. Woiński, 1965), a ich pozycja na przekroju wskazywała na kontakt sedymentacyjny z nadległymi piaskowcami albu (H. Jurkiewicz, J. Woiński, 1965). Interpretacja ta budzi jednak wątpliwości ze względu na odmienne wykształcenie tych wapieni od utworów kimerydu budujących brachyantyklinę. Wydaje się, że słuszniejsze jest uznanie ich za utwory starsze od występujących na powierzchni (J. Kutek, 1968) i przyjęcie, że kontakt między osadami jury i kredy jest tektoniczny (fig. 4).

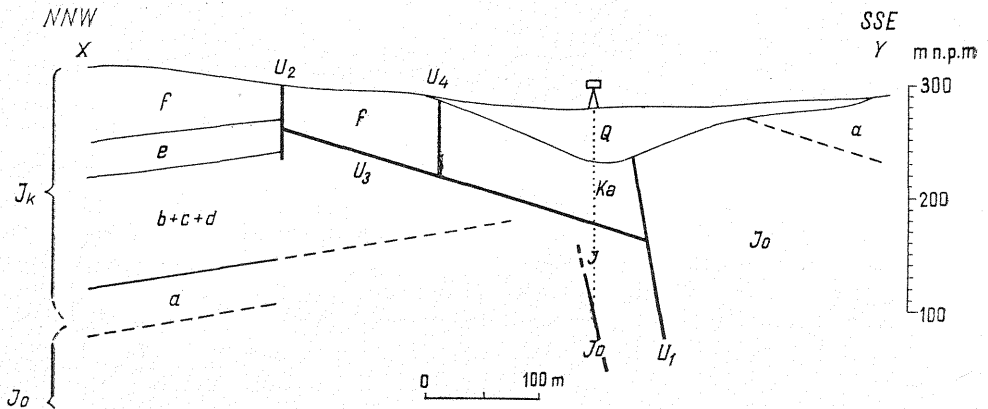


Fig. 4. Interpretacja sytuacji tektonicznej utworów oksfordu (Jo), kimerydu (Jk) i albu (Ka) przebitych wierceniem Boża Wola IG-1

Interpretation of tectonic setting of Oxfordian (Jo), Kimmeridgian (Jk) and Albian (Ka) deposits penetrated by borehole Boża Wola IG-1

J — jura, Q — czwartorzęd; pozostałe objaśnienia jak na fig. 1 i 3

J — Jurassic, Q — Quaternary; other explanations as in Figs. 1 and 3

Godny uwagi wydaje się mechanizm zaklinowania piaskowców albu w obrębie utworów dolnego kimerydu i górnego oksfordu. Trudno dopatrywać się tu zwykłego rowu tektonicznego, gdyż zrzut uskoków ograniczających musiałby wynosić 200—250 m, a takich uskoków brak (por. fig. 1 i fig. 3). Można się natomiast spodziewać, że w trakcie względnego ruchu przesuwczego bloków A i B (fig. 3) wzdłuż głównego uskoku  $U_1$  blok C wykazywał mniejsze przesunięcie w stosunku do bloku A niż w stosunku do bloku B. Wynika to z rozkładu sił na powierzchniach uskoku ograniczających ten blok (por. G. J. Lensen, 1958b). Rezultatem tak zróżnicowanego przesunięcia w płaszczyźnie poziomej powinien być ruch bloku C w płaszczyźnie pionowej, zapobiegający powstaniu szczeliny wzdłuż uskoku normalnego  $U_3$ . Ruch taki polegałby na rotacji wokół osi równoległej do biegu tego uskoku (fig. 5). Przybliżając ten geometryczny schemat do warunków naturalnych można by tu mówić nie tyle o rotacji całego bloku C, ile o uginaniu się części tego bloku w stronę powstającej szczeliny uskoku  $U_3$ . W miarę oddalania się od tego uskoku obniżanie powinno być coraz słabsze ze względu na przypuszczalne zmniejszanie się kąta nachylenia powierzchni uskoku normal-

nego w miarę wzrostu głębokości („uginanie przeciw-wleczeniowe” — W. K. Hamblin, 1965). W wyniku tego pierwotny upad warstw w obrębie klina, wynoszący ok.  $9^\circ$  na ENE (jak w północno-wschodnim skrzydle brachyantykliny), zmienił się na niewielki upad w kierunku przeciwnym, tzn. na WSW (fig. 5), a zmiana nachylenia warstw wynosząca w sumie ok.  $14^\circ$  wystarcza dla wytłumaczenia obecności piaskowców albu w otworze wiertniczym Boża Wola IG-1. Za interpretacją tą przemawia zmiana nachylenia powierzchni morfologicznej wzdłuż bloku C (por. fig. 3). Stopień przykrycia strefy uskokowej przez piaski czwartorzędowe uniemożliwia jednak udowodnienie tej interpretacji.

Blok C jest rozcięty przynajmniej jednym uskokiem podrzędnym, który spowodował wyraźną zmianę biegu warstw w stosunku do ich biegu na obszarze bloków A i B. Wiąże się to prawdopodobnie z rotacją w płaszczyźnie poziomej, spowodowaną różnymi kierunkami drobnych przesunięć horyzontalnych, które wystąpiły w obrębie bloku C (fig. 3).

### SIEĆ DROBNYCH USKOKÓW I SPEKAŃ

Brachyantyklinę Dobromierza przecina wiele drobnych uskoków (o zrzutach rzędu 10—15 m) i stref spekań<sup>1</sup>, które są przedstawione na fig. 1. Można wyróżnić trzy grupy uskoków, odgrywające różną rolę i mające różną genezę.

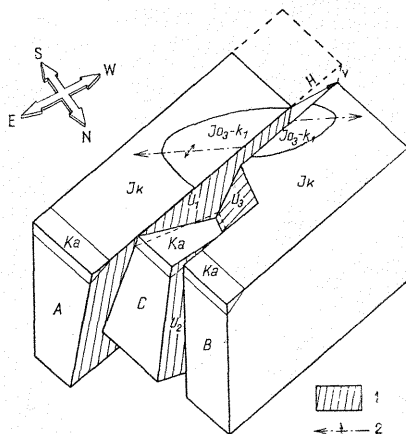


Fig. 5. Blokdiagram ilustrujący mechanizm zaklinowania utworów kredowych w strefie uskokowej Dobromierza

Blockdiagramme illustrating the mechanism of wedging up Cretaceous deposits in Dobromierz fault zone

1 — powierzchnie uskoków; 2 — oś brachyantykliny Dobromierza; H — ślizg biegowy; V — ślizg upadowy;  $Jo_3-k_1$  — najwyższy oksford i najniższy kimeryd; pozostałe objaśnienia jak na fig. 3 i 4

1 — fault plane; 2 — axis of Dobromierz brachyanticline; H — strike slip; V — dip slip;  $Jo_3-k_1$  — uppermost Oxfordian and lowermost Kimmeridgian; other explanations as in Figs 3 and 4

Pierwsza z nich, najliczniejsza, to uskoki o azymutach  $40-60^\circ$ . Są one najdogodniejsze do obserwacji w północno-wschodnim skrzydle brachyantykliny. Uskokom tym towarzyszą strefy brekcji tektonicznych stwierdzane w rumoszu skalnym. Charakter przemieszczeń jest trudny do określenia w sposób bezpośredni. Pomocna w tym przypadku okazała się analiza drobnych struktur ślizgowych.

Druga grupa to uskoki normalne występujące na obu peryklinach i w przegubie brachyantykliny. Są to typowe peryklinealne uskoki, roz-

<sup>1</sup> Drobne uskoki normalne obserwowane jedynie w skali odsłonięć (o zrzutach od kilku centymetrów do 5 m) zostały opisane w następnym rozdziale.

chodzące się wachlarzowato, oraz uskoki prostopadłe do osi, towarzyszące jej zanurzaniu się (znikające na skrzydłach), dla których maksimum zrzutu znajduje się w przegubie brachyantykliny. Prawidłowy stosunek do osi struktury i intersekcyjnego zarysu wychodni pozwala przypuszczać, że uskoki te powstały w wyniku wtórnych naprężeń rozciągających, wytworzonych w trakcie faldowania serii skalnych w strefach o szczególnie dużej krzywiznie warstw (przegub, perykliny).

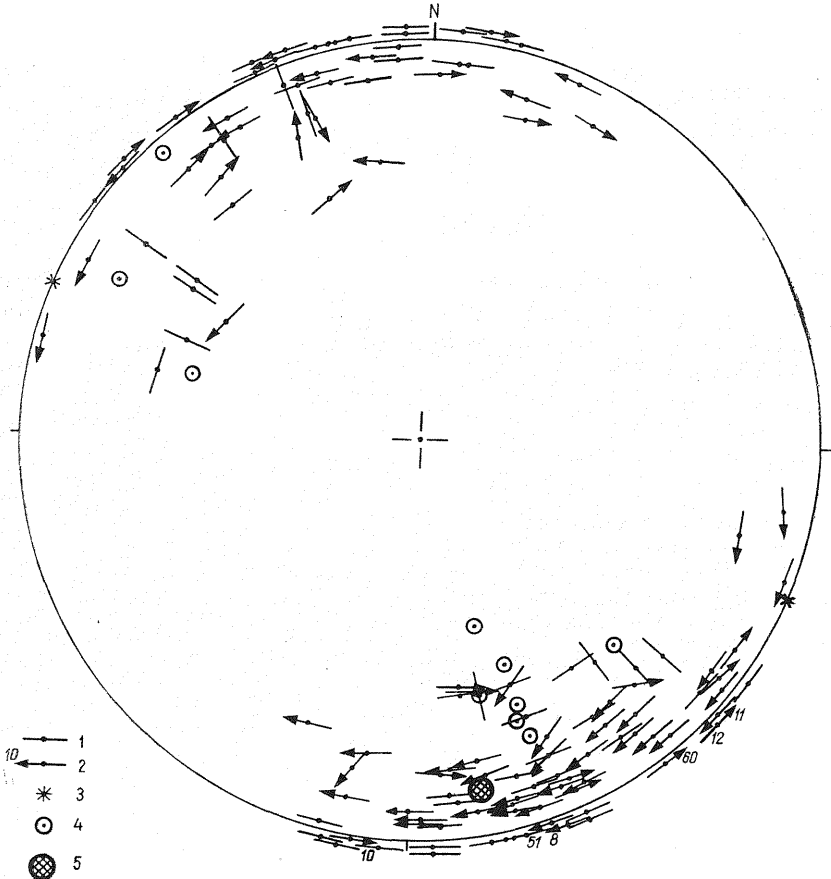


Fig. 6. Diagram orientacji struktur ślizgowych, projekcja na półkuli górnej

Diagramme of orientation of slickenside structures; projection on upper hemisphere

Biegun lustra tektonicznego z azymutem rys: 1 — pionowych i poziomych, 2 — ukośnych (liczba oznacza spadek rysy); 3 — biegun pionowego lustra tektonicznego o rysach pionowych; 4 — biegun drobnego uskoku normalnego; 5 — biegun przybliżonej płaszczyzny uskoku Dobromierza

Pole of slickenside with azimuth of striae: 1 — vertical and horizontal, 2 — oblique (number represents pitch of striae); 3 — pole of vertical slickenside with vertical striae; 4 — pole of minor normal fault; 5 — pole of inferred plane of Dobromierz fault



Trzecia grupa nieciągłości wykazuje wyraźny związek z przebiegiem wychodni, zachowując stosunek prostopadły do biegu warstw. Obecność nieciągłości o promienistym układzie została stwierdzona na podstawie przesłanek morfologicznych i zdjęć lotniczych. Ze względu na brak wyraźnych przesunięć wzdłuż tych linii należy sądzić, że są to jedynie strefy spēkań.

Na obszarze brachyantykliny Dobromierza zaznacza się obecność ortogonalnego systemu ciosowego, złożonego z zespołu poprzecznego i podłużnego w stosunku do biegu warstw. System ten jest szczególnie dobrze wyrażony w słabiej zdyslokowanej, południowej części brachyantykliny.

#### CHARAKTERYSTYKA STRUKTUR ŚLIZGOWYCH

Analizie zostało poddanych 113 powierzchni luster tektonicznych wraz z rysami (115 pomiarów) oraz 10 powierzchni drobnych uskoków normalnych, zaobserwowanych na obszarze północnego skrzydła brachyantykliny, w sąsiedztwie strefy jądrowej.

Powierzchnie zlustrowane reprezentują szeroki zakres orientacji przestrzennej (fig. 6). Charakter przemieszczeń na tych powierzchniach, odczytany z rys tektonicznych, jest także bardzo zróżnicowany: od zrzutowego (spadek rys  $90^\circ$ ) poprzez zrzutowo-przesuwczy do przesuwczego (spadek rys  $0^\circ$ ), przy czym ilościowo zdecydowanie przeważają przemieszczenia typu przesuwczego i zrzutowo-przesuwczego o bardzo małych kątach spadku rys <sup>2</sup>.

Należy sądzić, że przesunięcia typu wyłącznie zrzutowego i typu przesuwczego z niewielką składową zrzutową zachodziły w różnym czasie, przy różnie zorientowanych osiach głównych naprężeń, toteż będą one omówione oddzielnie.

#### LUSTRA TEKTONICZNE O RYSACH POZIOMYCH I UKOŚNYCH

Analiza tych luster prowadzi do następujących stwierdzeń:

a — orientacja głównego skupienia luster tektonicznych (fig. 6) jest zbliżona do przebiegu uskoku Dobromierza, jednak większość biegów powierzchni ślizgowych mieści się w przedziałach mniejszych azymutów (podobnie jak orientacja pierwszej grupy uskoków);

b — większość rys tektonicznych wskazuje na przemieszczenia zrzutowo-przesuwcze (najczęstszy spadek rys  $10-30^\circ$ );

c — większość luster tektonicznych, których bieguny tworzą skupienia (fig. 6), ma rysy nachylone w kierunkach południowych;

d — istnieje zależność między nachyleniem powierzchni ślizgu a charakterem uskoku (fig. 7), tzn. im mniejszy jest upad lustra tektonicznego, tym silniej wyrażony jest zrzutowy charakter przemieszczenia (fig. 8A), natomiast im większy jest upad lustra tektonicznego, tym silniej wyrażony jest przesuwczy charakter przemieszczenia (fig. 8B).

<sup>2</sup> Autorzy badający tektonikę obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich podkreślali zarówno zróżnicowany charakter luster tektonicznych (E. Stupnicka, 1972), jak i dominującą rolę luster wskazujących na przemieszczenia poziome (W. Jaroszewski, 1972).

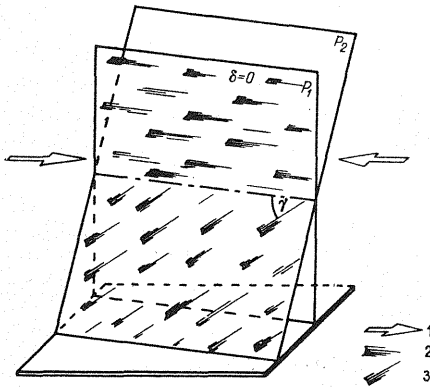


Fig. 7. Związek spadku rys ślizgowych z upadkiem powierzchni, na której występują

Relation between pitch of slickenside striae and dip of surface on which they occur

1 — kierunek głównej kompresji; kierunek rys: 2 — na powierzchni  $P_1$ , 3 — na powierzchni  $P_2$ ; spadek rys:  $\delta$  — na powierzchni  $P_1$ ,  $\gamma$  — na powierzchni  $P_2$

1 — principal compression direction; direction of striae: 2 — on surface  $P_1$ , 3 — on surface  $P_2$ ; pitch of striae:  $\delta$  — on surface  $P_1$ ,  $\gamma$  — on surface  $P_2$

Brak jednego lub dwóch wyraźnych zespołów lusterek tektonicznych o konsekwentnym położeniu rys wyklucza z jednej strony możliwość powstania tych powierzchni w wyniku jednorazowego procesu prostego ścinania. Z drugiej strony fakty podane w punktach a—d sugerują, że rysy rozmieszczone na powierzchniach lusterek podlegają pewnym wspólnym prawidłowościom, co prowadzi do wniosku, że przemieszczenia należy odnosić do jednej fazy ruchów. Prawdopodobnie mamy tu do czynienia

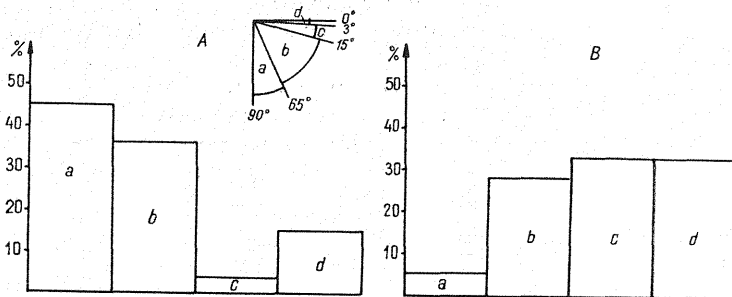


Fig. 8. Związek upadków lusterek tektonicznych z charakterem ruchu względnego, wyrażonego spadkiem rys tektonicznych  
Relation between dip of slickensides and character of relative motion, expressed by pitch of slickenside striae

Diagramy słupkowe wykonane na podstawie: A — 48 powierzchni o upadkach mniejszych od  $75^\circ$ ; B — 75 powierzchni o upadkach większych od  $75^\circ$ ; a—d — cztery grupy lusterek tektonicznych o różnych przedziałach kątowych spadku rys

Histogrammes made on the basis of: A — 48 measurements of surfaces with dip below  $75^\circ$ ; B — 75 surfaces with dip over  $75^\circ$ ; a—d — four groups of slickensides with different intervals of angle of pitch of striae

nia z drobnymi uskokami wtórnymi<sup>3</sup>, powstałymi na istniejących już powierzchniach nieciągłości. Niewielki południowo-zachodni spadek rys na powierzchniach o średniej orientacji  $70^\circ/80^\circ S$  wskazuje, że największe naprężenie główne istniało w płaszczyźnie poziomej, w przybliżeniu

<sup>3</sup> Uskok wtórny — termin wprowadzony i zdefiniowany przez W. Jaroszewskiego (1974).

wzdłuż kierunku NE—SW<sup>4</sup>. Wzdłuż tych powierzchni, na których naprężenia ścinające osiągały najwyższą efektywność, dokonały się przemieszczenia o charakterze zależnym od orientacji wcześniejszych powierzchni — zrzutowym lub zrzutowo-przesuwnym.

Położenie powierzchni uskoku Dobromierza w obrębie głównego skupienia luster tektonicznych oraz podobny do większości mierzonych rys spadek rys teoretycznych na tej powierzchni ( $\text{tg } \alpha = 60 \text{ m}/300 \text{ m} = 0,2$  czyli  $\alpha \approx 11^\circ$ ) świadczą o ścisłych związkach genetycznych omówionych luster tektonicznych z tym uskokiem.

#### LUSTRA TEKTONICZNE O RYSACH PO UPADZIE I DROBNE USKOKI NORMALNE

Powierzchnie reprezentujące przemieszczenia typu uskoczków normalnych tworzą dwa skupienia (fig. 6) i charakteryzują się na ogół mniejszymi upadami niż lustra o rysach poziomych i ukośnych. Część tych luster ma azymuty bieęgów podobne do większości uskoczków przesuwczych ( $45\text{—}75^\circ$ ), natomiast upady ich są znacznie mniejsze ( $40\text{—}70^\circ\text{S}$ ). Przesunięcia, które nastąpiły wzdłuż tych powierzchni, nie były więc genetycznie związane ani z powstaniem brachyantykliny (skośny stosunek do osi), ani też (ze względu na ich zrzutowy charakter) z uskokiem Dobromierza.

Pozostałe lustra tektoniczne i drobne uskoki normalne o orientacji  $20\text{—}60^\circ/65^\circ\text{N}$  są w przybliżeniu prostopadłe do osi brachyantykliny, a więc wykazują podobieństwo do uskoczków poprzecznych w jądrowej partii północno-zachodniej perykliny.

Ruchy zrzutowe, następujące w czasie, gdy największym naprężeniem głównym  $\sigma_1$  było obciążenie grawitacyjne, objęły zarówno powierzchnie założone w trakcie formowania się brachyantykliny (lustra tektoniczne o orientacji  $20\text{—}60^\circ/65^\circ\text{N}$ ), jak i wcześniej powstałe powierzchnie uskoczków zrzutowo-przesuwczych (lustra o orientacji  $45\text{—}75^\circ/60^\circ\text{S}$ ). Na powierzchniach o mniejszych upadach istniało większe tarcie umożliwiające powstanie nowych rys o spadku  $90^\circ$ . Tym można byłoby tłumaczyć fakt, że na stromych i pionowych powierzchniach mamy do czynienia tylko z wcześniej powstałymi rysami poziomymi, natomiast na powierzchniach średnio nachylonych — głównie z rysami po upadzie (nowa generacja rys zatarła ślady starszych przemieszczeń).

#### USKOK WGŁĘBNY

Wyniki otworu wiertniczego Boża Wola IG-1 wykazały w podłożu brachyantykliny Dobromierza istnienie dużego uskoku, który spowodował powtórzenie się w profilu utworów wapienia muszlowego i kajpru (H. Jurkiewicz, Z. Kowalczewski, J. Woiński, 1965). Uskok ten stwierdzono na głębokości 1542 m; zaznacza się on strefą licznych spękań, luster tektonicznych, drobnych fałdów i zwiększonych upadów o dużej zmienności. Jest to niewątpliwie uskok odwrócony i tak też był interpretowany (H. Jurkiewicz, Z. Kowalczewski, J. Woiński, 1965). Budzi jednak wątpliwości przedstawienie tej dyslokacji przez tych badaczy na

<sup>4</sup> Północno-wschodni kierunek osi „a” transportu tektonicznego na południowym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich sugerował W. Jaroszewski (1965).

przekroju w postaci płaskiego nasunięcia, o powierzchni nachylonej pod kątem  $13^\circ$  na SW, z którym nie są powiązane żadne zaburzenia warstw mezozoicznych odsłaniających się na powierzchni.

Występowanie uskoków odwróconych na obszarze elewacji radomskiej i w obrębie południowo-zachodniego mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jest faktem znanym (W. Pożaryski, 1971; E. Stupnicka, 1972; J. Kutek, J. Głazek, 1972), jednakże wszystkie dostępne dane wskazują, że są to powierzchnie bardzo stromo nachylone ( $70-90^\circ$ ). Ponadto stwierdzono ich związek z fleksurami i fałdami mezozoicznymi występującymi na powierzchni. Zależności te zostały przedstawione i udokumentowane na południowo-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich przez E. Stupnicką (1972). W świetle tych badań wydaje się, że wspomniany uskok wglębny może mieć stromo nachyloną na NNE powierzchnię uskokową, a jego obecność przejawia się strefą zwiększonych upadów warstw mezozoicznych (strome południowo-zachodnie skrzydło brachyantykliny Dobromierza). Istnienie stromo nachylonej na NNE strefy uskokowej potwierdzają wyniki profilowania sejsmicznego (J. Brauer, H. Janowski, T. Krynicki, 1970). Jednakże łączenie tego uskoku z uskokiemi wglębnymi elewacji radomskiej, przebiegającymi wzdłuż skrzydeł antykliny Chełma (W. Pożaryski, 1971), wydaje się ryzykowne. Pojedyncze uskoki tego typu dosyć szybko zanikają, osiągając długość najwyżej kilkunastu kilometrów (E. Stupnicka, 1972).

Wspomniany uskok wglębny nie ma żadnego bezpośredniego związku z obserwowanym na powierzchni uskokiemi Dobromierza.

## GEOMETRYCZNE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY GŁÓWNYMI STRUKTURAMI I PRZYPUSZCZALNY KIERUNEK MAKSYMALNEJ KOMPRESJI HORYZONTALNEJ

Związki genetyczne między brachyantykliną Dobromierza, uskokiemi Dobromierza oraz drobnymi uskokiemi (fig. 9) nasuwają wniosek, że wszystkie te struktury powstały w tym samym regionalnym polu naprę-

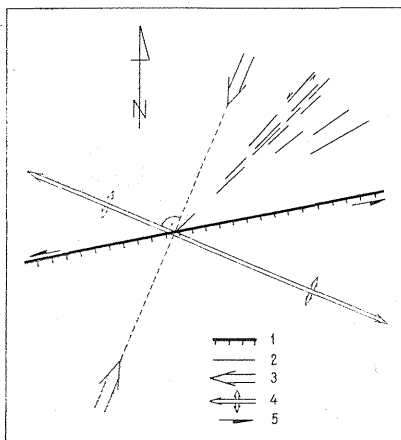


Fig. 9. Geometryczne zależności między uskokiemi Dobromierza a osią brachyantykliny Dobromierza i uskokiemi drugorzędowymi

Geometrical interdependence between Dobromierz fault and axis of Dobromierz brachyanticline and second-order faults

1 — uskok Dobromierza; 2 — uskoki drugorzędowe; 3 — kierunek kompresji horyzontalnej; 4 — oś brachyantykliny Dobromierza; 5 — kierunek względnych przemieszczeń poziomych

1 — Dobromierz fault; 2 — second-order faults; 3 — direction of horizontal compression; 4 — axis of Dobromierz brachyanticline; 5 — direction of relative horizontal displacements

żeń. Można uchwycić znaczne podobieństwa do obszarów rozwoju uskokuw przesuwczych opisanych przez D. G. Bishopa (1968).

Oś brachyantykliny Dobromierza tworzy z głównym uskokiem przesuwczym kąt ostry równy 32—37° (D. G. Bishop podaje wartości zmienne 10—30°), a najliczniej reprezentowany system drobnych uskokuw o azymutach 40—60° tworzy kąt 18—30° (według D. G. Bishopa 15—30°). Wzajemny układ tych struktur obserwowany w planie (fig. 9) — powiązany z charakterem ruchu względnego wzdłuż uskoku Dobromierza (lewoskrętny) — wykazuje także zgodność z obserwacjami D. G. Bishopa (1968).

Opisane geometryczne zależności pozwalają przypuszczać, że powstanie brachyantykliny, przemieszczenie wzdłuż uskoku Dobromierza i powstanie uskokuw drugorzędnych odbyło się w tym samym układzie naprężeń, a więc w warunkach poziomej kompresji. Jednocześnie zrzutowo-przesuwczy charakter tego uskoku i przypuszczalne nachylenie jego powierzchni sugerują, że orientacja powierzchni obecnego uskoku Dobromierza była podyktowana innymi, nie znanymi czynnikami. Być może, orientacja uskoku obserwowanego w mezozoiku została „wymuszona” istnieniem w podłożu paleozoicznym wcześniejszej dyslokacji o zbliżonym biegu i nachyleniu.

Rozważmy, jakie relacje kątowe zachodzą między azymutem głównego naprężenia horyzontalnego, biegiem uskoku Dobromierza a jego nachyleniem<sup>5</sup>, zakładając stan praktycznie jednoosiowej kompresji poziomej ( $\sigma_1 \gg \sigma_2, \sigma_3$ ). Wiadomo, że teoretyczna orientacja maksymalnego naprężenia głównego dla powstania brachyantykliny o kierunku osi 110—115° wynosi 20—25°. Z rozkładu kompresji horyzontalnej na składowe ścinające i składową normalną (fig. 10) wynika, że:

$$\frac{H}{V} = \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\cos \alpha} \quad [1]$$

stąd

$$\cos \beta = \frac{V}{H \operatorname{tg} \alpha} \quad [2]$$

gdzie:  $\alpha$  — kąt zawarty między linią biegu uskoku a kierunkiem kompresji horyzontalnej;  $\beta$  — nachylenie powierzchni uskoku;  $V$  — ślizg upadowy;  $H$  — ślizg biegowy.

Podstawiając do wzoru [2] wartości  $\alpha = 53—58^\circ$  oraz  $V/H = 60 \text{ m}/300 \text{ m} = 0,2$  otrzymujemy nachylenie powierzchni dyslokacji, które wynosi ok. 82°, co jest prawdopodobne, sądząc z obrazu kartograficznego.

Przyjęta na podstawie przebiegu osi brachyantykliny orientacja maksymalnej kompresji horyzontalnej dobrze też tłumaczy położenie większości luster tektonicznych (azymut ok. 70°) jako powierzchni, na których naprężenia ścinające osiągały największą efektywność.

<sup>5</sup> G. J. Lensen (1958a) wyprowadził zależność między nachyleniem rys tektonicznych na powierzchni uskoku a kątem, jaki tworzyła oś maksymalnego naprężenia horyzontalnego z linią biegu danego uskoku. Pomiął on jednak zupełnie nachylenie powierzchni, wzdłuż której odbywało się przemieszczenie.

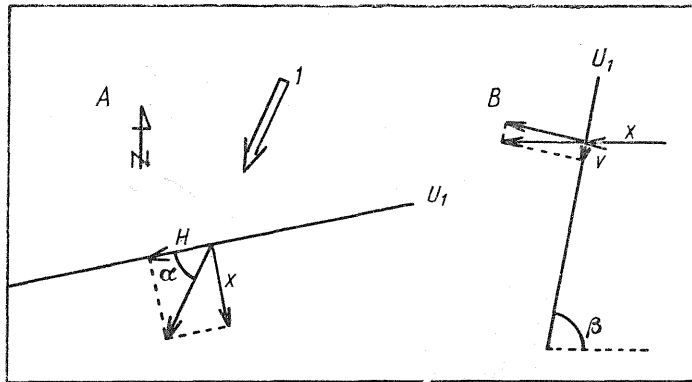


Fig. 10. Rozkład kompresji horyzontalnej w płaszczyźnie uskoku Dobromierza

Distribution of horizontal compression in the plane of Dobromierz fault

A — rozkład kompresji horyzontalnej w płaszczyźnie poziomej; B — rozkład składowej X w płaszczyźnie pionowej;  $\alpha$  — kąt między linią biegu uskoku a kierunkiem kompresji horyzontalnej;  $\beta$  — nachylenie powierzchni uskoku;  $U_1$  — uskuk Dobromierza; H — ślizg biegowy; V — ślizg upadowy; 1 — kierunek kompresji horyzontalnej  
 A — distribution of horizontal compression in horizontal plane; B — distribution of component X in vertical plane;  $\alpha$  — angle between fault strike and direction of horizontal compression;  $\beta$  — dip of fault plane;  $U_1$  — Dobromierz fault; H — strike slip; V — vertical slip; 1 — direction of horizontal compression

## WNIOSKI GENETYCZNE I PRZEBIEG DEFORMACJI W REJONIE DOBROMIERZA

Występujący na tak małym obszarze zespół struktur tektonicznych różnego typu i różnej rangi stwarza możliwość wzajemnego powiązania wszystkich przejawów deformacji i odtworzenia ich następstw z odniesieniem do przypuszczalnego pola naprężeń.

1. W osadach jury i kredy obserwuje się skrócenie przejawiające się powstaniem brachyantykliny, natomiast w utworach leżących głębiej (trias, paleozoik) skrócenie wywołane jest przez ruch zachodzący wzdłuż stromo nachylonej powierzchni uskoku odwróconego o azymucie ok.  $130^\circ$ . Zrzut tego uskoku powoduje, że powstająca w wyższych poziomach brachyantyklina staje się asymetryczna. Jej strome, południowo-zachodnie skrzydło ma charakter fleksury. Wyprowadzona na podstawie skrócenia warstw mezozoicznych kompresja horyzontalna o azymucie  $20\text{--}30^\circ$  dobrze tłumaczy obserwowane w obrębie brachyantykliny zespoły struktur nieciągłych.

Po utraceniu przez skały pokrywy mezozoicznej zdolności do odkształceń ciągłych zaczynają powstawać uskoki. Ta zmiana może być uwarunkowana bądź to kumulowaniem się odkształceń, bądź też zwiększonymi różnicami między  $\sigma_1$  i  $\sigma_3$ , co z kolei może być skutkiem wynoszenia obszaru i zmienionego układu naprężeń (zwiększa się względna rola ciśnienia grawitacyjnego). Uaktywnia się założona w głębi powierzchnia uskoku

Dobromierza, następuje główne, obecnie obserwowane przemieszczenie o charakterze lewoskrętnym i odwróconym.

Współcześnie z ruchem zachodzącym wzdłuż uskoku Dobromierza powstaje zespół drugorzędnych uskoków o azymucie  $40-60^\circ$  oraz drobnych struktur ślizgowych o charakterze zrzutowo-przesuwczym, które też są uwarunkowane wcześniej istniejącymi, drobnymi powierzchniami nieciągłości. Na tych powierzchniach przy osi poziomej kompresji o azymucie  $20-30^\circ$  naprężenia ścinające osiągają najwyższą efektywność.

2. Następuje osłabienie poziomej kompresji i dalsze wypiętrzanie całego obszaru. Rolę maksymalnego naprężenia głównego odgrywa teraz obciążenie grawitacyjne. Cechą szczególną tego okresu deformacji są lokalne, zmienne pola naprężeń. Następuje odprężanie, powstają uskoki normalne, których kierunki i rozmieszczenie wynikają z lokalnych układów naprężeń „zapisanych” w skałach w trakcie deformacji ciągłej. Rozwijają się więc uskoki na peryklinach i w części osiowej brachyantykliny. Ich założenie należy wiązać z naprężeniami tensyjnymi, które powstały w przegubie brachyantykliny w trakcie fałdowania.

Dalszą konsekwencją wypiętrzenia i poziomej orientacji minimalnego naprężenia głównego  $\sigma_3$  jest otwieranie się poprzecznego zespołu ciosu prostopadłego do biegu warstw. Wynika to z nałożenia się panującego w tym czasie regionalnego pola naprężeń na naprężenia z okresu formowania się brachyantykliny, które nie zdążyły ulec relaksacji. Tak zmodyfikowany regionalny układ naprężeń (oś  $\sigma_1$  — pionowa, osie  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$  — poziome, przy czym oś  $\sigma_2$  jest prostopadła do biegu warstw) powoduje powstanie ciosu poprzecznego. W wyniku otworzenia się tego zespołu ciosu następuje zamiana położenia osi  $\sigma_2$  z  $\sigma_3$  (N. J. Price, 1959) i powstaje cios podłużny, który wyrażony jest znacznie słabiej. Istnieje tu więc system ciosu ortogonalnego, który jest znany z obszaru północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich (W. Jaroszewski, 1972).

Zasadnicze procesy tektoniczne należy wiązać z fazą laramijską synorogenezy alpejskiej, natomiast ostatni etap rozwoju może wkraczać w późniejsze fazy tej synorogenezy.

Institut Geologii Podstawowej  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa, al. Zwirki i Wigury 93  
Nadesłano dnia 7 maja 1976 r.

## PIŚMIENNICTWO

- BISHOP D. G. (1968) — The geometric relationships of structural features associated with major strike-slip faults in New Zealand. *N. Z. Journ. Geol. Geoph.*, **11**, p. 405—417, nr 2. Wellington.
- BRAUER J., JANKOWSKI H., KRYNICKI T. (1970) — Dokumentacja badań sejsmicznych Włoszczowa—Radoszyce 1969/70. *Arch. Inst. Geol. Warszawa*.

- CIEŚLIŃSKI S. (1956) — Stratygrafia i tektonika kredy między Dobromierzem i Józefowem a Przedborzem nad Pilicą. Biul. Inst. Geol., **113**, p. 139—194. Warszawa.
- HAMBLIN W. K. (1965) — Origin of "reverse drag" on the downthrown side of normal faults. Bull. Geol. Soc. Am., **76**, p. 1145—1164, nr 10. New York.
- JAROSZEWSKI W. (1965) — The Contact of Palaeozoic and Mesozoic Rocks Masses in the Region of Chęciny (Holy Cross Mts.). Bull. Acad. Pol. Sc., Sér. Sc. géol. géogr., **13**, p. 175—188, nr 2. Warszawa.
- JAROSZEWSKI W. (1972) — Drobnostrukturne kryteria tektoniki obszarów nieorogenicznych na przykładzie północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. Studia geol. pol., **38**. Warszawa.
- JAROSZEWSKI W. (1974) — Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. Geol. Warszawa.
- JURKIEWICZ H. (1965) — Profil wiercenia w Bożej Woli. Prz. geol., **13**, p. 378—380, nr 9. Warszawa.
- JURKIEWICZ H., WOIŃSKI J. (1965) — Kilka uwag o przypowierzchniowej budowie centralnej części brachyantykliny Dobromierza. Prz. geol., **13**, p. 217—219, nr 5. Warszawa.
- JURKIEWICZ H., KOWALCZEWSKI Z., WOIŃSKI J. (1965) — Badania struktur mezopaleozoicznych na zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich — wiercenie „Boża Wola IG-1”. Arch. Inst. Geol. Warszawa.
- KUTEK J. (1968) — Kimeryd i najwyższy oksford południowo-zachodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich, część I. Stratygrafia. Acta geol. pol., **18**, p. 493—586, nr 3. Warszawa.
- KUTEK J., GŁAZEK J. (1972) — The Holy Cross area, Central Poland, in the alpine cycle. Acta geol. pol., **22**, p. 603—653, nr 4. Warszawa.
- LENSEN G. J. (1958a) — Rationalized fault interpretation. N. Z. Journ. Geol. Geoph., **1**, p. 307—317, nr 2. Wellington.
- LENSEN G. J. (1958b) — A method of graben and horst formation. J. Geol., **66**, p. 579—586, nr 5. Chicago.
- PASSENDORFER E. (1923) — Sprawozdanie z badań geologicznych w Tatrach i okolicach Przedborza. Posiedz. nauk. FIG, **5**, p. 8—9. Warszawa.
- PASSENDORFER E. (1924) — Sprawozdanie z badań geologicznych na arkuszu Przedbórz. Posiedz. nauk. FIG, **8**, p. 2—3. Warszawa.
- PASSENDORFER E. (1927) — Sprawozdanie z badań geologicznych, wykonanych w roku 1926 na arkuszu Przedbórz. Posiedz. nauk. FIG, **16**, p. 10—12. Warszawa.
- POŻARYSKI W. (1971) — Tektonika elewacji radomskiej. Roczn. Pol. Tow. Geol., **41**, p. 169—179, nr 1. Kraków.
- PRICE N. J. (1959) — Mechanics of jointing in rocks. Geol. Mag., **96**, p. 149—167, nr 2. Oxford.
- STUPNICKA E. (1972) — Tektonika południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Biul. Geol. Wyd. Geol. UW, **14**, p. 21—114. Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H. (1932) — Sprawozdanie z badań geologicznych nad górną jurą wykonanych w 1931 r. na ark. Przedbórz i Radomsko. Posiedz. nauk. FIG, **32**, p. 4—6. Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H. (1935) — Szkic geologiczny okolic Przedborza nad Pilicą. Spraw. FIG, **8**, p. 1—23. Warszawa.
- WARTOŁOWSKA J. (1970) — Zdjęcie geologiczne okolic Dobromierza. Arch. Inst. Geol. Podst. UW. Warszawa.
- WLAZŁO D. (1970) — Zdjęcie geologiczne okolic Przedborza nad Pilicą. Arch. Inst. Geol. Podst. UW. Warszawa.



Иоланта ВАРТОЛОВСКА-СЪВИДРОВСКА

### СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ БРАХИАНТИКЛИНАЛИ ДОБРОМЕЖ (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ СВЕНТОКШИСКИХ ГОР)

#### Резюме

Предметом работы является анализ строения брахиантиклинали Добромеж (фиг. 1) расположенной на юго-западном обрамлении Свентокшиских гор. В этом анализе учтены сбросы и мелкие структуры, такие как зеркала скольжения и отдельности.

Брахиантиклиналь разрезана большим сбросо-сдвигом с левосторонним направлением движения. Вследствие чего верхние пласты брахиантиклинали, заключённые в зоне разлома, оказались на морфологической поверхности выхода ядра этой структуры (фиг. 3—5).

В основании брахиантиклинали имеется глубинный крутопадающий опрокинутый разрыв. Сброс, образовавшийся в результате этого нарушения, делает эту брахиантиклиналь ассиметричной — её юго-западное крыло имеет характер флексуры.

На этой брахиантиклинали выделено три группы мелких нарушений (второго порядка), переклинные и радиальные — фиг. 1). Анализ зеркал скольжения и тектонических линий (фиг. 6—8) показал, что они главным образом характеризуют взбросо-сдвиговые передвижки. Закономерность расположения тектонических штрихов на поверхности различно ориентированных зеркал скольжения (фиг. 7 и 8) позволяет судить о том, что эти штрихи образовались в результате передвижек, происходивших вдоль ранее образовавшихся разрывных поверхностей прерывистости.

Геометрическая зависимость между структурами, показанными на фиг. 9 позволяет предполагать, что брахиантиклиналь Добромеж, передвижка вдоль разрезающего её нарушения, а также нарушения второго порядка, образовались при одних и тех же напряжениях, т. е. в условиях горизонтального давления (см. Д. Г. Бишоп, 1968). Взбросо-сдвиговый характер главного нарушения свидетельствует о том, что ориентировка его поверхности определялась наличием в палеозойском фундаменте ранее образовавшейся дислокации с таким же простиранием и падением. Одновременно с движением вдоль главного нарушения образовалась группа нарушений второго порядка и зеркал скольжения. Были использованы те из существующих прерывистостей, ориентировка которых обуславливала самую высокую эффективность сдвигающего напряжения.

Конечным этапом тектонического развития этой территории было постепенное поднятие всего этого района и принятие роли максимального главного напряжения гравитационной нагрузкой. Тогда могли образоваться, зародившиеся в процессе формирования брахиантиклинали, нормальные сбросы — переклинные и радиальные.

Jolanta WARTOŁOWSKA-ŚWIDROWSKA

**STRUCTURAL ANALYSIS OF THE DOBROMIERZ BRACHYANTICLINE  
(SOUTH-WESTERN MARGIN OF THE ŚWIĘTOKRZYSKIE MTS)**

Summary

The paper presents structural analysis of Dobromierz brachyanticline (Fig. 1) from the south-western margin of the Świętokrzyskie Mts. The analysis covers faults and mesoscopic structures such as slickensides and jointing.

The Dobromierz brachyanticline is cut by a large oblique-slip (sinistral and reversed) fault which resulted in wedging up of the upper links of the strata forming the brachyanticline in its core (Figs. 3—5). Besides, another reversed fault with steeply inclined plane occurs at greater depths beneath the brachyanticline. The slip connected with the latter resulted in asymmetry of the brachyanticline, as its SW limb gained the character of flexure.

Three groups of small-scale faults: second-order, periclinal and radial faults (Fig. 1), are differentiated in the area of the brachyanticline. The analysis of slickensides and slickenside striae (Figs. 6—8) has shown that they primarily represent diagonal-slip displacements. Regularities in distribution of slickenside striae on variously oriented slickenside surfaces (Figs. 7—8) allow to assume that the striae resulted from displacements along earlier developed discontinuities.

Geometrical interrelations between the structures presented in Fig. 9 indicate that the Dobromierz brachyanticline, the displacement along the fault cutting the brachyanticline, and the second-order faults originated in the same stress pattern, i.e., under the conditions of horizontal compression (see D. G. Bishop, 1968). The diagonal-slip character of the master fault indicates that orientation of the plane of that fault was determined by the existence of similarly inclined and oriented dislocation in the substratum. The set of second-order faults and slickenside structures originated simultaneously with the movement proceeding along the master fault and utilizing all the existing discontinuities suitably oriented for the maximum effect of shearing stresses.

The final stage in the tectonic development of this area is connected with gradual vertical uplift of the whole region and interception of the role of the maximum principal stress by the gravity. Normal (periclinal and radial) faults, founded along with the brachyanticline, may have originated in those times.