ZBIGNIEW WÓJCIK i STEFAN ZWOLIŃSKI

Młode przesunięcia tektoniczne w jaskiniach tatrzańskich

STRESZCZENIE: W jaskiniach tatrzańskich, znajdujących się w wapieniach serii wierchowej, stwierdzono liczne ślady przesunięć tektonicznych, w których efekcie niektóre partie ścian korytarzy i sal jaskiń powstałych w okresie cyrkulacji hydrodynamicznej zostały przemieszczone, powodując tworzenie się licznych zawalisk. Płaszczyzny przesunięć mają kierunki N-S (starsze), SW-NE i W-E (młodsze). Przesunięcia w Jaskini Magurskiej powstały przed ostatnim interglacjałem, a w Jaskini Raptawickiej i Poszukiwaczy Skarbów po ostatnim okresie międzylodowcowym. Przesunięcia w innych jaskiniach są często jeszcze młodsze. Powstały one zarówno na zboczach dolin preglacjalnych, jak i plejstoceńskich i holoceńskich. Przyczyną powstania napięć i pęknięć w masywach skalnych była zmiana układu naprężeń wskutek silnego pogłębiania się dolin. Impulsem do powstania przesunięć były wstrząsy sejsmiczne.

WSTĘP

Jaskinie są doskonałym terenem do badań procesów młodej tektoniki, gdyż bierze ona udział w kształtowaniu korytarzy i sal, które w swym pierwotnym założeniu powstały w czwartorzędzie.

W niniejszej pracy przedstawiamy szereg przykładów zjawisk tektonicznych, które miały miejsce po powstaniu głównego zarysu jaskini. Zjawiska te są bardzo powszechne na terenie jaskiń tatrzańskich. Przy braku środków materialnych na pokrycie systematycznych badań całokształtu tych zjawisk, ograniczono się dotychczas do zebrania niektórych bardziej charakterystycznych przykładów. Materiały były zbierane na wyprawach eksploracyjno-badawczych Zakopiańskiego Koła Jaskinioznawczego PTTK i Warszawskiego Speleoklubu PTTK. Badanie trudno dostępnych jaskiń było możliwe jedynie dzięki udziałowi licznej grupy taterników jaskiniowych i płetwonurków. Za ich bezinteresowną pomoc składamy serdeczne wyrazy wdzięczności. Dziękujemy również prof. dr. E. Passendorferowi za zainteresowanie się i opiekę w czasie opracowywania niniejszego artykułu, jak również dr. Z. Kotańskiemu za cenne

uwagi w dyskusji nad opracowanymi zagadnieniami, a szczególnie za poddanie nam koncepcji związku przesunięć w jaskiniach z naprężeniami grawitacyjnymi, wyzwalanymi podczas pogłębiania dolin tatrzańskich w preglacjale i plejstocenie przez trzęsienia ziemi.

PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Przykłady młodej tektoniki z terenu Tatr nie były dotychczas szerzej opisywane. Jedyna praca „O młodych ruchach tektonicznych w Tatrach", napisana przez S. Zwolińskiego w 1953 r. nie została opublikowana. Pierwszą wzmiankę o tych zagadnieniach znajdujemy u E. Passendorfera (1951), który w oparciu o stwierdzoną przez S. Zwolińskiego obecność allochtonicznego materiału w namulisku Jaskini Mroźnej (ok. 120 m nad dnem Doliny Kościeliskiej), pochodzącego z trzonu krystalicznego, wysuwa przypuszczenie, że może to mieć związek z ruchami wznoszącymi masyw tatrzański, a żwiry stanowią poziom preglacjalny. Rozwijając następnie to zagadnienie E. Passendorfer (1954) przypuszcza, że poziom ten może być trzeciorzędowy lub wczesnoplejstoceński.

K. Kowalski (1953) na marginesie opisów jaskiń tatrzańskich podkreśla szczelinowy charakter wielu korytarzy. S. Zwoliński (1955) pierwszy zwraca uwagę na to, że niektóre korytarze Jaskini Magurskiej zawdzięczają swą genezę współcześnie trwającym procesom tektonicznym. Zdaniem Zwolińskiego (1955) procesom tym podlegają silniej jaskinie występujące w utworach serii wierchowej, podczas gdy jaskinie występujące w wapieniach płaszczowiny reglowej, znane szczególnie z Tatr Bielskich, wykazują większą stabilność.

Wiele nowego materiału dotyczącego tych procesów zebrano ostatnio w czasie wyprawy eksploracyjno-badawczej w Jaskini Miętusiej w grudniu 1956 r. i styczniu 1957. W sprawozdaniu z tej wyprawy Z. Wójcik (1958b) pisze o wielkich przesunięciach tektonicznych, o których nasileniu świadczą m.in. zlepieńce tektoniczne. Ostatnio J. Rudnicki (1958b) w oparciu o materiały tej samej wyprawy opisuje przesunięcie pionowe w górnej części Korytarza Głównego w Jaskini Miętusiej, w którego wyniku jedna część korytarza została przesunięta w stosunku do drugiej o ok. 20 cm. Z istnieniem ruchów tektonicznych Rudnicki (1958b) wiąże powstanie zawalisk Jaskini Zimnej i Miętusiej. Wyróżniona przez tego autora trójpoziomowość jaskiń w Dolinie Kościeliskiej została zinterpretowana przez Z. Kotańskiego (1958), który przypuszcza, że środkowy poziom może pochodzić ze starszego plejstocenu lub z pliocenu, natomiast najmłodsze wcięcie, wiążące się z podniesieniem Tatr o ok. 100 m, miało miejsce w młodszym plejstocenie.

Wydaje się nam, że wielkie zawaliska w Jaskini Miętusiej łączyć się mogą wiekowo z wielkim obrywem, w którego wyniku powstały Wantule (Sokołowski 1936).

O możliwości wstrząsu tektonicznego na terenie jaskiń Jury Krakowsko-Częstochowskiej w okolicy Częstochowy pisze Z. Wójcik (1958b) na marginesie opisu genezy nacieków piaszczystych. Liczne przesunięcia tektoniczne są znane z jaskiń Sudetów.

Podobne przykłady przesunięć tektonicznych w jaskiniach opisywane były z terenów alpejskich. Szczególnie ciekawe przykłady podaje E. Arnbergger (1951) z Dachstein-Mammuthöhle, gdzie w wyniku młodych przesunięć powstała 20-metrowej szerokości Grosse Lehmhalle (Wielka Sala Błotnista). Przesunięcia w tej jaskini E. J. Zirkl (1955) wiąże z różnicą gęstości warstw podlegających ruchom tektonicznym.

Zdaniem A. Bögliego (1956) przesunięcia tektoniczne oraz towarzyszące tym procesom powstawanie próżni w wapieniach decydują o rozwoju jaskini.

OPIS PRZESUNIĘĆ TEKTONICZNYCH

Jaskinie tatrzańskie są wyjątkowo bogate w zjawiska dotyczące procesów młodej tektoniki. Materiały dotyczące tej dziedziny zostały przedstawione w niniejszej pracy. Dokonano tu jednak znacznej selekcji obserwacji i ograniczono się do podania najbardziej klasycznych przykładów. W większości materiał został podany z jaskiń stosunkowo łatwo dostępnych. Wyjątek uczyniono jedynie dla Jaskini Miętusiej, gdzie dojście do korytarzy i sal z przykładami klasycznych przesunięć wymaga udziału dużej grupy speleologów i płetwonurków.

Jaskinia Magurska

Znajduje się ona w wapieniach triasu, doggeru i malmo-neokomu głównej dygitacji fałdu Giewontu (Kotański, 1959 = jednostka Zawratu Kasprowego J. Lefelda, 1957) ok. 150 m nad dnem Jaworzynki. Położenie i opis tej jaskini zamieszczają K. Kowalski (1953) i S. Zwoliński (1955). Z. Wójcik (1957a) opisuje profil geologiczny jaskini.

Jaskinia Magurska jest systemem korytarzy i sal, który w swym pierwotnym założeniu powstał w okresie cyrkulacji hydrodynamicznej (stadium *phreatic*). W późniejszych stadiach rozwojowych jaskinie były silnie modelowane przez podziemne rzeki. Charakter współczesny jaskinia zawdzięcza licznym zawaliskom.

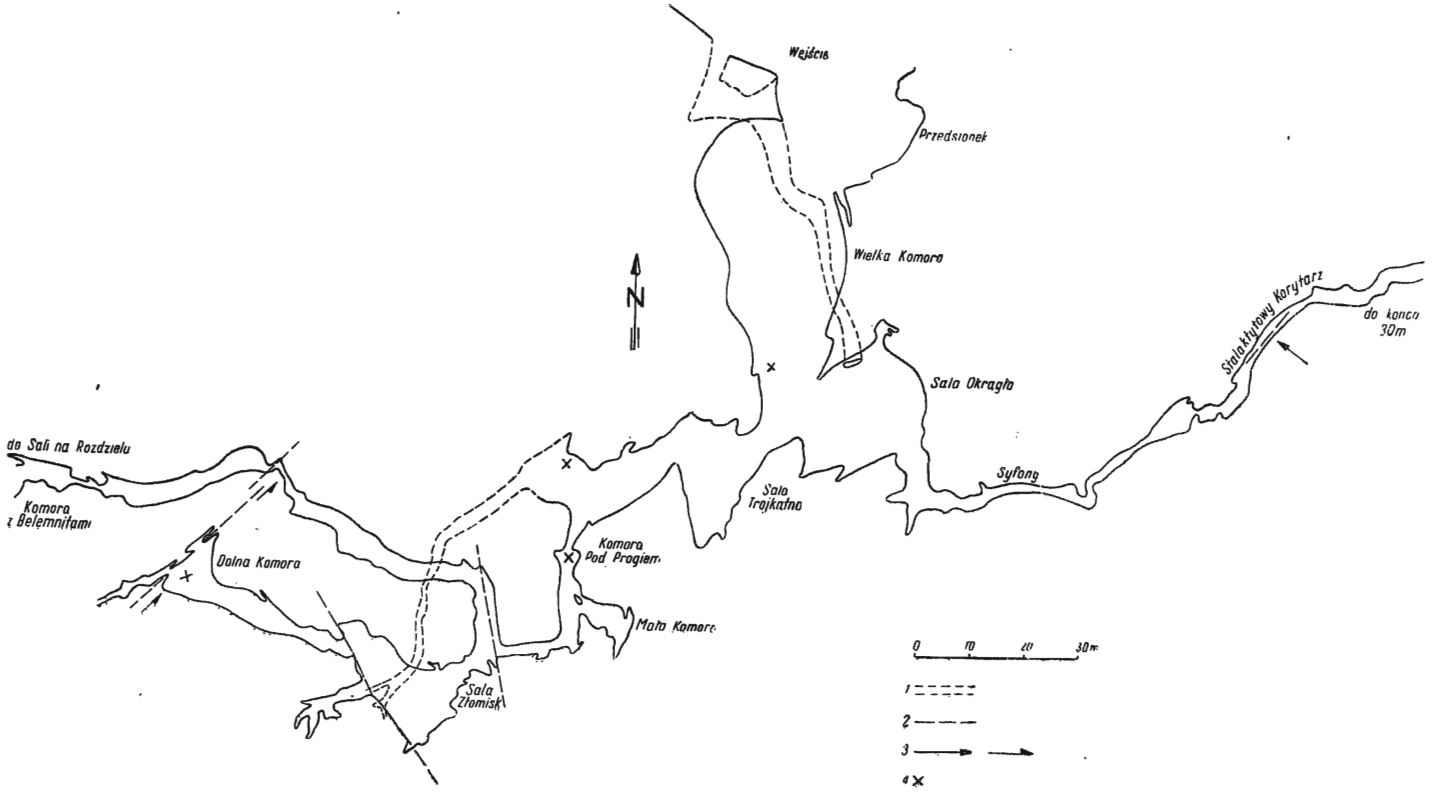

Fig. 1

Plan Jaskini Magurskiej

1 korytarze górnego piętra, *2* ważniejsze przesunięcia, *3* kierunek przesunięć, *4* miejsca znalezienia kości niedźwiedzi jaskiniowych

Sketch map of the Magura Cave

1 upper level conduits, *2* major displacements, *3* displacement trends, *4* site of collection of cave bear bones

Z wyraźnym przesunięciem tektonicznym spotykamy się w Korytarzu Stalaktytowym we wschodniej części jaskini (fig. 1). Zachował on jeszcze pierwotny owalny przekrój wskazujący na jego powstanie w stadium cyrkulacji hydrodynamicznej. Jego ściany pokryte zostały ok. 25 cm grubą powłoką naciekową. Na skutek ruchów tektonicznych nastąpiło przesunięcie części sklepienia i jednej ściany korytarza o 5-8 cm ku północy, deformujące jego owal wyraźnymi listwami. Powłoka naciekowa na linii przesunięcia pękała i częściowo odłupała się, spadając w postaci wielkich płyt opierających się o ściany lub zalegających dno odłamów (fig. 2). Wzdłuż przebiegającej po sklepieniu listwy wytworzyły się niewielkie, ale bardzo ciekawie wykształcone stalaktyty z nieregularnymi bocznymi wyrostkami. Nie można wyłączyć, że tego samego wieku są stalaktyty pokrywające namulisko wraz z kośćmi niedźwiedzia jaskiniowego w korytarzyku, prowadzącym z Komory pod Progiem do Komory Małej oraz zwisające z zębów potrzaskanego sklepienia przy zejściu z Sali Złomisk do Dolnej Komory.

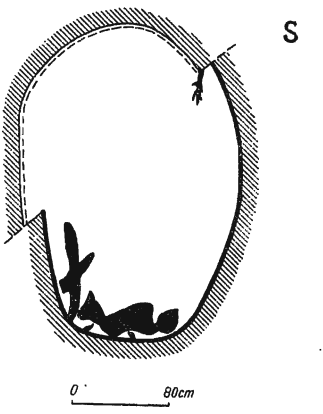

Fig. 2
Przesunięcie w Korytarzu Stalaktytowym Jaskini Magurskiej
Na dnie znajdują się oderwane nacieki
Displacement in the Stalactite Corridor of Magura Cave
With heaps of flowstones at base

Z innym wyraźnym przesunięciem w Jaskini Magurskiej spotykamy się w Dolnej Komorze (fig. 1). W wyniku przesunięcia wzdłuż płaszczyzny o kierunku SW-NE dolna część korytarza oraz zachodnia część komory pozostały na miejscu, podczas gdy cała zawaliskowa część komory łącznie z Salą Złomisk została przesunięta najmniej o 10 m na NE. Przesunięcie to widoczne jest również w jego przedłużeniu w korytarzu położonym bardziej na północ, łączącym Salę Złomisk z Salą na Rozdzielu. W jednym i drugim przypadku z przesunięciem tym wiąże się podniesienie względnie obniżenie jednej partii sali lub korytarza o 3 m w stosunku do drugiej. W Komorze Dolnej obniżeniu uległ korytarzyk w zachodniej części. W drugim przypadku zrzucona została część wschodnia.

Przykłady tego rodzaju przesunięć są spotykane w otoczeniu Komory z Belemnitami. K. Kowalski (1933) opisując to miejsce zwraca uwagę, że na przebieg tego ciągu jaskiniowego ma większy wpływ

kliważ niż różnice w składzie petrograficznym skał. Kliważ ten jest tu rezultatem przesunięć tektonicznych.

Z wyjątkiem zawaliska przy otworze jaskini, wszystkie pozostałe zawaliska w Jaskini Magurskiej związane są z przesunięciami tektonicznymi. Na zawalisku w Komorze Dolnej S. Zwoliński (1955) znalazł prawie nienaruszony szkielet niedźwiedzia jaskiniowego (pl. XXIX), którego opracowanie zawdzięczamy Z. Ryziewiczowi (1957).

Jaskinia Kalacka

Jaskinia ta znajduje się ok. 40 m nad dnem Doliny Bystrej w wapieniach triasu i malmo-neokomu fałdu Giewontu (Rabowski 1955). Opis jaskini zamieszcza S. Zwoliński (1949), a następnie — łącznie z planem — K. Kowalski (1953). Obecnie udostępniona przez przekopy część jaskini stanowi w zasadzie jeden korytarz z niewielkimi odgałęzieniami. Ma ona bardzo oryginalne rysy pierwotne, które w zasadzie nie uległy zmianom charakterystycznym dla erozji podziemnych potoków. Ustępująca z jaskini woda zamuliła wszystkie partie syfonalne, po czym niektóre partie jaskini uległy silnym przesunięciom tektonicznym.

Z ciekawym przykładem tego rodzaju przesunięć spotykamy się ok. 40 m od otworu tuż za pierwszym, dziś rozkopanym syfonem namuliskowym (fig. 3) w Rozsuniętej Sali. Przesunięcie jest tu niewielkie i miejscami dochodzi do 15 cm. Część dolna korytarza w stosunku do górnej została przesunięta na północ. Wskutek przesunięcia zmienił się charakter korytarza — przybrał on kształt niesymetryczny. Przesunięcie to zaznaczyło się wytworzeniem na ścianie kilku płaszczyzn poślizgu. Jedna z nich tnie wytworzony uprzednio ścianowy kocioł wirowy, który powstał wówczas gdy jaskinia była zalana przez wodę (pl. XXIX).

Kilka metrów dalej (ok. 50 m od otworu) korytarz jaskini wznosi się do góry i jednocześnie rozszerza się. Dno korytarza pokrywa zawalisko. Tuż za zawaliskiem biegnie bardzo ciasny korytarzyk o niemal nie zmienionym pierwotnym wyglądzie. W zachodniej części salki zawaliskowej widoczne są płaszczyzny tnące poprzecznie korytarz w sześciu miejscach. W wielu miejscach pokryte są one lustrami tektonicznymi. Korytarz jaskini został tu rozsunięty. W miejscu gdzie siły tektoniczne działały najbardziej intensywnie powstała spora komora. Zachodnia część korytarza została przesunięta na północ w stosunku do wschodniej o ok. 3 m. Jednocześnie część zachodnia korytarza przesunięta została do góry o ok. 2 m (fig. 3).

Korytarz szczelinowy znajdujący się tuż za tym zawaliskiem jest spękany. W niektórych miejscach na płaszczyznach pęknięć widoczne są niewielkie przesunięcia dochodzące do 5 cm. Niektóre z nich mają bardzo świeży wygląd.

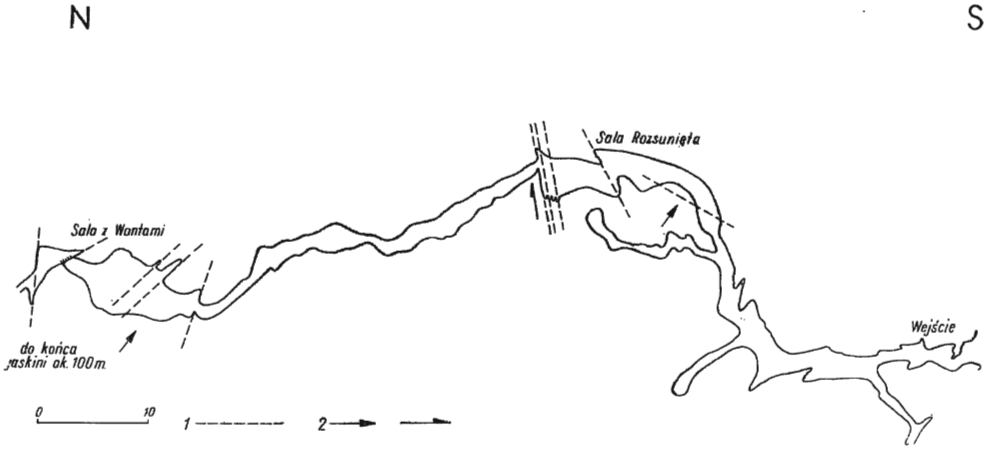

Fig. 3

Plan Jaskini Kalackiej
1 ważniejsze przesunięcia, *2* kierunki przesunięć

Sketch map of the Kalacka Cave
1 major displacements, *2* displacement trends

Z następnym rozsunięciem i salą tektoniczną spotykamy się za systemem przekopanych syfonów namuliskowych ok. 150 m od otworu jaskini w Sali z Wantami (fig. 3). Za okrągłym korytarzem znajduje się tu duża sala typu zawaliskowego. W dolnej części sali bloki wapieni leżą bezpośrednio na namulisku. Kilka metrów od wejścia do sali, na północnej ścianie znajdują się dwie bardzo wyraźne płaszczyzny przesunięć tektonicznych o upadzie pionowym i kierunku NE-SW. Przesunięciu na północ prawie o 3 m uległy partie zachodnie tej sali, podczas gdy wschodnie pozostały w tyle. Najsilniej ku północy przesunięta została część zachodnia sali. Pierwotny niewielki korytarz został zgnieciony i w części zachodniej wyniesiony w postaci horstu do góry o 3 m. Zachodnia część tego horstu jest doskonale widoczna, gdyż sztuczny korytarzyk łączący tę salę z dalszym ciągiem jaskini urywa się prawie 3-metrowym pionowym progiem. Bieg płaszczyzny tego uskoku wynosi ok. 45°, a więc jest taki sam jak płaszczyzny we wstępnej części tej sali zawaliskowej. Próg prowadzi do małej salki zawaliskowej, w której pd.-zachodnim końcu

widoczny jest niewielki korytarzyk o nienaruszonym kształcie. Wielkość tego korytarzyka jest mniej więcej taka sama jak wielkość korytarzyka przed salą zawaliskową.

Prawie wszystkie zawaliska Jaskini Kalackiej związane są z przesunięciami tektonicznymi. Widoczne jest to bardzo wyraźnie w głównym korytarzu tej jaskini, gdzie partie o charakterze pierwotnym (m.in. z pięknymi stropowymi kotłami wirowymi) w pobliżu płaszczyzn przesunięć tektonicznych pokryte są zawaliskami.

Jaskinia Goryczkowa

Znajduje się ona pod Myślenickimi Turniami w wapieniach malmu (Rabowski 1955), dolnej jednostki fałdu Giewontu (Kotański 1959). Jej położenie i opis, poza przewodnikami podaje K. Kowalski (1953). Stanowi ona wielki system gąbczastych korytarzy. Jedynie część wschodnia odbiega od tego stylu i posiada charakter zawaliskowy.

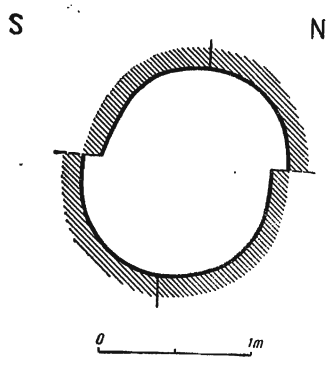

Fig. 4
Przekrój przez korytarz w Jaskini Goryczkowej
Section across corridor in the Goryczkowa Cave

Z bardzo wyraźnym przesunięciem wzdłuż płaszczyzny ukośnie tnącej korytarz jaskini spotykamy się pod progiem z drabinką (ok. 40 m od otworu jaskini). W tym miejscu korytarz jest przecięty płaszczyzną, która tnie korytarz na wysokości ok. 1,2 m płaszczyzną o biegu ok. 90° i upadzie ok. 20° na N (fig. 4). Przesunięcie nastąpiło wzdłuż płaszczyzny pęknięcia i wynosi ok. 5 cm. Tam, gdzie korytarz pokryty był polewą naciekową, uległa ona przy tym pęknięciu zniszczeniu.

Zawaliska wschodniej części jaskini powstały w czasie przesunięć tektonicznych, w których wyniku końcowa część sali zawaliskowej przesunięta została na północ o ok. 2 m. Jednocześnie sala ta została w całości zrzucona w dół o 4 do 5 m.

Jaskinia Miętusia

Znajduje się ona w wapieniach malmo-nekomu fałdu Czerwonych Wierchów. Położenie i część wstępną jaskini opisuje K. Kowalski (1953).

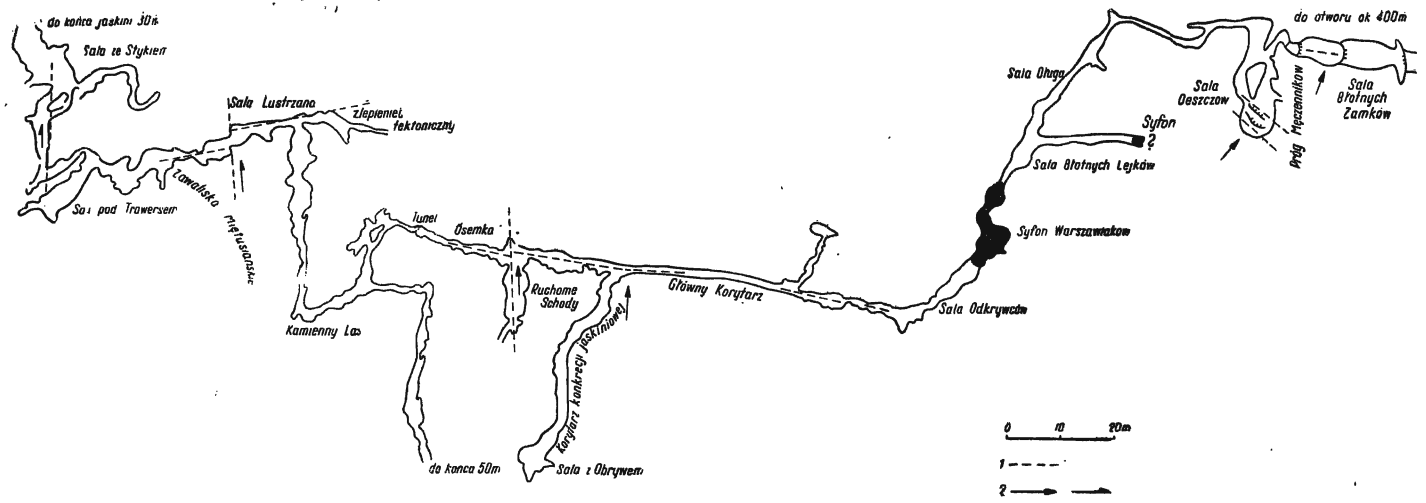

Fig. 5

Plan nowoodkrytych partii Jaskini Miętusiej

1 ważniejsze przesunięcia, *2* kierunki przesunięć

Sketch map of newly discovered parts of the Miętusia Cave

1 major displacements, *2* displacement trends

Nowoodkryte partie jaskini, których plan nie został dotychczas opublikowany, są przedstawione na figurze 5. Jaskinia została szczegółowo opisana przez J. Rudnickiego (1958a, b). Z. Wójcik (1957b) opisał z niej dwie generacje przesunięć tektonicznych, w których wyniku jedna z sal została rozsunięta o 2,5 m.

Bardzo wyraźne przesunięcie tektoniczne wzdłuż płaszczyzny międzywarstwowej, na której rozwinął się Korytarz Główny, spotykamy w stosunkowo łatwo dostępnej początkowej części jaskini obok Syfonu Zwolińskich (pl. XXX). Południowa część Korytarza Głównego w stosunku do północnej została przesunięta o ok. 30 cm.

Z bardzo ciekawym przykładem przesunięć spotykamy się pod Progiem Męczenników w niewielkim korytarzyku, łączącym Salę Błotnych Zamków z dalszą częścią jaskini. Korytarzyk ten wykształcony jest na szczelinie międzywarstwowej o biegu ok. 90° i upadzie ok. 80° na N. Wzdłuż tej szczeliny nastąpiło przesunięcie tektoniczne, które rozsunęło wytworzone przedtem na stropie zagłębienia wirowe. Część południowa przesunięta została o ok. 20 cm w dół w porównaniu z częścią północną. Przesunięcie to jest doskonale widoczne na pozbawionym namuliska dnie wschodniej części korytarzyka, gdzie część południowa znajduje się ok. 15 cm niżej od północnej. Zaznacza się ono również na 5-metrowym progu łączącym Salę Błotnych Zamków z tym korytarzykiem (pl. XXXII).

System wyraźnych przesunięć tektonicznych wpłynął na kształt Sali Deszczów. Salę tę tnie szereg płaszczyzn przesunięć o upadzie ok. 30° i biegu ok. 110°. Wskutek podniesienia południowej części sali o ok. 10 m, zarówno na dnie jak i na stropie, widoczne są wyraźne dwa progi. Cała sala ma charakter zawaliskowy.

Z przesunięciem spotykamy się również w górnej części Głównego Korytarza za Syfonem Warszawiaków. Widoczne ono jest począwszy od zawaliskowej sali, zwanej Salą Odkrywców po Ósemkę i Tunel, a najwyraźniej w Korytarzu Głównym nie dochodząc do korytarzyka z konkrecjami jaskiniowymi. Cały korytarz jest rozwinięty na szczelinie międzywarstwowej. Wzdłuż tej szczeliny nastąpiło przesunięcie, szczególnie dobrze widoczne w stropie korytarza. Nie we wszystkich miejscach jest ono jednakowe, przeciętnie jednak dochodzi do 20 cm. W Tunelu, którego dno pozbawione jest namuliska, krawędzie jego zostały nieco zerodowane przez okresowo przepływający potok.

Przesunięcie to przed Ósemką przecina płaszczyzna przesunięcia o kierunku N-S. Na skrzyżowaniu tych dwóch płaszczyzn przesunięć powstała zawaliskowa sala tektoniczna zwana Ruchomymi Schodami. Zawaliska typu tektonicznego występują również w wielu innych miejscach. Pierwsze z nich znajduje się w Sali Odkrywców, drugie — to Ruchome

Schody, a następne występują za Tunelem, tworząc tu wielkie zawaliska zwane Miętusiańskimi (pl. XXXI).

W końcowych partiach tych zawalisk znajduje się podłużna sala zwana Salą Lustrzaną. Nazwę swą zawdzięcza ona wielkiej płaszczyźnie lustra tektonicznego, które ją pokrywa od północy. Lustro to o biegu ok. 90° i upadzie 70° N wykształcone jest na płaszczyźnie międzywarstwowej. Ściana południowa tej sali ma charakter zawaliskowy. Znajduje się tu wyraźnie zaznaczony na dnie próg wysunięty na N o ok. 2,5 m. Na jego przedłużeniu na północ widoczny jest wyraźny uskok tnący w poprzek lustro tektoniczne i rozsuwający salę. Część zachodnia w stosunku do wschodniej przesunięta została o ok. 2,5 m.

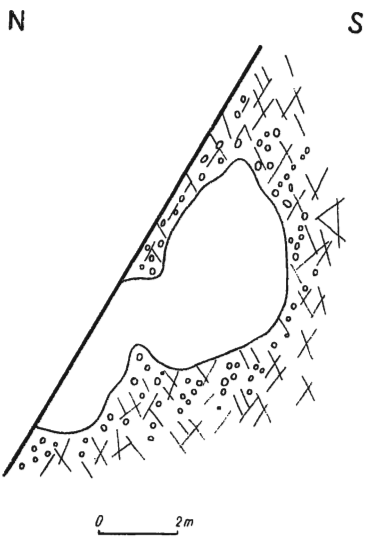

Fig. 6
Zlepieniec tektoniczny w Sali Lustrzanej Jaskini Miętusiej

Tectonic conglomerate in the Mirror Chamber (Sala Lustrzana) of the Miętusia Cave

Od wschodu na przedłużeniu lustra tektonicznego Sali Lustrzanej znajduje się niewielki korytarzyk o zmiennej średnicy (od 5,5 do 1,2 m). Ściana południowa, bardziej oddalona od płaszczyzny lustra tektonicznego, zbudowana jest z brekcji tektonicznej wapieni malmo-neokomu o spoiwie ilasto-żelazistym. Natomiast ściany położone w pobliżu lustra tektonicznego zbudowane są ze zlepieńca tektonicznego (fig. 6). Stopień obtoczenia otoczaków jest słaby. Właściwie nie ma tu obtoczenia, a jest jedynie obramowanie „otoczaka tektonicznego" licznymi płaszczyznami pęknięć tektonicznych. Zlepieniec tektoniczny z pewnością powstał przy kilkakrotnych ruchach wznoszących i zrzucających niektóre partie jaskini w otoczeniu Sali Lustrzanej. Duży wpływ na jego genezę miało ciśnienie boczne, w wyniku którego powstał uskok rozsuwający Salę Lustrzaną.

W końcowych partiach jaskini pomiędzy Salą pod Trawersem i Salą ze Stykiem znajduje się korytarzyk, którego wschodnia część pokryta jest wielkim lustrem tektonicznym tnącym w poprzek warstwy wapieni malmo-nekomu. Przesunięcie związane z tym lustrem tektonicznym deformuje korytarzyk o pierwotnych zarysach. Na piaszczystym dnie i na rumowisku skalnym, powstałym w czasie przesunięcia, wyrosły już nacieki 30 cm wysokości.

Przytoczone przykłady wykazują, że zawaliska Jaskini Miętusiej związane są z przesunięciami tektonicznymi. Nie można wyłączyć, że Zawaliska Miętusiańskie występujące w najstarszej części jaskini mogą się wiązać wiekowo z obrywem skalnym, w którego wyniku powstały Wantule.

Jaskinia Mroźna

Znajduje się ona w wapieniach malmu fałdu Czerwonych Wierchów. Jej opis podaje S. Zwoliński (1950), a następnie opis wraz z planem K. Kowalski (1953). E. Passendorfer (1951, 1954) wspomina o znalezieniu w niej żwirów granitowych położonych 120 m nad dnem Doliny Kościeliskiej. Jaskinia ma charakter nieco zmodelowanej podziemnymi potokami jaskini pierwotnej. Żwiry granitowe znajdują się tu przypadkowo, występują bowiem na dnie korytarzyka genetycznie obcego jaskini. Korytarzyk ten przebiegał równolegle do jaskini i po zniszczeniu ścianki dzielącej go od pozostałej jaskini dopiero później został włączony do systemu Jaskini Mroźnej. Wody erodujące Jaskinię Mroźną wykorzystały stare pęknięcia tektoniczne o kierunku SSW-NNE, prostopadłe do biegu warstw wapieni malmu. Po wytworzeniu się jaskini w warunkach cyrkulacji hydrodynamicznej i po powstaniu szaty naciekowej nastąpiło przesunięcie wzdłuż płaszczyzn tych pęknięć. Przesunięciu w dół uległa zachodnia partia jaskini o ok. 0.5 m. W czasie przesunięcia odpadło od stropu sporo nacieków i pokryw naciekowych. Na ich miejscu wyrosły nowe formy dochodzące maksymalnie do 20 cm. W miejscach gdzie wyżej opisane przesunięcie pocięte zostało przesunięciami poprzecznymi, podobnie jak i w innych jaskiniach, a szczególnie w Jaskini Zimnej, występują liczne zawaliska.

WIEK PRZESUNIĘĆ TEKTONICZNYCH

Jaskinie Doliny Kościeliskiej układają się w trzy poziomy odpowiadające okresom zwolnionej erozji (Rudnicki 1958b). Wyższe dwa poziomy znajdujące się ok. 230-210 i 130-120 m nad dnem doliny powstały być może w pliocenie, względnie niższy z nich dopiero w starszym plejstocenie (Passendorfer 1954, Kotański 1958).

Jaskinia Magurska znajdująca się ok. 150 m nad dnem Doliny Jaworzynki w swym głównym zarysie powstała w pliocenie. Tego samego wieku jest zapewne Jaskinia Raptawicka (180 m nad dnem Doliny Kościeliskiej), górne partie Jaskini Miętusiej i Zimnej, a nawet Jaskinia

Mroźna (drugi poziom jaskiń w Dolinie Kościeliskiej). Znajdujące się ok. 40-60 m nad dnem dolin Jaskinie Goryczkowa i Kalacka odbiegają od schematu układu poziomów jaskiń z Doliny Kościeliskiej. Mimo, że znajdują się one poniżej drugiego poziomu mają wiek preglacjalny lub staroplejstoceński, gdyż znajdujące się w nich przesunięcia powstały na zboczach dolin preglacjalnych lub staroplejstoceńskich (p. niżej). W Jaskini Magurskiej S. Zwoliński (1955) na zawalisku Komory Dolnej odkrył in situ prawie kompletny szkielet niedźwiedzia jaskiniowego. Według oznaczenia Z. Ryziewicza (1957) jest to *Ursus spelaeus* Rosenmüller. Datuje on wiek przesunięcia tektonicznego w Dolnej Komorze Jaskini Magurskiej na okres poprzedzający ostatni interglacjał.

Ciekawe światło na wiek przesunięć tektonicznych rzuca ostatnio odkryte nowe stanowisko niedźwiedzia jaskiniowego w Jaskini Raptawickiej (Wójcik 1958a). Kości te znajdują się w namulisku, które u góry pokryte jest zawaliskiem powstałym w czasie przesunięcia tektonicznego. Zatem wiek tego przesunięcia jest związany z ostatnim interglacjałem bądź jest od niego młodszy. Tego samego wieku są zawaliska w Jaskini Poszukiwaczy Skarbów w Dolinie Kościeliskiej, gdzie namulisko z kośćmi niedźwiedzia jaskiniowego również jest pokryte zawaliskiem. Przesunięcia w Jaskini Miętusiej są różnowiekowe. Wydaje się, że najstarsze przesunięcie związane z powstaniem zlepieńca tektonicznego oraz lustra tektonicznego w Sali Lustrzanej pochodzi z trzeciorzędu, gdyż ta partia jaskini powstała w pliocenie. Młodsze są przesunięcia tnące to lustro w poprzek. Nacieki pokrywające zawaliska określają wiek tych ruchów na z górą 10 tys. lat. W tym czasie nastąpił obryw Wantul. Najmłodsze przesunięcie, tnące poprzecznie przesunięcie o kierunku N-S, występuje w korytarzyku pod Progiem Męczenników oraz w Korytarzu Głównym za Syfonem Warszawiaków. Przesunięcie to, zwłaszcza w dolnej części, znajduje się ok. 100 metrów poniżej otworu jaskini, tzn. na poziomie Doliny Miętusiej. Ta partia jaskini jest okresowo zalewana przez wodę, a powstałe w niej przesunięcia są modelowane przez powstające współcześnie tuby.

Znajdujemy również wiele przykładów aktywności tektonicznej górotworu tatrzańskiego w czasach współczesnych. Z tymi ruchami Doc. K. Guzik (wiadomość ustna) wiąże np. obrywy Fajek w grani nad Czarnym Stawem Gąsienicowym. Przykłady współcześnie trwających ruchów tektonicznych mamy również z Jaskini Kalackiej, gdzie ciasny szczelinowy korytarz ma bardzo świeże spękania. W niektórych miejscach na linii tych spękań widoczne są niewielkie przesunięcia (do 5 cm). W Jaskini Miętusiej znajdujemy bardziej wyraźne tego rodzaju przykłady w korytarzu zwanym Kamiennym Lasem. Korytarz ten jest silnie spę-

kany. Od jego ścian odchylone są płaty wapieni mające kształt ostrych klinów do 1 m długości. Kliny te odchylają się od ściany korytarza tworząc jak gdyby wachlarz. Niektóre kliny mają świeże spękania (pl. XXXI).

GENEZA PRZESUNIĘĆ

Przesunięcia w jaskiniach tatrzańskich w większości skierowane są do dolin, nad którymi znajduje się dana jaskinia (fig. 7). Bezpośrednią przyczyną powstania napięć i pęknięć jest zmiana układu naprężeń wskutek silnej erozji w dolinach. Bodźcem do powstania przesunięć są najprawdopodobniej fale sejsmiczne, gdyż Tatry, Karpaty Zewnętrzne a nawet okolice Krakowa znajdują się w strefie ich zasięgu. Jak wolno sądzić z komunikatów prasowych, niewielkie trzęsienia Ziemi w okolicy Zakopanego są stosunkowo częste. Jeden z silniejszych wstrząsów, wyczuwalny przez ludzi, zanotowano w zimie 1942 r.

Najbardziej klasycznym przykładem przesunięcia skierowanego do doliny jest przesunięcie, które objęło prawie 500-metrowej długości zachodnią ścianę korytarza Jaskini Mroźnej. Podobne przesunięcia znane są z Jaskini Zimnej, Szczeliny Chochołowskiej, jaskiń w wapieniach reglowych (Dziura Wyżnia), jaskiń nad Doliną Białej Wody a nawet z Jaskini Tomkowej znajdującej się w granitach pod Niżnimi Rysami.

W wielu przypadkach przesunięcia skierowane są równolegle do kierunku współczesnych dolin. Tak jest m.in. w przypadku Jaskini Kalackiej i Goryczkowej. Wydaje się jednak, że i tu przesunięcia były pierwotnie skierowane w kierunku dna doliny. Tu bowiem Z. Kotański (1958, str. 287) wyróżnia młodsze poziomy preglacjalne na spłaszczeniach wyższej części Myślenickich Turni, Kalackiej Turni i Gładkiego Jaworzyńskiego. Na północ od tych spłaszczeń na granicy serii wierchowej i reglowej musiało być wówczas obniżenie. Ku niemu obsunęły się pewne partie jaskiń. Istnieć musiało wówczas (tzn. w preglacjale) obniżenie na terenie Doliny Jaworzynki. Dzięki temu przesunęły się północne partie Jaskini Magurskiej. Jaskinie Kalacka i Goryczkowa mimo to, że znajdują się zaledwie 40-60 m nad dnem dolin, pochodzą zapewne z preglacjału.

Odrębną grupę stanowią przesunięcia równoległe do osi dolin w Dolinie Miętusiej (np. Jaskinia Miętusia), w Wąwozie Kraków (Jaskinia pod Okapem) i nad Halą Pisaną (Jaskinia Raptawicka, Mylna, Poszukiwaczy Skarbów i inne). Przesunięcia w tych jaskiniach są bardzo młode, a w wielu przypadkach są młodsze od ostatniego interglacjału (Jaskinia Raptawicka). Przesunięcia w Jaskini Miętusiej i Raptawickiej skierowane są poprzecznie do biegu warstw wapieni malmo-neokomu. Wydaje się, że

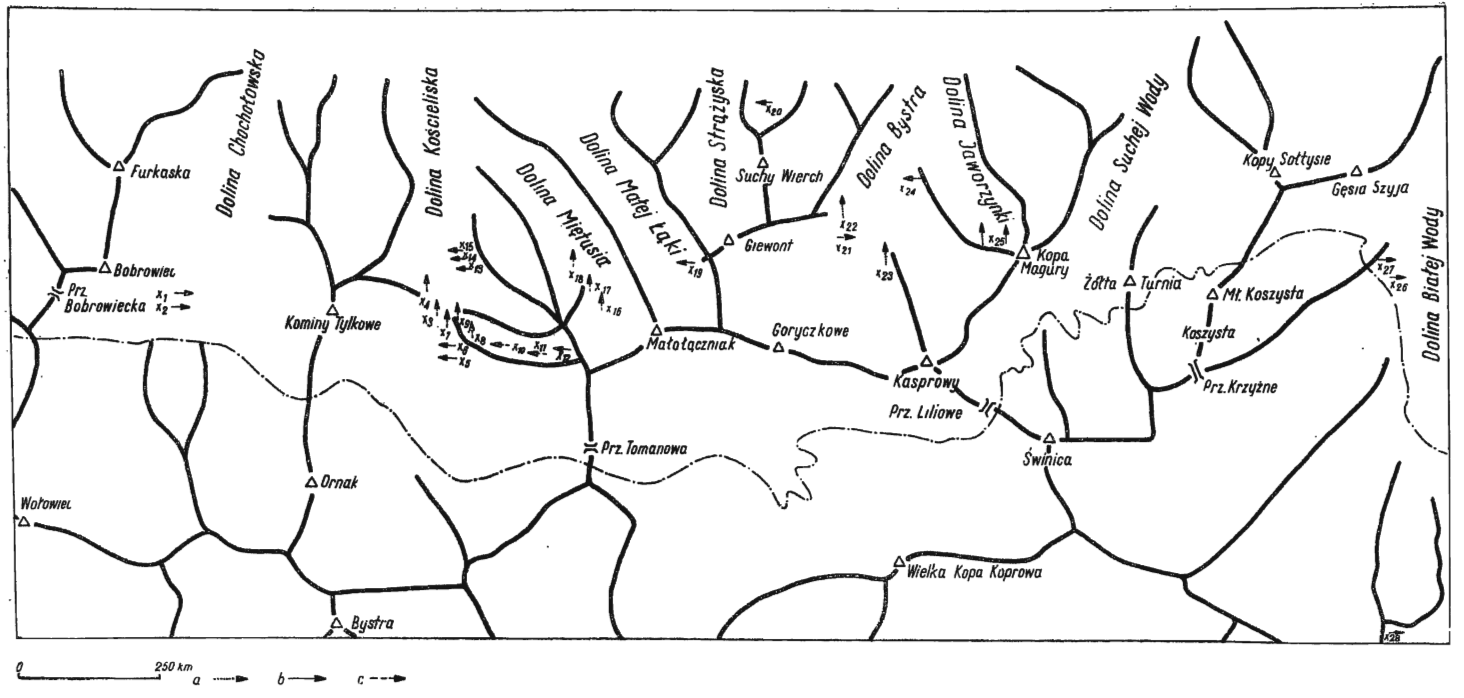

Fig. 7

Mapka rozmieszczenia jaskiń

a przesunięcia na zboczach dolin preglacjalnych, b przesunięcia w dolinach młodoplejstoceńskich i współczesnych, *c* przesunięcia uzależnione od zmiany naprężeń w elewacjach i depresjach tektonicznych. Widoczna jest linia odgraniczająca trzon krystaliczny Tatr (na południu) od serii osadowych (na północy). Strzałki oznaczają kierunki przesunięć.

Jaskinie: *1* Szczelina Chochołowska, *2* Kamienne Mleko, *3* Mylna, *4* Raptawicka, *5* Przeziorowa, *6* Za Smrekiem, *7* Ziobrowa, *8* Groby, *9* Poszukiwaczy Skarbów, *10* Pod Okapem, *11* Za Siedmioma Progami, *12* Lodowa, *13* Zimna, *14* Zbójnickie Oko Niżne, *15* Mroźna, *16* Piwnica Miętusia, *17* Miętusia, *18* Miętusia Wyżnia, *19* Śpiących Rycerzy, *20* Dziura Wyżnia, *21* Bystra, *22* Kalacka, *23* Goryczkowa, *24* Kasprowa Niżna, *25* Magurska, *26* Wołoszyńska Wyżnia, *27* Wołoszyńska Niżna, *28* Tomkowa

Situation sketch map of caves

a displacements on slopes of preglacial valleys, *b* displacements in Young-Pleistocene and Recent valleys, *c* displacements dependent on strain alterations in tectonic elevations and depressions. Visible line delimiting the crystalline core of the Tatra Mountains (on the south) from sedimentary series (on the north). Displacement trends indicated by arrows. 1—28 names of caves.

genetycznie wiążą się one ze zmianą naprężeń na zboczach depresji i elewacji. Przesunięcia tego typu występują bowiem w zachodnich partiach depresji Goryczkowej, bądź na zboczach elewacji Ornaku. Północne zbocza Żaru i Raptawickiej Turni są silnie podcięte, co nie może pozostać bez wpływu na powstawanie przesunięć, zwłaszcza że wapienie malmonekomu, z których zbudowane są te turnie, w południowej części mają upady skierowane pod kątem ok. 60° na północ, a w części północnej upady są pionowe. Taki układ sprzyja powstaniu napięć, w których efekcie powstały pęknięcia i przesunięcia.

WNIOSKI

Tatry, a wraz z nimi tutejsze jaskinie biorą udział w intensywnych ruchach tektonicznych, które trwały nie tylko w neogenie lecz również w plejstocenie i holocenie. Analiza form tektonicznych w morfologii jaskiń pozwoliła stwierdzić, że mamy do czynienia z różnego rodzaju i różnego wieku przesunięciami tektonicznymi, w których konsekwencji powstały deformacje nieciągłe oraz większość zawalisk.

Przesunięcia stwierdzono niemal we wszystkich jaskiniach tatrzańskich (fig. 7). Występują one w partiach przejściowo zalewanych przez wodę (Jaskinia Bystra), w jaskiniach o stosunkowo dobrze zachowanych formach morfologicznych stadium pierwotnego (Jaskinia Kalacka, Goryczkowa, Mroźna) oraz jaskiniach o doskonale rozwiniętych formach morfologicznych, powstałych wskutek erozji podziemnych potoków (Jaskinia Magurska i Miętusia). W wielu przypadkach płaszczyzny przesunięć tektonicznych tną formy powstałe w okresie hydrodynamicznego rozwoju jaskini i późnej formy erozji, jak np. kotły wirowe, zagłębienia wirowe, nisze meandrowe itp. Dzięki temu, obok danych paleontologicznych, przesłanki morfologiczne pozwalają określić wiek niektórych przesunięć tektonicznych.

Przesunięcia przywiązane są w większości do płaszczyzn o kierunku N-S (starsze) i W-E (młodsze). W Jaskini Miętusiej równoleżnikowe płaszczyzny tną pęknięcia o kierunku N-S.

W oparciu o znaleziska szkieletów niedźwiedzi jaskiniowych stwierdzono, że niektóre zawaliska powstały przed ostatnim interglacjałem (Jaskinia Magurska-Komora Dolna), inne natomiast po okresie międzylodowcowym (Jaskinia Raptawicka, Jaskinia Poszukiwaczy Skarbów).

Prawie wszystkie zawaliska w jaskiniach tatrzańskich związane są z aktywnością tektoniczną górotworu tatrzańskiego. Najsilniej ruchy te zaznaczają się w utworach serii wierchowej. Słabiej procesy te obserwować możemy w wapieniach reglowych, gdzie zresztą jaskiń jest niewiele.

Przesunięcia w jaskiniach tatrzańskich w większości przypadków skierowane są do dolin, na których zboczach występują omawiane jaskinie. Bezpośrednią przyczyną powstania napięć i pęknięć jest zmiana układu naprężeń wskutek tworzenia się głębokich dolin. Bodźcem do powstania przesunięć, wyzwalających te naprężenia są trzęsienia ziemi.

Przesunięcia równoległe do dolin współczesnych powstały na zboczach inaczej przebiegających dolin preglacjalnych (Jaskinia Kalacka i Goryczkowa), lub wskutek zmiany naprężeń na zboczach depresji i elewacji gmachu tatrzańskiego (Jaskinia Miętusia). Dodatkowym impulsem do powstania przesunięć w Jaskini Raptawickiej były strome upady warstw oraz prawie pionowe kształty Raptawickiej Turni.

Dalsze prace prowadzone nad morfotektoniką jaskiń pozwolą rozpoznać ruchy tektoniczne wznoszące Tatry, oraz trzęsienia ziemi, w których efekcie powstały przesunięcia tektoniczne w jaskiniach. Do rozstrzygnięcia tych problemów w dużym stopniu mógłby przyczynić się sejsmograf, zainstalowany w jednej z jaskiń.

Warszawa — Zakopane
w grudniu 1958

LITERATURA CYTOWANA

ARNBERGER E. 1951. Neue Forschungen in die Dachstein-Mammuthöhle. — Höhle, Ztschr. f. Karst, u. Höhlenkunde, Jh. 2, H. 3. Wien.

BÖGLI A. 1956. Grundformen von Karsthöhlenquerschnitten. — Stalactite, vol. 6, no. 3.

KOTAŃSKI Z. 1958. Preglacjalne i interglacjalne osady w Tatrach (Preglacial and interglacial deposits in the Tatra Mts.). — Acta Geol. Pol., vol. VIII/2. Warszawa.

— 1959. Profile stratygraficzne serii wierchowej Tatr Polskich. *W:* Z badań geologicznych wykonanych w Tatrach, t. IV (Stratigraphical sections of high-tatric in the Polish Tatra Mts. *In:* From geological researches in the Tatra Mts., vol. IV). — Biul. I. G. (Bull. Inst. Géol. Pol.) 139. Warszawa.

KOWALSKI K. 1953. Jaskinie Polski (Les cavernes de la Pologne). Warszawa.

LEFELD J. 1957. Budowa geologiczna Zawratu Kasprowego i Kopy Magury (Geology of the Zawrat Kasprowy and Kopa Magury — Tatra Mts.). — Acta Geol. Pol., vol. VII/3. Warszawa.

PASSENDORFER E. 1951. Z zagadnień transgresji eocenu w Tatrach (Sur les problèmes de la transgression éocène dans la Tatra). — Rocz. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. XXII. Kraków.

— 1954. Jak powstały Tatry. Wydanie III. Wyd. Geol. Warszawa.

RABOWSKI F. 1955. Mapa geologiczna serii wierchowej Tatr Polskich (Carte géologique de la serie haut-tatric de la Tatra Polonaise). Wyd. Geol. Warszawa.

RUDNICKI J. 1958a. Kilka uwag o rozwoju jaskiń w Dolinie Kościeliskiej i Miętusiej (Some remarks about the development of caverns in Kościeliska and Miętusia valleys, Tatra Mts.). — Przegląd Geol. nr 3. Warszawa.

— 1958b. Geneza jaskiń systemu Lodowego Źródła i ich związek z rozwojem Doliny Kościeliskiej (The genetics of caves in the Lodowe Źródło cavernous system and their relationship with the Kościeliska Valley in the Tatra Mts.). — Acta Geol. Pol., vol. VIII/2. Warszawa.

RYZIEWICZ Z. 1957. Szkielet niedźwiedzia jaskiniowego *Ursus Spelaeus* Rosenmüller z jaskini pod Kopą Magury, Tatry (Skeleton of a cave bear *Ursus spelaeus* Rosenmüller from a cave under the Mount Kopa Magury in the Tatra, Poland). — Acta Pal. Pol., vol. II/2-3. Warszawa.

SOKOŁOWSKI S. 1936. Wantule („Wantule" dans les Tatras). — Ochrona Przyrody, R. XVI. Kraków.

WÓJCIK Z. 1957a. Uwagi w sprawie geologii Jaskini Magurskiej (Remarks on the geology of Jaskinia Magurska, cavern in Tatra Mts.). — Przegląd Geol. nr 4. Warszawa.

— 1957b. Z grotołazami w Jaskini Miętusiej, sprawozdanie z wyprawy. — Ibidem, nr 5.

— 1958a. Nowe stanowisko szczątków niedźwiedzia jaskiniowego w Tatrach. — Biul. Tow. Miłośników Nauk o Ziemi, nr 1. Warszawa.

— 1958b. Dziwy Jaskini Studnisko. — Wszechświat, nr 9. Kraków.

ZIRKEL E. J. 1955. Zur Entstehung von Höhlenraumen mit Rechteck oder Karsten profil. — Höhle, Ztschr. f. Karst u. Höhlenkunde, Jh. 6, H. 2. Wien.

ZWOLIŃSKI S. 1949. Badania speleologiczne w Tatrach. — Wierchy, vol. XIX. Kraków.

— 1950. Badania speleologiczne w Tatrach. — Ibidem, vol. XX.

— 1955. Tatrzański rejon jaskiniowy (La région des cavernes de Tatras). — Światowit, t. XXI. Warszawa.

З. ВУЙЦИК и С. ЗВОЛИНЬСКИ

МОЛОДЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ТАТРАНСКИХ ПЕЩЕРАХ

(Резюме)

В третичном и четвертичном периодах татранский массив несколько раз подвергался поднятию (Kotański 1958). Всякий раз это поднятие доходило до 100 м.

В последнее время геологические исследования велись в пещерах встречающихся в известняках мальмо-неокома верхнетатранской (верховой) серии. Они позволили констатировать, что татранский массив подвергался также интенсивным тектоническим движениям. В морфологии пещер это проявлялось возникновением многочисленных перемещений и обвалов.

В Магурской Пещере (фиг. 1) так называемый Сталактитовый Корридор был наискось перерезан плоскостью тектонической трещины (фиг. 1). Верхняя партия корридора, по отношению к нижней, передвинулась в северном направлении на 5-8 см. На отмеченной на кро-

вле плоскости перемещения выросли натеки 15-20 см длины. В другом месте этой пещеры в Дольной Коморе плоскость трещины перерезала ее западную часть. Восточная часть пещеры была передвинута в северном направлении на ок. 10 см. Западная часть оказалась перемещенной вниз на 3 м. На провале, который связан с этим перемещением, найдено несколько почти комплектных скелетов пещерного медведя, которые датируют возраст перемещения на последний интергляциал или даже более древние времена.

К наиболее интересным примерам следует отнести сдвиги в Каляцкой Пещере, где небольшой корридор был в двух местах раздвинут (фиг. 4). Вследствие трещин, образовавшихся в направлениях север-юг либо юго-запад — северо-восток, одна часть корридора по отношению к другой была передвинута на 3 м. Как правило, этим движениям сопутствовало поднятие корридоров, находящихся на запад от плоскостей тектонических трещин. Это поднятие не превысило 3 м. При обоих сдвигах образовались тектонические провалы.

Наиболее богатый материал, касающийся молодых тектонических перемещений, находится в Пещере Ментусей (фиг. 5). Здесь встречается несколько генераций тектонических сдвигов. Наиболее старые сдвиги, встречающиеся в самой древней плиоценовой части пещеры, связаны с плоскостями разных направлений, отличались очень большим масштабом. Образовались, между прочим, большие плоскости тектонических зеркал. Из них самые большие покрывают с северной стороны Зеркальный Зал (фиг. 5). В известняках, ограничивающих это зеркало с юга, образовались брекчии и тектонические конгломераты (фиг. 6). Поверхность такого зеркала перерезана поперечным сбросом в направлении север-юг. Этот сброс раздвигает одну часть Зеркального Зала по отношению к другой на 2,5 м. На основании величины натеков, возраст этого сдвига составляет свыше около 10 тысяч лет.

На перемещении по направлению север-юг в Пещере Ментусей накладываются смещения по направлению запад-восток, видимые лучше всего в Главном Корридоре, где южная часть полудуги пещеры, по отношению к северной части, понизилась на ок. 20 см. Эти последние перемещения имели место, по всей вероятности, уже в голоцене, так как они встречаются в местах, периодически заливаемых водой.

Значительно старшими являются смещения в Пещере Мрозьной, где вследствие тектонических движений, вся западная часть пещеры, составляющая почти 500 м длины, была смещена на ок. 0,5 м. Натеки, выступающие на плоскостях сдвигов свидетельствуют, что возраст этих движений не молодой.

К найболее интересным принадлежат также смещения в Пещере Раптавицкой, где образовавшиеся при этом обвалы покрыли пещерный нанос вместе со скелетами пещерных медведей.

Смещения в татранских пещерах, в большинстве случачев, направлены к долинам, на склонах которых встречаются упомянутые пещеры. Непосредственной причиной образования поверхностных напряжений и трещин является изменение системы напряжений вследствие образования глубоких долин. Стимулом к образованию смещений являются сейсмические волны, так как Татры, Внешние Карпаты, а даже окрестности Кракова находятся в зоне их действия.

В пещерах Горичковой и Каляцкой (фиг. 7) эти смещения параллельны современным долинам. Констатировано, что они образовались на склонах прегляциальных долин, которые в этом месте имели пробег запад-восток. Смещения в Пещерах Ментусей, Под Окапом и Раптавицкой молодо-плейстоценского и голоценского возраста связаны с изменением напряжений на склонах элеваций и депрессий татранского сооружения. На образование в большой степени имело влияние также падение слоев, направленное в сторону морфологических обнижений.

Все вышеописанные смещения принимали активное участие в формировании современной морфологии пещер.

Z. WÓJCIK & S. ZWOLIŃSKI

YOUNG TECTONIC DISPLACEMENT IN THE TATRA CAVES

(Summary)

ABSTRACT: In the limestone Tatra caves of the high-tatric series the occurrence has been noted of tectonic displacements. They are responsible for the enlargement of some cave conduits and chambers formed during the phreatic episode, thus bringing about the formation of tectonic chambers and rockfalls. The older displacement planes are with a N-S direction, the younger trend SW-NE or W-E. The displacements in the Magura Cave has been formed prior to the last interglacial period, those of the Raptawicka and Poszukiwaczy Skarbów Caves after it. Displacements in other caves are still younger. These have been formed in the sides of preglacial valleys of Pleistocene and Holocene age. Changes in the strain pattern, due to deep incision of valleys, are the direct cause of fractures in the rock massifs, while seismic forces have brought about the occurrence of displacements.

Research work undertaken on caves of the limestone massifs in the high-tatric series of the Polish Tatra Mountains has shown them to be arranged on three distinct levels (Rudnicki 1958) correlating with periods of checked valley erosion. Periods of intensified erosion correlate

with deep valley incision, each accompanied by an approximately 100 m upheaval of the Tatra surface (Kotański 1958). These movements occurred during the Tertiary and Pleistocene.

On evidence of recent observations in caves within Malm or Malm-Neocomian limestones of the high-tatric series it has been ascertained that the Tatra massif had been within the reach of Pleistocene- possibly also Holocene tectonic activities. These movements are responsible for tectonic displacements not exceeding 10 m, accompanied by tectonic rockfalls.

The here discussed materials have been collected from caves in the Polish Tatra territory.

In the Magura Cave (fig. 1), well known owing to its rich fauna of the last interglacial period, distinct displacements have been observed in the Stalactite Corridor (Korytarz Stalaktytowy) as well as in the Lower Chamber (Komora Dolna). The Stalactite Corridor obliquely cuts the plane of tectonic fracture with a direction of about 90° and a dip of about 70° (fig. 2). The displacement here occurred along this fracture plane involving the upper courses of the conduit which has been shifted about 5-8 cm northwards. Thick calcareous incrustations, coating the conduit walls prior to the displacement, have broken up to produce a talus of flowstone blocks at the bottom of and along the sides of the cave walls. New stalactites, up to 15-20 cm in length, have formed in the top on the displacement surface.

A major tectonic rockfall has heaped up in the Lower Chamber of the Magura Cave owing to the shifting of the eastern periphery of the Chamber about 10 m to the north in relation to the western end, and to a 10 m subsidence of the latter. Several nearly complete skeletons of *Ursus spelaeus* Rosenmüller (Ryziewicz 1957) have been discovered there, dating the displacements in this cave to the last interglacial, possibly even to a somewhat earlier time.

In the Kalacka Cave displacements are readily discernible in two places of the master conduit. The first is about 50 m from the entrance. Here, due to tectonic movements, a number of parallel fracture planes has developed, trending N-S across the corridor (fig. 4). Movements responsible for tension of mountain massifs have caused a major tectonic fissure, while the fissure-like corridor adjoining it on the west has been shifted to the north being at the same time raised by about 3 m. At another site (about 150 m from the entrance) a narrow side conduit, exhibiting phreatic morphology over a distance of 20 m, has been formed by the zone of strong tectonic displacements. This small corridor is cut by numerous SW-NE planes over which the lower part of the master conduit has been shifted about 3 m northwards. At the same time the

western end of a tectonic chamber formed by this displacement has been raised 3 m to produce a small horst.

The displacements occuring in the Miętusia Cave are those most complicated. They are encountered nearly all over the cave. Owing to lack of palaeontological evidence they cannot be accurately dated. It is supposed that the oldest displacements are referable to the Tertiary, since that part of the cave where they are noted is of Pliocene age. The younger displacements probably occurred during the late Pleistocene or the Holocene. The oldest ones are observable in the Mirror Chamber (Sala Lustrzana) (fig. 5) which is covered on the north by a tectonic slickenside formed on a bedding plane fissure. The strength of the displacement force was so great as to bring about the formation of breccias and even tectonic conglomerates within limestones, on the south adjacent to the slickenslide plane. Tectonic displacement planes of the oldest generation have various trends. Those of the younger generation are associated with the N-S joints. In the Mirror Chamber displacements of this generation transversely cut the slickenside surface, altering by 2.5 m the relation of the eastern end of the Chamber to the western. On the lenght of the dripstones here the age of these displacements may be roughly estimated at about ten thousand years. This is the pattern of joints prevailing in the Miętusia Cave. It is the rule there that tectonic rockfall chambers are formed at the crossing of two tectonic displacements planes. The largest rockfalls occur in the uppermost, i.e. the oldest parts of the cave. Their age may be associated with that of the popularly known rockfall of Wantule, formed towards the close of the Pleistocene.

The youngest of the Miętusia Cave displacements stretch along the bedding plane of E-W fractures, similarly as some of the oldest displacements. They cut transversely the second generation of tectonic displacements, and are notably smaller, as a rule not exceeding 30 cm. In the Miętusia Cave they are encountered frequently, being most readily discernible in the master conduit (fig. 5) where the southern portion of the semi-arched conduit has been depressed about 20 cm in relation to the northern part. These displacements occur in parts of the conduit even now inundated by intermittent flood water, which suggests their assignment to the late Pleistocene or possibly the Holocene.

The tectonic displacements in the Mroźna Jaskinia Cave may be dated with better accuracy. This cave has been formed on the tectonic N-S fracture plane and stretches along this plane over nearly 500 m. The displacement occurred along this plane involving the whole western portion of the cave whose floor has been depressed about 0.5 m in rela-

tion to that of the eastern portion. During this displacement the old flowstone coating fell down. New flowstones have developed here with a lenght of up to 20 cm.

The tectonic N-S displacements in the Raptawicka Cave belong to the most interesting ones. Tectonic rockfalls there, for which these movements are responsible, were heaped on the arenaceous slime of the cave burying in it the bone remains of a cave bear. The age of this displacement is, therefore, younger than the last interglacial.

Tectonic forces have carved the sculpture of Recent cave relief, particularly so in juvenile mountain chains, not only in the initial period of cave formation — as stated by Bögli (1956) — but in the phreatic and vadose episodes too. In many of the Tatra caves tectonic displacements participated in carving out their present relief subsequent to the development of cave deposits in their siphonal depressions at the close of the phreatic episode (Kalacka and Mroźna caves). In other caves (Magura, Miętusia, Raptawicka caves) tectonic displacements have altered cave relief during the vadose episode. In many cases tectonic displacement planes cut erosional forms which were shaped in the phreatic and vadose episodes, such as potholes, flutes, meander niches et caetera. Thus, some of the tectonic displacements may be dated not on palaeontological evidence only, but additionally on morphological suggestions too.

In the majority of the Tatra caves displacements are directed towards the valleys which they accompany. Modifications in the strain pattern due to the incision of deep valleys are directly responsible for the formation of fractures. Seismic forces bring about displacements — since the Tatra Mountains, the Outer Carpathians and even the Kraków region are situated within the range of their activities.

In the Goryczkowa and Kalacka caves (fig. 7) displacements run parallel to Recent valleys. It has been ascertained that they were formed on slopes of preglacial valleys here directed E-W. Displacements in the caves of Miętusia, Pod Okapem and Raptawicka, of younger Pleistocene and Holocene age, are associated with the modified strain pattern in tectonic elevations and depressions, due to strong results of erosion in the Goryczkowa depression. The dip of beds trending towards morphological depressions has likewise played an important role in the occurrence of these displacements.

Warszawa—Zakopane
December 1958

OBJAŚNIENIA DO PLANSZ XXIX-XXXII

DESCRIPTION OF PLATES XXIX-XXXII

PL. XXIX

Fig. 1

Jaskinia Magurska. Kości niedźwiedzia jaskiniowego na zawalisku Dolnej Komory *Fot. S. Zwoliński*

Magura Cave. Bones of cave bear on the "Dolna Komora" rockfall

Fig. 2

Przesunięcia na ścianie Jaskini Kalackiej. Jedna płaszczyzna przecina kocioł wirowy *Fot. Z. Wójcik*

Displacement on Kalacka Cave wall. One of the planes cuts across the pot-hole

PL. XXX

Fig. 1

Jaskinia Miętusia. Przesunięcie w stropie korytarza przed Syfonem Zwolińskich *Fot. S. Zwoliński*

Miętusia Cave. Discplacement in upper side of corridor in front of the Zwoliński Siphon

Fig. 2

Jaskinia Miętusia. Przesunięcie tektoniczne nad jeziorkiem przy Sali bez Stropu *Fot. S. Zwoliński*

Miętusia Cave. Tectonic displacement at the pond near Sala bez Stropu Chamber

PL. XXXI

Fig. 1

Jaskinia Miętusia. Sala pochodzenia tektonicznego w Zawaliskach Miętusiańskich *Fot. Z. Małek*

Miętusia Cave. Chamber of tectonic origin in Zawaliska Miętusiańskie

Fig. 2

Jaskinia Miętusia. Kamienny Las *Fot. Z. Małek*

Miętusia Cave. "The Stone Forest" (Kamienny Las)

PL. XXXII

Fig. 1

Jaskinia Miętusia. Przesunięcia tektoniczne w korytarzyku pod Progiem Męczenników *Fot. Z. Małek*

Miętusia Cave. Tectonical displacement in corridor "Pod Progiem Męczenników"

Fig. 2

Jaskinia pod Okapem. Przesunięcia przy wejściu do jaskini *Fot. Z. Wójcik*

Pod Okapem Cave. Displacement at the entrance of cave

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 2

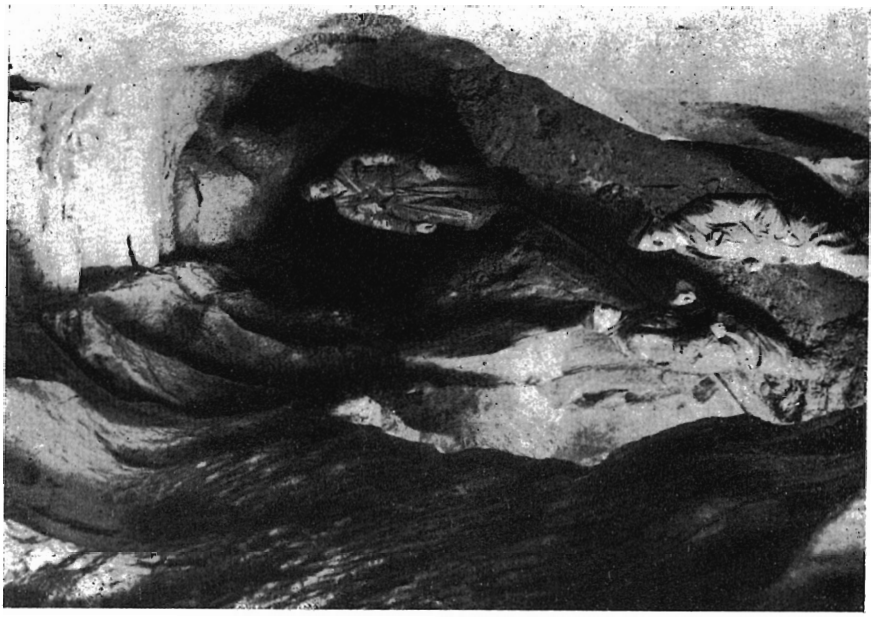

Fig. 1

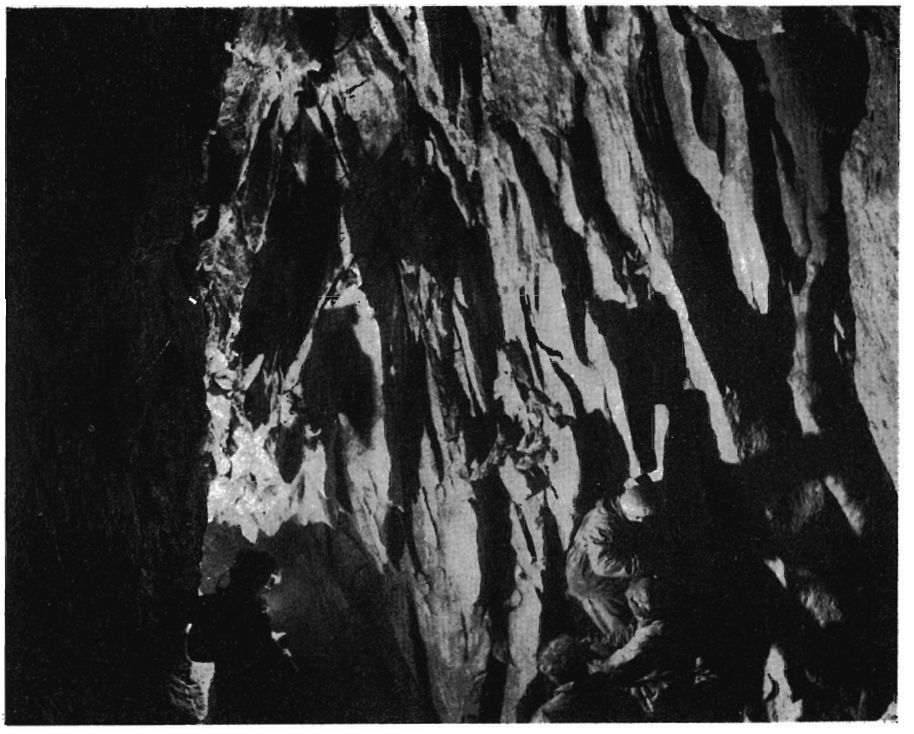

Fig. 1

Fig. 2

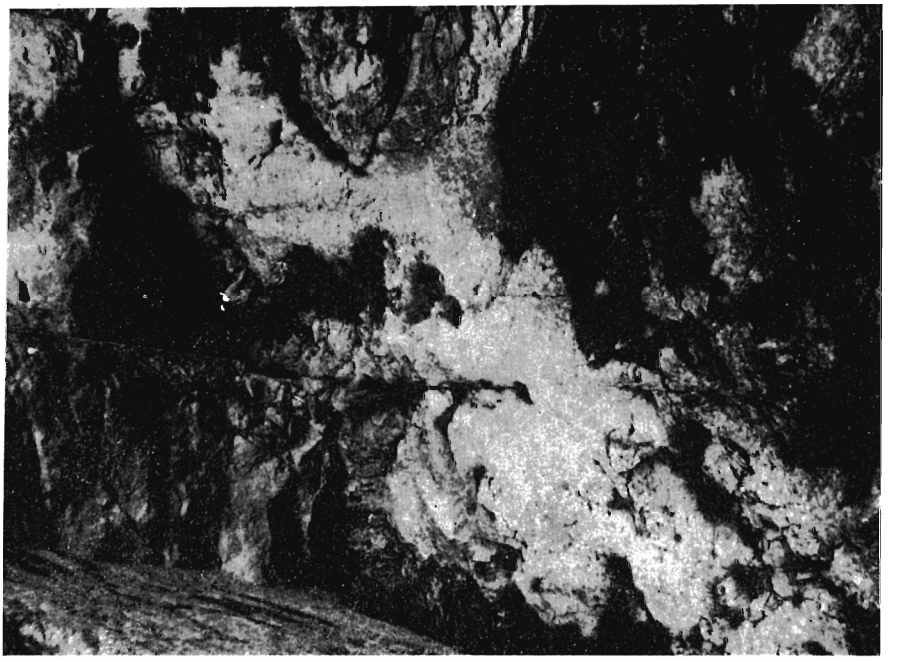

Fig. 2

Fig. 1