

Jędrzej POKORSKI

Występowanie łupliwości we fliszu wschodniego Podhala

WSTĘP

Obszar objęty pomiarami jest zachodnią częścią wschodniego Podhala i znajduje się pomiędzy rzekami Biały Dunajec i Białka (fig. 1). Duża ilość bardzo dobrych odsłoneń przy podciętych brzegach lub na dnie licznych potoków pozwoliła na wykonanie dziesiątków pomiarów z dużą dokładnością.

Badania nad zagadnieniami łupliwości przeprowadzono w wielu krajach, a szczególnie tych, które posiadają rozwinięty przemysł górniczy. W Polsce większość prac z tego zakresu dotyczy Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

ANALIZA POMIARÓW

Warstwy piaskowców i łupków kompleksu podhalańskiego przecina gęsta sieć pęknięć, które określane są jako łupliwość. Płaszczyzny łupliwości mierzy się podobnie jak warstwy określając azymut rozciągłości i kąt upadu. Ponieważ na opracowanym odcinku między Białym Dunajcem a Białką, jak również na całym Podhalu (B. Szymański, 1962) powierzchnie spekań są z reguły prostopadłe do powierzchni warstwowania, pomiary ograniczały się do określenia azymutu rozciągłości. Nie uwzględniam odchyień w granicach $\pm 5^\circ$, gdyż mieszczą się one w obrębie dokładności pomiarów.

Działanie sił tektonicznych wywołało w górotworze zróżnicowany stan naprężeń, powodujących utworzenie się płaszczyzny poślizgu (wzdłuż których nie nastąpiło widoczne przesunięcie), przejawiające się w formie łupliwości. Płaszczyzny te wyznaczają kierunki najmniejszej wytrzymałości skał lub kierunki największego działania sił, a więc takie, które rozładowały istniejące naprężenia w górotworze.

Płaszczyzny łupliwości kompleksu podhalańskiego wykazują duże urozmaicenie zależnie od jego wykształcenia litologicznego, przy czym są prawie zupełnie niezależne od pozycji stratygraficznej badanych serii. Najwyraźniejszą łupliwość wykazują ławice drobnoziarnistych,

ciemnoszarych piaskowców, często przepełnionych szczątkami zwęglonych roślin, dużą ilością łyszczyków, o miąższościach nieprzekraczających 30 cm. Piaskowce te są silnie zdiagenezowane, bardzo twarde, warstwowane jednorodnie. Powierzchnie oddzielności mają bardzo regularne i gładkie, niekiedy zmineralizowane kalcytem. Na płaszczyźnie zwietrziałej piaskowce te są ciemnobrunatne.

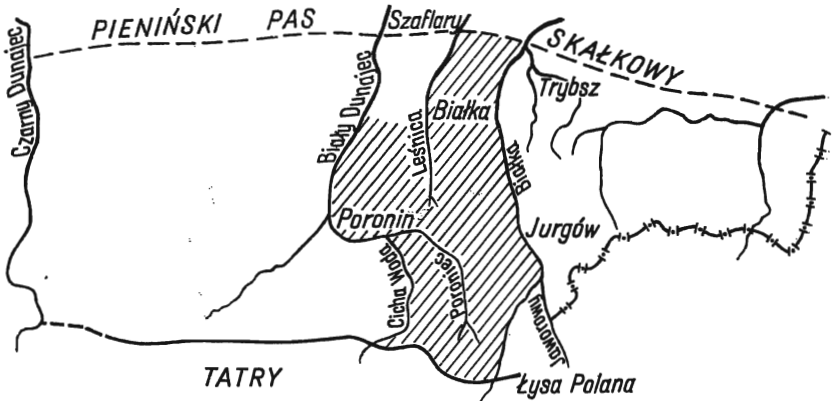


Fig. 1. Szkic topograficzny Podhala (obszar objęty pomiarami zakreskowany)

Topographic sketch of the Podhale region (the area studied have been hachured)

Wyraźną łupliwość wykazują również ławice piaskowców drobnoziarnistych, jednorodnych, jasnoszarych, bez substancji bitumicznej, o miąższości około 1 m (tabl. I, fig. 6). Jednak im grubsza jest ławica, tym płaszczyzny łupliwości są mniej regularne. Trudno wówczas wyznaczyć azymut ich generalnej rozciągłości, a upady wykazują największe odchylenia od 90° . Przypuszczalnie jest to spowodowane zarówno odrębnym zachowaniem się przy ściskaniu warstw o dużych miąższościach, jak i znacznie większą niejednorodnością tych ławic (warstwowanie, stopień diagenety, porowatość). Są to najczęściej ławice warstwowane frakcjonalnie. Ale nawet przy warstwowaniu jednorodnym różnice między spągami a stropem muszą być na tyle istotne, że wpływają na układ płaszczyzn łupliwości i ich bardzo nieregularny przebieg.

Zagęszczenie płaszczyzn łupliwości jest również bardzo różnorodne i uzależnione od litologii i miąższości ławic. I tak w warstwach piaskowców około 1 m miąższości szczeliny są odległe od siebie o 50–70 cm. W cienkich — do 25 cm — warstewkach piaskowców ciemnoszarych, z dużą ilością zwęglonej siewki roślinnej zagęszczenie szczelin na odcinku 18 cm dochodzi do 10. Wyraźne zagęszczenie płaszczyzn łupliwości obserwujemy również na odcinkach o szczególnie dużym nagromadzeniu małych struktur tektonicznych (intensywna „mała tektonika“).

W seriach łupkowych pomiar łupliwości jest prawie niemożliwy. Płaszczyzny te mają bardzo nieregularny przebieg i są najczęściej nieczytelne. Jednak ogólna orientacja łupliwości jest zbliżona do kierunków obserwowanych w seriach piaskowcowych. Na całym opisanym terenie

powszechne jest występowanie szczelin zmineralizowanych, tzw. „strzałek kalcytowych“. Mineralizacji ulegają szczeliny w różnego rodzaju piaskowcach i zależnie od tego grubość ich waha się w granicach 0,5÷8,0 mm. Szczeliny wypełnione są białym lub szarym kalcytem. Gdy szczeliny są dostatecznie szerokie, krystalizujący węglan wapnia tworzy wyraźne i duże kryształki. Dla spekań zmineralizowanych można wyróżnić dwa kierunki rozciągłości: pierwszy, przeważający w granicach 160÷175°, oraz drugi zawierający się pomiędzy 50÷80°. Dominujący jest kierunek pierwszy, który na diagramach (fig. 2) zaznacza się w postaci ostrych maksimum. Przymuszcza się, że w kierunku tym nałożyły się dwa różne wiekowo systemy łupliwości.

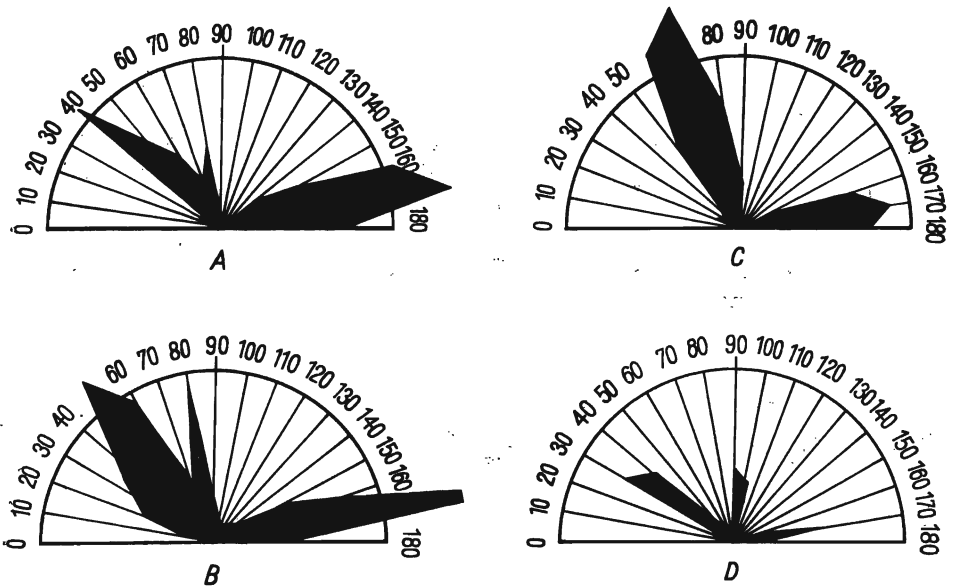


Fig. 2. Diagramy płaszczyzn spekań z obszarów:

A — elewacji Zgorzelisk i rejonu kontaktu paleogenu podhalańskiego z jednostkami tatrzańskimi między Cichą Wodą a Białą; B — strefy osiowej synkliny podhalańskiej; C — elewacji Białego Dunajca do potoku Leśnica; D — antykliny Białki i obszarów przyległych; 1 pomiar = 2 mm

Diagrams of cleavage planes from the areas:

A — Zgorzelisko elevation and contact area of the Podhale Palaeogene with the Tatra units between Cicha Woda and Białka; B — axial zone of the Podhale syncline; C — Biały Dunajec River elevation as far as the Leśnica stream; D — Białka anticline and adjacent areas; 1 measurement = 2 mm

Szczeliny zmineralizowane są łatwo czytelne zarówno na powierzchniach zwietrzałych, dzięki białej barwie i odporności na wietrzenie kalcytu, jak i na świeżym przełamie. Duża ilość dobrych odsłoneń na powierzchniach ławic piaskowcowych pozwoliła na wykonanie dziesiątków pomiarów płaszczyzn łupliwości i na statystyczne ujęcie zagadnienia.

Na diagramach (fig. 2) przedstawiono przestrzenną orientację płaszczyzn łupliwości. Poszczególne diagramy obejmujące różne mniejsze jednostki tektoniczne synkliny podhalańskiej różnią się tylko nieznacznie. Operując średnią arytmetyczną jako najbardziej prawdopodobną w analizie statystycznej, nie popełniamy większego błędu.

Siły tektoniczne wywołują zróżnicowany stan naprężeń. Można przyjąć, że naprężenia wywołane naciskiem tektonicznym są większe od naprężeń wywołanych nadkładem (niewielkie miąższości oraz mały ciężar kompleksów piaskowcowo-lupkowych). Zapewne stosunek ten będzie się zmieniał w miarę odsłaniania się warstw starszych, w związku z czym w warstwach spągowych kompleksu podhalańskiego rozkład przestrzenny płaszczyzn łupliwości będzie nieco inny niż przedstawiony na diagramach.

Przy poczynionych założeniach naprężenia główne znajdują się w stosunku: $P_x > P_z > P_y$ (fig. 3).

Wówczas (wg J. Cisa) wzór na naprężenie ścinające będzie następujący:

$$t = \sin 2\alpha \frac{P_x - P_y}{2} \quad [1]$$

$$t_{\max.} = \frac{P_x - P_y}{2} \quad (\text{dla } \alpha = 45^\circ) \quad [2]$$

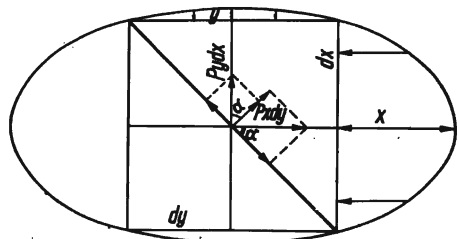
czyli naprężenia ścinające występują pod kątem 45° od kierunku działania naprężeń głównych i wynoszą połowę różnicy naprężeń głównych tego przekroju. Natomiast naprężenia normalne (N):

$$N = P_x \sin^2\alpha + P_y \cos^2\alpha \quad [3]$$

Wskutek działania naprężeń ścinających wytworzy się system łupliwości najbardziej prawdopodobny, najczęstszy, jako układ płaszczyzn przecinających się wzdłuż osi pionowej (z), odchylonych o 45° w obie strony od kierunku działania siły tektonicznej.

Fig. 3. Rozkład naprężeń normalnych i ściskających w sześcianie zbudowanym z materiału jednorodnego. Przekrój w płaszczyźnie prostopadłej do osi z ($P_x > P_z > P_y$); dx i dy — powierzchnie ścian elementu

Distribution of normal and shearing stresses in a cube constructed of a uniform material. Cross section in a plane perpendicular to z-axis ($P_x > P_z > P_y$); dx and dy — wall surfaces of the element



Dla wschodniego Podhala system płaszczyzn łupliwości, które powstały wskutek działania naprężeń ścinających, zawiera się w dosyć szerokich granicach $40 \div 70^\circ$. W rezultacie otrzymujemy kierunek działania sił tektonicznych o azymutach $175 \div 205^\circ$.

Podhale bogate jest w liczne małe formy tektoniczne (L. Watycha, 1959). Są to niewielkie antykliny o amplitudzie kilku metrów (tabl. I,

fig. 5), przy czym płaszczyzny osiowe tych fałdów mają kierunek zbliżony do równoleżnikowego (J. Pokorski, 1962; B. Halicki, 1963). Jeżeli przyjmiemy, że proces fałdowania jest wynikiem sił tektonicznych, działających prostopadle do osi fałdów, to otrzymujemy działanie jednej siły tektonicznej. Możliwe, że działanie było dwuetapowe, ale ani kierunek działania, ani charakter nacisku nie mógł ulec zmianie.

Proces fałdowania powodował rozciąganie i rozrywanie warstw — najbardziej intensywne w jądrach antyklin i synklin. W ten sposób powstał system płaszczyzn łupliwości równoległych (π) do kierunku działania siły i do niej prostopadłych (q). Działanie tych sił tłumaczy również istnienie pęknięć zamkniętych, a w innych kierunkach otwartych.

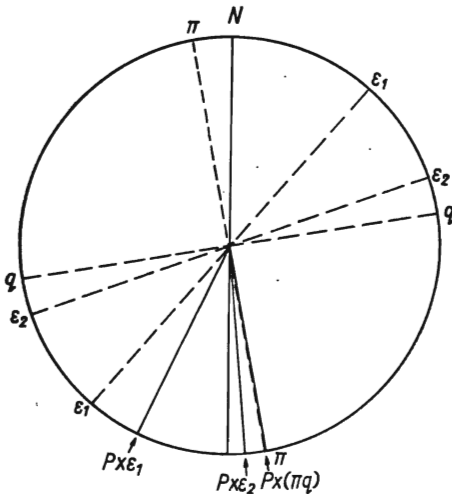


Fig. 4. Systemy płaszczyzn łupliwości oraz rekonstrukcja wektorów sił tektonicznych

Systems of cleavage planes and reconstruction of vectors of tectonic forces

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — system I, płaszczyzny łupliwości ze ściecia; $Px\varepsilon_1, Px\varepsilon_2$ — odpowiadające kierunki naprężeń dla systemu I; π, q — system II, płaszczyzny łupliwości naprężeń normalnych, równoległe i prostopadłe do kierunku działania sił; $Px(\pi q)$ — kierunki wektorów sił tektonicznych dla systemu II

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — I system, shearing cleavage planes; $Px\varepsilon_1, Px\varepsilon_2$ — corresponding trends of stresses for the I system; π, q — II system, cleavage planes of normal stresses, parallel and perpendicular to the direction of forces; $Px(\pi q)$ — directions of vectors of tectonic forces for the II system

Płaszczyzny łupliwości tego systemu tworzą na diagramach wyraźne maksima w przedziale $170 \div 180^\circ$, tj. równoległe do nacisku tektonicznego, i w kierunku $80 \div 90^\circ$, czyli prostopadłym do wektora działających naprężeń.

Na diagramie (fig. 4) płaszczyzny łupliwości pierwszego systemu (ze ściecia) oznaczono symbolami ε_1 i ε_2 , a odpowiadające im kierunki działania sił tektonicznych jako $Px\varepsilon_1$ i $Px\varepsilon_2$. System drugi oznaczono symbolami π i q oraz $Px(\pi q)$. Rozpiętość między skrajnymi wartościami wektora x wynosi 35° .

WNIOSKI

Osady fliszu podhalańskiego miały pierwotnie znacznie większe rozprzestrzenienie i częściowo pokrywały Tatry (Z. Kotański, 1961). W czasie wypiętrzania masywu tatrzańskiego masy fliszowe, z jednej strony podnoszone, znajdowały na północy barierę w postaci Pienińskiego Pasa Skałkowego.

Wynoszenie Tatr objęło również teren Podhala. Powstanie licznych małych antyklin, jak i płaszczyzn łupliwości związane jest jednak z mechanizmem grawitacyjnego spływania mas fliszowych. Nie jest wykluc-

zione, że w czasie ruchów grawitacyjnych całe pakiety fliszowe ulegały odkłuciu i poziomym przesunięciom. Główne wektory nacisku mas fliszowych spływających grawitacyjnie mają kierunek południkowy lub zbliżony z niewielkim odchyleniem $10\div 20^\circ$.

Materiały zebrałem w czasie pisania pracy magisterskiej pod kierunkiem prof. dra B. Halickiego, z którym omówione zagadnienia były niejednokrotnie dyskutowane. Docentowi drowi J. Znosce serdecznie dziękuję za uwagi oraz przejrzenie rękopisu.

Zakład Rud Żelaza
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4.
Nadesłano dnia 10 sierpnia 1964 r.

PIŚMIENNICTWO

- CIS J. (1938) — Łupliwość i szczelinowatość pokładów węgla i skał otaczających w Polskim Zagłębiu Węglowym. Prz. gór.-hutn., **30**, p. 545—558, nr 10. Dąbrowa Górnicza — Katowice.
- CIS J. (1947) — Występowanie łupliwości w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Biul. Inst. Węgl., Kom. nr 22. Katowice.
- HALICKI B. (1963) — Tektonika Podhala. Roczn. Pol. Tow. Geol., **33**, p. 349—362, nr 3. Kraków.
- KOTAŃSKI Z. (1961) — Tektogeneza i rekonstrukcja paleogeografii pasma wierzchowego w Tatrach. Acta geol., pol., **11**, p. 187—476, nr 2—3. Warszawa.
- POKORSKI J. (1962) — Tektonika wschodniego Podhala między Białym Dunajcem a Białką. Arch. Wydz. Geol. UW (maszynopis pracy magisterskiej). Warszawa.
- SZYMAŃSKI B. (1962) — Tektonika partii osiowej fliszu podhalańskiego na zachód od Białego Dunajca. Arch. Wydz. Geol. UW (maszynopis pracy magisterskiej). Warszawa.
- WATYCHA L. (1959) — Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego na wschodniej części Podhala. Prz. geol., **7**, p. 350—356, nr 8. Warszawa.

Енджей ПОКОРСКИ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЛАНЦЕВАТОСТИ В ФЛИШЕ ВОСТОЧНОГО ПОДГАЛЯ

Резюме

Исследованиями была охвачена западная часть Восточного Подгалья (фиг. 1). На этой территории произведены измерения плоскостей сланцеватости. Так как плоскости трещин, как правило, перпендикулярны к поверхности напластования, измерения сводились только к определению азимута простирания.

Было установлено, что простирание и форма плоскостей трещин, а также их сгущение зависят от мощности слоев и их литологического развития. Выделяется система минерализованных трещин (минерализация кальцитом белого или серого цветов).

На диаграммах (фиг. 2) графически изображается ориентировка плоскостей сланцеватости. Отдельные диаграммы, охватывающие разные менее крупные тектонические единицы Подгаланской синеклизы, характеризуются незначительными расхождениями.

Принимая, что основные напряжения характеризуются соотношением $R_x > R_z > R_y$ (фиг. 3) для определения скальывающих напряжений (t и t_{\max}) получаем формулу [1] и [2], а для нормальных напряжений (N) формулу [3] (см. польский текст).

Для Восточного Подгалья система плоскостей сланцеватости, которые образовались вследствие скальывающих напряжений, заключается в довольно больших пределах $40-70^\circ$. В итоге получаем направление тектонических сил с азимутами, заключающимися в интервале $175-205^\circ$.

На Подгале распространены многочисленные небольшие антиклинали с амплитудой в несколько метров (Табл. 1, фиг. 5). Их осевые плоскости характеризуются направлением близким к широтному. Складкообразовательные процессы приводили к растяжению и разрыву слоев, причем наиболее интенсивным в ядрах антиклинальных и синклиналиных структур. Таким образом сформировались системы плоскостей сланцеватости, параллельных (π) и перпендикулярных (ρ) направлению действующей силы.

На фиг. 4 плоскости сланцеватости первой системы (образовавшиеся вследствие скальывания) обозначены символами ϵ_1 и ϵ_2 , а отвечающие им направления тектонических сил R_{ϵ_1} и R_{ϵ_2} . Вторая система обозначена соответственно символами π ρ R_x ($\pi\rho$). Расхождение между крайними значениями вектора силы x составляет 35° .

Распространенные на Подгале многочисленные небольшие антиклинали и плоскости сланцеватости связаны с явлениями стекания флишевых масс. Не исключено, что во время гравитационных движений целые пачки флишевых пород подвергались скальыванию и горизонтальному перемещению. Главные векторы давления стекающих под влиянием силы тяжести флишевых масс характеризуются меридиональным или близким к нему направлением с отклонением в пределах $10-20^\circ$.

Jędrzej POKORSKI

OCCURRENCE OF CLEAVAGE IN THE FLYSCH DEPOSITS OF THE EAST PODHALE REGION

S u m m a r y

The study embraces the western part of the East Podhale region (Fig. 1), where a series of measurements of cleavage planes were made. Since the fracture planes are, as a rule, perpendicular to bedding planes, the measurements were restricted only to a determination of strike azimuth.

When studied, a dependence of course, form and density of fracture planes upon the thicknesses of banks and upon their lithological development was established and a system of mineralized crevices (mineralization by white or grey calcite) was distinguished.

On diagrams (Fig. 2) are presented graphically the trends of cleavage planes. The individual diagrams embracing various minor tectonical units of the Podhale syncline show slight differences.

Taking into account a fact that the relation of main stresses may be shown as $P_x > P_z > P_y$ (Fig. 3), we obtain formulae [1] and [2] to compute the shearing stress (t and t_{\max}) and formula [3] for normal stress (N), (see Polish text).

The system of cleavage planes developed due to the activity of shearing stresses is included, as far as the East Podhale region is concerned, in a fairly wide range, from 40 to 70°. As a result, we obtain a direction of tectonic forces characteristic of the azimuths comprised in an interval from 175 to 205°.

In the Podhale region are found numerous small anticlines characteristic of an amplitude of several metres (Tabl. I, Fig. 5). Their axis planes are of a direction similar to a W-E one. The folding processes caused an extension and disruption of the strata, most intensely in the anticline and syncline cores. In that way a system of cleavage planes was formed, parallelly (π) to the direction of forces and perpendicularly (q) to this latter.

On Fig. 4 the cleavage planes of the first system (due to shearing) are marked by symbols ε_1 and ε_2 , and the corresponding directions of tectonic forces by $P_x\varepsilon_1$ and $P_x\varepsilon_2$. The second system is indicated by symbols π and q , as well as by $P_x(\pi q)$. The spread between the extreme values of x-force vector amounts 35°.

Numerous small anticlines and cleavage planes occurring in the Podhale region are connected with the mechanism of the flysch mass flowage. It may well be that at the time of gravitational movements, the large flysch masses were cut off and horizontally displaced. The main vectors of stress of the gravitationally flowing flysch masses are of north-south or of approximate direction, with slight deviation only, amounting from 10 to 20°.

TABLICA I

- Fig. 5. Antyklina z wyraźnie widocznym kierunkiem zapadania osi — potok Cicha Woda
Anticline with a distinctly visible direction of dip of axis — Cicha Woda stream
- Fig. 6. Siatka szczelin widoczna na powierzchni warstwy piaskowca
Net of crevices seen on the sandstone surface

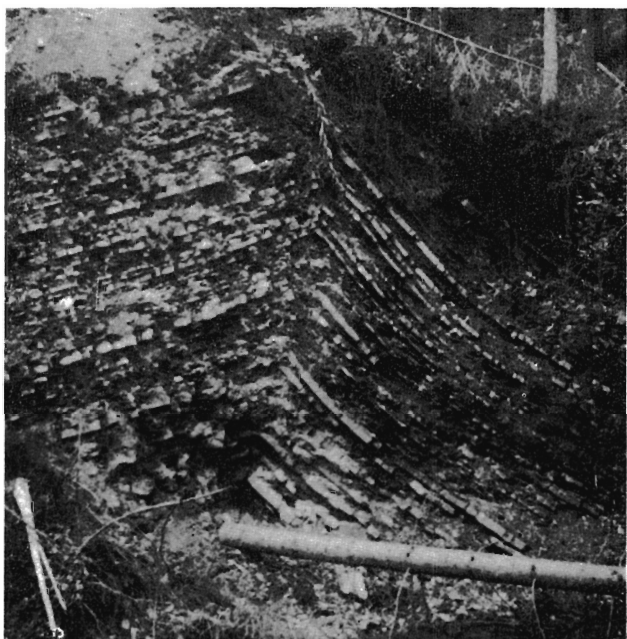


Fig. 5



Fig. 6