

WPLYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA KSZTAŁTOWANIE CHEMIZMU WÓD W OBRĘBIE MASYWU TATRZAŃSKIEGO

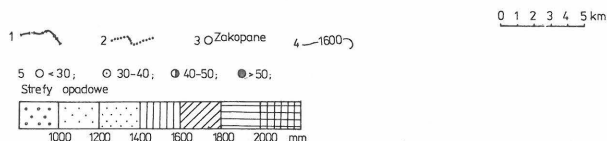
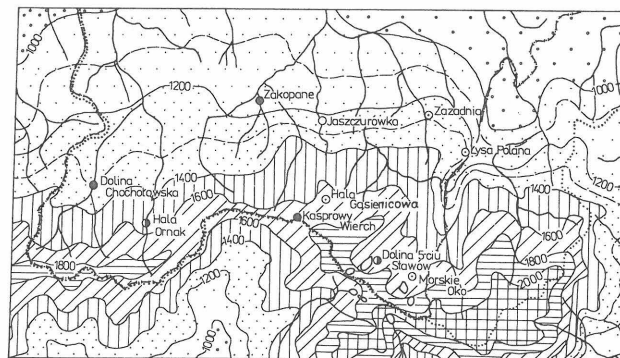
UKD 550.46:[556.114+556.314](234.372.4)

Rola opadów atmosferycznych w kształtowaniu chemizmu wód powierzchniowych i podziemnych jest obecnie powszechnie doceniana. Wpływ ten szczególnie wyraźnie można prześledzić w odniesieniu do wód słabo zmineralizowanych, nie zmienionych w sposób istotny pod wpływem czynników antropogennych (10, 18). Takim doskonałym poligonem doświadczalnym pod tym względem jest obszar Tatrzańskiego Parku Narodowego. W obrębie górotworu karpackiego Tatry stanowią najwyższy masyw górski, odznaczający się młodą, glacialną rzeźbą. Ze względu na duże wyniesienie, charakteryzują się one niskimi temperaturami powietrza i najwyższymi w skali kraju opadami. Płaszczyznowy typ budowy determinuje charakter krążenia wód podziemnych. Migrują one nie tylko zgodnie z sekwencją zapadania warstw ku północy, ale i wzdłuż rozciągłości struktur geologicznych o równoleżnikowej orientacji (12). Konsekwencją tego są niezgodności powierzchniowych i podziemnych działów wodnych, co znajduje wyraźne odbicie w składzie jonowym i mineralizacji wód. Charakterystyczną cechą regionu są częste i silne wiatry, transportujące emitowane do atmosfery pyły i zanieczyszczenia (19).

Opady atmosferyczne jako główne, a w określonych sytuacjach geologicznych jedyne źródło zasilania wód podziemnych, nie mogą być pomijane w regionalnych badaniach hydrogeologicznych, nie tylko ze względu na parametry ilościowe, ale również ze względu na ich skład chemiczny.

Doceniając potrzebę określenia, jakie „wiano” wnoszą wody opadowe w kształtowanie hydrochemicznych typów wód krążących w masywie tatrzańskim, rozszerzono prowadzone przez Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego badania stacjonarne również na wody opadowe. Na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego wytypowano do tego celu 10 stacji, w których za zgodą Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej gromadzono wody opadowe z deszczomierzy

Hellmana do 1- lub 2-litrowych pojemników. Każdorazowo notowano datę rozpoczęcia i zakończenia zbierania próbki. W ten sposób można ustalić, jakiej sumie opadów odpowiada określony skład chemiczny wód oraz jakie w tym czasie panowały warunki klimatyczne (głównie temperatury powietrza i kierunki wiatrów). Lokalizację wytypowanych do obserwacji punktów podano na tle powierzchniowego rozkładu opadów atmosferycznych z okresu 1978–1987 (ryc. 1). Badaniami objęto różne strefy wysokościowe i opadowe, od poniżej 1200 mm u podnóża Tatr (Zakopane)



Ryc. 1. Lokalizacja punktów obserwacyjnych na tle rocznych sum opadów atmosferycznych

1 – granica państwa, 2 – powierzchniowy dział wodny zlewni Białego Dunajca, 3 – stacja opadowa IMiGW, 4 – izohety średnie roczne w mm (1951–1975), 5 – przedziały mineralizacji wód opadowych w mg/dm^3 (wartości średnie z lat 1978–1987)

do około 1800 mm w partiach szczytowych masywu (Kasprowy Wierch).

Obserwacje składu jonowego i mineralizacji wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego rozpoczęto w 1978 r. (w niektórych punktach nawet wcześniej). Łącznie w okresie dziesięciolecia wykonano ponad 1800 analiz, z czego 500 przypada na wody opadowe. Wszystkie oznaczenia głównych kationów i anionów oraz sumy rozpuszczonych składników stałych określano analogicznymi, ogólnie stosowanymi metodami w laboratorium Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UW. Obróbki materiałów dokonano za pomocą programu statystycznego STATGRAF (Statistical Graphics System, Version 1.0) na komputerze kompatybilnym z IBM PC XT firmy ASI.

Poddane analizie wyniki oznaczeń, reprezentujące wszystkie pory roku, podzielono na trzy populacje:

– wody opadowe, reprezentujące różne strefy hipsometryczne,

– wody powierzchniowe, pobierane wyłącznie u wylotu potoków z Tatr. Przyjęto bowiem założenie, że określony w ten sposób chemizm jest odzwierciedleniem całości kształtu stosunków wodnych panujących w zlewni;

– wody podziemne, krążące w różnych typach litologicznych skał.

W niniejszym artykule główny nacisk położono na ogólną mineralizację wód, traktując ją jako wskaźnik, pozwalający na bezpośrednie porównanie analizowanych populacji, mniej uwagi poświęcono charakterystyce poszczególnych komponentów wód, która była tematem innych opracowań (7, 14, 15, 26).

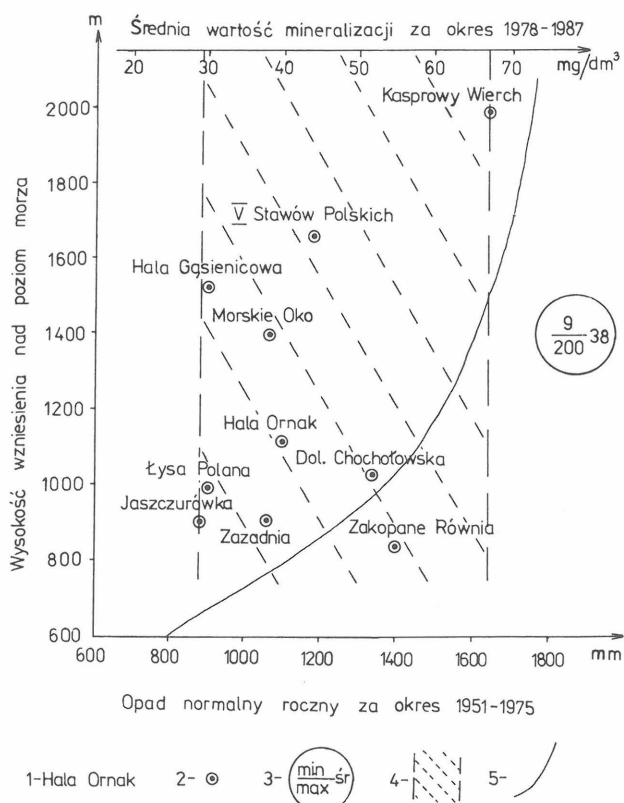
CHARAKTERYSTYKA WÓD OPADOWYCH

Analiza powierzchniowego rozkładu ogólnej mineralizacji opadów atmosferycznych, wartości odchyłek standardowych i współczynnika zmienności (tab. I) pozwoliła poczynić wiele spostrzeżeń.

Bez względu na położenie hipsometryczne punktu badawczego, minimalne wartości rozpuszczonych składników stałych są zawarte od 9 do 14 mg/dm³. Znacznie większą rozpiętością charakteryzują się maksima: od kilkudziesięciu mg/dm³ w Łysej Polanie, reprezentującej dolinę Białki, do 200 mg/dm³ w szczytowych partiach Tatr w okolicy Kasprowego Wierchu. Nie są to jednak najwyższe notowane wartości, gdyż po stronie słowackiej, w okolicy Łomnickiego Szczytu (2634 m npm), maksymalna mineralizacja wód opadowych lokalnie przekraczała 300 mg/dm³ (6).

Na terenie polskich Tatr najliczniej reprezentowane przedziały mineralizacji są zawarte w granicach 10–40 mg/dm³. Wyjątek pod tym względem stanowią okolice Kasprowego Wierchu i górne partie Doliny Chochołowskiej, gdzie suma rozpuszczonych składników stałych jest przesunięta w kierunku wartości wyższych (16 – ok. 60 mg/dm³). Poza tym nie stwierdzono korelacji między mineralizacją wód opadowych a wysokością nad poziom morza, warunkującą rozkład wskaźników opadu (ryc. 2). Zarysowuje się raczej tendencja podziału na dwa obszary:

– Tatry Zachodnie, charakteryzujące się nieco wyższą mineralizacją opadów, przy większym ich zróżnicowaniu,



Ryc. 2. Mineralizacja wód opadowych na tle krzywej zmienności gradientu opadowego północnych stoków Tatr

1 – nazwa punktu obserwacyjnego, 2 – średnia wartość mineralizacji w danym punkcie, 3 – ekstremalne i średnie wartości w obrębie Tatr, 4 – zakres strefy wartości średniej, 5 – krzywa zmienności gradientu opadowego

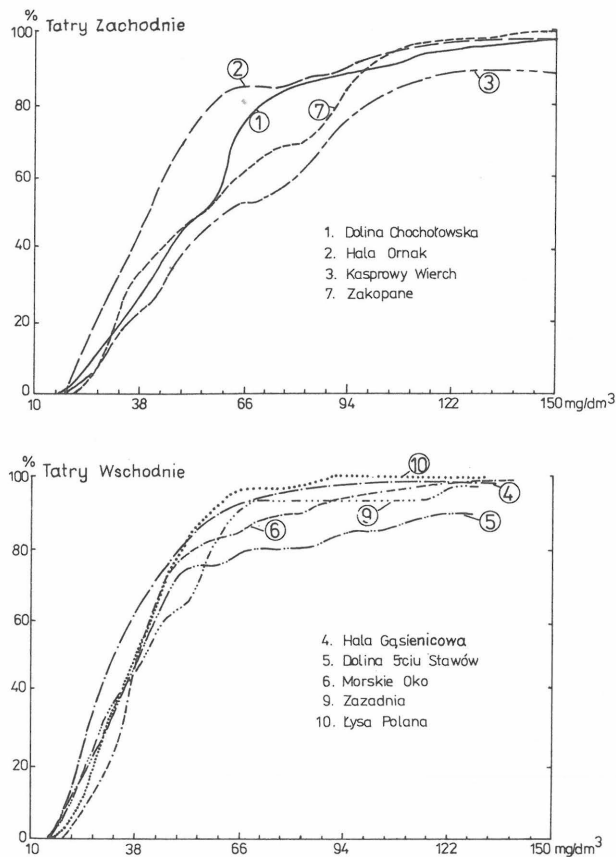
ROZKŁAD MINERALIZACJI WÓD OPADOWYCH W OBRĘBIE TATR POLSKICH (1978 – 1987)

Tabela I

Stacja opadowa	Wysokość npm m	Wartości charakterystyczne mg/dm ³			Odchylenie standardowe mg/dm ³	Współczynnik zmienności W %	Dominujące wartości koncentracji	
		min	max	śr.			liczebność przedziałów	najliczniej reprezentowane przedziały mg/dm ³
Dol. Chochołowska	1028	10	185	52	35,45	68,2	16	16 – 57
Hala Ornak	1110	11	146	40	29,37	73,4	14	10 – 39
Kasprowy Wierch	1991	10	200	67	44,83	66,9	19	16 – 57
Hala Gąsienicowa	1520	9	135	30	22,62	75,4	11	10 – 22
Dol. Pięciu Stawów	1668	10	129	44	37,32	84,8	10	22 – 39
Morskie Oko	1400	11	136	38	25,70	67,6	15	22 – 39
Zakopane Równia	844	14	185	55	31,75	57,7	15	16 – 28
Jaszczurówka	900	14	144	29	12,33	45,7	13	16 – 22
Zazadnia	907	9	127	38	28,82	75,8	11	10 – 22
Łysa Polana	988	9	77	30	15,10	50,3	9	28 – 33

– Tatry Wysokie, obejmujące część wschodnią masywu o wartościach niższych i bardziej ujednoczonych.

Potwierdzeniem tej prawidłowości jest przebieg krzywych kumulacyjnych (ryc. 3). Dla Tatr Wysokich przy mineralizacji do 50 mg/dm³ krzywe stanowią wiązkę równoległą, dopiero powyżej tej wartości przebieg ich różni się.



Ryc. 3. Krzywe kumulacyjne mineralizacji wód opadowych z terenu Tatr

Większą koncentrację rozpuszczonych składników stałych w wodach opadowych zachodniej części Tatr należy wiązać z dominującymi w tym regionie kierunkami wiatrów zachodnich i południowo-zachodnich.

Cechą charakterystyczną wód opadowych jest ich wielojonowość, wynikająca z faktu, że przy niskiej mineralizacji wód, nawet nieznaczny wzrost koncentracji któregoś ze składników powoduje przesunięcie do innej klasy hydrochemicznej. Uśredniony skład jonowy, wyliczony na podstawie 500 analiz, kwalifikuje wody do wodorowęglanowo-chlorkowo-wapniowo-magnezowych, przy mineralizacji 38 mg/dm³.

WODY POWIERZCHNIOWE ODWADNIAJĄCE PÓŁNOCNE STOKI TATR

Skład chemiczny wód powierzchniowych odwadniających północne stoki Tatr wykazuje duże zróżnicowanie, uzależnione nie tylko od składu petrograficznego utworów budujących daną zlewnię, ale w dużej mierze od charakteru i dynamiki krążących w masywie wód (tab. II, ryc. 4). To, że potoki należące do grupy oznaczonej symbolem A i D wykazują skrajnie różniące się wartości mineralizacji, jest wywołane litologicznym charakterem utworów. W pierwszym przypadku cieki odwadniają twory serii reglowej o dużym udziale skał węglanowych, w drugim – krystalinik Tatr Wysokich. W grupie B i C, poza litologią utworów, dużą rolę w kształtowaniu składu chemicznego wód odgrywa czynnik hydrogeologiczny. Np. potok Olczyński z powodu położenia zlewni w obrębie serii reglowej i niewielkiego udziału pokryw czwartorzędowych, teoretycznie powinien się znaleźć w grupie A. Ponieważ jednak początek potokowi daje wywierzysko Olczyńskie, którego obszar zasilania jest położony w górnych partiach zlewni Suchej Wody, mamy tu do czynienia z wyraźnym obniżeniem mineralizacji i twardości wód (16). Na ogół w grupie C znalazły się potoki, których zasilanie w dużym stopniu wiąże się z migracją wód podziemnych wzdłuż rozciągłości struktur geologicznych, powodującą niezgodności powierzchniowych i podziemnych działów wodnych (17).

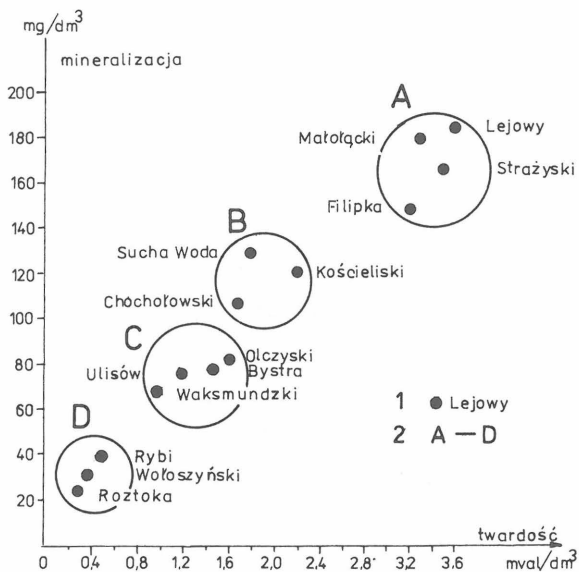
Tabela II
SKŁAD CHEMICZNY WÓD POWIERZCHNIOWYCH ODWADNIAJĄCYCH PÓŁNOCNE STOKI TATR
(WARTOŚCI ŚREDNIE Z OKRESU 1976–1985)

Zlewnie potoków	Symbole wydzielonych populacji	Uśredniony skład jonowy wód pobieranych u wylotu z Tatr w mg/dm ³						Mineralizacja mg/dm ³	Twardość mval/dm ³
		Aniony			Kationy				
		Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ + K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
Chochołowskiego	B	3,54	10,08	91,54	3,86	23,84	5,96	106	1,7
Lejowego	A	3,54	20,64	189,19	3,54	55,68	8,63	183	3,6
Kościeliskiego	B	3,54	32,16	97,65	4,32	31,45	7,78	120	2,2
Małołączkiego ¹	A	2,84	26,4	189,19	3,40	47,67	14,96	179	3,3
Strążyskiego ²	A	3,90	20,16	193,46	3,12	45,67	15,93	165	3,5
Bystrej	C	4,61	6,24	80,56	2,59	15,62	8,51	78	1,5
Olczyńskiego	C	3,90	10,08	85,44	3,15	19,03	8,02	81	1,6
Suchej Wody	B	4,96	19,68	106,8	4,40	31,25	7,17	129	1,8
Filipka ³	A	6,03	24,48	187,36	5,12	58,89	7,54	148	3,2
Ulisowego	C	3,54	6,24	71,4	2,25	18,23	4,98	75	1,2
Waksmundzkiego	C	3,54	7,2	51,26	2,28	15,62	2,80	67	1,0
Wołoszyńskiego	D	2,84	1,92	42,71	1,50	12,82	1,58	30	0,4
Roztoki	D	2,13	0,48	19,53	2,30	6,01	0,12	24	0,3
Rybiego	D	1,77	0,96	26,85	1,38	8,61	0,24	39	0,5
Łącznie dla wód wypływających z Tatr		3,54	13,44	101,92	3,10	27,84	6,69	102	1,8

¹ łącznie z Małym Żlebem, Za Bramką i Suchym Żlebem

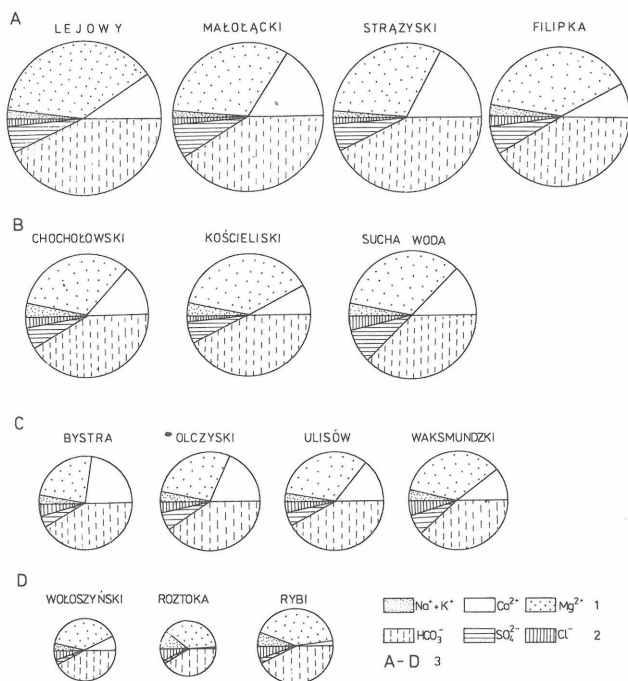
² łącznie z pt. Ku Dziurze, Spadowcem i Białym

³ łącznie z Przyporniakiem i Łężnym



Ryc. 4. Hydrochemiczne zróżnicowanie wód powierzchniowych odwadniających północne stoki Tatr

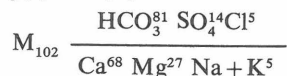
1 – nazwa zlewni, 2 – symbole wydzielonych populacji



Ryc. 5. Zależność składu jonowego i ogólnej mineralizacji wód powierzchniowych od sytuacji geologicznej i reżimu hydrogeologicznego zlewni

1–2 – procentowy udział jonów (powierzchnia koła wyraża ogólną mineralizację w relacji $1 \text{ cm}^2 = 18 \text{ mg/dm}^3$, 3 – symbole wydzielonych populacji: A – zlewnie położone w obrębie skał osadowych serii regłowej, B – zlewnie obejmujące skały krystaliczne i osadowe serii wierzchowej i regłowej o dużym wpływie pokrywy czwartorzędowej na kształtowanie reżimu hydrogeologicznego, C – obszary mieszane ze znacznym udziałem wód doprowadzonych drogą podziemną spoza orograficznych granic zlewni, D – zlewnie położone w obrębie skał krystalicznych z dużym udziałem pokryw morenowych

Analiza składu jonowego wód powierzchniowych zarówno w obrębie poszczególnych zlewni, jak i w podziale na cztery wyodrębniające się subpopulacje (ryc. 5), wskazuje że parametrami najbardziej różniącym zlewnie jest ogólna mineralizacja wód. Procentowy udział zawartości poszczególnych komponentów jest mniej czytelny. Wyrażną dominację wód trzyjonowych wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych potwierdza również uśredniony skład jonowy, reprezentujący wody powierzchniowe u wylotu z Tatr:



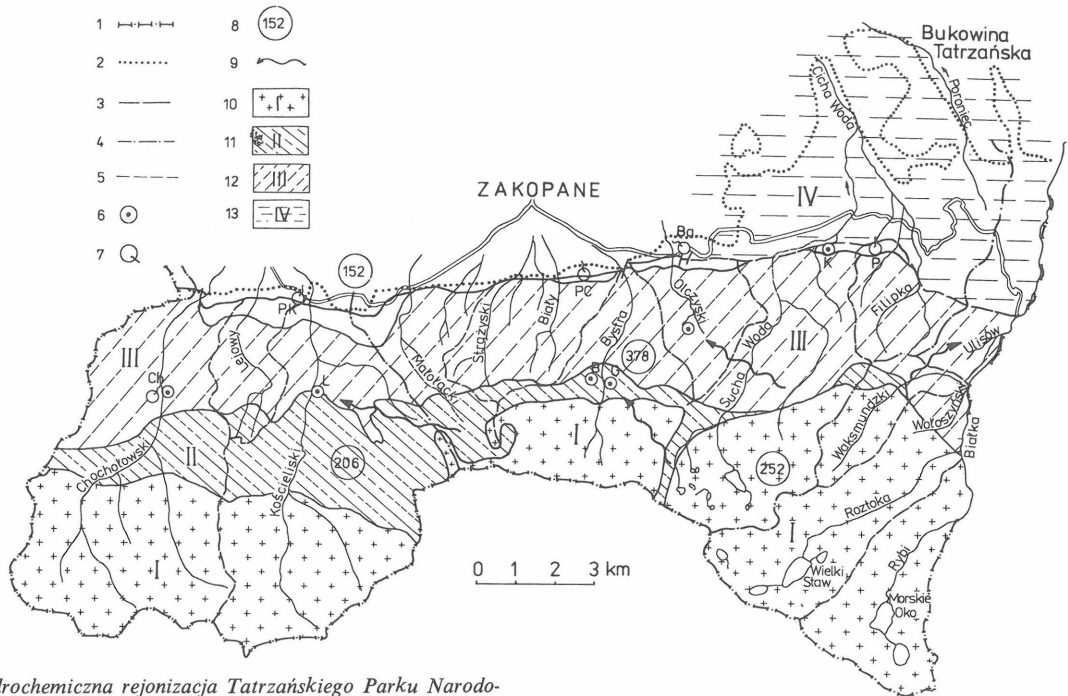
Porównując średnią mineralizację tych wód (102 mg/dm^3) z wartościami skrajnymi, reprezentującymi Roztokę i potok Lejowy (tab. II), odchylenia zarówno na minus, jak i na plus oscylują wokół 80 mg/dm^3 .

WODY PODZIEMNE MASYWU TATRZAŃSKIEGO

Mimo bezpośredniej więzi hydraulicznej wód powierzchniowych z wodami podziemnymi krążącymi w masywie, przy znajomości regionalnych warunków hydrogeologicznych, istnieje możliwość wyselekcjonowania punktów poboru próbek wody w taki sposób, aby reprezentowały one określone kompleksy wodonośne lub typy litologiczne skał. Przy tym założeniu, w pierwszym etapie opracowania analizie poddano wody szczelinowe i szczelinowo-krasowe, krążące w skałach podłoża, eliminując w ten sposób wpływ pokrycia terenu utworami czwartorzędowymi. Powierzchniowy rozkład wyników badań wskaźnikowych (twardości, odczynu, oporu i temperatury wody) oraz makroskładu

Tabela III
ŚREDNIA KONCENTRACJA I PROCENTOWY UDZIAŁ WYBRANYCH ELEMENTÓW HYDROCHEMICZNYCH W WODACH PODZIEMNYCH MASYWU TATRZAŃSKIEGO

Wybrane elementy hydrochemiczne	Jednostki	Rejony hydrochemiczne		
		I. Skały krystaliczne oraz kwarcyty i piaskowce dolnego triasu	II. Skały osadowe serii wierzchowej	III. Skały osadowe serii regłowej i eocen węglanowy
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	mg/dm^3 % mval	1,95 10,1	3,25 5,7	4,23 4,7
Ca^{++}	mg/dm^3 % mval	10,6 76,8	27,46 71,4	44,27 67,1
Mg^{++}	mg/dm^3 % mval	1,09 13,1	5,31 22,9	11,30 28,2
Cl^-	mg/dm^3 % mval	3,14 13,0	3,86 5,7	5,43 4,7
SO_4^{--}	mg/dm^3 % mval	4,93 14,5	12,2 13,0	22,23 13,8
HCO_3^-	mg/dm^3 % mval	30,24 72,5	95,11 81,3	163,76 81,5
Ogólna mineral.	mg/dm^3	42,0	115	173
Wskaźnik hydrochemiczny $\frac{r\text{Ca}^{++}}{r\text{Mg}^{++}}$		5,5	3,1	2,3



Ryc. 6. Hydrochemiczna rejonizacja Tatrzańskiego Parku Narodowego

1 – granica państwa, 2 – północna granica Tatrzańskiego Parku Narodowego, 3 – kontakt utworów tatrzańskich z fliszem Podhala, 4 – powierzchniowy dział wodny między zlewniami Czarnego i Białego Dunajca oraz Białki, 5 – lokalne działy wodne niższego rzędu, 6 – wywierzyska (Ch – Chochołowskie, L – Lodowe, B – Bystrej Górne i Dolne, G – Goryczkowe, O – Olczyskie, K – Koziarczyska), 7 – źródła (Ch – Chochołowskie, Pk – Pod Kopką, C – Pod Capkami, Ba – Baptystów, P – Przyporniak), 8 – liczba analiz reprezentujących dany rejon hydrochemiczny, 9 – kierunki migracji wód krasowych stwierdzone eksperymentalnie, 10 – wody płytkiego krążenia, bardzo miękkie, ultrasłodkie, o twardości poniżej 1 mval i mineralizacji do 100 mg/dm³ z dominacją w granicach 40–50 mg/dm³, słabo kwaśne, o niskich temperaturach oscylujących głównie wokół 4°C, 11 – wody płytkiego i głębokiego krążenia, miękkie, o twardości do 2 mval i mineralizacji poniżej 170 mg/dm³ z dominacją w granicach 80–140 mg/dm³, odczyn wód słabo kwaśny i obojętny, temperatura 5–6°C, 12 – obszar o dużym udziale wód głębokiego krążenia, wody średnio twarde oscylujące wokół 3 mval, o zróżnicowanej mineralizacji przekraczającej lokalnie 200 mg/dm³, odczyn wód słabo kwaśnych, obojętny i słabo zasadowy (poza wywierzyskami), najczęściej notowane temperatury 6–7°C, 13 – wody płytkiego krążenia w obrębie pokryw czwartorzędowych na fliszu Podhala, bardzo miękkie i miękkie, o zróżnicowanym odczynie i mineralizacji z dominantą 200–250 mg/dm³ w wodach szczelinowych fliszu i 50–100 mg/dm³ w osadach czwartorzędowych, temperatura głównie 6–8°C

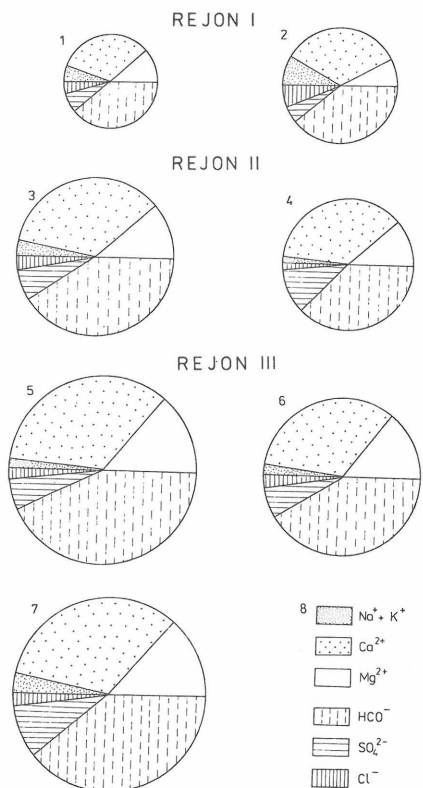
i mineralizacji wód dały podstawę do podziału terenu na trzy obszary (tab. III), odpowiadające rejonom hydrochemicznym (ryc. 6):

I – obejmuje skały krystaliczne oraz kwarcyty i piaskowce kwarcytowe dolnego triasu,

II – reprezentuje skały osadowe serii wierchowej,

III – w jego skład weszły wszystkie skały serii regłowej oraz zlepińce i wapień dolomityczne i numulitowe eocenu.

Największą indywidualnością charakteryzują się wody, krążące w skałach krystalicznych i piaskowcach dolnego triasu. Należą one do wód ultrasłodkich, których czas kontaktu ze skałą jest krótki, a skład petrograficzny utworów mało podatny na ługowanie. Mimo zarysowujących się różnic, bardziej pokrewne sobie pod względem składu

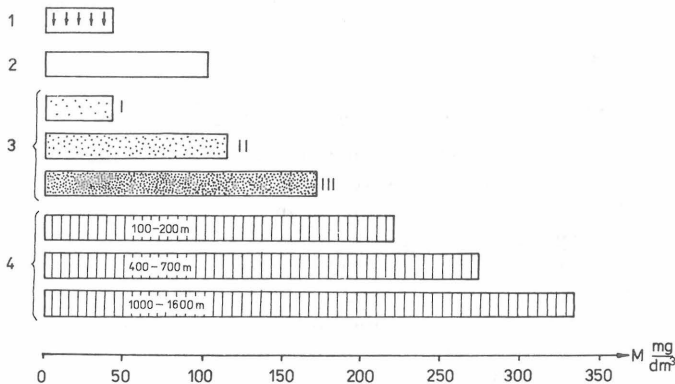


Ryc. 7. Wpływ pokrycia terenu utworami czwartorzędowymi na chemizm wód podziemnych w obrębie wydzielonych rejonów hydrochemicznych

1 – skały krystaliczne, 2 – czwartorzęd na krystalicznym podłożu, 3 – skały osadowe serii wierchowej, 4 – czwartorzęd na skałach osadowych serii wierchowej, 5 – osadowa seria regłowa, 6 – czwartorzęd na utworach serii regłowej, 7 – eocen węglanowy, 8 – procentowy udział jonów (powierzchnia koła wyraża ogólną mineralizację w relacji 1 cm² = 23 mg/dm³)

chemicznego są wody szczelinowo-krasowe, reprezentujące serie osadowe Tatr, ale i tu zaznaczają się pewne zmiany w zakresie koncentracji poszczególnych komponentów, wód, jak i w wartościach wsłownika $\frac{rCa^{++}}{rMg^{++}}$ (tab. III).

Konsekwentny wzrost zawartości poszczególnych składników w kierunku północnym najwyraźniej zaznacza się w wodorowęglanach, wapniu oraz ogólnej mineralizacji. Uśrednione jej wartości wzrastają od 42 mg/dm³ dla wód szczelinowych krystaliniku (rejon I), poprzez 115 mg/dm³ w obrębie osadowych serii wierzchowych (rejon II), do 173 mg/dm³ dla utworów serii regłowej i eocenu węglanowego (rejon III).



Ryc. 8. Porównanie średniej mineralizacji wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych z terenu Tatr i południowego skrzydła niecki artezyjskiej Podhala

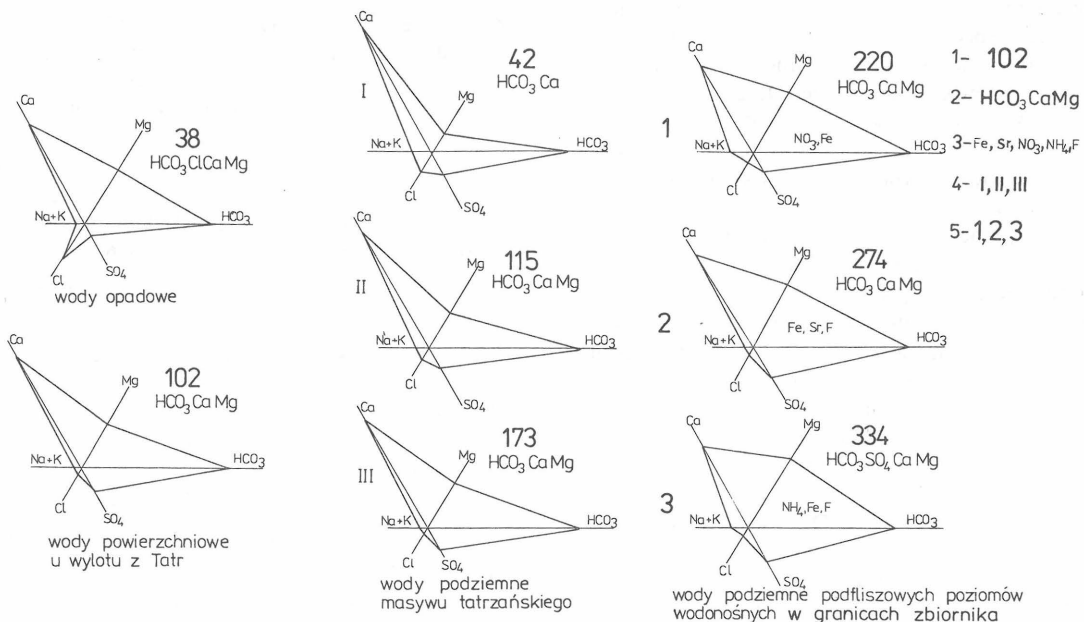
1 – wody opadowe, 2 – wody powierzchniowe odwadniające północne stoki Tatr, 3 – wody podziemne masywu tatrzańskiego (I–III numery rejonów hydrochemicznych), 4 – wody podziemne podfliszowych poziomów wodonośnych południowego skrzydła niecki artezyjskiej Podhala, 400–700 – przedziały głębokości ujęcia

Wpływ pokrycia terenu utworami czwartorzędowymi na chemizm wód podziemnych masywu tatrzańskiego zaznacza się w dwojaki sposób. W skałach krystalicznych manifestuje się wyraźnym wzrostem mineralizacji, podwyższoną w stosunku do skał podłoża zawartością krzemionki oraz niewielkim wzrostem procentowego udziału jonów sodu i potasu, uwalnianych w wyniku procesów wietrzenia. Podobne prawidłowości w słowackiej części Karpat Wschodnich stwierdzili L. Melioris i I. Kraus (22).

W niższych partiach masywu, gdzie występują wody szczelinowo-krasowe, przy zachowaniu ogólnej tendencji wzrostu mineralizacji wód serii regłowej w stosunku do wierzchowej, utwory czwartorzędowe wpływają na obniżenie zawartości niektórych składników wód (ryc. 7). Tu czas kontaktu wód opadowych ze środowiskiem skalnym jest nieporównywalnie krótszy od zawiłych dróg krążenia wód szczelinowo-krasowych. Podziemne przepływy krasowe, przy częstych i obfitych opadach atmosferycznych, sprzyjają procesowi ługowania. K. Oleksynowa i P. Komornicki (23) obliczyli, że „rocznie z powierzchni Tatr osadowych usuwana jest w drodze rozpuszczania warstwa skalna o grubości od 0,1 do 0,16 mm”. Wartość ta jest niewątpliwie zaniżona, dotyczy bowiem odpływu jonowego za pośrednictwem wód powierzchniowych, nie uwzględnia więc faktu, że Tatry stanowią również obszar zasilania dla wód artezyjskich niecki Podhala (11).

Wody głębokiego krążenia na przedpolu Tatr

Chemizm wód głębokiego krążenia, migrujących zgodnie z sekwencją zapadania serii tatrzańskich i eocenu numulitowego pod utwory fliszu Podhala, rozpoznano dzięki opróbowaniu hydrochemicznemu 8 otworów wiertniczych usytuowanych w obrębie południowego skrzydła niecki artezyjskiej Podhala. Ogólnie można stwierdzić, że do ok. 2000 m występują tu wody słodkie, których temperatura jest funkcją głębokości ujęcia (13). Nie wnikając w szczegółową charakterystykę hydrochemiczną tych wód,



Ryc. 9. Kształtowanie się składu jonowego wód w zależności od charakteru opadów atmosferycznych oraz czasu ich kontaktu ze środowiskiem skalnym. Uśredniony skład jonowy przedstawiony metodą Tackla, 1 cm = 40%, mval

1 – średnia mineralizacja wód w mg/dm³, 2 – hydrochemiczny typ wody, 3 – pierwiastki występujące w dziesiętnych częściach procenta, 4 – numery rejonów hydrochemicznych, 5 – przedziały głębokości ujęcia w m ppt: 1 – 100–200, 2 – 400–700, 3 – 1000–1600

która była tematem wielu opracowań (4, 5, 8, 9, 25), określono wartości średnie głównych komponentów oraz mineralizację wód w podziale na trzy strefy głębokościowe: 100–200 m ppt, 400–700 m ppt, 1000–1600 m ppt. Łącznie dysponowano wynikami 131 analiz, których wykonawcą w przeważającej większości było laboratorium „Balneo-projektu”.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Dysponując czterema zbiorami danych w zakresie chemizmu wód opadowych, powierzchniowych oraz podziemnych, krążących w masywie tatrzańskim oraz w obrębie południowego skrzydła niecki Podhala, dokonano porównania średniej mineralizacji wód i składu jonowego w obrębie wymienionych populacji. Dla wód podziemnych uwzględniono jeszcze dodatkowe wydzielenia odpowiadające hydrochemicznej rejonizacji Tatr (ryc. 6) oraz przedziałom głębokości ujmowanych poziomów wodonośnych. Porównując udział średniej mineralizacji wód opadowych w stosunku do wód powierzchniowych i podziemnych (ryc. 8) można zauważyć, że wody szczelinowe krystaliniku są bardzo nisko zmineralizowane, a ich skład jonowy jest w 90% uzależniony od charakteru wód opadowych. W kształtowaniu chemizmu wód powierzchniowych, poza opadami, dużą rolę odgrywają pokrywy czwartorzędowe, ulegające łatwemu wymywaniu substancji mineralnych. Jeśli idzie o wody podziemne, to im dłużej kontaktują się one ze środowiskiem skalnym, tym wpływ mineralizacji opadów jest mniejszy – w podfliszowych poziomach wodonośnych stanowi zaledwie kilkanaście procent.

Zauważalne zmiany zachodzą nie tylko w mineralizacji, ale i w składzie jonowym wód (ryc. 9). Cały cykl przemian jest zapoczątkowany przez czterojonowe wody opadowe $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca-Mg}$, poprzez wody trzy- i dwujonowe $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ i $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, do wód czterojonowych o składzie $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$, występujących na przedpolu Tatr w strefie głębokości 1000–1600 m ppt.

Chemizm wód opadowych jest przedmiotem zainteresowania badaczy różnych dziedzin wiedzy: chemików, biologów, gleboznawców, klimatologów, hydrogeologów oraz licznej rzeszy specjalistów z zakresu ochrony środowiska. Wielu autorów w swoich pracach koncentruje uwagę wyłącznie na pokrywie śnieżnej (1, 2, 3). Inni, podobnie jak autorka, zajmują się opadami deszczu i śniegu łącznie (20, 21, 24). Zróżnicowana jest także metodyka opróbowania, nic więc dziwnego, że wyniki oznaczeń nie zawsze są porównywalne.

Dalsze badania nad składem chemicznym wód opadowych powinny iść w trzech kierunkach:

- sposobu pobierania próbek,
- wypracowania i ujednoczenia metodyki oznaczeń,
- rozwoju obserwacji stacjonarnych, uwzględniających badania wskaźnikowe na próbkach z każdego zjawiska opadowego (np. odczyn, oporność itp) oraz rozszerzenia oznaczeń na zawartość mikroskładników.

LITERATURA

1. Babiaková G., Bodis D. – *Vodohosp. Cas.*, 1985 nr 4 s. 468–485.
2. Babiaková G., Bodis D. – Accumulation and evolution of sulphate and nitrate levels in snow. Modelling Snowmelt-Induced Processes (Proceeding od the Budapest Symposium, July 1986), IAHS Publ., 1986 nr 155.
3. Babiaková G. et al. – *Vodnohosp. Cas.*, 1987 nr 35 s. 138–151.
4. Chowaniec J., Poprawa D., Sokołowski S. – *Kwart. Geol.*, 1975 nr 4 s. 949–950.
5. Chowaniec J., Poprawa D., Sokołowski S. – *Ibidem*, s. 950–951.
6. Gazda S. et al. – *Geolog. Pr.*, 1979 nr 73 s. 187–202.
7. Humnicki W. – Chemizm wód powierzchniowych w słowackiej części zlewni Białki Tatrzańskiej. Symp. „Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce”. Wyd. AGH Kraków, 1986 s. 323–340.
8. Małecka D. – *Izd. Mosk. Uniw.*, 1979 s. 147–150.
9. Małecka D. – *Prz. Geol.*, 1980 nr 1 s. 37–44.
10. Małecka D. – Problemy hydrogeologii i ochrony wód tatrzańskich. Symp. „Ochrona Tatr w Polsce Ludowej”. Wyd. Pol. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi, 1981 s. 309–346.
11. Małecka D. – *Parki Nar. i Rez. Przynr.*, 1984 nr 1 s. 128–147.
12. Małecka D. – *Gacek*, 1985 z. 2 s. 14–30.
13. Małecka D. – Dynamika zmian wydajności wód tatrzańskich ujmowanych na Antałówce w cyklu rocznym i wieloletnim. Symp. „Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych”, Kraków. Wyd. IG CUG 1985 s. 96–115.
14. Małecka D. – Hydrochemiczna charakterystyka wód w profilu pionowym Morskiego Oka. Symp. „Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce”, Wyd. AGH, 1986 s. 361–377.
15. Małecka D. – Skład chemiczny wód polskich parków narodowych – Tatrzański Park Narodowy. *Acta Hydrobiol.*, 1988 (w druku).
16. Małecka D., Humnicki W. – *Prz. Geol.*, 1988 nr 2 s. 78–84.
17. Małecka D., Kuberski D., Zaczekiewicz W. – Hydrogeologiczne problemy wywierzyska Gorczyckiego w świetle badań stacjonarnych. Symp. „Aktualne problemy hydrogeologii”. Wyd. AGH, 1985 s. 575–588.
18. Małeki J. – Ocena zagrożenia wód tatrzańskich pod wpływem czynników antropogenicznych. Symp. „Problemy zagrożenia i ochrony wód podziemnych”. Wyd. Pol. Zrzesz. Inż. i Tech. Sanit. Częstochowa, 1983 s. 18–25.
19. Manecki A. – Sprawozdanie z badań mineralogiczno-chemicznych stanu zanieczyszczenia powietrza w rejonie Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Biul. Inst. Kształt. Środ. Kraków*, 1976.
20. Melioris L. – *Geologica Carpathica*, Bratislava, 1972 nr 23 s. 3–14.
21. Melioris L. – *Mineralia slovacae*, 1977 nr 9 s. 367–373.
22. Melioris L., Kraus I. – *Acta Geol. et Geogr. UK, Geologica*, 1984 nr 40 s. 7–30.
23. Oleksynowa K., Komornicki P. – Limnological investigations in the Tatra Mountains and Dunajec River Basin, 1965 nr 11 s. 91–111.
24. Paszkiewicz W.I. – Rola atmosferycznych osadków w formowaniu wód jugo-wostoka Białorusii (w druku).
25. Sławiński A. – Długotrwałe badania hydrogeologiczne głębokiego odwiertu w Zakopanem. *Probl. Uzdrowisk.*, 1967 nr 4 s. 199–210.
26. Wilimborek K. – *Gacek*, 1985 nr 2 s. 59–68.