

HENRYK TEISSEYRE<sup>1</sup>

ZAGADNIENIE ANALIZY STRUKTURALNEJ  
 W SUDETACH, JEJ CELE I METODYKA  
 (15 fig.)

*Structural analysis in the Sudetes Mts.*  
 (15 Figs.)

Treść: Autor charakteryzuje obecny stan badań strukturalnych w Sudetach poświęcając szczególną uwagę obserwacjom mezostruktur. Badania te są w znacznej mierze jeszcze w fazie analitycznej. W pracy omawiane jest zagadnienie lineacji, drobnych fałdów, foliacji i wtórnych złupkowań metamorfiku sudeckiego, a także problem spękań skalnych w sekwencjach metamorficznych i osadowych. Podane są też pierwsze wyniki analizy tych spękań, jeśli chodzi o prace autora i niektórych jego współpracowników. Omówione są trudności, których następcząją badania mezo-strukturalne, a zwłaszcza ustalanie ich wieku i następstwa czasowego. Autor podkreśla konieczność doskonalenia metod obserwacyjnych i podniesienia szczegółowości badań.

WSTĘP

W nowoczesnych badaniach geologicznych analiza strukturalna jest podstawą wszelkich koncepcji tektonicznych. Analizę taką stosujemy w zakresie mniej lub więcej szerokim w zależności od potrzeb i od komplikacji terenu. Tektonika terenów metamorficznych, zwykle kilkakrotnie zdeformowanych nie da się rozwiązać bez analizy strukturalnej, możliwie pełnej i szczegółowo przeprowadzonej.

W Sudetach tereny takie odsłaniają się na powierzchni, tworząc zasadniczą część tych gór, nic więc dziwnego, że w tym rejonie Polski zastosowano po raz pierwszy metody analizy strukturalnej, obejmującej prócz form dużych także formy drobne.

Analiza strukturalna stosowana w badaniach tektonicznych polega na uchwyceniu geometrii odkształconych ciał skalnych, charakteru i sekwencji odkształceń i ukierunkowania ich w przestrzeni geograficznej.

Szczególne znaczenie mają tu pomiary położenia nieciągłości płaszczynowych (planarnych) i liniowych oraz ich stosunek do współrzędnych strukturalnych, nawiązujących do kinematyki. Nieciągłości takie definiują charakter anizotropowości mas skalnych, lub też granice przekraczalne i nieprzekraczalne domen skalnych (penetrative, nonpenetrative — F. J. Turner i L. Weiss, 1963). Zwiemy je krótko strukturami.

<sup>1</sup> Wrocław, ul. Jaworowa 19.

Idąc za myślą przewodnią obu wspomnianych autorów możemy wydzielić trzy klasy wielkościowe struktur (struktury niesieciowe). Są to struktury klasy: „makro”, „mezo” i „mikro”.

Geometrię makrostruktur określamy za pomocą szczegółowych map geologicznych, wykreślonych na podkładach topograficznych, zawierających rysunek warstwicowy.

Mapy takie podają intersekcję przestrzenną powierzchni granicznych, nieprzekraczalnych ze względu na cechy lito-bio- i chronostratygraficzne.

Geometrię struktur dostrzegalnych nie uzbrojonym okiem w odsłonięciach i w zorientowanych próbkach (mezostruktury) ustalamy, mierząc ich położenie w przestrzeni geograficznej.

Badania mikrostruktur przeprowadzamy, mierząc pod mikroskopem, na zorientowanych cienkich płytkach ich przestrzenne uporządkowanie. Układem odniesienia są tu zwykle współrzędne strukturalne lub wybrane elementy geometryczne mezostruktur.

Dwa pierwsze etapy analizy strukturalnej przeprowadzamy równocześnie, kartując badany teren. Mezostruktury są bowiem bardzo pomocne przy określaniu geometrii makrostruktur i sekwencji deformacji w makrostrukturach. Nieciągłości, dostrzegane w odsłonięciach jak: fałdki asymetryczne i położenie złupkowania mogą też oddać cenne usługi przy określaniu następstwa warstw w seriach skalnych, ułożonych monoklinalnie i „niemych” paleontologicznie.

Z drugiej strony nie sposób interpretować mezostruktur bez nawiązania ich do dużych form danego terenu.

Badania mikrostrukturalne przeprowadzamy w wybranych punktach po skartowaniu terenu i opracowaniu danych mezostrukturalnych.

Uważam, że wyjaśnianie w tym miejscu metod kartograficznych i statystycznych, którymi posługujemy się w różnych etapach analizy strukturalnej — nie ma celu. Znane są one powszechnie, a nadto zawarte są w odnośnych podręcznikach.

Analiza strukturalna nie wykracza poza badanie geometrycznych cech charakteryzujących ciała skalne i poza pomiary ukierunkowania nieciągłości. Uzyskane wyniki nawiązujemy do elementów ruchu, dochodząc do wniosków kinematycznych. Obraz kinematyczny jest ze swej strony podstawą do koncepcji dynamicznej, która określa charakter i ukierunkowanie stressów. Zmierza ona do odtworzenia pola sił, które stało się przyczyną deformacji. W wypadku deformacji złożonej (poligenicznej) trzeba odtworzyć pola sił, odpowiadające poszczególnym jej etapom. Mogą one być odległe od siebie w czasie geologicznym i różnie lub zgodnie ukierunkowane. Próby szczegółowego datowania poszczególnych deformacji są w seriach metamorficznych często trudne do przeprowadzenia i niepewne.

Nawet ustalenie sekwencji deformacji może nastroczać poważnych trudności.

Nie możemy tu zatem zataić, że interpretacja danych, wynikających z analizy strukturalnej wymaga dużego doświadczenia i ostrożności. Często mamy do dyspozycji dwa lub więcej wariantów zmuszających do dalszych, bardziej szczegółowych studiów. W tej sytuacji poglądy badaczy mogą się bardzo różnić, zwłaszcza wtedy, gdy niektóre oparto na zbyt powierzchownych studiach, nie sprawdzonych założeniach i pochopnie uogólnianych schematach.

Szczegółowe kartowanie dużych struktur trwa w Sudetach od lat około dwudziestu. Na tym polu osiągnęliśmy już poważne rezultaty. Systema-

tyczne studia mezostruktur rozpoczęto w tym rejonie około roku 1960. Zebrany dotychczas materiał jest częściowo opracowany i opublikowany.

Wnioski, podane w literaturze, nie są jednakże w wielu wypadkach zgodne. Trzeba tu podkreślić, że zwłaszcza dla utworów starokrystalicznych nie udało się określić wieku deformacji w sposób bezsporny.

Dokładne datowanie poszczególnych zespołów mezostrukturalnych, spotykane niekiedy w literaturze sudeckiej, a odnoszące się do serii niemych paleontologicznie jest bardzo problematyczne. Możemy je pominąć w dyskusji, tym bardziej że podaje się je bez żadnej argumentacji.

Ustalenie wieku struktur liniowych jest szczególnie trudne i niepewne właśnie w sekwencjach starokrystalicznych, dla których nie mamy dotąd ani wiarygodnych oznaczeń wieku bezwzględnego, ani też reperów stratygraficznych, opartych na szczątkach organicznych.

#### STRUKTURY LINIOWE W METAMORFIKU SUDETÓW

Najstarsze struktury liniowe Sudetów występują zapewne w bloku Sowińskich Gór i zgodnie z oceną W. Grocholskiego (1967) mogą być uważane za prekambryjskie. Można je łączyć według wszelkiego prawdopodobieństwa z fałdowaniem moldanubskim.

Wiek drobnych struktur w kompleksach starokrystalicznych Karkonoszy, Łądką i Śnieżnika oraz Gór Bystrzyckich i Orlickich jest różnie określany. Zespoły strukturalne, wiążące się z deformacjami, które w tych regionach wybijają się na plan pierwszy, określa się albo jako assyntyjskie lub jako kaledońskie i waryscyjskie (literatura i dyskusje ustne).

Wśród struktur, uważanych za assyntyjskie niektórzy badacze wyróżniają staro- i młodoassyntyjskie. Podział ten podawany bez argumentacji i bez wyszczególnienia niezbędnych w tym wypadku kryteriów rozpoznawczych nie nadaje się do dyskusji. Możemy go zatem w tym miejscu pominąć.

Pominiemy też w dyskusji blok Karkonoszy, ponieważ poglądy na wiek skał i deformacji są tu zbyt rozbieżne. Trzeba zaczekać do ukończenia badań obecnie na tym terenie prowadzonych, tym bardziej że autorowi znane są nie publikowane wyniki niektórych badaczy.

Pominiemy też zagadnienia strukturalno-tektoniczne Gór Bystrzyckich, które leżą w SE przedłużeniu metamorfiku Karkonoszy. Wyjaśnił je M. Dumicz (1964). Nie ma żadnych uwag odnośnie do publikacji tego autora poza tymi, które nasunęły mi nowe badania w grupie Śnieżnika. Podaję je poniżej.

Kilka zdań poświęcę natomiast badaniom przeprowadzonym w Górach Kaczawskich.

Wśród metamorfiku Gór Kaczawskich wyróżnić można dwa lub trzy przecinające się, różnowiekowe garnitury struktur liniowych. Lokalnie bywa ich więcej.

Zespół główny, oznaczony przez autora symbolem zbiorczym B<sub>1</sub> (H. Teisseyre, 1964) przebiega prawie E-W lub w kwadrantach NW-SE i składa się z drobnych fałdów i szeregu różnych odmian lineacji. Odmiany te to: liniowe uszeregowanie agregatów mineralnych, gufraż, linie powstające na skutek przecięcia foliacji ze złupkowaniem spękaniovym, różne typy struktur ołówkowych (pencil structures) pręty kwarcowe (rods) elongacje ziarna skalnego, budinaż i struktury mulionowe, powstałe przez zmiecie łupków krzemionkowych.

Zgodnie z przyjętą dziś ogólnie symboliką można zespół omawiany oznaczyć literami:  $F_1$  (fałdy) i  $L_1$  (lineacje).

Statystycznie rzecz biorąc zespół ten przebiega równolegle lub prawie równolegle do rozciągłości megastruktur, jeśli pominąć dewiacje, zjawiające się w różnych okolicach. Powstał on w okresie metamorficznej krystalizacji i głównej deformacji kaledonono-waryscyjskiego piętra Gór Kaczawskich.

Dwa zespoły później powstałych struktur liniowych można oznaczyć symbolami  $F_2$  i  $L_2$  względnie  $F_3$  i  $L_3$ . Fałdy tych systemów często, lecz nie zawsze mają charakter fałdów załamowych typu: „kink bands” (J. F. D e v e y 1966) znamionujących schyłkowe fazy deformacji.

Struktury  $F_2$  wykazują biegi wahające się w kwadrantach NE-SW, struktury  $F_3$  zaś zanurzają się ku N, ku S lub ku NW albo SE. Lineacje  $L_2$  i  $L_3$  zjawiają się tam, gdzie występuje gufraż o odpowiednim kierunku, lub rzadziej w miejscach gdzie złupkowanie wtórne:  $S_2$  lub  $S_3$  przecina się z foliacją.

I. W o j c i e c h o w s k a (1966) opisała z północnej części metamorfiku kłodzkiego dwa przecinające się zespoły struktur liniowych, które mogą być równo- lub też różnokierunkowe.

Zespół główny przebiega na ogół w kierunku WNW-ESE, zanurzając się ku południowemu wschodowi. Reprezentuje go szereg różnych odmian lineacji oraz drobne fałdy. System mezostruktur poprzecznych reprezentują płaskie zafałdowania.

Drobne struktury omawianego regionu, a przynajmniej zespół główny — łączą się z przefałdowaniem skał metamorficznych, prawdopodobnie tego samego wieku co przefałdowanie Gór Kaczawskich.

Badania mezostrukturalne są w Sudetach w znacznej mierze jeszcze w fazie analitycznej, a poglądy na ich wiek i następstwo oraz wzajemny stosunek czasowy mogą w przyszłości ulec zmianie. Zaznaczyłem ponadto, że niektóre zespoły mezostruktur mogą być heterogeniczne. Obecność mezostruktur mimetycznych wydaje się niekiedy prawdopodobna (H. T e i s s e y r e, 1968).

Miarą napotykanych trudności mogą być studia autora w masywie Śnieżnika Kłodzkiego, wykonane tam z ramienia Instytutu Geologicznego.

W jednostce Międzygórza wykrył autor trzy różne zespoły struktur liniowych, które uważa za różnowiekowe (H. T e i s s e y r e, 1964, 1968). System główny, oznaczony pierwotnie symbolem  $B_1$ , można rozbić na mezofałdy ( $F_s$ ) i lineację ( $L_s$ ). Okazało się przy tym, że system ten jest złożony, ponieważ miejscami rozpada się na dwa podzespoły drobnych fałdów, przecinających się skośnie. Podzespoły te mają cechy struktur prawie równoczesnych, bowiem wykazują formy tego samego typu, wskazujące na podobną plastyczność skał, deformując się wzajemnie dają skomplikowane fałdy interferencyjne o krzywiznach raczej regularnych.

Podzespół główny, nieco starszy, przebiega w kierunku N-S, lub w azymutach zbliżonych. Oznaczyłem go symbolem  $F_{s1}$ . Podzespół młodszy ukie-  
runkowany jest w kwadrantach NE-SW. Dałem mu symbol  $F_{s2}$ . Lineacja  $L_s$  jest równoległa lub prawie równoległa do struktur  $F_{s1}$  i jak to wynika z dotychczasowych obserwacji, co prawda bardzo nielicznych — jest nieco od nich młodsza. Wydaje się natomiast, że lineacja  $L_s$  jest nieco starsza od drobnych fałdów zespołu  $F_{s2}$  (tylko dwa pomiary).

Lineacja  $L_s$  składa się ze struktur dość rozmaitych. Możemy wśród nich wyróżnić: 1) linijnie uszeregowane blaszki miki, 2) wrzecionowato wydłużone megablasy mikroklinu w gnejsach oczkowych, 3) kierunkowo wy-

dłużone ziarna kwarcu i skaleni, 4) lineacja, powstała na skutek nieregularnego zmięcia lamin. Laminy te bywają porozrywane lub poprzecinane przez pęknięcia i ślizgi ścinające, 5) budinaż w obrębie lamin kwarcowych lub kwarcowo-skaleniowych, przegradzanych przez warstewki łyszczykowe lub szczególnie bogate w łyszczyk, a także zbudinowane wkładki amfibolitów i gnejsów aplitowych, 6) struktury mulionowe w drobnoziarnistych gnejsach typu gieraltowskiego, jak się zdaje powstałe wzdłuż powierzchni ścinania (rzadkie), 7) struktury ołówkowe (pencil structures) w gnejsach drobnoziarnistych typu gieraltowskiego, powstałe przez zmięcie lamin i porozrywanie ich wzdłuż powierzchni ścinania, 8) pręty kwarcowe (rods), często o nieregularnym poprzecznym przekroju i 9) gufraż, zaznaczający się bardzo często na powierzchni lamin łyszczykowych w łupkach i rzadziej w gnejsach, 10) linie, powstałe z przecięcia się powierzchni foliacji ze złupkowaniem ( $S_{s1}$  lub  $S_{s2}$ ).

Wymienione typy lineacji nie występują nigdy w komplecie, lecz mogą kombinować się w różny sposób, zjawiając się po dwa, trzy, lub w większym urozmaiceniu.

Lineacja omawiana jest mniej lub więcej równoległa do rozciągłości jednostki Międzygórza, zbudowanej z gnejsów. Statystycznie rzecz biorąc — na azymuty N-S przypadają maksima tej lineacji, z lokalnymi odchyleniami ku SE, SW lub NE i NW. Na północ od Międzygórza dominują nachylenia w kwadrantach północnych, na S od tej miejscowości napotykamy z reguły mierne nachylenia w kwadrantach południowych. Wiąże się to z poprzeczną elewacją Śnieżnika, wyznaczoną przez L. K a s z ę (1964).

Dyskutowana tu lineacja  $L_s$  dominuje w całej grupie górskiej Śnieżnika i dlatego możemy ją określić jako lineację Śnieżnika. Miejscami zjawiają się drobne fałdy częściowo asymetryczne  $F_{s1}$  ułożone najczęściej równoległe, lub prawie równoległe do lineacji  $L_s$ , rzadziej mezofałdy  $F_{s2}$  o przebiegu NE-SW. Są to dwa podzespoły drobnych fałdów śnieżnickich, wyżej opisane. W pierwszym dominuje asymetria wschodnia, w drugim zaś północno-zachodnia zjawia się najczęściej. Czyli innymi słowy skrzydła wschodnie, względnie północno-zachodnie omawianych struktur są krótsze od skrzydeł przeciwnych.

Zarówno mezofałdy śnieżnickie, jak przynależna do nich lineacja przecięte są przez system fałdów i lineacji o przebiegu najczęściej NW-SE. Zgodnie z propozycją J. Dona i I. Wojciechowskiej, ten system mezostruktur można nazwać systemem Krowiarek. Wyżej wymienieni autorzy stwierdzili bowiem, że system ten dominuje w Krowiarkach. Fałdy Krowiarek nie stanowią zatem przedłużenia jednostki Międzygórza, skracającej ku NW w okolicach Waliszowa, jak to pierwotnie przypuszczano. Zanurzający się ku N element Międzygórza przedłuża się raczej prawie prostolinijnie ku północy w kierunku Złotego Stoku, jak na to wskazują charakterystyczne dla niego mezostruktury.

W punktach, w których krzyżują się mezostruktury systemu śnieżnickiego i systemu Krowiarek, powstały formy interferencyjne o zawilej budowie.

J. D o n słusznie podkreślił w dyskusji polowej, że wyniki wyżej przedstawione komplikują zagadnienie wirgacji łądeckiej. Mamy tu bowiem do czynienia nie tylko z wachlarzowym układem makrostruktur, lecz także z przecinaniem się różnowiekowych systemów fałdowych.

Lineację Krowiarek znaczyć będziemy symbolem  $L_k$ , zaś towarzyszącej jej mezofałdy symbolem  $F_k$ . Poprzednio autor używał dla tych struktur symbolu zbiorowego  $B_2$  (porównaj: H. T e i s s e y r e, 1964, 1968).

W regionie Śnieżnika można napotkać także takie struktury, które by trudno było zaszerzować do zespołu Śnieżnika czy Krowiarek. Najczęściej są to fałdy załamowe typu „kink-bands”, o kierunku E-W lub zbliżonym. W pracach dawniejszych autor użył dla nich symbolu  $B_3$ . Obecnie można by zaproponować symbol  $F_w$  (są to bowiem mezofałdy systemu Wilczki, gdzie je po raz pierwszy rozpoznano). Czasem towarzyszy im złupkowanie spękaniaowe  $S_w$  oraz lineacja  $L_w$ , która powstała przez przecięcie się tego złupkowania z foliacją. Zamiana cyfr przy symbolach na litery małe poddyktowana została faktem, że następstwo wiekowe dwu pierwszych lineacji dawniej uważane za pewne, przy bliższym badaniu okazało się wątpliwe. Dalsze stosowanie numeracji przy symbolach literowych mogłoby potwierdzić pierwotną sugestię, która wydaje się błędna, jak to niżej zobaczymy. Przejściowe odstępstwo od konwencji ogólnie przyjętej (stosowania cyfr) wydaje się konieczne.

Tam, gdzie przecinają się nieciągłości wszystkich trzech zespołów, powstają struktury szczególnie skomplikowane, zawsze o symetrii trójskośnej.

Przykład takiej struktury mamy na fig. 1 dla której sporządzono dwa diagramy na siatce równopowierzchniowej (fig. 2 i 3).

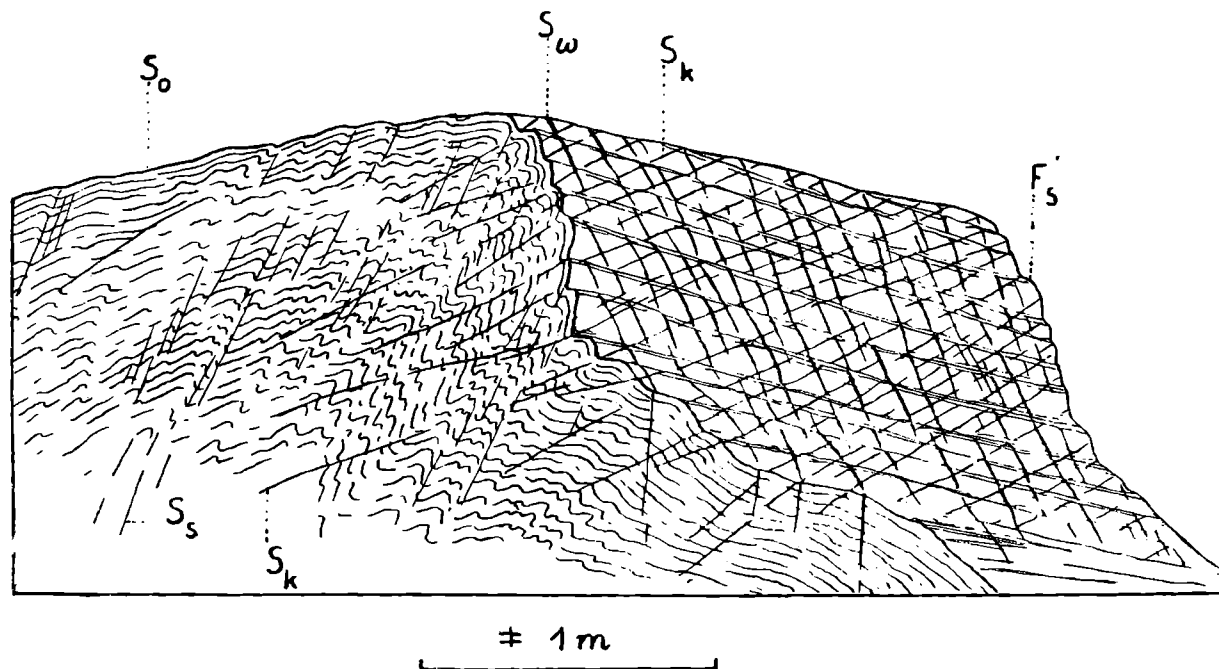


Fig. 1. Szklary — okolica na N od Międzygórza, grupa góriska Śnieżnika, drobnoziarniste gnejsy typu gierałtowskiego.  $F_s$  — fałd drobny systemu Śnieżnika (struktura główna);  $F'_{s1}$  — drobne fałdki na strukturze głównej;  $S_o$  — foliacja;  $S_{s1}$  — złupkowanie spękaniaowe, związane z  $F'_{s1}$ ;  $S_k$  — złupkowanie spękaniaowe systemu Krowiarek;  $S_w$  — złupkowanie spękaniaowe systemu Wilczki

Fig. 1. Szklary — vicinity of Międzygórze, the Mt. Śnieżnik massif (Eastern Sudetes).  $F_{s1}$  — a minor fold of the Śnieżnik system (chief fold);  $F'_{s1}$  — subsidiary minor folds on the chief fold;  $S_o$  — foliation;  $S_{s1}$  — strain slip cleavage, associated with the folds  $F'_{s1}$ ;  $S_k$  — fracture cleavage of the Krowiarek system;  $S_w$  — fracture cleavage of the Wilczka system

Na figurze 1 mamy fałd zespołu  $F_{s1}$  o amplitudzie kilku metrów, przechylony ku E, z osią zanurzającą się łagodnie ku N. Odkryto go w skałkach gnejsowych na prawym brzegu górnej części doliny Szklar (na N od Międzygórza).

Na fałdzie tym występują drobne, często asymetryczne fałdki  $F'_{s1}$ ,

przebiegające nieco skośnie względem osi fałdu głównego. Towarzyszy im słabo zaznaczone wtórne złupkowanie gnejsów  $S'_{s1}$ , równoległe do powierzchni osiowych  $F'_{s1}$ . Fałd główny przecinają ponadto dwa inne systemy pęknięć, zagęszczające się miejscami do tego stopnia, że można je uważać za pierwsze stadia rozwijającego się złupkowania. Są to: system  $S_k$ , przebiegający w kierunku NW-SE i nachylony ku SW, oraz system  $S_w$ , nachylony bardzo stromo ku północy.

Na diagramie fig. 2 uwidocznione są pomiary osi fałdu głównego  $F_{s1}$ ,

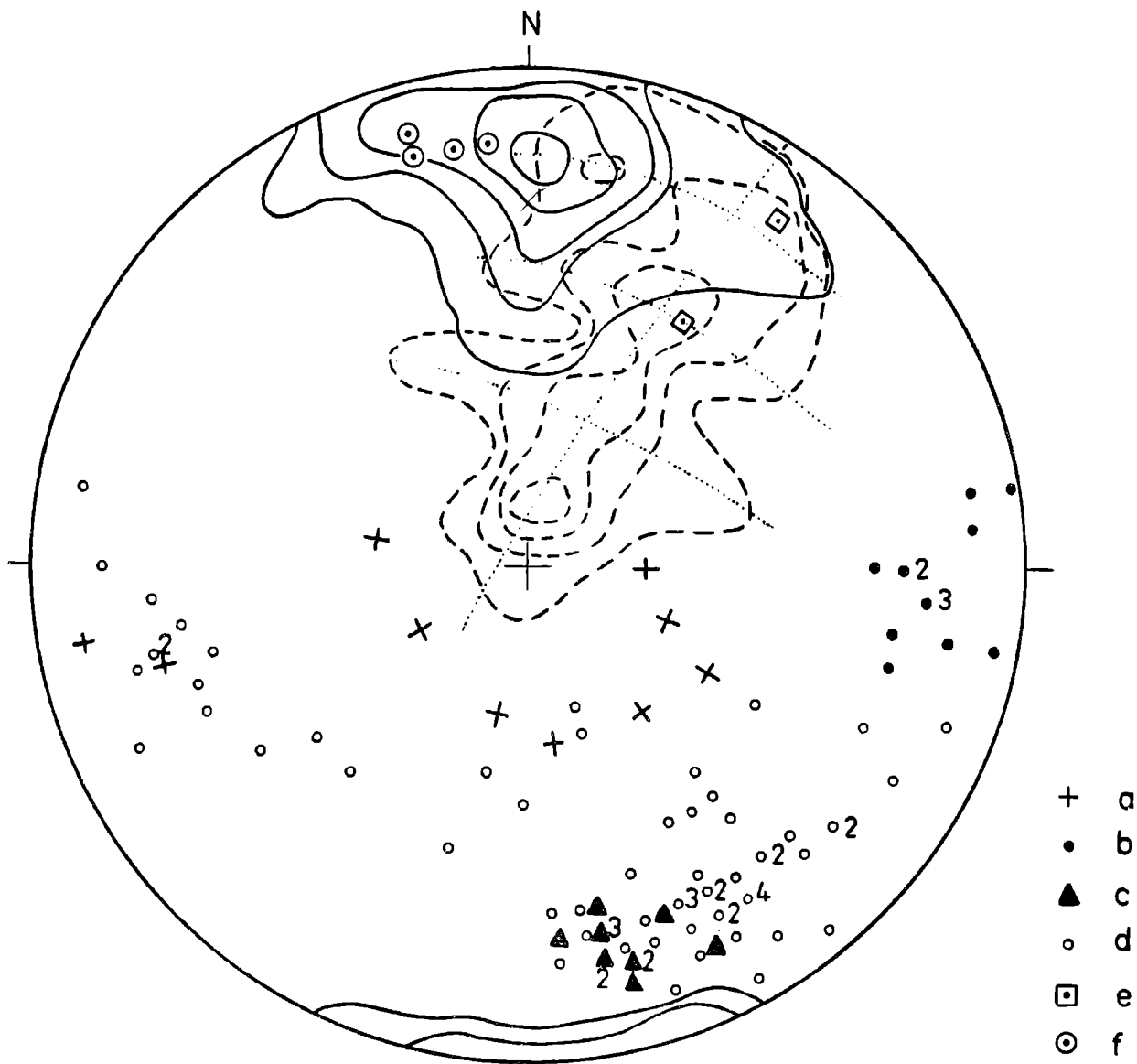


Fig. 2. Diagram na siatce równopowierzchniowej dla struktury przedstawionej na fig. 1, półkula dolna. Kontury ciągłe — 138 pomiarów osi fałdów  $F_{s1}'$  i lineacji  $L_{s1}'$ : 1, 5, 10, 20, 30%; kontury przerywane — 110 pomiarów złupkowania spękaniewego  $S_k$ ; kontury: 1, 5, 10, 15%; linie kropkowane — rotacje; a — bieguny foliacji  $S_o$ ; b — bieguny złupkowania spękaniewego  $S_{s1}$ ; c — bieguny złupkowania spękaniewego  $S_w$ ; d — lineacja  $S_o/S_k$ ; e — słaba lineacja zapewne  $L_{s2}$ ; f — pomiary osi fałdu głównego  $F_{s1}$

Fig. 2. Lower hemisphere equal area projection diagram for the structure shown on fig. 1, continuous contours — 138  $F_{s1}'$  and  $L_{s1}'$  measurements: 1, 5, 10, 20, 30%; dashed contours — 110  $\pi$  poles to the fracture cleavage planes  $S_k$ ; a —  $\pi$  poles to foliation planes  $S_o$ ; b —  $\pi$  poles to fracture cleavage  $S_s$ ; c —  $\pi$  poles to fracture cleavage  $S_w$ ; d — lineation  $S_o/S_k$ ; e —  $L_{s2}$  lineation; f — axis measurements of the chief fold  $F_{s1}$

fałdków drobnych  $F'_{s1}$  i towarzyszącej im lineacji  $L'_s$ , foliacji  $S_o$ , której powierzchnie przecinają się w polu biegunów dla  $F'_{s1}$ , bieguny  $\pi$  dla złupkowań  $S_s$  i  $S_w$ , złupkowanie  $S_k$ , lineacja  $S_k/S_o$  oraz słabo zaznaczona lineacja lokalna, bliżej nie określona.

Z tego diagramu wynika, że złupkowanie  $S_k$  ma zmienne nachylenia, od stromych do płaskich. Trzy maksima częstotliwości wyciągnięte są ponadto w kierunkach prostopadłych do kierunku nachylenia omawianych powierzchni. Rotacja ta jest prawdopodobnie następstwem sfałdowania  $S_k$ , na oko niewidocznego w odkrywcę, a zgodnego z niewyraźną lineacją NE-SW ( $L_{s2}$ ).

Na diagramie spękań, pomierzonych w strukturze  $F_s$  występuje 6 maksimum (fig. 3). Maksimum I leży bardzo blisko maksimum dla  $F'_{s1}$  i jest zapewne w znacznym stopniu predysponowane przez szczelinki  $a-c$  struktur  $F'_{s1}$ . Maksimum II jest rozciągnięte zgodnie ze złupkowaniem  $S_k$  i zapewne zapoczątkowane przez stromsze elementy tego złupkowania. Maksi-

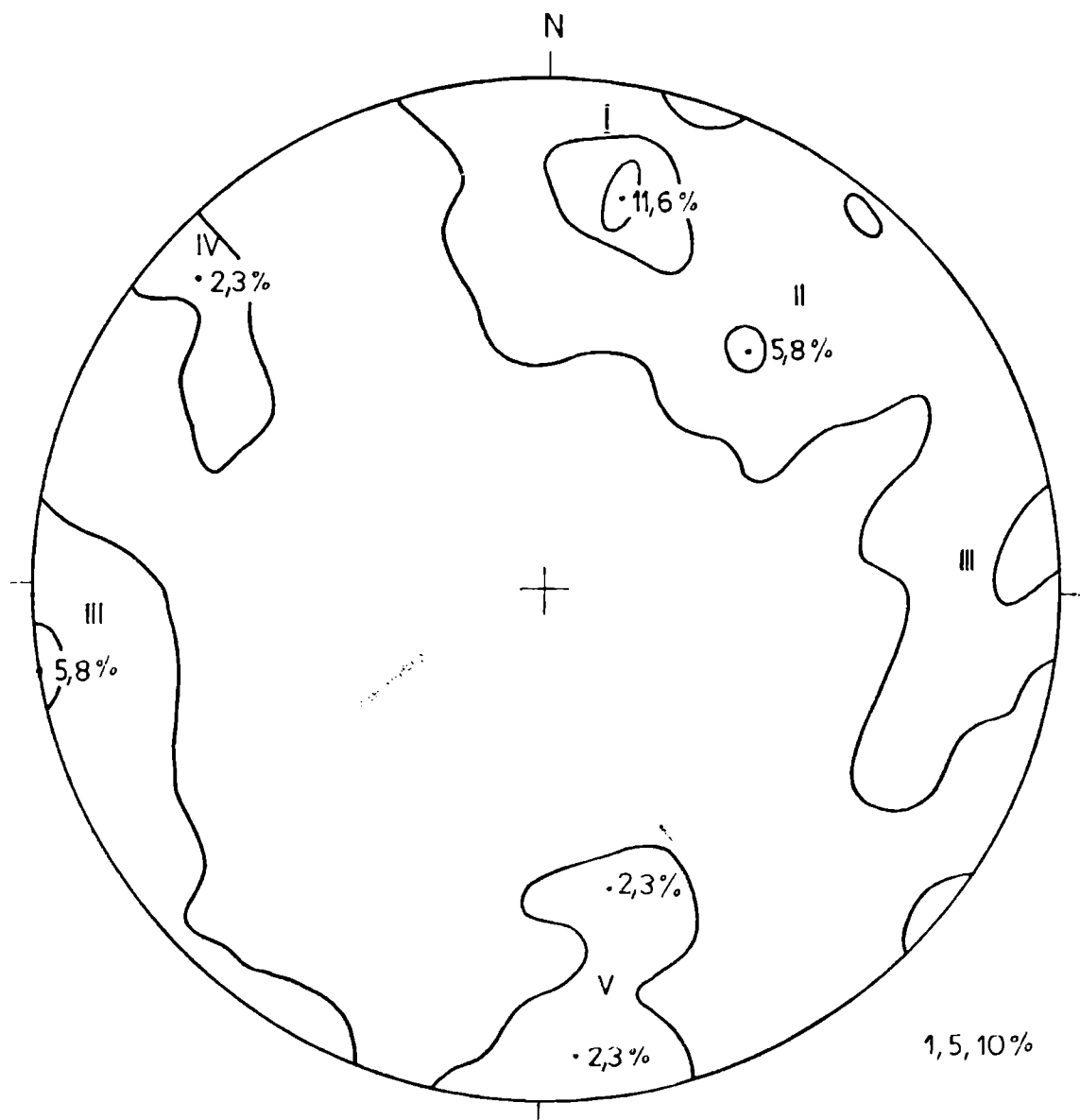


Fig. 3. Diagram spękań dla struktury przedstawionej na fig. 1. Dolna półkula projekcja równopowierzchniowa. Kontury: 1, 5, 10% na podstawie 86 pomiarów

Fig. 3. Lower hemisphere equal area projection diagram for 86  $\pi$  poles to joint planes, measured on the structure shown on Fig. 1. Contours: 1, 5, 10%



mum III jest predysponowane przez powierzchnie  $S_s$ , maksimum V zaś przez złupkowanie  $S_w$ . Inne spękania strome zebrane są w maksimum IV. Łączy ono spękania o biegu NE-SW i nie wykazuje żadnej wyraźnej predyspozycji. Przebieg tych ostatnich pęknięć jest zgodny z niejasną lokalną lineacją, uwidocznioną w diagramie fig. 2 i prostopadły do sytemu złupkowań  $S_k$ .

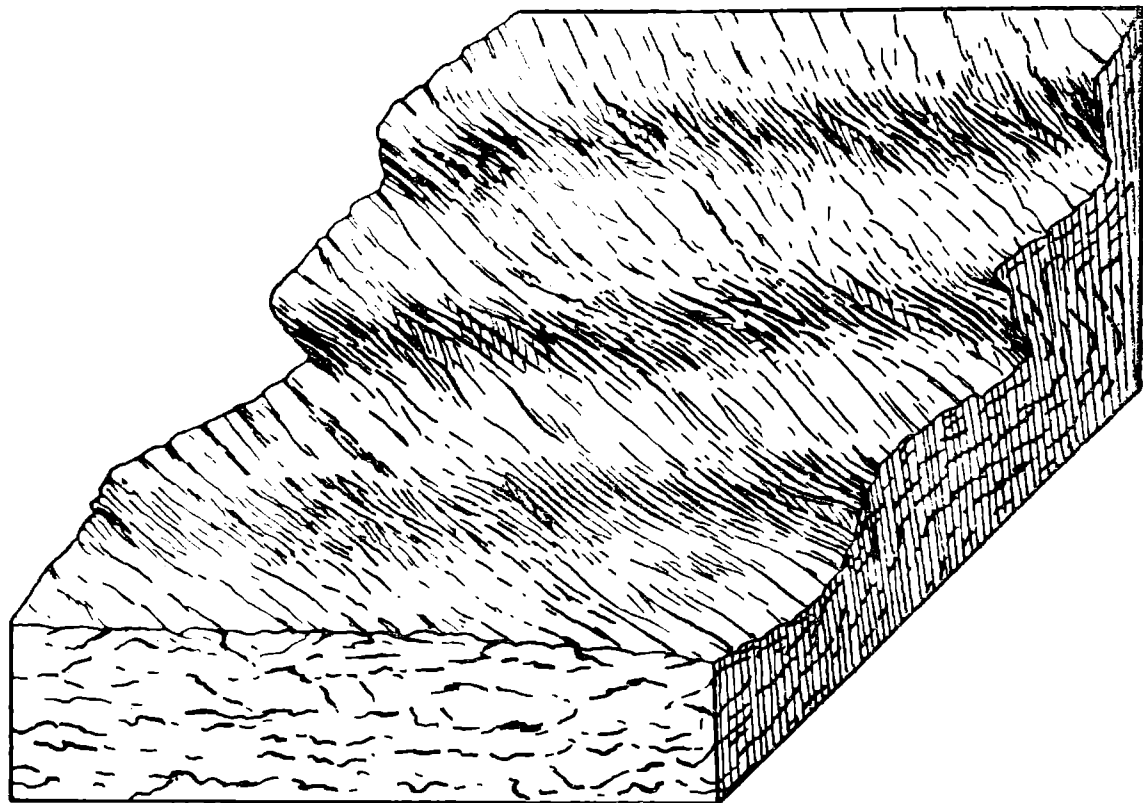


Fig. 4. Drobne fałdy systemu  $F_{s2}$  w drobnoziarnistych gnejsach typu gieraltowskiego, na nich widoczna lineacja  $L_s$  (dolina Szklar na N od Międzygórza)

Fig. 4. The  $F_{s2}$  minor folds with lineation  $L_s$  (in fine grained gneisses of the Gieraltów type, Szklary valley N of Międzygórze — Mt. Śnieżnik massif)

Inna mezostruktura, również występująca wśród skałek górnej części prawobocznego skłonu doliny Szklar przedstawiona jest na fig. 4. Są to fałdy o kierunku NE-SW, które oznaczam symbolem  $F_{s2}$ , przecięte skośnie przez lineację Śnieżnika  $L_s$ .

Poprzednio już zaznaczono, że autor początkowo nadał symbol  $B_1$  zespołowi struktur liniowych śnieżnickich, uważając go za najstarszy. Zespół struktur Krowiarek oznaczył symbolem  $B_2$ , ponieważ uważał go za późniejszy. W wielu miejscach stwierdził bowiem, że żyły kwarcowe, które czasem towarzyszą powierzchniom osiowym mezofałdów systemu Krowiarek, przelamują lineację śnieżnicką, a często poważnie ją deformują. Mierząc lineację systemu śnieżnickiego wzdłuż takich żył możemy stwierdzić, że niejednokrotnie zmienia ona gwałtownie orientację, przy czym dyspersja kierunków może przekraczać  $50^\circ$  na przestrzeni 1—2 m.

Lineacja śnieżnicka, mierzona na tych samych fałdach w miejscach, gdzie nie są one przecięte podłużnymi żyłami kwarcu — owijają się wokół ich skrzydeł regularnie, przy czym dyspersja kierunków nie przekracza  $5—10^\circ$ .

Badania mikrostrukturalne, wykonane na mezofałdach w strefie Niemczy przez H. Dziedzicową (1970), raczej potwierdzają pogląd autora, że lineacja południkowa Snieżnika jest starsza od fałdów NW-SE, charakterystycznych dla Krowiarek.

Szczegółowe badania wykazały jednakże, że sprawa ustalenia następstwa czasowego tych zespołów mezostrukturalnych nie jest w rzeczywistości tak prosta i jasna.

Metody wyznaczania stosunku czasowego lineacji do przecinających je fałdów podawane są w odnośnej literaturze. Obowiązuje tu reguła, że lineacja starsza od przecinających je fałdów, po rozwinięciu fałdowania daje linie proste. Jest to słuszne, oczywiście przy założeniu, że lineacja ta inicjalnie była prostolinijna, co zachodzi na ogół, jeśli rozpatrujemy ją na niewielkich odcinkach. Przeciwnie, o ile lineacja jest młodsza od skośnie do niej ustawionych fałdów, wówczas po rozwinięciu daje linie krzywe. Wyjątek stanowi tylko taka młodsza lineacja, która została założona w płaszczyznach prostopadłych do osi fałdów. Ten typ lineacji po rozwinięciu fałdowania daje linie proste.

Autor ustalił w 50 przypadkach położenie osi cylindrycznych fałdów  $F_k$  i ich skrzydeł, oraz wymierzył położenie lineacji  $L_s$  na obu skrzydłach. Wykonał też szereg pomiarów, posługując się folią plastikową, którą owijał fałdy i którą po wyrysowaniu na niej lineacji, rozprostowywał. W wyniku tych pomiarów stwierdzono, że  $L_s$  po rozwinięciu fałdów  $F_k$  niemal zawsze daje linie krzywe, przy czym odchylenie od prostej waha się z reguły od 20—30°. Czasem jest ono mniejsze, niekiedy znacznie większe, dochodzące w wypadkach skrajnych do 90° a nawet 100°.

Tylko w kilku wypadkach bieguna  $L_s$  w projekcji na siatce równopowierzchniowej były oddalone od siebie o prawie 180°, licząc odległości wzdłuż dużych kół, odpowiadających na projekcji skrzydłom fałdów, lub dawały linię prostą po rozwinięciu folii plastikowej.

Obserwacje te wskazywałyby, że wbrew dotychczasowym ujęciom autora,  $L_s$  (dawniej zespół  $B_1$ ) jest młodszy od  $F_k$  (dawniej zespół  $B_2$ ). Wniosek taki wydaje się słuszny, tym bardziej że w większości dużych odkrywek lineacja  $L_s$  przebiega prawie prostolinijnie. Na przestrzeni kilku metrów dyspersja azymutalna nie przekracza na ogół 5—10°. Niekiedy jednakże, choć rzadko, lineacja ta jest wyraźnie skrzywiona. W jednym wypadku autor obserwował skrzywienie przebiegu lineacji  $L_s$  o około 60° na nie sfałdowanej i zupełnie równej powierzchni foliacji.

Zdarzają się też przypadki, w których kierunek azymutalny  $L_s$  jest różny w różnych pakietach lamin gnejsowych. Autor obserwował w gnejsach gieraltowskich różnice kierunków  $L_s$  dochodzące do 30°, porównując pomiary, wykonane na dwu różnych powierzchniach foliacji, odległych od siebie o około 5 cm (w przekroju pionowym do uławicenia).

Pomiary  $L_s$  na skrzydłach fałdów  $F_k$  muszą być zatem wykonywane na jednej i tej samej powierzchni foliacji, czy też laminacji. Pomiarów trzeba wykonać wiele, aby wyeliminować przypadki niereprezentatywne.

Ważne są wreszcie badania petrograficzne, zmierzające do ustalenia stosunku czasowego poszczególnych etapów metamorfizmu względem różnych garniturów lineacji.

Granityzacja, opisana przez K. Smulikowskiego (1957, 1960), która w regionie Snieżnika przeobraziła częściowo formację łupków krystalicznych (łupki strońskie) w gnejsy, była równoczesna z powstaniem lineacji  $L_s$ . Świadczą o tym blasty mikroklinu, wydłużone wrzecionowato, równoległe do tej lineacji, oraz kierunkowo ułożone agregaty skaleniowo-

-kwarcowe, a także zgodnie ukierunkowane i linijnie przebiegające smugi łyśczyków, zrekrystalizowanych w tym czasie. Ziarno lamin kwarcowych jest często także wyraźnie wydłużone równoległe do  $L_s$ .

Warto wreszcie nadmienić, że w paragnejsach, ukazujących się przy drodze z Siennej do Białej Wody autor znalazł poikiloblasty albitu, w których zachowały się relikty gufrażu, odpowiadającego lineacji  $L_k$ . W tej samej płytce cienkiej zauważono albit mimetycznie naśladowujący ten gufraż swym zarysem (zobacz fig. 5).

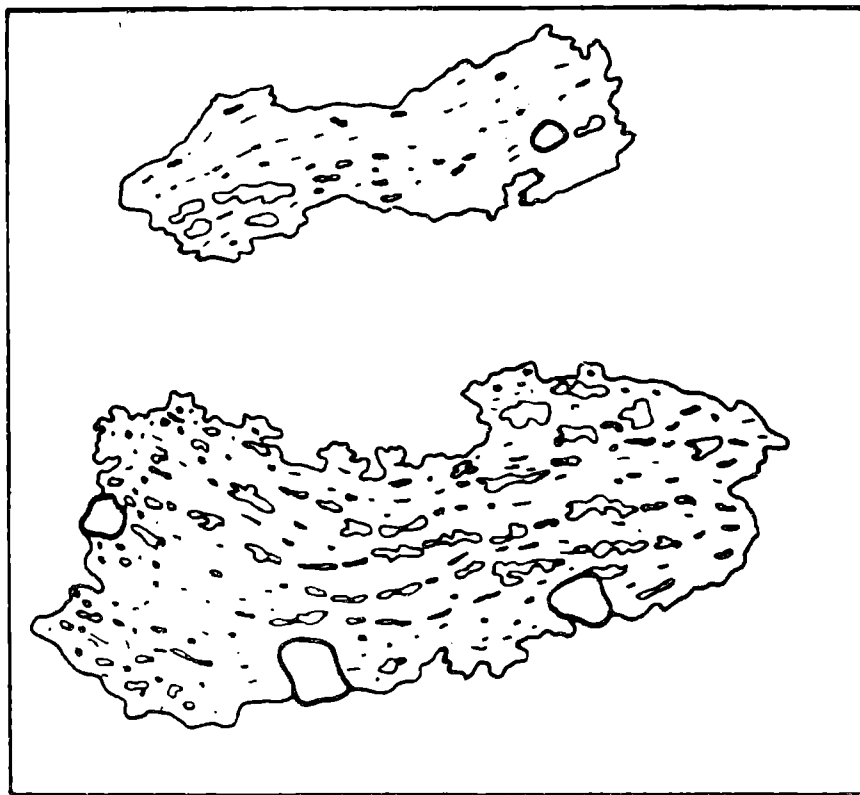


Fig. 5. Poikiloblasty albitu w paragnejsach grupy górskiej Śnieżnika (odkrywka przy szosie z Siennej do Białej Wody). Przekrój poprzeczny do  $L_k$ . W albitach widoczne liczne relikty kwarcu i łyśczyków ułożone zgodnie z gufrażem foliacji, przynależnym do  $L_k$ . Albity w górnej części rysunku naśladowują swym zarysem zguflowanie foliacji  $S_0$ . Albity są dynamicznie nienaruszone, postkinematyczne. Powierzchnie łupliwości przebiegają w nich prostolinijnie. Brak śladów kataklazy i falistego wygaszania światła. Kontury grubolinijne — granaty

Fig. 5. Albite poikiloblasts in a paragneiss of the Śnieżnik Mt. massif, as seen in a thin section perpendicular to  $L_k$ . Numerous well oriented quartz and mica relicts are visible in the albites, preserving the crenulation characteristic of the  $L_k$  lineation. In the upper part a albite grain elongated and curved, being mimetically adjusted to  $L_k$  crenulation of the foliation  $S_0$ . Heavy line contour — garnet

Trzeba przy tym podkreślić, że wzmiankowane poikiloblasty albitu nie są zdeformowane, za czym przemawia brak pęknięć, brak falistego wygaszania światła oraz prostolinijny układ płaszczyzn łupliwości. Gufraż lineacji  $L_k$  jest zatem starszy od albityzacji opisanego gnejsu. Wynikałoby z powyższego, że deformacja, która jest charakterystyczna dla Krowiarek i wyraża się strukturami linijnymi  $F_k$  i  $L_k$ , o przebiegu ogólnym NW-SE jest starsza od  $L_s$  i starsza od procesów granityzacji.

Pozostaje jednak do wyjaśnienia, dlaczego lineacja  $L_s$  bywa silnie zwichrowana w kontakcie z żyłami i gniazdami kwarcu, które towarzyszą

fałdom  $F_k$ , ukazując się zwłaszcza wzdłuż ich powierzchni osiowych albo w spękaniach w przybliżeniu równoległe do tych powierzchni.

Trzeba też wyjaśnić, dlaczego lineacja  $L_s$  jest często porozrywana przez wspomniane żyły.

Studiując budowę fałdów systemu  $F_k$  łatwo dostrzec, że jest ona często bardzo skomplikowana, jak to wykazują szkice terenowe (fig. 9—11).

Komplikacje te można by wyjaśnić przyjmując trzy kolejne etapy deformacji. W etapie pierwszym powstawałyby fałdy ze zginania o mniej lub więcej regularnej budowie (fig. 4). W etapie drugim zjawilo się miejscami mniej lub więcej wyraźne wtórne złupkowanie, a nader wszystko pęknięcia, ułożone równoległe lub w przybliżeniu równoległe do powierzchni osiowej fałdów. Fałdy początkowo regularne przybierały często formę fałdów załamowych typu kink-bands (fig. 6 i 7), a w pęknięciach pojawiały się sekrecje kwarcowe (fig. 8, 9 i 10).

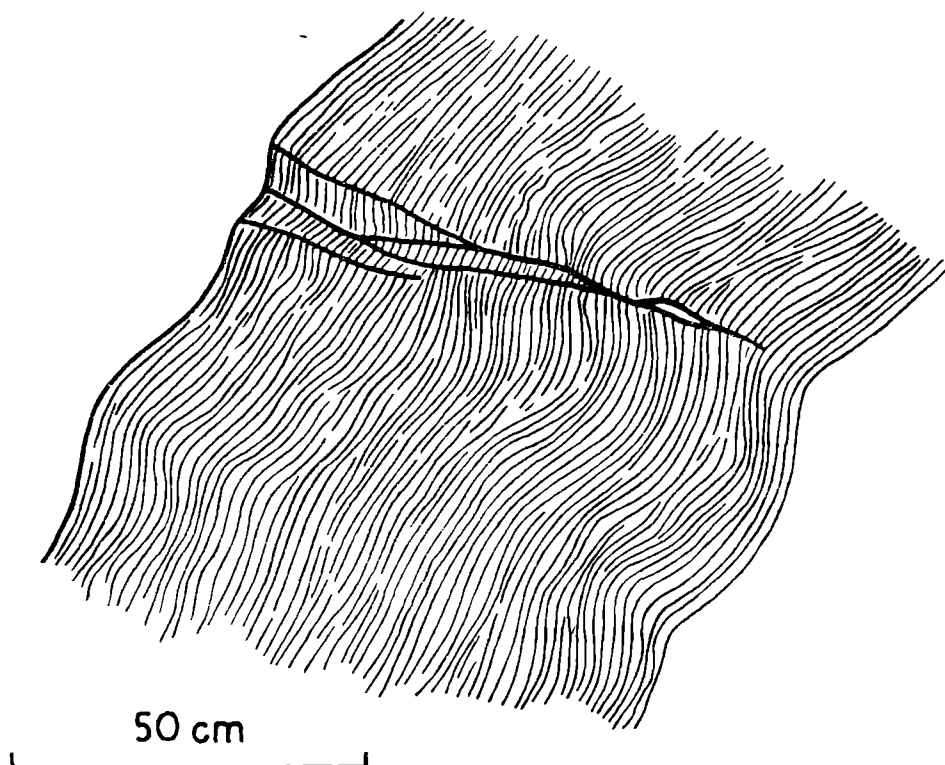


Fig. 6. Fałd systemu  $F_k$  przechodzący ku górze w strukturę typu kink-band (łupki łyszczykowe w grupie górskiej Śnieżnika)

Fig. 6. A fold of the  $F_k$  system passing upwards into a structure of the kink-band type (mica schists in the Mt. Śnieżnik massif)

W następnym etapie deformacji niektóre żyły kwarcowe uległy porozrywaniu na poszczególne gniazda, a silna kompresja powodowała nieregularne wygięcia i dewiacje foliacji (fig. 11).

Trzy etapy rozwojowe fałdów  $F_k$  mogą należeć do jednej nieciągłej deformacji. Mogą one jednakże stanowić deformacje odleglejsze w czasie geologicznym, nałożone na siebie zgodnie lub prawie zgodnie.

W wypadku pierwszym trzeba by przyjąć, że żyły kwarcowe są starsze od procesów granityzacji i przetrwały te procesy wraz z fałdami systemu  $F_k$  i zaburzeniami foliacji towarzyszącymi żyłom i gniazdom kwarcowym.

Jest jednak rzeczą możliwą, że wstępny etap rozwoju mezofałdów  $F_k$  jest starszy od granityzacji i od lineacji  $L_s$ , oba zaś etapy późniejsze są

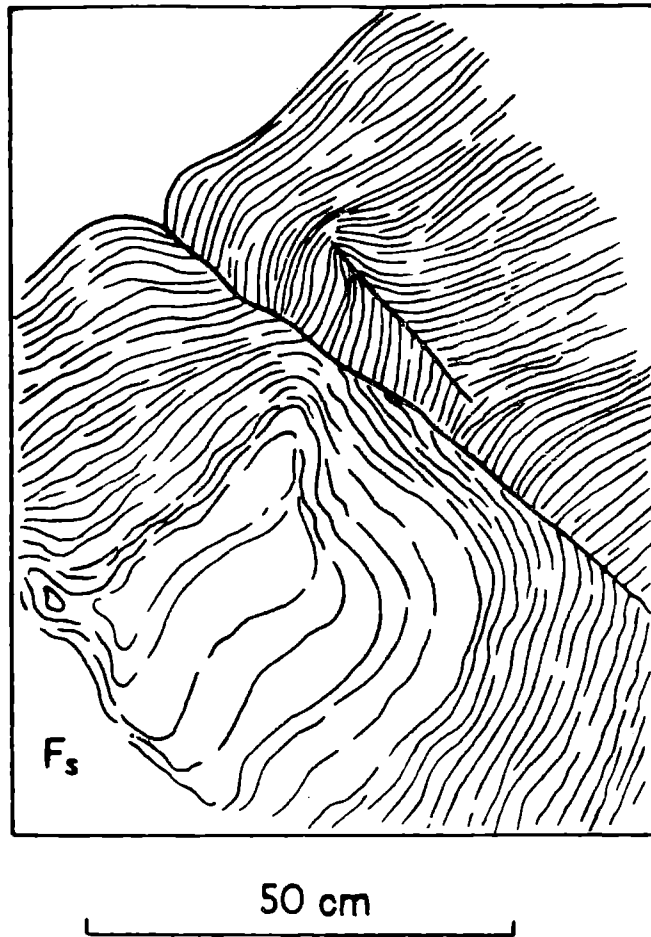


Fig. 7. Fałdy systemu  $F_k$  z pęknięciami wzdłuż powierzchni osiowej. W dolnej części widoczna struktura systemu  $F_s$  (łupki lyszczykowe w grupie górskiej Śnieżka)

Fig. 7. Folds of the  $F_k$  system with joints in their axial planes in the lower part a  $F_s$  structure visible (mica schists of the Mt. Śnieżnik massif)

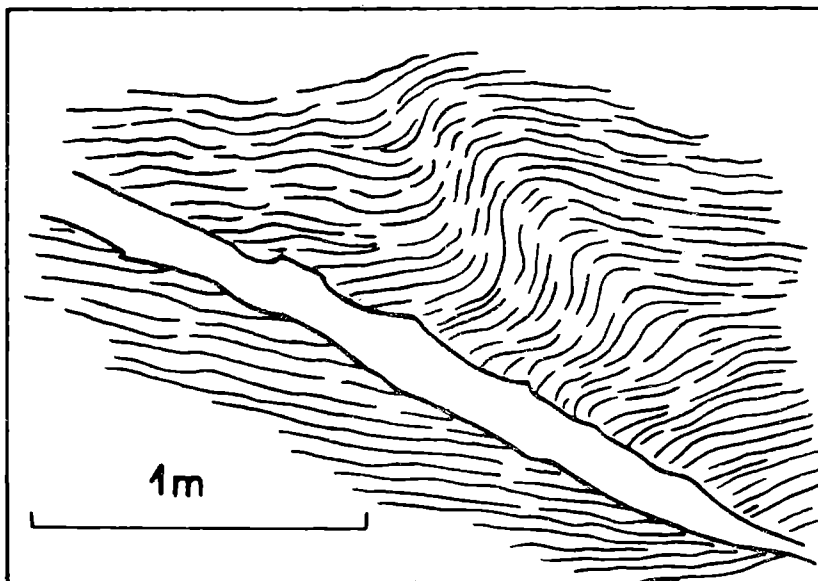


Fig. 8. Fałd w gnejsach drobnoziarnistych typu gieraltowskiego z żyłą kwarcu równoległą do powierzchni osiowej fałdu (łupki lyszczykowe w grupie górskiej Śnieżnika)

Fig. 8. A fold in fine-grained gneisses of the Gieraltów type traversed by a quartz vein parallel to the axial plane of the fold (mica schists of the Mt. Śnieżnik massif)

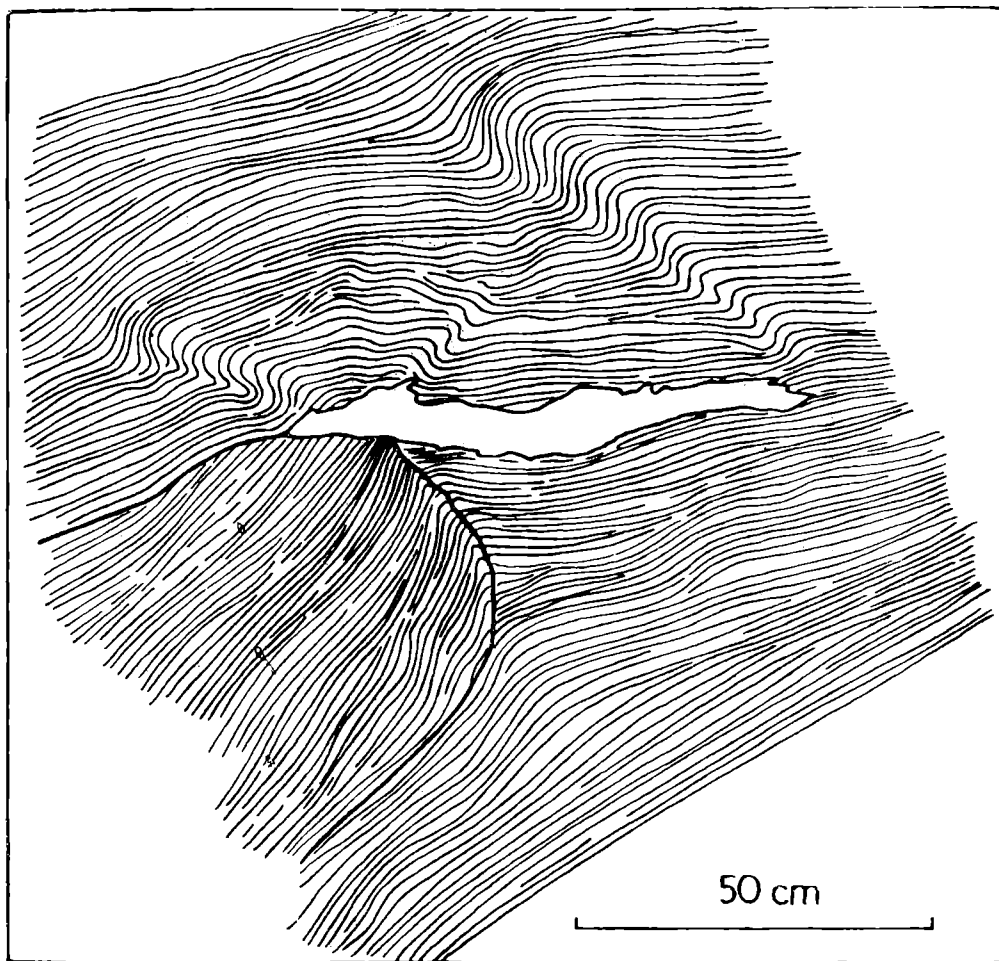
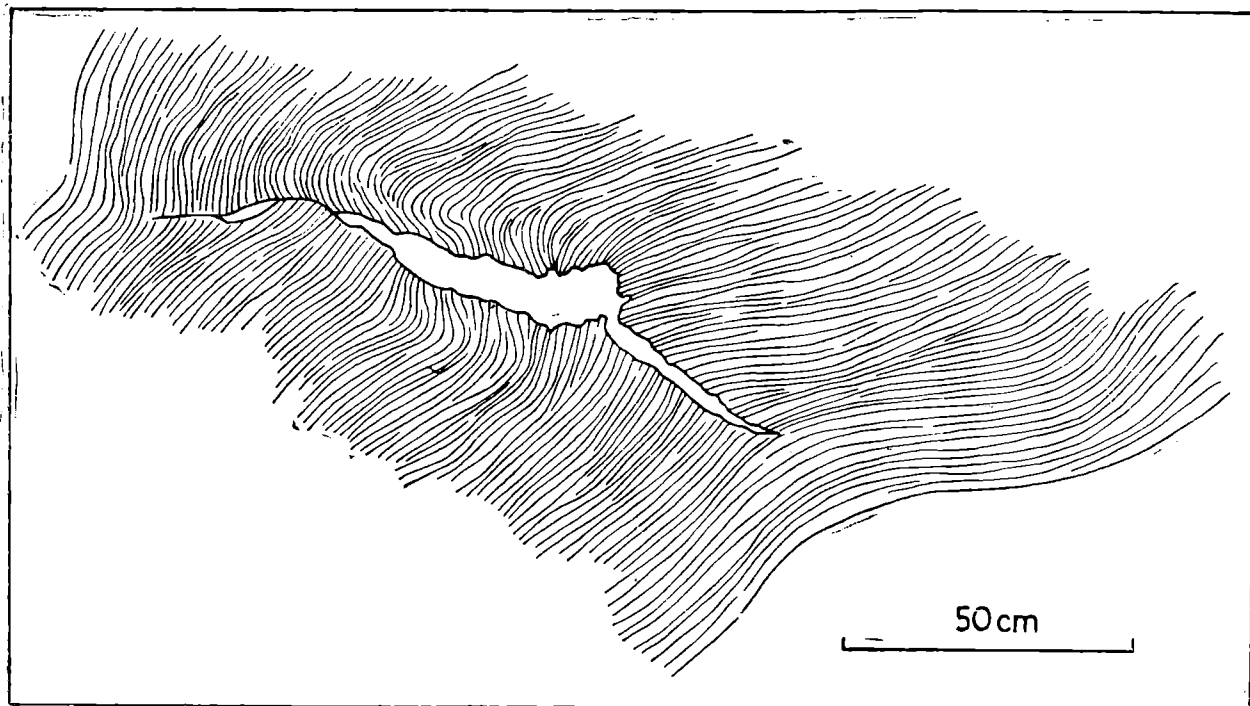


Fig. 9. Skomplikowany fałd systemu  $F_k$ : linie grube — zakrzywione pęknięcia; partia biała — soczewkowata żyła kwarcu częściowo dyskordantna względem foliacji  $S_0$  (łupki lyszczykowe w grupie górskiej Snieżnika)

Fig. 9. A complicated fold of the  $F_k$  system. Heavy lines — curved joints, in white a lense-shaped quartz vein partially discordant with respect the foliation  $S_0$  (mica schists of the Mt. Snieżnik massif)



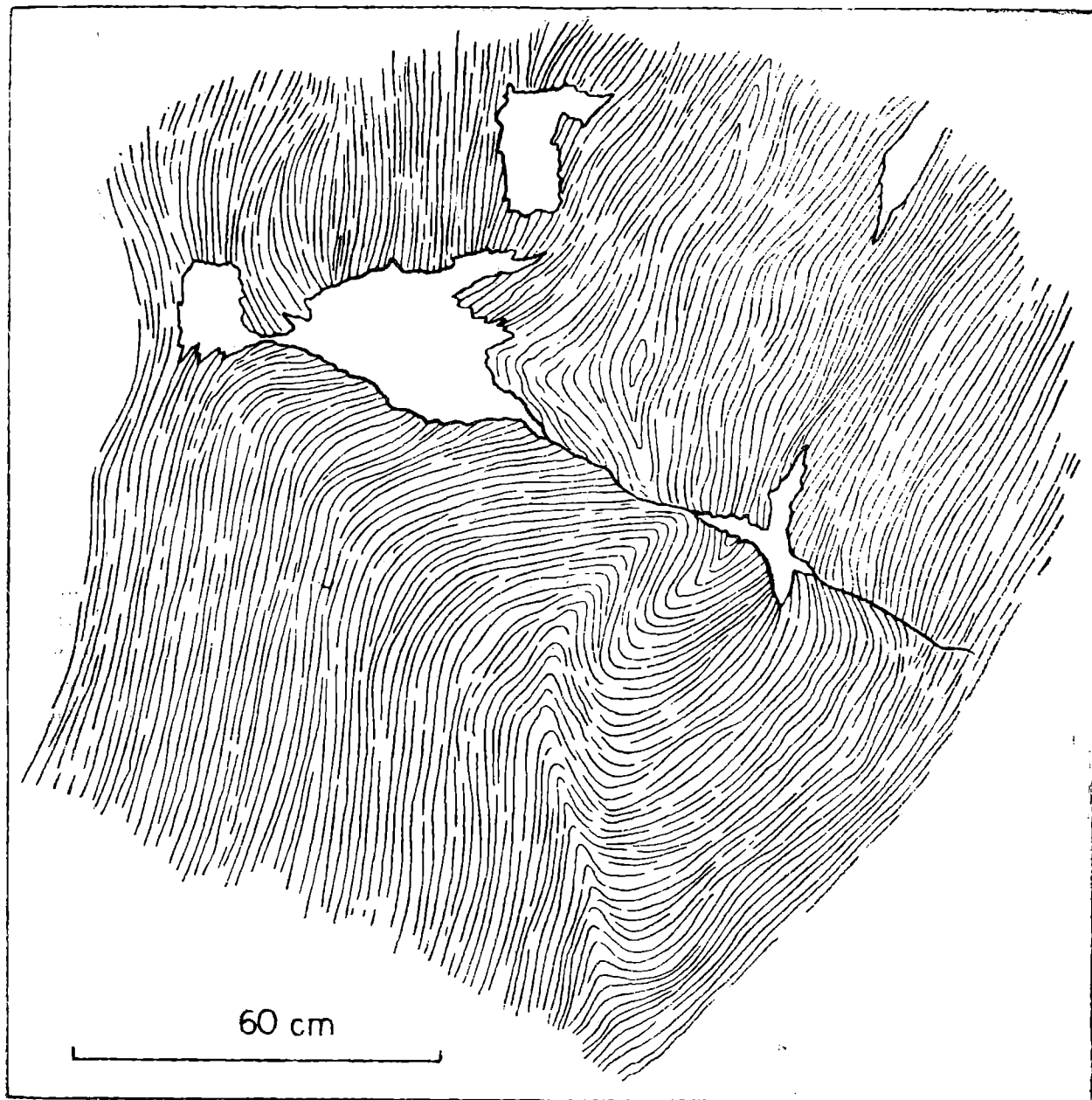


Fig. 10. Fałd systemu  $F_k$  ze zdeformowaną żyłą kwarcu (partia biała) ułożoną w przybliżeniu równolegle do powierzchni osiowej fałdu. W kontakcie z żyłą kwarcową foliacja miejscami zmięta (łupki łyszczykowe grupy górskiej Snieżnika)

Fig. 10. A fold of the  $F_k$  system traversed by a deformed quartz vein (in white) subparallel with respect to the axial plane of the fold. The foliation is corrugated in contact with the quartz vein (mica schists of the Mt. Snieżnik massif)

po-granityzacyjne i młodsze od  $L_s$ . Za takim ujęciem przemawiałyby gwałtowne nieraz dewiacje  $L_s$  w pobliżu żył i gniazd kwarcowych oraz przełamywanie tej lineacji przez wspomniane żyły.

Na zakończenie warto nadmienić, że lineacja  $L_s$  jest deformowana nie tylko przez fałdy systemu Krowiarek. Po rozwinięciu fałdów merydjonalnych, należących do systemu śnieżnickiego, lineacja  $L_s$  tworzyć może także linie krzywe, o ile przebiega nieco skośnie do tych fałdów.

←

Fig. 11. Skomplikowany fałd sytemu  $F_k$  z pęknięciem i gniazdami kwarcu (łupki łyszczykowe grupy górskiej Snieżnika)

Fig. 11. A complicated fold of the  $F_k$  system, cut by a joint and disrupted by quartz nests (in white) (mica schists of the Mt. Snieżnik massif)

Wydaje się zatem, że także system  $F_{s1}$  wyprzedza lineację  $L_s$ , przynajmniej częściowo.

Obecnie prowadzone szczegółowe badania w regionie Łądka i Śnieżnika powinny rozwiązać w sposób zadowalający zagadnienie sekwencji i rozwoju deformacji.

Komplikacje wyżej przedstawione opisałem w pracy niniejszej, aby wykazać, że analiza mezostrukturalna metamorfizmu sudeckiego może nastrożać poważne trudności. Sądzę jednakże, że uda się pokonać te trudności przez dalsze studia terenowe i kameralne.

### Zagadnienie mezostruktur płaszczyznowych (planarnych) w Sudetach

#### a) Foliacja i wtórne złupkowanie skał metamorficznych

W metamorfiku sudeckim foliacja jest z reguły równoległa do powierzchni sedymentacyjnych. Krystalizacja metamorficzna naśladuje ułożenie pierwotnych warstw i warstewek. Skośne ustawienie foliacji względem granic sedymentacyjnych, obserwowane w niektórych przypadkach, wskazuje, że procesom metamorficznym towarzyszyły silne deformacje, które lokalnie dały niezależne powierzchnie kierunkowej krystalizacji. Jest również rzeczą możliwą, że w niektórych regionach Sudetów występują dwie różnowiekowe foliacje. Foliację, która stale odtwarza mimetycznie powierzchnie sedymentacyjne, jak to zdaje się być na Śnieżniku oznaczam w pracy niniejszej symbolem  $S_0$ .

Zupełnie inny charakter mają wtórne złupkowania; ustawiają się one pod kątem mniej lub więcej ostrym do powierzchni sedymentacyjnych, czasem jest to kąt prawie prosty.

Autor wydzielił w Sudetach złupkowanie wtórne jako tzw. „złupkowanie spękania”, tłumacząc dosłownie termin angielski „fracture cleavage” (H. Teisseyre, 1957).

G. Wilson (1961) wyróżnia dwa zasadnicze typy złupkowania wtórnego, a to „fracture cleavage” i „strain slip cleavage”. Pierwszy typ złupkowania rozwija się w skałach homogenicznych i warstwowych, lecz nie wykazujących delikatnej laminacji czy też foliacji (skały niemetaliczne i słabo zmetamorfizowane). Typ drugi jest charakterystyczny dla skał metamorficznych z wyraźną foliacją. Foliacja ta uległa zmięciu lub drobnemu sfałdowaniu w czasie rozwoju deformacji. Oba typy złupkowania są w Sudetach obecne, przy czym typ drugi występuje częściej. Były one wydzielane pod wspólną nazwą złupkowania spękania, ponieważ brak między nimi różnic genetycznych.

Oba typy reprezentowane są przez system prawie równoległych pęknięć, ułożonych mniej lub więcej gęsto.

Pęknięcia te formują się zgodnie z powierzchniami największego ściana, ułożonymi pod kątem ostrym lub prawie prostym względem powierzchni sedymentacyjnych. Im mniejsza kompetencja warstwy, tym kąt ten jest ostrzejszy przy tym samym stressie.

Opisaną deformację wywołuje para sił, która zjawia się wtedy, gdy następują poślizgi wzdłuż powierzchni sedymentacyjnych lub wzdłuż foliacji. Niekiedy możemy spostrzec złupkowanie spękania zagięte z jednego końca lub z obu końców. W tym ostatnim wypadku ma ono przebieg esowaty. Takie deformacje powstają wtedy, gdy po utworzeniu się złupkowania następują dalsze poślizgi na powierzchni warstw czy też foliacji.



W miarę rozwoju deformacji zachodzą poślizgi wzdłuż powierzchni złupkowania i rotacja, która ustawia ostatecznie wtórne złupkowanie równoległe do powierzchni osiowych dużych fałdów tworząc nieciągłości, określane w literaturze angielskiej jako „axial plain cleavage” (złupkowanie, zgodne z powierzchnią osiową fałdów).

Opisane typy wtórnego złupkowania są ważne przy analizie strukturalnej. Wiadomo bowiem, że za ich pomocą, podobnie jak za pomocą fałdów asymetrycznych, możemy odróżnić serie normalne od odwróconych, a także określić kierunki względnego ruchu. Możliwości tych nie daje jedynie złupkowanie typu: „axial plain cleavage”.

Obserwacje fałdów asymetrycznych i wtórnego złupkowania wykonane w Górach Kaczawskich potwierdziły tezę M. S c h w a r z b a c h a (1939) o południowej wergencji fałdowania w południowym pniu Gór Kaczawskich.

Obserwacje tych samych mezostruktur, wykonane przez Z. B a r a n o w s k i e g o w okolicach Świerzawy i A. H a y d u k i e w i c z a w okolicach Złotoryi wskazywałyby na to, że północny pień Gór Kaczawskich nie wykazuje wergencji północnej, jak to sądził M. S c h w a r z b a c h (1939), lecz raczej wergencję południową (prace wspomnianych autorów w druku).

#### b) Spękania skalne

Analiza mezostrukturalna nie byłaby pełna, gdybyśmy nie uwzględnili spękań skalnych. Istnieje już szereg publikacji, dotyczących tego problemu w Sudetach. Zainicjował je H. C l o o s swymi pracami, odnoszącymi się do tektoniki dolnośląskich masywów granitowych.

Po wojnie wykonano kilka studiów z tej dziedziny, próbując interpretacji otrzymanych wyników. Dalsze studia są w toku, a ich rezultaty będą niebawem opublikowane.

W niniejszej rozprawie brak miejsca na omówienie zagadnienia studiów nad spękaniami skalnymi w Sudetach w sposób wyczerpujący.

Nie rozporządzam także czasem, potrzebnym do opracowania własnych materiałów w tej dziedzinie.

Na tym miejscu ograniczę się zatem do podania kilku uwag i kilku wybranych przykładów.

Dotychczas wykonałem ponad 25 000 pomiarów spękań w różnych formacjach sudeckich. Ponad połowa pomiarów przypada na Góry Kaczawskie i depresję Świebodzic. Materiał dla tych obszarów jest częściowo zestawiony. Jego interpretacja wymaga oczywiście uwzględnienia całości kształtu zagadnień strukturalnych obu regionów, tj. porównania z innymi mezostrukturami, uwzględnienia charakteru petrograficznego materiału i rozważenia wyników na tle form makrostrukturalnych.

Trzeba też uwzględnić wnioski dynamiczne, wynikające z analizy struktur liniowych, foliacji, układu warstwowania i wtórnego złupkowania.

Szczególną uwagę zwrócił autor na stosunek spękań do dużych uskoków, występujących w intersekcji mapy, a także małych uskoków, widocznych tylko w odkrywkach.

Autor skartował 81 dużych uskoków, prowadząc szczegółowe badania we wschodniej części południowego pnia Gór Kaczawskich.

Spośród analizowanych 70% uskoków przypada na kierunki od 350° do 20°. Znaczna przewaga drobnych uskoków, dostrzegalnych tylko w odkrywkach wykazuje również te kierunki. Na diagramach spękań skalnych główne lub drugorzędne maksima są najczęściej prawie zgodne z przebiegiem uskoków.

Warto tu nadmienić, że omawiany kierunek spękań i uskoków odpowiada systemowi szczelin  $Q$ , które H. Cloos (1925) wyznaczył w granitach Karkonoszy.

Wydaje się, że dyslokacje i pęknięcia skalne o biegu NNE-SSW, lub prawie N-S należą do głównych dysjunkcji w Sudetach Zachodnich. Dla przykładu podaję zestawienie spękań i drobnych uskoków w kamieniołomie wapienia krystalicznego „Miłek” w Wojcieszowie (diagramy: fig. 12 i 13). Na fig. 14 i 15 mamy zestawione spękania i drobne uskoki w łupkach zieleńcowych jednostki Dobromierza w Pietrzykowie (odsłonki nad p. Strzegomką).

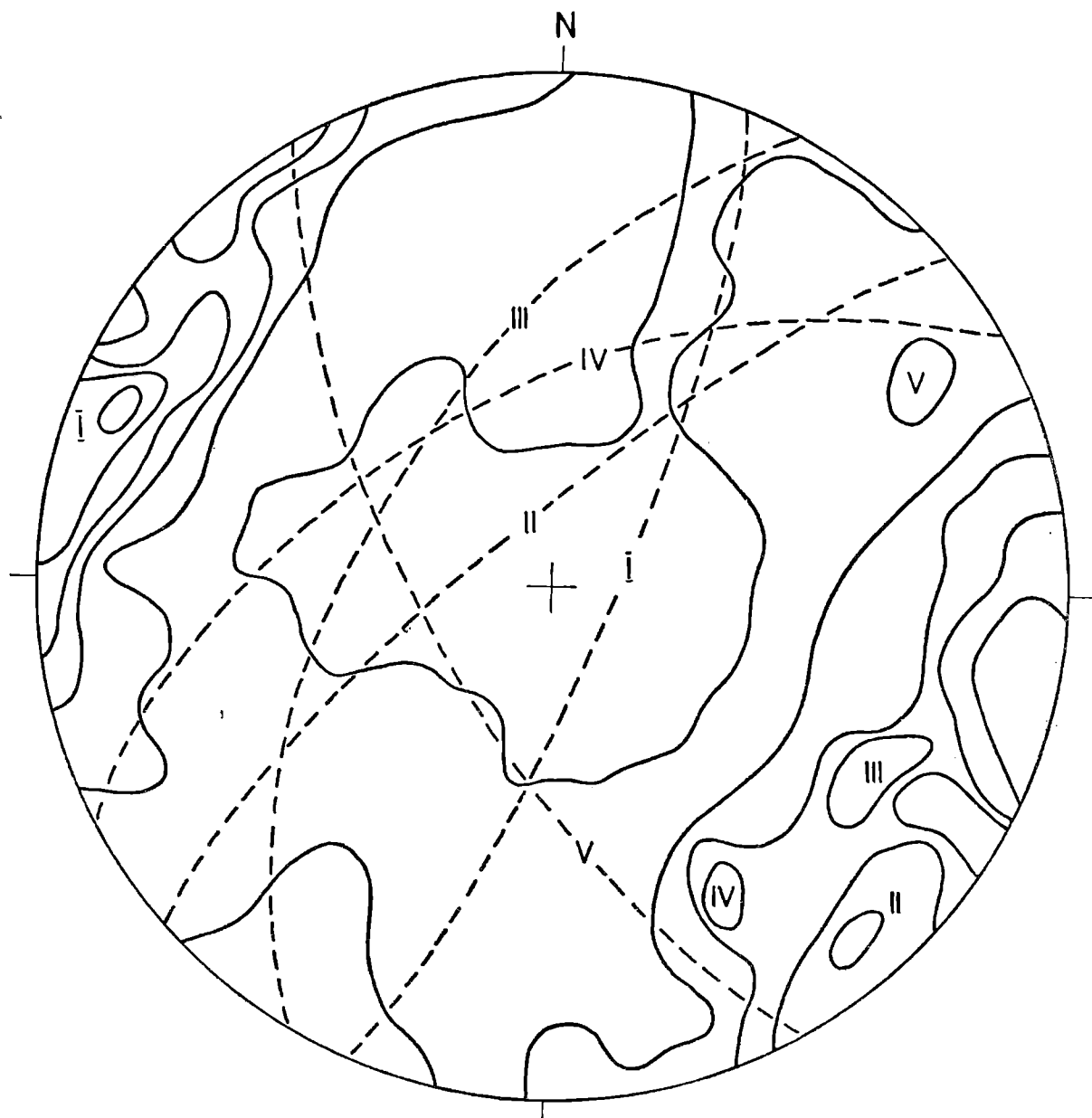


Fig. 12. Diagram kumulatywny spękań skalnych dla kamieniołomu „Miłek” w Wojcieszowie (wapień dolnego kambru). Dolna półkula, projekcja równopowierzchniowa. Kontury 0, 1, 2, 3, 5, 8% odnoszą się do 366 biegunów  $\pi$  dla powierzchni spękań skalnych. I—V — maksima koncentracji tych biegunów i odpowiadające im duże koła  
Fig. 12. Cumulative diagram of the joints measured in the quarry „Miłek” at Wojcieszów (Lower Cambrian limestones — West Sudetes). Lower hemisphere equal area projection, 366  $\pi$  poles to joint planes contours: 0, 1, 2, 3, 5, 8%. I—V — maxima of poles concentration and the corresponding great circles

W obu przykładach zarówno główny kierunek spękań, jak i drobne uskoki są równoległe do dużych dyslokacji, które w sąsiedztwie przebiegają. W pobliżu łomu „Miłek” zaznaczają się w intersekcji mapy geologicznej dyslokacje o biegu NNE-SSW. W Pietrzykowie duża dyslokacja N-S towarzyszy dolinie Strzegomki, a w sąsiedztwie dostrzegamy szereg uskoków systemu NE-SW.

W czasie kartowania depresji Świebodzić wykryłem 65 uskoków zaznaczających się w intersekcji mapy.

Około 75% dyslokacji wykazuje kierunki między  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , podrzędne maksima dostrzegamy w azymutach  $280^\circ$ — $330^\circ$ . Kierunki te jednakże nie

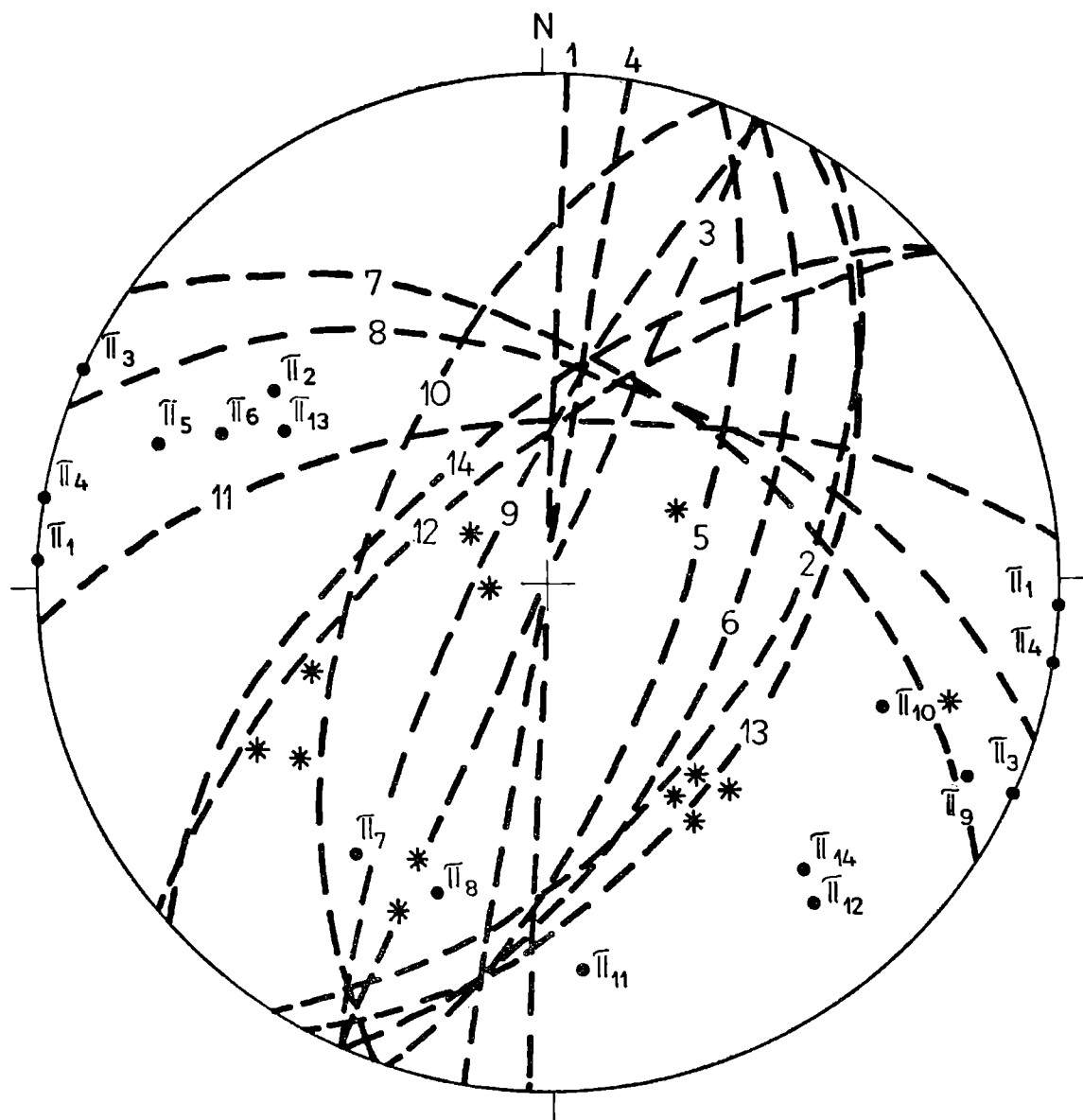


Fig. 13. Diagram drobnych uskoków przecinających wapień dolnego kambru w łomie „Miłek” (Wojcieszów, Góry Kaczawskie). Dolna półkula projekcji równopowierzchniowej. Kropki — bieguny  $\pi$  dla powierzchni uskokowych (1—14); linie przerywane — duże koła powierzchni uskokowych (1—14); gwiazdki — rysy na ślizgach uskokowych

Fig. 13. Diagram of minor faults observed in the quarry „Miłek” at Wojcieszów (Lower Cambrian limestones — West Sudetes). Lower hemisphere equal area projection. Black points — 14  $\pi$  poles to fault planes; great circles — 14 fault planes; stars — striae on the fault planes

zawsze dominują na diagramach spękań i drobnych ślizgów uskokowych. Często na plan pierwszy wybijają się drobne dysjunkcje lokalne, nie wpływające wyraźnie na szczegóły intersekcyjne zdjęcia.

Interesujące są również kierunki ślizgów na drobnych uskokach dostrzeganych w odkrywkach. Rysy na tych ślizgach, wskazujące na kierunki przesunięć pękniętych mas skalnych, nachylają się z reguły łagodnie lub pod miernymi kątami, podobnie jak to w Górach Sowich stwierdził W. Grocholski (1968). Większość uskoków ma zatem charakter listwowy lub wykazuje ślizgi subhoryzontalne. Oś „b” elipsoidu odkształceń

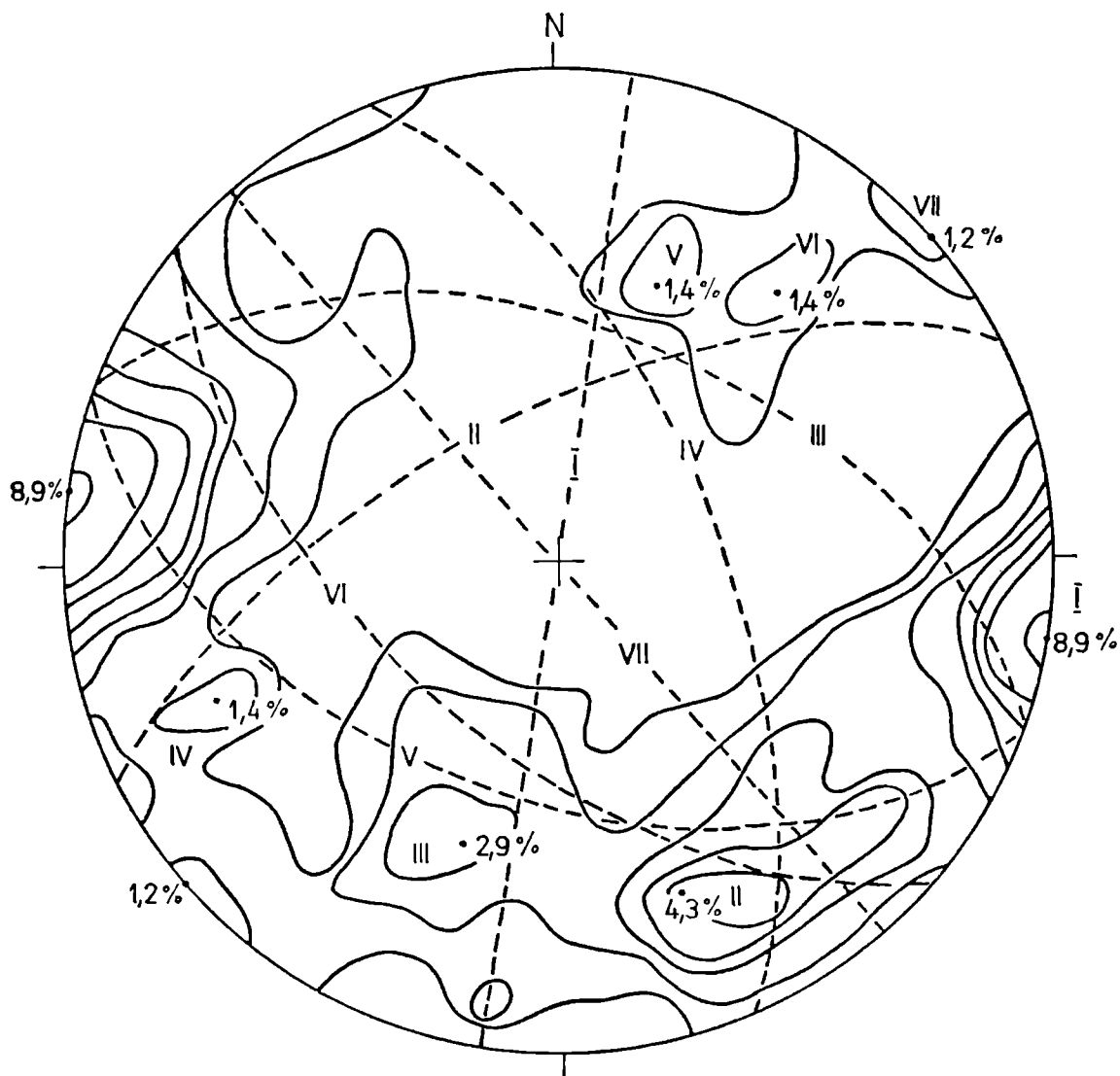


Fig. 14. Kumulatywny diagram dla 416 spękań skalnych pomierzonych w łupkach zielenicowych jednostki Dobromierza w Pietrzykowie nad potokiem Strzegomka, bezpośrednio na S od wsi. Kontury 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 8% dla biegunów  $\pi$  powierzchni spękań. I—VII maksima zagęszczenia biegunów powierzchni spękań i odpowiadające im duże koło. Maksimum I odpowiada spękaniami równoległym do walnej dyslokacji N-S, biegnącej tu wzdłuż osi doliny Strzegomki. Maksima II, III, IV, V, VI i VII równoległe do drobnych uskoków zaznaczonych w intersekcji mapy i dostrzegalnych w odkrywkach

Fig. 14. Lower hemisphere equal area projection cumulative diagram for 416 poles to joints measured in the greenschists (Upper Cambrian) of the Dobromierz unit at Pietrzyków (West Sudets). Contours: 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 8%. I—VII — maxima of poles concentration. Maximum I parallel to a major dislocation trending N-S along the Strzegomka valley. Maxima II—VII parallel, or subparallel to minor faults, visible on the geologic map, or in outcrops

była w czasie deformacji przeważnie subwertykalna. Trudno oczywiście ocenić, w jakim stopniu kierunek rys ślizgowych zmienił się na skutek subsekwentnych rotacji, zjawiających się z reguły w czasie dalszego rozwoju deformacji, lub w czasie deformacji znacznie później nałożonych.

Ważniejsze wyniki obserwacji spękań skalnych, których autor dokonał w Górach Kaczawskich i w depresji Świebodzic, można ująć w następujących punktach:

1) Maksyma spękań skalnych, a także drobne uskoki, dostrzegalne w odkrywkach, układają się bardzo często równoległe do dużych dyslokacji (uskoki, rzadziej nasunięcia), występujących wyraźnie w intersekcji mapy,

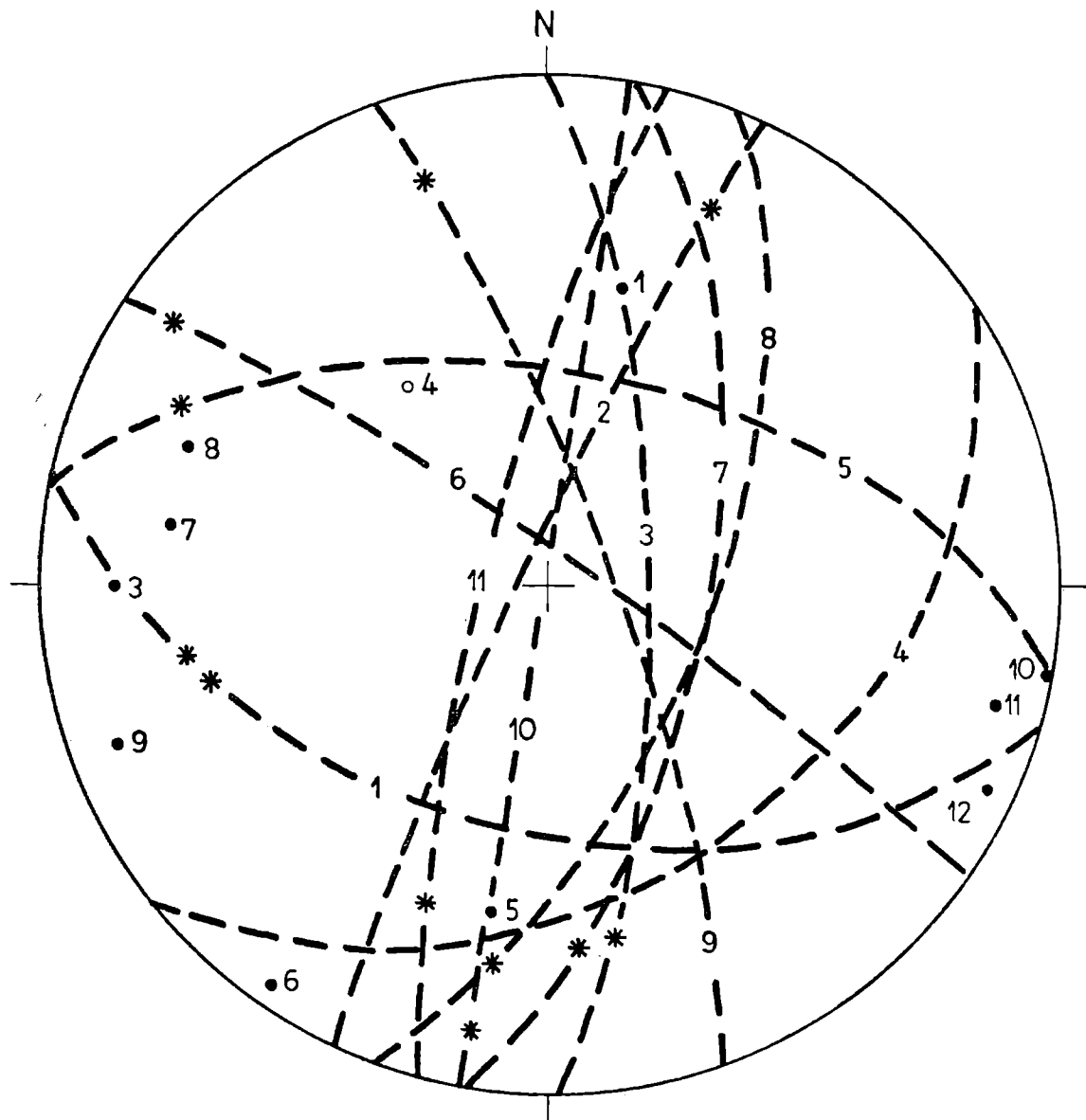


Fig. 15. Diagram drobnych uskoków, obserwowanych w łupkach zielencowych jednostki Dobromierza wzdłuż doliny Strzegomki na S od Pietrzykowa. Projekcja równopowierzchniowa dolna półkula. Kropki — bieguny  $\pi$  dla powierzchni ślizgowych uskoków (1—12); duże koła (linie przerywane) — powierzchnie ślizgowe uskoków (1—12); gwiazdki — rysy na powierzchniach ślizgowych uskoków

Fig. 15. Lower hemisphere equal area projection diagram for 12  $\pi$  poles to gliding planes of minor faults, observed in green schists (Upper Cambrian) of the Dobromierz unit, along the Strzegomka valley to the south of Pietrzyków (West Sudetes). Points —  $\pi$  poles of faults (1—12); great circles (broken lines) — fault planes (1—12); stars — striae on the fault planes

a pojawiających się w najbliższym sąsiedztwie odkrywek, gdzie mierzono spękania.

2) Mniej częste są spękania, które są ustawione stromo względem powierzchni ślizgowych dużych i małych uskoków i które można by uważać za efekty ścinania sprzężonego z tymi uskokami.

3) Jeszcze znacznie mniej liczne są szczeliny pierzaste, które czasem towarzyszą ślizgom uskokowym, ustawiając się względem nich pod kątem wahającym się około  $45^\circ$ .

4) Analiza diagramów spękań wskazuje, że diagramy te mogą dawać obraz interferencyjny, który powstał przez nałożenie na siebie dwu lub więcej różnych deformacji.

5) Duże spękania skalne są często predysponowane przez drobne szczelinki  $a-c$  różnych struktur liniowych. Również systemy wtórnego złupkowania mogą ułatwiać pęknięcia w pewnych kierunkach w okresie pojawiania się silniejszego stressu, niekoniecznie odpowiadającego układowi złupkowania.

6) Nierzadko zaznacza się pasowy układ maksimów spękań, świadczący o rotacjach w czasie narastającej deformacji. Pasy takie układają się czasem zgodnie z pasami biegunów foliacji, co świadczy o tym, że wspomniane pęknięcia są predysponowane przez foliację.

7) Diagramy kumulatywne spękań różnią się często poważnie między sobą, nawet w wypadku gdy odkrywki, w których dokonano pomiarów, znajdują się jedna obok drugiej, odsłaniają te same skały, a ilość pomiarów jest prawie ta sama dla porównywanych diagramów. Różnice potęgują się, jeśli pomiarów dokonano w skałach odmiennych o rozmaitych cechach strukturalnych i tekstralnych. Lokalne dyferencjacje stressów z przyczyn na ogół nieuchwytnych i lokalne niehomogeniczności materiału skalnego mogą tu grać rolę decydującą.

8) Diagramy, sporządzone dla jednej i tej samej odkrywki na podstawie setki pomiarów dla każdego diagramu, lecz za każdym razem w innej części odsłonki mogą też wykazywać znaczne różnice.

Te lokalne, a często nieuchwytnie wpływy wielce utrudniają interpretację diagramów spękań.

#### ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

Celem niniejszego artykułu było wykazanie, że analiza strukturalna w Sudetach ma jeszcze długą drogę przed sobą, zanim dojdzie do pożądanej doskonałości metody i wykonania. Na drodze tej napotykamy rozliczne trudności. Metody pracy trzeba doskonalić i przejść na opracowania bardziej szczegółowe i wyczerpujące, niż to się często spotyka.

Jak to już raz stwierdziłem, badając struktury liniowe musimy uwzględnić nie tylko ich kierunek, lecz także zwracać baczną uwagę na budowę szczegółową tych struktur, ich morfologię, stosunek do poszczególnych etapów metamorfozy i wszelkie inne powiązania genetyczne. Charakter skały, jej struktura i tekstura są tu również ważne.

Rzeczą wielkiego znaczenia jest ustalenie wieku struktur liniowych. Nie jest to sprawa prosta tam, gdzie serie metamorficzne są paleontologicznie nieme i gdzie brak wiarygodnych oznaczeń wieku bezwzględnego. Dlatego musimy uznać za przedwczesne wszelkie próby dokładnego datowania lineacji w takich formacjach. Są wypadki, w których nawet następstwo wiekowe struktur liniowych nie jest pewne. Może się przy tym

zdarzyć, że struktury linijne pewnego zespołu powstały w czasie dwu lub więcej deformacji, nałożonych na siebie mniej lub więcej zgodnie. Deformacje te mogą przedstawiać różne stadia rozwojowe jednego i tego samego okresu fałdowania, mogą jednakże być odległe od siebie w czasie geologicznym.

Tam, gdzie sekwencja czasowa struktur liniyjnych nie jest jasna, proponuję cyfry porządkowe struktur liniyjnych zastąpić literami wybranymi dowolnie, lecz nie w porządku alfabetycznym.

Ważne jest odkrycie J. D o n a i I. W o j c i e c h o w s k i e j, że drobne struktury grupy Śnieżnika o biegu merydionalnym krzyżują się z drobnymi strukturami Krowiarek, biegnących NW-SE tam, gdzie oba sytemy górskie stykają się ze sobą. Wynika z tego, że element Międzygórze nie przedłuża się w system Krowiarek, lecz dalej ciągnie się ku NNE. Odkrycie to komplikuje zagadnienie wirgacji łądeckiej, a przynajmniej jej północnego ogniska (uwaga J. D o n a). Zachodzi pytanie, czy w południowym ognisku tej wirgacji (porównaj H. T e i s s e y r e, 1968) również mamy do czynienia z przecinającymi się systemami fałdów.

Dwa przecinające się systemy fałdów wykrył M. S c h w a r z b a c h (1939) w SE części Gór Kaczawskich. Te same systemy mamy również we Wschodnich Karkonoszach. Mimo to wydaje się, że wirgacja Marciszowa realnie istnieje. Jej gałąź północna ma ogólny kierunek wschodni, gałąź południowa zaś skierowuje się ku SE.

Nie wiadomo jednakże, czy w rejonie Strzelina mamy na pewno do czynienia z łączeniem się dwu łańcuchów fałdowych (S c h a r u n g). Być może i tu ma miejsce raczej przecinanie się dwu skośnie do siebie ustawionych systemów fałdowania.

Ważną rzeczą jest wreszcie podważenie tezy o północnej wergencji północnego pnia Gór Kaczawskich. Wyniki szczegółowych studiów mezostrukturalnych Z. B a r a n o w s k i e g o i A. H a y d u k i e w i c z a (praca w druku) raczej przeczą takiej tezie.

Wstępne wyniki studiów nad spękaniem skał sudeckich zostały wypunktowane w tekście przez autora. Nie ma potrzeby powtarzać ich na tym miejscu. Warto jednak zaznaczyć, że do bardzo podobnych wyników doszła J. G o r c z y c a - S k a ł o w a, mierząc spękania skalne w okolicach Wlenia (materiały w opracowaniu).

Podobne studia są w toku w innych regionach Sudetów, wyniki już osiągnięte będą opublikowane niebawem.

*Instytut Geologiczny*

*Oddział Dolnośląski*

#### WYKAZ LITERATURY REFERENCES

- Cloos H. (1925), Tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen. I. Teil. Das Riesengebirge in Schlesien, Berlin.
- Dewey J. F. (1966), Nature and origin of Kink-Bands, Tectonophysics. Amsterdam.
- Dumicz M. (1964), Budowa geologiczna krystaliniku Gór Bystrzyckich. *Geologia Sudetica*, 1, Warszawa.
- Dziedzicowa H. (1970), Przyczynek do analizy orientacji kwarcu w fałdach krystaliniku niemczańsko-kamienieckiego. *Acta geol. pol.*, 20, 1, Warszawa.
- Grocholski W. (1967), Tektonika Gór Sowich. *Geologia Sudetica*, 3, Warszawa.
- Jerzykiewicz T. (1968), Uwagi o orientacji i genezie ciosu w skałach kredowych niecki śródsudeckiej. *Geologia Sudetica*, 4, Warszawa.

- Jerzykiewicz T. (1969), Próba wyjaśnienia genezy spękań ciosowych margli opolskich. *Acta geol. pol.*, 19, 2, Warszawa.
- Kasza L. (1964), Budowa geologiczna górnego dorzecza Białej Łądeckiej. *Geologia Sudetica*, 1, Warszawa.
- Smulikowski K. (1957), Formacje krystaliczne grupy górskiej Śnieżnika Kłodzkiego. Przewodnik do XXX Zjazdu Pol. Tow. Geol. w ziemi kłodzkiej, Wrocław.
- Smulikowski K. (1960), Evolution of the granite-gneisses in the Śnieżnik Mts. East Sudetes. Intern. Geol. Congress, Report XXI Sess., Norden, 14, Copenhagen.
- Teisseyre H. (1957), Regionalna Geologia Polski, 3, Sudety. Rozdział IV, A. Kraków.
- Teisseyre H. (1964), Uwagi o ewolucji strukturalnej Sudetów. *Acta geol. pol.*, 14, 4, Warszawa.
- Teisseyre H. (1968), Serie metamorficzne Sudetów. *Geologia Sudetica*, 4, Warszawa.
- Turner F. J., Weiss L. E. (1963), Structural analysis of metamorphic tectonites. University of California, Berkley.
- Wilson G. (1961), The tectonic significance of small scale structures and their importance to the geologist in the field. *Société Géol. de Belgique. Ann.* 84, *Bull.* 9, 10, Liège.

## SUMMARY

A complete structural analysis of the area of the Sudetes Mts should comprise studies of macrostructures and mesostructures, supplemented by microstructural investigations of selected areas. A detailed mapping of macrostructures in the Sudetes Mts. is progressing rapidly. Less work has been done on mesostructures, while microstructures have been investigated only in few points.

Studies of mesostructures carried out in all metamorphic regions of the Sudetes Mts. were often spotty and non-methodical. Such studies require meticulous investigations of the character and form mesostructures in relation to the competency of rocks subjected to these deformations and to metamorphic crystallization. The determination of the origin of these discontinuities is of primary importance.

The age of mesostructures can not be determined in metamorphic series of unprecised stratigraphic position. Even in such cases when the stratigraphic position of the deformed rocks is exactly known, the determination of the age of deformations is not easy, as the age of the rock does not define the age of deformations affecting this rock. The discontinuities present in rocks can be much younger than the rock itself.

In the opinion of the present author all attempts to date the age of mesostructures in old crystalline complexes of the Sudetes Mts. are premature and unjustified, as no supporting argumentation is presented.

Both linear structures and planar structures are present among mesostructures in the Sudetes Mts. The linear structures may be divided into folds (*F*) and lineations (*L*). They are regarded in the Sudetes Mts. as corresponding to the kinetic *B*-axis.

Two or three systems of linear mesostructures are present often in the metamorphic complexes of the Sudetes Mts. Usually they are regarded as differing in age. More than three intercrossing systems of mesostructures can be observed locally, chiefly in rocks of low competency, in which even very small stresses can be recorded.



Planar mesostructures studied in the Sudetes Mts comprise bedding, foliation and secondary cleavage. As a rule, foliation is parallel to sedimentary surfaces. The present writer proposes the symbol  $S_0$  for this foliation. The secondary cleavage, usually related with the principal lineation, is of the fracture cleavage type, or of the strain-slip cleavage type. Axial plane cleavage is also present. Joints, also studied in the Sudetes Mts. form another type of planar mesostructures.

#### DIFFICULTIES IN DETERMINING THE SEQUENCE OF LINEAR STRUCTURES OF DIFFERENT AGE

The age and sequence of linear structures can be determined approximately in Early Palaeozoic formations of the Sudetes Mts. Instead, the old crystalline complexes regarded generally as Pre-Cambrian, even the sequence of two intercrossing sets of linear structures remains often obscure. An example is provided by linear mesostructures in shists and gneisses of the Mt. Śnieżnik massif, studied by the present writer.

Three systemes of minor folds and lineations, differing in age in the opinion of the present author, occur in this area. Locally they are accompanied by fracture cleavage showing three different directions (Fig. 1, Fig. 2 and Fig. 3).

The principal system of minor folds and lineations is parallel to the axes of macrostructures, and, generally speaking, has a north-south direction. The present author designated formerly this system by the symbol  $B_1$ , regarding it as the oldest set of deformations. The linear structures of this system are traversed by minor folds and lineations striking NW-SE, which were formerly designated by the symbol  $B_2$ . Small sharp folds of the third system, present locally, are striking W-E. These folds have generally the character of rigid deformations of the kink-band type.

The succession of the three sets of mesostructures outlined above proved doubtful in the light of more detailed studies. These studies revealed details of the structures which suggest that the N-S system is probably younger than the mesostructures of the NW-SE system. In the majority of cases studied (47 out of 50) the N-S lineation yields curved lines after the development of folds of the NW-SE system. According to the generally known rules this indicates that the lineation is younger than the traversing folds.

The N-S lineation is syngenetic with a partial granitization of the schist series. One of the phases of this granitization is recorded by the appearance of albite blasts. The albite poikiloblasts of some paragneisses display well preserved relicts of wrinkling belonging to the NW-SE lineation (Fig. 5). Also this detail speaks against the conception set forth previously by the author.

However, the folds of the NW-SE system are often very complicated. Joints, concordant with axial planes appear, and are accompanied by quartz veins, and occasionally by irregular quartz nests (Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, and Fig. 11). Some folds of the NW-SE system pass into structures of kink-band type, which are characteristic for a late stage of deformations (Fig. 6). This evidence is tentatively explained in the following way: the NW-SE fold system was formed during the first phase deformations. The second deformation was associated with grani-

tization of the schists and produced the linear mesostructures of the N-S system. During a subsequent, third deformation phase a rigid overprint of the folds of the NW-SE system took place (joints, quartz veins and nests, formation of kink-band structures). Such an interpretation is also supported by the observation of disruptions of the N-S lineation on the joints, and by the presence of strong deformations along the quartz veins associated with folds of the NW-SE system.

Assuming that all phases of formation of the NW-SE folds precede the N-S lineation and granitization, it should be concluded that the fractures disrupting the NW-SE folds and the associated quartz veins and nests survived the granitization processes; however this conclusion seems improbable.

Further studies are required for a definite solution of the problems outlined here. In order to avoid numeral symbols determining the sequence of deformations, the present author proposes the symbol  $L_s$  for the lineation of the N-S system and the symbol  $F_s$  for the folds of this system (mesostructures typical for the Mt. Śnieżnik massif). The folds and lineations of the NW-SE system are denoted  $F_k$  and  $L_k$ , as these mesostructures are characteristic for the Krowiarki range. The youngest structures of the kink-band type (striking E-W) and the associated lineation are denoted  $F_w$  and  $L_w$ , the subscript „w” for the Wilczka stream, where these mesostructures were discovered first.

#### REMARKS ON JOINTS IN THE SUDETES MTS.

Studies of joints are currently carried out in the Sudetes Mts. The author measured c. 25 000 joints in the Mt. Śnieżnik massif and in the eastern part of the Kaczawa Mts. The principal results are outlined below.

1. In the eastern part of the Kaczawa Mts. the most frequent joint directions are concordant with large faults or with minor local dislocations (Fig. 12, Fig. 13, and Fig. 14).

2. The joints are often predisposed by small fissures perpendicular to the lineation ( $a$ — $c$  fissures), secondary cleavage, and sometimes by poorly marked foliation.

3. The maxima of joint direction often form belts on cumulative diagrams; this can be explained by rotation of stress during the deformation.

4. The cumulative diagrams of joints, even those constructed for the same rock types and for neighbouring outcrops may differ greatly in details.

5. Striae on fault-slip planes are most often sub-horizontal or slightly inclined. Steeply inclined striae are rare (Fig. 15).

6. Joints and small faults striking N-S or NNE-SSW are especially frequent in the eastern part of the southern branch of the Kaczawa Mts. These directions are corresponding with the directions of  $Q$  joints determined by H. Cłos (1925) in the eastern part of the Karkonosze granite massif.

7. Significantly, 70 per cent of faults mapped by the author in the eastern part of the southern branch of the Kaczawa Mts. lie between the azimuths  $350^\circ$ — $20^\circ$ . It seems that the dislocations and joints having these directions form the major disjunctive deformations in the Western Sudetes Mts.

*Geological Institute*

*Lower Silesia Department, Wrocław*