

CHARAKTERYSTYKA HYDROCHEMICZNA WÓD PODZIEMNYCH POŁUDNIOWEGO SKRZYDŁA NIECKI PODHAŁA

UKD 556.314:556.33:551.243.13(438—13Podhale)

Wody podziemne Tatr i Podhala uznawane były zawsze za jedne z najczystszych w kraju. Wieloletnie szczegółowe badania terenowe i laboratoryjne wykazały, że jedynie Tatrzański Park Narodowy zachował swoje pierwotne cechy i do dziś Tatry są kolektorem wód o wysokiej jakości. Na terenie Podhala natomiast gospodarcza działalność człowieka spowodowała już pewne zmiany w ich pierwotnym składzie chemicznym, uwidaczniające się głównie wzrostem zawartości siarczanów i chlorków oraz ogólnej mineralizacji (10). Zmiany te jednak nie są powszechne, występują lokalnie w obszarach zwartej zabudowy i z reguły wywołane są nie kontrolowanym odprowadzaniem ścieków komunalnych i przemysłowych.

Skład jonowy oraz cechy chemiczne lub fizyczne wód podziemnych są uwarunkowane wieloma czynnikami, których zespół określa się mianem środowiska hydrochemicznego. Zatem prawidłowa interpretacja tła hydrochemicznego wymaga dokładnego rozpoznania warunków geologicznych i hydrogeologicznych oraz stosunków klimatycznych, wpływających decydująco na możliwości i wielkość zasilania. Ogólnie należy stwierdzić, że wody podziemne Tatr i Podhala są pochodzenia meteorycznego, należą więc do górnej strefy hydrochemicznej. Mają charakter typowych wód infiltracyjnych z przewagą jonów wodorowęglanowych i wapniowych (7). Jest to więc obszar żywej wymiany wód intensywnego drenażu i zasilania.

Mimo zdecydowanej odrębności jednostek geologiczno-strukturalnych Tatr i Podhala, wody podziemne tego rejonu wykazują wiele cech wspólnych, uwarunkowanych więzią hydrauliczną między wodami szczelinowo-krasowymi Tatr, szczelinowymi fliszu Podhala oraz porowymi pokrywy czwartorzędowej. Związek ten szczególnie wyraźnie zaznacza się w obszarach, gdzie osady morenowe, fluwioglacjalne lub aluwialne spoczywają bezpośrednio na przepuszczalnym podłożu skał starszych. W takim przypadku wody gruntowe z utworów czwartorzędowych, wykorzystując systemy szczelin i spękań, a także próżni krasowych mogą migrować na znaczne głębokości nawet do 1500 m. Najbardziej predysponowanymi pod tym względem są strefy dyslokacji nieciągłych, poprzecznych w stosunku do brzegu Tatr.

Bez względu na różnicowanie własności hydrogeologicznych poszczególnych typów skał, ogólnie w ramach omawianego terenu wyróżnić można:
— wody gruntowe strefy przypowierzchniowej oraz
— wody głębszych poziomów wodonośnych.

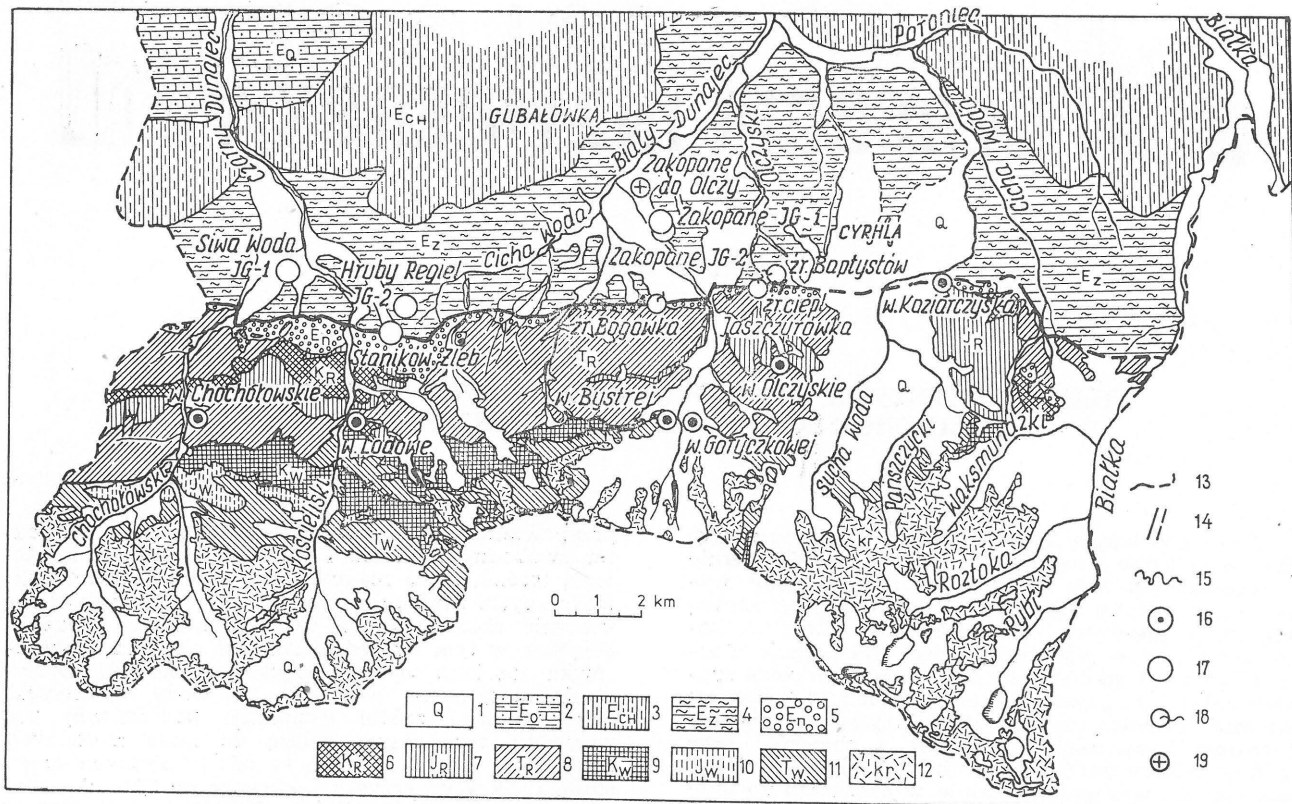
W ujęciu tym utwory fliszowe spełniać będą rolę dowolnego rodzaju. Do głębokości umożliwiającej wymianę i krążenie wód stanowią mało zasobny poziom wodonośny eksploatowany przez studnie kopane i nieliczne studnie wiercone. Poniżej tej granicy, określonej na około 80—100 m (9), praktycznie można je uznać za warstwę izolującą wody gruntowe od wód głębszych poziomów wodonośnych. W strefie

przypowierzchniowej zwierciadło wód ma charakter swobodny i układa się współkształtnie z morfologią terenu, żywo reaguje na wpływ czynników klimatycznych. Stąd też wody masywu tatrzańskiego są znacznie chłodniejsze od wód gruntowych Podhala. Wyjątek w tym względzie stanowi cieplica Jaszczurówka zasalana wodami głębszej cyrkulacji. Obserwacje stacjonarne wykazały, że wody wywierzyisk tatrzańskich i źródeł dyslokacji podreglowej pod względem termicznym należą do mało zmiennych. Amplitudy roczne zawarte są od dziesiątych części stopnia dla Wywierzyiska Lodowego do 2,5°C dla Wywierzyiska Chochołowskiego. Najniższe temperatury notowane są po roztopach wiosennych, najwyższe w sierpniu i wrześniu. W obrębie żwirów fluwioglacjalnych wypełniających rów podtatrzański roczne amplitudy termiczne osiągają wartość rzędu 6—11 stopni. Wartości ekstremalne czasowo układają się podobnie jak w Tatrach. Średnie roczne temperatury w przypadku wywierzyisk tatrzańskich zawarte są w granicach 4—5°C, na terenie fliszu Podhala oscylują wokół wartości 6,5 stopnia, a więc zbliżone są do średniej rocznej temperatury powietrza, którą dla Podhala określa się na 5—6°C (3, 6).

Pewną odrębność wód masywu tatrzańskiego potwierdza również przestrzenny rozkład twardości określony na podstawie pomiarów źródeł i wywierzyisk. Są to wody miękkie i średnio twarde, głównie 1,5—4,5 mval. Znacznie większe rozbieżności notowane są na terenie rowu podtatrzańskiego, szczególnie w okolicach Zakopanego. W żwirach i piaskach stożka Cyrhli mamy do czynienia z wodami miękkimi, poniżej 1,5 mval natomiast na terenie stożka zakopiańskiego, gdzie pierwotna równowaga hydrochemiczna została zachwiana, wskutek gospodarczej działalności człowieka, maksymalne wartości 7—8 mval, stwierdzone w centralnej części miasta, ku peryferiom maleją do 3,5 mval.

W cyklu rocznym zaznacza się odwrotnie proporcjonalna zależność między stanami wód gruntowych a ich twardością. Największą zmienność zanotowano w górnej partii stożka (ryc. 1) w studni obserwacyjnej Zakopane — do Olczy, przy średniej rocznej twardości z okresu 1970—1978 równej 5,4 mval wartości skrajne wynoszą 4,0—8,4 mval, a więc wody oscylują wokół średnio twardych i twardej. Podana charakterystyka w ogólnych zarysach pokrywa się z rozkładem mineralizacji. Sucha pozostałość zawarta jest w granicach od poniżej 100 mg/l — ponad 500 mg/l. Wartości wyższe notowane są rzadko i z reguły dotyczą obszarów o zwartej zabudowie (ryc. 2).

Jak z powyższego wynika wody podziemne południowego skrzydła niecki Podhala należą do wód słodkich, a w przypadku masywu tatrzańskiego nawet do ultraskładkich. Mimo omówionych różnic w rozkładzie temperatury, twardości i mineralizacji wód gruntowych, ich skład jonowy wykazuje wiele wspólnych cech i nie odbiega od wyznaczonego przez



Ryc. 1. Rozmieszczenie głównych wywierzysk tatrzańskich oraz otworów wiertniczych na tle szkicu geologicznego.

Fig. 1. Distribution of major Tatra springs and location of boreholes on the background of sketch geological map.

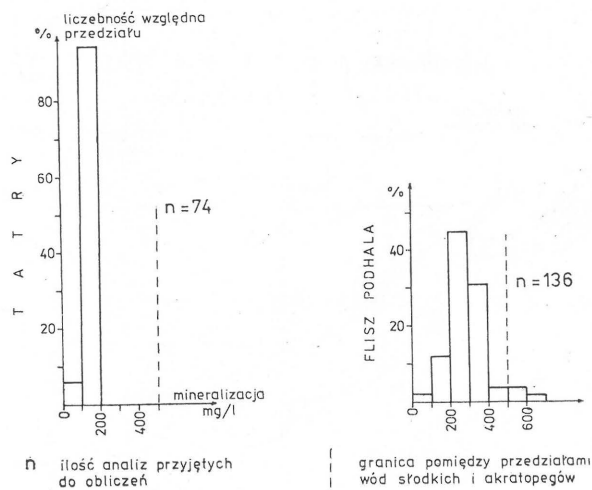
Czwartorzęd: 1 — osady rzeczne i lodowcowe, rumosze, zwierzeliny kamieniste. Seria podhalańska: trzeciorzęd: 2 — łupki ilaste z cienkimi przewarstwieniami piaskowców oraz zlepienie i piaskowce różnoziarniste — warstwy ostryskie, 3 — piaskowce i łupki z dużym udziałem ławic piaskowcowych — warstwy chochołowskie, 4 — łupki warstw zakopiańskich z poziomem korelacyjnym piaskowca z Kozinca. Tatrzy: trzeciorzęd: 5 — zlepienie, wapienie dolomityczne i numulitowe. Seria regłowa: kreda: 6 — margle, wapienie i łupki margliste; jura: 7 — wapienie calpionellowe, radiolarytowe, krynowide, płytowe i bulaste, w spągu łupki i margle; trias: 8 — łupki, piaskowce, zlepienie, dolomity płytowe i bryłowe, wapienie. Seria wierchowa — osadowa: kreda: 9 — margle i łupki margliste, wapienie glaukonitowe i organogeniczne; jura: 10 — wapienie zbite i zoogeniczne, piaskowce, zlepienie, łupki ilaste; trias: 11 — wapienie, dolomity, iłolupki, w spągu kwarcyty i piaskowce. Seria wierchowa — krystaliczna: prekambr, paleozoik: 12 — granity, granitognejsy, gnejsy, granodiority, lokalnie amfibolity, 13 — kontakt utworów tatrzańskich z fliszem Podhala, 14 — dyslokacje, 15 — granica pomiędzy utworami serii regłowej i wierchowej, 16 — wywierzyska tatrzańskie, 17 — wiercenia badawcze i studienne, 18 — źródła dyslokacji podregłowej, 19 — studnia kopana, w której prowadzone są obserwacje stacjonarne.

Quaternary: 1 — fluvial and glacial deposits, slide rocks, rock waste. Podhale series: Tertiary: 2 — clay shales with thin sandstone intercalations and conglomerates and various-grained sandstones — Ostrysz Beds, 3 — sandstones and shales with a marked share of sandstone layers — Chochołów Beds, 4 — shales of Zakopane Beds, with marker horizon of Koziniec Sandstones. Tatra Mts: Tertiary: 5 — conglomerates, dolomitic and nummulitic limestones. Sub-tatric series: Cretaceous 6 — marls, limestones, marly shales; Jurassic: 7 — calpionellid, radiolarian, crinoidal, platy and nodular limestones, with shales, marls at the base; Triassic: 8 — shales, sandstones, conglomerates, platy and blocky dolomites, limestones. High-tatric series, sedimentary: Cretaceous: 9 — marls and marly shales, glauconitic and organogenic limestones; Jurassic: 10 — massive and zoogenic limestones, sandstones, conglomerates, clay shales; Triassic: 11 — limestones, dolomites, clay shales, with quartzites and sandstones at the base. High-tatric series, crystalline: Precambrian, Paleozoic: 12 — granites, granitogneisses, granodiorites, in places amphibolites, 13 — contact of Tatra rocks and Podhale Flysch, 14 — dislocations, 15 — boundary of rocks of sub- and high-tatric series, 16 — Tatra springs, 17 — exploratory and well drillings, 18 — springs related to sub-tatric dislocation, 19 — well under construction, covered by stationary observations.

autorkę tła wybranych elementów hydrochemicznych Podhala (7). Przeważająca większość wód gruntowych i powierzchniowych strefy przytatrzańskiej stanowią wody tryjonowe typu HCO_3^- — Ca — Mg , należące do 18 klasy według klasyfikacji Szczukariewa-Pricklonskiego. W tatrzańskej części większość stanowią również wody czterojonowe typu HCO_3^- — SO_4 — Ca — Mg , należące do klasy 39, a na terenie stożka zakopiańskiego lokalnie występują wody wielojonowe, których skład kształtuje się pod wpływem czynników antropogenicznych (12).

Porównanie uśrednionej wartości głównych kationów i anionów w rozbiu na 4 grupy obejmujące źródła tatrzańskie, źródła fliszowe, studnie kopane i cieki powierzchniowe z terenu górnej części zlewni Białego Dunajca wskazuje na duże pokrewieństwo jonowe tych wód. We wszystkich przypadkach dominujące są jony: HCO_3^- i Ca^{++} , natomiast najniższy udział wykazują jony Cl^- oraz Na^+ i K^+ . W ogólnym bilansie zaznacza się jednak tendencja mniejszego udziału chlorków oraz sodu i potasu w wodach pochodzących ze źródeł (ryc. 3).

Analiza składu jonowego wód gruntowych Tatr i Podhala w przekroju wieloletnim potwierdziła dominujący udział dwuwęglanów i wapnia, przy zmienianych relacjach siarczanów, magnezu i sodu. W grupie anionów największą zmiennością charakteryzują się siarczany, zawartość ich waha się od kilku do około 30% mval. Wzrost zawartości jonu SO_4^{--} wiązano najczęściej z wpływem czynników antropogenicznych, jednakże w takim przypadku notowano również podwyższony udział chlorków oraz ogólnej mineralizacji. Trudno jednak tego rodzaju tłumaczenie przyjąć dla wód wywierzysk i źródeł krasowych z terenu Tatr. Biorąc pod uwagę wyniki badań A. Chojnackiego (1), który stwierdził, że w ciągu roku na Kasprowy Wierch opada 32,2 kg siarki, zaobserwowany przez K. Oleksynową i T. Komornickiego fakt wzrostu udziału siarczanów w okresach deszczowych (5, 13) oraz wyniki badań autorki dotyczące składu jonowego wód opadowych, zmiany zawartości jonu SO_4^{--} wiązać należy przede wszystkim z charakterem opadów atmosferycznych, stanowiących główne źródło zasilania masywu, o czym pisała już autorka w Przewodniku 51 Zjazdu PTG (11).



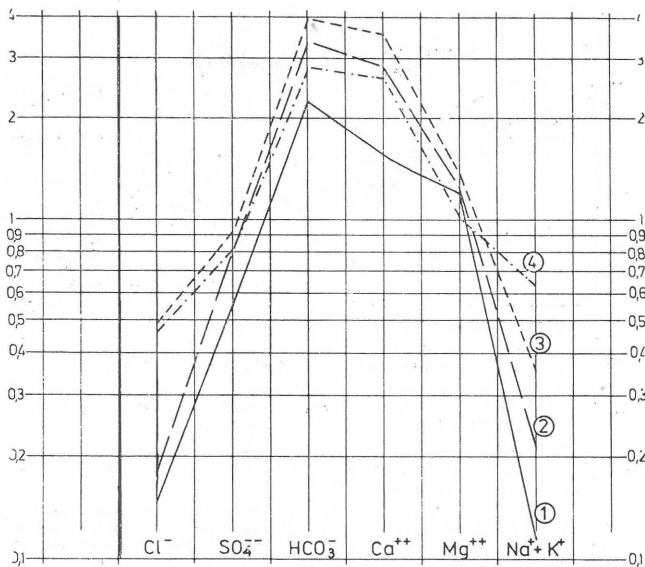
Ryc. 2. Rozkład ogólnej mineralizacji wód gruntowych z terenu Tatr i rowu podtatrzańskiego.

Fig. 2. Distribution of total groundwater mineralization in the Tatra Mts and fore-Tatra trough.

Spośród kationów największą zmiennością odznacza się jon magnezowy, którego wzrost, szczególnie na terenie Tatr i dyslokacji podregłowej notowany jest w okresach jesienno-zimowych. Do najstabilniejszych należą jony Cl^- i Na^+ , K^+ . Dodać jednak należy, że przy występowaniu osadów związanych genetycznie ze złodowaceniami Tatr dochodzi do głosu proces kaolinizacji, potęgujący lokalne podwyższenie zawartości sodu i potasu.

Duży wpływ na kształtowanie się typu chemicznego wód wywiera położenie obszarów zasilania oraz charakter dróg krążenia wód podziemnych. Jako przykład mogą tu służyć wyniki analiz wody z wywierzysk zlewni Potoku Bystra (ryc. 1). Poza dominującym udziałem jonów HCO_3^- i Ca^{++} wody Wywierzyska Goryczkowego charakteryzują się nieco niższą mineralizacją oraz większym udziałem siarczanów. Uśredniony skład jonowy kwalifikuje je do wód wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowych, natomiast Wywierzyska Bystrej, zwane niekiedy Kalackimi, ze względu na większą zawartość magnezu reprezentują wody wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe. W przypadku Wywierzyska Goryczkowego głównym obszarem alimentacyjnym jest Dolina Sucheje Wody charakteryzująca się dużym wypełnieniem osadami glacialnymi (2, 4, 11). Dogodne warunki infiltracji, możliwość szybkiego przepływu wód systemem korytarzy i próżni krasowych oraz skład jonowy opadów atmosferycznych warunkują wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowy charakter tych wód. Za interpretacją tego typu przemawia fakt, iż w wodach opadowych spośród kationów zdecydowanie dominuje wapń, znacznie rzadziej magnez, w przypadku anionów decydującą rolę odgrywają jony SO_4^{--} i HCO_3^- , przy czym w wielu analizach wodorowęglanów nie stwierdzono. Obszar zasilania Wywierzysk Bystrej ogranicza się raczej do macierzystej zlewni, a charakter wód uzależniony jest od stosunku mieszania się wód porowych pokrywy morenowej z wodami szczelinowymi wapieni i dolomitów serii wierzchowej. Zmieniającą się relacją udziału tych wód tłumaczyć należy wzrost zawartości jonu Mg^{++} w okresach zimowych.

Rozpoznanie składu chemicznego wód podziemnych głębszych poziomów wodonośnych umożliwiające wyniki wierzeń usytuowanych wzdłuż północnego brzegu Tatr, na odcinku od Doliny Olczyńskiej po Dolinę Chochołowską. W południowym skrzydle niecki Podhala, pod utworami fliszu, występują dwa piętra głębokich wód podziemnych (8, 14, 15, 16), przedzielone miąższem kompleksem utworów o charakterze izolującym. Skały tego kompleksu S. Sokołowski zalicza do hetangu, retyku i kajonu (porównaj przekrój geologiczny ryc. 4). Wyniki wierzeń i obserwacji stacjonarnych z terenu Antałówki, poparte wy-



Ryc. 3. Charakterystyka składu chemicznego wód słodkich z terenu górnej części zlewni Białego Dunajca przedstawiona metodą Schoellera (wartości uśrednione).

1 — źródła z terenu Tatr i dyslokacji podregłowej, 2 — źródła fliszowe, 3 — studnie kopane, 4 — cieki powierzchniowe.

Fig. 3. Characteristics of chemical composition of fresh waters from upper part of Biały Dunajec river drainage basin, presented with the use of Schoeller's method (average values).

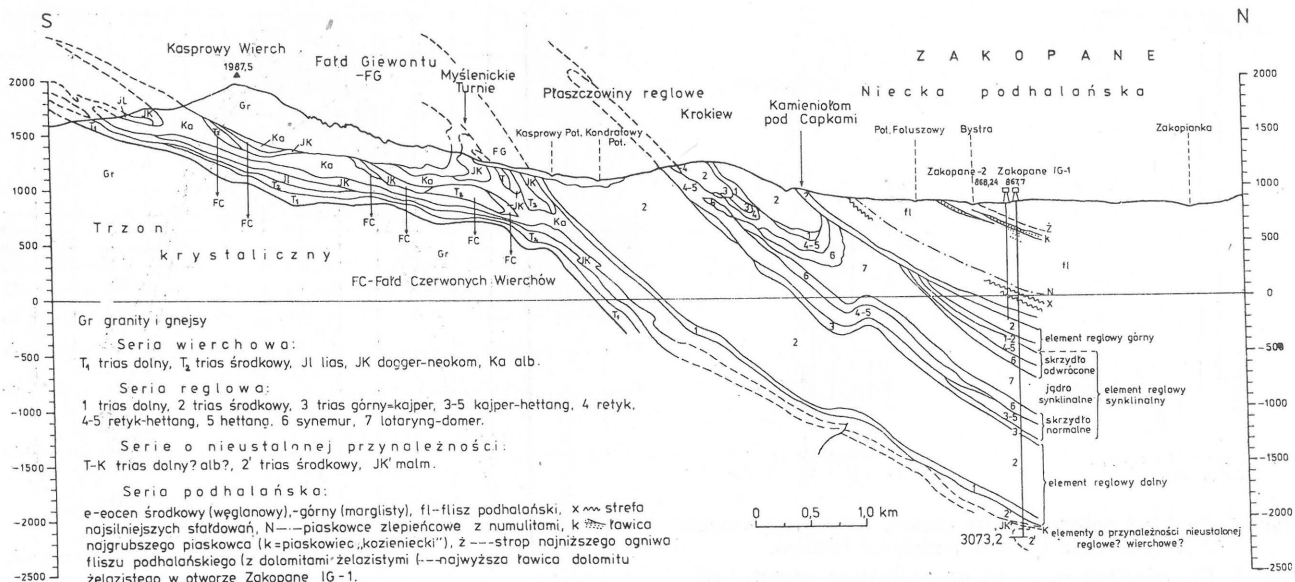
1 — springs from Tatra Mts and sub-tatric dislocation, 2 — springs in Flysch, 3 — wells, 4 — surface creeks.

nikami badań hydrogeologicznych z otworów Siwa Woda IG-1, Hruby Regiel IG-2 oraz szczegółową analizą własności fizyko-chemicznych wód podziemnych skłaniają do przyjęcia tezy o powszechnym rozprzestrzenieniu tych pięter w przylatrzeńskiej strefie południowego skrzydła niecki Podhala*.

Ogólnie należy stwierdzić, że górne piętro wodonośne o znaczeniu perspektywicznym charakteryzuje się występowaniem wód słodkich o zbliżonym składzie jonowym do wód strefy przypowierzchniowej. Temperatura wody jest tu funkcją głębokości ujęcia. Szybka reakcja na opady atmosferyczne oraz roztopy wiosenne wskazuje na meteoryczne pochodzenie tych wód. Głównym obszarem zasilania jest masyw tatrzański oraz strefa przykontaktowa Tatr z fliszem Podhala. W skład tego piętra wchodzi 3 poziomy wodonośne wykazujące w sensie regionalnym powiązania dynamiczne (tab. I). Dodać należy, że eocen numulitowy ze względu na litologię i sposób ułożenia kompleksów skalnych pod względem stosunków wodnych łączy się raczej z utworami tatrzańskimi. Dolne piętro wodonośne udokumentowano jedynie w otworze Zakopane IG-1. Charakteryzuje się ono występowaniem wód mineralnych o znikomych możliwościach eksploatacyjnych.

Przystępując do omówienia własności fizyko-chemicznych wód podziemnych głębszych poziomów wodonośnych należy dodać, że mimo izolującej roli fliszu w stosunku do osadów eocenu numulitowego i utworów serii tatrzańskich — w partiach pozbawionych możliwości oddziaływania czynników klimatycznych mogą występować lokalnie soczewki wód reliktowych, których skład fizyko-chemiczny odbiega od wód strefy przypowierzchniowej i wód głębszych poziomów wodonośnych pietra górnego. Klasycznym tego przykładem są wyniki wierzenia otworu Siwa Woda IG-1. Przy głębokości otworu 340,2 m z utworów fliszowych uzyskano wody mineralne wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowe, należące do klasy 22.

* Szczegółowe udokumentowanie tej tezy jest zawarte w pracy autorskiej pt.: „Hydrogeologia Podhala”. Wyd. Geol. (w druku).



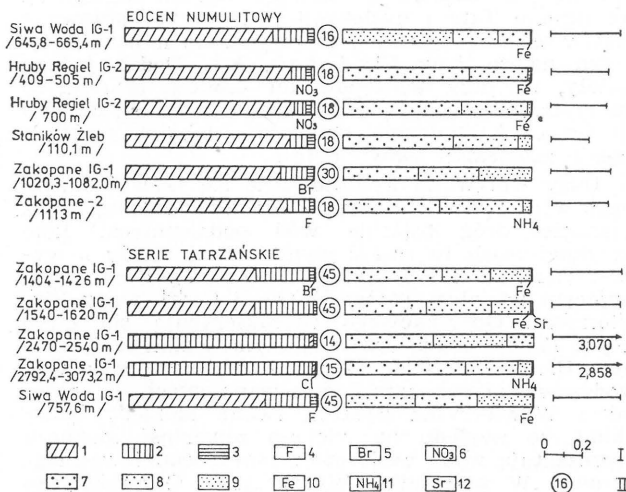
Ryc. 4. Przekrój geologiczny Kasprowy Wierch — Zakopane (wg S. Sokołowskiego).

Fig. 4. Geological cross-section Kasprowy Wierch — Zakopane (after S. Sokołowski).

Tabela I

PODZIAŁ GŁĘBOKICH WÓD PODZIEMNYCH
POŁUDNIOWEGO SKRZYDŁA NIECKI PODHAŁA

Piętro wodonośne	Poziom wodonośny	Wiek i wykształcenie litologiczne kompleksów wodonośnych
GÓRNE	A	Seria węglanowo-zlepieńcowa eocenu numulitowego;
	B	Piaskowce kwarcytowe i kwarcyty synemuru, należące do serii reglowej niższej, o następstwie odwróconym;
	C	Margle i wapienie margliste z rogocami lotaryngu i domeru należące do serii reglowej niższej, o następstwie normalnym;
DOLNE	D	Dolomity zbite i drobnokrystaliczne triasu środkowego należące do serii reglowej niższej, o następstwie normalnym;
	E	Dolomity zbite i drobnokrystaliczne oraz wapienie triasu środkowego i jury górnej w obrębie elementów tatrzańskich, o nie ustalonej przynależności



Ryc. 5. Porównanie składu jonowego wód podziemnych głębszych poziomów wodonośnych. Opracowano na podstawie analiz wykonanych w Laboratorium „Balneoprojektu” w Warszawie.

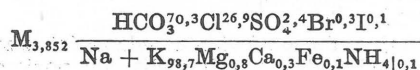
I — mineralizacja w g/l, II — nr klasy hydrochemicznej wg klasyfikacji Szczukariewa-Prikłonskiego. Skład jonowy w procentach milivali, 1 cm = 10% mval, aniony: 1 — HCO_3^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — Cl^- , 4 — F^- , 5 — Br^- , 6 — NO_3^- , kationy: 7 — Ca^{++} , 8 — Mg^{++} , 9 — $\text{Na}^{++} + \text{K}^{++}$, 10 — Fe^{++} , 11 — NH_4^+ , 12 — Sr^{++} . Uwaga! w nawiasach podano głębokości otworów w czasie pobierania próbek lub przełot strefy perforacji.

Fig. 5. Comparison of ionic composition of groundwater from deep-seated aquifers, made on the basis of analyses carried out in the “Balneoprojekt” Laboratory in Warsaw.

I — mineralization in g/l, II — number of hydrochemical class in the Szczukariew-Prikłonski's classification. Ionic composition in mval %, 1 cm = 10% mval, anions: 1 — HCO_3^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — Cl^- , 4 — F^- , 5 — Br^- , 6 — NO_3^- , cations: 7 — Ca^{++} , 8 — Mg^{++} , 9 — $\text{Na}^{++} + \text{K}^{++}$, 10 — Fe^{++} , 11 — NH_4^+ , 12 — Sr^{++} . Note: depth of drillings at the time of sampling or diameter of perforation zone is given in brackets.

wych, należących do 18 klasy hydrochemicznej. Podobnie, jak w wodach powierzchniowych i grunto- wych strefy przypowierzchniowej, dominujące znaczenie mają tu jony HCO_3^- oraz Ca^{2+} i Mg^{2+} . Aniony charakteryzują się znacznie większą stabilnością. Pewne różnice polegają jedynie na niewielkim udziale jonu NO_3^- w wodach z Hrubego Regła oraz znikomej zawartości fluoru w wodach z otworu Zako-

Skrócony zapis usrednionych wyników analiz chemicznych przedstawia się następująco:



Zgodnie z balneologicznymi kryteriami wody tej nie można zaliczyć do solanek. Jest to 0,38% woda wodorowęglanowo-chlorowo-sodowa, jodkowa. Ze względu na małe wydajności i lokalne występowanie nie stanowi ona obiektu zainteresowań.

Najdokładniej przebadanym, a jednocześnie najbardziej liczącym się poziomem wodonośnym jest poziom eocenu numulitowego. Bez względu na to jak głęboko występują skały węglanowe eocenu, mineralizacja i skład jonowy wód tego poziomu wykazuje daleko idące analogie (ryc. 5). Są to wody słodkie, w których suma rozpuszczonych składników stałych nie przekracza 320 mg/l. Reprezentują one głównie typ wód wodorowęglanowo-wapniowo-magnezo-

ZAWARTOŚĆ SIARKOWODORU NA TLE SYTUACJI MORFOLOGICZNEJ OTWORÓW

Nazwa i symbol otworu	Położenie morfologiczne	Rzędna terenu w m npm	Odległość od Tatr m	Strop eocenu numulitowego		Zawartość H_2S g/l
				głębokość poniżej pow. terenu m	rzędna m npm	
Siwa Woda IG-1 Hruby Regiel IG-2	Dolina Chochołowska strefa wododziałowa pomiędzy zlewnią Czarne-go i Białego Dunajca	896,50	925	617,2	+279,3	0,0021
		935,00	525	295,0	-640,0	brak
Staników Żleb (studnia wiercona) Zakopane IG-1	u podnóża zachodniego zbocza Antałówki	967,00	125	21,0	+946,0	brak
		864,90				
Zakopane-2	"	(867,70)*	1680	1000,5	-132,8	0,0034
		868,20				
		(871,20)*	1600	985,0	-113,2	od 0,00017 do 0,0016

* W wypadku otworów Zakopane IG-1 i Zakopane-2 przy obliczeniach przyjęto rzędnę stołu rotacyjnego, ponieważ od nich liczone były wszystkie głębokości podane w profilu.

Tabela II

ZMIANY ZAWARTOŚCI SODU I POTASU
W PROFILU PIONOWYM OTWORU SIWA WODA IG-1*

Badane poziomy wodonośne	Zawartość $Na^+ + K^+$		Suma rozpuszczonych składników stałych mg/l
	mg/l	w % mvali	
Flisz podhalański (warstwy zakopiańskie)	1135,0	98,7	3852
Eocen numulitowy	65,2	58,0	371
Seria regłowa górna	32,7	30,2	359

* wartości uśrednione

pane-2. W wypadku kationów, wyraźnie odbiegają wyniki analiz z otworu Siwa Woda. Wydaje się, iż niewspółmiernie wyższą zawartość sodu oraz nieco większą mineralizację tych wód należy tłumaczyć wpływem wód mineralnych typu wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowego stwierdzonych w nadległych utworach fliszowych. Fakt ten potwierdza konsekwentnie zmniejszający się udział jonów Na^+ i K^+ w miarę głębienia otworu (tabela II).

Podwyższona zawartość sodu wpłynęła na zmianę klasy wody z 18 $HCO_3-Ca-Mg$ na 16 $HCO_3-Na-Mg$, nie spotykaną ani w poziomie eocenu numulitowego, ani też w wodach gruntowych strefy przypowierzchniowej okolic Zakopanego. Nieco mniejszy, ale również odbiegający od wyników pozostałych analiz udział sodu stwierdzono w otworze Zakopane IG-1. Fakt ten należy wiązać z technologią głębienia otworu tym bardziej, że wody do analiz pobierane były w czasie trwania prac wiertniczych. W tym wypadku wzrost zawartości jonu $Na^+ + K^+$ kwalifikuje wodę do klasy 30 — $HCO_3-Ca-Mg + Na + K$.

Skład jonowy wód eocenu numulitowego przebadany w pozostałych otworach wiertniczych wskazuje na dominującą rolę wapnia i magnezu, przy kilku procentowym udziale sodu i znikomym udziale Fe lub NH_4 . Wartości wskaźników hydrochemicznych r $Ca : r$ Mg zawarte są w granicach 1,2 do 2,2, co wskazuje na niewielką przewagę wapnia. Dla dopełnienia charakterystyki hydrochemicznej poziomu eocenu numulitowego należy wspomnieć o zawartościach H_2S .

W powierzchniowym rozkładzie siarkowodoru zarysowuje się pewna tendencja polegająca na tym, że w wyniesionej morfologicznie strefie wododziałowej między Czarnym i Białym Dunajcem, a więc w otworach Hruby Regiel i Staników Żleb, nie stwierdzono nawet śladów H_2S , gdy po obu stro-

nach wododziału w otworach niżej usytuowanych hipsometrycznie wody tego poziomu kwalifikują się do siarczkowych (tab. III).

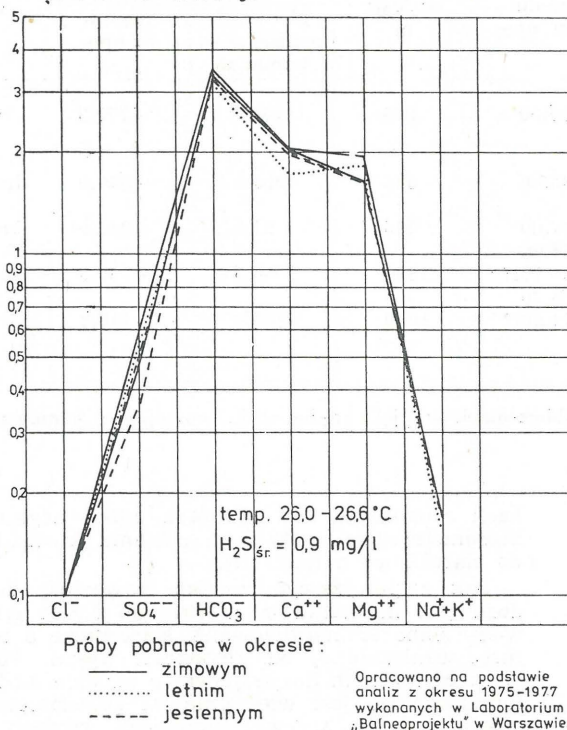
Jak z powyższego wynika, zawartość siarkowodoru jest niewielka od 0,00017 do 0,0034 g/l. Są to wody słabo zmineralizowane, siarczkowe o temperaturze uzależnionej od głębokości ujęcia. Podstawowym czynnikiem decydującym o termice wód eocenu numulitowego jest więc gradient geotermiczny. Jednakże analiza krzywej przebiegu temperatury w otworze Zakopane IG-1 wskazuje na duże zróżnicowanie stopnia geotermicznego, od kilkudziesięciu do kilkuset $m/1^\circ C$. Nic więc dziwnego, że na podstawie przytoczonych danych nie można określić wyraźnych prawidłowości między głębokością otworu a temperaturą wód. Spośród rozpatrywanych, jedynie wody ujęte otworem Zakopane-2 zaliczyć należy do wód termalnych, a ściślej biorąc do hipotermalnych.

Do górnego piętra wodonośnego poza eocenem numulitowym należą jeszcze dwa poziomy wodonośne związane z serią regłową niższą o odwróconym i normalnym następstwie (ryc. 4, tab. I). Charakterystyka hydrochemiczna tych poziomów przeprowadzona zostanie na podstawie wyników analiz wody z otworów Zakopane IG-1 i Siwa Woda IG-1, oddalonych od siebie o 8,5 km. W obu wypadkach poniżej eocenu numulitowego nawiercono utwory mezozoiczne serii tatrzańskich. W okolicach Zakopanego serie wodonośne stanowią piaskowce kwarcytowe, częściowo kwarcyty synemuru oraz margle i wapienie margliste z rogowcami lotaryngu i domeru. W Dolinie Chochołowskiej dolomity pelityczne triasu serii regłowej górnej nawiercono w otworze Siwa Woda IG-1 na głębokości 752,6 m.

Mimo różnej przynależności wiekowej utworów i głębokości występowania omawianych poziomów wodonośnych z terenu Zakopanego i Doliny Chochołowskiej, skład jonowy oraz mineralizacja wód są zbliżone (ryc. 5). Podobnie jak w wodach eocenu numulitowego, znacznie większą stabilnością charakteryzują się aniony. Procentowy udział głównych kationów jest bardziej wyrównany niż w wodach z eocenu numulitowego z tym jednak, że w otworze Zakopane IG-1 wyraźnie dominuje wapń nad magnezem i sodem, a w Siwej Wodzie nieznaczna przewagę wykazuje magnez. We wszystkich analizach stwierdzono niewielką zawartość żelaza, przy sporadycznym występowaniu takich składników, jak stront, w obrębie anionów brom lub fluor. Obecność H_2S rzędu 0,001 g/l dla Zakopanego do 0,006 g/l dla Doliny Chochołowskiej kwalifikuje te wody do siarczkowych. Na podstawie temperatury można je zaliczyć do wód ciepłych, mimo że w otworze Siwa Woda temperatura oscyluje tylko wokół wartości $20^\circ C$.

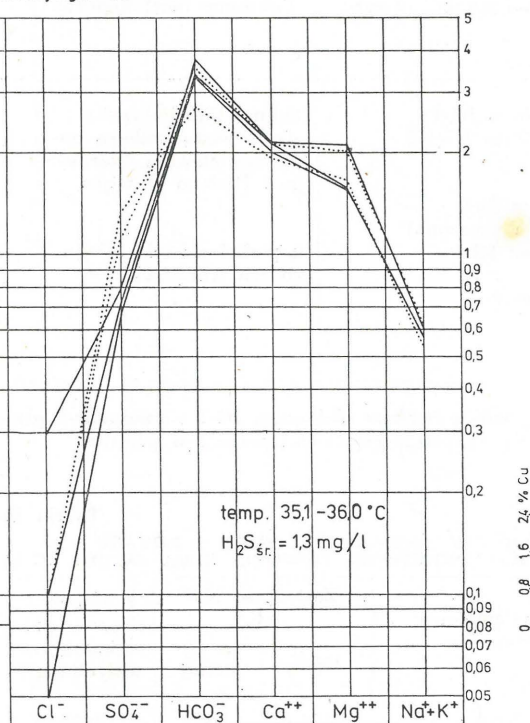
OTWÓR ZAKOPANE 2

Poziom wodonośny:
seria węglanowo-złepieńcowa
eocenu numulitowego



OTWÓR ZAKOPANE IG-1

Poziom wodonośny:
margle i wapienie margliste z rogowcami
lotaryngu - domeru



Ryc. 6. Charakterystyka składu chemicznego wód termalnych przedstawiona metodą Schoellera.

Fig. 6. Characteristics of chemical composition of thermal waters, presented with the use of the Schoeller's metod.

Ogólnie więc należy stwierdzić, że są to wody słodkie, należące do grupy wód 5-jonowych — wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowo-sodowych, reprezentujących 45 klasę hydrochemiczną. Z punktu widzenia przydatności w lecznictwie można je zakwalifikować do wód ciepliczych, słabo zmineralizowanych, siarczkowych. Dolna strefa występowania głębokich wód podziemnych w otworze Zakopane IG-1 rozpoczyna się poniżej kompleksu ilowców i łupków, na głębokości około 2100 m. Przebadano tu dwa poziomy wodonośne oznaczone symbolami „D” i „E”.

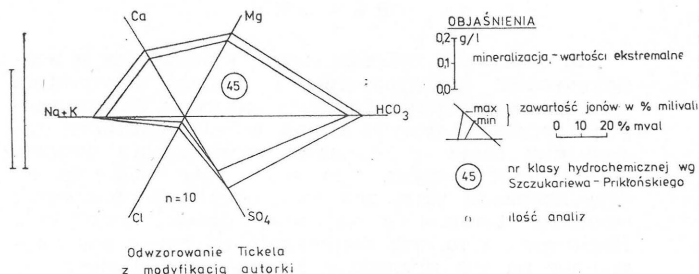
Mimo braku kontaktu hydraulicznego między wymienionymi poziomami, o czym świadczą różnice ciśnień głowicowych, wykazują one podobne charakterystyki hydrochemiczne. W obu wypadkach są to wody mineralne nie zawierające siarkowodoru, charakteryzujące się znikomą zawartością wodorowęglanów i chlorków, przy ponad 90% udziale jonu SO_4 . Przy zmiennych relacjach kationów przewagę stanowi wapń. Ze względu na zbyt małe wydajności 0,18 i 0,22 l/s temperatura wody mierzona na głowicy otworu wynosiła zaledwie 13°C, mimo iż w złożu zanotowano wartość o 47°C wyższą. Biorąc pod uwagę techniczne możliwości eksploatacji oraz znikomą wydajność omawianych poziomów, wody te nie znajdują praktycznego zastosowania. Określić je należy jako wody mineralne siarczanowo-wapniowo-sodowe i siarczanowo-wapniowo-magnezowe, należące do 14 i 15 klasy hydrochemicznej. Dodać należy, iż tego typu wód nie stwierdzono ani w strefie przypowierzchniowej, ani w otworach wiertniczych na terenie Karpat fliszowych. Wysoka zawartość jonu SO_4 , przy znacznym udziale Ca sugeruje, że ich skład jonowy uformowany został pod wpływem kontaktu obu poziomów wodonośnych z serią anhydrytowo-gipsową występującą w spągu płaszczyny reglowej (15).

Podana charakterystyka wód podziemnych południowego skrzydła niecki Podhala oparta jest na wynikach badań prowadzonych w różnych termi-

nach — od 1962 do 1977 r., nie obrazuje więc zmian jakim podlegają własności fizyko-chemiczne wód w czasie. Informacji na ten temat dostarczają wyniki badań hydrogeologicznych, prowadzonych w otworach Zakopane IG-1 i Zakopane-2 oraz wyniki analiz z próbnych pompowań otworu Siwa Woda IG-1. Oznaczenia terenowe i laboratoryjne dotyczące zawartości jonu HCO_3^- w wodach termalnych Antałówki wskazują, że zarówno w czasie próbnych pompowań, jak i po udostępnieniu otworów do eksploatacji udział wodorowęglanów ulega znikomym wahaniom. Nie wielkie zmiany notowane są również w wypadku siarkowodoru. Wartości skrajne H_2S oscylują w granicach: Zakopane IG-1 — 0,76—2,59 mg/l, przy średniej z 91 oznaczeń 1,3 mg/l, Zakopane-2 — 0,51—1,53 mg/l, przy średniej ze 107 oznaczeń 0,9 mg/l.

Z przytoczonych tu danych wynika, że zawartość siarkowodoru w wodach termalnych Antałówki często spada poniżej minimalnej wartości pozwalającej kwalifikować wody jako lecznicze. Dotyczy to szczególnie wód ujętych otworem Zakopane-2, gdzie nawet wartość średnia wskazuje, że mamy tu do czynienia z wodami na granicy wód siarczkowych. Obecność siarkowodoru tłumaczyć można utlenianiem piryty do siarczanów, a następnie redukcją siarczanów, przy współudziale węgla pierwiastkowego (14). Piryt jest rozproszony zarówno w piaskowcach fliszu podhalańskiego, jak również w wapieniach i marglach dolnej jury, która jest nieco bitumiczna. O dużej stabilności składu jonowego wód eocenu numulitowego świadczy fakt, że od 1975 r. do chwili obecnej należą one niezmiennie do 18 klasy hydrochemicznej reprezentującej typ wód wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych (ryc. 6).

Nieco mniejszą stabilnością charakteryzuje się poziom wodonośny w obrębie jednostki reglowej niższej ujęty otworem Zakopane IG-1. Wzrost zawartości jonu SO_4 w okresach letnich powoduje przejście tych wód z 3-jonowych HCO_3^- -Ca-Mg do 4-jonowych HCO_3^- - SO_4 -Ca-Mg, należących do klasy 39. Przez cały okres badań ogólna mineralizacja oraz tempera-



Ryc. 7. Skład chemiczny wód podziemnych ujętych otworem Siwa Woda IG-1 w przedziale głębokości 617–800 m. Opracowano na podstawie wyników wykonanych przez Laboratorium „Balneoprojekt” w Warszawie.

Fig. 7. Chemical composition of groundwaters exploited by the borehole Siwa Woda IG-1 from depth interval 617–800 m, elaborated on the basis of data obtained by the „Balneoprojekt” Laboratory in Warsaw.

tura wód utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Odchylenia od średniej wartości równej 305 mg/l dla Zakopanego-2 i 339 mg/l dla Zakopanego IG-1 zawarte są w granicach kilkunastu procent, a różnice termiczne zamykają się w granicach 1°C.

Stabilność składu chemicznego wód podziemnych zarówno eocenu numulitowego, jak i górnych partii serii reglowej, ujętych otworem Siwa Woda IG-1, potwierdzają wyniki analiz reprezentujących okres badań od stycznia do sierpnia 1973 r. Przez cały ten czas wody należały niezmiennie do klasy 45 hydrochemicznej, reprezentującej typ wód 5-jonowych, wodorowęglanowo - siarczanowo-magnezowo-sodowo-wapniowych (ryc. 7). Zawartość siarkowodoru wahała się w granicach od 0,5 do 1,0 mg/l, przy średniej wartości z 19 oznaczeń równej 0,7 mg/l. Skrócony zapis składu chemicznego tych wód, podany zmodyfikowaną metodą Kurłowa przedstawia się następująco: *

0,0006 H ₂ S 0,0005–0,01		65,4 HCO ₃ 64,6–70,4		30,8 SO ₄ 24,9–32,8		3,0 Cl 1,9–4,5		0,8 F 0,7–0,9		18,8 T 18–21	
M 0,417 392–435		Mg 37,1 34,8–37,9		Na + K 33,1 31,2–36,4		Ca 28,7 26,3–30,1		Fe 0,7 śl.–1,8		Sr 0,4 0,0–0,7	

LITERATURA

1. Chojnacki A. — Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. III. 1966 r. Pamiętnik Puławski. Pr. JUNG. 29, 1967.
2. Dąbrowski T., Głazek J. — Badania przepływów krasowych we wschodniej części Tatr Polskich. Speleologia, 1968, nr 2.
3. Figuła K. — Monografia górnego Dunajca. Prace i Studia Kom. Gosp. Wodn. 1956, t. 1.
4. Głazek J., Wójcik Z. — Zjawiska krasowe wschodniej części Tatr Polskich. Acta Geol. Pol. 1963, nr 1.
5. Komornicki T., Oleksynowa K. — Skład chemiczny wód tatrzańskich i osobliwości hydrochemiczne doliny Suche Wody. Tatr. Sesja Nauk. Referaty PTH, 1969.
6. Małecka D. — Hydrogeologia zlewni Leśnicy na tle warunków geologicznych międzyrzecza Białego Dunajca i Białki. Archiwum rękopisów UW, Warszawa 1967.
7. Małecka D. — Chemizm wód podziemnych środkowego Podhala. Biul. Geol. Wyd. Geol. UW 1977 t. 21.
8. Małecka D. i in. — Warunki hydrogeologiczne występowania oraz eksploatacji wód termalnych, mineralnych i słodkich na terenie Podtatrza. Część I: Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód termalnych z otworu Zakopane-2. Archiwum ZPG UW Warszawa oraz Archiwum DRMiOW, Nowy Sącz, Oddz. Zakopane 1977.

9. Małecka D., Murzynowski W. — Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszowych. Inst. Mel. i Użytków Zielonych. Wiadomości IMUZ, 1978 nr 56.
10. Małecka D., Małecki J., Murzynowski W. — Gospodarka wodno-ściekowa zlewni Białego Dunajca na tle warunków hydrogeologicznych Podhala. Przewodnik LI Zjazdu PTG. Wyd. Geol. 1979.
11. Małecka D., Poprawa D. — Wybrane zagadnienia dotyczące hydrogeologii Tatr oraz południowego skrzydła niecki Podhala. Przewodnik LI Zjazdu PTG. Wyd. Geol. 1979.
12. Małecki J. — Problemy ochrony środowiska związane z gospodarką wodno-ściekową Zakopanego i okolic. Archiwum IHiGI UW Warszawa 1974.
13. Oleksynowa K. — Geochemiczna charakterystyka wód w Tatrach. Sprawozd. Kom. Fizjogr. PAN. 1969 nr 12.
14. Pazdro Z. — Opinia hydrogeologiczna w sprawie możliwości uzyskania podziemnej wody termalnej w rejonie Ronda w Zakopanem. ZPG UW, 1976.
15. Sławiński A. — Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych w Zakopanem. Arch. PP OTU. Warszawa 1965.
16. Sokołowski S. — Geologia paleogenu i mezozoicznego podłoża południowego skrzydła niecki podhalańskiej w profilu głębokiego wiercenia w Zakopanem. Biul. Inst. Geol. 1979 nr 265.

* Przy poszczególnych jonach podano: w liczniku wartości uśrednione z 10 analiz, w mianowniku wartości ekstremalne.

Some problems connected with formation of physico-chemical composition of groundwater in the contact zone of the Tatra Mts series and Podhale Flysch rocks were analysed with the reference to the results of stationary and seasonal studies carried out by the author and of deep drillings made by the Geological Institute. The analysis has shown a decisive influence of the location of alimentary area and the nature of migration routes on the type of water. Despite of differences in the style of geological structure, morphology and climatic conditions in the Tatra massif and the Podhale Basin in its forefield, groundwaters of this region have several features in common, determined by a hydraulic connections between fissure-karst water of the above mentioned lithological-structural units and pore water of the Quaternary cover. The interrelations are exceptionally clear in areas where moraine, fluvio-glacial or alluvial sediments rest directly on permeable older bedrock. When this is the case, groundwaters from the Quaternary cover may migrate downwards, sometimes to the depth of 1500 m, through systems of fissures and fractures as well as karst caverns. The predestined zones for migration of the waters are the zones of tectonic discontinuities transversally cutting the margin of the Tatra Mts.

The chemistry of groundwaters occurring in the subsurface zone and those of deeper-seated aquifers was analysed separately.

In the subsurface zone, water table is free, following the terrain morphology and it is rapidly responding to climate factors. These are fresh waters, ultrafresh in the Tatra Mts, with predominance of bicarbonates and calcium and varying relations of sulfates, magnesium and sodium. Generally, deeper-seated aquifers may be assigned to two stages: — upper, with ionic composition close to that of the subsurface zone groundwaters, somewhat higher mineralization and higher contribution of H_2S . Water temperature is the function of depth of water intake. — lower, characterized by occurrence of mineral waters with negligible content of hydrocarbons and chlorines, the content of SO_4 ion over 90% (Fig. 5), and the lack of H_2S .

It was also found that waters of the upper aquifer stage, although meteoric in origin, are characterized by fairly stable chemical composition and thermal relations. This is the most important aquifer horizon, stretching along the northern margin of the Tatra Mts.

На основании собственных стационарных и периодических исследований, а также результатов испытания глубоких буровых скважин Геологического состава подземных вод в зоне контакта татринских серий с осадками подгальского флиша. Автор констатирует, что решающее влияние на формирование типа вод оказывают, расположение области питания и характер путей возобновления. Несмотря на то, что татринский массив и расположенное на его предполье Подгалье отличаются от себя геологическим строением, морфологией и климатическими условиями, подземные воды всего этого района имеют много общих свойств, обусловленных гидравлической связью между трещинно-карстовыми водами вышеприведенных литологически-структурных единиц и поровыми водами чатвертичного покрова.

Эта связь особенно хорошо видна в районах, где моренные, ледниково-речные или аллювиальные отложения находятся непосредственно на проницаемом основании старших пород. В таком случае грунтовые воды из четвертичных отложений, используя системы трещин и карстовых пустот, могут мигрировать даже до глубины 1500 м. Самыми пригодными в этом отношении являются зоны разрывных дислокаций поперечных к краю Татр.

Химизм вод автор рассматривает учитывая деление вод на:

- грунтовые воды близкоповерхностной зоны и
- воды более глубоких водоносных горизонтов.

В близкоповерхностной зоне зеркало воды имеет свободный характер и форму согласную с морфологией местности; оно реагирует на влияние климатических факторов. Находящиеся в этой зоне воды имеют пресный, а в Татрах даже ультрапресный характер. В их составе преобладают бикарбонаты и кальций, а изменяется количество сульфатов, магния и натрия.

В пределах более глубоких водоносных горизонтов выделены два яруса:

- верхний — которого ионный состав близкий к водам близкоповерхностной зоны, с немного высшей минерализацией и более частым участием H_2S ; температура этих вод является функцией глубины водозабора;
- нижний — который характеризуется присутствием минеральных вод с незначительным содержанием кислых карбонатов и хлоридов и свыше 90% содержанием иона SO_4 (рис. 5), без участия H_2S .

Автор, констатирует также, что воды верхнего водоносного яруса, несмотря на их метеорическое происхождение, отличаются большей устойчивостью химического состава и термических отношений. Это самый важный водоносный горизонт простирающийся вдоль северного края Татр.