

TADEUSZ DĄBROWSKI

## Podziemne przepływy krasowe potoków w Tatrach Zachodnich

**STRESZCZENIE:** W Tatrach Zachodnich podziemne przepływy krasowe potoków zostały stwierdzone z całą pewnością metodą wskaźnikową w Dolinie Chochołowskiej i Kościeliskiej. Opisane są liczne związki wypływów z określonymi ponorami.

### WSTĘP

Badania, których celem było poznanie warunków hydrogeologicznych w Tatrach, rozpoczęto w połowie XIX w. Z tego okresu wymienić można pomiary temperatury wody w źródłach wykonane przez L. Zejsznera (1844). W opracowaniu swym podał on jednocześnie przypuszczenia co do sposobu zasilania niektórych źródeł. Zauważył on związek temperaturowy Wypływu spod Pisanej z Potokiem Kościeliskim twierdząc, że ten system krasowy jest podziemnym przepływem potoku. Hipotezy L. Zejsznera potwierdzają obserwacje późniejszych badaczy: E. Janoty (1860) i G. Ossowskiego (1882).

Dalsze pomiary temperatur wód tatrzańskich prowadzili L. Świerż (1882, 1897, 1899) i L. Birkenmayer (1896). Wszyscy ci badacze podają, między innymi, wyniki pomiarów temperatury w Wypływie spod Pisanej.

W 1924 r. ukazała się praca T. Malickiego i T. Zwolińskiego, w której zerwali oni z poglądami L. Zejsznera (1844) twierdząc, że Wypływ spod Pisanej stanowi odwodnienie wąwozu Kraków. Jedynie w czasie stanów powodziowych Potok Kościeliski wlewa się do jaskini, zasilając bezpośrednio Wypływ.

Dalsze dane dotyczące podziemnych przepływów potoków znajdujemy w pracy A. Wrzoska (1933), który wymienia Wypływ z Raptawickiej Turni w Dolinie Kościeliskiej i Wypływ z Rybiej w Dolinie Chochołowskiej.

W 1953 r. wydana została obszerna monografia jaskiń tatrzańskich K. Kowalskiego, który powtarza za innymi autorami dane dotyczące podziemnych przepływów krasowych i uzupełnia je własnymi obserwacjami

w jaskini Szczelina Chochołowska. Sądzi on, że dolne partie tej jaskini stanowią podziemny przepływ Potoku Chochołowskiego, połączony z Wypływem z Rybiej.

Badania chemizmu wód w Tatrach Zachodnich prowadzi K. Oleksynowa i T. Komornicki (1958, 1960). Między innymi wykonali oni szereg analiz wody pochodzącej z różnych źródeł krasowych. Podobne pomiary o węższym jednak zakresie, ograniczone do zbiorników i cieków w jaskiniach wykonali W. i A. Chodorowscy (1959).

J. Rudnicki (1959) potwierdził przepływowy charakter jaskini Wodnej pod Pisaną i Wodnej pod Raptawicką, wykonując pierwsze barwienie tego systemu. W latach następnych genezą i rozwojem podziemnych krasowych przepływów potoków zajmował się autor.

#### METODY BADAŃ PODZIEMNYCH PRZEPŁYWÓW

Dla hydrogeologicznego rozpoznania podziemnych przepływów potoków, obok danych dotyczących własności fizycznych i chemicznych wody, konieczne jest poznanie stref zasilania i dróg krążenia wód dopływających do poszczególnych źródeł oraz wydajność źródeł i jej zmienność. *Strefy zasilania i kierunki krążenia* wód krasowych można rozpoznać jedynie przy pomocy wskaźników, ponieważ eksploracja obecnie czynnych jaskiń jest niemożliwa ze względu na zbyt małe wymiary szczelin i korytarzy oraz całkowite lub częściowe wypełnienie ich wodą. Natomiast użycie wskaźników pozwala na stwierdzenie połączeń między danym ponorem i źródłem oraz poznanie czasu przepływu w tym systemie (Hass 1959, Maurin & Zötl 1959). Zasadniczą wadą metod wskaźnikowych jest to, że z osiągniętych wyników nie można określić rzeczywistej długości drogi krążenia wody.

Przy badaniach podziemnych przepływów potoków stosowano dwie metody: chemiczną i kolorymetryczną. W metodzie chemicznej wskaźnikiem wprowadzonym do ponoru był roztwór NaCl, którego obecność w wypływie stwierdzono za pomocą oporomierza typu MU-3 z elektrodą, lub analitycznie, pobierając próbki wody i oznaczając w nich zawartość jonu Cl<sup>-</sup>. Wyniki uzyskane z pomiaru oporu wody i zawartości jonu Cl<sup>-</sup> były niemal identyczne. Przykładowe porównanie tych wyników przedstawia figura 1.

W metodzie kolorymetrycznej najczęściej używanym wskaźnikiem była uranina (sól sodowa fluoresceiny). Pojawienie się jej w źródle powodowało zmianę barwy wody na kolor zielono-żółty.

Uzyskane tymi metodami wyniki pozwalały na ustalenie dróg krążenia, tzn. związku pomiędzy ponorem a źródłem, lub ponorem a kilkoma źródłami zasilanymi z określonego ponoru. *Pomiary wydajności źródeł* i wielkości przepływu potoku wykonywane były metodami opartymi na rozcieńczaniu porcji wskaźnika wprowadzanego do cieku.

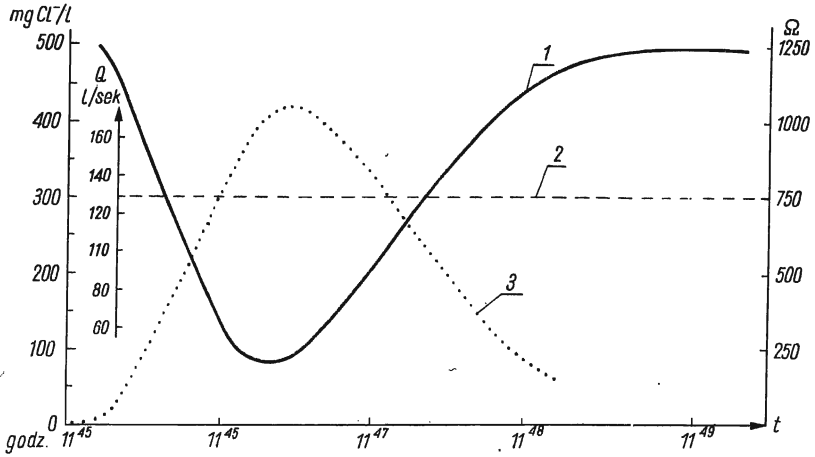


Fig. 1

Krzywa stężenia wskaźnika (NaCl) uzyskana metodą chemiczną i elektryczną  
 1 krzywa zmiany oporu wody w czasie przepływu wskaźnika przez przekrój pomiarowy,  
 2 linia przedstawiająca wydajność źródła, 3 krzywe stężenia jonu Cl<sup>-</sup>

Indicator concentration curve (NaCl) obtained by the chemical and the electrical methods

1 water-resistance changes curve during indicator flow through the measurement section,  
 2 line representing the spring output, 3 ion Cl<sup>-</sup>, concentration curve

Wykorzystanie metody młynkowej w potoku o nierównym dnie i nierównej linii brzegowej wywołującej znaczną burzliwość ruchu wody daje wyniki obarczone poważnym błędem. Próby zastosowania przelewów okazały się daremne ze względu na ucieczkę wody w kamieńcu pod przelewem.

W warunkach ruchu burzliwego stosuje się metody oparte na rozcieńczaniu wprowadzonego wskaźnika. Rozcieńczaniu wskaźnika sprzyja burzliwość ruchu, która gwarantuje prawie doskonałe wymieszanie się go z wodą mierzonego ciekłu. Pomiar wielkości przepływu (Dąbrowski 1962) przeprowadzone były metodą polegającą na wprowadzeniu do badanego ciekłu roztworu wskaźnika o znanym stężeniu N<sub>1</sub> ze stałym wydatkiem q (1/sek.) (fig. 2 i 3). Poniżej przekroju, w którym następowało całkowite wymieszanie się wskaźnika, pobierano próbki wody. Miejsce całkowitego wymieszania się wskaźnika znajdowano bezpośrednio przed pomiarem, wprowadzając barwnik i obserwując jego mieszanie się. W pobranych próbkach zależnie od wskaźnika (barwnik czy związek chemiczny) oznaczano kolorymetrycznie lub analitycznie stężenie wskaźnika N<sub>2</sub>. Ponieważ używane wskaźniki (uranina i chlorek sodu) w ciekach Tatr nie występują, badany przepływ można obliczyć ze wzoru:

$$Q = \frac{q N_1}{N_2} \quad (1/\text{sek.}).$$

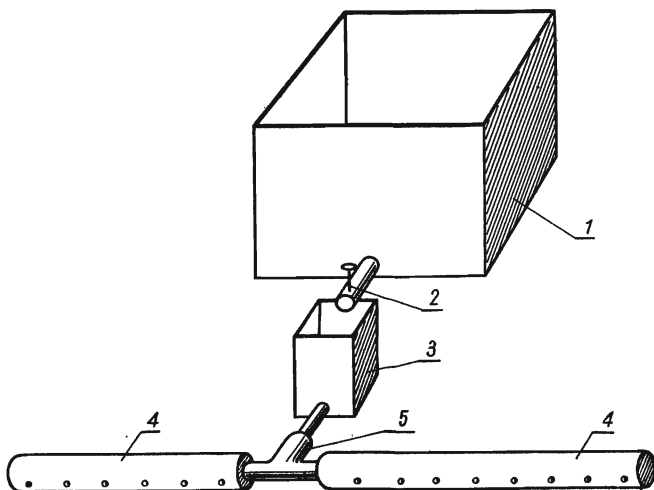


Fig. 2

Aparatura używana do pomiaru wielkości przepływu

1 skrzynia pomiarowa o pojemności 110 l, 2 kran, 3 zbiornik wyrównawczy, 4 rury winidur-  
rowe, perforowane, 5 rozdzielnik

Apparatus used for measuring the flow volume

1 measurement box of 110 l. capacity, 2 tap, 3 equalising box, 4 perforated vinidur pipes,  
5 distributor

Ze względu na wielkość całego zestawu aparatury pomiarowej, trudności z utrzymaniem stałego wydatku ze skrzyni zasilającej, konieczność używania dużych ilości wskaźnika oraz stosunkowo małą dokładność pomiarów, metody tej przy dalszych badaniach nie stosowano.

Do pomiarów wielkości przepływów zastosowano metodę opartą również na rozcieńczeniu porcji wskaźnika. Teoretyczne uzasadnienie tej metody podał Z. Piętka (1960, 1964). Zakłada on, że w badanym cieku nie zachodzi absorbcja ani adsorbcja użytego wskaźnika, a wielkość przepływu jest stała (nie ma ani dopływu ani ucieczki wody na mierzonym odcinku). Przy tym założeniu słuszne jest twierdzenie, że przez każdy przekrój przepływnie ta sama ilość wskaźnika. Wówczas pola zawarte pomiędzy krzywą stężenia wskaźnika a osią odciętych obrazującą czas przepływu są równe sobie (fig. 4).

Można więc napisać

$$c \int_{t_n}^{t_{n+1}} dt = \text{const},$$

gdzie  $c$  — stężenie wskaźnika w badanym cieku,  $t$  — czas przepływu

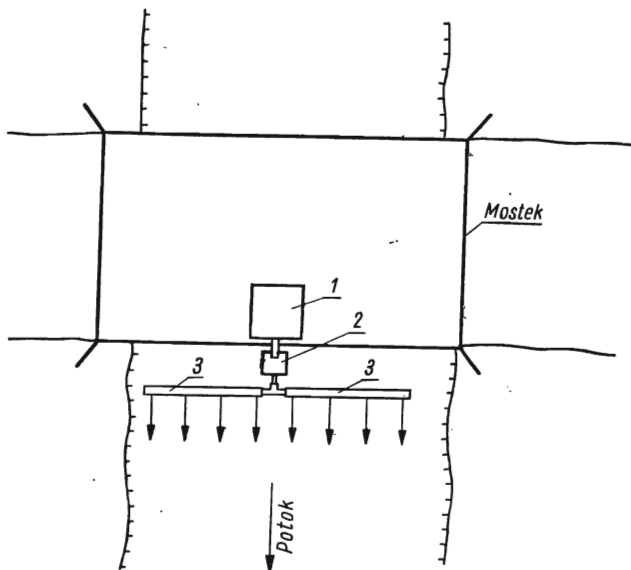


Fig. 3

Ustawienie aparatury przy wykonywaniu pomiarów wielkości przepływu  
 1 skrzynia pomiarowa z rozpuszczonym wskaźnikiem, 2 zbiornik wyrównawczy, 3 rury winidurowe perforowane, które rozprowadzały wskaźnik na całą szerokość potoku

The instalation of the apparatus for measurements of the flow volume  
 1 measurement box with dissolved indicator, 2 equalising box, 3 perforated vinidur pipes, which spread the indicator throughout the width of the stream

wskaźnika przez dany przekrój. Stałą ilość wskaźnika — S, przepływającą w dowolnym przekroju pomiarowym przedstawić można równaniem

$$S = Q \int_{t_n}^{t_{n+1}} c dt$$

z przekształcenia otrzymamy

$$Q = \frac{S}{\int_{t_n}^{t_{n+1}} c dt}$$

S — stała ilość wskaźnika, Q — wielkość przepływu.

Stałą ilość wskaźnika można również określić jako iloczyn objętości wskaźnika M i jego stężenia K

$$S = M \cdot K.$$

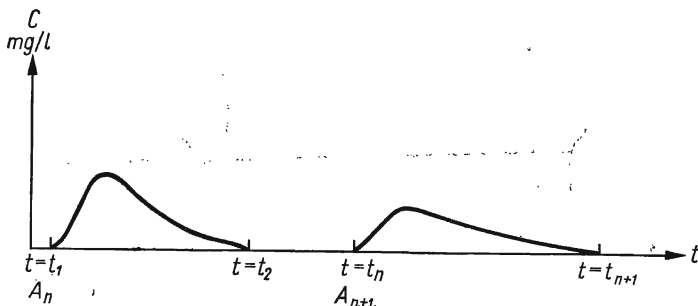


Fig. 4

Zmiana krzywych stężenia z biegiem cieku (wg Z. Piętka, 1960)

C stężenie wskaźnika; t czas przepływu wskaźnika przez dany przekrój;  $A_n$ ,  $A_{n+1}$  kolejne przekroje pomiarowe w badanym cieku

Changes in concentration curves along the course of the stream (after Z. Piętka, 1960)

C concentration of indicator; t time of the indicator flow through the given section;  $A_n$ ,  $A_{n+1}$  successive measurement sections in the investigated stream

Stężenie wskaźnika w danym przekroju możemy przedstawić jako iloczyn rozcieńczenia X przez koncentrację K

$$c = X \cdot K.$$

Po wprowadzeniu tych danych, wzór na obliczenie wielkości przepływu w danym przekroju będzie:

$$Q = \frac{M}{\int_{t_n}^{t_{n+1}} X dt} \quad (1/\text{sek}).$$

Z powyższych rozważań widać, że do zmierzenia wielkości przepływu wystarczy znać objętość wprowadzonego roztworu wskaźnika i krzywą jego rozcieńczenia w danym przekroju pomiarowym.

Jako wskaźnika przy pomiarach wielkości przepływu używano chlorku sodu. Jon  $\text{Cl}^-$  w pobranych 30—40 próbkach oznaczano metodą Mohra (miareczkowanie roztworem azotanu srebra). W wykonanych pomiarach kontrolnych różnice pomiędzy pomiarami wahały się w granicach 1—2% przy przepływach 200—300 1/sek. Błąd ten zwiększał się wraz ze wzrostem wielkości przepływu potoku.

Stosując tę metodę można wykonywać pomiary źródeł i cieków bezpośrednio (fig. 5a), a pośrednio — jako różnicę wielkości przepływu potoku powyżej i poniżej źródła (fig. 5b). Tak samo oznaczono chłonność poronów znajdujących się w korycie potoku (fig. 5c).

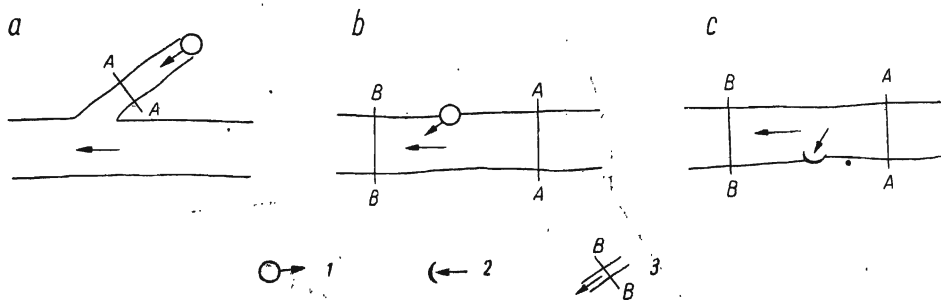


Fig. 5

Sposoby wykonywania pomiarów wydajności źródeł i chłonności ponorów a bezpośrednio, b i c pośrednio jako różnice pomiędzy wielkościami przepływu potoku. 1 źródła, 2 ponor, 3 przekrój, w którym wykonuje się pomiar przepływu

Methods for measuring the output of springs and the intake capacity of swallow-holes a directly, b and c indirectly, on differences in the volume of the stream flow. 1 springs, 2 swallow-hole, 3 section of the measurement of the flow volume

PODZIEMNE PRZEPIŁYWY KRASOWE POTOKÓW TATRZAŃSKICH

*Podziemne przepływy krasowe w Dolinie Chochołowskiej*

W Dolinie Chochołowskiej rozwinęły się dwa podziemne przepływy krasowe. Jednym jest system Jaskini Rybiej, drugim okresowo funkcjonujący system Jaskini nad Potokiem. Jaskinia ta jedynie w okresie powodzi stanowiła podziemny przepływ potoku. Obecnie, na skutek wykonania nasypu pod drogę w dolinie oraz uregulowania potoku na tym odcinku Jaskinia nad Potokiem utraciła bezpośredni związek z potokiem.

Jedyny czynny krasowy przepływ Potoku Chochołowskiego znajduje się w Bramie Chochołowskiej Wyżniej — jest to przepływ przez Jaskinię Rybią (Dąbrowski 1961, Dąbrowski & Rudnicki 1964) (pl. I, fig. 1). Rozwinął się on w wapieniach malmo-neokomu serii Kominów Tylkowych około 100 m poniżej schroniska Blaszyńskich (fig. 6).

Wypływ z Jaskini Rybiej zasilany jest przez dwie strefy ponorów. Pierwsza strefa leżąca 45 m powyżej wypływu charakteryzuje się małą chłonnością 5—10 l/sek. Spowodowane jest to małymi rozmiarami szczelin oraz prawie całkowitym ich zasypaniem przez osady potoku. Druga strefa ponorów, odległa od pierwszej o 50 m (fig. 6), stanowi wejście do Jaskini Rybiej (pl. I, fig. 2). Tworzą ją znacznych rozmiarów szczeliny, którymi można przedostać się w głąb jaskini i prześledzić fragment biegu potoku podziemnego. Poznanie całego systemu jaskini jest niemożliwe ze względu na małe rozmiary korytarzy i ich całkowite wypełnienie wodą.

Wykonane barwienia ponorów pozwoliły na określenie czasów podziemnych przepływów pomiędzy ponorami a Wypływem z Rybiej.

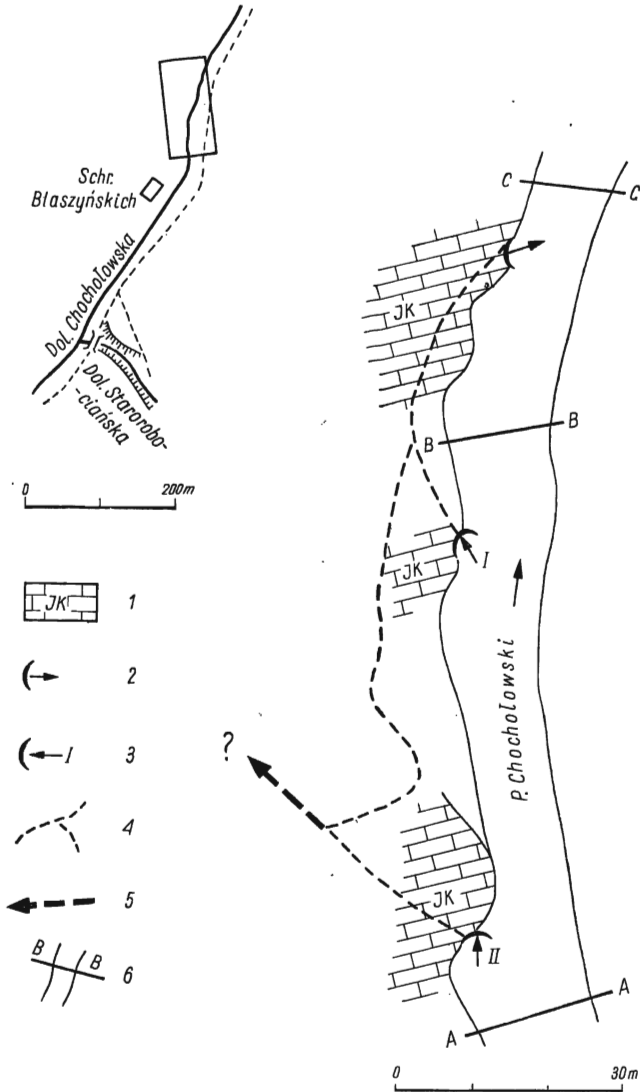


Fig. 6

### Podziemny przepływ Potoku Chochołowskiego w rejonie Wyżniej Bramy Chochołowskiej

1 wapienie malmo-neokomu, 2 wypływ z Jaskini Rybiej, 3 kolejna strefa ponorów, 4 przypuszczalna droga podziemnego przepływu potoku, 5 ucieczka wody z tego przepływu, 6 przekroje pomiarowe

### Underground passage of the Chochołowski stream in the vicinity of Wyżnia Brama Chochołowska

1 Malm-Neocomian limestones, 2 outflow from the Rybia cave, 3 consecutive swallow-hole zone, 4 supposed underground passage of the stream, 5 disappearance of water from this passageway, 6 measurement sections



Tabela 1 \*

Strefa ponorów — wypływ	Odległość w m	Data pomiaru	Średnia prędkość przepływu podziemnego w m/godz.	Średnia prędkość przepływu potoku powierzchniowego na tym odcinku m/godz.
I strefa ponorów — wypływ	45	14.VII.1964	480	3300
		12.VIII.1964	340	2700
II strefa ponorów — wypływ	95	25.VII.1961	87,6	1100
		17.IX.1961	95	1200
		14.VII.1964	285	3300
		12.VIII.1964	190	2700

\* Ponieważ nieznaną jest rzeczywiste droga przepływu (S), do obliczeń przyjęto odległość zastępczą mierzoną w linii prostej pomiędzy ponorem a źródłem. Obliczona w ten sposób pozorna prędkość przepływu będzie zawsze mniejsza od rzeczywistej.

Z tabeli tej widać, że prędkości przepływu na podziemnych odcinkach potoku są znaczne i wahają się od 90 m/godz., przy niskim stanie, do około 250—500 m/godz. przy średnim stanie wody. Równocześnie widać znaczne zróżnicowanie prędkości na tych dwóch odcinkach ściśle ze sobą związanych. Wy tłumaczyć można to tym, że woda ginąca w ponorach strefy pierwszej bezpośrednio płynie do wypływu. Część wód pochłaniana przez strefę drugą przepływa przez skomplikowany ciąg korytarzy i szczelin przed połączeniem się z wodami płynącymi ze strefy pierwszej (fig. 6). Obserwacje te potwierdzają przypuszczenia K. Kowalskiego (1953) i M. Puliny (1959) na temat połączenia Potoku Chochołowskiego z dolnymi (wodnymi) partiami jaskini Szczelina Chochołowska. Z równocześnie wykonanych pomiarów prędkości przepływu w cieku powierzchniowym wi-

Tabela 2

Miejsce pomiaru	Data pomiaru			
	26.VII.1961	17.IX.1961	14.VII.1964	12.VIII.1964
Wielkość przepływu w l/sek.				
Potok Chochołowski powyżej ponorów, przekrój A-A	148	156	400	310
Potok Chochołowski poniżej ponorów, przekrój B-B	67	64	260	200
<i>Chłonność ponorów</i>	81	92	140	110
Potok Chochołowski poniżej Wypływu z Rybiej, przekrój C-C	85	98	320	270
<i>Wypływ z Rybiej</i>	18	34	60	70
<i>Ucieczka wody z tego systemu (Q<sub>A</sub> — Q<sub>C</sub>)</i>	63	58	80	40

dać, że prędkości te są kilkunastokrotnie wyższe od prędkości podziemnego strumienia. Pomiary wielkości przepływu Potoku Chochołowskiego w tej strefie pozwoliły na oznaczenie chłonności ponorów i wydajności Wypływu z Rybiej (przekroje pomiarowe są zlokalizowane na fig. 6).

Chłonność ponorów (tab. 2), zależna od stanu wody w potoku, zmienia się w granicach od 80 do 140 l/sek. Obserwując wydajność w Wypływie z Rybiej można stwierdzić, że niecała woda ginąca w ponorach tu się ponownie pojawia. Strata wody na tym podziemnym odcinku jest znaczna od 40 do 80 l/sek. K. Oleksynowa i T. Komornicki (1960) ucieczkę wody z tego systemu szacowali na około 80 l/sek. Bardzo prawdopodobny jest przepływ krasowy pomiędzy Doliną Chochołowską a Doliną Bobrowiecką, gdzie występują znacznych rozmiarów wywierzyska krasowe. Jest całkiem możliwe, że takie połączenie istniało dawniej przez jaskinię Szczelina Chochołowska rozwiniętą w kierunku wschód-zachód.

Przypuszczenie S. Zwolińskiego (1961) o przepływie wody pomiędzy Jaskinią Rybią a wywierzyskiem leżącym powyżej hali Huciska na prawym brzegu potoku nie zostało potwierdzone barwieniami.

### *Podziemne przepływy krasowe w Dolinie Kościeliskiej*

W Dolinie Kościeliskiej podziemne przepływy krasowe potoku rozwinęły się w trzech niezależnych systemach związanych z występowaniem skał podlegających procesom krasowym. Są to systemy:

1. Wypływu Tomanowego,
2. Wypływu przy Krzyżu Pola,
3. Wypływu spod Pisanej i Wypływu z Raptawickiej (fig. 7).

*System Wypływu Tomanowego* rozwinął się na skałach węglanowych kampilu (Kotański 1959). Jest on zasilany wodami infiltrującymi w kamieniec wypełniający koryto potoku (ponor A). Woda po kilkumetrowym przepływie w aluwiach wpływa do dobrze rozwiniętego korytarza krasowego. Jego ujście na powierzchnię terenu stanowi Wypływ Tomanowy (fig. 7). Wyniki barwienia tego źródła przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Odległość między ponorem a wypływem	Data pomiaru	Czas przepływu w godz.	Prędkość przepływu w m/godz.
95	13.VIII.1964	0 : 23	248
	7.IX.1964	0 : 30	190

Duże prędkości przepływu podziemnego na tym odcinku wyraźnie oddzielają ten system krasowy od kilku leżących w pobliżu podziemnych przepływów wykształconych w przemytych osadach morenowych, wypeł-

niających koryto potoku. Prędkości przepływu osiągają w nich wartości 51—67 m/godz.

*System Wypływu przy Krzyżu Pola* rozwinął się na skałach węglanowych triasu środkowego i noryku (Kotański 1959). Od północy przepływy te ograniczone są prawdopodobnie przez wkładkę łupków w dolomitach noryku, będącą przedłużeniem warstwy łupków znaczonej przez Z. Kotańskiego (1959, tabl. III, profil 2, warstwa 4), powodujących spiętrzenie wód i utworzenie w tej strefie licznych źródeł krasowych. Rozpoczyna się on ponorem, położonym 70 m powyżej mostku oznaczonego kotą 1078 m n.p.m. (fig. 7). Jego chłonność określono na 20—30 l/sek. Źródło zasilane przez ten ponor, mimo kilkakrotnych prób, nie zostało zlokalizowane. Niżej, po przeciwnej stronie potoku, występują następne ponory (por. fig. 7). Zestawienie wyników barwień podziemnych przepływów przedstawia tabela 4.

Tabela 4

Data pomiaru	Zabarwiono ponor	Barwnik pojawił się w wypływie	Odległość między ponorem a wypływem w m	Czas przepływu w godz.	Prędkość przepływu w m/godz.
26.VII.1964	B	I	280	2 : 05	132
		IV	290	3 : 00	96
26.VII.1964	C	I	250	1 : 35	158
25.VII.1964	D	II	70	1 : 20	53
		III	60	1 : 50	33
25.VII.1964	E	III	10	0 : 08	75

Podziemne przepływy na odcinkach od ponorów B i C do Wypływu przy Krzyżu Pola mają charakter krasowy. Pozostałe przepływy, być może, częściowo wykorzystują kanały krasowe. Niewielkie prędkości przepływu wskazują na to, że odbywa on się głównie w osadach stożka napływowego z Dolinki Smytniej.

Liczne źródła krasowe występujące na prawym brzegu potoku nie posiadają związku z potokiem. Wykazały to liczne barwienia oraz prawie dwukrotnie większa twardość wody w źródłach w stosunku do twardości wody w potoku. Odwadniają one obszar Żaru i Gubalca (fig. 7).

*System Wypływu spod Pisanej i Wypływu z Raptawickiej.* Potok Kościeliski poniżej Krzyża Pola wpływa w utwory liasu wykształcone w postaci klastycznych i węglanowych osadów (Kotański 1959) należących do serii Kominów Tylkowych (Kotański 1961). W tym przekroju zaznacza się wyraźna ucieczka wody do ponoru A (fig. 7), leżącego w prawym brzegu potoku. Połączenie tego ponoru z Wypływem spod Pisanej potwierdzone zostało barwieniami.

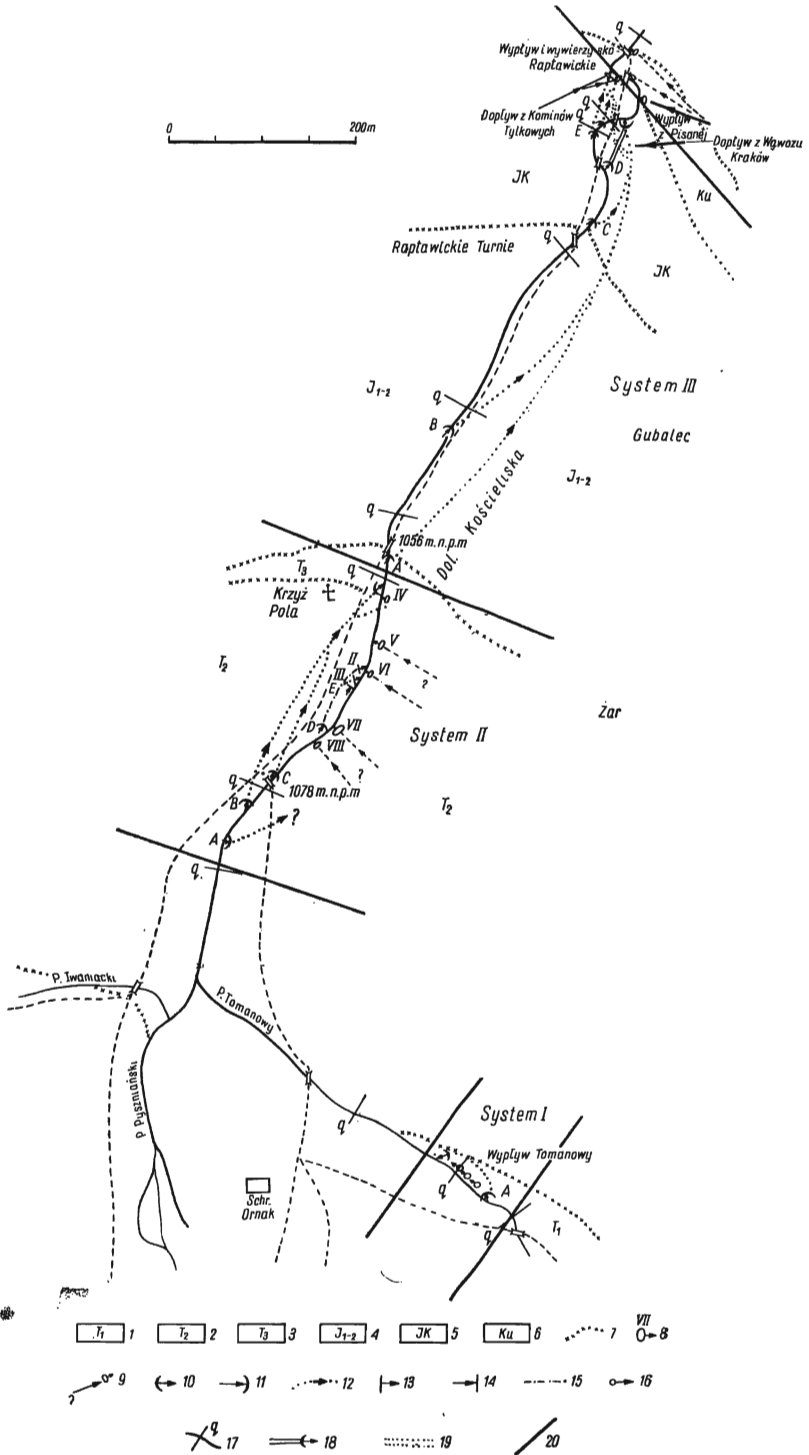


Fig. 7

Tabela 5

Odległość między ponorem A i Wyływem spod Pisanej w m	Data pomiaru	Czas podziemnego przepływu w godz.	Prędkość przepływu w m/godz.
520	3.VIII.1961	2 : 00	260
	20.IX.1963	2 : 35	205
	16.VII.1964	2 : 00	260
	18.VIII.1964	2 : 00	260

Następna strefa ponorów (B) (pl. II), zasilająca Wyływ spod Pisanej, leży w dnie koryta potoku. Chłonność jej ulega ciągłym zmianom na skutek ruchu rumowiska i waha się w granicach 120—350 l/sek. (Dąbrowski 1962, Dąbrowski & Rudnicki 1964). Widać z tego, że przy niskich sta-

Fig. 7

Podziemne przepływy Potoku Kościeliskiego

1 wapienie komórkowe — trias dolny (scytyk); 2 wapienie i wapienie dolomityczne ciemnoszare — trias środkowy; 3 łółupki czerwone i zielone, dolomity i piaskowce — trias górny; 4 piaskowce, zlepieńce wapniste, wapienie krynowidowe, wapienie ciemnoszare lub czerwone, piaskowce gruboziarniste — lias-dogger; 5 wapienie ciemnoszare — malmo-neokom; 6 wapienie białawe zoogeniczne i wapienie ciemnoszare (urgon); 7 granice geologiczne utworów; 8 wywierzyśka krasowe i ich numery; 9 prawdopodobne kierunki zasilania wywierzyśka; 10 wypływy krasowe; 11 ponory; 12 przypuszczalne drogi przepływu wody; 13 wypływy krasowo-aluwialne (mieszane); 14 ponory zasilające system mieszany; 15 przypuszczalne drogi przepływu wody w systemie krasowo-aluwialnym; 16 źródła niekrasowe; 17 przekroje, w których mierzone przepływy potoku; 18 podziemne korytarze (Jaskinia Pisana i Raptawicka); 19 okresowe połączenie pomiędzy systemami zasilającymi Wyływ spod Pisanej i Wyływ z Raptawickiej; 20 granice występowania poszczególnych systemów podziemnych przepływów potoków

Underground passages of the Kościeliski stream

1 cavernous limestones — Lower Triassic; 2 limestones and dolomitic dark grey limestones — Middle Triassic; 3 red and green clay shales, dolomites and sandstones — Upper Triassic; 4 sandstones, calcareous conglomerates, crinoidal limestones, dark grey or reddish limestones, coarse-grained sandstones — Lias-Dogger; 5 dark grey limestones — Malm-Neocomian; 6 zoogenic whitish limestones and dark grey limestones (Urgonian); 7 geological boundaries of formations; 8 karst springs and their numbers; 9 supposed alimentation trends of the karst spring; 10 resurgences; 11 swallow-holes; 12 supposed passage of the water flow; 13 mixed, karst-alluvial outflow; 14 swallow-holes feeding a mixed system; 15 supposed passage of the water flow in the mixed karst-alluvial system; 16 springs not karst in character; 17 section of the measurement of the stream flow; 18 underground passages of the Pisana and Raptawicka caves; 19 seasonal connection of the systems feeding the Wyływ spod Pisanej resurgence and the Wyływ z Raptawickiej resurgence; 20 boundaries of the underground stream flow systems

nach cała woda potoku wpływa do krasowych ponorów kończąc swój powierzchniowy bieg w tej strefie i pojawia się ponownie w Wyplywie spod Pisanej (pl. IV, fig. 2) (Rudnicki 1959).

Na tym odcinku o długości 380 m wykonano 20 barwień w celu uchwycenia zależności między prędkością przepływu a ilością ginącej w ponorach wody.

Prędkości podziemnych przepływów na tym odcinku są silnie zróżnicowane:

- w 6 pomiarach (30%) stwierdzono prędkości od 100 do 200 m/godz.
- w 9 pomiarach (45%) stwierdzono prędkości od 200 do 500 m/godz.
- w 4 pomiarach (20%) stwierdzono prędkości od 500 do 1000 m/godz.
- w 1 pomiarze (1%) stwierdzono prędkość większą od 1000 m/godz.

Pomiar prędkości przepływu wykonany 6 marca 1963 r., przy całkowitym prawie zaniku wypływu wody w Wyplywie spod Pisanej (10—15 l/sek.), dał rezultat  $V = 7,6$  m/godz. Podobną zmienność prędkości w systemach przepływowych podaje B. Gèze (1958) dla jaskini Padirac i innych. Wynik ten uznać można za nietypowy, gdyż pomiar przeprowadzono po blisko trzymiesięcznym okresie bardzo silnych mrozów (zima stulecia), barwiąc maleńką strzykę wody ginącą w ponorze. Równie liczne pomiary przeprowadzono na 110 m odcinka krasowego przepływu potoku, pomiędzy ponorem C (pl. III, fig. 1) a Wyplywem spod Pisanej. Ponory rozwinięte w ścianie zbudowanej z wapieni malmo-neokomu (Kotański 1959) posiadają tak dużą chłonność, że jedynie w okresie wysokich stanów wody poniżej ponorów występuje powierzchniowy przepływ potoku (pl. III, fig. 2). Prędkości podziemnych przepływów w tym systemie przedstawia poniższe zestawienie.

- Prędkości przepływu mniejsze od 100 m/godz. stwierdzono w 3 pomiarach (12%)
- Prędkości przepływu od 100 do 200 m/godz. stwierdzono w 7 pomiarach (28%)
- Prędkości przepływu od 200 do 500 m/godz. stwierdzono w 13 pomiarach (52%)
- Prędkości przepływu od 500 do 1000 m/godz. stwierdzono w 2 pomiarach (8%)

Mniejsze prędkości przepływu na tym odcinku spowodowane są mniejszymi, niż w poprzednio omówionym systemie, spadkami hydraulicznymi i mniejszą ilością wody biorącej udział w krążeniu (poprzednie ponory zmniejszają przepływ potoku). Prowadzone równocześnie z pomiarami prędkości przepływu pomiary chłonności ponorów i wydajności źródeł pozwalają na stwierdzenie związku pomiędzy tymi parametrami (Gèze 1958, Eissele 1957). Zebrane materiały dotyczące Wyplywu spod Pisanej są jeszcze zbyt ubogie, by związek ten można było przedstawić w postaci zależności matematycznej. Czwartym ponorem łączącym się z Wyplywem spod Pisanej jest suchy otwór jaskini Wodnej pod Pisana,

stanowiący ponor D (pl. IV, fig. 1). Jako ponor funkcjonuje on jedynie w okresie powodzi, kiedy przepływ potoku w tym przekroju osiąga 1—1,5 m<sup>3</sup>/sek. Połączenie pomiędzy ponorem a wypływem stanowią dość rozległe korytarze o szerokości 0,5—0,7 m i wysokości dochodzącej do 1 m. W przypadku zalania ich wodą prędkość podziemnego przepływu powinna być zbliżona do prędkości wody w potoku i dochodzić do 1500 m/godz. Tak wielkie zróżnicowanie prędkości w krasowych przepływach, znajdujących ujście w jednym źródle, tłumaczyć można zmianami spadku hydraulicznego i zmianą charakteru szczelin i kanałów, w których odbywa się cyrkulacja wody.

Woda wpływająca do ponorów A i B tego systemu płynie początkowo szczelinami o dużym nachyleniu. Później profil podziemnego cieku wyrównuje się (w okolicy strefy ponorowej C), a wąskie początkowo szczeliny powiększają się, przechodząc w szerokie korytarze z licznymi zbiornikami retencyjnymi i syfonami, których występowanie stwierdzić można w dostępnych partiach jaskini Wodnej pod Pisaną.

Równoległe do Wypływu spod Pisanej rozwinął się w Dolinie Kościeliskiej drugi podziemny przepływ potoku, kończący się w Wypływie z Raptawickiej (fig. 7). Wypływ jest zasilany przez dwa ponory — E i F, leżące w lewym brzegu potoku poniżej suchego otworu Jaskini Pisanej. Położenie ponorów wskazuje na ich okresowy charakter, gdyż obecnie poniżej suchego otworu Jaskini Pisanej powierzchniowy przepływ potoku jest raczej rzadki. Barwienia wykazały istnienie obok Wypływu z Raptawickiej dwóch źródeł krasowych o małym związku z potokiem. Barwienie ponoru E wykazało jego bezpośrednie połączenie z Wypływem z Raptawickiej. Źródła leżące obok barwiły się bardzo słabo i z opóźnieniem dochodzącym do 1 min. Prędkości w 80-metrowej długości podziemnych przepływów, zasilanych przez ponor E, ulegają niewielkim zmianom w granicach 380—684 m/godz.

Prędkości przepływu od 350 do 500 m/godz. stwierdzono w 5 pomiarach (55,5%)

Prędkości przepływu od 500 do 700 m/godz. stwierdzono w 4 pomiarach (44,5%)

Niżej leżący drugi ponor F połączony jest bezpośrednio z wypływem korytarzami 60 m długości. Znaczna część tego podziemnego przepływu, dzięki dużym rozmiarom korytarzy, jest dostępna dla ludzi. Prędkości podziemnych przepływów na tym odcinku często przekraczają 1000 m/godz.

Prędkości przepływu od 500 do 1000 m/godz. stwierdzono w 3 pomiarach (30%)

Prędkości przepływu od 1000 do 1500 m/godz. stwierdzono w 6 pomiarach (60%)

Prędkości przepływu powyżej 1500 m/godz. stwierdzono w 1 pomiarze (10%)

Duże prędkości występujące na tym odcinku tłumaczyć można dużymi rozmiarami korytarzy i ich stałym nachyleniem bez stawków retencyjnych i syfonów. Dwukrotnie w czasie barwienia ponorów zasilających Wypływ spod Pisanej zaobserwował się Wypływ z Raptawickiej — w lipcu 1959 r. (Rudnicki 1959) i w listopadzie 1964 r. (podczas barwienia wykonanego wspólnie z dr J. Rudnickim). Połączenie to rozwinięte jest poniżej koryta Potoku Kościeliskiego i jest czynne w okresie wyższych stanów wody lub bywa okresowo zasypywane. W innym przypadku trudno byłoby wytłumaczyć ten sporadycznie występujący przepływ.

W oparciu o wykonane pomiary wielkości przepływu w Potoku Tomanowym i wydajności niektórych źródeł, można określić udział wody z potoku w podziemnych przepływach krasowych. Udział ten w podziemnych przepływach Potoku Tomanowego przedstawia poniższe zestawienie.

Stanowisko pomiarowe	Wielkość przepływu w 1/sek.	Ucieczka wody z potoku do ponorów w 1/sek.	Dopływ wody do potoku ze źródeł w 1/sek.
Potok Tomanowy (wysokość 1118 m) powyżej ponoru	106	36	—
Potok Tomanowy (wysokość 1116 m) poniżej ponoru	70	—	49
Potok Tomanowy (wysokość 1100 m) poniżej źródeł	119		

Z zestawienia tego widać, że do Potoku Tomanowego w obrębie tej strefy dopływa więcej wody niż ginie w ponorach. Różnica ta, zgodnie z podaną wyżej tabelą, wynosi 13 1/sek. Podobny rezultat osiągnięto wykonując pomiar wielkości przepływu w Wypływie Tomanowym  $Q = 30$  1/sek. i w 5 mniejszych źródłach wypływających z aluwiiów o łącznej  $Q = 25$  1/sek.; łączna wydajność wszystkich źródeł w tym rejonie wynosi 55 1/sek. Udział wód z Potoku Tomanowego w tych źródłach obliczono na 36 1/sek. Różnica 55 1/sek. — 36 1/sek. — 19 1/sek. wskazuje na dopływ wody z sąsiednich obszarów. Dopływające wody pochodzą albo z osadów morenowych wypełniających dolinę, albo z obszaru występowania osadów dolnego triasu. Wartość dopływu podziemnego jest obarczona błędem pomiarowym. Ze względu na małe wielkości przepływów błąd ten nie powinien przekraczać wielkości 2—3 1/sek.

Pomiary wielkości przepływu wykonano dnia 11 sierpnia 1964 r. Wypływ Tomanowy okresowo wysycha równocześnie z zanikiem przepływu wody w Potoku Tomanowym. Ten fakt wskazuje, że jest on całkowicie zasilany przez potok.



Pomiary wielkości przepływów Potoku Kościeliskiego w strefie koło Krzyża Pola przedstawia zestawienie. Pomiary wykonano dnia 11 sierpnia 1964 r.

Stanowisko pomiarowe	Wielkość przepływu w 1/sek.	Ucieczka wody z potoku do ponorów w 1/sek.	Dopływ wody do potoku ze źródeł (szacunkowo) w 1/sek.
Potok Kościeliski (wysokość 1082 m) powyżej ponorów A i B	413	26	—
Potok Kościeliski (wysokość 1078 m) poniżej ponorów A i B	387		107
Potok Kościeliski (wysokość 1058 m) na wysokości Krzyża Pola	502		

Woda ginąca w ponorze A, obliczona na 18 1/sek., nie pojawia się w żadnym źródle w Dolinie Kościeliskiej. Woda ginąca w ponorze B, obliczona na 8 1/sek., wypływa w Wypływie przy Krzyżu Pola. Poza tymi ponorami i źródłem na tym odcinku potoku, występują liczne małe ponory i wypływy. Cała woda wpływająca do ponorów pojawia się w sąsiednich źródłach, tak że nie odgrywa żadnej roli w powyżej podanym bilansie obejmującym cały ten obszar generalnie. Szacunkowy udział źródeł prawobocznych w tym dopływie wynosi około 60 1/sek. Woda ta pochodzi z terenu Żaru i Gubalca. Źródła lewoboczne o wydajności 47 1/sek. zasilane są częściowo przez ponor B (ok. 8 1/sek.) i dopływ wód podziemnych ze stożka leżącego u wylotu Dolinki Smytniej.

Pomiary wielkości przepływów wykonane dla III strefy podziemnych krasowych przepływów w Dolinie Kościeliskiej przedstawia tabela 6 (10 sierpień 1964 r.).

Z tabeli tej widać kolejne etapy ucieczki wody z potoku do ponorów zasilających Wypływ spod Pisanej i z Raptawickiej. Ilości wody ginące w poszczególnych strefach zmieniają się na ogół po każdej powodzi. Z pomiarów wielkości przepływów, wykonanych przy różnych stanach wody, ilość wody ginącej w ponorach można ocenić na 200—500 1/sek. W dniu 10 sierpnia 1964 r. w ponorach ginęło 280 1/sek. przy równoczesnym wypływie ze źródeł 370 1/sek. Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 110 1/sek. Ta woda pochodzi z krążenia krasowego nie związanego z potokiem. Podobną wartość otrzymamy przez odjęcie od przepływu w najniższym przekroju 610 1/sek. wartości przepływu 520 1/sek. zmierzonej w potoku przed jego wpłynięciem w strefy ponorowe

$$610 - 520 = 90 \text{ 1/sek.}$$

Z tego obliczenia dopływ krasowy do wypływów wynosi 90 l/sek. Różnica pomiędzy tymi wartościami dopływu spowodowana jest błędami pomiarowymi.

Tabela 6

Stanowisko pomiarowe	Wielkość przepływu w l/sek.	Ucieczka wody z potoku do ponorów w l/sek.	Dopływ wody do potoku ze źródeł w l/sek.
Potok Kościeliski powyżej ponoru A	520		—
P. Kościeliski przy mostku (wysokość 1056 m)	500	20	—
P. Kościeliski poniżej ponoru B	420	80	—
P. Kościeliski powyżej ponoru C	390	30?	—
P. Kościeliski poniżej ponoru C	280	110	—
P. Kościeliski poniżej ponoru E	270	10	—
P. Kościeliski poniżej ponoru F	240	30	—
P. Kościeliski poniżej Wypływu spod Pisanej	500		260
Poniżej wypływu znajdują się źródła krasowe zasilane z wąwozu Kraków o łącznej wydajności 10 l/sek. Następny pomiar podajemy zmniejszony o tę wartość.			110
P. Kościeliski poniżej Wypływu i źródeł z Raptawickiej	610		
Razem		280	370

W oparciu o te same pomiary wykonać można bilans dopływów do poszczególnych wypływów.

Dopływ wód krasowych do Wypływu spod Pisanej pochodzi z górnych partii wąwozu Kraków. Wykazało to barwienie wykonane w maju 1962 r. (Dąbrowski & Rudnicki 1964). Wypływ i źródła z Raptawickiej

Wypływ	Wielkość zasilania przez ponory w potoku w l/sek.	Razem l/sek.	Wydajność w l/sek.	Dopływ krasowy w l/sek.
spod Pisanej	A—20, B—80+30, C—110, D—0	=240	260	20
z Raptawickiej	E—10, F—30	= 40	110	70

zasilane są wodą pochodzącą zapewne z terenu Kominów Tylkowych, lecz nie zostało to jeszcze potwierdzone wynikami barwienia.

### *Inne przepływy podziemne*

Obok wymienionych poprzednio podziemnych przepływów potoków, w literaturze spotyka się informacje wskazujące źródła, które są zasilane wodami z cieków powierzchniowych.

Jednym z nich jest źródło znajdujące się około 150 m na zachód od wylotu Doliny Strążyskiej, z powodu niskiej temperatury wody zwane Zimniakiem lub inaczej Młynkówką. Bije ono na kontakcie osadów eocenu i fliszu. Według L. Zejsznera (1844), A. Gadomskiego (1929) i A. Wrzoska (1933) miało ono być zasilane wodami potoku ginącymi w szczelinach dolomitów triasu regłowego w Dolinie Strążyskiej. Przeprowadzone w lipcu i sierpniu 1964 r. barwienia przypuszczeń tych nie potwierdziły. Najprawdopodobniej źródło to, o wydajności średnio około 5 l/sek., odwadnia obszar Samkowej Czuby.

W Jaszczurówce u wylotu Doliny Olczyńskiej znajduje się wielkie krasowe wywierzyisko<sup>1</sup> zwane ciepłą z powodu podwyższonej do 20°C temperatury wody. Obszar zasilania ciepłicy stanowią utwory występujące w serii regłowej należącej do jednostki („dygitacji”) Suchego Wierchu (Szajnocha 1891, Sobol 1959). H. Sobol, biorąc pod uwagę stopień geotermiczny i związany z tym wzrost temperatury przy głębokiej cyrkulacji oblicza, że temperatura wody w źródle powinna mieć około 36°C. Obniżenie temperatury do około 20°C autorka tłumaczy infiltracją i mieszaniem się wody zimnej z Potoku Olczyńskiego i z „dygitacji” Krokwi. Przeprowadzone w 1959 r. przez H. Sobol pod kierunkiem prof. dr J. Gołąba barwienia ponorów w Dolinie Olczyńskiej potwierdziły to przypuszczenie. Natomiast ponowne barwienia, wykonane w lipcu 1964 r., takiego połączenia

<sup>1</sup> Wywierzyisko (odpowiednik exurgence G. T. Warwick — 1960, i inni) jest to źródło zasilane bezpośrednio wodą pochodzenia opadowego, która infiltrując w głąb masywu krasowego zbiera się w szczelinach (kanałach), którymi następnie dopływa do powierzchni ziemi. Drogi krążenia wód zasilających wywierzyisko są bardzo skomplikowane, podporządkowane tektonice danego terenu i osiągają znaczne długości. Charakterystyczne dla wywierzyiska są wielkie spadki korytarzy w strefie zasilania, gdzie ruch ma charakter swobodny. Duże spadki stopniowo maleją przy zbliżaniu się do źródła stanowiącego lokalną bazę drenażu. Ruch wody przechodzi ze swobodnego w ruch pod ciśnieniem. Zmniejsza się prędkość przepływu na skutek występowania licznych jezierek i syfonów. Dalszym etapem charakterystycznym dla cyrkulacji wywierzyiskowej jest przejście od ruchu swobodnego do ruchu wody pod ciśnieniem. Możliwa jest również zmiana charakteru przepływu z burzliwego na warstwowy. Typowym przykładem wywierzyiska jest Lodowe Źródło zasilane z rejonu Małolażniaka. Wywierzyiskiem jest również źródło leżące w głęboko wciętej dolinie drenujące wodę z doliny sąsiedniej (dolina Pańszczycy drenowana przez Wywierzyisko Olczyńskie lub Dolina Stawów Gąsienicowych drenowana przez Wywierzyisko Goryczkowe). W takich przypadkach przeciągnięte wody wpływają do systemu korytarzy biorąc udział w krążeniu typowym dla systemów wywierzyiskowych, tzn. nie równoległym do dna doliny odwadniającej dany teren.

już nie wykazały. Negatywny wynik tych barwień tłumaczyć można okresowym zasypaniem ponorów materiałem wleczonym przez Potok Olczyski.

Istnienie podziemnych krasowych przepływów w Dolinie Suchej Wody stwierdzili S. Zwoliński (1961) i J. Głazek (1962) na podstawie zanikania wody z potoku. Barwienie wykonane na odcinku od ponorów na wysokości około 1340 m n.p.m. do wywierzyska na wysokości około 1300 m n.p.m. potwierdziło przypuszczenie o istnieniu takich podziemnych przepływów. Występujące miejscami w dnie potoku wapienie przy małych prędkościach przepływu (ok. 80 m/godz.) świadczą o aluwialno-krasowym charakterze tego przepływu. Wniosek ten wyciągnięto przez porównanie tej wartości z prędkościami przepływu w krasowych i aluwialnych przepływach w Dolinie Kościeliskiej i Chochołowskiej. Podczas barwienia tego ponoru obok głównego źródła zabarwiły się także liczne źródła i wysięki znajdujące się w pobliżu. Źródła te powstały w zwięzieniu, gdzie obszerne kotły i doliny łączą się tworząc jedną wielką Dolinę Suchej Wody. J. Głazek (1962) wiąże występowanie tych źródeł z istnieniem w podłożu nieprzepuszczalnych osadów seisu regłowego.

Drugi system podziemnych przepływów w Dolinie Suchej Wody, rozwinięty poniżej polany Psia Trawka, opisują J. Głazek i Z. Wójcik (1963). Zaobserwowali oni występowanie kilkudziesięciu ponorów na odcinku około 900 m poniżej wylotu z doliny Pańszczycy i kilkanaście ponorów u wylotu Doliny Suchej Wody z obszaru Tatr. Autorzy ci łączyli te ponory z wywierzyskami znajdującymi się na kontakcie eocenu i fliszu Podhala, w rejonie wąwozu Skalnite. Przeprowadzone barwienia w tej części doliny nie potwierdziły tego związku. Ubytek wody z potoku spowodowany jest raczej ucieczką wody w przemyte osady morenowe wypełniające dno doliny. Przy wylocie doliny woda z potoku wpływa w osady stożka napływowego. Na podstawie wykonanych barwień można stwierdzić, że w Dolinie Suchej Wody nie rozwinęły się podziemne przepływy krasowe potoku. Wywierzyska krasowe u wylotu wąwozu Skalnite zasilane są prawdopodobnie wodą infiltrującą w rejonie Suchego Wierchu, Krzywiania i Kobyły.

#### CHARAKTERYSTYKA WYPŁYWÓW KRASOWYCH

Z powyższego omówienia widać, że źródła zasilane wodą z podziemnych krasowych przepływów potoków stanowią pewien typ źródła, który można zdefiniować następująco.

Wypływ krasowy (odpowiednik resurgence — Warwick 1960) jest to źródło krasowe zasilane bezpośrednio wodą pochodzącą z cieku powierzchniowego. Drogi krążenia wód zasilających wypływy rozwijają się równoległe do dna doliny, charakteryzując się małymi spadkami, stosun-

kowo prostym rozwinięciem korytarzy i krótkimi drogami krążenia (w warunkach tatrzańskich długość do 600 m). Przepływ wody w tych systemach jest na ogół swobodny i turbulentny. W każdym wypływie pojawiają się równocześnie wody pochodzące z potoku oraz z krążenia typu wywierzyskowego. Jeśli udział wód typu wywierzyskowego i wód pochodzących z kondensacji pary wodnej w korytarzach jest mniejszy niż 10—15% całkowitego przepływu, to źródło takie można traktować jako wypływ krasowy.

Wypływy są ściśle związane z ciekami powierzchniowymi. Wydajności ich są równie zmienne jak przepływy potoków. W okresie długotrwałej suszy niektóre wypływy wysychają całkowicie (Tomanowy, z Rybiej i inne), w innych wydajność spada bardzo znacznie. Przykładem może być Wypływ spod Pisanej, w którym najniższa wydajność, stwierdzona 6 marca 1964 r., wynosiła 10—15 l/sek., przy średniej wielkości wypływu około 200 l/sek. Trzeba pamiętać, że w tym minimalnym przepływie poważny udział miały wody krasowe typu wywierzyskowego. Maksymalna wydajność w Wypływie spod Pisanej, stwierdzona 3 sierpnia 1961 r., wynosiła 588 l/sek. Podobne wahania wydajności występują i w innych wypływach. Z tych danych widać, że wskaźnik zmienności wieloletniej źródła jest większy od 50, stąd wypływy zaliczyć możemy do kategorii źródeł bardzo zmiennych.

Z wielkością przepływu podziemnego ściśle związane są własności fizyczne i chemiczne wody biorącej udział w krążeniu.

Temperatury wody w wypływach ulegają częstym zmianom, będąc w ścisłym związku z temperaturą powietrza i temperaturą wody w potoku. Zależność tę po raz pierwszy stwierdził L. Zejszner (1844). Prowadzone w latach 1962—1963 przez dra J. Rudnickiego okresowe pomiary temperatury w Wypływie spod Pisanej i w Potoku Kościeliskim dały następujące wartości (tab. 7).

Pomiary pH prowadzone sporadycznie wskazują na słabo alkaliczny charakter wód krasowych — 7,6-7,8 (Oleksynowa i Komornicki 1958, 1960).

Wody krasowe terenów wysokogórskich są na ogół bardzo słabo zmineralizowane. Prowadzone przez J. Rudnickiego i M. Markowicz okresowe pomiary twardości węglanowej wody potwierdzają słabe jej zmineralizowanie. Maksymalne i minimalne wartości twardości przedstawia poniższe zestawienie.

Miejsce pomiaru	Twardość minimalna wody mval/l i data pomiaru	Twardość maksymalna wody mval/l i data pomiaru
Potok Kościeliski w strefie ponorów	0,89 (27.IV.1962)	3,6 (31.III.1963)
Wypływ spod Pisanej	1,12 (27.IV.1962)	3,0 (31.III.1963)
Wypływ z Raptawickiej	1,34 (27.IV.1962)	2,75 (31.III.1963)

Tabela 7

Miejsce pomiaru temperatury wody	Data i temperatura											
	4.II 1962	20.III 1962	26.IV 1962	31.V 1962	10.VII 1962	20.VII 1962	7.IX 1962	13.IX 1962	14.X 1962	17.XI 1962	20.XII 1962	19.I 1963
Wypływ spod Pisanej	5,4°	5,5°	3,0°	3,5°	3,3°	4,1°	4,2°	5,2°	4,8°	4,8°	5,1°	5,9°
Potok Kościeliski powyżej skały Pisanej	4,7°	4,9°	2,5°	2,6°	3,6°	—	4,0°	4,3°	4,1°	3,6°	2,8°	—
Temperatura powietrza w Do- linie Kościeliskiej	—8°	—1°	+4°	+6°	+11°	+16°	+14°	+8°	+7°	+4°	—2°	—6°

Tabela 8

	Numer pomiaru według K. Oleksynowej i T. Komornickiego (1958, 1960)	Lokalizacja	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	SiO <sub>3</sub>	Sucha pozostałość mg/l
			mval/l						
Dolina Kościeliska	187	Potok Kościeliski na wysokości Jaskini Mylnej	0,86	0,49	0,88	0,45	0	0,18	79,4
	188	Wypływ spod Pisanej	1,36	0,66	1,17	0,84	0	0,22	115,0
	189	Wypływ z Raptawickiej	0,89	0,52	0,83	0,57	0	0,18	80,0
Dolina Chochołowska	359	Potok Chochołowski przy Dolinie Starorobociańskiej	0,36	0,32	0,48	0,19	śl.	0,19	44,0
	384	P. Chochołowski poniżej schro- niska Blaszyńskich	0,50	0,10	0,47	0,14	śl.	0,12	44,4
	384	Wypływ z Rybiej	1,21	0,49	1,08	0,65	śl.	0,16	93,0

W oparciu o szereg analiz oraz bezpośrednie obserwacje stwierdzić można, iż istnieje odwrotnie proporcjonalny stosunek twardości do wydajności.

Pełniejsze analizy wód tatrzańskich wykonywali K. Oleksynowa i T. Komornicki (1958, 1960). Niestety, analizy wód przez nich wykonane były pojedyncze i nie obejmują wszystkich istniejących na tym terenie źródeł krasowych. Z wyników ich analiz widać, że mineralizacja wód krasowych jest bardzo mała (sucha pozostałość znacznie niższa od 0,5 G/l). Wyniki analiz wykonanych przez K. Oleksynową i T. Komornickiego (1958, 1960) przedstawić można w postaci równoważnikowej (tab. 8).

Zastanawiające jest duże podobieństwo pomiędzy chemizmem wód Potoku Kościeliskiego i Wypływu z Raptawickiej przy równocześnie wyraźnie odmiennym chemizmie wody w Wypływie spod Pisanej. Obliczenie wskazuje, że w Wypływie spod Pisanej przy wydatku 280 l/sek. aż 260 l/sek. stanowią wody Potoku Kościeliskiego, co stanowi około 93% jego wydajności. Równocześnie udział wód Potoku Kościeliskiego w Wypływie z Raptawickiej przy wydatku 110 l/sek. wynosi zaledwie 40 l/sek., co stanowi tylko 36% jego wydajności. Z powyższego wynika, że wody Wypływu spod Pisanej powinny wykazywać większe podobieństwo do wód z Potoku Kościeliskiego aniżeli wody z Wypływu z Raptawickiej. Z tabeli tej widać, że zaznacza się różnica pomiędzy wodą pochodzącą z Potoku Chochłowskiego a wodami z Potoku Kościeliskiego i wypływów. Różnica ta może wynikać z różnych terminów pomiarów i związanych z tym różnych stanów wody. Mniej prawdopodobny jest wpływ środowiska skalnego, którego charakter w obu dolinach jest zbliżony. Według klasyfikacji Ścukarewa (Alekin 1956) wody wypływów i potoków w obydwu dolinach zaliczyć można do typu wód dwuwęglanowosiarczanowo-wapniowo-magnezowych. Brak zasadniczych różnic w typach wód wskazuje dodatkowo na dominujący udział wód powierzchniowych w podziemnych krasowych przepływach potoków.

*Katedra Hydrogeologii  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa 22, Al. Żwirki i Wigury 6  
Warszawa, w listopadzie 1966 r.*

#### LITERATURA CYTOWANIA

- ALEKIN O. A. 1956. Podstawy hydrochemii (przekład z rosyjskiego — „Osnovy gidrochimii”). Wydawn. Geol. Warszawa.
- BIRKENMAYER L. 1896. Zapiski termo- i hypsometryczne kilku źródeł tatrzańskich. — Spraw. Komis. Fizjogr. PAU, t. 31. Kraków.
- CHODOROWSKA W. & CHODOROWSKI A. 1959. Kilka danych o warunkach środowiskowych zbiorników wodnych w jaskiniach tatrzańskich (Quelques données sur les études du milieu de petits réservoirs d'eau dans les grottes des montagnes Tatras). — Speleologia, t. 1, nr 1/2. Warszawa.

- DĄBROWSKI T. 1962. Próba ujęcia udziału wód krasowych w przepływach Potoku Kościeliskiego (On a determination of the amount of karst water in Kościeliski stream). — Ibidem, t. 2, nr 2—4.
- 1964. Geneza i rozwój podziemnych przepływów Potoku Kościeliskiego. Semin. Speleol. I Ogólnopols. Zjazdu Badaczy Krasu. Kielce.
- DĄBROWSKI T. & RUDNICKI J. 1964. Obserwacje nad warunkami hydrogeologicznymi krasu w obrębie serii Kominów Tylkowych i Czerwonych Wierchów. Semin. Speleol. I Ogólnopols. Zjazdu Badaczy Krasu. Kielce.
- EISSELE K. 1957. Über einige Färbversuche mit Uranin an Karstquellen der Schwäbischen Alb. — Gas- u. Wasserf., H. 4. München.
- GADOMSKI A. 1929. Nienormalność odwodnienia północnych stoków Czerwonych Wierchów w Tatrach (Anomalies du drainage des versants septentrionaux des Czerwone Wierchy dans la Tatra). — Pam. II Zjazdu Słow. Geogr. i Etnogr., t. 1, s. 311—314. Kraków.
- GEZE B. 1958. Sur quelques caractères fondamentaux des circulations karstiques. — Ann. Spéléol., vol. 13. Paris.
- GLĄZEK J. 1962. O hydrografii krasowej wschodniej części Tatr Polskich (Karst hydrography of the Polish eastern Tatra Mts.). — Speleologia, t. 2, nr 2—4. Warszawa.
- GLĄZEK J. & WÓJCIK Z. 1963. Zjawiska krasowe wschodniej części Tatr Polskich (Karst phenomena in the eastern part of the Polish Tatra Mts.). — Acta Geol. Pol., vol. 13, nr 1. Warszawa.
- GRADZIŃSKI R. 1964. Czynniki kontrolujące rozwój krasu a rozwój podziemnych form krasowych. Semin. Speleol. I Ogólnopols. Zjazdu Badaczy Krasu, s. 36—40. Kieleckie Tow. Nauk. Kielce.
- GRADZIŃSKI R. & RADOMSKI A. 1963. Types of Cuban caves and their dependence on factors controlling karst development. — Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. Sci. Géol. Géogr., vol. 11, no. 3. Varsovie.
- HASS J. L. 1959. Evaluation of ground water tracing methods used in speleology. — Bull. Nat. Speleol. Soc., vol. 20, no. 2.
- JANOTA E. 1860. Przewodnik w wycieczkach na Babią Górę, do Tatr i Pienin. Kraków.
- KOTAŃSKI Z. 1959. Profile stratygraficzne serii wierchowej Tatr Polskich (Stratigraphical sections of the high-Tatric series in the Polish Tatra Mts.). W: Z badań geologicznych wykonanych w Tatrach, t. 4 (In: From geological researches in the Tatras, v. 4). — Biul. I. G. (Bull. Inst. Géol. Pol.) 139. Warszawa.
- 1961. Tektogeneza i rekonstrukcja paleogeografii pasma wierchowego w Tatrach (Tectogénèse et reconstitution de la paléogéographie de la zone haut-tatrique dans les Tatras). — Acta Geol. Pol., vol. 11, nr 2/3. Warszawa.
- KOWALSKI K. 1953. Jaskinie Polski. T. II. Wyd. Państw. Muz. Archeol. Warszawa.
- MALICKI T. & ZWOLIŃSKI T. 1924. Z podziemi tatrzańskich. Jaskinia Wodna pod Pisaną w dolinie Kościeliskiej. — Wierchy, t. 2. Lwów.
- MAURIN V. & ZÖTL J. 1959. Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. — Steyerische Beitr. zur Hydrogeol., Bd. 8. Graz.
- OLEKSYNOWA K. & KOMORNICKI T. 1958. Materiały do znajomości wód w Tatrach. Cz. 4. Dolina Kościeliska (Some new data on the composition of the waters in the Tatra Mts. Part 4. Kościeliska Valley). — Zesz. Nauk. Wyższej Szk. Roln. w Krakowie, nr 6. Kraków.
- 1960. Materiały do znajomości wód w Tatrach. Cz. 5. Dolina Chochołowska (Some new data on the composition of the waters in the Tatra Mts. Part 5. Chochołowska Valley). — Ibidem, nr 10.



- OSSOWSKI G. 1812. Jaskinie gór naszych i wypadki osiągnięte z ich badań. — Pam. Tow. Tatr., t. 7. Kraków.
- PIĘTKA Z. 1960. Pomiary przepływu metodą rozcieńczenia wskaźnika. — Przegląd Geofiz., t. 5 (13), nr 3.
- 1964. Pomiary przepływów metodą rozcieńczania porcji wskaźnika. — PIHM. Instrukcje i Podręczniki, nr 70. Warszawa.
- PULINA M. 1959. Nowe obserwacje w jaskini Szczelina Chochołowska (Neue Beobachtungen in der „Szczelina Chochołowska” — Höhle). — Speleologia, t. 1, nr 1/2. Warszawa.
- RUDNICKI J. 1959. Obserwacje zanikania i wyniki barwienia Potoku Kościeliskiego (Observation of loss of water and results of dye tracing in the Kościeliski Stream). — Ibidem, t. 1, nr 4.
- 1967. Geneza i wiek jaskiń Tatr Zachodnich (Origin and age of the Western Tatra caverns). — Acta Geol. Pol., vol. 17, nr 4. Warszawa.
- RUDNICKI J. & MAŃKOWICZ M. 1963. Wyniki analiz chemicznych wód krasowych. Archiwum Pracowni Geologii Czwartorzędu PAN (rękopis). Warszawa.
- SOBOL H. 1959. Badania stosunków wodnych i zjawisk krasowych na terenie ciepłicy w Jaszczurówce (Observations of the relations of water and karst phenomena of the hot springs of Jaszczurówka). — Speleologia, t. 1, nr 1/2. Warszawa.
- SZAJNOCHA W. 1891. Źródła mineralne Galicyi. Nakład Akad. Um. Kraków.
- ŚWIERZ L. 1882. Materyały do znajomości ciepłoty źródeł tatrzańskich zebrane w latach 1877—1881. — Pam. Tow. Tatr., t. 7, s. 95—96. Kraków.
- 1897. Zapiski termometryczne niektórych stawów, źródeł i wód tatrzańskich. — Ibidem, t. 18, s. 94—100.
- 1899. Zapiski termometryczne z Tatr. Ciepłota źródeł i wywierzyisk. — Ibidem, t. 20, s. 115.
- WARWICK G. T. 1960. The effect of knick-point recession on the water table and associated features in limestone regions. — Z. Geomorph. Suppl., Bd. 2.
- WRZOSEK A. 1933. Z badań nad zjawiskami krasowymi Tatr Polskich (Untersuchungen über die Karsterscheinungen in der polnischen Tatra). — Wiad. Służby Geogr., R. 7, z. 3. Warszawa.
- ZEJSZNER L. 1844. O temperaturze źródeł tatrowych i pasm przyległych. — Biblioteka Warszawska, t. 2. Warszawa.
- ZWOLIŃSKI S. 1961. W podziemiach tatrzańskich. Wydawn. Geologiczne. Warszawa.

T. DĄBROWSKI

**UNDERGROUND KARST FLOWS OF STREAMS  
IN THE WESTERN TATRAS**

(Summary)

**ABSTRACT:** In the Western Tatras underground karst flows have been reliably ascertained by the colouring tests within the Chochołowska and Kałcieliska valleys. A description is here given of a number of connections between resurgences and swallow-holes.

The study of the Tatra springs, partly also including the karst resurgences, was initiated by L. Zejszner in 1844. It was continued by such explorers as E. Janota (1860), L. Świerz (1882, 1887, 1899) and many others. After a break caused by World War Number One the investigations of the Tatra karst were taken up again by T. Malicki and T. Zwoliński (1924) and A. Wrzosek (1933). The publications of these authors are but very slightly concerned with the hydrogeological problems, but during the recent years the study of karst processes in the Tatra Mts. has increased progressively. Studies on the origin of karst phenomena and on the hydrogeology of karst areas are now being carried out by the Institute of Geological Sciences of the Polish Academy of Sciences (Rudnicki 1959, 1967), the Museum of the Earth in Warsaw, the Department of Dynamic Geology of the Warsaw University (Głazek 1962, Głazek & Wójcik 1963) and the Department of Hydrogeology of the same university (Dąbrowski 1962, Dąbrowski & Rudnicki 1964).

Hydrogeological studies of the Tatra karst call for measurement methods suitable for high-mountain conditions. The underground passages of the flow of karst waters have been traced by such indicators as uranine and NaCl. Measurements of the flow quantity of springs and of the volume of water carried by streams have been carried out by methods based on the dilution of the indicator introduced into the water flow. The method worked out by Z. Piętka (1960, 1964) seems particularly convenient.

Within the area of the Western Tatras underground karst streams occur only in the Chochołowska and Kościeliska valleys.

*Chochołowska Valley.* The only now active karst flow was initiated in the Brama Chochołowska Wyzna, about 100 m. below the Błaszyński shelter, within deposits belonging to the Malm-Neocomian of the autochthonous Bobrowiec series (Kotanski 1961). The drainage disappears in two swallow-hole zones at a distance of 95 and 45 m. respectively from the Rybia resurgence which terminates that underground system (fig. 6). The quantity of water disappearing into the swallow-holes is considerable and during the higher water levels in the stream it may amount to 240 l/sec. It is interesting to note that not all of the water disappearing into the swallow-holes flows out again in the Rybia resurgence. As much as 50% of that water disappears into unexplored karst systems. It is highly probable that there is a connection of the Rybia system with the Bobrowiecka Valley lying outside Polish territory on the other side of the Slovakian frontier. The flow velocity of underground streams varies considerably depending on the quantity of water disappearing into the swallow-holes. Within a shorter sector of the length of about 45 m. the velocity of the underground water flow was as much as 350—450 m/h while in another, 95 m. long, the velocity of the underground water flow at the same time was 200—300 m/h. The difference in the velocity of the water flow in two sectors

of the same system may be explained by the more complicated course of corridors in the upper sector. The minimum velocity of the underground flow in the latter sector is 85—95 m/h. These data were obtained at a low water level of the stream when the quantity of water disappearing into the swallow-holes did not exceed 90 l/sec. The surface Chochołowski stream when flowing through the Brama Chochołowska Wyżnia gate attained a velocity of 1,100—3,300 m/h.

*Kościeliska Valley.* In this valley the underground flows are developed in three independent systems:

1. the Tomanowy resurgence,
2. the Krzyż Pola resurgence,
3. the spod Pisanej resurgence having a connection with the z Raptawickiej resurgence (fig. 7).

Each of these three systems was initiated in a different geological formation (comp. Z Kotański 1959, 1961). This resulted in differences of length of the underground flows whose passage is limited by the occurrence of rocks subject to karst processes. The simplest system is that of the Tomanowy resurgence whose swallow-holes occur at a distance of 95 m. from the resurgence. The quantity of water disappearing into that system has been calculated at about 36 l/sec. The flow velocity is rather high, being about 190—220 m/sec; the first sector of the passageway 3—5 m. long consists of gravel which separates the stream from limestones of which the side of the valley is built. Springs rising on the terrace near to the Tomanowy resurgence are fed by an underflow stream and are not karst-like in character.

The Krzyż Pola resurgence terminates a strongly developed karst system situated on the left side of the Kościeliska Valley, about 280 m. long. The carbonate rocks that occur in this sector are covered by a cone at the outlet of the dolina Smytniej valley. Very likely the underground passageways of the stream in this area are of a mixed, karst-alluvial character. This is suggested by the somewhat lower flow velocities (about 160 m/sec) and the slightly increased mineralisation of the water in springs. The intake capacity of the swallow-holes that feed the resurgence has been calculated at 26 l/sec while the water output of the resurgence is greater showing an average of about 35 l/sec. The surplus water is due to the supply from the Smytnia cone.

In addition to the resurgence there are other springs in this zone which are fed by underflow. Frequently this short sector is the decisive factor in determining the velocity of the subsurface flows which do not exceed 50—75 m/sec in the case of such systems. This figure represents 50% of the velocity of water feeding the Krzyż Pola resurgence.

The third system — the most complicated one — represents an assemblage of resurgences on the right bank of the stream near Skala Pisana resurgence and on the left bank near Raptawicka Turnia. The Wyływ z Raptawickiej resurgence occasionally gets coloured when the colouring method is used in swallow-holes that feed the Wyływ spod Pisanej resurgence. This would suggest an underground water flow from one system into the other below the bed of the Kościeliski stream. In spite of this connection the two systems will be here separately discussed.

The Wyływ spod Pisanej resurgence is fed by three zones of swallow-holes situated at a distance of 520, 380 and 110 m. respectively from the resurgence. The dry entrance to the *Wodna pod Pisaną* cave may be regarded as the 4th alimentary zone here since during floods when it is partly overflowed by the stream its function is that of a swallow-hole. The take-in capacity of these zones vary continually owing to the choking up of some swallow-holes and the formation of others elsewhere. At a low water level of the stream there is an inflow of about 240 l/sec into the ponores. The outflow is then equal to 260 l/sec which means an additional quantity

of 20 l/sec supplied from outside the stream. There are times when the outflow from the Wyływ spod Pisanej resurgence amounts to 800 l/sec. If 10 per cent of that volume of water comes from the adjacent karst areas the remainder i. e. 700 l/sec is supplied by the stream. This shows that the intake capacity of the swallow-holes increases considerably in connection with the water level of the stream.

The flow velocities of the water between the three swallow-holes and the resurgence differ considerably. They are affected by the quantity of water and the character of the conduits through which the water is carried. The minimum velocities are observable between the most distant swallow-hole and the Wyływ spod Pisanej resurgence, the maximum ones in the shortest underground passage of the stream. Fifty colouring tests have been carried out in swallow-holes that feed the Wyływ spod Pisanej resurgence. The following results were obtained:

3 tests show a velocity under 100 m/h	6 per cent
14 " " " between 100— 200 m/h	28 "
26 " " " " 200— 500 m/h	52 "
6 " " " " 500—1,000 m/h	12 "
1 " " greater than 1,000 m/h	2 "

The above table confirms the strong variability of the subsurface flow velocities. Those fitting into the 200—500 m/h class are the most frequent. Simultaneous measurements of the flow velocity in the Kościeliski stream taken within a sector comprising the uppermost swallow-hole zone and the site of resurgence have disclosed velocities ranging from 200 to 3,000 m/h. The minimum velocities have been observed within a sector between the lowermost swallow-hole zone and the site of inflow where the surface water flow diminished considerably owing to the disappearance of stream water into the karst systems. At times, a part of it, 350 m. long, has been dry. This occurred when the intake capacity of the two upper swallow-holes exceeded the flow volume of the Kościeliski stream.

The Wyływ z Raptawickiej resurgence is situated on the left bank of the Kościeliski stream, about 40 m. below the Wyływ spod Pisanej resurgence. Into this system water is supplied by two swallow-holes: an upper one, about 80 m. from the resurgence, with an intake capacity of about 10 l/sec and a lower one, 60 m. from the resurgence with an intake capacity of about 30 l/sec. Close to the resurgence and connected with it there is a karst spring with an output of 70 l/sec. The water it supplies comes from the Kominy Tylkowe massif. Differences in the flow velocities of the two systems that feed the Wyływ z Raptawickiej resurgence are very strong. Nine measurements taken within the sector between the upper swallow-hole and the resurgence show velocities ranging from 380 to 700 m/h, while ten other measurements taken within the lower system show velocities ranging from 600 to 1540 m/h. In seven of the latter measurements the velocity exceeded 1,000 m/h. These velocities resemble the flow velocity in the Kościeliski stream suggesting a similar passageway.

The literature on karst phenomena occasionally contains information concerning underground karst flows in other valleys. It has been proved, however, that the seasonal disappearance of water in some valleys may be caused by the infiltration of the stream water into the alluvial deposits in the valley floor (underflow). In these cases the existing underground flow is not of a karst character.

Springs which terminate underground karst flows, represent — because of the mode of alimentation and of the chemical properties of their waters — a special type of springs which the writer calls the resurgences. A resurgence is a spring fed directly by water from a surface stream and supplied along corridors parallel to the valley floor. These corridors are characterised by small gradients along with turbu-

lent and free water flow. In chemical properties the water of the resurgences differ but slightly from the stream waters. Water in the resurgences belongs to the poorly mineralised type whose dry residue does not exceed 115 mg/l. The karst waters within the Tatra Mts. belong to the bicarbonate-sulfureous-calcareous-magnesian type. Obviously waters that take part in far-range circulation which feeds karst springs (exurgences) are somewhat more mineralised than those of the resurgences. The differences, are however, very small and the type of water remains unaltered.

*Department of Hydrogeology  
of the Warsaw University  
Warszawa 22, Al. Zwirki i Wigury 6  
Warsaw, November 1966*

OBJAŚNIENIA DO PŁANSZ I—IV  
DESCRIPTION OF PLATES I—IV

PL. I

Fig. 1

Druga strefa ponorów, do której wpływają wody Potoku Chochołowskiego zasilające wypływ z Jaskini Rybiej

Second swallow-hole zone into which disappear the waters of the Chochołowski stream that feed the z Rybiej Resurgence

Fig. 2

Wypływ z Jaskini Rybiej w Dolinie Chochołowskiej  
Wypływ z Jaskini Rybiej resurgence in the Chochołowska Valey

PL. II

Druga (B) strefa ponorów, do której wpływają wody Potoku Kościeliskiego zasilające Wypływ spod Pisanej

Second swallow-hole zone (B) into which disappear the waters of the Kościeliski stream that feed the Wypływ spod Pisanej resurgence

PL. III

Fig. 1

Trzecia (C) strefa ponorów, do której wpływają wody Potoku Kościeliskiego zasilające Wypływ spod Pisanej

Third (C) swallow-hole zone into which disappear the waters of the Kościeliski stream that feed the Wypływ spod Pisanej resurgence

Fig. 2

Suchy otwór Jaskini Wódnej pod Pisana  
Dry entrance into Jaskinia Wodna cave near Pisana

PL. IV

Fig. 1

Suche koryto Potoku Kościeliskiego poniżej ponorów, które pochłonęły całą wodę  
Dry bed of the Kościeliski stream below the swallow-holes into which all the water  
has disappeared

Fig. 2

Wyływ spod Pisanej w Dolinie Kościeliskiej  
Wyływ spod Pisanej resurgence in the Kościeliska Valley

*Fotografie wykonał autor*  
*Photographs by the writer*

---

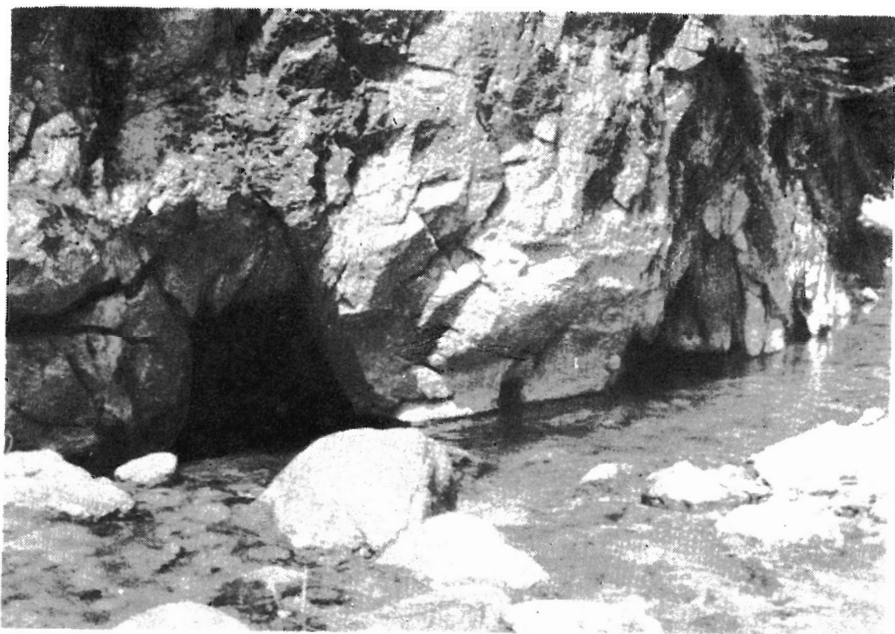


Fig. 1



Fig. 2







Fig. 1



Fig. 2



Fig. 1

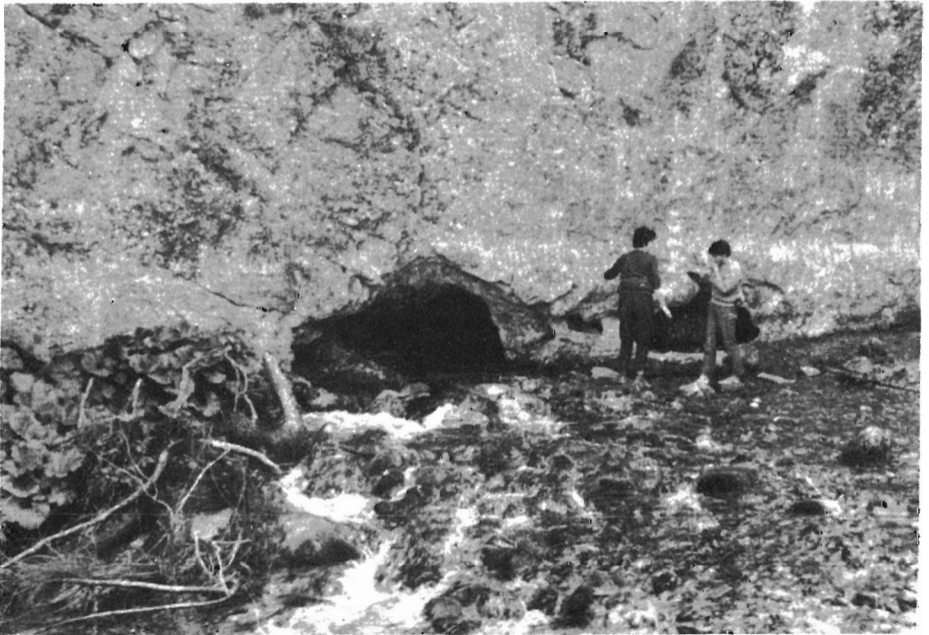


Fig. 2