

HELENA DZIEDZICOWA

## Przyczynek do analizy orientacji kwarcu w fałdach z krystaliniku niemczańsko-kamienieckiego

QUARTZ ORIENTATION ANALYSES FROM FOLDS IN THE CRYSTALLINE MASSIF OF NIEMCZA-KAMIENIEC (LOWER SILESIA)

**STRESZCZENIE:** Przeanalizowano orientację kwarcu i częściowo łyseczyków w dwóch mezofałdach, z łupków kwarcowo-skaleniowych krystaliniku niemczańsko-kamienieckiego. Zastosowano metodę „rozwijania” fałdów, Sandera-Ladurnera. Przebadano też średnie statystyczne i „asymetrię rozkładu osi optycznych kwarcu. Stwierdzono homogeniczną orientację kwarcu w fałdzie  $F_1$ , pochodzącym z odsłonięcia w Wojsławicach i należącym do struktur południowych. Na podstawie symetrii orientacji minerałów wyznaczono kinetyczną oś  $B$ , pokrywającą się statystycznie z południkowymi strukturami linijnymi ( $F_1$  i  $L_1$ ). W młodszym fałdzie  $F_2$  (pochodzącym z odsłonięcia w Stolcu), o osi zapadającej w kierunku NW, stwierdzono heterogeniczną orientację kwarcu. Jest ona symetryczna do starszej lineacji  $L_1$ , kinetycznie biernej w czasie drugiego fałdowania.

### WSTĘP

Badania orientacji minerałów w strukturach fałdowych zapoczątkował B. Sander (1930), który przedstawił też po raz pierwszy metodę „rozwijania” fałdów. Polega ona na hipotetycznym wyprostowaniu krzywizny fałdu wraz z orientacją minerałów, pomierzoną oddzielnie w kilku sektorach płaszczyzny  $ac$  fałdu. Na diagramach konturowych rozpatruje się maksima orientacji i ich stosunek do stycznej do płaszczyzny  $s$  wyznaczającej fałd.

J. Ladurner (1951) prowadzi przez maksima i środek diagramu, tj. oś  $b$  fałdu, proste tzw. kierunki  $q$ , a następnie rotuje je wraz z krzywizną fałdu tak, by przyjęła ona przebieg prostoliniowy. W ten sposób fałd można hipotetycznie „rozwinąć”, jeżeli powstał przez wygięcie struktury anizotropowej (Sander 1930, s. 257—258). W fałdach tego typu orientacja

kwarcu jest heterogeniczna (1a na fig. 1) i po równoległym ustawieniu kierunków  $q$  fałd rozprostowuje się (1b na fig. 1). Drugi, skrajny przypadek przedstawiają fałdy z homogeniczną orientacją kwarcu, tj. równoległym położeniem kierunków  $q$  (2a na fig. 1), które po „rozwinieciu” znajdują się w różnych pozycjach (2b na fig. 1). Przyjmuje się, że takie fałdy powstały przez ścinanie, względnie ścinanie nastąpiło w późnym stadium fałdowania (Sander 1930, s. 258—262). Fałdy o złożonej genezie, z wachlarzowym ułożeniem kierunków  $q$  (3a na fig. 1), opisali J. Ladurner (1951) oraz I. Schäfler-Zozmann (1954). Fałdy takie można „rozwinąć” tylko częściowo (3c na fig. 1), gdyż po całkowitym wyprostowaniu kierunki  $q$  znajdują się w różnych pozycjach (3b na fig. 1). Według Ladurnera fałd powstał w pierwszym etapie przez ślizg na powierzchniach ścinania, a następnie został zacieśniony przez wygięcie.

Metodę Sander-Ladurnera zastosowano do przeanalizowania dwóch mezofałdów (Turner & Weiss 1963, s. 76—77) z krystaliniku niemczańsko-kamienieckiego. Badanie orientacji kwarcu uzupełniono analizą statystyczną pierścienia rozsiewu kwarcu oraz skośności krzywych rozkładu częstości. Uzyskano tą drogą dodatkowe informacje o orientacji kwarcu w badanych fałdach.

Za podstawę do obliczeń średnich statystycznych przyjęto diagramy punktowe w płaszczyźnie  $ac$  fałdu. Ograniczono zakres pierścieni w pobliżu linii  $10^\circ$ , ustalono klasy co  $15^\circ$ , względnie  $30^\circ$ , jednakowe dla wszystkich diagramów z danego fałdu i wyliczono ilość pomiarów przypadających na poszczególne klasy. Zakres klas odczytano w stopniach na siatce Schmidta (dolna półkula) w takim położeniu, jak je naniesiono z pomiarów mikroskopowych, tj.  $0^\circ$  ustalono na biegunie południowym. Ponieważ punkty zostały wyliczone z diagramów zorientowanych stycznymi ( $S_1$ ) równoległe do kierunku  $90$ — $270^\circ$ , obliczenia statystyczne zostały przeprowadzone dla fałdu całkowicie „rozwinętego”.

Obliczono trzy średnie statystyczne; średnią arytmetyczną ( $Ma$ ) obliczono z danych pogrupowanych na podstawie wzoru (Guilfort 1964, s. 66), medianę ( $Me$ ) wyinterpolowano od dołu i od góry z danych pogrupowanych również według wzorów z wyżej wymienionego podręcznika (Guilfort 1964, s. 72), zaś modalną ( $Mo$ ) wyinterpolowano na podstawie wzoru z podręcznika A. Weryhy (1954, s. 103). Procentowy udział pomiarów, przypadających na każdą klasę w szeregu, przedstawiono w postaci krzywych rozkładu częstości, na które wrysowano obliczone średnie statystyczne. Na ich podstawie można wnioskować o skośności rozkładów statystycznych.

#### ANALIZA FAŁDÓW Z KRYSTALINIKU NIEMCZAŃSKO-KAMIENIECKIEGO

Krystalinik niemczańsko-kamieniecki zbudowany jest głównie z łupków łyszczykowych z bardzo lokalnymi wtrąceniami kwarcytów grafito-

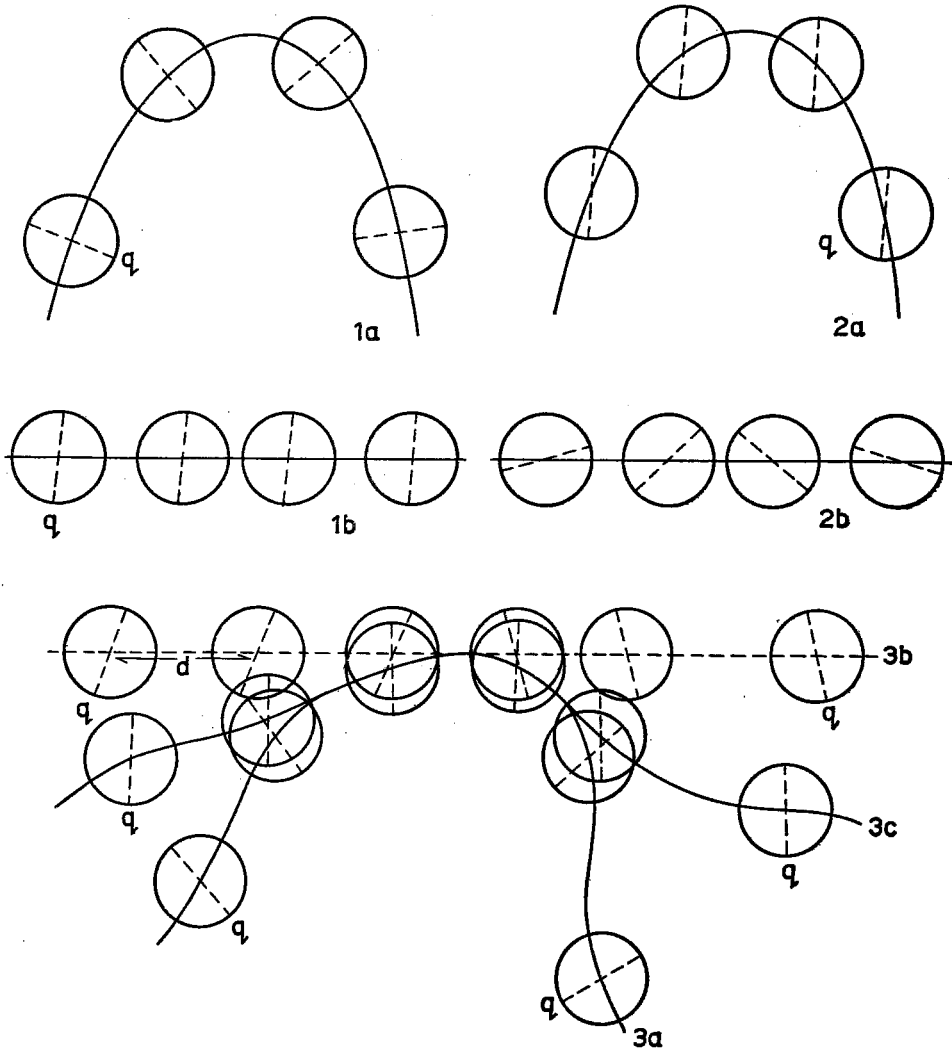


Fig. 1

Relacja kierunków  $q$  do fałdu

a przed „rozwinęciem” fałdu, b po całkowitym „rozwinęciu” fałdu, c fałd częściowo „rozwinęty” — kierunki  $q$  równoległe (3a—c według Ladurnera, 1951)

Relation of the  $q$  directions of the fold

a prior to the “unrolling” of fold, b after the complete “unrolling” of fold, c partly “unrolled” fold — parallel  $q$  directions (3a—c after Ladurner, 1951)

wych, wapieni krystalicznych i łupków amfibolitowych. W obrębie łupków łyszczykowych występują też zgodne wkładki jasnych, drobnoziarnistych skał kwarcowo-skaleniowych. We wcześniejszej pracy scharakteryzowałam te skały pod względem petrograficznym i chemicznym, na-

zwałałam je łupkami kwarcowo-skaleniowymi i włączyłam do serii supra-krystalnej badanego obszaru (Dziedzicowa 1966).

W łupkach kwarcowo-skaleniowych występują liczne mezofałdy, o zmiennej amplitudzie (od 1 m do kilku milimetrów), uwarunkowanej głównie grubością ławic. Są to fałdy asymetryczne o symetrii jednoskośnej lub trójskośnej. Pomiarzy osi mezofałdów wykazały występowanie 2 zasadniczych grup, różniących się orientacją geograficzną. Główne struktury fałdowe należą do struktur południkowych o osiach w przybliżeniu horyzontalnych. Zupełnie lokalnie natomiast występują fałdy o kierunkach NW-SE, których osie zapadają pod niezbyt stromymi kątami w kierunku NW. Fałdy w kierunkach NW-SE są młodsze, gdyż zreorientowały starszą, południkową lineację (Dziedzicowa 1966, s. 111).

Analizę orientacji kwarcu w fałdach obydwóch generacji wykonano nie tyle w celu uchwycenia następstwa fałdowań, chociaż stanowi ona cenny dowód kolejności fałdowania na badanym obszarze, lecz głównie w celu ewentualnego stwierdzenia zależności między fałdowaniem a głównym stadium deformacji (i rekrytalizacji) kwarcu. Na podstawie analizy orientacji kwarcu w fałdach można też wyciągnąć wnioski odnoszące się do genezy i typu badanych fałdów.

Obydwa analizowane fałdy, należące do dwóch różnych czasowo generacji, charakteryzują się podobną morfologią. Grubość ich przegubów, mierzona prostopadle do foliacji, jest prawie dwukrotnie większa w porównaniu do grubości skrzydeł. Na skrzydłach obydwóch fałdów występują struktury linijne nie pokrywające się z ich osiami, dlatego osie fałdów zostały oznaczone literą *F*, zaś pozostałe lineacje — literą *L*. Starszy fałd o osi południkowej ( $F_1$ ) pochodzi z odsłonięcia łupków kwarcowo-skaleniowych w Wojstawicach koło Niemczy, młodszy ( $F_2$ ) z odsłonięcia łupków kwarcowo-skaleniowych znajdującego się po wschodniej stronie miejscowości Stolec koło Zabłkowic Śląskich. W obydwóch przypadkach zafałdowana została powierzchnia  $S_1$ , tj. powierzchnia warstwowania, względnie laminacji litologicznej.

### Fałd $F_1$

#### *Morfologia fałdu i stosunki lineacji do osi fałdu*

W fałdzie występują naprzemianległe warstewki lub laminy materiału kwarcowo-skaleniowego i kwarcowo-łuszczycowego (fig. 2). Skala zafałdowań jest inna w materiale kwarcowo-łuszczycowym, co widoczne jest w partii przegubowej fałdu, a inna w materiale kwarcowo-skaleniowym o większej kompetencji. Między powierzchniami osiowymi poszczególnych warstewek kwarcowo-skaleniowych występuje mała dysharmonia,

w związku z czym powierzchnia osiowa całego fałdu nie jest płaska. W górnej, urwanej warstewce kwarcowo-skaleniowej widoczne są na samym przegubie dwie laminy kwarcu żyłowego. Kwarc zbliżnia też powierzchnię syntetycznego przesunięcia ( $hkl$ ) na dłuższym skrzydle fałdu. Większy gufraż, widoczny na zdjęciu (fig. 2) z lewej strony przesunięcia, powstał przypuszczalnie na skutek przeciwstawnie skierowanego ruchu na



Fot. J. Szałamacha

Fig. 2

Fałd  $F_1$  z widoczną lineacją  $L_1$  i  $L_2$  na skrzydle krótkim z odsłonięcia łupków kwarcowo-skaleniowych w Wojsławicach

Fold  $F_1$  showing the  $L_1$  and  $L_2$  lineation in the shorter limb from the outcrop of quartz-feldspar schists in Wojsławice

powierzchni warstwy. Oś gufrażu odchyła się od osi fałdu o około 2—3°. Równolegle przebiega wyraźna lineacja  $L_1$ . Na górnej powierzchni fałdu obserwuje się drugi większy gufraż, równoległy do mało wyraźnej lineacji  $L_2$ , o kierunku równoległym do śladu przecięcia warstewki z powierzchnią przesunięcia ( $hkl$ ). Lineacja  $L_1$  została lekko ugięta wzdłuż drugiego większego gufrażu. Podobne dwa pęknięcia, wzdłuż których partia przegubowa przesunięta została nieco w górę, widoczne są w dolnej, cienkiej warstewce kwarcowo-skaleniowej.

Na powierzchni równoległej do krótkiego skrzydła fałdu (fig. 2) wyraźna lineacja  $L_1$  tworzy z osią fałdu ostry kąt, wynoszący 12—15°. Druga, mniej wyraźna lineacja  $L_2$  zapada w kierunku przeciwnym niż  $L_1$  i tworzy z nią kąt około 40°. Lineacja  $L_2$  jest na obserwowanym, krótszym, skrzydle fałdu również równoległa do śladu przecięcia powierzchni przesunięć ( $hkl$ ). Na skrzydle płaskim kąt między  $L_1$  a  $L_2$  jest mniejszy i wynosi około 28°.

Po hipotetycznym rozprostowaniu zafałdowanej warstwy wraz z lineacjami,  $L_2$  będzie linią prostą,  $L_1$  zaś ułoży się stożkowo do osi  $F_1$  fałdu. Lineacja  $L_1$ , genetycznie związana z fałdowaniem  $F_1$ , jest nieco młodsza od fałdu. Jeszcze młodsza jest lineacja  $L_2$ , której związek z powierzchnią przesunięć ( $hkl$ ) jest bardzo prawdopodobny.  $L_1$  wykształcona jest w postaci mikrozmarszczek lub wynika z równoległego ułożenia płytek łyszczyków.  $L_2$  tworzy osie mikro-ugieć, rzadziej jest równoległa do wydłużenia płytek mik.

Dolna powierzchnia próbki (por. fig. 2) stanowi nową powierzchnię  $S$ . Jest ona wprawdzie równoległa do płaskiego skrzydła fałdu, niemniej obcina również pod kątem prawie prostym warstewki skrzydła krótkiego. Mogłaby ona odpowiadać płaszczyźnie przesunięć ( $h0l$ ), antytetycznej w odniesieniu do rotacji skrzydeł fałdu (Hoepfener 1955).

#### Orientacja kwarcu i łyszczyków

Do analizy mikroskopowej wycięte zostały z płaszczyzny  $ac$  fałdu trzy płytki cienkie, tj. z obydwóch skrzydeł i przegubu. Przegub podzielono dodatkowo na trzy; możliwie homogeniczne sektory (fig. 3), które

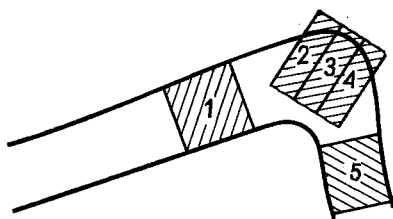


Fig. 3

Schemat fałdu  $F_1$  z wyznaczonymi sektorami w płaszczyźnie  $ac$

Sketch of fold  $F_1$  indicating the investigated sectors in the  $ac$  plane

przeanalizowano oddzielnie. Analiza orientacji minerałów przeprowadzona została w obrębie środkowej warstewki kwarcowo-skalieniowej fałdu (por. fig. 2). Warstewka ta zmierzona prostopadle ma 20 mm grubości na przegubie, 14 mm na skrzydle dłuższym, 11 mm na skrzydle krótkim.

Pomierzone zostały osie optyczne kwarcu oraz normalne do (001) łyszczyków (biotyt i muskowit). Diagramy orientacji kwarcu zestawiono na figurze 4 ( $a—e$ ), diagramy orientacji łyszczyków na figurze 5 ( $a—e$ ). Zostały one ponumerowane kolejno od skrzydła dłuższego (płaskiego) w kierunku skrzydła krótkiego (stromego), analogicznie jak poszczególne sektory na fałdzie (fig. 3). Cyfry w nawiasach z prawej strony diagramów (ponad wartościami procentowymi) oznaczają ilość pomierzonych ziarn.

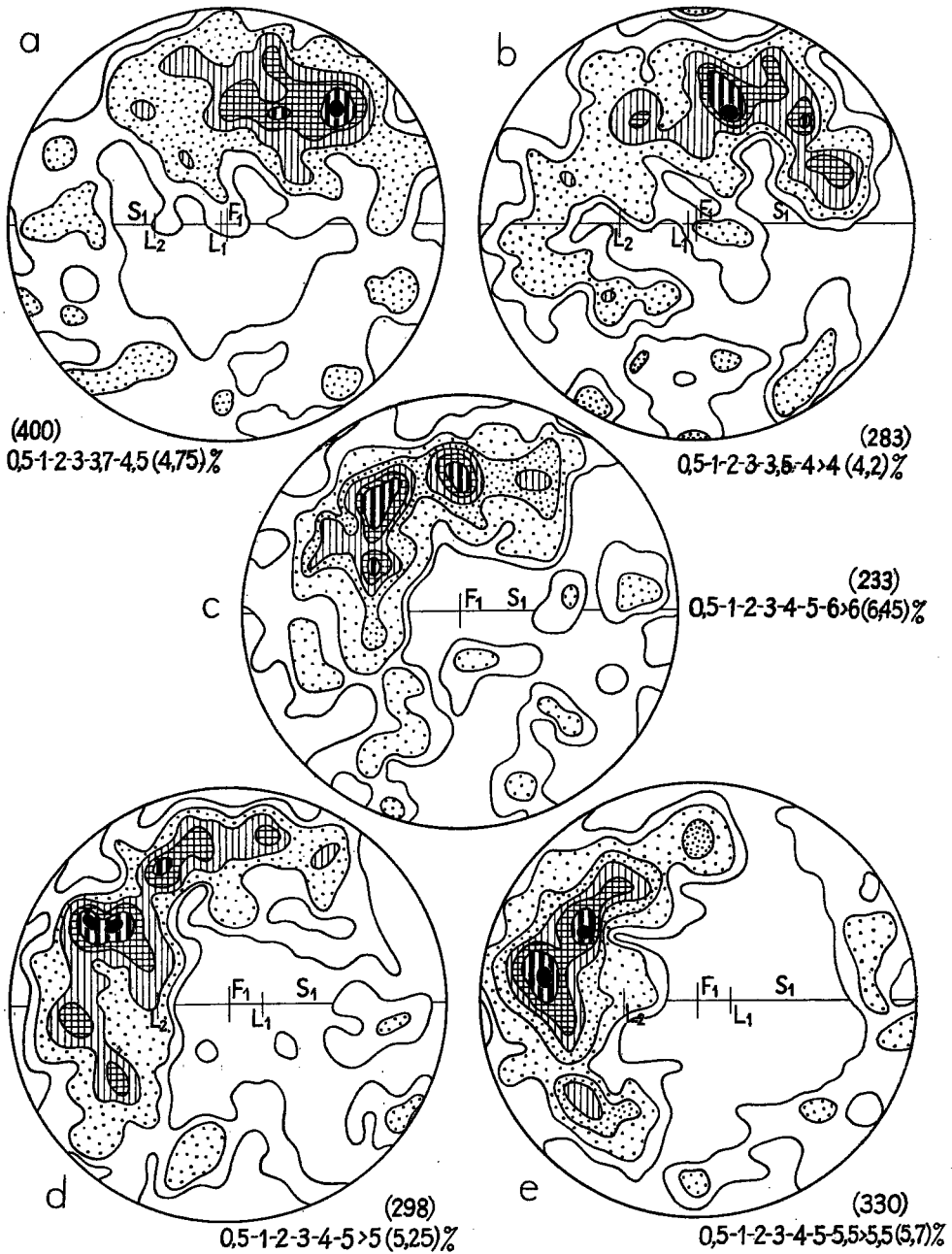


Fig. 4

Diagramy osi optycznych kwarcu — a, b, c, d, e odpowiadają kolejnym sektorom 1, 2, 3, 4, 5 na fig. 3

Diagrams of the optical axes of quartz — a, b, c, d, e correspond successively to sectors 1, 2, 3, 4, 5 in fig 3

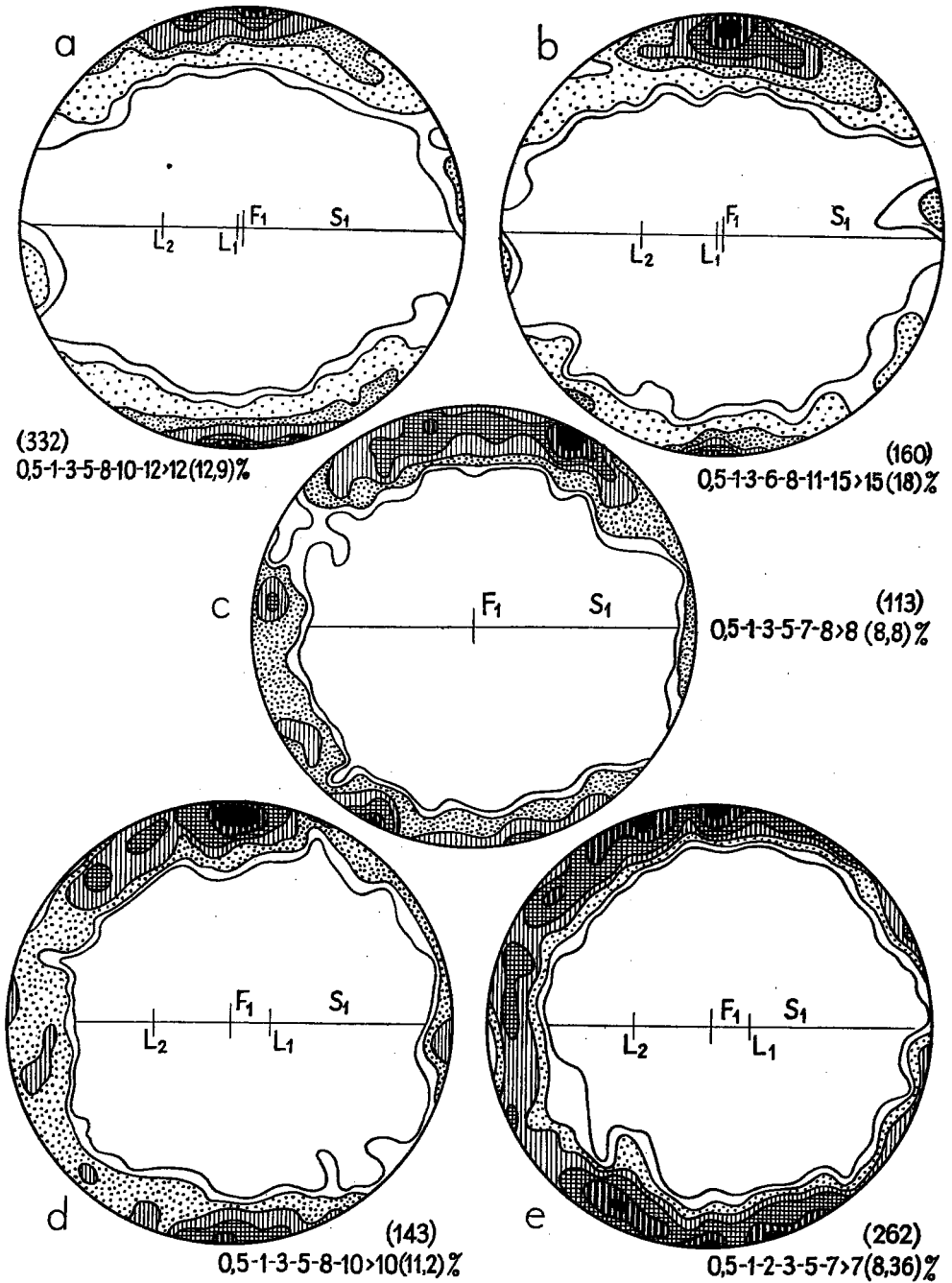


Fig. 5

Diagramy normalnych do (001) łyszczków (a, b, c, d, e jak na fig. 4)  
Diagrams of the normals to the (001) of micas (a, b, c, d, e as in fig. 4)



*Orientacja kwarcu.* — Orientacja kwarcu w odniesieniu do fałdu jest homogeniczna. Na diagramach (fig. 4) widoczne są niepełne pierścienie, odchylone od obwodu koła, tj. płaszczyzny  $ac$  diagramów, z pojedynczymi lub dwoma maksimumami blisko siebie leżącymi. Usytuowanie ich w odniesieniu do powierzchni  $S_1$  jest w każdym diagramie inne. Pierścienie i maksima ze skrzydła dłuższego (fig. 4, *a*) i krótkiego (fig. 4, *e*) ułożone są względem siebie pod kątem około  $90^\circ$ .

Brak nawiązań orientacji kwarcu do foliacji wynika również z porównania obrazów dwóch diagramów zbiorczych (fig. 6). Diagram *A* przed-

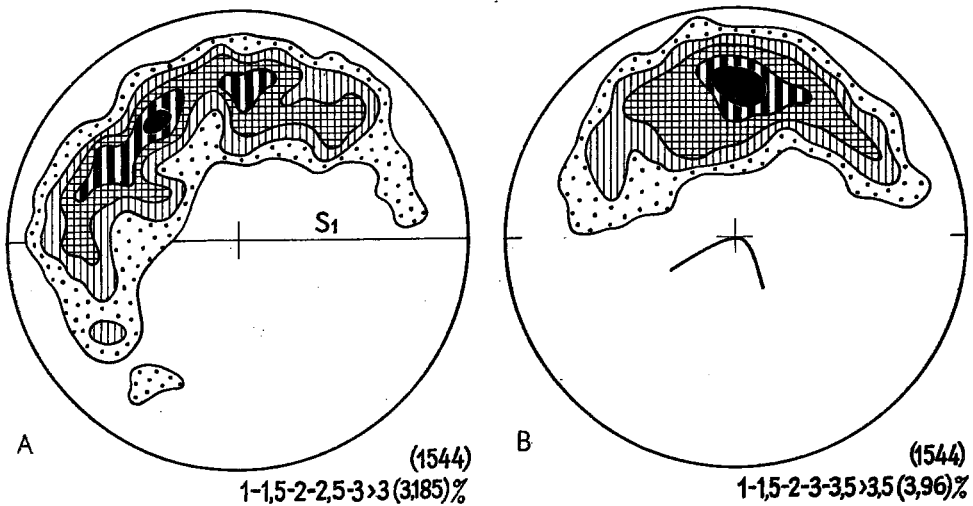


Fig. 6

Diagram zbiorczy orientacji osi optycznych kwarcu dla fałdu  $F_1$  — *A* „rozwinętego”, *B* w obecnej postaci

Total diagram of the orientation of the optical axes of quartz for the  $F_1$  fold — *A* „unrolled”, *B* in its actual form

stawia orientację kwarcu dla fałdu „rozwinętego”, diagram *B* skonstruowano dla fałdu w obecnej postaci. Z obydwóch, znacznie lepsze uporządkowanie wykazuje obraz *B* (jedno ostre maksimum, mniejsza rozciągłość pierścienia). Prosta, która by łączyła maksimum i środek diagramu (kierunek  $q$ ) nie będzie ściśle wyznaczała powierzchni osiowej fałdu. Symetria tego diagramu (fig. 6*B*) jest trójskośna, ponieważ pierścień orientacji kwarcu odchylony jest od płaszczyzny  $ac$  fałdu, a oś symetrii pierścienia nie pokrywa się z osią fałdu. Bliskie położenie osi pierścienia kwarcu wykazuje jedynie lineacja  $L_1$  na stromym skrzydle fałdu (fig. 4, *d* i *e*), ponieważ jest tutaj odchylona o kilkanaście stopni od osi fałdu  $F_1$ . Natomiast zupeł-

nie nie nawiązuje do pierścienia orientacji kwarcu lineacja  $L_2$  (por. fig. 4), chociaż w pobliżu  $L_2$  występują na niektórych diagramach niskoprocentowe pola orientacji. Są one jednak tak minimalne, że zniknęły zupełnie na zbiorczym diagramie (fig. 6B).

Niskoprocentowe pola orientacji na diagramach (fig. 4) powodują, że symetria orientacji kwarcu, rozpatrywana niezależnie od powierzchni  $S$  i struktur liniowych, jest już trójskośna. Jest to prawdopodobnie związane z minimalną reorientacją kwarcu w czasie nałożonej deformacji, w efekcie której ukształtowała się struktura liniowa  $L_2$ .

Dalszą analizę wykonano dwoma sposobami. Jeden, zaproponowany przez J. Ladurnera i stosowany w późniejszych pracach (Schäfler-Zozmann 1954, Ball 1960), polegał na wyznaczeniu kierunków  $q$  (przez maksima i środek diagramów), drugi polegał na obliczeniu średnich statystycznych z danych pogrupowanych.

Wartości kierunków  $q$ ,  $Mo$ ,  $Me$ ,  $Ma$ , podane w stopniach, zestawiono dla poszczególnych sektorów fałdu w tabeli 1. Obliczono też dla każdego badanego odcinka fałdu kąty zawarte między stycznymi ( $t$ ) a kierunkami  $q$ ,  $Mo$ ,  $Me$  i  $Ma$  (tab. 2). Tabela 3 obejmuje zestawienie wartości kątów, jakie tworzą z sobą średnie statystyczne i kierunki  $q$  między sąsiednimi sektorami, oraz kąty zmierzone na fałdzie między stycznymi badanymi odcinków.

Tabela (Chart) 1

Numer sektora	Położenie kierunków średnich na fig. 7 w stopniach			
	$q$	$Mo$	$Me$	$Ma$
1	224	215	201	199
2	197	192	183	174
3	160	139	143	144
4	123	116	121	125
5	109	99	105	106

W tabeli 1 zestawiono wartości w stopniach dla kierunków  $q$  oraz średnich modalnej ( $Mo$ ), mediany ( $Me$ ) i arytmetycznej ( $Ma$ ). Odchylenia wartości kierunków są niekiedy znaczne. Różnice między kierunkami  $q$  i średnimi statystycznymi zależne są przede wszystkim od asymetrycznego usytuowania maksimum w pierścieniu. Występują też odchylenia między kierunkami  $q$  a modalną, co związane jest z różnymi sposobami wyliczeń statystycznych (diagram konturowy i uszeregowanie w klasach) i powoduje, że maksima nie pokrywają się ze szczytami krzywych rozkładu częstości (por. fig. 7 i tab. 1).

Różnice między średnimi statystycznymi można najłatwiej prze-

śledzić na wykresie krzywych rozkładu częstości, skonstruowanych dla poszczególnych sektorów fałdu. Krzywe 1, 3 i 5 są słabo skośne, wartości  $Me$  i  $Ma$  leżą blisko siebie, a oddalone są mniej lub bardziej od modalnej. Natomiast większa skośność krzywych 2 i 4 powoduje różnicowanie się wartości  $Me$  i  $Ma$ .

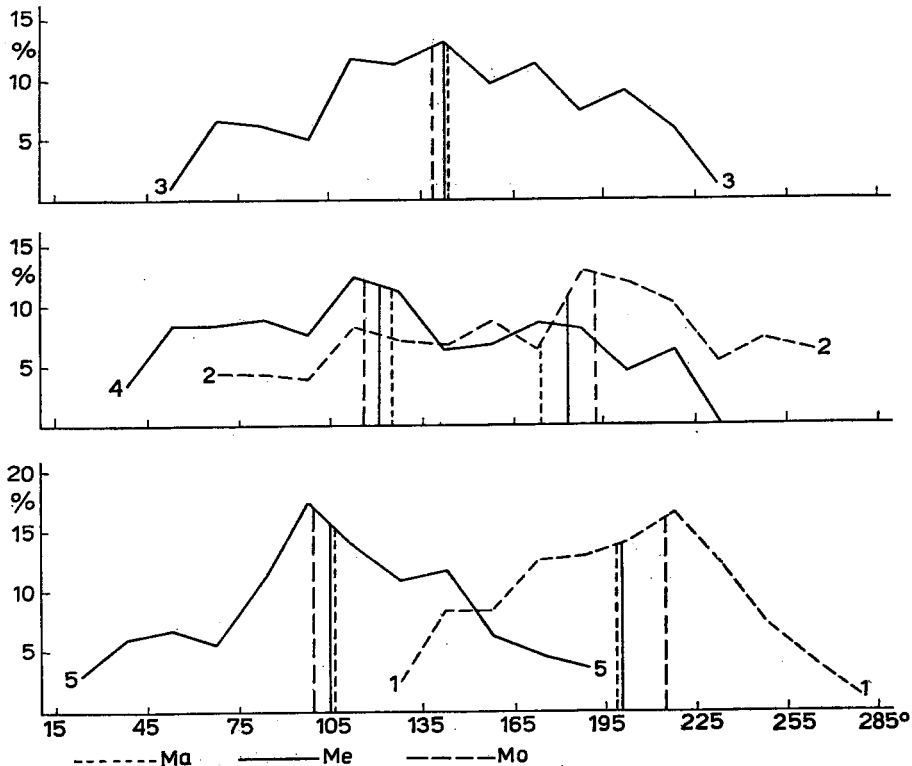


Fig. 7

Krzywe rozkładu częstości osi optycznych kwarcu w płaszczyźnie  $ac$  „rozwinętego” fałdu  $F_1$ . 1—5 badane sektory fałdu jak na fig. 3

Frequency distribution curves of the optical axes of quartz in the  $ac$  plane of the  $F_1$  “unrolled” fold. 1—5 investigated sectors of fold as in fig. 3

Krzywe 1 i 2 z płaskiego skrzydła fałdu wykazują skośność ujemną, zaś krzywe 3, 4 i 5 z przegubu i stromego skrzydła skośność dodatnią.

Dane statystyczne w wykresie odnoszą się do fałdu rozprostowanego. Kąty, jakie tworzą z sobą poszczególne średnie, na wykresie wyrażają równocześnie wartości o jakie musielibyśmy zrotować kierunki średnich z położenia równoległego, by fałd został „rozwinęty”. W tabeli 3 zwraca uwagę różnica w kątach, jakie tworzą z sobą styczne ( $t$ ) z obydwóch

skrzydeł (sektory 1 i 5) zmierzone na fałdzie ( $101^\circ$ ), następnie kierunki  $q$  ( $105^\circ$ ), modalne ( $116^\circ$ ), mediany ( $96^\circ$ ) i średnie arytmetyczne ( $93^\circ$ ). Fałdu nie można rozprostować ani dla kierunków  $q$ , ani modalnych, gdyż tworzą one kąty większe w porównaniu do faktycznej krzywizny fałdu. Natomiast po sprowadzeniu średnich arytmetycznych jak również median do położenia równoległego, fałd dałby się nieco „rozwinąć”, ponieważ kąty między skrzydłami są mniejsze od krzywizny fałdu.

Położenie kierunków  $q$  oraz median (tj. średnich statystycznych najlepiej charakteryzujących układy skośne) w fałdzie można wizualnie porównać na figurze 8A. W fałd wkomponowano uproszczone diagramy

Tabela (Chart) 2

Numer sektora	Odchylenie średnich od stycznej ( $t$ ) w stopniach			
	$t \angle q$	$t \angle Mo$	$t \angle Me$	$t \angle Ma$
1	134	125	111	109
2	107	102	93	84
3	70	49	53	54
4	33	26	31	35
5	19	9	15	16

kwarcu, a na zewnątrz wrysowano kierunki  $q$  liniami ciągłymi, kierunki  $Me$  liniami przerywanymi. Zarówno kierunki  $q$  jak i mediany nie pokrywają się ściśle z powierzchnią osiową fałdu, z wyjątkiem kierunku  $q$  na płaskim skrzydle fałdu, co związane jest raczej z nieco stożkowym położeniem kierunków  $q$  w ogóle. Bardzo bliskie położenie wykazują  $q$  i  $Me$  na skrzydle stromym, zaś na dłuższym i przegubie mediany odchylają się znacznie od kierunków  $q$  i są ustawione prawie równoległe do skrzydła krótkiego.

Odchylenie  $Me$  od  $q$  na skrzydle płaskim jest przypuszczalnie częściowo związane z wtórną, minimalną reorientacją kwarcu wokół  $L_2$ . Nie-

Tabela (Chart) 3

Porównywane sektory	Kąty między jednoimiennymi kierunkami w porównywanych sektorach w stopniach				
	$t$	$q$	$Mo$	$Me$	$Ma$
1 $\angle$ 2	18	27	23	18	25
2 $\angle$ 3	34	27	53	40	30
3 $\angle$ 4	36	37	23	22	19
4 $\angle$ 5	13	14	17	16	19
1 $\angle$ 5	101	105	116	96	93

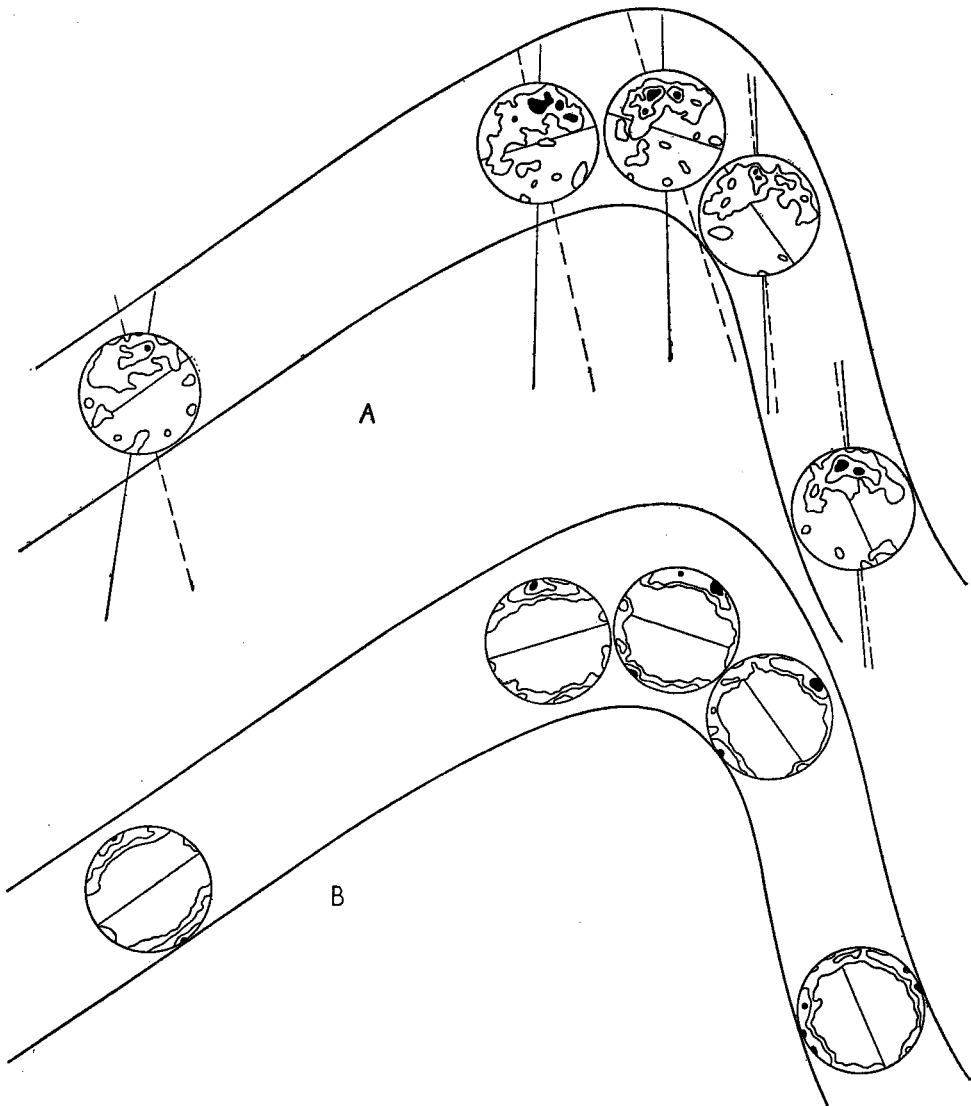


Fig. 8

Relacja orientacji kwarcu i łyszczyków (diagramy uproszczone) do fałdu  $F_1$ . A osie optyczne kwarcu: linie na zewnątrz diagramów; ciągłe — kierunki  $q$ , przerywane — mediany. B normalne do (001) łyszczyków

Relation of the orientation of quartz and micas (simplified diagrams) to the  $F_1$  fold. A optical axes of quartz: lines outside the diagrams; unbroken lines —  $q$  directions, broken lines — medians. B normals to the (001) of micas

mniej, asymetryczne usytuowanie maksimum w pierścieniu orientacji wynika przypuszczalnie również ze zmiany położenia maksymalnego kierunku ścinania w czasie końcowego zacieśniania fałdu. Różna skośność krzywych rozkładu częstości, zależna od położenia badanego sektora w fałdzie i nawiązująca do jego asymetrii, zdaje się taką sugestię potwierdzać.

*Orientacja łyszczyków.* — Łyszczyki wyznaczają powierzchnię  $S$  ( $ab$ ) prostopadle do danego maksimum, ponieważ mierzone są normalne ich łupliwości. Maksima w związku z tym wyznaczają oś odniesienia  $c$ .

Dwa diagramy ( $a$  i  $b$  na fig. 5) z płaskiego skrzydła fałdu przedstawiają stosunkowo proste obrazy  $S$ -tektonitów (Sander 1930), chociaż rozciągnięcie pierścienia w kierunku osi  $a$  diagramu wykazuje, że część płytek łyszczyków ustawiona jest pod małym kątem do zaznaczonych powierzchni  $S_1$ . W diagramie  $a$  pojawia się wyraźne submaksimum (blisko maksimum), które trzeba wiązać z drobnym zmarszczkowaniem widocznym na dłuższym skrzydle fałdu (fig. 2). Oś przecięcia powierzchni  $S_1$  wyznaczonych przez maksimum i submaksimum pokrywa się z osią  $F_1$  fałdu. Na diagramie  $b$  występuje tylko jedno maksimum, odchylone od  $ac$  diagramu.

Pozostałe trzy diagramy ( $c$ ,  $d$  i  $e$  na fig. 5) dają obrazy  $B$ -, względnie  $R$ -tektonitów (Sander, loc. cit.). Pojawia się na nich nowy pierścień, odchylony od obwodu o około  $10^\circ$ . W pierścieniu tym występują submaksima (3—5%), natomiast główne maksima przywiązane są do foliacji. Na diagramie  $e$  dwa główne maksima znajdują się w podobnej pozycji w odniesieniu do foliacji, jak maksimum i submaksimum na diagramie  $a$ . Trzecie maksimum wychylone jest od obwodu i należy do nowego pierścienia orientacji. Ponieważ płaszczyzna  $ac$  tego pierścienia nie pokrywa się z płaszczyzną  $ac$  fałdu, jak również oś  $b$  pierścienia nie pokrywa się z osią fałdu, następuje obniżenie symetrii obrazu do symetrii trójskośnej. Oś  $b$  pierścienia orientacji łyszczyków jest bliska pozycji  $L_1$  na skrzydle krótkim fałdu.

Trójskośna symetria orientacji łyszczyków na diagramach z przegubu i krótkiego skrzydła fałdu wskazuje na związek z trójskośną symetrią obrazów kwarcu.

### *Interpretacja fałdu $F_1$*

Opisana uprzednio morfologia mezofałdu, tj. słaba dysharmonia między powierzchniami osiowymi wyżej i niżej leżących, zafałdowanych warstewek, różna skala fałdów zależnie od mniejszej lub większej kompetencji materiału, jak również wypełnianie pustych miejsc między niektórymi warstewkami na przegubie fałdu pozwalają zaliczyć go do „flexure-slip folds” (Knopf & Ingerson 1938, Turner & Weiss 1963), względnie „Biegeleitfalte” (Sander 1930).

Dyskusyjnym zagadnieniem przy interpretacji genezy fałdów jest przyczyna pogrubiania się przegubów i wycieniania skrzydeł. E. B. Knopf i E. Ingerson (1938, s. 160—161) łączą to zjawisko z fałdowaniem ze ścinania („shear folding” lub „slip folding”), podczas gdy R. Hoepfner (1955) wskazuje na płynięcie materiału w kierunku przegubu („Biegungsfliessen”) w związku z wyginaniem i ślizganiem warstw na skrzydłach.

F. J. Turner i L. E. Weiss (1963, s. 489—493) podają za Ramsayem, że pogrubienie przegubów i wycienienie skrzydeł (o 50%) może zmienić morfologię pierwotnie koncentrycznego fałdu, w efekcie nałożenia w późnym stadium na składową heterogeniczną deformacji, składowej homogenicznej. Tego rodzaju symetryczne nałożenie dwóch składowych deformacji odnosi się do „flexure-slip folds”, opisanych przez B. Sandera (1930, s. 258—262), które wykazują homogeniczną orientację kwarcu lub kalcytu.

Zgodnie z E. B. Knopf i E. Ingersonem (1938) łyszczyki w „flexure-slip folds” orientują się równolegle do wygiętych warstw, natomiast w „slip folds” równolegle do płaszczyzn ścinania. W praktyce powierzchni  $ab$ , wyznaczone przez maksima lub submaksima łyszczyków, tworzą zwykle większe lub mniejsze kąty z kierunkami  $q$  kwarcu, chociaż mogą leżeć w zasięgu stożka rozsiewu kwarcu (Schäfler-Zozmann 1954).

W badanym fałdzie występuje podobny brak korelacji strukturalnej między łyszczykami a kwarcem (por. fig. 8), jeżeli podstawą rozważań będą maksima lub submaksima diagramów. Natomiast korelacja między orientacją kwarcu i łyszczyków na przegubie i w stromym skrzydle fałdu jest wyraźniejsza, gdy rozpatrywać będziemy pierścienie orientacji tych minerałów. Oś symetrii pierścieni, będąca osią rotacji dla kwarcu i części łyszczyków, wyznacza kinetyczną oś  $B$  struktury (Weiss 1955). Kinetyczna oś  $B$  orientacji minerałów odchyła się od osi fałdu  $F_1$  i leży blisko  $L_1$  na krótkim skrzydle fałdu.

Jednak w skali większej, np. jednego odsłonięcia, kierunki lineacji  $L_1$  i kierunki mezofałdów  $F_1$  pokrywają się statystycznie. Pomiary struktur liniowych w nawiązaniu do foliacji, z odsłonięcia metamorficznych łupków kwarcowo-skaleniowych w Wojsławicach, z którego przeanalizowany został mezofałd  $F_1$ , zestawione zostały na figurze 9. Warstwy zapadają tutaj monoklinalnie, średnio  $40^\circ$  w kierunku zachodnim. Zapady stromsze w kierunku zachodnim oraz zapady skierowane w kierunku wschodnim pochodzą z pomiarów foliacji na mezofałdach. Na diagramie widoczna jest symetryczna relacja osi mezofałdów  $F_1$  i struktur liniowych  $L_1$  do foliacji  $S_1$ , gdyż normalna pierścienia biegunów foliacji tj.  $S_1$  leży blisko biegunów  $F_1$  i  $L_1$ . Natomiast nie zaznacza się tego rodzaju korelacja struktur liniowych  $L_2$ .

Ponieważ kinetyczna oś  $B$  orientacji minerałów jest bliska pozycji  $L_1$  na stromym skrzydle fałdu, można przyjąć, że struktury liniowe  $F_1$  i  $L_1$ ,

związane z południkowym fałdowaniem, odzwierciedlają statystycznie kinetyczną oś  $B$ . Podobny pogląd wyraził wcześniej H. Teisseyre (1964, s. 473) przyjmując, że południkowe struktury linijne  $B_1$  jednostki Międzygórze pokrywają się z pośrednią osią elipsoidy odkształceń. W związku z tym proces orientacji minerałów w fałdzie, który obniżył symetrię struktury do trójskośnej, stanowił dalszy ciąg aktu deformacji i odbywał się przy zachowaniu tej samej kinetycznej osi  $B$ , która lokalnie mogła

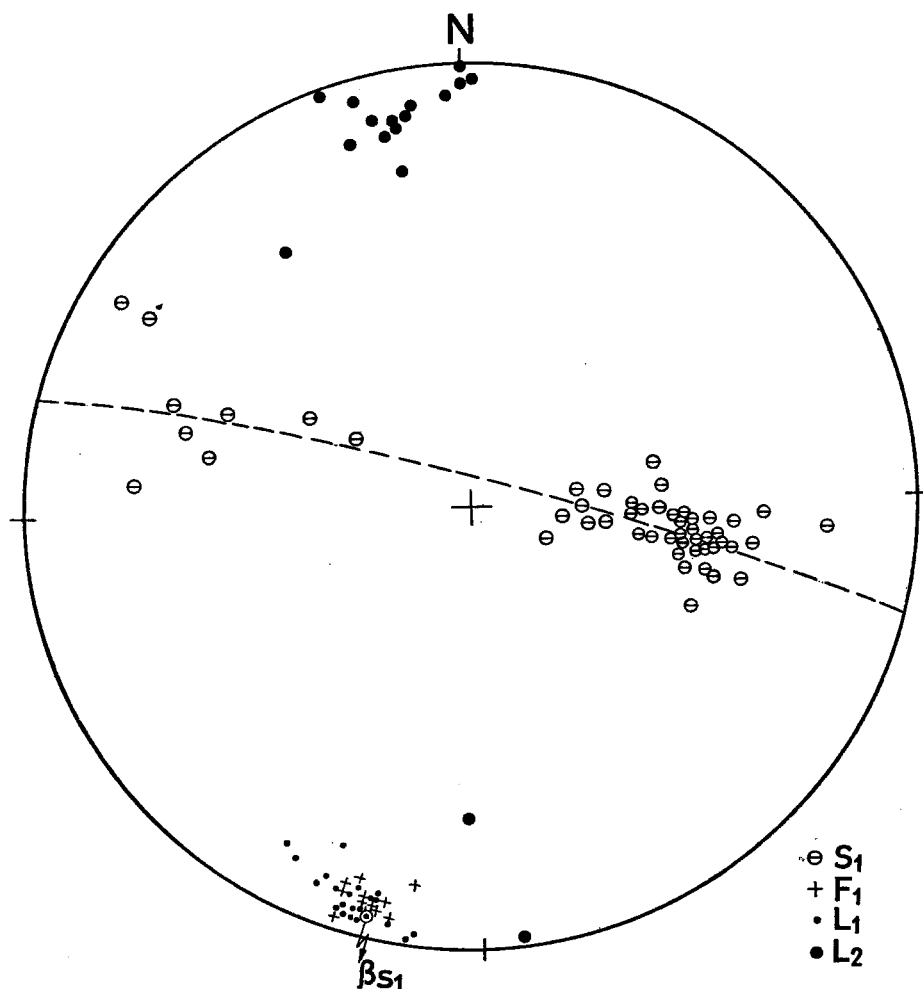


Fig. 9

Diagram normalnych foliacji ( $S_1$ ), biegunów lineacji  $L_1$  i  $L_2$ , oraz osi mezofałdów  $F_1$  — odsłonięcie łupków kwarcowo-skaleniowych w Wojsławicach

Diagram of the normals of foliation ( $S_1$ ), of lineation  $L_1$  and  $L_2$  poles, and of the axes of mesoscopic folds  $F_1$  — in the outcrop of quartz-feldspar schists at Wojsławice



zmieniać nieznacznie swe położenie, wahając się wokół pozycji horyzontalnej.

Powierzchnie ścinania uaktywniły się w późnym stadium fałdowania typu „flexure-slip folding” i dlatego orientacja kwarcu w fałdzie  $F_1$  jest homogeniczna. Duży stożek rozsięgu kwarcu wskazuje, że powierzchnie ścinania ulegały rotacji w końcowym stadium zacieśniania fałdu. Prawoskrętna (dodatnia) skośność krzywych rozkładu częstości na przegubie i stromym skrzydle fałdu, zaś lewoskrętna (ujemna) na płaskim skrzydle sugerują, że maksymalne powierzchnie ścinania rotowały w kierunku przeciwnym, dając w efekcie nieco stożkową pozycję kierunków  $q$ . Łyszczki, ze względu na blaszkowy pokrój, reagowały słabiej na deformację, związaną z aktywnym ścinaniem. Są one „zależnym” elementem strukturalnym, podczas gdy kwarc, który ze względu na izometryczny pokrój jest znacznie mniej zależny od wpływu początkowej orientacji, jest „niezależnym” elementem strukturalnym (Weiss 1955).

Metody „rozwijania” fałdów nie można traktować ściśle ilościowo. Rotacja płaszczyzn ścinania jest czynnikiem utrudniającym odwzorowanie realnej postaci fałdu z okresu założenia powierzchni ścinania. Na zagadnienie to zwróciła już uwagę I. Schäfler-Zozmann (1954), analizując wachlarzowe położenie kierunków  $q$  w fałdach.

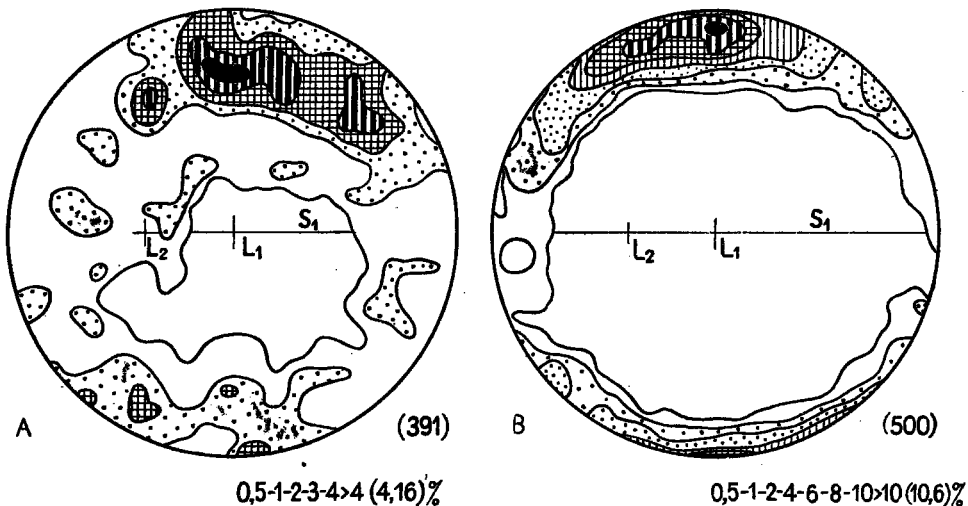


Fig. 10

Diagramy orientacji minerałów z warstw leżących monoklinalnie w odsłonięciu metamorficznych łupków kwarcowo-skaleniowych w Wojsławicach. A osie optyczne kwarcu, B normalne do (001) łyszczków

Mineral orientation diagrams from monoclinial beds in the outcrop of metamorphic quartz-feldspar schists at Wojsławice. A optical axes of quartz, B normals to the (001) of micas

Homogeniczna orientacja kwarcu w fałdzie  $F_1$ , w każdym sektorze inaczej zorientowana do powierzchni  $S_1$ , może być podstawą do określenia pozycji monoklinalnie leżących tektonitów w obrębie większej jednostki strukturalnej, tj. megafałdu. Z orientacji osi optycznych kwarcu i normalnych do (001) łyszczyków (fig. 10), pomierzonych w próbce z warstw zapadających monoklinalnie pod kątem  $45^\circ$  w kierunku zachodnim (fig. 9), wynikałoby, że odsłonięcie w Wojsławicach znajduje się na skrzydle płaskim, blisko przegubu większego megafałdu  $F_1$  (por. fig. 4b, 5b i 10). Rozciągnięcie tego wniosku na inne odsłonięcia będzie zależało od intensywności wtórnej deformacji, która w Wojsławicach minimalnie zreorientowała uporządkowanie kwarcu, związane genetycznie z fałdowaniem  $F_1$ . Z drugiej strony, nie znając orientacji minerałów w różnych sektorach fałdu, a mając do dyspozycji jedynie warstwy pochodzące z płaskiego skrzydła fałdu, można by wyciągnąć błędne wnioski o nałożonym planie deformacji kwarcu, całkowicie niezgodnym z powierzchnią  $S_1$  i lineacją  $L_1$ .

### Fałd $F_2$

#### *Morfologia fałdu i stosunki lineacji do osi fałdu*

Fałd przedstawia asymetryczną, leżącą synformę (Turner & Weiss 1963, s. 106) z normalnym skrzydłem krótkim i odwróconym skrzydłem dłuższym (fig. 11). Widoczne jest pogrubienie przegubów i niezupełnie płaska powierzchnia osiowa. W jądrze fałd jest zbliżony do koncentrycznego, zaś w większej odległości od jądra zbliża się kształtem do litery V.

Wyraźna lineacja  $L_1$  biegnie skośnie do osi fałdu i jest od niego starsza. Brak lineacji równoległej do osi fałdu. Na obydwóch skrzydłach występuje natomiast struktura linijna  $L_a$  o charakterze zbliżonym do rys na wygładach skalnych. Gdy jest ona wykształcona wyraźnie,  $L_1$  ulega na niej częściowemu wytarciu i wygładzeniu. Jej stosunek do osi fałdu jest różny. Na skrzydle odwróconym ustawiona jest prawie prostopadle do osi fałdu  $F_2$ , zaś na skrzydle normalnym tworzy z nią kąt około  $60^\circ$ . Zwykle jest intensywniej wykształcona na skrzydle normalnym.

#### *Orientacja kwarcu*

Z fałdu zostały pobrane trzy zorientowane próbki, zgodnie ze schematem na figurze 12A. Płytki cienkie wykonane zostały prostopadle do lineacji  $L_1$ , jako najwyraźniejszego elementu strukturalnego w skale.

Na figurze 13 przedstawiony został diagram zbiorczy (z trzech płytek cienkich) w przekroju prostopadłym do lineacji  $L_1$ . Powierzchnie wszystkich próbek ustawione są równoległe, przy czym uwzględniono odwrócenie skrzydła dłuższego. Maksimum znajduje się z lewej strony diagramu



Fot. T. Jerzykiewicz

Fig. 11

Fałd  $F_2$  z odsłonięcia łupków kwarcowo-skaleniovych w Stolcu

Fold  $F_2$  from the outcrop of the quartz-feldspar schists at Stolec

i leży na śladzie przecięcia foliacji. Pierścień orientacji jest odchyłony od obwodu o około  $20^\circ$ . Jest on symetryczny do lineacji  $L_1$ . Obraz jest nieco podobny do diagramu z krótkiego skrzydła fałdu  $F_1$  (por. fig. 4e), gdyż wykazuje zbliżoną relację maksimum do powierzchni  $S_1$  i do lineacji  $L_1$ .

Bieguny osi optycznych kwarcu z obydwóch skrzydeł zostały przerotowane do płaszczyzny  $ac$  fałdu  $F_2$  (fig. 14). Maksima usytuowane są na obydwóch diagramach na powierzchni  $S_1$  i znajdują się w jednakowej odległości od  $L_1$ , natomiast niezupełnie jednakowej od osi  $F_2$ . Wynika to stąd, że kąty między osią fałdu a lineacją  $L_1$  nie są jednakowe na obydwóch skrzydłach; na skrzydle odwróconym kąt ten jest o  $3^\circ$  większy, tj. wynosi  $40^\circ$ . Widoczne są też różne pozycje  $La$ . Na skrzydle normalnym  $La$  tworzy z osią  $F_2$  kąt  $84^\circ$ , na odwróconym kąt  $61^\circ$ .

Ze względu na zróżnicowane w szczegółach obrazy orientacji na omawianych diagramach konturowych, skonstruowano na ich podstawie krzywe rozkładu częstości dla fałdu „rozwiniętego” (fig. 15). Obydwie krzywe są dodatnio skośne. Równocześnie jednak widoczne jest przesunięcie średnich statystycznych od wspólnej pozycji kierunków  $q$ , tj.  $90^\circ$

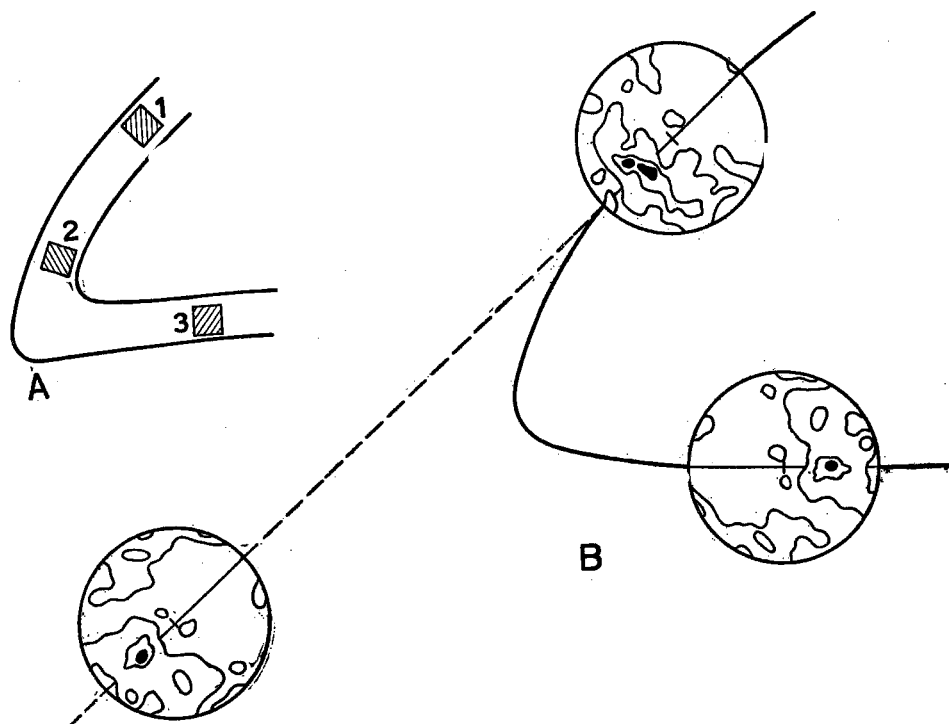


Fig. 12

A — Schemat fałdu  $F_2$  z zaznaczonymi sektorami badanymi. B — Uproszczone diagramy orientacji osi optycznych kwarcu w obecnym położeniu na fałdzie i po „rozwinieciu”

A — Sketch of fold  $F_2$  indicating investigated sectors. B — Simplified orientation diagrams of the optical axes of quartz in the present position in the fold and after „unrolling”

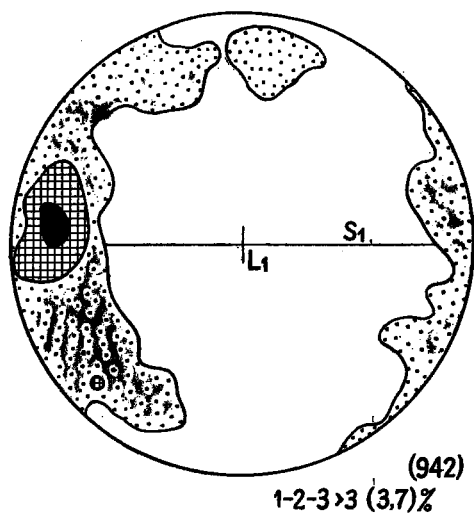


Fig. 13

Diagram zbiorczy orientacji kwarcu, prostopadłe do lineacji  $L_1$

Total diagram of the orientation of quartz, perpendicular to lineation  $L_1$

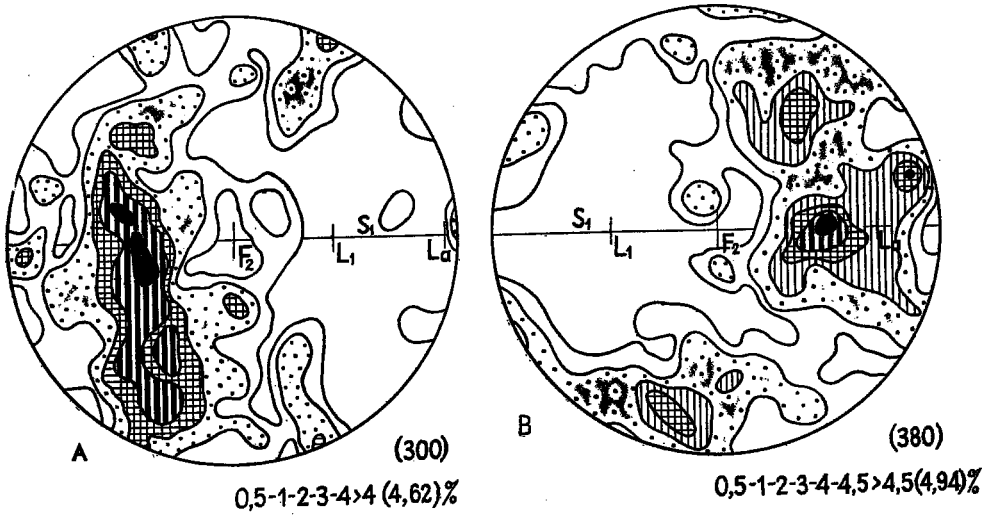


Fig. 14

Diagramy osi optycznych kwarcu w płaszczyźnie *ac* fałdu  $F_2$ . A skrzydło normalne, B skrzydło odwrócone

Diagrams of the optical axes of quartz in the *ac* plane of fold  $F_2$ . A normal limb, B inverted limb

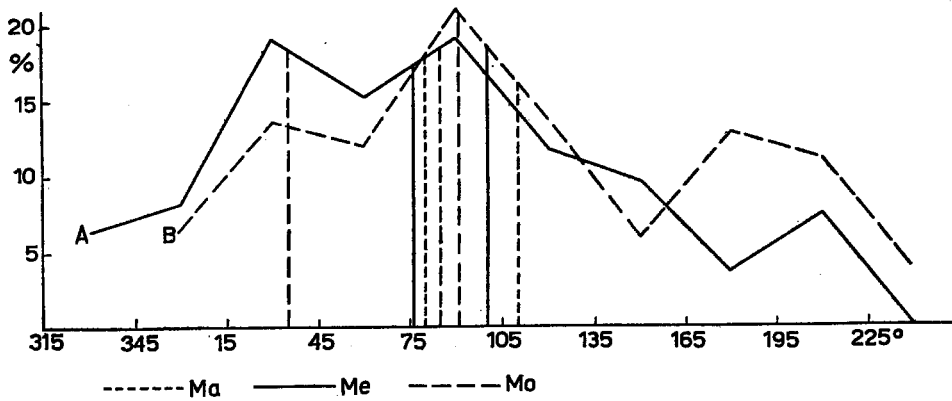


Fig. 15

Krzywe rozkładu częstości osi optycznych kwarcu w płaszczyźnie *ac* „rozwinętego” fałdu  $F_2$ . A i B jak na fig. 14

Frequency distribution curves of the optical axes of quartz in the *ac* plane of the “unrolled” fold  $F_2$ . A and B as in fig. 14

w dwie przeciwne strony (por. tab. 4). Mediana na skrzydle odwróconym wynosi  $100^\circ$ , na skrzydle normalnym  $76^\circ$ . Średnie statystyczne odchylają się zatem od powierzchni osiowej fałdu. Jednakowa skośność obydwóch krzywych może wskazywać, że kwarc uzyskał orientację przed zafałdowaniem, zaś wahania wartości między kierunkami  $q$  a medianą mogą być związane z procesem wyginania. Stąd różne obrazy diagramów związane są zapewne z częściową reorientacją kwarcu w czasie wyginania.

Tabela (Chart) 4

Sektor	Położenie kierunków średnich na fig. 15 w stopniach			
	$q$	$Mo$	$Ma$	$Me$
A	90	I. 85 II. 35	80	76
B	90	91	110	100

Interesujące szczegóły ujawniają obrazy orientacji kwarcu, przerotowane wraz z foliacją i elementami linijnymi do pozycji geograficznej (fig. 16). Zależność orientacji geograficznej osi optycznych kwarcu od położenia geograficznego foliacji jest jednoznaczna. Niemniej widoczna jest

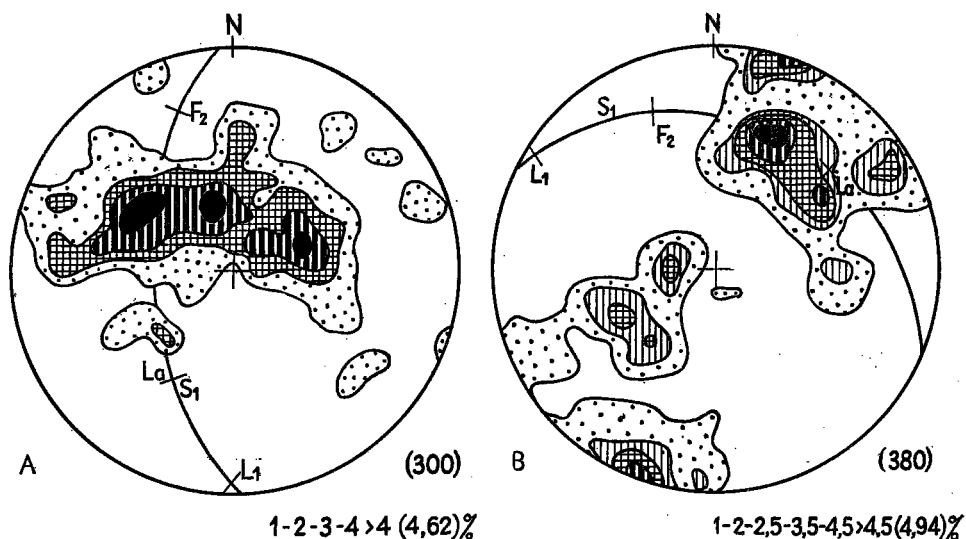


Fig. 16

Orientacja geograficzna osi optycznych kwarcu. A skrzydło normalne, B skrzydło odwrócone

Geographical orientation of the optical axes of quartz. A normal limb, B inverted limb

tendencja do rozciągania pierścienia orientacji na skrzydle odwróconym (fig. 16B) w kierunku zbliżonym do biegu foliacji, tj. WINW-ESE. Ten sam kierunek wykazuje pierścień na skrzydle normalnym. Przypomina on bardziej pierścienie fałdu  $F_1$ , lecz oddzieliły się w nim dwa dodatkowe maksima, odsunięte od foliacji w kierunku ESE.

Starsza, południkowa lineacja  $L_1$  wskazuje różne położenie geograficzne, zależne od położenia foliacji. Na skrzydle odwróconym, zapadającym w kierunku NE,  $L_1$  na skutek zafałdowania wokół  $F_2$  znalazła się w nowym położeniu i zapada obecnie w kierunku NW. Natomiast na skrzydle normalnym, południkowym,  $L_1$  zmieniła azymut o kilkanaście stopni w kierunku S.

### Interpretacja fałdu $F_2$

Stosując klasyczną metodę Sandera-Ladurnera, fałd można w pełni „rozwinąć” (por. fig. 12B). Niemniej dodatkowe informacje takie, jak objawy ślizgu międzywarstwowego, tj. obecność lineacji „a”, wewnętrzna rotacja na skrzydle odwróconym (kąt  $F_2 \wedge L_1$  większy o  $3^\circ$ ), odchylenie się średnich statystycznych od pozycji maksimów w przeciwnych kierunkach, relacja orientacji kwarcu do współrzędnych geograficznych, pozwalają wnosić, że fałd nie powstał w wyniku prostego wyginania, lecz połączonego ze ślizganiem na powierzchni foliacji  $S_1$ . Natomiast wyjaśnienie w tym przypadku pogrubienia przegubów i wycienienia skrzydeł jest trudne.

### WNIOSKI

W metamorficznych łupkach kwarcowo-skaleniowych, na obszarze metamorfizmu niemczańsko-kamienieckiego, występują starsze fałdy  $F_1$  o osiach zbliżonych do południkowych oraz młodsze fałdy  $F_2$  o osiach zapadających w kierunku północno-zachodnim. Morfologia obydwóch generacji fałdów jest podobna; ich przeguby są pogrubione. Obydwie generacje fałdów należą do „flexure-slip folds”.

Orientacja kwarcu w fałdach  $F_1$  jest homogeniczna, związana z powierzchniami ścinania, które uaktywniły się w późnym stadium fałdowania. Oś symetrii pierścienia orientacji kwarcu i lyszczyków wyznacza kinetyczną oś  $B$  planu ruchów. Statystycznie pokrywa się ona z osiami fałdów  $F_1$  i linijnymi strukturami  $L_1$ , które odchylają się nieco od osi fałdów. W fałdach  $F_2$  orientacja kwarcu jest heterogeniczna. Nie wykształciły się tutaj struktury linijne równoległe do osi tych fałdów. Natomiast na skrzydłach widoczne są rysy, ustawione pod kątem  $61^\circ$  do osi fałdu na skrzydle normalnym i pod kątem  $84^\circ$  na skrzydle odwróconym.

Stosując klasyczną metodę „rozwijania” fałdów, Sandera-Ladurne-

ra, fałdu  $F_1$  nie można na podstawie orientacji kwarcu rozprostować, natomiast można całkowicie „rozwinąć” krzywiznę fałdu  $F_2$ .

Rozpatrując orientację kwarcu w każdym badanym sektorze fałdu jako oddzielne szeregi statystyczne, ustalono pewne zależności od położenia w fałdzie. W fałdzie  $F_1$  szeregi statystyczne na dłuższym skrzydle wykazują mniejszą lub większą skośność ujemną, zaś na przegubie i skrzydle krótkim skośność jest dodatnia. W fałdzie  $F_2$  obydwie szeregi charakteryzuje skośność dodatnia, natomiast mediana i średnia arytmetyczna odchylają się od wspólnego kierunku  $q$  na skrzydle normalnym w kierunku ujemnym, na skrzydle odwróconym w kierunku dodatnim. Skośność szeregów w fałdzie  $F_1$  nawiązuje do asymetrii fałdu. Skośność w fałdzie  $F_2$  sugeruje, że została przejęta z pierwszego fałdowania, natomiast do krzywizny fałdu nawiązuje odchylenie średnich statystycznych od kierunku  $q$ .

Kierunki osi fałdów  $F_1$  i lineacji  $L_1$  są zgodne z kierunkami struktur liniowych  $B_1$ , opisanymi przez H. Teisseyre'a (1964, s. 471—476) z jednostki Międzygórze w metamorfiku Łącka-Śnieżnika. H. Teisseyre (loc. cit., s. 473) przyjmuje, że południkowe struktury liniowe  $B_1$  pokrywają się z pośrednią osią elipsoidy odkształceń. Do podobnych wniosków doszła autorka na podstawie orientacji minerałów, przyjmując, że południkowe struktury liniowe  $F_1$  i  $L_1$  pokrywają się statystycznie z kinetyczną osią  $B$ , dla analizowanego wycinka terenu. Kierunki osi fałdów  $F_2$  są zapewne równoległe ze strukturami liniowymi  $B_2$  z jednostki Międzygórze, gdyż wykazują podobny kierunek NW-SE i, zgodnie z poglądami H. Teisseyre'a, deformują starsze struktury liniowe  $B_1$ . Młodsza lineacja  $L_2$  na fałdach  $F_1$  wykazuje podobny kierunek NW-SE, lecz na razie trudno rozstrzygnąć, czy powstała w tym samym akcie deformacji co fałdy  $F_2$ .

Na zakończenie składam serdeczne podziękowanie Prof. Dr Henrykowi Teisseyre'owi za zapoznanie mnie w terenie z metodami badań drobnych struktur stosowanymi przez Profesora, oraz za przeczytanie rękopisu. Dr Janowi Burchartowi serdecznie dziękuję za wprowadzenie mnie w metody analizy teksturalnej.

*Pracownia Geologii Starych Struktur  
Zakładu Nauk Geologicznych PAN  
Wrocław, ul. Cybulskiego 30  
Wrocław, w lutym 1968 r.*

#### LITERATURA CYTOWANA

- BAILL T. K. 1960. A petrofabric analysis of a fold. — Amer. J. Sci., vol. 258, no. 4. New Haven.
- DZIEDZICOWA H. 1966. Seria łupków krystalicznych na wschód od strefy Niemczy w świetle nowych badań (The schist series east of the Niemcza zone in the light of new investigations). — Z geologii Ziemi Zachodnich, Sesja naukowa



- XIX-lecia polskich badań 1945—1965, Zagadnienia geologii podstawowej i stosowanej, s. 101—128. Wrocław.
- GUILFORD J. P. 1964. Podstawowe metody statystyczne w psychologii i pedagogice (tłum. z jęz. ang.). Państw. Wydawn. Nauk. Warszawa.
- HOEPPENER R. 1955. Tektonik im Schiefergebirge (eine Einführung). — Geol. Rundschau, Bd. 44, Sonderb. Stuttgart.
- JONES K. A. 1959. A petrofabric method of fold analysis. — Amer. J. Sci., vol. 257, no. 2. New Haven.
- KNOOPF E. B. & INGERSON E. 1938. Structural petrology. — Mem. Geol. Soc. Amer., vol. 6. Baltimore.
- LADURNER J. 1951. Beiträge zur Typisierung von Quarzfalten. — Tscherm. Miner. Petr. Mitt., F. 3, Bd. 2 (1). Wien.
- SANDER B. 1930. Gefügekunde der Gesteine. Springer. Wien.
- SCHÄFLER-ZOZMANN J. 1954. Gefügeanalysen an Quarzfalten. — N. Jb. Miner., Abt. A, Bd. 87. Stuttgart.
- TEISSEYRE H. 1964. Uwagi o ewolucji strukturalnej Sudetów (Some remarks on the structural evolution of the Sudetes). — Acta Geol. Pol., vol. 14, no. 4. Warszawa.
- TURNER F. J. & WEISS L. E. 1963. Structural analysis of metamorphic tectonites. Mc Graw-Hill. New York.
- WEISS L. E. 1955. Fabric analysis of a triclinic tectonite and its bearing on the geometry of flow in rocks. — Amer. J. Sci., vol. 253, no. 3. New Haven.
- WERYHA A. 1954. Statystyka teoretyczna, cz. I. Państw. Wydawn. Nauk. Warszawa.

## SUMMARY

ABSTRACT: The orientation of quartz, partly also of micas from two mesoscopic folds, has been analysed, using the Sander-Ladurner method of "unrolling" the folds. An analysis has also been made of the statistical means and of the asymmetry of distribution of the optic axes of quartz. Homogeneity of quartz orientation has been observed in fold  $F_1$  belonging to the meridional structures. On the basis of the symmetry of mineral orientation it has been possible to determine the kinetic B axis, statistically coinciding with the meridional linear structures ( $F_1$  and  $L_1$ ). Heterogeneity of quartz orientation has been observed in the younger fold  $F_2$ , with a NW plunge of axis. This orientation is symmetric in relation to the older lineation  $L_1$ , kinematically passive in the course of the second folding.

An analysis of the orientation of minerals has been made in two mesoscopic folds from the metamorphic quartz-feldspar schists in the Niemcza — Kamieniec Żąbkowicki area. Both these folds are asymmetric, with the hinge thickened in relation to the limbs (figs. 2 and 11). Surface  $S_1$  i.e. the surface of bedding or of lithological lamination is that folded in both cases.

Fold  $F_1$  belongs to the meridional structures having a subhorizontal axis. Lineation  $L_1$  is discordant with the axis of fold  $F_1$ ; on the longer limb  $L_1 \nabla F_1$  it is  $2-3^\circ$ , but  $12-15^\circ$  on the shorter limb. The poorly distinct  $L_2$  lineation cuts  $F_1$  and  $L_1$ . On the longer limb  $L_2 \nabla F_1$  it is  $28^\circ$ , but  $40^\circ$  on the shorter limb. On both limbs  $L_2$  is parallel to the intersection line of the dislocation plane (*hkl*) — fig. 2. The morphology of the fold suggests that it belongs to the flexure-slip folds.

The quartz orientation in fold  $F_1$  is homogeneous (figs. 4 and 6). The  $q$  directions (Ladurner 1951) run somewhat conically and do not exactly coincide with the axial plane of the fold (fig. 8A). The statistical means mode ( $Mo$ ), both arithmetic ( $Ma$ ) and median ( $Me$ ) deviate from the  $q$  directions (chart 1 and fig. 8A). The frequency distribution curves indicate negative skewness in the longer limb and positive skewness in the hinge and in the shorter limb (fig. 7). The skewness of the curves is connected with the asymmetry of the fold. Fold  $F_1$  cannot be "unrolled" (cf. Sander 1930) either in relation to the  $q$  directions or to the mode ( $Mo$ ) because differences in their orientation in sectors 1 and 5 are greater than the curvature of the fold (chart 3). This fold could, however, be "unrolled" by some degrees using the arithmetic mean and the median.

There is a lack of correlation in quartz orientation with the  $S_1$  foliation and with the  $F_1$  fold axis. Hence comes the triclinic symmetry of the quartz diagrams. The axial symmetry of the quartz-axis girdle roughly corresponds to  $L_1$  on the shorter limb of the fold (fig. 4d, e). There is a lack of symmetry of quartz orientation in relation to  $L_2$ , though there is partial feeble re-orientation of quartz connected with  $L_2$ , hence the patterns of the particular sectors have a sub-triclinic symmetry.

The preferred orientation of (001) planes of the micas (biotite and muscovite) is partly heterotactic in relation to quartz fabrics (figs. 5 and 8B). The main maxima are connected with  $S_1$ . Another girdle deviating by more than ten degrees from the  $ac$  plane of fold occurs in the diagrams (fig. 5). The whole symmetry of these diagrams is triclinic, too. The axis of symmetry of the mica girdle on the shorter limb occurs near to  $L_1$ .

It has been accepted that the  $b$  axis of the mica girdle and the  $b$  axis of the quartz-axis girdle are the axis of rotation for the quartz and the micas, therefore, they are the kinetic  $B$  axis of the movement pattern. The kinetic  $B$  axis deviates from the axis of the  $F_1$  fold, but it lies near to  $L_1$  on the shorter (steep) limb of the fold. On a larger scale, i.e. that of the outcrop (fig. 9)  $F_1$  and  $L_1$  coincide statistically. The statistical coincidence with  $\beta S_1$  is discernible, too. There is a lack of symmetry for  $L_2$ . Hence, it may be concluded that the kinetic  $B$  axis statistically coincides with the meridional structures  $F_1$  and  $L_1$ . A similar opinion has been previously given by H. Teisseyre (1964, p. 473) when he recognized that the meridional linear structures  $B_1$  from the Międzygórze unit (Łądek-Snieżnik metamorphicum) coincide with the intermediate axis of the strain ellipsoid. The orientation process of minerals in the fold was a continuation of the deformation process, and it was realized with the same kinetic  $B$  axis. Here and there this axis may have changed its position but remained more or less horizontal.

The shearing surfaces occurred in the late stage of the flexure-slip folding, hence the orientation of quartz is homogeneous. The large size of the dispersal cone of quartz indicates that shearing planes were rotated during the final compression of the fold. The dextrorotary skewness of the frequency distribution curves in the hinge and in the shorter limb of the fold, also the sinistrosal skewness in the longer limb, suggest the opposite rotation of the maximal shearing planes which resulted in a somewhat conical position of the  $q$  directions. The flaky micas were more resistant to deformation which was connected with the activation of the shearing planes.

The method of "unrolling" the folds can hardly be treated in quantitative terms. The rotation of the shearing planes hampers the reconstruction of the actual form of the fold at the time of the formation of the shearing planes. This has already been stressed by L. Schäfler-Zozmann (1954).

The homogeneous orientation of quartz, in each sector of the fold presenting a different relation to the  $S$  surface, may provide a basis for the determination of

the position of the monoclinical tectonites within the macroscopic fold. This homogeneous orientation would be of special significance in the investigation of the area here considered, covered with Quaternary deposits. The orientation of quartz axes and (001) planes of micas, measured in a sample collected from beds monoclinically dipping to the west at an angle of  $45^\circ$  (fig. 10) reasonably suggest that the exposure occurs in a flat limb, near to the hinge of the macroscopic fold  $F_1$  (comp. figs. 4b, 5b and 10).

The  $F_2$  fold, with the axis inclined to the north-west, is younger. The  $L_1$  lineation runs obliquely to the axis of the fold. There is a lack of lineation parallel to the axis of the  $F_2$  fold. Linear structures  $La$ , analogous to striae on the slickensides, occur, however, in both limbs. In the normal limb  $La \angle F_2$  is  $61^\circ$ , in the overturned limb it is  $84^\circ$ . The striae on the slickensides indicate interstratal shifting during folding. This is a flexure-slip fold.

The orientation of quartz in fold  $F_2$  is heterogeneous. It produces girdles symmetric to  $L_1$  (fig. 13). In the  $ac$  plane of the fold (fig. 14) the main maxima occur on the  $S_1$  surface. The frequency distribution curves (fig. 15) for both limbs of the fold have positive skewness. The statistical means deviate to the opposite sides from the common position of the  $q$  direction ( $90^\circ$ ) comp. chart 4. This would suggest the partial re-orientation of quartz during the folding. The fold may be completely „unrolled” (fig. 12B). The geographical orientation of the quartz axes depends on the geographical orientation of the foliation (fig. 16). The WINW-ESE stretching of the girdle in the overturned limb (fig. 16B) is observable. The same direction is seen in the quartz girdle on the normal limb (fig. 16A). The older  $L_1$  lineation plunges to the north-west in the overturned limb but to the south in the normal limb. A similar direction is displayed by  $La$  in both limbs but it plunges to the opposite sides.

The thickening in the hinge which could be interpreted as the result of an additional plane homogeneous strain (Turner & Weiss 1963, p. 489—493) in the case of the  $F_1$  fold, cannot, so far, be explained in the case of fold  $F_2$ .

*Laboratory of Old Structures  
of the Institute of Geological Sciences  
Polish Academy of Sciences  
Wrocław 2, ul. Cybulskiego 30  
Wrocław, February 1968*

---