

JAN RUDNICKI

## Geneza jaskiń systemu Lodowego Źródła i ich związek z rozwojem Doliny Kościeliskiej

**STRESZCZENIE:** Opisane są erozyjne formy krasowe w jaskiniach Tatr Zachodnich w rejonie Doliny Kościeliskiej. Wyróżnione zostały formy z okresu cyrkulacji hydrodynamicznej i grawitacyjnej. Jaskinie układają się w trzy poziomy związane ze zmianami zwierciadła wód podziemnych, spowodowanymi ruchami w trzeciorzędzie lub czwartorzędowymi zmianami klimatycznymi.

### WSTĘP

Praca niniejsza stanowi próbę przedstawienia genezy jaskiń systemu Lodowego Źródła na podstawie morfologii tych jaskiń i analizy form w nich występujących. Badania nad genezą i rozwojem jaskiń polskich nie były w zasadzie dotąd prowadzone, dlatego też przy opracowywaniu tego tematu natrafiłem na znaczne trudności. Dotkliwie daje się odczuć brak polskiej literatury z zakresu krasu jak również bardzo wąski zasób terminów, stosowanych zresztą nie zawsze ściśle. W pracy niniejszej oparłem się przede wszystkim na literaturze anglosaskiej, ta bowiem literatura posiada najwięcej prac dotyczących genezy krasu opartych nie tylko na opisie morfologii obszaru krasowego, lecz również na podstawie badania samych jaskiń. Sposób zbierania materiałów w terenie, ze względu na specyficzne warunki istniejące w jaskiniach, odbiega daleko od sposobu normalnych opracowań geologicznych. Większe jaskinie tatrzańskie, takie jak Miętusia i Zimna, dostępne są w całości jedynie w okresie zimowym. Trudności związane są z dużymi deniwelacjami jakie występują w jaskiniach, jak również, z obecnością jeziorok i syfonów, które można pokonać tylko dużą grupą osób. Dlatego też badanie tych groć musiałem ograniczyć do wypraw organizowanych przez Warszawską Sekcję Taternictwa Jaskiniowego, P. T. T. K.

Pracę nad zbieraniem materiału w jaskiniach tatrzańskich rozpocząłem w 1955 r. podczas pierwszej bytności w jaskiniach Zimnej i Miętusiej. Kontynuowanie badań w Jaskini Miętusiej umożliwiły mi wy-

prawy organizowane przez Warszawską Sekcję Tatarnictwa Jaskiniowego P. T. T. K. Nie licząc krótkich wypadów sekcja zorganizowała 4 duże wyprawy: w styczniu i marcu 1956 roku (wyprawy MW-1 i MW-2) oraz w styczniu i lutym 1957 (wyprawy MW-3 i MW-4). W wyniku tych wypraw odkryto ponad tysiąc metrów nowych korytarzy bardzo ciekawych pod względem geologicznym. W czasie wypraw do Jaskini Miętusiej przebywałem w niej w sumie ponad trzy tygodnie. Jaskinia Zimna jest mi znana jedynie z 5 dorywczo organizowanych jednodobowych wypraw. Inne jaskinie tego rejonu są łatwo dostępne.

Pragnę podziękować Panu Profesorowi E. Passendorferowi za zainteresowanie i opiekę podczas pisania niniejszej pracy. W czasie wykonywania tej pracy korzystałem również z cennych dla mnie uwag kand. nauk Z. Kotańskiego — za co składam mu podziękowanie. Chcę również podziękować kolegom z Warszawskiej Sekcji Tatarnictwa Jaskiniowego, bez ich bowiem udziału zbadanie całości Jaskini Miętusiej i Zimnej byłoby niemożliwe.

#### TERMINOLOGIA I PODSTAWOWE DANE O EWOLUCJI JASKIŃ

Sprawa terminologii z zakresu geologii jaskiń nie jest do chwili obecnej uporządkowana. Z dużej ilości stosowanych terminów ograniczę się tutaj do sprecyzowania jedynie najważniejszych.

Olbrzymia różnorodność form krasowych, rozmaicie przebiegające procesy w specjalnych (niekiedy niemożliwych do bezpośredniego zbadania) warunkach, nadzwyczaj utrudniają rozwiązanie problemów powstawania i ewolucji jaskiń. Pomimo iż upłynęło 50 lat od chwili zapoczątkowania badań nad genezą jaskiń przez Grunda i Katzera (fide Ryzikov 1954), do tej chwili problem ten nie jest jeszcze całkowicie rozwiązany. Nie będę tutaj omawiał rozwoju poglądów na genezę krasu i jego hydrografię. Ponieważ jednak specjalistyczna literatura geologiczno-speleologiczna jest w Polsce w zasadzie nieznana, ograniczę się do krótkiego podsumowania nowszych poglądów zawartych w pracach wielu autorów od W. M. Davisa aż do współczesnych prac J. H. Bretza, A. C. Swinnertona i A. Bögliego.

W dobrze rozwiniętym obszarze krasowym zbudowanym z jednolitego masywnego wapienia z wyraźnie zaznaczonymi płaszczyznami ciosowymi, możemy wyróżnić trzy strefy w odrębny sposób wpływające na rozwój jaskiń. Są to strefy: cyrkulacji hydrodynamicznej (*phreatic* — Bretz 1941), która leży poniżej zwierciadła wód podziemnych i cyrkulacji grawitacyjnej (*vadose* — Davis 1930), która leży powyżej zwierciadła wód podziemnych. Pomiedzy nimi istnieje strefa pośrednia, która leży w zasięgu wahań wód podziemnych. Im lepiej rozwinięty będzie system cyr-

kulacji, tym cieńsza będzie strefa przejściowa. Zwierciadło wód podziemnych rozdziela strefę nasycenia od strefy aeracji i przebiega przez punkt wypływu wody na powierzchnię; wewnątrz masywu podnosi się ku górze, jednakże im lepiej rozwinięty jest system cyrkulacji, tym bardziej zbliża się ono do poziomej płaszczyzny. Miejsce wypływu wód na powierzchni będzie zależało od szybkości wcinania się doliny. Jeśli postępuje ono szybciej niż rozwój podziemnego systemu cyrkulacji, wypływ leży na zboczu doliny, i odwrotnie — gdy system podziemnej cyrkulacji rozwija się szybciej niż pogłębianie doliny, punkt wypływu będzie zazwyczaj leżał w jej dnie.

Rozwój systemu podziemnego jest zależny od strefy, w której się on rozwija. Powstające powyżej poziomu wód korytarze doprowadzają wodę opadową do strefy nasycenia. W związku z tym charakteryzują się one dużą deniwelacją i stałym nachyleniem. Jednakże taki podział byłby wielkim uproszczeniem, gdyż partie, które obecnie leżą powyżej zwierciadła wód podziemnych, dawniej tworzyły się w strefie nasycenia, a dopiero w miarę ewolucji doliny znalazły się w strefie aeracji. Dlatego też wody grawitacyjne wykorzystują dawne próżnie powstałe po cyrkulacji w strefie nasycenia i przekształcają je, przystosowując do nowych warunków. System korytarzy leżący poniżej zwierciadła wód podziemnych, w strefie nasycenia, cechuje się chaotycznym przebiegiem korytarzy uzależnionym tylko od przebiegu stref łatwiej rozpuszczalnych i bardziej spękanych; korytarze mogą się tu łączyć i rozgałęziać, mają poza tym bardzo zmienne nachylenie, tworząc często syfony.

W początkowym okresie rozwoju woda przedostaje się drobnymi szczelinami do licznych miejsc wypływu wody na powierzchnię. Taki pierwotny szczelinowy system cyrkulacji posiada silnie zróżnicowany relief zwierciadła wód podziemnych. Szybkość cyrkulacji wody w tym okresie jest znikoma, a głównym procesem powodującym powiększanie szczelin jest rozpuszczanie w warunkach niemal całkowitej stagnacji. Powiększone przez rozpuszczanie szczeliny stworzą pierwotny system cyrkulacji wody. Przepływająca pod ciśnieniem woda wytwarza skomplikowane systemy drobnych kanałów o niewielkich dochodzących do 50 cm średnicach; są to rury krasowe (*tubes* — Bretz 1941). Wzdłuż nich zachodzi całkowita pierwotna cyrkulacja wody. Jak wykazały prace eksperymentalne C. Kaye'go (1957), suma rozpuszczonego węglanu wapnia jest wprost proporcjonalna do szybkości przepływu wody. A więc wzdłuż kierunków, gdzie zachodzi najsilniejszy przepływ, będzie następowała najsilniejsza erozja. Doprowadza to do dominacji pewnych określonych systemów rur krasowych. Systemy te rozwijają się znacznie szybciej, ulegają największemu poszerzeniu i przejmują stopniowo całą cyrkulację wód na siebie.

W ten sposób poniżej zwierciadła wód podziemnych wytworzy się skoncentrowany strumień wody (*subwater table stream* — Bretz 1941), który w wyniku dużego przepływu i silnej erozji, zarówno chemicznej jak i mechanicznej wytworzy dobrze określony główny korytarz (*master conduit* — Rhoades 1941) (pl. XXVI). Jest rzeczą oczywistą, że silnie rozwinięty system odwodnienia będzie powodował obniżenie się poziomu wód gruntowych. Jest prawdopodobne, że gdy rozwój doliny zachodzi stosunkowo wolno, system podziemnego drenażu rozwinię się tak silnie, że zwierciadło wód podziemnych opadnie aż do poziomu głównego korytarza. Stadium to odpowiadać będzie faktom stwierdzonym przez A. C. Swinnertona (1931) w jaskiniach na Bermudach, gdzie największy przepływ wód występuje nie poniżej, lecz właśnie przy powierzchni wód podziemnych. W ten sposób przez silne rozwinięcie systemu podziemnego drenażu następuje obniżenie zwierciadła wód i przekształcenie przepływu w całej strefie nasycenia na przepływ przy powierzchni wód podziemnych.

W terenach jednak o szybko rozwijających się dolinach, do jakich niewątpliwie trzeba zaliczyć Tatry, nie należy się spodziewać wytworzenia się tak rozwiniętego systemu odwodnienia, gdyż zanim system taki ulegnie wytworzeniu, erozja doliny postąpi znacznie naprzód i cyrkulacja przeniesie się na niższy poziom.

#### OPIS FORM TYPOWYCH DLA POSZCZEGÓLNYCH OKRESÓW ROZWOJU JASKIŃ

Przy określaniu genezy jaskiń konieczne jest odtworzenie zmian warunków hydrologicznych i odtworzenie różnych sposobów cyrkulacji przez jakie te jaskinie przechodziły. Określenie sposobu cyrkulacji wody jest niejednokrotnie możliwe w oparciu o analizę specyficznych form morfologicznych, występujących w jaskiniach. Wśród form erozyjnych w jaskiniach wyróżnia się trzy grupy:

1. formy wskazujące kierunek przepływu wody,
2. formy świadczące o warunkach hydrostatycznych lub hydrodynamicznych poniżej zwierciadła wód podziemnych,
3. formy świadczące o swobodnym przepływie pod wpływem grawitacji.

#### *Formy wskazujące kierunek przepływu wody*

Do grupy tej będą należały dwa rodzaje form — zagłębienia wirowe i kotły wirowe. Są to formy pokrewne sobie i należące do tej samej grupy form utworzonych na skutek działania wirów.

Zagłębienia wirowe (*flutes*). — Kształtem swym przypominają one ripplemarki prądowe, powstają też w istocie tak jak ripplemarki przez działanie wirów (fig. 1 i pl. XXVI). Od ripplemarków różnią się one przede wszystkim tym, że są formami erozji, a nie depozycji. Występują bardzo licznie na ścianach jaskiń, modelując najczęściej całą powierzchnię ściany. Typowe formy mają asymetryczny profil poprzeczny, przy czym ścianka mniej stroma leży od strony działania prądu (analogicznie jak przy ripplemarkach).

Genezą zagłębień wirowych zajmowali się J. Maxon i J. Campbell (1935); według nich wiry powodujące powstanie tych form są związane z turbulentnym przepływem wody. Przechodzenie przepływu laminarnego w turbulentny będzie zależało przytem od trzech czynników — od liniowego wymiaru przeszkody  $d$ , szybkości przepływu wody  $v$  i współczynnika kinetycznej lepkości  $\gamma$ .

Związek pomiędzy tymi czynnikami wyraża tak zwana liczba Reynoldsa

$$Re = \frac{vd}{\gamma}$$

Gdy liczba Reynoldsa jest mała, przepływ będzie laminarny. Po przekroczeniu pewnej granicznej wartości liczby Reynoldsa (różnej w różnych warunkach) przepływ laminarny przechodzi w turbulentny, co doprowadza do powstania wirów. Wiry te wzbudzone są wskutek różnej szybkości poszczególnych warstw wody. W pobliżu przeszkody powstają serie wirów o osiach równoległych do przeszkody i prostopadłych do kierunku prądu. Warunkiem koniecznym do wytworzenia się zagłębień wirowych jest stabilność wirów. Jest ona zależna również od liczby Reynoldsa. Jest bardzo prawdopodobne, że raz powstałe zagłębienia wirowe mają możliwość wzbudzania wirów. Gdy liczba Reynoldsa jest zbyt duża, wiry stają się niestabilne i przenoszą się w dół prądu. Długość fali zagłębień wirowych obserwowana przeze mnie w polskich jaskiniach waha się od 1-20 cm. Według J. Maxona zagłębienia wirowe mogą się tworzyć w potoku niosącym dużą ilość zawieszonoego materiału. Przepływ wód musi być turbulentny, lecz nie za szybki, ze względu na konieczny warunek stabilności wirów.

Według Maxona erozja mechaniczna odgrywa główną rolę przy powstawaniu tych form. J. H. Bretz (1941) zwraca uwagę na rolę roz-

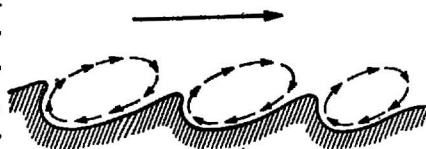


Fig. 1

Schemat powstawania zagłębień wirowych (wg Maxona)

Strzałka wskazuje kierunek prądu

Diagram of the formation of flutes (after Maxon)

Current direction indicated by arrow

puszczania, opisując zagłębienia wirowe występujące obok wypreparowanych ze ściany czert.

Obecność zagłębień wirowych pozwala na określenie kierunku przepływu wody. O ile zagłębienia wirowe tworzą się na stropie jaskiń, wskazują na co najmniej okresowe całkowite zalewanie korytarzy wodą.

*Kotły wirowe (potholes).* — Nazwa ta obejmuje szereg form różnych genetycznie, a podobnych kształtem. Są to zagłębienia o bardzo różnych wymiarach — od kilkunastu centymetrów do kilku metrów średnicy i analogicznej głębokości (fig. 2 i pl. XXVII). Stosunek średnicy do głębokości jak również kształt w profilu waha się w różnych typach kotłów.

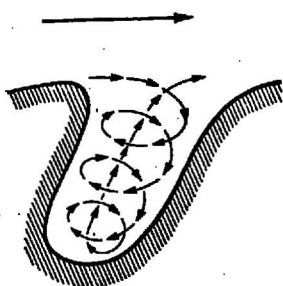


Fig. 2

Schemat powstawania kotłów wirowych (wg Alexandra)

Strzałka wskazuje kierunek prądu

Diagram showing formation of potholes (after Alexander)

Current direction indicated by arrow

Formy występujące na ścianach i stropach jaskiń należą według angielskiej terminologii do typu "eddy holes", to jest form powstałych przez działanie wirów wzbudzanych przy przepływie wody przez korytarz. Dlatego też proponuję nadać im nazwę *kotły wirowe*.

Sposób powstawania tych form jest do tej pory niezupełnie jasny. Badania H. Alexandra (1932) wyjaśniły nieco sposób cyrkulacji wody w kotłach wirowych. W jaskiniach kotły wirowe mają średnicę od 10 cm do ponad 1 m. Głębokość kotłów wirowych waha się w granicach od 10 do 60 cm. Formy typowe posiadają od strony działania prądu ściankę przewieszoną, a ściankę przeciwną prawie pionową (fig. 2). Kotły wirowe, znajdujące się w stropie korytarza wskazują na całkowite zapełnienie go wodą przez cały czas powstawania tych form. Gdyby woda choć raz obniżyła swój poziom, zostałyby one wypełnione powietrzem, co uniemożliwiłoby ich dalsze tworzenie się.

*Formy świadczące o warunkach hydrostatycznych lub hydrodynamicznych poniżej zwierciadła wód podziemnych (phreatic).*

*Gąbczastość jaskini (spongework).* — Niekiedy korytarze jaskini wykazują obecność nieregularnych wżer, drobnych łączących się otworów, jamek i zagłębień. Korytarze przebiegają bardzo nieregularnie, rozszerzają się i zwężają, mogą się również rozdzielać i łączyć, tworząc często filary. Taki charakter jaskini przypomina gąbkę i stąd angielski termin *spongework*. Wszystkie te formy wskazują na silnie zaznaczone se-

lektywne rozpuszczanie, bez specjalnie wyrażonego przepływu prądu wody. Formy takie tworzą się poniżej zwierciadła wód przy słabej cyrkulacji.

*Korytarze o owalnych, eliptycznych lub okrągłych przekrojach.* — Korytarze takie wskazują na równomierną erozję wzdłuż wszystkich ścian. Formują się one poniżej zwierciadła wód podziemnych, w strefie o silnie zaznaczonej cyrkulacji wody. O ile mają one stałą szerokość i są dobrze określone na dużej przestrzeni, tworzyły prawdopodobnie korytarz główny, doprowadzający wodę do wywierzyška (pl. XXVI).

*Rury krasowe (tubes).* — Są to drobne korytarze w postaci rur (fig. 3 i pl. XXXI), rozszerzających się w miejscu złączenia z większym

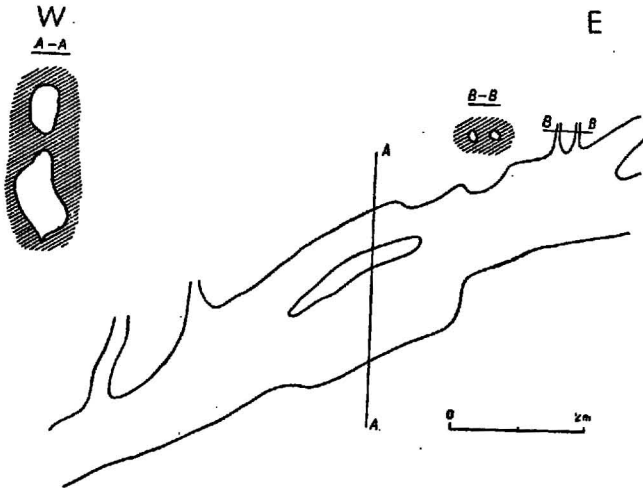


Fig. 3

Fragment Ciasnego Korytarzyka w Jaskini Miętusiej  
Przykład rozwinięcia korytarza na systemie rur krasowych

Fragment of the Ciasny Korytarzyk within the Miętusia Cave  
Example of corridor formation from a system of tubes

korytarzem. Typowy ich przekrój jest okrągły, średnica 5 do 50 cm, długość od kilkunastu cm do kilku metrów. Były one formowane poniżej poziomu wód i przeprowadzały niewielkie ilości wody do obszaru koncentracji. Są to fragmenty sieci najstarszej cyrkulacji wody; rola ich zanika w zasadzie w momencie rozwinięcia się głównego ciągu korytarzy, tworzących korytarz główny.

**Wnęki.** — Są to formy podobne do rur i powstające w ten sam sposób; leżą na szczelinach i dlatego mają wydłużony przekrój. Wymiary tych form są analogiczne jak przy rurach (fig. 4).

**Syfony.** — Są to odcinki korytarza o nieregularnym przebiegu, tworzącym lokalne obniżenia. Formująca je woda musiała cyrkulować pod

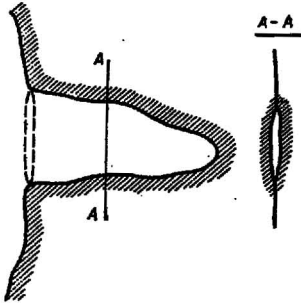


Fig. 4

Przekrój przez wnękę. Jaskinia Miętusia, korytarz Za Syfonem

Section of niche. Miętusia Cave, Za Syfonem Corridor

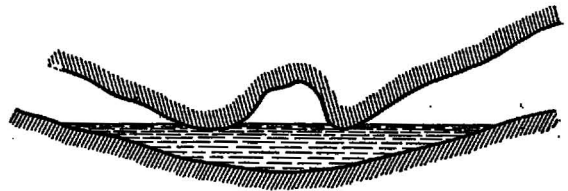


Fig. 5

Przekrój przez Górny Syfon w Jaskini Miętusiej  
Section of Górny Syfon in the Miętusia Cave

ciśnieniem, wykorzystując łatwiej dostępne, różnie rozmieszczone pęknięcia i szczeliny (fig. 5).

**Kotły wirowe.** — O ile leżą w stropie korytarza, to wskazują na warunki hydrodynamiczne przy ich formowaniu. W innych miejscach mogą powstawać w warunkach swobodnego przepływu.

*Formy świadczące o swobodnym przepływie pod wpływem grawitacji*

**Kominy lub sale powstałe przez recesję wodospadów.** — Ściekająca pionową szczeliną woda, działając przez długi okres czasu, może wytworzyć komin lub nawet salę. Sala taka jest na ogół wąska, chyba że została zmieniona przez zawalenie. W stropie mogą występować zagłębienia wirowe świadczące o dawnym przepływie. U dołu na ogół występują nisze, powstałe przez zwiększoną erozję związaną z rozpryskiwaniem się wody u podstawy wodospadu. W opisywanych przeze mnie jaskiniach tatrzańskich form tych nie stwierdziłem.

**Korytarze powstałe w wyniku erozji potoku.** — Silnie zmodyfikowane przez wody grawitacyjne korytarze mają charakterystyczny prze-



krój, noszący ślady stopniowo postępującej erozji wgłębnej. W opisywanych jaskiniach jest to również forma nie spotykana.

**Rynny erozyjne.** — Jest to forma powszechnie występująca w jaskiniach, przede wszystkim w korytarzach o większym nachyleniu. Przekrój poprzeczny tych form jest V-kształtny, a szerokość ich wynosi 10-20 cm, podczas gdy głębokość — 5-20 cm. Rynny erozyjne powstają często w poziomym niemal korytarzu, w namulisku ilastym.

**Nisze zakolowe.** — Są to półkoliste lub łukowate wcięcia w dolnej części korytarza. Świadczą one o przepływie meandrującego po dnie potoku (pl. XXVIII).

**Marmity (plunge pool holes).** — Forma ta często występuje u podstaw kaskad i wodospadów w jaskiniach. Jest to zagłębienie dość dużej głębokości o regularnym przekroju, kolistym lub owalnym; średnica przekroju jest zależna od wielkości wodospadu (fig. 6). W literaturze anglosaskiej na określenie tych form używany jest termin *plunge pool holes* (Alexander 1932). Sądzę, że można do nich zastosować termin *marmity*, używany dla określenia podobnych form występujących na powierzchni.

**Żłobki (grooves).** — Są to formy analogiczne jak powierzchniowe żłobki krasowe. Powstają na pochylonych ścianach przez przepływ lub skapywanie wody.

**Żłobki pionowe (vertical grooves).** — Żłobki pionowe występują na pionowych ścianach korytarzy. Tworzy je spływająca po ścianie woda. Są one znacznie delikatniejsze i bardziej regularne niż formy poprzednie.

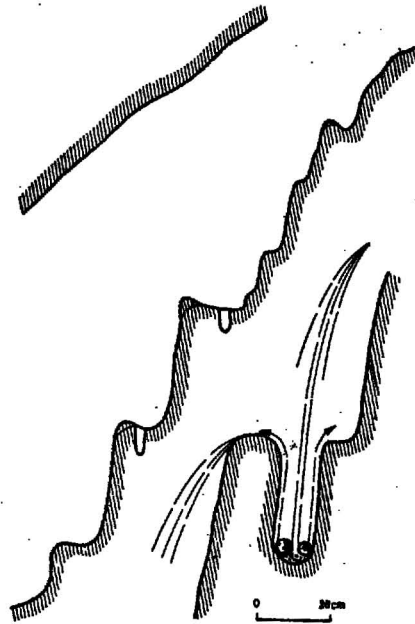


Fig. 6

Kaskady w Jaskini Miętusiej — jest to seria wodospadów u stóp których powstają marmity.

Miętusia Cave cataracts — a series of waterfalls with plunge pool holes at their base

#### KRAS. TATRZAŃSKI

Zjawiska krasowe w Tatrach nie doczekały się jeszcze szczegółowego opracowania. Stan naszych wiadomości o krasie tatrzańskim jest nad-

zwyczaj ubogi. Również hydrografia Tatr jest słabo opracowana. Większość publikacji dotyczących jaskiń tatrzańskich poświęcona jest ich odkryciom i opisom. Prac tych nie będę tutaj omawiał, gdyż nie mają one charakteru geologicznego, a umieszczone w nich plany i opisy zostały zebrane przez K. Kowalskiego (1953).

J. Włodek (1924 i 1925) badał pH potoków i wywierzyisk Tatr Zachodnich; stwierdził on ogólnie, że pH wód płynących przez wapień (7,3) jest wyższe niż pH wód płynących przez gnejsy i granity (6,8). Zmierzone przez niego pH Wypływu spod Pisanej i Lodowego Źródła wykazuje niewielką zasadowość (ok. 7,5). Zauważyć jednak trzeba, że pomiary wykonywane były mało dokładną metodą, a ilość pomiarów była niewielka. Dlatego też wyciąganie wniosków z tych danych jest niecelowe.

Jedyną pracą poświęconą wyłącznie krasowi była praca A. Wrzosek (1933). Autor opisuje w niej skały w zależności od ich podatności na skrasowanie i opisuje szereg jaskiń. Stwierdza on, że kras tatrzański ciągnie się pasami prostopadłymi do głównych linii odwodnienia. Brak typowych form powierzchniowych, jak np. lejki, tłumaczy on stromym nachyleniem zboczy. Wrzosek uważa, że charakter jaskiń tatrzańskich jest bardzo różnorodny. — np. groty Lodowa, Mylna i Zimna są rozwinięte na płaszczynach warstw, Niżna pod Zamkiem, Za Smrekiem i Obłazkowa — na płaszczynach ciosowych. W jaskiniach Groby i Poszukiwaczy Skarbów dominuje różny stopień rozpuszczalności. W konkluzji A. Wrzosek przyjmuje poglądy Grunda (fide Ryzikov 1954) i stwierdza istnienie poziomego wód podziemnych. Jednocześnie uważa on, że ze względu na olbrzymią ilość systemów szczelin klasyfikowanie stref lub pięter jest niemożliwe.

K. Kowalski (1953) podaje plany i opisy wszystkich znanych jaskiń tatrzańskich. We wstępnej części pracy opisuje on pokrótce charakter i hydroografię krasu tatrzańskiego. Na str. 3 pisze:

„Źródło Lodowe w Dolinie Kościeliskiej odwadnia ramię Czerwonych Wierchów między dolinami Kościeliską i Miętusią a może nawet i część Miętusiej“.

Wypływ spod Pisanej jest według niego nie tylko przepływem Potoku Kościeliskiego, lecz także podziemnym odwodnieniem Wąwozu Kraków. Wyróżnia on dwa rodzaje jaskiń — przepływowe i utworzone przez wody gruntowe. Przyjmuje on istnienie zwierciadła wód podziemnych i uważa, że większość jaskiń tworzyła się poniżej niego. Z chwilą, gdy poziom wód obniżył się, jaskinie wypełnione zostały namuliskiem i zostają zmodyfikowane przez strugi wód wędrujących. Przebieg strug wędrujących nie ma związku z dawnymi kierunkami, „często przecinają one w poprzek dawne korytarze jaskiniowe“ (str. 4).

Oдноśnie do Jaskini Miętusiej Kowalski pisze (str. 4):

„Wydaje się, że niektóre jaskinie zwłaszcza o dużych deniwelacjach, takie jak np. Jaskinia Miętusia zawdzięczają swe powstanie przede wszystkim wodom wędrującym (tj. wodom grawitacyjnym — dopisek mój), a wody gruntowe czynne były może tylko przy wytworzeniu niektórych poziomów“.

Według K. Kowalskiego dolne części Jaskini Miętusiej leżą w zasięgu wód gruntowych.

S. Zwoliński (1953) zwraca uwagę na często występujące w jaskiniach ułamki utworów naciekowych (Mroźna, Zimna). Również stalagmity są często obalone lub przechylone. W Magurze stwierdził on istnienie przesunięcia wzdłuż szczeliny, na której rozwinięty jest korytarz, co spowodowało miejscowe oderwanie nacieków. Wszystkie te fakty Zwoliński wiąże z młodymi ruchami jakim muszą podlegać Tatry. Wiek ich ocenia na kilka do kilkunastu tysięcy lat. Jednocześnie stwierdza on, że w jaskiniach występujących w płaszczowinach reglowych ruchów tych brak. Wyciąga stąd wniosek, że serie wierchowe ulegają jeszcze przemieszczaniu jako silniej związane z podłożem.

E. Passendorfer (1954), na podstawie doniesień S. Zwolińskiego o znalezieniu żwirów krystalicznych w grotach, zwraca uwagę na wartość, jaką przedstawiają żwiry znajdujące się w wyżej położonych jaskiniach przepływowych dla określenia udziału skał w budowie powierzchni oraz na ich znaczenie w ustalaniu stratygrafii poszczególnych poziomów jaskiń.

S. Zwoliński (1955) zwraca uwagę również na hydrografię krasu tatrzańskiego. Wyróżnia on osiem odrębnych regionów krasowych. Obszar Czerwonych Wierchów od Doliny Kościeliskiej do Małołączniaka odwadniany jest według niego przez Lodowe Źródło. Jaskinie Zimną i Miętuśią uważa za stare piętra tego samego systemu. Zimna jest niejako przedłużeniem Miętusiej rozwiniętym na pęknięciach międzywarstwowych. Mroźną uważa za przedłużenie Zimnej ku Lodowemu Źródłu. Wypływ pod Pisaną jest według niego wyłącznie przepływem Potoku Kościeliskiego, a wyżej leżące jaskinie — Ziobrowa, Wyźnia pod Zamkiem, Groby, Poszukiwaczy Skarbów i Dzwonnice — uważa za dawne jaskinie przepływowe.

#### OPIS TERENU I POWIERZCHNIOWYCH FORM KRASOWYCH

Zjawiska krasowe w Tatrach rozwijają się najintensywniej w wapiennych utworach triasu środkowego oraz malmu i neokomu serii wierchowych. W omawianym rejonie Doliny Kościeliskiej i Miętusiej twory wapienne tworzą dwa pasy należące do serii Czerwonych Wierchów i Kominów Tylkowych. Pasy te rozcięte są w poprzek przez Dolinę Kościeliską. Ważnym faktem dla rozwoju jaskiń w tym rejonie jest istnienie miękkich marglistych utworów albu otulających niejako serie wapienne. Dzięki temu interesujący nas obszar krasowy jest hydrologicznie odizolo-

wany zarówno od leżących na północ utworów płaszczowiny reglowej, jak i leżących na południe serii wapiennych jednostki Kominów Tyłkowych. W morfologii północna granica omawianego rejonu zaznacza się stromą ścianą Bramy Kraszewskiego, wyraźnie odcinającą się od łagodnych form jakie tworzy leżący bardziej na północ pas utworów triasu reglowego. Po stronie południowej granica przebiega silnie wciętym żlebem biegnącym od Hali Pisanej ku Przełęczce nad Halą Pisaną, a następnie przez oba Kotły Kamienne. Granicę zachodnią omawianego regionu tworzy głęboko wcięta Dolina Kościeliska stanowiąca lokalną „bazę erozyjną” dla zachodzących w tym rejonie zjawisk krasowych. Termin „baza erozyjna” może być traktowany tylko w cudzysłowie, gdyż — jak się okaże później — erozja krasowa może sięgać poniżej tego poziomu, chociaż poziom najgłębiej wciętej doliny kontroluje położenie zwierciadła wód. Granica wschodnia nie może być wyznaczona dokładnie, znalezienie bowiem podziemnego działu wód może być dokonane tylko metodą barwienia lub solenia wód krasowych. Granica ta prawdopodobnie przebiega nieco na wschód od Doliny Miętusiej. Tak zarysowany obszar utworzony jest z serii dolomitycznych i wapiennych należących do fałdu Czerwonych Wierchów; górną część omawianego terenu przykrywa płaszczowina reglowa. Utwory fałdu Czerwonych Wierchów zapadają ku północy. Idąc od południa, są to wapień i dolomity środkowego triasu, wapień doggeru, malmu, neokomu i urgonu. Jak już wspomniałem, obszar ten przykryty jest utworami płaszczowiny reglowej, a właściwa seria wierchowa wychodzi tylko na zboczach Doliny Kościeliskiej i Miętusiej oraz w dwóch głęboko wciętych żlebach — Pod Wysranki i Małej Świstówce. Omawiany teren, leżący pomiędzy Doliną Kościeliską a Miętusią, jest przedłużeniem grzbietu Twardego Uplazu (fig. 7). Dzieli się on na dwa ramiona, których zwornikowym punktem jest Gładkie Uplaziąńskie (1794 m). Ramię północne stanowi Uplaz Miętusi, osiągający maksymalną wysokość 1630 m. Drugie odgałęzienie, tworzące masyw Organów biegnie ku pn.-zachodowi dochodząc do Doliny Kościeliskiej, gdzie opada stromymi ścianami tworząc m. in. Bramę Kraszewskiego.

W hydrografii omawianego terenu dominują dwa potoki — Potok Kościeliski i Miętusi. Do Potoku Kościeliskiego wpływają wody z dwóch wywierzyisk odwadniających omawiany teren. Największym z nich jest Lodowe Źródło bijące na kontakcie pomiędzy wapieniami i marglami kredowymi nieco na północ od Bramy Kraszewskiego. Drugim wywierzyiskiem jest nieznaczne źródło wypływające tuż ponad dnem Potoku Kościeliskiego z niewielkiej szczeliny. Leży ono po wschodniej stronie potoku, 50 m na południe od ujścia Żlebu Pod Wysranki. Potok Miętusi nie jest dla nas interesujący, gdyż płynie on całkowicie po utworach niekra-

owych. Oprócz tego na omawianym terenie istnieje kilka stałych źródełek i wycieków wodnych występujących na kontakcie pomiędzy płaszczowiną reglową a wierchową. Strumyki te po wpłynięciu w serie wapienne szybko giną w szczelinach.

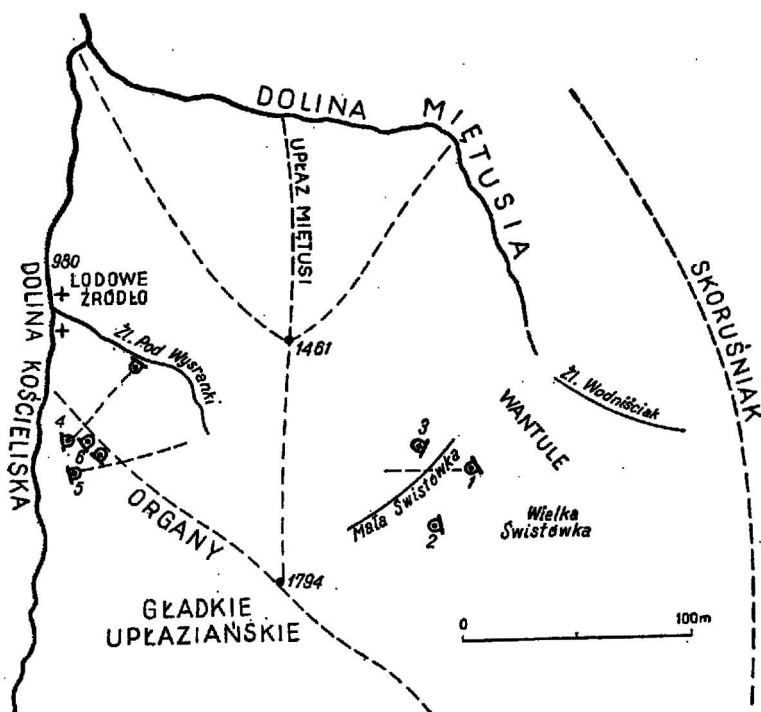


Fig. 7

Mapka rozmieszczenia jaskiń systemu Lodowego Źródła  
1 Jaskinia Miętusia, 2 J. Piwnica Miętusia, 3 J. Miętusia Wyznia,  
4 J. Mrożna, 5 J. Zimna, 6 J. Okna Zbójnickie. Krzyżyki — obecnie  
czynne wywierzyska

Sketch map of the distribution of caves in the Lodowe Źródło  
cavern system

Now active springs are marked with crosses

Powierzchniowe formy krasowe są bardzo ubogie. Należą tu do nich izolowane drobne skałki pozostałe po zawaleniu się fragmentów jaskiń (skałki takie najlepiej widoczne są w Organach) oraz różne formy pożłobienia powierzchni wapienia przez wody opadowe. Najbardziej typowe żłobki krasowe występują w Wielkiej Świstówce. Mimo słabego rozwoju

powierzchniowych form krasowych podziemne zjawiska krasowe należą tu do najintensywniejszych w Polsce. Występuje tu szereg jaskiń, z tego dwie największe w Polsce — od strony Doliny Kościeliskiej Jaskinia Zimna (3900 m długości), a od strony Doliny Miętusiej Jaskinia Miętusia (2150 m długości). Oprócz tych jaskiń znajduje się tu kilka grot średniej wielkości, jak Mroźna i Miętusia Wyżnia oraz szereg schronów i wnęk. Oczywistym faktem jest, że jaskinie leżące niekiedy na znacznej wysokości nad dnem doliny i całkowicie nieraz suche musiały się tworzyć w zupełnie innych warunkach hydrologicznych, których odtworzenie jest kluczem do wyjaśnienia genezy jaskiń.

#### EWOLUCJA JASKIŃ A ROZWÓJ DOLINY KOŚCIELISKIEJ

Ważnym problemem jest kwestia zależności pomiędzy rozwojem jaskiń a rozwojem Doliny Kościeliskiej. Gdy przyjrzymy się bliżej rozmieszczeniu jaskiń stwierdzimy, że ułożenie ich nie jest zupełnie chaotyczne. Czynnikiem pozwalającym na uszeregowanie jaskiń będzie ich wysokość względna nad Potokiem Kościeliskim, gdyż zarówno wśród jaskiń rozwiniętych w wapieniach serii Kominów Tylkowych, jak i Czerwonych Wierchów można wyróżnić te same grupy, charakteryzujące się jednakową wysokością ponad dnem Doliny Kościeliskiej. Gdy zbadamy charakter tych jaskiń okaże się, że są to jaskinie bądź utworzone przez wody podziemne, bądź są one dawnymi podziemnymi przepływami Potoku Kościeliskiego. Jaskinie przepływowe rozpoznać można łatwo po ich rozwinięciu równoległym do doliny, częstą obecnością dwóch lub więcej otworów, małymi deniwelacjami oraz po występujących w nich żwirach skał allochtonicznych. Jaskinie uszeregowane według wysokości nad dnem Doliny Kościeliskiej przedstawione są w zestawieniu (str. 259).

Z zestawienia tego wynika, że zarówno w jednej jak i w drugiej serii skał podlegających procesom krasowym, jaskinie występują w trzech dokładnie określonych poziomach:

- I — poziom jaskiń powstających współcześnie
- II — poziom jaskiń starszych (120-130 m nad dnem doliny)
- III — poziom jaskiń najstarszych (210-230 m nad dnem doliny).

Powstałe w ten sposób trzy poziomy jaskiń zgodnie z poglądami H. Gardnera (1935) wskazują na trzy okresy zahamowania w rozwoju doliny. Rozdzielają je dwa okresy szybkiej erozji, powodującej za każdym razem stumetrowe wcięcie się doliny.

Nazwa jaskini	Wysokość nad dnem Doliny Kościeliskiej (wg K. Kowalskiego)	Charakter jaskiń	Poziom
<i>Jednostka Czerwonych Wierchów</i>			
Lodowe Źródło	0	wywierzyskowa	I
Zimna	125 m	wywierzyskowa	II
Mrożna	120 m	przepływowa + wody podziemne	II
Okno Zbójnickie Niżne	230 m	przepływowa	III
<i>Jednostka Kominów Tylkowych</i>			
Pisana	0	wywierzysko i przeływ	I
Obłazkowa	130 m	przepływowa	II
Mylna	130 m	przepływowa	II
Jaskinia Poszukiwaczy			
Skarbów	130 m	?	II
Groby	210 m	przepływowa + wody podziemne	III
Przeziorowa	210 m	przepływowa	III
Za Smrekiem	220 m	przepływowa	III

## JASKINIE PÓŁNOCNEGO OBSZARU DOLINY KOŚCIELISKIEJ

*Jaskinia Zimna*

Jaskinia ta leży w Organach na wysokości 1125 m, tuż obok Jaskini Mrożnej. Jest ona najdłuższą grotą w Polsce, dochodząc do 4 km długości. Rozwinięta jest na płaszczyznach warstwowych i ciosowych; korytarze jej posiadają najczęściej charakter szczelinowy. W jaskini dają się wyróżnić dwa dobrze zarysowane poziomy, z których dolny przedstawia jeden zygzakowaty korytarz, a górny tworzy kilka korytarzy leżących na wysokości od 70 do ok. 110 m od dolnego poziomu (fig. 8). Poziom dolny tworzy kilka syfonów w pobliżu otworów. Obecnie są one suche i czasowo tylko bywają zalewane, tworząc wówczas niewielkie jeziora. Widoczne w tej części jaskini zagłębienia wirowe wskazują na przepływ wody ku otworowi. Całość korytarzy dolnego poziomu lekko się obniża do najniższego punktu jaskini, spełniającego rolę ponoru. Ten odcinek groty jest silnie zamulony i często bywa całkowicie zalewany. Występuje tu w stropie kilka dobrze rozwiniętych kotłów wirowych. Dalej korytarz podnosi się nieco i w końcowej jego części znajduje się kilka jezior i syfon. Za syfonem i przed jeziorami dwa systemy kominów doprowadzają do górnego ciągu korytarzy, głęboko wcinającego się w głąb Orga-

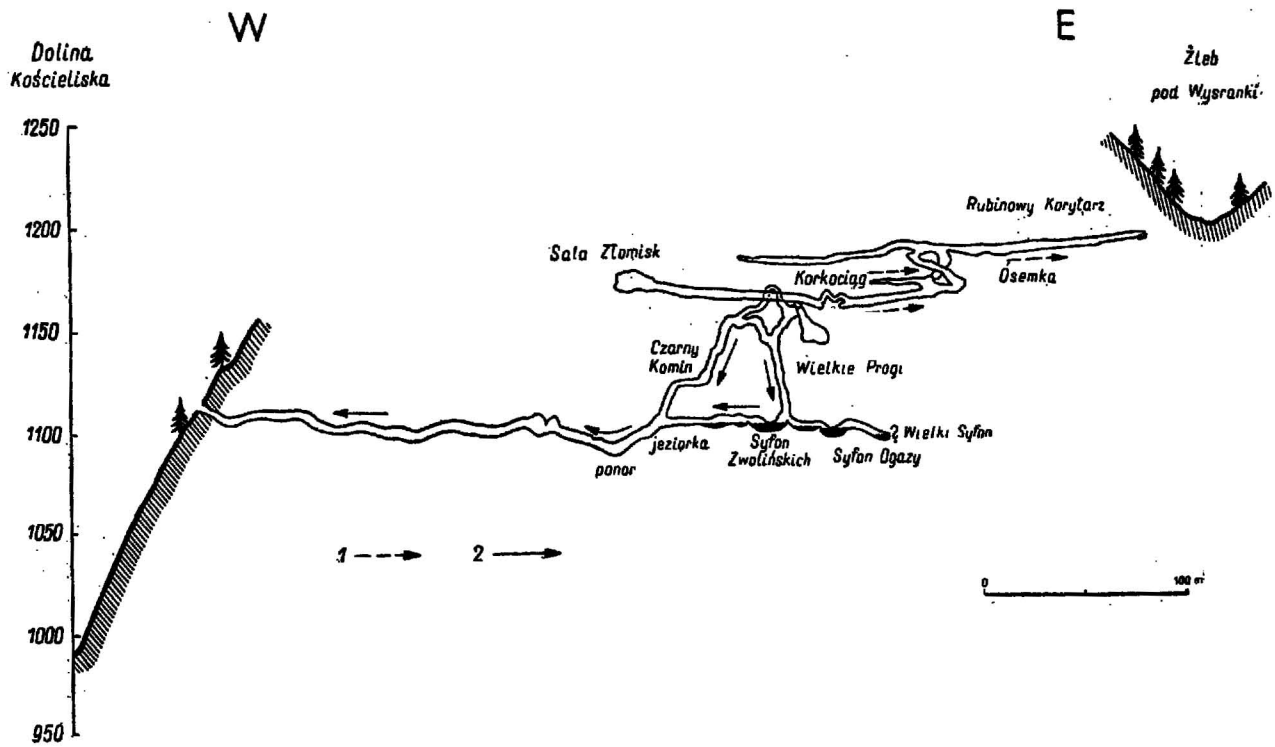


Fig. 8

Jaskinia Zimna. Przekrój pionowy

1 kierunki przepływu wody w górnym poziomie, 2 kierunki przepływu wody w dolnym poziomie

Zimna Cave, vertical section

1 water flow direction in the upper level, 2 water flow direction in the lower level



nów (500 do 600 m). Cały charakter jaskini wskazuje na jej wywierzysskowe pochodzenie. Potwierdza to fakt, że od otworu jaskini ku Dolinie Kościeliskiej spada stromy żleb, wyraźnie zaczynający się przy otworze groty. Podczas powodzi w 1934 r. z Jaskini Zimnej wypływały strumienie wody. Górne piętro jaskini odpowiada najwyższemu poziomowi jaskiń Doliny Kościeliskiej. Mimo dużego zniekształcenia pierwotnych korytarzy w górnej części jaskini przez zawalenie lub pokrycie naciekami, można odczytać na podstawie zagłębień wirowych zupełnie inny kierunek przepływu wód niż w dolnej części jaskini. Kierunek przepływu wód górnego poziomu Jaskini Zimnej wskazuje na przepływ wody ku środkowi groty. Jeśli porównamy plan jaskini z morfologią terenu okaże się, że najdalsze części groty leżą niedaleko powierzchni w górnej partii Żlebu Pod Wyranki. Niewątpliwie musiał tam niegdyś znajdować się drugi otwór groty, który został zasypany. Okrągły przekrój korytarzy i szereg zagłębień wirowych wskazują na silny przepływ wód pod ciśnieniem, które wytworzyły górne piętro Jaskini Zimnej.

Geneza Jaskini Zimnej nie jest zupełnie jasna. Pierwotnie, prawdopodobnie w okresie gdy dno doliny leżało na wysokości obecnego trzeciego poziomu jaskiń, Jaskinia Zimna tworzyła wywierzyssko wypływające w Żlebie Pod Wyranki. Później, podczas drugiego okresu rozwoju jaskiń wodą znalazła prostszą drogę ku Dolinie Kościeliskiej, wytwarzając nowy system wodny wypływający jako wywierzyssko w obecnym otworze groty.

### *Jaskinia Mroźna*

Jest to jaskinia dwuwylotowa. Jeden jej otwór leży koło Jaskini Zimnej, a drugi — po przeciwnej stronie zębra, w Żlebie Pod Wyranki. Według K. Kowalskiego (1953) jest to jaskinia przepływowa ze śladami działania wód podziemnych. Według S. Zwolińskiego (1953) stanowi ona przedłużenie Jaskini Zimnej, a oddzielona została od niej przez erozję. Formy występujące w jaskini potwierdzają przypuszczenia K. Kowalskiego. Jej poziome rozwinięcie, obecność dwu otworów i otoczek granitowych na dnie wskazują wyraźnie na charakter przepływowy. Z drugiej jednak strony w jaskini rozwinięte są liczne formy świadczące o jej formowaniu przez wody podziemne. Są to dochodzące z boków rury i wnęki oraz ślady dawniejszych niemal pionowych dużych rur, leżących na szczelinach i przekształconych w obecny korytarz jaskini.

Rozwój jaskini został prawdopodobnie zapoczątkowany przez wody podziemne wytwarzające sieć pierwotnej cyrkulacji, oczywiście poniżej zwierciadła wód podziemnych. Następnie Potok Kościeliski wykorzystał

istniejące próżnie i przekształcił dawny system cyrkulacji, powiększając go i modyfikując.

*Okno Zbójnickie Niżne* — jest niewielką typową jaskinią przepływową.

#### JASKINIE DOLINY MIĘTUSIEJ

Jaskinie Doliny Miętusiej, należące do opisywanego regionu, odwadniane są obecnie przez system Lodowego Źródła. Jednakże szereg faktów wskazuje na to, że dawniej stanowiły one odrębny system wywierzyskowy, odprowadzający wody ku Dolinie Miętusiej.

#### *Jaskinia Miętusia*

Największą jaskinią tej części rejonu jest Jaskinia Miętusia. Tworzy ona dwa ciągi zupełnie odmienne genetycznie — system ciągów pionowych i poziomych tworzący skomplikowany ponad 2000-metrowy system korytarzy (fig. 9). Ciągi poziome przedstawiają dobrze zdefiniowany korytarz główny (*master conduit*) o stałej szerokości, stopniowo się zwiększającej w miarę zbliżania się ku otworowi tj. ku wywierzysku (pl. XXVI). Występujące tu miejscami zagłębienia wirowe (pl. XXVI) i kotły wirowe (pl. XXVII) wskazują również na kierunek wody ku Dolinie Miętusiej. Deniwelacje tej części groty nie są wielkie i sięgają najwyżej 20-30 m. Środkowy, najniższy odcinek korytarza głównego nie jest dostępny, gdyż uległ zamuleni. Do najdalszych części jaskini dochodzi się poprzez młodsze pionowe ciągi, które tworzą zupełnie odrębną genetycznie część jaskini (pl. XXX). Są to serie kominów i korytarzy o wyraźnej tendencji do obniżania się, choć wytworzone zostały również przez wody będące pod ciśnieniem, na co wskazuje szereg form na ścianach i stropach korytarzy. Deniwelacje tych części jaskini są duże i sięgają około 200 m.

Oprócz Jaskini Miętusiej zasługują na uwagę jeszcze dwie jaskinie — Miętusia Wyżnia i Piwnica Miętusia.

#### *Grota Miętusia Wyżnia*

Jest ona częścią wywierzyskowego systemu Jaskini Miętusiej. Jest to w zasadzie jeden korytarz o na ogół stałym, choć niewielkim przekroju i bardzo zmiennym nachyleniu. Występujące w tej jaskini formy wskazują na przepływ wody w głąb groty w okresie, gdy niewątpliwie musiało istnieć połączenie z Jaskinią Miętusią. Morfologicznie jaskinia ta leży o kilkadziesiąt metrów ponad poziomymi ciągami Jaskini Miętusiej. Ten

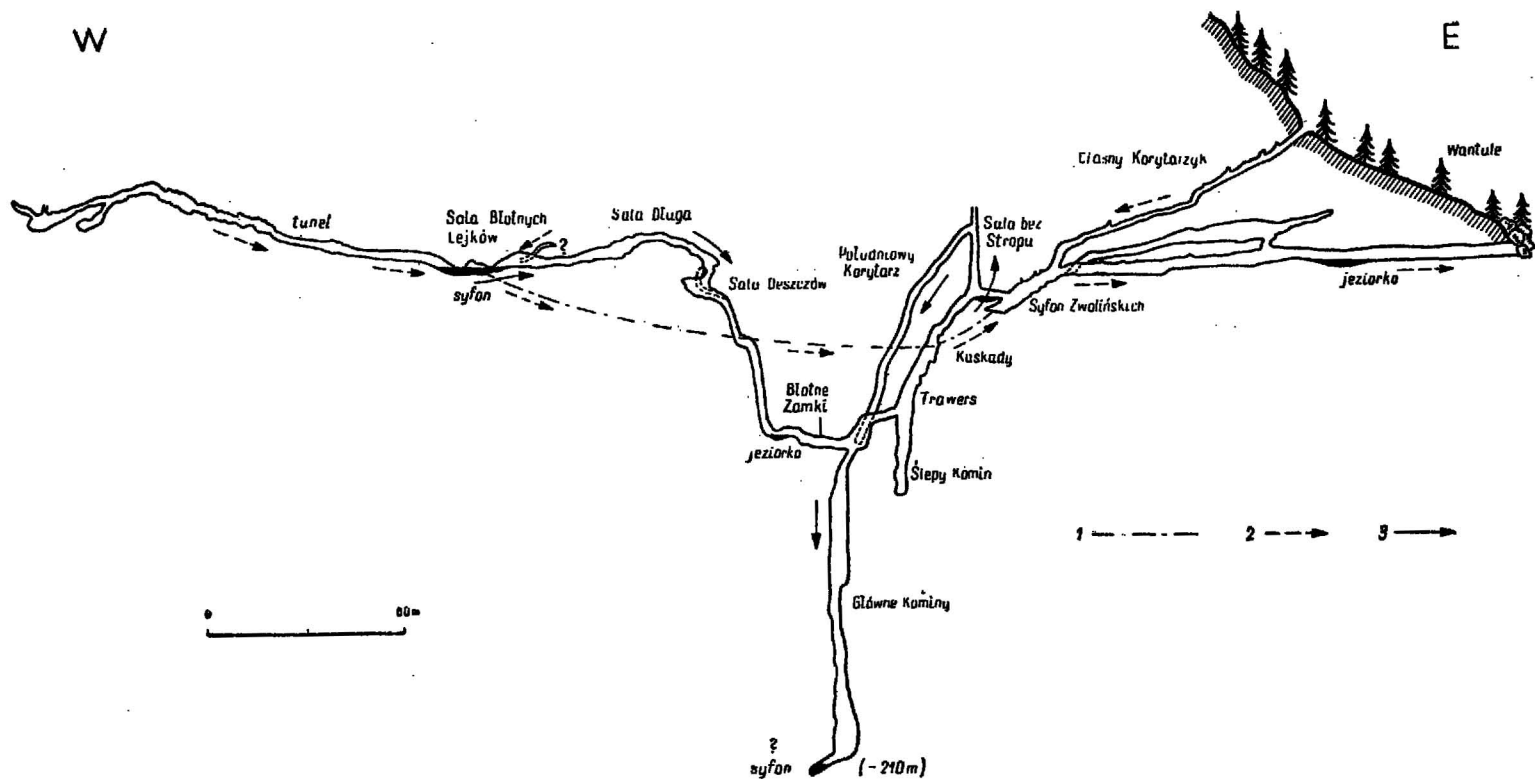


Fig. 9

Jaskinia Miętusia. Przekrój pionowy

1 nieznaną zamulony odcinek korytarza, 2 kierunek przepływu wody przed kaptazem, 3 kierunek przepływu wody po kaptażu

Miętusia Cave, vertical section

1 unexplored fragment of corridor filled by mud, 2 pre-piracy water route, 3 post-piracy water route

„boczny“ 600-metrowy korytarz wskazuje, że Jaskinia Miętusia miała dobrze rozwinięty system cyrkulacji. Niestety, procesy zawałania i zamulania rozczłonkowały go na małe stosunkowo odcinki.

### *Piwnica Miętusia*

Leży ona ok. 100 m ponad Jaskinią Miętuśią. Być może była starszym odpowiednikiem wywierzyska Miętuśiej. Jedynym faktem wskazującym na to, obok różnicy wysokości, jest wyraźny żlebik erozyjny wychodzący z otworu jaskini. Niestety wszystkie formy na pierwotnych powierzchniach ścian uległy zniszczeniu wskutek procesów wietrzenia i zawałania.

### GENEZA JASKIŃ SYSTEMU ŁODOWEGO ŹRÓDŁA

Jak już wspomniałem, omawiany obszar obejmuje północną część jaskiń Doliny Kościeliskiej oraz jaskinie Doliny Miętuśiej. Cały ten obszar odwadniany jest obecnie przez wywierzysko Lodowego Źródła. Wiele faktów wskazuje jednak na to, że dawniej sytuacja wyglądała odmiennie.

Początki rozwoju jaskiń tego rejonu należy odnieść do czasu, kiedy dno Doliny Kościeliskiej znajdowało się ponad 200 metrów powyżej obecnego jej poziomu. Przepływający potok Doliny Kościeliskiej tworzył szereg podziemnych przepływów, których śladami są najwyżej położone jaskinie — Okno Zbójnickie, Za Smrekiem, Przeziorowa i Groby. Oprócz jaskiń przepływowych niewątpliwie istniały systemy jaskiń utworzone przez wody podziemne. Takim wywierzyskowym systemem jest zapewne górny poziom Jaskini Zimnej, a w Dolinie Miętuśiej — Piwnica Miętuśia. Niestety jaskinie tego poziomu są silnie zniszczone i odtworzenie ich dawnego stanu może być tylko fragmentaryczne. Postępująca erozja Potoku Kościeliskiego powoduje stałe pogłębianie się doliny. Jednocześnie wewnątrz masywu, wzdłuż systemu szczelin rozwijających się na płaszczynach ciosowych i warstwowych następowało rozszerzanie ich przede wszystkim przez korozję. Z chwilą gdy proces wcinania się Doliny Kościeliskiej (prawdopodobnie wskutek czynników klimatycznych) został zahamowany, woda podziemna miała możliwość działania przez długi okres czasu, powodując powstanie wywierzysk na niższym poziomie. Zaznaczyły się tu dwa regiony wywierzyskowe — w Dolinie Miętuśiej wywierzysko Jaskini Miętuśiej, a w Dolinie Kościeliskiej wywierzysko Jaskini Zimnej. Zahamowanie w rozwoju Doliny Kościeliskiej musiało trwać stosunkowo długi okres czasu, gdyż powstałe wówczas jaskinie posiadają najlepiej rozwinięte systemy. Każdy taki system wywierzyskowy ma dwie odrębne

części. Daje się to szczególnie dobrze prześledzić na przykładzie Jaskini Miętusiej. Najgłębiej leżące partie groty, w których koncentrowała się woda, nie wykazują cech formowania przez szybko płynącą wodę. Formy morfologiczne w tej części groty świadczą raczej o rozpuszczaniu niż o erozji mechanicznej. Bliżej wywierzyska korytarze przybierają charakter przewodów przeprowadzających dużą ilość wody. Sam wygląd takich tunelowych korytarzy sugeruje rolę, jaką spełniały w cyrkulacji wód podziemnych (pl. XXVI i XXIX). Taki korytarz główny w miarę zbliżania się ku wywierzysku zwiększa stopniowo swój przekrój. Nachylenie korytarza głównego bywa często zmienne, występują w nim liczne syfony. W Jaskini Miętusiej główny otwór doprowadzał do wywierzyska leżącego w dnie doliny. Niestety, otwór ten został zasypany przez obryw Wantul, a jedyne wejście do tej groty jest przez ciasny boczny korytarz, stanowiący właśnie jeden z bocznych systemów, który zasilał wywierzysko Miętusiej. W tych częściach Jaskini Miętusiej, które doprowadzały wodę do wywierzyska, występują liczne kotły i zagłębienia wirowe, a w stropie i w ścianach często można zobaczyć rury i wnęki, niekiedy przekształcone na boczne korytarze, tak jak to jest z Ciasnym Korytarzykiem. Podobny system wywierzyskowy tworzyła również i Jaskinia Zimna. W związku ze znalezieniem nowych możliwości ekspansji na niższym poziomie, dawne wywierzysko Zimnej w Wysrankach zaczęło stopniowo obumierać, aż wreszcie cała cyrkulacja wody została przejęta przez nowo utworzony system wywierzyskowy. Proces przejścia wody na niższy poziom nastąpił oczywiście w najłatwiejszych do penetracji miejscach, leżących na dobrze zaznaczonych płaszczyznach warstwowych; są to w Jaskini Zimnej Czarne Progi i Wielkie Progi. W tym czasie warunki hydrologiczne przedstawiały się następująco. Najsilniej wcięta Dolina Kościeliska leżała na wysokości ok. 1120 m. W tym też czasie powstała Grota Mroźna, będąca przepływem tego potoku. Leżące w sąsiedztwie wywierzysko Zimnej odwadniało część Organów i Uplazu Miętusiego. Drugą część tego regionu odwadniało wywierzysko Miętusiej, leżące na wysokości około 1330 m. Ta dysproporcja pomiędzy poziomami wód dwóch dolin doprowadziła do podziemnego kaptażu. Umożliwiły go silnie rozwinięte systemy szczelin ciosowych o przebiegu N-S, wzdłuż których rozwinęły się najgłębsze kominy w Jaskini Miętusiej. Woda przenikając wzdłuż tych szczelin znalazła nowe, znacznie prostsze możliwości penetracji wprost do Doliny Kościeliskiej. Od tej chwili część wód wywierzyska Miętusiej została skierowana w dół. Odbywało się to dwiema głównymi drogami — poprzez Salę Błotnych Lejków, Salę Długą, Salę Deszczów do Błotnych Zamków, gdzie łączyła się z drugą drogą, biegnącą dwiema równoległymi szczelinami wzdłuż Sali bez Stropu, Kaskad i Południowego Korytarza.

Drogi te łączyły się razem w Błotnych Zampakach i dalej biegly w dół szczelinami, które tworzą obecnie Główne Kominy 100-metrowej głębokości. Oczywiście początek tej nowej cyrkulacji przebiegał pod ciśnieniem, jak na to wskazuje szereg form i przekroje korytarzy (pl. XXVII i XXX). Trwało to tak długo, aż system kominów nie rozwinął się do tego stopnia, że cała ilość wody odwadnianego obszaru mogła zostać odprowadzona w dół. W ten sposób wywierzyisko Miętusiej zaczynało stopniowo zamierać, stawało się czynne okresowo, aż wreszcie przestało działać zupełnie. Od tej chwili skończył się okres cyrkulacji hydrodynamicznej dla Jaskini Miętusiej. Nowopowstałe ciągi pionowe, mimo iż utworzone zostały przez wody pod ciśnieniem, nie posiadają takich np. form jak rury krasowe. Wynika to stąd, że partie te nigdy nie uczestniczyły w rozwoju pierwotnej cyrkulacji, spełnianej właśnie przez systemy rur krasowych. Dzięki kaptazowi powstały warunki utworzenia 180-metrowej serii kominów, dochodzących do II-go poziomu jaskiń. Wywierzyiskiem tego poziomu była Jaskinia Zimna. Być może dalsze, nie znane jeszcze części Jaskini Miętusiej, leżące za syfonem znajdującym się na dnie kominów, łączyć się będą z Jaskinią Zimną. Możliwe jest jednak, że było to zupełnie inne wywierzyisko, nie związane z systemem Jaskini Zimnej. Jedynie przejście syfonu na dnie kominów pozwoli prawdopodobnie wyjaśnić tę kwestię.

Po zaniku działalności wywierzyiska Miętusiej jaskinia zaczyna być modelowana przez wody grawitacyjne. Wody te zaczęły przystosowywać dawne części jaskini do nowych warunków. Wszelkie syfony i obniżenia korytarzy będą teraz zamulane i wypełniane przez jeziorka. Spływająca woda żłobi rynnny erozyjne i żłobki na ścianach i dnach korytarzy. Jednakże siła działania wody grawitacyjnej w Jaskini Miętusiej nie była jednakowa. W niektórych partiach groty zachowały się ślady po silnym strumieniu grawitacyjnym, który wyerodował w bokach korytarza głębokie nisze zakolowe (pl. XXVIII). Z potokiem tym związane są też duże ilości otoczków wapiennych o bardzo dobrym stopniu obtoczenia. Następnie siła transportowa potoku zmalała, co spowodowało złożenie drobnego, piaszczysto-ilastego osadu. W innych jaskiniach nie widziałem śladu działania silnych strumieni grawitacyjnych. Być może było to tylko zjawisko lokalne, lecz jest również możliwe, że należy je wiązać z ogólnym zwiększeniem ilości wody. Po długim okresie powolnej erozji, w czasie którego definitywnie rozwinął się system Jaskini Zimnej i Miętusiej oraz nastąpił kaptaż, nastął okres ponownej szybkiej erozji. Początkowo system wywierzyiska Zimnej spełniał swą rolę. Świadczy o tym żleb odchodzący od otworu groty, wyerodowany przez ściekającą wodę. Później jednak woda znalazła nowe możliwości ekspansji wprost do dna doliny, gdzie zostało utworzone Lodowe Źródło. I tak samo jak wywierzyiska drugiego poziomu

jaskiń przejmowały wodę z Jaskini Miętusiej, tak Lodowe Źródło przejmuje coraz większą ilość wód wywierzyska Zimnej. System ten nie jest jeszcze rozwinięty całkowicie. Świadczy o tym fakt, że podczas powodzi w 1934 r. nadmiar wody został odprowadzony przez Jaskinię Zimną. Rozwój systemów jaskiń pomiędzy Doliną Kościeliską a Miętusią następował wskutek ciągłego doganiania postępującej erozji rzecznej przez systemy cyrkulacji podziemnej. Wody grawitacyjne nie potrafiły zatrzeć pierwotnego charakteru jaskiń. Również niewielka ilość nacieków pozwala na swobodne na ogół rozpoznanie dawnego charakteru korytarza. Woda ściekająca współcześnie w niewielkiej ilości w jaskiniach, powoduje powstawanie rynien erozyjnych wyłobionych w skalnym dnie lub namulisku. Świadczy to o słabym nasyceniu wody węglanem wapnia, co w połączeniu z niską temperaturą jaskiń ( $3^{\circ}$  do  $4^{\circ}\text{C}$ ) i dużą wilgotnością tłumaczy brak lub słaby rozwój form naciekowych. Wytrącanie węglanu wapnia ma obecnie w jaskiniach miejsce przede wszystkim w postaci konkrecji węglanowych, występujących w namuliskach i drobnych grzybkowatych utworów na ścianach korytarza. Ważnym procesem zachodzącym współcześnie w jaskiniach są ruchy tektoniczne. Według obserwacji S. Zwolińskiego (1953) w wielu korytarzach Jaskini Zimnej dno jest zasłane grubą warstwą pokruszonych nacieków. Również szeroka szczelina w Korytarzu Galeriowym w Grocie Zimnej musiała powstać po wytworzeniu się korytarza, gdyż inaczej jego przekrój okrągły nie dałby się wytłumaczyć. Piękny również przykład przesunięcia widać w stropie korytarza w górnym piętrze Jaskini Miętusiej. Kolejny przekrój korytarza rozwiniętego na szczelinie jest przesunięty o około 20 cm, tak że jedno półkole nie odpowiada drugiemu (fig. 10). Istnienie tych ruchów tłumaczy również powstanie zawalisk w Grocie Miętusiej i Zimnej.

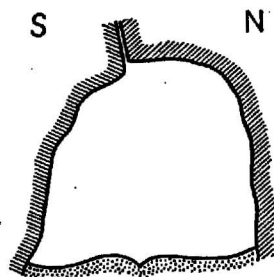


Fig. 10

Przekrój przez korytarz Za Syfonem w Jaskini Miętusiej

Widoczne przesunięcie wzdłuż szczeliny w stropie. Amplituda przesunięcia 15 cm

Section of the Za Syfonem Corridor in the Miętusia Cave

Divergence along a joint in the roof, amplitude of divergence 15 cm.

#### WNIOSKI

Jaskinie Doliny Kościeliskiej przechodziły kilka etapów rozwoju. Najintensywniejsze formowanie się jaskiń zachodziło poniżej poziomu zwierciadła wód podziemnych. Rozwój jaskiń jest kontrolowany przez poziom wód, a co za tym idzie jest zależny od szybkości pogłębiania się do-

liny. W przypadku zahamowania erozji doliny następuje względne ustabilizowanie się poziomu wód i związane z tym silne rozwinięcie się systemu jaskiń. W Dolinie Kościeliskiej można wyróżnić trzy poziomy jaskiń świadczące o trzech okresach zahamowania erozji doliny, rozdzielonych dwoma okresami energicznej erozji powodującej za każdym razem około stumetrowe wcięcie się doliny.

W obecnej chwili nie można definitywnie odpowiedzieć na pytanie, jaka przyczyna powodowała nierównomierną szybkość erozji doliny. W naszych warunkach mogą wchodzić w grę jedynie dwa czynniki — różna intensywność trzeciorzędowych ruchów pionowych oraz zmiany klimatyczne w okresie czwartorzędowym. W tym ostatnim przypadku zahamowania erozji doliny, a więc wytworzenie systemu jaskiń odpowiadałoby glacjałom, podczas gdy okresy intensywne wcinania odpowiadałyby interglacjałom.

Dolina Miętusia posiadała pierwotnie własny system odwodnienia. Leżąca w niej Jaskinia Miętusia jest typowym przykładem groty wywierzykowej. Erozja Doliny Miętusiej postępowała znacznie wolniej niż erozja Doliny Kościeliskiej. Wytworzyło to dysproporcję pomiędzy poziomami wód Doliny Kościeliskiej i Miętusiej, co doprowadziło do powstania podziemnego kaptażu, który przeciągnął wody z Jaskini Miętusiej do Doliny Kościeliskiej. Kaptaż ten nastąpił prawdopodobnie w drugim poziomie rozwoju jaskiń. Wywierzykiem w tym obszarze była wtedy Jaskinia Zimna. Dlatego też możliwe jest istnienie połączenia pomiędzy jaskiniami Zimną i Miętusią.

Przeciągnięcie wód do Doliny Kościeliskiej spowodowało powstanie w Jaskini Miętusiej 180-metrowej serii pionowych kominów. Siła działania strumieni grawitacyjnych w Jaskini Miętusiej nie była jednakowa — wyraźnie zaznacza się okres energicznej działalności.

Należy przypuszczać, że dalsze badania genezy jaskiń tatrzańskich, badania morfologii i hydrografii krasu tatrzańskiego oraz opracowanie żwirów występujących w jaskiniach przepływowych przyczyni się znacznie do poznania ostatniego okresu historii Tatr.



## LITERATURA CYTOWANA

- ALEXANDER H. 1932. Pothole erosion. — *J. Geol.* vol. 40, no. 4.
- ALLISON V. C. 1925. The growth of stalactites and stalagmites. — *Ibidem*, vol. 31, no. 2.
- BARNET H. 1956. Cavitation as a geological agent. — *Amer. J. Sci.*, vol. 254, no. 8.
- BÖGLI A. 1956. Grundformen von Karsthohlenquerschnitten. — *Stalactite*, vol. 6, no. 3.
- BRETZ J. H. 1938. Caves in the Galena Formation. — *J. Geol.*, vol. 46, no. 6.
- 1941. Phreatic and vadose features in limestone caverns. — *Ibidem*, vol. 49, no. 4.
- 1949. Carlsbad caverns and other caves of Guadalupe block. — *Ibidem*, vol. 57, no. 5.
- 1950. Cavern making in a part of the Mexican Plateau. — *Ibidem*, vol. 58, no. 4.
- CVIJIC J. 1929. Dinarski Karst. Beograd.
- DAVIS W. M. 1930. Origin of limestone caverns. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 41, no. 3. Baltimore.
- DICKEN A. 1935. Kentucky karst landscapes. — *J. Geol.* vol. 43, no. 6.
- GARDNER H. 1935. Origin and development of limestone caverns. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 46, no. 8. Baltimore.
- GUERIN P.H. 1944. *Speleologie*. Paris.
- HALICKI B. 1930. Dyluwialne zlodowacenie północnych stoków Tatr (La glaciation quaternaire du versant nord de la Tatra). — *Spraw. P. I. G. (Bull. Serv. Géol. Pol.)*, t. V. Warszawa.
- KAYE C. 1957. The effect of solvent motion on limestone solution. — *J. Geol.*, vol. 65, no. 1.
- KOWALSKI K. 1953. *Jaskinie Polski (Les cavernes de la Pologne)*. Warszawa.
- KRINITZSKY E. 1947. Fault plane cavern. — *J. Geol.*, vol. 55, no. 2.
- KUNSKY J. 1956. *Zjawiska krasowe, Tłumacz. z czeskiego*. P.W.N. Warszawa.
- MALLOT I. 1937. Invasion theory of cavern development. — *Proc. Geol. Soc. Amer.*, vol. 36.
- MAXON J. 1940. Fluting and faceting of rock fragments. — *J. Geol.*, vol. 48, no. 7.
- MAXON J. & CAMPBELL J. 1935. Stream fluting and stream erosion. — *Ibidem*, vol. 43, no. 7.
- MONEYMAKER A. 1938. Deep solution cavities in the Tennessee Valley Area. — *Proc. Geol. Soc. Amer.*, vol. 37.
- PASSENDORFER E. 1954. *Jak powstały Tatry*. Wydanie III. Wyd. Geol. Warszawa.
- RHOADES R. & SINACORI M.N. 1941. Pattern of ground water flow and solution. — *J. Geol.*, vol. 49, no. 6.
- RYŻIKOV D. W. 1954. *Priroda karsta i osnovnye zakonomernosti ego razvitiija*. — *Trudy Gorno-Geol. Inst. wyp. 21*. Moskva.
- SWINNERTON A.C. 1952. Origin of limestone caverns. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 43. Baltimore.
- WŁODEK J. 1926. Notatka o koncentracji jonów wodorowych niektórych wód Doliny Kościeliskiej i Chochołowskiej w Tatrach. — *Spraw. Kom. Fizj. Pol. Ak. Um.*, t. 60. Kraków.

- WÓJCIK Z. 1957a. Sprawozdanie z wyprawy do Jaskini Miętusiej. — Przegl. Geol. z. 5. Warszawa.
- 1957b. Błotne lejki. — Wszechświat, nr 8-9. Warszawa.
- ZWOLIŃSKI S. 1953. O młodych ruchach tektonicznych w Tatrach. Praca nie publikowana.
- 1955. Tatrzański rejon jaskiniowy. — Światowid, t. XXI.
- 

Я. РУДНИЦКИ

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПЕЩЕР СИСТЕМЫ ЛЕДОВОГО ИСТОЧНИКА  
И ИХ СВЯЗЬ С РАЗВИТИЕМ КОСЬЦЕЛИСКОЙ ДОЛИНЫ В ТАТРАХ**

(Резюме)

Рассмотрены происхождение и эволюция пещер в Косьцелиской и Ментусей Долине в Западных Татрах (фиг. 7). На этом пространстве выступают самые большие в Польше пещеры — Зимна Пещера (3900 м — фиг. 9) и Ментуся Пещера (2150 м — фиг. 8). Характер существующих здесь эрозионных карстовых форм (фиг. 1-6, пл. I-VI) указывает, что они образовались ниже поверхности подземных вод, в зависимости от которой находилось их развитие. Высота поверхности подземных вод была всегда обусловлена уровнем глубже всего врезанной Косьцелиской Долины. Выступление на склонах Косьцелиской Долины трех уровней пещер, свидетельствует о трех периодах более медленной эрозии долины, во время которых следовало сильное развитие пещер. Эти три периода медленной эрозии разделены двумя периодами энергичной эрозии, вызывающей сильное врезывание долины.

Эта неравномерная скорость эрозии долины может быть обусловлена третичными выдвигающими движениями или климатическими изменениями в четвертичном периоде. В этом последнем случае период медленной эрозии, следовательно период образования уровня пещер соответствовал бы гляциалам, а период скорой эрозии — интергляциалам.

---

J. RUDNICKI

**THE GENETICS OF CAVES IN THE LODOWE ŹRÓDŁO CAVERNOUS SYSTEM AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE KOŚCIELISKA VALLEY IN THE TATRA MTS.**

(Summary)

**ABSTRACT:** Description is given of karst erosion sculpture noted in caves of the Kościeliska Valley in the Western Tatra Range. Relief features recording phreatic and vadose episodes have been differentiated. The caves are arranged on three levels. This distribution scheme is associated with migration of the ground water table due to Tertiary movements or to Quaternary climatic changes.

The northern slopes of the Tatra Range are a region where sub-terrenean karst phenomena have been at work with greater intensity than in any other part of Polish territory. In spite of almost complete absence of karst topography, underground circulation is strong and caves are being formed all the time. The largest Polish caves are situated within this belt. The whole of the karsted area may be subdivided into several regions whose natural limits are those laid down by geological and morphological features.

Karst relief is here being carved within limestone deposits of Lower Cretaceous, Jurassic and Triassic ages. All that limestone series has an equatorial strike and a steep northward dip. In connection with the folded structure of the Tatra Range the limestone series is enveloped on its southern and northern boundaries by an impervious mantle of Albian marls. These form a barrier against farther karst erosion to the north and south. The whole terrain is cut up by deep meridional valleys which are the natural eastern and western boundaries of the differentiated regions.

The present paper studies cave formation within one of these natural regions, namely that bounded by the Kościeliska and Miętusia valleys (fig. 7). This particular region, more so than others, abounds in caves, including the two largest caves of Poland: The Zimna Cave (3900 m.) and the Miętusia Cave (2150 m.). This region, covering an area of about 8 sq. km. is drained by the great karst spring of Lodowe Źródło (Ice Well). The morphology of the region is that of a high-mountain area, with marked denivelations. It forms an extension of the Twardy Uplaz from which two ridges branch off, linked by the Gładkie Uplazińskie (1794 m.). The northern ramification is that of Uplaz Miętusi with maximum altitude at 1630 m. The other branch, stretching NW, reaches to the Kościeliska Valley and forms the Organy Massif. The distribution of caves in the sides of the Kościeliska Valley is not fortuitous. They lie on three different levels at varying elevation from the valley bottom

(chart 1). The lowest level corresponds with the valley floor, and consists of recent current flow caves. The next level lies abt. 120 m. above valley floor and is represented by the largest caves. The third, uppermost level is raised abt. 210 m. above the valley floor. The caves here have experienced strong erosion. A number of sculpture features observable in the caves, such as spongework, tubes and potholes (figs. 1-5) record that they were originally formed below the subsurface water table. Genetically they must be associated with the phreatic episode.

Thus it may be seen that cave formation here was controlled by the level of the ground water table, hence by the rate of valley bottom erosion. Consequently, the three existing levels record three periods of checked valley erosion alternating with two periods of intense erosional activities.

The character of caves in the studied region varies strongly. Some are current flow caves, the former waterways of the Kościeliski Stream (chart 1). The largest, however, are distinct spring caves. This e. g. is the character shown by the Zimna Cave (fig. 8) where the main passage constitutes a clearly marked master conduit carrying the subwater table stream to the old spring. Flutes clearly indicate the ground water flow. Another spring cave is the Miętusia Cave (fig. 9) in the Miętusia Valley, at an altitude of 2000 m. i. e. about 200 m. above the Zimna Cave. The history of its formation is by far more complex than that of the Zimna Cave. In the Miętusia Cave there are two conduit systems, to say one of horizontal conduits leading from the cave entrance, and another of vertical conduits, starting well inside the cave and attaining a depth of 180 m. The character of the upper portion of the cave, i. e. of the horizontal conduits points out to its spring nature. Numerous flutes and potholes, found along the master conduit, 600 m. long, (pl. XXVI) indicate the direction of the water flow toward the Miętusia Valley. This shows that, at the time when the cave was functioning, the Miętusia Valley had its own drainage system. However, the more rapid wearing down of the Kościeliska Valley gave rise to marked disproportion between the water tables of the Kościeliska and Miętusia valleys. This, in turn, resulted in piracy whereby the waters of the Miętusia Cave were deviated to the Kościeliska Valley. In consequence of the piracy a series of vertical shafts — domepits — to a depth of 180 m. has been carved within the Miętusia Cave. The piracy probably occurred during the formation of the second cave level, when the Zimna Cave was the outlet for that area. Hence, the likelihood of a connection between the Miętusia and the Zimna caves. At the bottom of the Miętusia Cave there is a siphon, which has not, as yet, been explored.

After the piracy, following the drainage of the Miętusia Cave directly into the Kościeliska Valley, the water table was lowered rapidly, terminating the phreatic experience of this cave. The vadose episode does not seem to have modified the character of the caves to any significant extent. All the caves within the studied region are almost completely flowstone-free. The occurrence of single stalactites is quite sporadic. This is very helpful in the study of wall features in the caves.

The study of caves in the here considered area confirms observations made by J. H. Bretz (1941) in respect to American caves. The development of the Tatra caves took place mostly during the phreatic epoch and was controlled by the water table. This was adjusted by the Kościeliska Valley, showing the lowermost incision. Its erosion, however, was not rapid, as is indicated by the presence of three cave levels recording three periods of checked erosion in valley development. Either Tertiary movements, warping the Tatra Range, or Quaternary climatic changes may be responsible for the lack of uniformity in this case. If the latter hypothesis be the true one, the time of weak erosion, associated with valley formation, would correspond to the glacial periods, that of strong erosion corresponding to the interglacial periods.

*Laboratory of Dynamic Geology  
at the Warsaw University  
Warszawa, November 1957*

## OBJAŚNIENIA DO PLANSZ XXVI - XXXI

### DESCRIPTION OF PLATES XXVI - XXXI

#### PL. XXVI

„Tunel“ w Jaskini Miętusiej. Typowy przykład korytarza powstałego przy przepływie wód pod ciśnieniem. Stanowi on początkową część systemu korytarzy doprowadzających wodę do wywierzyska. Z przodu po lewej stronie widoczne zagłębienia wirowe wskazujące na przepływ wody od głębi

“Tunnel” in the Miętusia Cave. Typical illustration of the formation of a corridor through water flow under pressure. This is the commencement of a system of corridors carrying water to the spring. Left front, flutes indicating water flow from the interior

#### PL. XXVII

Korytarz w Jaskini Miętusiej ponad Białymi Zamkami. Widać związek korytarza ze szczeliną. U góry i po prawej stronie widoczne małe kotły wirowe

Corridor in Miętusia Cave, above Błotne Zamki. Connection of corridor with joint. Small potholes at top and to the right

PL. XXVIII

Jaskinia Miętusia, korytarz Za Syfonem. Widoczny pierwotny kształt korytarza rozwiniętego na pionowej szczelinie i wycięte później tuż przy dnie nisze zakolowe

Miętusia Cave, Za Syfonem Corridor. Original shape of corridor developed on vertical joint, also later meander niches carved out subsequently, immediately along the bottom

PL. XXIX

Doprowadzający wodę do wywierzyska korytarz główny w Jaskini Miętusiej. Został on utworzony z dwóch rurowych korytarzy leżących jeden nad drugim

Master conduit of Miętusia Cave carrying water to the spring formed by the fusion of two overlying tube corridors

PL. XXX

Trawers nad ślepym kominem w Jaskini Miętusiej. Są to silnie rozwinięte szczelinowe kominy. Przykład ciągów pionowych uformowanych po kaptażu

Traverse above blind shaft in the Miętusia Cave. These are strongly developed joint shafts, illustrating vertical post-piracy conduits

PL. XXXI

„Ósemka“ w Jaskini Miętusiej. Forma powstała z przekształcenia dwóch rur kra-sowych

“Double Loop” in Miętusia Cave, formed through modification of two karst tubes

*Wszystkie zdjęcia wykonał Z. Małek*  
*All photographs taken by Z. Małek*

---



