

KRYSTYNA GROCHOCKA

## Analiza drobnych struktur w Przełomie Niedzickim

**STRESZCZENIE:** W oparciu o statystyczną analizę drobnych struktur — fałdów, budinażu, uskoków, luster tektonicznych, rys ślizgowych, spękań ciosowych i klaważowych, oprócz opisu tych struktur, wyciągnięto wnioski dotyczące kierunków faz głównej kompresji — starszej o kierunku południkowym i młodszej o kierunku równoleżnikowym. Podkreślono znaczenie, jakie do obecnego stylu tektonicznego pienięńskiego pasa skałkowego wniosły ruchy pionowe, również odczytane z analizy drobnych struktur.

### WSTĘP

Praca niniejsza, w której zastosowano metodę analizy drobnych struktur, zarówno w celu wykazania jej przydatności do badania pienięńskiego pasa skałkowego, jak i w celu szczegółowego opracowania struktur na danym terenie, została wykonana pod kierunkiem prof. Kazimierza Guzika, który stwierdził możliwość zastosowania analizy strukturalnej dla badań tektonicznych w Pieninach, a zwłaszcza konieczność przeprowadzenia takich badań dla terenu przyszłej zapory wodnej w Przełomie Niedzickim, i skłonił autorkę do wykonania niniejszej pracy.

Teren poddany obserwacjom znajduje się w osi przyszłej zapory wodnej w Przełomie Niedzickim i obejmuje oba przyczółki umiejscowione na południe od mostu koło przystani flisackiej.

W czasie badań poczynionych wiosną 1966 roku wykonano szereg pomiarów drobnych struktur tektonicznych we wszystkich dostępnych odsłonięciach naturalnych i sztucznych prócz sztolni.

Pragnę złożyć serdeczne podziękowanie Profesorowi Kazimierzowi Guzikowi za umożliwienie mi badań na terenie Przełomu Niedzic-

kiego, jak również za szereg konstruktywnych dyskusji, które w znacznym stopniu przyczyniły się do rozstrzygnięcia wielu problemów. Dziękuję także doc. dr W. Grochołskiemu, dr W. Jaroszewskiemu oraz dr M. Bac za poczynienie wnikliwych uwag w czasie opracowywania tekstu.

#### METODY PRACY

Dysponowałam podkładem topograficznym w skali 1:500, wykonanym w Pracowni Kartografii Geologicznej Zakładu Nauk Geologicznych PAN metodą autogrametrycznego opracowania zdjęć fototeodolitycznych naziemnych, uzupełnionych zdjęciem instrumentalnym. Podkład topograficzny oddawał wszelkie szczegóły rzeźby terenu, młodszej pokrywy, odsłonięcia naturalne starszego podłoża oraz uwzględniał lokalizację sztucznych odsłonień (wiercenia, szurfy i sztolnie). Szczególnie ważna okazała się dokładna lokalizacja szurfów, które dostarczyły najwięcej obserwacji drobnych struktur.

Korzystałam również z mapy geologicznej odkrytej prof. dr K. Birkenmajera, w skali 1:500.

Pomiary deformacji ciągłych i nieciągłych — kłiważu, luster i rys tektonicznych, drobnych fałdów i budinażu zostały naniesione na siatkę równopowierzchniową Schmidta i przedstawione w postaci zbiorczych diagramów za pomocą izolinii równej gęstości punktów.

Analiza diagramów i porównanie ich z obrazem kartograficznym (mapa geologiczna odkryta K. Birkenmajera w skali 1:500) pozwoliły na wyciągnięcie wniosków dotyczących budowy większych elementów strukturalnych, charakteru deformacji oraz kierunków i względnego wieku mezostruktur.

#### OPIS DROBNYCH STRUKTUR TEKTONICZNYCH I ICH ZWIĄZEK Z LITOLOGIĄ

W budowie badanego terenu biorą udział serie: czorsztyńska, niedzicka i bramiska oraz ogniwa litologiczne osłony przedlaramińskiej (Birkenmajer 1958). Przeważają biegi warstw NNW-SSE i strome upady północne. Na opisywanym terenie dominuje łuskowy styl tektoniczny (Birkenmajer 1958).

Rozpatrując zagadnienie związków materiału skalnego w obrębie łusek, można stwierdzić, że poszczególne ogniwa litologiczne stanowią zespoły tak samo reagujące na wytworzone naprężenia. Rozpatrując zaś zagadnienie kompetencji nieco szerzej, wydaje się, że można wydzielić większe zespoły, mniej lub bardziej plastyczne, utworzone z kilku og-

niw litologicznych, które stanowią będą kompleks reagujący podobnie. Przykładem zespołów mało plastycznych będą np.: rogowce i radiolaryty czy wapienie krynoidowe i pseudobulaste, a zespołem warstw bardziej plastycznych będą łupki i margle. W obrębie całego badanego terenu można wyróżnić szereg łusek będących jednym zespołem tektonicznym o zgodnych kierunkach elementów strukturalnych — podobne upady, mniej więcej równoległe osie fałdów i drobnych fałdów, zbliżone systemy kłiważu i spękań ciosowych. Przykładem takich zespołów mogą być, omówione dalej w tekście, jednostka „dolna” i „górna” na lewym przyczółku.

Przechodząc do omówienia drobnych struktur, występujących na badanym terenie, należy podkreślić ściśłą zależność rodzaju tych struktur od litologii.

Rejestrowałam następujące struktury: fałdy i drobne fałdy, fleksury, budinaż, uskoki, nasunięcia, lustra i rysy ślizgowe, oraz spękania (kłiważ i cios).

### *Drobne fałdy*

Amplituda drobnych fałdów wahała się od kilku milimetrów do kilku metrów. Na podstawie obserwacji terenowych można stwierdzić, że w Przełomie Niedzickim najczęściej występują drobne fałdy ze zginania (concentric, flexure, true folds). Spotyka się ten rodzaj drobnych fałdów w wapieniach rogowcowych, radiolarytach, wapieniach bulastych

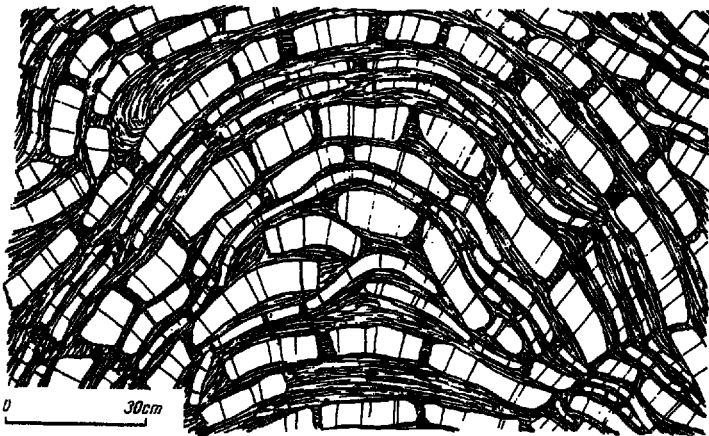


Fig. 1

Przykład fałdu ze zginania, w budowie którego dużą rolę odegrały spękania tensyjne

Example of concentric fold. Tension fractures played the main role in its structure

i krynoidowych, a zatem występują one w określonych typach litologicznych, charakteryzujących się zbliżonymi własnościami mechanicznymi. Nie są to jednak najczęściej typowe fałdy ze zginania, lecz struktury ze stosunkowo silnie rozwiniętymi spękaniami tensyjnymi, wzdłuż powierzchni których w czasie fałdowania dochodziło także do przemieszczeń (fig. 1). Również w późniejszych fazach kinematycznych spękania tensyjne odegrały główną rolę w tworzeniu się drobnych przemieszczeń w obrębie fałdów. Przemieszczenia spowodowały powstanie skomplikowanych struktur (fig. 2 i 3), w których często trudno jest dostrzec pierwot-

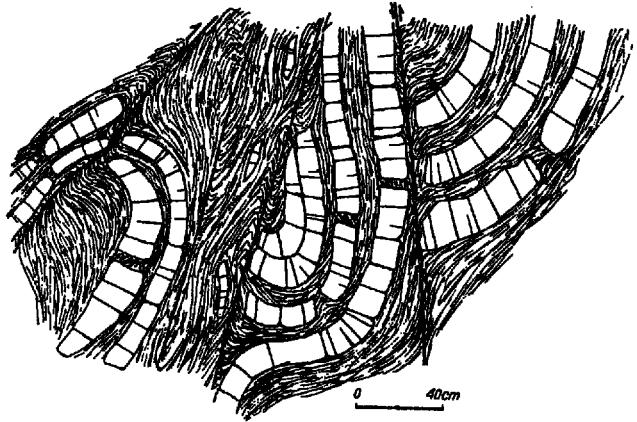
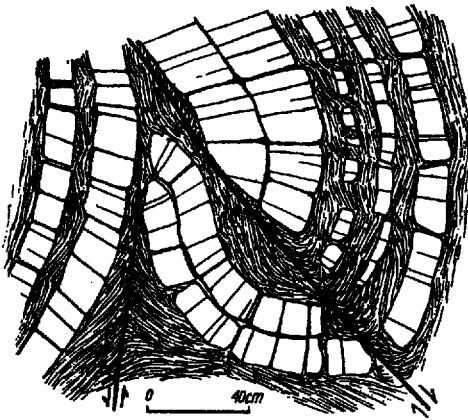


Fig. 2 i 3

Sfałdowanie w kompleksie o zmiennej kompetencji warstw, poprzecinanych systemem drobnych uskoków

Folding in a series with varying competence of beds intersected by a set of mesofaults



ny kształt fałdu. Typowe fałdy ze zginania, bez lub z małą ilością spękań tensyjnych, występują tylko w jednym miejscu — na prawym przyczółku w wapieniach pseudobulastych (pl. I).

Oprócz fałdów ze zginania, na badanym terenie występują tzw. fałdy podobne (similar folds). Najczęściej można je zaobserwować w utworach o niewielkiej, mniej więcej jednakowej miąższości ławic, więc przede wszystkim w łupkach i marglach (por. fig. 4), a sporadycznie — w cienko uławiconych fragmentach radiolarytów. Są wąsko promienne, często z rozwiniętym kłiważem osiowym (axial-plane cleavage).

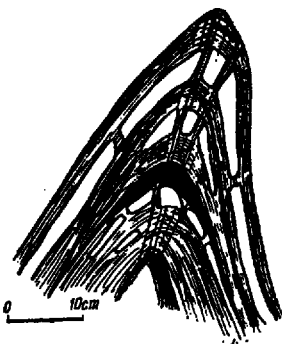
Fałdy z płynięcia (flow folds) na badanym terenie zostały zaobserwowane przez prof. Kazimierza Guzika (informacja ustna). Występują one w strefie nasunięć i powstały w wyniku znacznego uplastycznienia skały (być może są to fałdki ciągnione).

Oprócz drobnych fałdów wyraźnie zarysowanych, liczne są łagodne wygięcia, do których trudno zastosować termin „fałdy”, ale które wyznaczają kierunek lineacji. Najczęściej występują w wapieniach rogowcowych i radiolarytach. Prawdopodobnie są one wynikiem rozładowywania lokalnych naprężeń powstałych na skutek przesunięć dużych bloków wzdłuż uskoków lub na skutek kompresji równoległej do powierzchni ławic. Właśnie grube kompleksy równoławicowych wapieni rogowcowych i radiolarytów były predysponowane do takiego reagowania na wytworzone naprężenia chociażby z powodu słabiej rozwiniętego kłiważu, który nie pozwalał na rozładowanie tych naprężeń. W warstwach

Fig. 4

Fałd podobny z silnie zaznaczonym kłiważem osiowym

Similar fold with well indicated axial cleavage



o zróżnicowanej zwięzłości i o różnej miąższości ławic, naprężenia łatwiej mogły ulegać rozładowaniu wzdłuż powierzchni nieciągłości takich jak kłiważ czy cios (w warstwach mniej zwięzłych kłiważ występuje częściej i jest gęściejszy niż w warstwach bardziej zwięzłych), lub chociażby po powierzchniach uławicenia.

### *Fleksury*

Przebiegi fleksuralne spotyka się niemal we wszystkich typach litologicznych. Zazwyczaj są związane z przemieszczeniami wzdłuż powierzchni uskokowych lub ze ślizgami na powierzchniach ławic (pl. II i III). Ciągnięcie warstw widoczne przy uskokach określa wyraźnie kierunek wzajemnego przemieszczania bloków.

### *Budinaż*

Budinaż występuje w kompleksach, w których przeławicają się warstwy związane z warstwami mniej związłymi. Bardzo często można zaobserwować budinaż w wapieniach rogowcowych i radiolarytach, jeśli są one przeławiczone łupkami, a oprócz tego w łupkach sferysyderytowych i posidoniowych, w warstwach nadposidoniowych i w różnych ogniwach kredowych. Większy wymiar obserwowanych budin w przekroju wahał się od 2 cm do 35 cm (przez rozciągłość budin będą dalej w tekście rozumiała długość równoległą do osi struktury fałdowej). Drobne budiny (2—4 cm, większego wymiaru) częste były w łupkach z cienkimi warstewkami wapienia lub piaskowca. Towarzyszyły zazwyczaj strukturom fałdowym i wówczas występowały w skrzydle łagodnym (w fałdach asymetrycznych w skrzydle łagodnym, mniej pochylonym, gdzie występuje większa tensja niż w skrzydle stronszym). Fragmenty warstw związłych, poprzecinane powierzchniami spękań tensyjnych, zostają następnie otulone przez niżej i wyżej leżące łupki (fig. 1 i pl. III). Oprócz budinażu pochodzenia tektonicznego, w wielu ogniwach stratygraficznych (zwłaszcza w wapieniach rogowcowych) występuje budinaż sedimentacyjny, który jednakże jest łatwy do odróżnienia od budinażu pochodzenia tektonicznego.

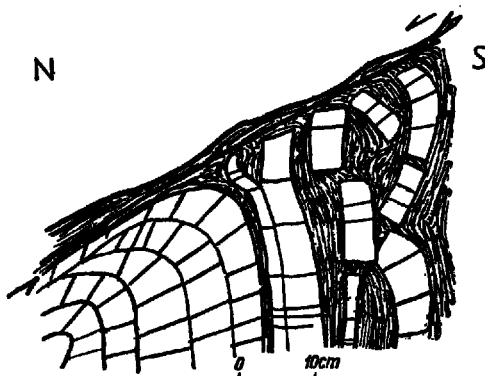
### *Nasunięcia*

Dokładna obserwacja powierzchni nasunięć na większych przestrzeniach była utrudniona ze względu na małe i fragmentaryczne odsłonięcie terenu (mimo dużej ilości szurfów). Wobec tego ograniczono się do obserwacji i pomiaru zjawisk towarzyszących nasunięciom (fig. 5), a więc powierzchni luster i rys ślizgowych, drobnych fałdów i szerokopromiennych wygięć. Wyciągnięcie szerszych wniosków dotyczących nasunięć było możliwe przede wszystkim dzięki analizie odkrytej mapy geologicznej. Ogólnie można stwierdzić, że powierzchnie nasunięć były wielo-

Fig. 5

Silne podgięcie warstw spowodowane ruchem wzdłuż powierzchni nasunięcia

Strong bending of beds as a result of movement along the surface of overthrust



krotnie odnawiane w czasie procesów deformujących, o czym świadczy znaczna ilość lusterek tektonicznych z kilkoma generacjami rys, towarzyszących nasunięciom (pl. IV i V).

### Uskoki

Uskoki, ze względu na obecną postać, można ogólnie podzielić na tensyjne i kompresyjne (taki podział na omawianym terenie stosuje prof. K. Guzik). Uskokami tensyjnymi są dysjunkcje, w których zaobserwować można wielokrotną mineralizację kalcytową, natomiast uskoki kompresyjne nie mają mineralizacji i charakteryzują się obecnością rys ślizgowych. Wobec częstej obecności rys ślizgowych na kalcytowych lustrach tektonicznych prof. Kazimierz Guzik (informacja ustna) przyjmuje następujące po sobie etapy tensji i kompresji.

Na opisywanym terenie przeważały procentowo uskoki pionowe lub zbliżone do pionowych oraz o powierzchniach ślizgów pochylonych pod kątem 40—80°/N. Większość uskoków o pochylonych powierzchniach ślizgu należy traktować jako uskoki odwrócone (pl. II, thrust faults, Anderson 1951), zainicjowane przez powierzchnie ścięć, przy poziomej osi głównej kompresji i pionowej osi najmniejszej kompresji. Należy nadmienić, że w przypadku uskoków odwróconych częste są struktury pośrednie między takimi uskokami a nasunięciami.

### Lustra tektoniczne

Lustra tektoniczne występują na powierzchniach przemieszczania różnego wieku. Często można zaobserwować wielokrotne zlustrowanie kilku generacji kalcytu lub wielokrotne ślizgi na tej samej powierzchni (pl. IV i V).

### Rysy ślizgowe

Rysy ślizgowe występują na większości luster tektonicznych i mogą być związane z kilkoma fazami przemieszczeń, gdyż często na jednej powierzchni widoczne są rysy różnokierunkowe (pl. IV i V).

### Spękania (cios i kliważ)

Obserwowany na badanym terenie kliważ, jako gęste, równoległe powierzchnie nieciągłości powstałe w wyniku wytworzonych naprężeń, z punktu widzenia genetycznego jest kliważem spękaniaowym (Teisseyre 1957) — fracture cleavage (Leith 1905), a w niektórych przypadkach kliważem ze ścinania — shear cleavage (Shrock 1948).

Rozpatrując kliważ pod względem geometrycznym, największą rolę odgrywa kliważ tensyjny, zbieżny do jądra fałdu i tylko ten rodzaj kliważu był poddany obserwacjom.

Cios, o ile genetycznie był związany z procesami odkształceń fałdowych (ciosem pierwotnym autorka nie zajmowała się), został przedstawiony na diagramach i rozpatrywany wspólnie z kliważem.

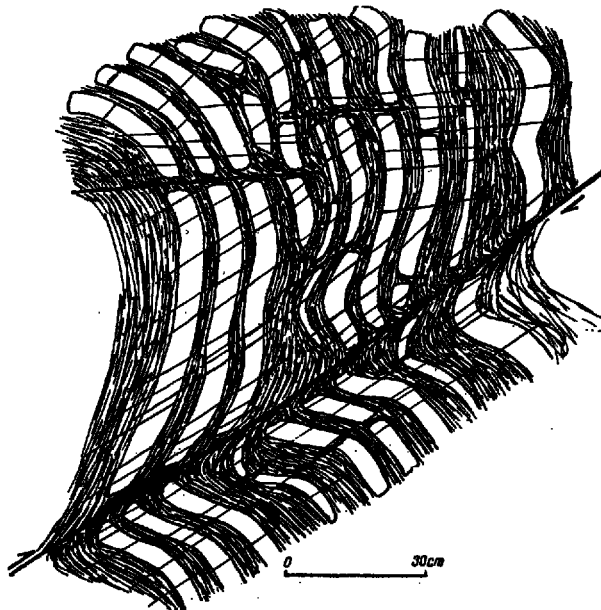


Fig. 6

W warstwach sąsiadujących z uskokiem widoczny kliważ równoległy do tej powierzchni

Beds adjacent to the surface of the fault show cleavage parallel to this surface

Obserwacja kliważu i ciosu w wielu przypadkach pozwoliła ustalić charakter fałdowania, jak również — dzięki możliwości odczytania lineacji *b* z przecięcia powierzchni kliważu — w niektórych przypadkach pozwoliła na rekonstrukcję kierunku głównego transportu tektonicznego.

Na podstawie obserwacji charakteru drobnych fałdów i spękań można wnioskować, że tworzenie się struktur fałdowych i spękań zachodziło równocześnie, a w późniejszych fazach tektonicznych następowało odnowienie powierzchni spękań oraz przemieszczanie po tych powierzchniach.

Nie zajmowałam się kliważem powstałym przy nasunięciach i uskawkach, gdyż — wobec bardzo złożonej budowy obszaru — prawdopodobnie nie byłby on zbyt przydatny do ogólniejszych rozważań o genezie i wieku struktur (fig. 6).

#### ANALIZA DIAGRAMÓW STATYSTYCZNYCH

Pomiary elementów liniowych i płaskich zostały przedstawione w projekcji z górnej półkuli siatki Schmidta i wykreślone w postaci procentowego zagęszczenia punktów. Elementy płaskie — spękania i lustra tektoniczne — reprezentują na siatce normalne do nich. Punkty na diagramach wykazują znaczną dyspersję i często dają szereg blisko siebie leżących maksimumów, co jest wynikiem dużego i wielokrotnego zaangażowania obszaru pienińskiego w różnych fazach tektonicznych. Diagramy zostały wykonane dla poszczególnych struktur oddzielnie, dla lewego i prawego przyczółka, oraz zbiorcze dla całego Przełomu Niedzickiego.

#### *Diagramy lineacji *b* (osie fałdów i budinaż)*

##### *Diagram z lewego przyczółka (fig. 7)*

Występują cztery maksima wyraźne i jedno słabsze: maksimum o azymucie 10—30 przy upadkach 0—35 na S łączy się z maksimum o azymucie 180 przy upadkach 0—50 na N. Silne a jednocześnie rozciągnięte maksimum o azymucie 275 przy upadkach 0,25 na E ma swoje przedłużenie w słabszym i również rozciągniętym maksimum o azymucie 70—140 przy upadkach na W. Maksimum w W-S części diagramu, blisko centrum, o stromych N-E upadkach, łączy się genetycznie z maksimum o azymutach 275 i 70—140. Takie położenie tego ostatniego maksimum wywołane jest późniejszym blokowym przemieszczaniem bloków względem siebie. Dominujące kierunki lineacji *b* (osie fałdów i budinaż) na terenie lewego przyczółka występują więc w azymutach 15 i 100°.

*Diagram z prawego przyczółka (fig. 8)*

Występują trzy wyraźne maksima: w N-W części diagramu maksimum o azymucie 335 przy upadach około 35 na S, maksimum WWS o azymucie 75 przy upadach 25 na NE i wiążące się z tym ostatnim maksimum EEN, w azymucie 250 o upadach 0—15 na SW. Oprócz tego występuje szereg słabszych maksimów (do 2,5%) wywołanych istnieniem uskoków i rotacją. Z powyższych maksimów można odczytać główne kierunki lineacji *b*, które leżą w azymutach 75 i 155.

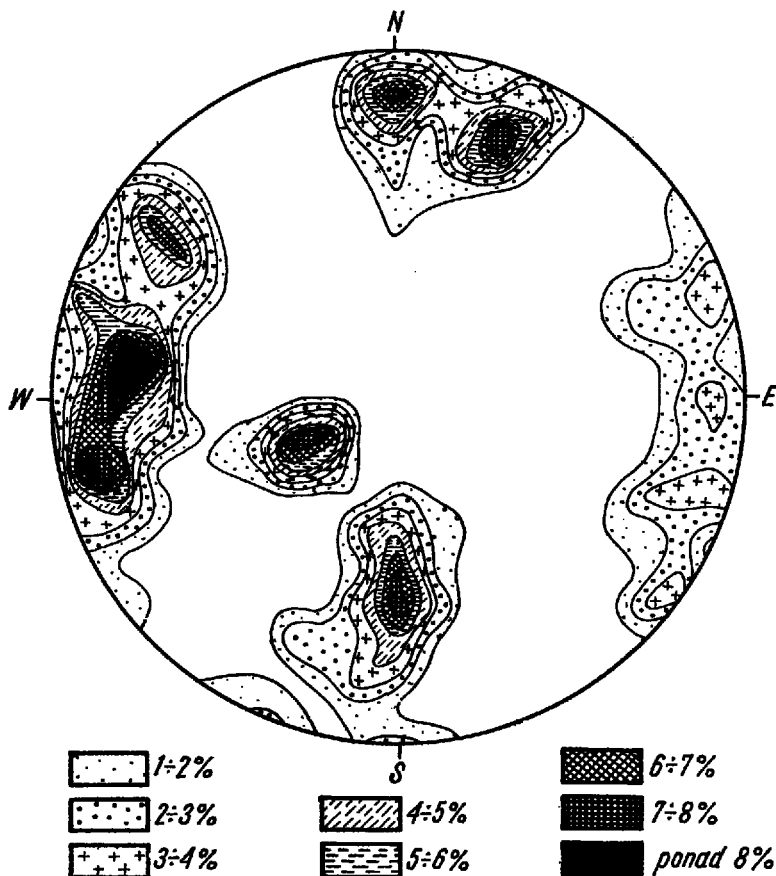


Fig. 7

Diagram lineacji *b* (osie fałdów i budinaż) z obszaru lewego przyczółka

Diagram of *b*-lineation (axes of folds and boudinage) from the left bridgehead area

*Diagram zbiorczy dla obszaru Przełomu Niedzickiego (fig. 9)*

Maksima na figurze 9 pozwalają stwierdzić obecność dwóch zasadniczych kierunków występowania lineacji *b* — jednego kierunku lineacji o azymucie 100 zanurzającej się na wschód i na zachód, ze znaczną przewagą kierunków lineacji zanurzających się na wschód, oraz drugi

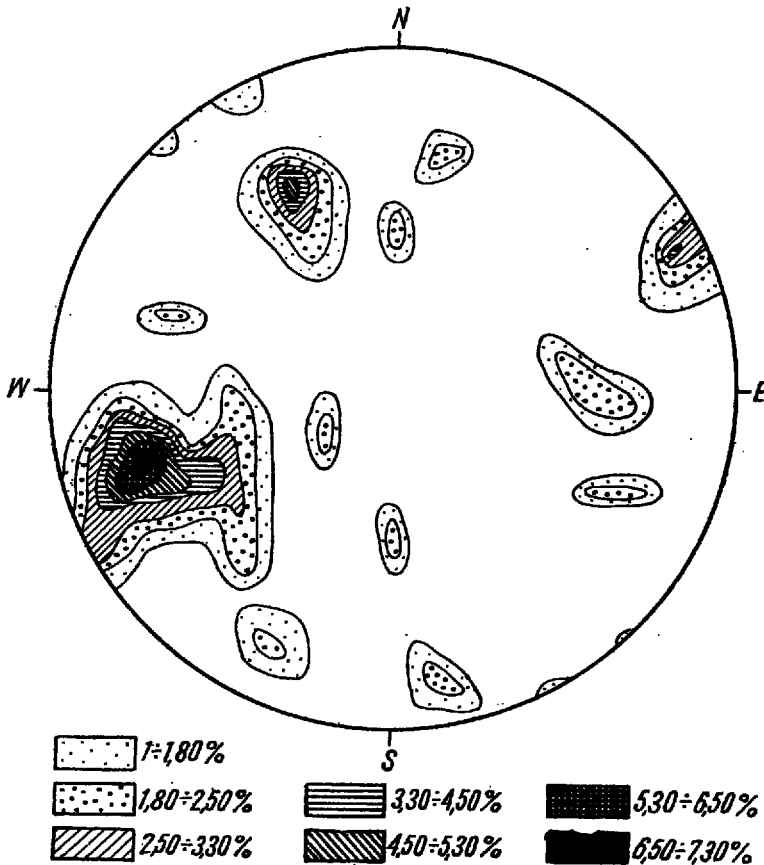


Fig. 8

Diagram lineacji b (osie fałdów i budinaż) z obszaru prawego przyczółka

Diagram of b-lineation (axes of folds and boudinage) from the right bridgehead area

kierunek lineacji o azymucie 0, zanurzających się na północ i południe, z przewagą tych ostatnich.

Przeciwnie skierowane upady osi fałdów należy tłumaczyć późniejszym wychyleniem bloków w obrębie większej struktury.

Porównując diagram na fig. 7 z diagramem na fig. 8, widoczne jest przesunięcie maksimum z jednego diagramu o kąt około 20—25 na zachód w stosunku do maksimum z diagramu drugiego. Obraz powyższy sugeruje obecność dyslokacji między terenem na którym wykonano pomiary zestawione na diagramie fig. 7, i terenem na którym wykonano pomiary zestawione na diagramie fig. 8.

Z powyżej przedstawionych diagramów lineacji b (osie fałdów

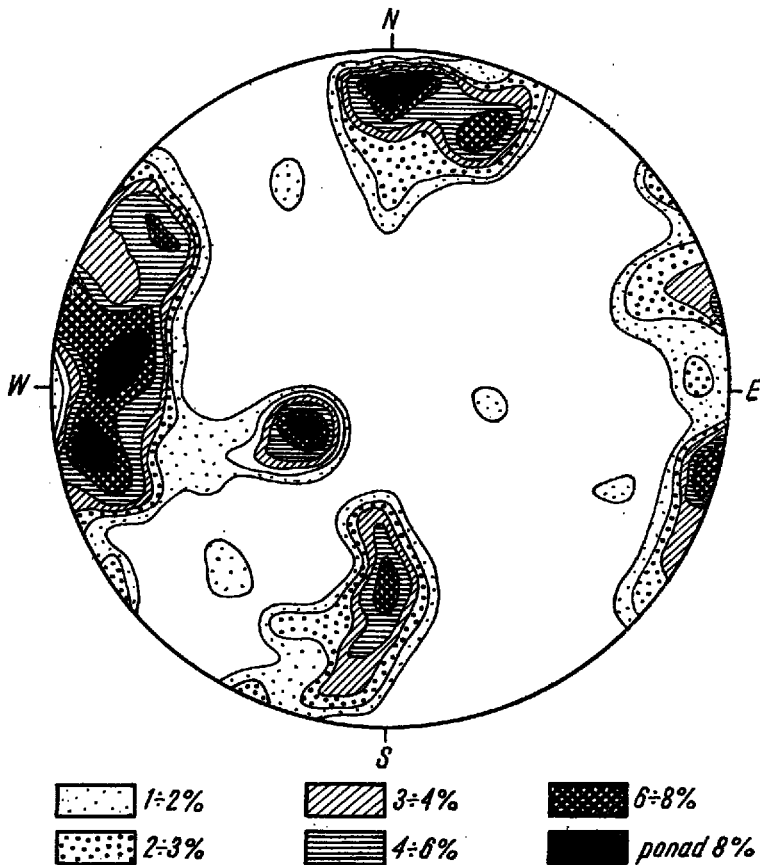


Fig. 9

Diagram lineacji b z terenu Przełomu Niedzickiego

Diagram of tectonic slickensides from the left bridgehead area

i budinaż) można odczytać kierunki transportu tektonicznego. Jeden kierunek miał azymut 10 (spowodował powstanie lineacji o azymucie 100), a drugi kierunek — azymut 90 (świadczą o tym kierunki lineacji w azymucie 0).

### Diagramy luster ślizgowych

#### Diagram z lewego przyczółka (fig. 10)

Najsilniejsze maksimum występuje w NNE części diagramu i odpowiada powierzchniom o biegu 100—170 i upadach 65—90°/N. Drugie wyraźne maksimum znajduje się w SSE części diagramu i reprezentuje powierzchnie o biegu 50—60



i upadach  $80-90^{\circ}/S$ . Odpowiadające mu maksimum o tym samym biegu i przeciwnych upadach leży w NNW części diagramu. Dość silne maksimum występuje również w SSW części diagramu i łączy się z maksimum w części NE, wymienionym na początku. Maksimum to odpowiada powierzchniom o biegu  $140-150$  i przeważających pionowych upadach. Pozostałe słabsze maksima przedstawiają powierzchnie o biegach  $0, 20, 120$  i  $160$  i stromych upadach od  $65$  do  $90$ . Oprócz przeważających powierzchni o stromych upadach, widoczne jest jeszcze maksimum położone blisko centrum diagramu, w części NE, odpowiadające powierzchniom o biegu  $160$  i upadach  $5-15^{\circ}/NE$ .

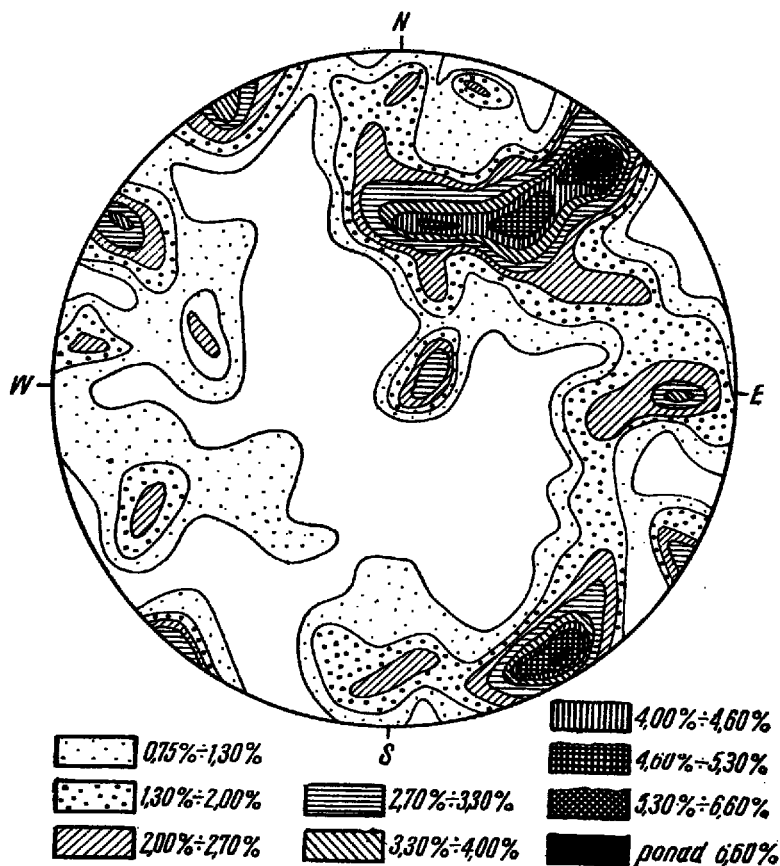


Fig. 10

Diagram luster tektonicznych z terenu lewego przyczółka

Diagram of tectonic slickensides from the left bridgehead area

### Diagram z prawego przyczółka (fig. 11)

Na diagramie tym najsilniejsze maksima skupione są w SE części i przedstawiają powierzchnie o biegu  $60$  i upadzie  $80^{\circ}/S$  oraz o biegu  $0-30$  i upadzie  $50-80^{\circ}/S$ .

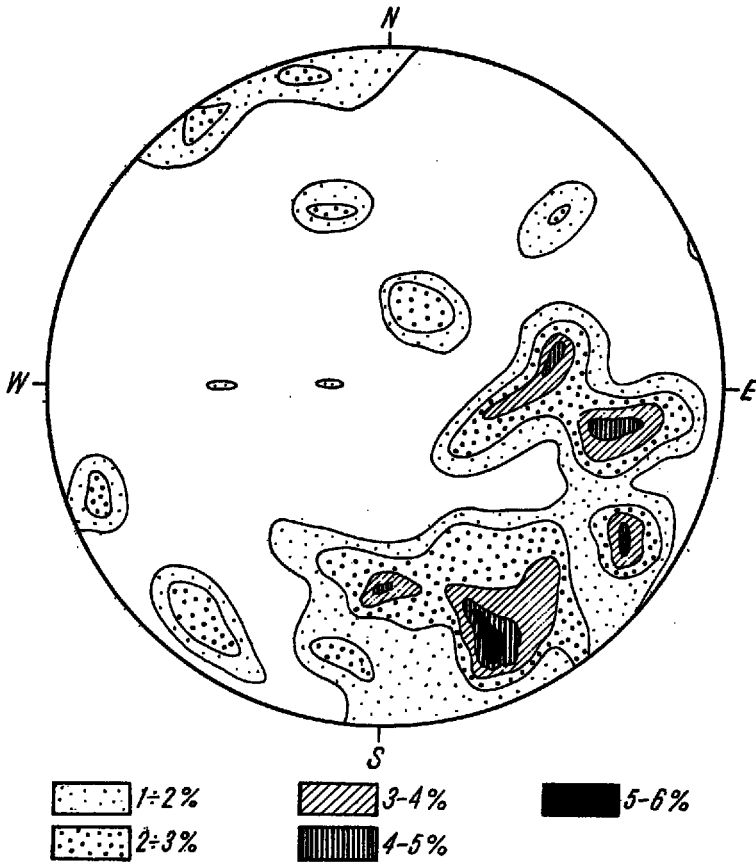


Fig. 11

Diagram luster tektonicznych z terenu prawego przyczółka

Diagram of tectonic slickensides from the right bridgehead area

Skupienie maksimów z prawego przyczółka w jednym kwadrancie diagramu wywołane jest wykonaniem pomiarów tylko w niektórych częściach terenu (z powodu przedwczesnego zasypania szurfów). Spowodowało to z kolei problematyczną miarodajność obrazu otrzymanego na powyższym diagramie.

#### Diagram zbiorczy dla obszaru Przełomu Niedzickiego (fig. 12)

Na podstawie maksimów widocznych na tym diagramie można starać się wyciągnąć ogólne wnioski dotyczące pochodzenia uskoków z rozwiniętymi na ich powierzchniach lustrami tektonicznymi. Powierzchnie o biegu około 100 i upadach od 0 do 70 na N można interpretować jako system uskoków ze ślizgami, związany z etapem ruchów płaszczowinowych i złuskania pasa skałkowego. Argumentem za takim tłumaczeniem pochodzenia tych powierzchni jest ich kierunek. Również analiza

mapy geologicznej (mapa geologiczna K. Birkenmajera) potwierdza podane wyżej wnioski, gdyż ten kierunek (bieg 100, upad średni 50 na N) mają nasunięcia łusek. Powstanie tych powierzchni uskokowych miało więc miejsce w okresie przeważającej głównej kompresji o azymucie 10, z którą należy wiązać również powstanie lineacji o azymucie 100. Charakterystyczna jest dla tych powierzchni zmiana wartości kątów upadu 0—70, zachodząca w sposób ciągły.

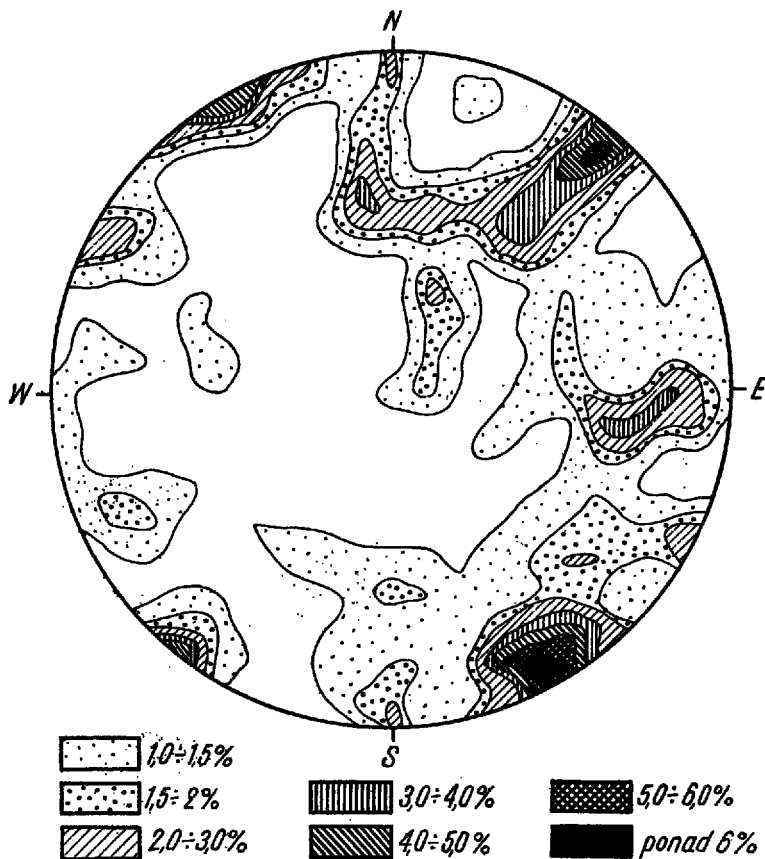


Fig. 12

Diagram luster tektonicznych z terenu Przełomu Niedzickiego

Diagram of tectonic slickensides from the Niedzica gap

Maksyma skupione na obwodzie diagramu o azymutach: 40, 150, 220 i 330 reprezentują powierzchnie przede wszystkim pionowe o biegach 60 i 140. Kąt, jaki tworzą między sobą te powierzchnie, oraz ich zwarte i silne maksyma wskazują na możliwość interpretowania ich jako systemu ścież przy głównej kompresji równoleżnikowej i poziomej osi najmniejszej kompresji.

### Diagramy rys ślizgowych

#### Diagram z lewego przyczółka (fig. 13)

Maksima wyraźniejsze odpowiadają rysom ślizgowym o azymucie 50—75 i 100 do 130 przy kątach pochyleń 40 do 50 na S. Słabsze maksimum przedstawia rysy ślizgowe o azymucie 125 zanurzające się pod kątem 20 na E. Spośród pozostałych obszarów występowania rys ślizgowych, należy wymienić maksimum położone blisko centrum diagramu w azymucie 35 reprezentujące rysy ślizgowe prawie pionowe.

#### Diagram z prawego przyczółka (fig. 14)

Bardzo wyraźne skupienie rys ślizgowych daje się zauważyć w WWS części diagramu, o azymutach 35—85 przy kątach pochyleń od 0 do 55 na NE, przy czym

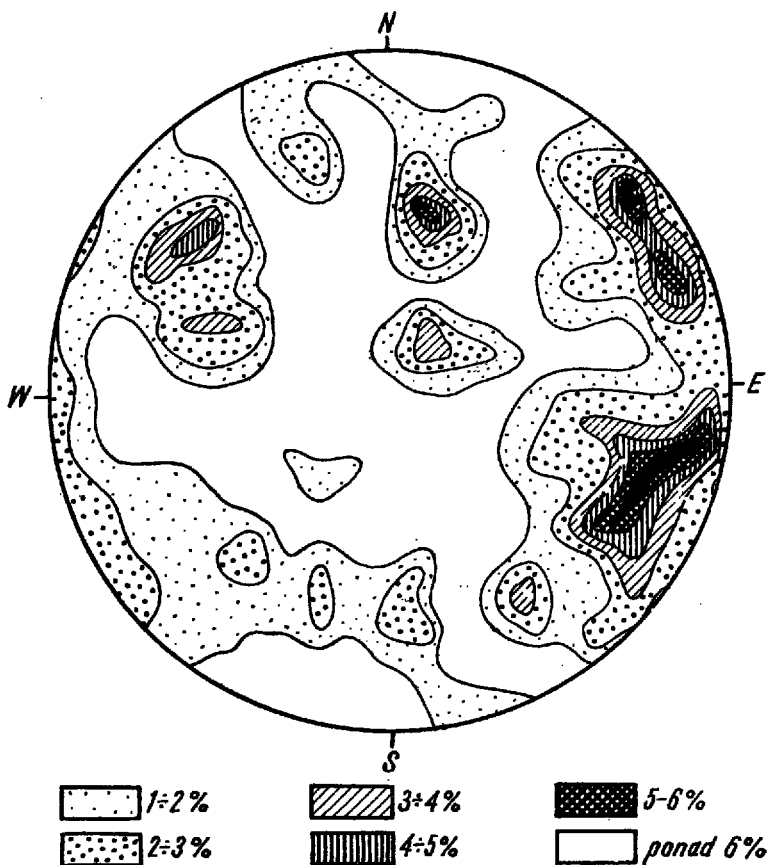


Fig. 13

Diagram rys ślizgowych z terenu lewego przyczółka

Diagram of slip striae from the left bridgehead area

przeważają rysy o pochyleniu 10 do 20 na NE. Drugie silne maksimum znajduje się w NW części diagramu i przedstawia rysy ślizgowe o azymucie 135 i pochyleniu 5–15 na SE.

*Diagram zbiorczy dla obszaru Przełomu Niedzickiego (fig. 15)*

Na zbiorczym diagramie dla całego terenu widoczne są cztery silne maksima i kilka słabszych. Dwa silne maksima znajdują się w azymucie 40–80, wykazując pochylenie 0–10°/SW i 0–60°/NE ze znaczną jednak przewagą kątów pochylenia od 5 do 20°/NE. Pozostałe dwa silne maksima leżą w azymucie 90–150 przy kątach pochylenia 0 do 25°/NW i 0–50°/SE. Słabsze maksima reprezentują rysy ślizgowe o azymutach 5–10 i 160–175 o pochyleniu 15 do 50°/S, 0–40°/N i 0–35°/S. Należy jeszcze wspomnieć o słabym maksimum blisko centrum diagramu wywołanym obecnością stromych rys ślizgowych.

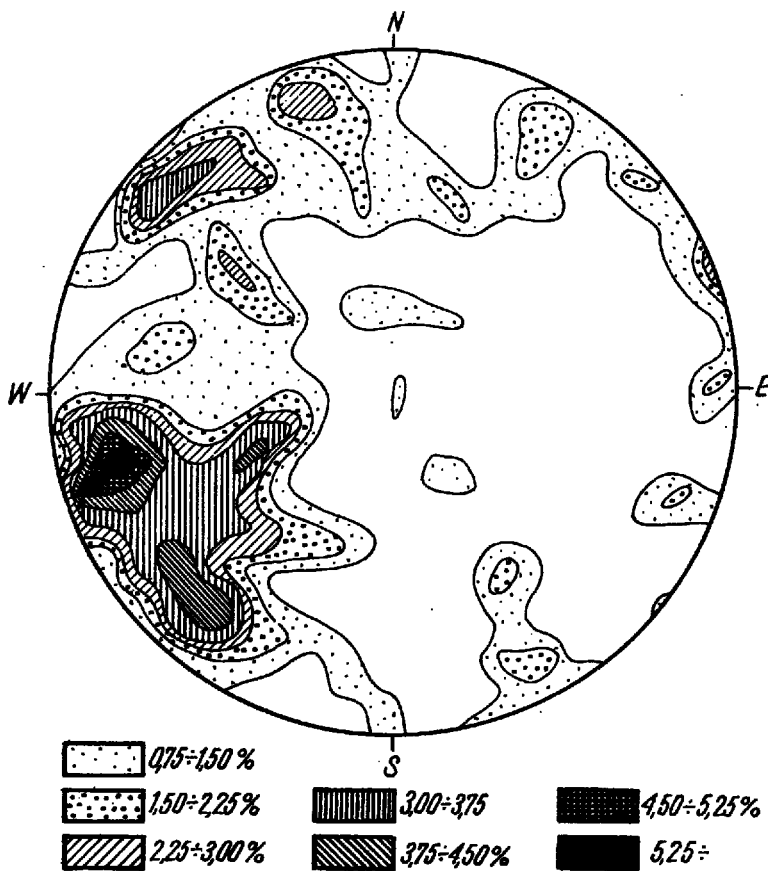


Fig. 14

Diagram rys ślizgowych z terenu prawego przyczółka

Diagram of slip striae from the right bridgehead area

Rozważając wspólnie obraz otrzymany na diagramach luster tektonicznych (fig. 10, 11 i 12) i na diagramach rys ślizgowych (fig. 13, 14 i 15) można dojść do wniosku, że największą ilość rys ślizgowych obserwuje się na powierzchniach luster o biegu 60 i 140 zapadających pod kątami 65 do 90 na N i S. Odpowiadałyby tym powierzchniom rysy ślizgowe o azymucie 40 do 80 i 90 do 150.

Rysy ślizgowe w azymutach 5—10 i 160—175 autorka wiąże z powierzchniami uskoków i nasunięć powstałych w czasie ruchów płaszczowinowych i złuskania pieniańskiego pasa skałkowego.

Porównując diagramy rys ślizgowych z prawego i lewego przyczółka, daje się zauważyć występowanie maksimum w tych samych azymutach, ale o przeciwnych kątach zanurzenia. Jest to wywołane prawdopodobnie pewną rotacją bloków strukturalnych prawego i lewego przyczółka. Zagadnienie to zostało już poruszone przy okazji omawia-

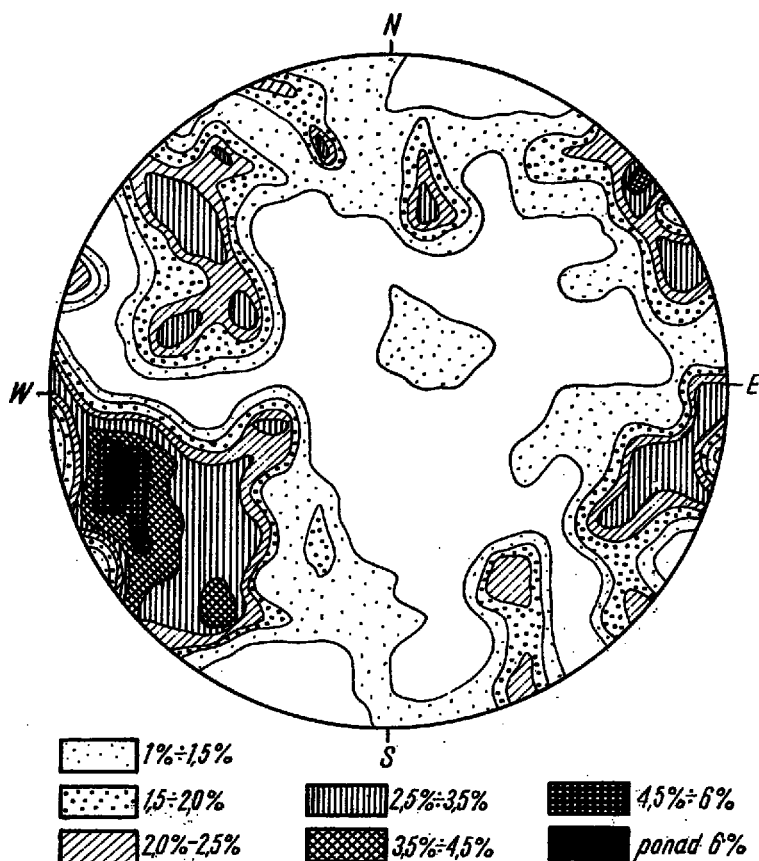


Fig. 15

Diagram rys ślizgowych z terenu Przełomu Niedzickiego

Diagram of slip striae from the Niedzica gap

nia diagramów lineacji, a diagramy rys ślizgowych są jeszcze jednym argumentem za istnieniem strefy nieciągłości. Strefa taka znajdowałaby się w obecnym korycie Dunajca.

### Diagramy spękań (ciosu i kliważu)

#### Diagram z lewego przyczółka (fig. 16)

Pomiary kliważu dają zdecydowane maksimum dla powierzchni o biegach 0—25 i upadach prawie pionowych oraz znacznie słabsze dla powierzchni o biegach równoleżnikowych i większej zmienności kątów upadu.

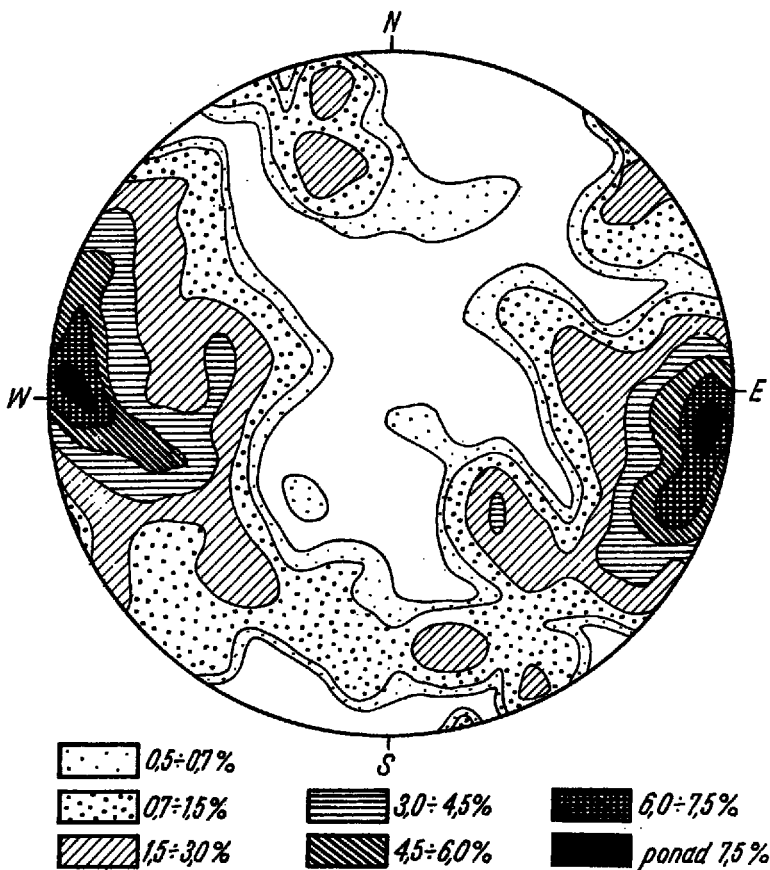


Fig. 16

Diagram spękań (cios i kliważ) z terenu lewego przyczółka

Diagram of fractures (joints and cleavage) from the left bridgehead area

#### Diagram z prawego przyczółka (fig. 17)

Widoczne są trzy maksima dla powierzchni o biegu 30 upadzie 65°/SE, o biegu 155 upadzie 85°/NE oraz o biegu 150 upadzie 65°/SW.

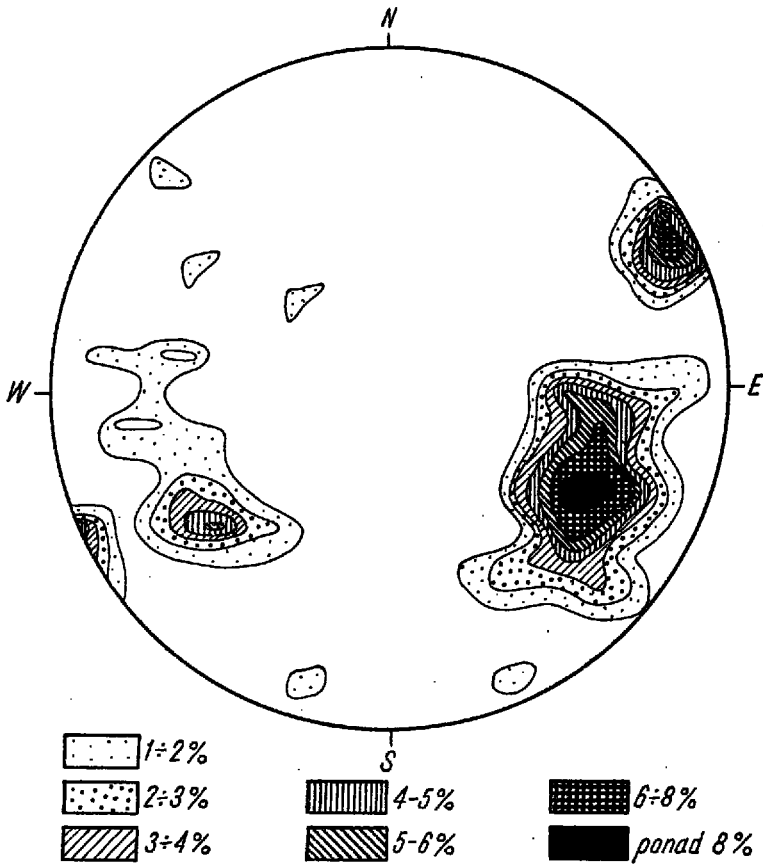


Fig. 17

Diagram spękań (cios i kłiważ) z terenu prawego przyczółka

Diagram of fractures (joints and cleavage) from the right bridgehead area

*Diagram zbiorczy dla obszaru Przełomu Niedzickiego (fig. 18)*

Wyraźne maksima reprezentują powierzchnie prawie pionowe o biegu 0—25. Znacznie słabsze maksimum otrzymano dla powierzchni o biegu równoleżnikowym, przy kątach upadu 50—90 na S i N.

Przyczyna innego zagęszczenia pomiarów spękań na diagramach dla lewego i prawego przyczółka jest taka sama jak w przypadku lineacji i rys ślizgowych.



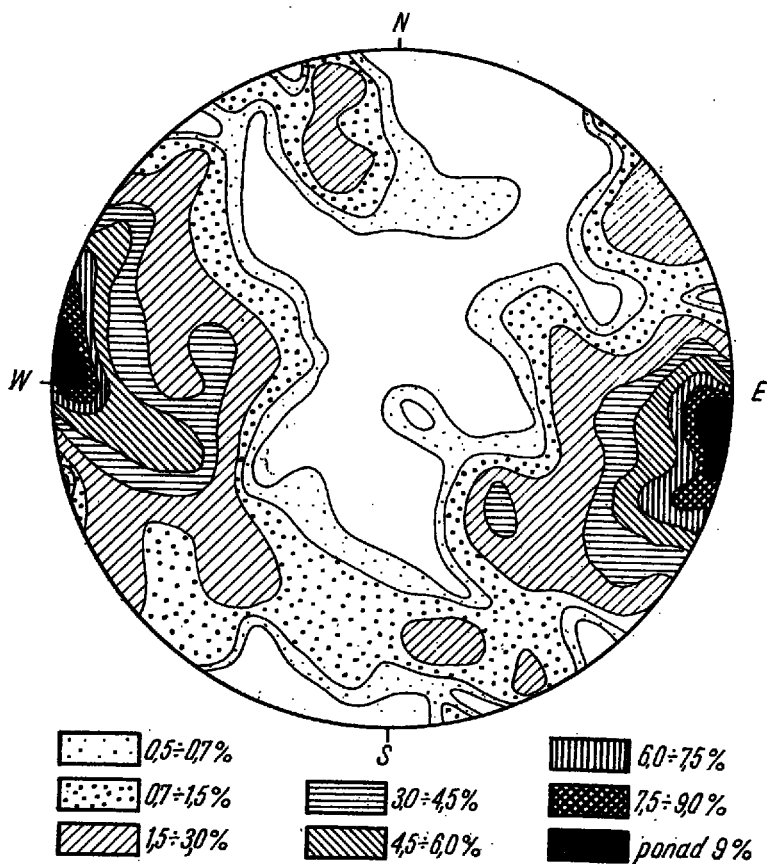


Fig. 18

Diagram spekań (cios i kłiważ) z terenu Przełomu Niedzickiego  
Diagram of fractures (joints and cleavage) from the Niedzica gap

#### INTERPRETACJA BUDOWY OBSZARU PRZEŁOMU NIEDZICKIEGO NA PODSTAWIE WYKONANEJ ANALIZY STRUKTURALNEJ

Opierając się na dotychczasowych badaniach obszaru skałkowego oraz biorąc pod uwagę obraz kartograficzny (mapa w skali 1 : 500 K. Birkenmajera), należy przede wszystkim rozważyć genezę drobnych fałdów, dających zdecydowane maksima na diagramach figurach 7, 8 i 9.

Wobec dwóch kierunków lineacji widocznych na diagramach i wobec stwierdzonego w terenie nakładania się dwóch nierównoczesnych kierunków fałdowania można przypuszczać położenie głównej osi kompresji w dwóch azymutach: 10° (kierunek N-S, lineacje W-E) i 90° (kierunek W-E, lineacje N-S), oczywiście jest to słuszne, jeśli obserwowane lineacje reprezentują lineację b.

Można było stwierdzić, że lineacje (osie fałdów i budinaż) o kierunku W-E (b1) występują na lewym przyczółku w stromo zapadających seriach litologicznych o rozciągłości NW-SE, natomiast lineacje o kierunku N-S (b2) są zlokalizowane w najwyższej morfologicznie części lewego przyczółka, gdzie warstwy leżą miejscami nawet poziomo i istnieje wyraźna dyskordancja z łuskami tektonicznymi niżej. Zarówno ta dyskordancja, jak i analiza mapy oraz wyniki analizy strukturalnej wskazują na odrębność tektoniczną wyższej części lewego przyczółka będącą wynikiem nasunięcia tej części na kompleksy leżące niżej. Dla łusek o rozciągłości warstw NW-SE przyjmuję określenie „jednostki dolnej”, dla części wyższej — „jednostki górnej”.

O wiekowym następstwie kierunków drobnych fałdów, przedstawionych na diagramach lineacji, w poszczególnych jednostkach, świadczą następujące fakty.

a) W obrębie dolnej jednostki występują lineacje W-E (b1), brak natomiast lineacji N-S (b2) (zdarzają się drobne fałdy o innym niż W-E kierunku, ale są one związane z przesunięciami po powierzchniach uskoków i nasunięć).

b) W jednostce górnej, w jej części południowej, występują drobne fałdy dające maksimum położone blisko centrum diagramu (diagram 1); są to fałdy strome o równoleżnikowym kierunku osi (b1). Wynika z tego, że w jednostce górnej występują oba kierunki lineacji — południkowy i równoleżnikowy (b1 i b2).

c) W poszczególnych ogniwach litologicznych jednostki dolnej pod samym nasunięciem jednostki górnej znajdują się drobne fałdy o kierunku N-S (b2), powstałe pod wpływem nasuwającej się jednostki górnej.

d) Wreszcie obserwacje z prawego przyczółka potwierdzają istnienie dwóch niezależnych kierunków lineacji, gdyż w jednej z odkrywek (pl. I i VI), w skałce położonej obok drogi na Zamek Niedzicki, widoczne są jednocześnie dwa kierunki osi fałdów (b1 i b2). Kierunek W-E (b1) jest starszy i został przebudowany przez system fałdów o kierunku N-S (b2).

Wydaje się, że przytoczone wyżej fakty, a zwłaszcza zundulowanie systemu b1 przez system b2, upoważnia do stwierdzenia dwóch niezależnych kierunków transportu tektonicznego, a zatem dwóch faz głównej kompresji — starszej o kierunku N-S i młodszej o kierunku W-E.

Ponieważ na lewym przyczółku w jednostce dolnej (tylko przy samej powierzchni nasunięcia można zaobserwować fałdy o kierunku osi N-S (b2), dominujące w jednostce górnej, natomiast na prawym przyczółku, w skałce koło zakrętu drogi na Zamek Niedzicki, w kompleksie będącym przedłużeniem jednostki dolnej z lewego przyczółka, widoczne są, oprócz fałdów o rozciągłości W-E (b1), również fałdy o kierunku N-S (b2), a różnica w wysokości między skałką na prawym przyczółku a spa-

giem nasunięcia jednostki górnej na lewym przyczółku wynosi około 80 m, można wysnuć wniosek, że ta różnica w wysokości tych samych „poziomów” tektonicznych jest wywołana młodszą tektoniką. Trudno bowiem przypuścić, żeby ta sama kompresja, wyraźnie widoczna w skałce prawego przyczółka, nie zostawiła śladów w pozostałych częściach jednostki dolnej. Należy zatem przyjąć, że wspomniana skałka musiała się znajdować pod powierzchnią nasunięcia jednostki górnej, a zatem trzeba przyjąć przedłużanie się tej jednostki na prawy przyczółek. Jednakże serie jednostki górnej na lewym przyczółku wykazują upady NE, a prawy przyczółek położony jest na W od koryta Dunajca, musiała więc istnieć strefa tektoniczna o kierunku NNW-SSE, na której zaszło obniżenie prawego przyczółka lub wyniesienie lewego (lub oba te fakty zaszły jednocześnie).

Powstanie obu systemów lineacji — b1 i b2 wiązałabym z wczesnymi przesunięciami głównej, szariażowej fazy pienińskiej, przy czym starsza lineacja b1, równoleżnikowa, byłaby wynikiem kompresji południkowej, a młodszą lineacją b2, południkowa, byłaby wynikiem kompresji równoleżnikowej. Dla młodszej kompresji charakterystyczna jest równocześnie obecność rys ślizgowych równoległych do kierunku tej kompresji, bardzo często znajdujących się na powierzchniach ławic i biegnących wzdłuż przegubów starszego systemu fałdów. Potwierdza to regułę, że każde następne fałdowanie rozwija się w skałach mniej plastycznych, co można zaobserwować na zbadanym terenie.

Wielką rolę w budowie skałek w Przełomie Niedzickim odegrały deformacje nieciągłe. Istnieje możliwość interpretacji części uskoków jako powierzchni nieciągłości powstałych na skutek południkowego transportu tektonicznego w czasie nasunięć głównej fazy pienińskiej. Pionowe uskoki, przecinające się pod kątem około  $80^\circ$ , prawdopodobnie były zainicjowane jako powierzchnie ścieć przy głównej kompresji równoleżnikowej. Należy także podkreślić wielokrotne odnawianie powierzchni uskokowych, co wobec wyjątkowo skomplikowanej genezy pienińskiego pasa skałkowego jest rzeczą oczywistą.

Spękania kliważowe i ciosowe, zaobserwowane w terenie, są związane z procesem tworzenia się fałdów. Silniej zaznaczone na diagramach maksima dla powierzchni o biegu południkowym (z odchyleniem do  $15^\circ$  na E) są prawdopodobnie związane z kompresją równoleżnikową. Słabe maksima dla powierzchni o biegu  $50^\circ$  mogą odpowiadać kierunkowi uskoków rozwiniętych na powierzchniach ścieć.

#### WNIOSKI KOŃCOWE

Podsumowując przedstawione wyżej rozważania należy stwierdzić, że do utworzenia obecnej struktury skałek w Przełomie Niedzickim przyczyniło się kilka faz o różnych kierunkach transportu tektonicznego.

Starszy, południkowy, kierunek transportu tektonicznego, spowodowany zarówno naciskami z południa, jak i z północy (fałdowania wsteczne wg prof. K. Guzika — informacja ustna), reprezentowany jest przez lineacje b1 o przebiegu równoleżnikowym. Ponieważ nie badałam asymetrii fałdów, musiałam struktury powstałe pod wpływem transportu tektonicznego z północy i z południa rozpatrywać łącznie.

Młodszy transport tektoniczny był wynikiem kompresji równoleżnikowej i pod jego wpływem powstały lineacje b2 (południkowe). Z powyższymi fazami kompresji należy również wiązać, oprócz fałdów, powstanie fleksur, spękań kliważowych i ciosowych i uskoków zainicjowanych jako powierzchnie ścięć. Główna kompresja miała więc na tym terenie położenie horyzontalne, przy czym starsza miała kierunek południkowy, młodsza — równoleżnikowy.

W znanych z literatury młodszych fazach orogenicznych dochodziło do złożonych ruchów bloków strukturalnych przede wszystkim w kierunku pionowym. Brak większej ilości pionowych rys ślizgowych należy tłumaczyć tensją w płaszczyźnie horyzontalnej. Wydaje się również, że w czasie ruchów w kierunku pionowym mogło dochodzić do rotacji bloków na skutek nierównomiernego wypiętrzania i na skutek wytworzenia lokalnych naprężeń, które mogły ulegać rozładowywaniu na powierzchniach ścinań lub na powierzchniach nieciągłości już istniejących (trzeba zwłaszcza podkreślić możliwość rozładowywania naprężeń wzdłuż powierzchni uławicenia i wzdłuż powierzchni spękań kliważowych i ciosowych).

O ruchliwości pionowej świadczy poza tym strome i w niektórych blokach tektonicznych przeciwne pochylenie lineacji b.

*Zakład Kartowania Geologicznego  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa 22, Al. Zwirki i Wigury 93  
Warszawa, w czerwcu 1967 r.*

#### LITERATURA CYTOWANA

- ANDERSON E. M. 1951. The dynamics of faulting. 2 ed. Edinburg.  
 BIRKENMAJER K. 1958. Przewodnik geologiczny po Pienińskim Pasie Skałkowym. Wydawn. Geol. Warszawa.  
 — 1966. Mapa geologiczna odkryta Przełomu Niedziokiego w skali 1:500. Arch. Prac. Kartogr. Geol. Zakładu Nauk Geologicznych PAN.  
 LEITH C. K. 1905. Rock cleavage. — U.S. Geol. Surv. Bull. 239.  
 SHROCK R. R. 1948. Sequence in layered rocks. New York, Toronto, London.  
 TEISSEYRE H. 1957. Regionalna Geologia Polski, t. 3, Sudety. Kraków.  
 TURNER F. J. & WEISS L. E. 1963. Structural analysis of metamorphic tectonites. Berkeley.

K. GROCHOCKA

## MESOSTRUCTURES INVESTIGATED IN THE NIEDZICA GAP

### (Summary)

**ABSTRACT:** On the basis of a statistical analysis a description is given of such mesostructures as folds, boudinage, faults, slickensides, slip striae, joints and cleavage. Some conclusions are also drawn regarding the direction of general compression and stress is laid on the importance of young vertical movements.

The area under consideration lies in the Pieniny Mts. (the Carpathians) in the axis of the waterdam now under construction in the Niedzica gap. It comprises the two bridgeheads south of the bridge near the raftsmen's boathouse.

The writer had at her disposal a topographic 1:500 scale map and Prof. K. Birkenmajer's solid geological map of the same scale.

The measurements of the planar and linear structures have been transferred onto the upper hemisphere of Schmidt's equal-plane stereonet.

### DESCRIPTION OF MESOSTRUCTURES

The area under investigation consists of the series of Czorsztyn, Niedzica and Branisko, also of the lithological members of the pre-Laramide mantle (Birkenmajer 1958).

The predominant strike of beds is NNW-SSE with a steep N dip. The scale tectonic style is here predominant.

The amplitude of the *mesofolds* ranges from a few millimetres to several metres. The most common type are concentric mesofolds (flexures, true folds). They occurred in hornstone limestones, radiolarites, nodular, pseudo-nodular and crinoidal limestones. Well developed tension joints (fig. 1) have been observed in these folds along surfaces affected by dislocations. Similar folds (Turner & Weiss 1963) with indicated axial-plane cleavage were often encountered in shales and marls (fig. 4), as well as in thin-bedded fragments of radiolarites.

*Flexures* are connected with dislocations along fault planes, or with slips along the surfaces of beds (pl. II, III).

As structures closely connected with the lithology, *boudinage* occurred in hornstone limestones and in shale-intercalated radiolarites, also in sphaerosideritic and Posidonia shales, in supra-Posidonia beds and in Cretaceous lithological members (fig. 1, pl. III).

In addition to an analysis of maps the study of *overthrusts* consisted in the recording of the phenomena associated with them, such as slickensides and slip striae.

Vertical *faults*, and faults having the slip plane inclined at an angle ranging from 40 to 90 degrees, are those most common. The majority of the latter should be considered as thrust faults (Anderson 1951) which originated as truncation surfaces with horizontal general compression.

*Slickensides* occur on surfaces of dislocations varying in age. Repeated slickensiding of several calcite generations or re-recurrent slips have been observed on the same surface.

*Slip striae* occur on most of the slickensides and they may be connected with several stages of dislocations, because many-directional strike are often observable on the same surfaces (pl. IV, V).

Genetically the *cleavage* encountered within the investigated area is a fracture cleavage (Leith 1905, Teisseyre 1957), in some cases shear cleavage (Shrock 1948). *Joints* only of tectonic origin have been investigated and are shown in diagrams together with cleavage.

## ANALYSIS OF DIAGRAMS

### *Diagrams of b lineation — axes of folds and boudinage* (figs. 7, 8, 9)

The maxima in diagram 9 reasonably suggest the presence of two principal directions of the occurrence of the *b*-lineation — one direction is with azimuth  $100^\circ$  of lineation plunging east and west, the other is with azimuth 0 plunging north and south.

The directions of tectonic transport may be readily traced from the occurrence maxima of *b*-lineation, as shown by diagrams in figs. 7—8. One direction was with azimuth  $10^\circ$  responsible for the formation of the  $100^\circ$  azimuth lineation, the other was with azimuth  $90^\circ$  (as indicated by lineations with azimuth 0).

### *Diagrams of slickensides* (figs. 10, 11, 12)

In figure 12 surfaces having a strike of about  $100^\circ$  and N dips from  $0-70^\circ$  may be interpreted as a set of faults with slips, connected with the phase of the nappe movements, and the scaling of the klippen belt. The scale overthrusts have the same direction (geologic map by Prof. K. Birkenmajer).

The formation of these surfaces, therefore, took place while the azimuth  $10^\circ$  — general compression was at work. To this compression may also be referred the formation of the *b*-lineation with azimuth  $100^\circ$ . The remaining maxima with azimuths  $40^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $220^\circ$  and  $330^\circ$  in the first place represent vertical surfaces whose strikes are  $60^\circ$  and  $140^\circ$  degrees. They may be interpreted as a set of truncations under equatorial general compression and horizontal axis of the minimum compression.

### *Diagrams of slip striae* (figs. 13, 14, 15)

Figure 15 shows four strong and several weaker maxima. An analysis of the picture presented in diagrams of slickensides (figs. 10, 11, 12) and of slip striae (figs. 13, 14, 15) may reasonably suggest that most of the slip striae are observable on slickenside surfaces with strikes of  $60^\circ$  and  $140^\circ$  and N and S dips at angles ranging from  $65-90$  degrees. These surfaces would have their equivalents in slip striae with azimuth between  $40-80^\circ$  and  $90-150^\circ$ .

In azimuths  $5-10^\circ$  and  $160-175^\circ$  the slip striae are connected with the surfaces of faults and overthrusts produced during nappe movements and the scaling of the Pieniny klippen belt.

*Diagrams of fracture joints and cleavage*  
(figs. 16, 17, 18)

Distinct maxima represent the subvertical surfaces with a strike of 0—25°. Distinctly smaller maxima have been obtained for surfaces having an equatorial strike and N or S dips of 50—90 degrees.

STRUCTURAL INTERPRETATION BASED ON AN ANALYSIS  
OF MESOSTRUCTURES

The occurrence of two *b*-lineation directions is of essential importance. In view of the superposition (as observed in the field) of two non-synchronous fold directions it is reasonable to suppose the position of the general axis compression within two azimuths: azimuth 10° (N-S direction, *b1*-lineation in W-E position), and azimuth 90° (W-E direction, *b2*-lineation in N-S position).

The influence of the *b2* set on the *b1*-lineation reliably suggests the presence of two independent directions of tectonic transport, hence, the existence of two phases of the general compression: an older one directed N-S and the younger directed W-E.

Discontinuous deformations were an important factor in the formation of rocks in the Niedzica gap. Some of the faults may possibly be interpreted as surfaces of discontinuities formed owing to meridional tectonic transport during the main Pieniny phase. Vertical faults, intersecting at an angle of approximately 80 degrees, probably occurred initially as truncation surfaces with equatorial general compression. It is interesting to note the repeated rejuvenation of faults.

Joints and cleavage observed in the field are connected with the process of fold formation, surfaces with meridional strike being a result of equatorial compression while those striking at 50° may correspond to the direction of faults that developed on the truncation surfaces.

Phases with different directions of tectonic transport may be held responsible for the formation of the present structure of the cliffs in the Niedzica gap. The older meridional direction of tectonic transport, due to pressure both from the south and the north, is represented by the *b1*-lineation. The younger tectonic transport resulted from equatorial compression and was responsible for the *b2*-lineation. The formation not only of folds, but also of flexures, joints and cleavage, also of faults should be associated with the above phases of compression. Younger orogenic phases, known from many descriptions, were affected by complicated movements of structural blocks, primarily in the vertical direction. It is not unreasonable to suppose a rotation of the blocks at that time. It may have resulted from ununiform upheaval and the formation of local stresses whose relaxation could have taken place along the truncation surfaces or along the previously existing surfaces of discontinuities.

*Laboratory of Geological Mapping*  
*of the Warsaw University*  
Warszawa 22, Al. Żwirki i Wigury 93  
Warsaw, June 1967

---

## OBJAŚNIENIA DO PLANSZ I—VI

## DESCRIPTION OF PLATES I—VI

## PL. I

Drobne fałdy ze zginania utworzone w materiale częściowo plastycznym  
Concentric mesofolds in partly plastic material

## PL. II

Widoczne wyraźne ciągnięcie warstw przy uskoku odwróconym  
Distinct stretching of beds near the thrust fault

## PL. III

Oprócz ścienienia warstw przy powierzchni uskokowej można zaobserwować dobrze  
rozwinęły budinaż

In addition to the thinning out of beds near the fault surface, well developed  
boudinage is observable

## PL. IV i V

Kilka luster tektonicznych z różnokierunkowymi rysami ślizgowymi  
Surfaces of tectonic slickensides with slip striae varying in direction

## PL. VI

Silnie sfałdowane warstwy wapieni na prawym przyczółku. Młodszy system fałdów  
spowodował zundulowanie starszego

Strongly folded limestone beds at the right bridgehead. The younger set of folds  
is responsible for the undulation of the older set

*Fotografie wykonała dr Maria Bac*  
*Photographs by dr. Maria Bac*

---



