

KAZIMIERZ PASTERNAK

**Skład chemiczny wody rzek i potoków
o zlewniach zbudowanych z różnych skał i gleb**

**The chemical composition of waters of rivers and streams
from drainage areas built of various rocks and soils**

Wpłynęło 10 marca 1967 r.

Abstract — Investigations were carried out on the chemical composition of waters of rivers and streams whose drainage area has a substratum built of the various more important crystalline and sedimentary rocks occurring in Poland. From each kind of substratum several streams of various mean annual flow were analysed. The data obtained determine with regard to quantity the influence of the particular investigated rocks and soils formed on them on the chemical properties of river waters. They also show that the content of mineral compounds in the waters of rivers and streams depends not only on the chemical but also on the physical properties of the rocks and soils of their drainage areas.

Wody rzeczne składają się głównie z opadowych wód spływających po powierzchni zlewni oraz wód przesiąkających jej podłoże, czyli wód gruntowych. W konsekwencji obu kontaktów wody z podłożem chemizm czystych wód rzek i potoków danego obszaru, mimo wpływu innych czynników, zależy w głównej mierze od jakości skał i gleb, jakie na nim występują. Do tych innych czynników należą przede wszystkim rzeźba terenu i warunki klimatyczne, które decydują o ustroju hydrologicznym cieków.

Wpływ poszczególnych gatunków skał i gleb na chemizm wody w rzekach nie został dotychczas jeszcze od strony ilościowej dokładnie poznany (Stangenberg 1958). Uzyskanie takich danych pozwoliłoby nie tylko na dokładniejsze rozpatrywanie stosunków chemicznych (także zanieczyszczeniowych) w wodach rzek o zróżnicowanej budowie geologicznej zlewni, lecz również, jak wykazują badania Sioliego (1963), na lepsze określenie pewnych zjawisk hydrogeochemicznych i biologicznych. Z uwagi na to, za cel niniejszej pracy przyjęto przebadanie składu chemicznego

wód rzek i potoków o podłożu zlewni zbudowanym z ważniejszych skał, jakie występują na terenie południowej Polski.

Badaniami objęto wody rzek i potoków, których podłoże zlewni zbudowane jest ze skał krystalicznych (granitów, skał metamorficznych) oraz różnego rodzaju skał osadowych. Ze skał osadowych uwzględniono piaski, lessy, rozmaite odmiany piaskowcowo-lupkowych skał karpaccich (godulskich i istebniańskich, magurskich, krośnieńskich, inoceramowych) oraz różne skały wapienne. Z zasady w obrębie zlewni badanych cieków występował jednakowy rodzaj skał. Dla porównania wzięto również rzeki, których zlewnie, obok rozpatrywanych skał, zbudowane były także z innych utworów. Poza tym, jeżeli to było możliwe, z danego rodzaju podłoża wytypowano po dwa lub kilka cieków o różnym średnim rocznym przepływie.

Prace badawcze zostały wykonane w latach 1963—1965. W celu uchwycenia sezonowej zmienności chemizmu wód, w większości cieków analizowano wodę podczas ich wysokich stanów wód na wiosnę, niskich stanów letnich oraz w jesieni. Wodę pobierano w takich okresach, kiedy nie było opadów i rzeki nie unosiły mineralnej zawiesiny. W próbach wody zostały oznaczone jedynie ważniejsze jony wymywane ze zlewni. Nie określono natomiast zawartości biogenicznych związków azotu i fosforu oraz innych właściwości wody, które na skutek życiowych funkcji flory wodnej ulegają zbyt dużym zmianom. Analizy wody wykonano według metod podanych przez Justa i Hermanowicza (1955) oraz Standard Methods (1955). Zasób poszczególnych składników w wodzie wyceniano według zakresów wartości uznanych przez Stangenberga (1958).

Charakterystyka skał i gleb zlewni

Właściwości skał i gleb zlewni badanych rzek i potoków z konieczności zostaną scharakteryzowane dość ogólnie, ponieważ w literaturze brak jest dostatecznie szczegółowych wyników analitycznych. Szczególnie brakuje danych odnośnie do składu chemicznego najbardziej zmiennych litologicznie, spośród rozpatrywanych skał, warstw magurskich i podmagurskich.

Na podłożu zbudowanym ze skał krystalicznych analizowano wodę tatrzańskich potoków — Roztoki, Rybiego Potoku (granity) oraz Starorobociańskiego (gnejsy i migmatyty). Tatrzańskie granitoidy w odróżnieniu od innych mają mało skalenia potasowego i minerałów ciemnych, a dużą ilość plagioklazów. Całkowity ich skład chemiczny podano w tabeli I. Skały takie są prawie nieporowate (0,04—0,86%) i nieprzepuszczalne. Górne obszary zlewni wszystkich tych potoków pokrywają kwaśne gleby skaliste i rumoszowo-próchniczne strefy nadleśnej. W dolnych odcinkach występują górnoreglowe płytkie kwaśne gleby brunatne gliniasto-rumoszowe.

Na piaszczystym podłożu zlewni przebadano wody rzek Złotej, Rudni i Tanwi oraz potoków Chyńskiego i Myszkowskiego. Piaszczystą skałę zlewni tych cieków tworzą przeważnie różnoziarniste piaski luźne i słabo gliniaste pochodzenia fluwioglacjalnego lub staroaluwialnego. Piaski zwałowe stanowią stosunkowo mały odsetek obszaru. Stosunkowo większe powierzchnie zajmują one wraz ze spiaszczonymi innymi utworami zwałowymi jedynie w zlewni rzeki Rudni. W zlewni Chyńskiego Potoku dominują luźne piaski rzecznych tarasów akumulacyjnych i wytworzone z nich piaszkowe gleby bielcowe i torfowe. Na terenie zlewni Tanwi oprócz piasków pewną powierzchnię zajmują bezwęglanowe utwory pyłowe wodnego pochodzenia, a u źródeł kredowe gezy oraz miocenijskie wapienie. Skład chemiczny podobnych piasków przedstawiono w tabeli I. Ogólnie biorąc piaski luźne, a także bogatsze nieco piaski słabo gliniaste charakteryzuje bardzo duża ilość krzemionki, a mała pozostałych składników. Zasobniejsze trochę we wszystkie oprócz krzemionki związki mineralne są gliniaste piaski zwałowe. Na obszarze zlewni tych rzek i potoków występują przeważnie kwaśne gleby bielcowe (P a s t e r n a k 1964).

Z terenów lessowych analizowano wodę rzeki Rady oraz potoku Łęg Rokietnicki. Lessy i wytworzone z nich gleby brunatne i czarnoziemy ze względu na dużą zawartość cząstek pyłowych odznaczają się dużą porowatością i przesiąkliwością. Cechą ich chemizmu (tabela I) jest spora zawartość krzemionki, obecność mniejszej lub większej ilości węglanów oraz stosunkowo duży zasób alkaliów, zwłaszcza potasu. Węglany występują zwykle w postaci kalcytowego pelitu lub wtórnie wytraconych w głębszych warstwach różnych konkrecji. Powierzchniowe warstwy gleb lessowych są w większości już w znacznym stopniu odwapnione.

Piaskowcowo-lupkowe skały godulskie i istebniańskie budują zlewnię górskiego odcinka rzeki Wisły oraz potoku Wielka Puszcza. Warstwy godulskie stanowią kompleks drobno lub średnioziarnistych piaskowców glaukonitowych o spoiwie krzemienistym lub ilastym z rzadkimi wtrąceniami łupków. Warstwy istebniańskie w dolnym poziomie to różnoziarniste często zlepieńcowate piaskowce z podrzędnymi wkładkami łupków, o skąpym spoiwie ilastym. W górnym poziomie podobne piaskowce przeławicowane są większą ilością ilastych łupków. Warstwy istebniańskie wietrzeją łatwo rozsypując się na żwir i piasek. Dla przykładu skład chemiczny piaskowca godulskiego podano w tabeli I. Ogólnie biorąc wszystkie te skały zawierają w spoiwie bardzo małą ilość magnezu i wapnia. Poza krzemionką zasobniejsze są tylko w minerały zawierające sód i potas (B u r t a n ó w n a i inni 1937). Pokrywę glebową zlewni tych cieków tworzą na wzniesieniach kwaśne gleby szkieletowe, a w dolinach gleby gliniaste.

Fliszowe warstwy magurskie i podmagurskie stanowią podłoże zlewni czterech badanych rzek — Górnej Raby, Górnej Skawy, Łososiny i Ka-

Tabela I. Skład chemiczny skał w % wagowych

+ dolne, ++ górne, +++ średni wapieni

1) Gruboławicowe piaskowce inoceramowe zawierają średnio 20,7% CaCO₃ (Skoczylas-Ciszewska, Kamiński 1959)

Table I. Chemical composition of rocks in per cent by weight

+ lower, ++ upper, +++ among limestones

1) Thick layers of inoceramian sandstones contain 20,7 CaCO₃ on average

Skały Rocks	Miejsce pobrania skały Rock sampling points	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Strata prażenia Loss on ignition	Analizy według: Analyses according to:
Granitoidy Granite	Tatry	65,55 74,11	14,14 13,11	1,20 4,77	2,14 4,05	0,45 1,23	0,51 3,79	3,61 6,63	-	-	Bolewski, Turman- Morska (1963)
Piasek luźny loose sand	Hobot	92,82	3,04	1,32	0,35	0,27	0,21	0,07	0,06	1,91	Pasternak
Piasek gliniasty loamy sand	Bochnia	72,02	11,90	2,21	1,17	0,32	3,00	2,70	-	5,90	Praca zbiorowa (1961)
Less	Mogila	73,16	7,66	3,47	5,36	1,36	2,30	0,60	-	-	Tokarski,
Loess	Kraków	74,42	9,19	3,33	1,89	1,11	3,41	1,15	-	5,57	Oleksynowa (1951)
Piaskowiec godulski Godula sandstone	Ustroń-Polana	73,58	7,26	2,92	4,90	1,05	2,32	1,69	-	6,00	Tokarski (1961)
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	Ustroń-Polana	89,85	4,08	1,76	1,00	0,33	-	-	0,34	2,28	Lazar (1952)
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	Besko	47,75	12,75	7,45	10,40	1,66	2,46	0,58	-	16,87	Pasternak drobna frakcja fine fraction
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	Rymanów (okolice)	42,71	10,04	6,84	12,50	4,37	3,19	2,67	-	-	Obuchowicz (1958) Średnie - on the average
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	Folusz	73,11	9,28	3,60	0,70	1,10	2,33	-	-	-	Fygor i Różycki (1948)
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	Prakowce	33,92	4,97	2,03	31,44	0,71	-	-	0,98	26,28	Kozłowski (1959)
Wapienie piaskowce Krosno Krosno layers	k/Przemysla	20,26	6,22	2,04	46,98	0,88	-	-	2,00	21,89	
Wapienie i łupki ciężkie shales	Góra Jasieniowa	24,88	6,72	4,73	33,96	1,43	-	-	1,00	27,47	Lazar (1950)
Wapienie i łupki ciężkie shales	Goleszów	46,25	11,63	3,62	17,38	-	-	-	-	18,70	Średnie - on the average
Wapienie i łupki ciężkie shales	Goleszów	40,48	11,44	4,88	22,70	1,72	-	-	0,32	19,73	Średnie - on the average
Wapienie i łupki ciężkie shales	Goleszów	7,08	1,40	1,40	51,48	0,61	-	-	-	38,80	Praca zbiorowa (1961)
Wapienie i łupki ciężkie shales	Skoczów	10,75	-	1,20	49,56	1,31	-	-	-	36,92	Gawel (1948)
Wapienie i łupki ciężkie shales	Pychowice	1,28	0,53	0,24	53,81	0,57	-	-	-	43,00	Średnie - on the average
Wapienie i łupki ciężkie shales	Zabierzów	0,79	0,85	0,85	54,76	0,20	-	-	-	43,52	Kamiński (1949)
Wapienie i łupki ciężkie shales	Krzyszowice	1,31	0,66	0,66	54,38	0,24	-	-	-	43,81	Średnie - on the average
Wapienie i łupki ciężkie shales	Siomniki	48,31	4,92	1,20	24,64	0,75	-	-	0,0	20,90	Kozłowski (1959)
Wapienie i łupki ciężkie shales	Kamietczyce	31,65	2,58	0,53	36,18	0,38	-	-	0,0	28,73	

mienicy Nawojowskiej. Warstwy te stanowią zespół twardych, grubo-ławicowych piaskowców z domieszką skaleni i glaukonitu porozdzielanych wkładkami ilastych lub marglistych łupków. Piaskowce mają przeważnie ilaste, ilasto-wapienne lub krzemionkowo-ilaste spoiwo i często strzałki kalcytu. Margliste łupki oraz bardziej wapniste piaskowce z miką występują przede wszystkim w warstwach podmagurskich (Książkiewicz 1948). Jak wynika z badań Adamczyka i Tokaja (1957) przeprowadzonych na terenie zlewni rzeki Raby, kalcyt z powierzchniowych warstw piaskowca magurskiego został już do głębokości około 2 m w większości wymyty. W głębszych poziomach kalcyt znajdował się jeszcze w spoiwie piaskowca w ilościach do kilkunastu procent (objętościowo). Warstwy podmagurskie nieco większe powierzchnie zajmują jedynie w zlewni rzeki Kamienicy. W zlewni badanego odcinka rzeki Raby występują głównie bielcowe lekkie gleby gliniaste i pyłowe. Na obszarze zlewni rzeki Skawy poza glebami gliniastymi i pyłowymi występują znaczne powierzchnie gleb ilastych oraz gleby skaliste. Zlewnię rzeki Łososiny pokrywają gleby gliniaste i szkieletowe, a w zlewni Kamienicy oprócz wymienionych gleb występują jeszcze gleby pyłowe.

Z terenów zbudowanych z warstw krośnieńskich analizowano wodę rzek Kalniczki, Sanoczka oraz Górnego Sanu, którego niektóre lewobrzeżne dopływy mają górne odcinki zlewni zbudowane z innych piaskowcowo-łupkowych skał o mniejszej zawartości wapnia. Warstwy krośnieńskie w spągu wykształcone są przeważnie w postaci piaskowców o spoiwie wapienisto-ilastym z dużą domieszką muskowitu pochodzącego w części z przeobrażenia biotyту, rzadko przeławicowanych łupkami (San). Ku górze piaskowce redukują się na korzyść marglistych łupków. Łupkowe skały zajmują znaczne powierzchnie w zlewni Sanoczka. Łupki według Dziewańskiego i Starkela (1962) zawierają średnio około 20% substancji ilastych (głównie hydromiki) i wietrzeją dość łatwo. Dla orientacji skład chemiczny łupkowych warstw takich skał podano w tabeli I. Towarzyszące warstwom krośnieńskim łupki menilitowe i warstwy podmenilitowe zajmują w zlewniach badanych rzek minimalne powierzchnie i należą do utworów o bardzo małej zawartości wapnia (tabela I). W dorzeczu Sanu dominują średnie lub lekkie gleby gliniaste, a w zlewni rzek Kalniczki i Sanoczka gliniaste i ilaste.

Warstwy inoceramowe (serii inoceramowej) stanowiły podłoże zlewni dwóch cieków Lubenianki i Cisowej. Warstwy te składają się z naprzemianległych łupków i piaskowców. Piaskowce występują w cienkich ławicach, mają drobne ziarno, często żyły kalcytowe i wapienne spoiwo. Łupki są najczęściej margliste lub nawet przechodzą w margle bakulitowe lub fukoidowe (Świdziński 1947). Te margliste łupki i wapienne piaskowce zawierają hydromiki i często dużą ilość wapnia (tabela I). Zlewnię rzeki Lubenianki w całości pokrywają gleby pyłowe, a potoku Cisowa

gleby ilaste i pyłowe. Wymyty węglan wapnia z górnych warstw gleby wytrąca się niekiedy głębiej w postaci drobnych kongrecji.

Jakość i ilość spoiwa piaskowcowo-łupkowych skał decyduje nie tylko o ich własnościach chemicznych, lecz także o ważniejszych cechach fizycznych, jak porowatość, przepuszczalność oraz odporność na wietrzenie. Spoiwo bowiem może wypełniać pory między ziarnami całkowicie lub tylko częściowo, a przez to może istnieć w skale prawie niemożliwość nasiąkania i ruch roztworów wodnych. Ogólnie biorąc wszystkie omówione powyżej karpackie skały fliszowe zaliczyć można do utworów średnioporowatych (piaskowce 3,46—28,00%, łupki ilaste i piaszczysto-ilaste 3,40—18,90%) i średnio przepuszczalnych.

Na podłożu cieszyńskich wapieni przebadano wodę rzeki Knajki i potoku Łazińskiego. W skład tej serii skał wchodzi pelityczne i gruboziarniste wapienie z częstą domieszką piasku przedzielane miękkimi marglistymi łupkami. Ze względu na przewarstwienia łupkowe skały te można uznać za utwory średnio przepuszczalne. Skład chemiczny głównych ławic takich skał przedstawiono w tabeli I. Wapienne skały cieszyńskie w porównaniu z innymi wapieniami zawierają średnio mniejszy procent wapnia, a nieco więcej żelaza i magnezu. W zlewni obu cieków wytworzyły się brunatne gleby pyłowe i rędziny.

Zlewnię zbudowaną głównie z twardych, skalistych i płytowych wapieni jurajskich mają potoki Prądnik i Będkówka. Poza wodami tych potoków analizowano także wodę rzeki Rudawy, w zlewni której poza wapieniami jurajskimi i innymi skałami wapiennymi (bitumiczne i węglowe wapienie) występują lessy i małe powierzchnie piasków. Płytowe wapienie wietrzeją trudno i zawierają w swych warstwach liczne wtrącenia kongrecji krzemieni (Aleksandrowicz i Wilk 1962). Krzemionka występuje w tych skałach również w postaci rozproszonej (Tokarski 1953). Obie odmiany tych wapieni zasobne są w wapń, natomiast bardzo ubogie w magnez (tabela I). Nie uwzględniając szczelin, masa tych skał jest mało porowata i nasiąkliwa. Zlewnię tych potoków pokrywają rędziny i bardzo małe powierzchnie brunatnych gleb lessowych. W zlewni rzeki Rudawy dominują gleby lessowe, a poza tym występują jeszcze rędziny oraz małe powierzchnie gleb piaszczystych.

Badane rzeki Szreniawa i Nidzica zbierają swe wody z terenów zbudowanych z margli kredowych i lessów (Niecka Miechowska). Kredowe utwory skalne tego obszaru wykształcone są w postaci twardych oraz kruchych margli, w niektórych rejonach ze znaczną domieszką piasku. Skały te podobnie jak wapienie jurajskie zawierają mało magnezu i żelaza (tabela I). Glebami zlewni tych rzek są całkowite lub namarglowe brunatne gleby wytworzone z lessów oraz rędziny. Większy procent powierzchni zajmują rędziny w dorzeczu rzeki Nidzicy. Na bardzo małej powierzchni zlewni tej rzeki występują także gleby piaszczyste.

Skład chemiczny wód

W celu ogólnego scharakteryzowania wody potoków tatrzańskich, których podłoże zlewni tworzą skały krystaliczne, podano tylko jednorazowe wyniki analizy chemicznej (tabela II). Z powodu dużej stałości wodostanów tych cieków (ciągłe zasilanie przez jeziora i wody szczelinowe) sezonowa zmienność chemiczna ich wód jest bowiem bardzo nieznaczna. Jak z przedstawionych danych analitycznych wynika, wody z obszarów zbudowanych ze skał krystalicznych odznaczają się słabo kwaśnym lub obojętnym odczynem i skrajnie małą ogólną ilością soli mineralnych. Wynika to również z oznaczeń chemicznych wód potoków na krystalicznych skałach wykonanych przez Oleksynową i Komornickiego (1961) oraz Paschalskiego (1963). Wody takie są szczególnie ubogie w potas (tabela II). Nieznacznie bardziej zmineralizowana niż wody potoków o podłożu granitowym jest woda potoku Starorobociańskiego o zlewni zbudowanej ze skał metamorficznych. Przede wszystkim wyraźnie więcej zawiera ona magnezu. Być może, że wiąże się to z występowaniem w migmatytach mniej odpornych na wietrzenie minerałów magnezowych.

Wody rzek i potoków o zlewni piaszczystej odznaczają się przede wszystkim (tabela II) zmiennym odczynem (pH 6,8—8,0), bardzo dużą ilością żelaza oraz różną, najczęściej małą lub średnią zawartością wszystkich pozostałych związków mineralnych. Ogólna ilość związków mineralnych w takich wodach wykazuje zależność od gatunku, pochodzenia geologicznego i co z tym się wiąże składu chemicznego piasków występujących w zlewni. Najuboższa we wszystkie, z wyjątkiem żelaza, sole mineralne jest woda potoku Chyły, którego zlewnię prawie w całości pokrywają mało zasobne piaski luźne. Niektóre takie piaski wykazują wyjątkowo małe ilości potasu (potok Myszkowski). Najwięcej związków mineralnych ze wszystkich takich wód zawiera natomiast woda rzeki Rudni, której największy procent powierzchni zlewni zajmują znacznie od piasków luźnych zasobniejsze w zasadowe składniki zwałowe oraz fluwioglacjalne piaski gliniaste i słabo gliniaste. Wody cieków o zlewni pokrytej w całości przez piaski zwałowe, jak wykazano to już wcześniej (Pasternak 1967), mają zwykle dość dużą twardość ogólną, a także znaczną ilość potasu. Wyższa nieco zawartość wapnia w wodzie rzeki Tanwi, niż wskazuje na to jakość piasków w jej zlewni, wiąże się najprawdopodobniej z obecnością w źródłowym obszarze wapieni oraz gezów. Z wyjątkiem rzeki Rudni wszystkie wody z piasków mają małą ilość chlorków i siarczanów. Stosunkowo duża w porównaniu z zasobem w podłożu zawartość soli w takich wodach świadczy, że sole te są z piasków bardzo intensywnie wymywane. Szczególnie odnosi się to do potasu.

Wody cieków z terenów lessowych odznaczają się (tabela II) stosunkowo bardzo wysokim stopniem zmineralizowania. Przy bardzo dużej twardości ogólnej, spowodowanej nie tylko przez znaczny zasób wapnia,

Tabela II. Skład chemiczny wody rzek i potoków (w mg/l). + Analizy według Bombówny (1965)
 Table II. Chemical composition of river and stream waters (in mg/l). + Analyses according to Bombówna (1965)

Rzeki Rivers	Rzeki (r)	Stawiskó Point	Podłoże zlewni Substratum of the basin		D a t a D a t e	pH	Alkalizność w Be. Alkalinity in Be.	Twardość ogólna Hardness in German degrees	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cl	SO ₄
			Skały Rocks	Gleby Soils											
Erybi potok (p) Rostoka (p)	(p)	Wanta Przy ujściu Przy ujściu	skałiste rocky	kwaśna lilna	8.IX.63	6.8	0.20	0.80	4.6	0.7	0.10	0.50	0.02	0.75	5.0
					8.IX.63	6.8	0.15	0.65	3.8	0.5	sl.	0.02	0.50	4.1	
Starobociański (p)	(p)				8.IX.63	7.2	0.40	1.20	3.6	3.0	0.12	0.44	trace	1.00	2.0
					22.IV.63	7.8	2.20	6.2	40.0	2.6	1.92	1.00	4.7	12.6	
Tanew (r)	(r)	Ulanów			29.VII.63	8.0	2.65	7.5	45.7	4.8	1.76	6.80	0.14	5.0	14.5
					13.X.63	7.8	2.40	7.0	40.0	6.1	1.76	7.30	5.5	16.7	
Złota (r)	(r)	Kurzyłowska			22.IV.63	7.6	2.10	5.9	35.0	4.3	3.05	8.48	0.70	5.0	18.3
					29.VII.63	7.8	2.40	6.9	38.2	6.7	2.56	8.00	1.30	4.7	17.8
Rudnia (r)	(r)	Rudnik			13.X.63	7.4	1.90	5.8	31.0	6.1	2.22	10.10	1.00	5.5	24.0
					29.VII.63	7.2	2.30	7.6	43.2	6.9	4.58	13.20	1.30	11.0	39.2
Potok Chyży (p)	(p)	Swoły k/Stalowej Woli	piaskowe sandy	piaskowe i staroalwimalne sandy	13.X.63	7.1	1.20	3.7	18.9	4.6	2.09	8.90	3.20	6.5	19.8
					9.X.64	6.8	1.55	6.2	37.9	3.9	0.53	2.12	3.0	33.6	
Myszkowski (p)	(p)	Myszków			22.IV.63	8.2	6.35	17.7	89.0	22.6	3.77	11.84	0.30	9.6	14.8
					29.VII.63	7.8	6.90	18.9	61.1	44.7	5.41	12.60	10.8	14.0	
Rada (r)	(r)	Radymno			13.X.63	7.9	7.75	21.5	75.4	47.5	5.01	14.50	0.24	12.0	19.0
					29.VII.63	8.0	6.75	18.7	86.8	28.2	6.26	12.00	0.32	11.5	13.5
Łęg Rokietnicki (p)	(p)	Ostrów			13.X.63	8.0	7.70	21.7	90.0	39.5	6.54	14.30	0.30	13.0	24.5
					29.IV.63	7.2	0.40	2.2	11.4	2.4	1.56	2.80	3.5	21.2	
Wisła (r)	(r)	Ustroń			26.VII.63	7.3	0.60	2.7	15.7	2.2	1.96	4.00	0.02	4.0	22.5
					22.X.63	7.3	0.50	2.3	13.2	2.0	1.49	3.20	3.5	20.2	
Wielka Fuszca (p)	(p)	Porąbka			7.V.59	7.2	0.62	2.8	16.4	2.1	1.81	2.53	0.01	6.6	9.0
					14.VII.59	7.0	0.85	3.1	17.5	2.6	1.33	2.85	0	5.6	9.6
					2.VIII.59	7.3	0.93	3.2	17.8	3.0	0.90	2.05	0	5.6	7.8

lecz także wyjątkowo dużą ilość magnezu, wody te mają również znaczną ilość potasu i sodu oraz średnią zawartość żelaza. Poza tym cechuje je duża alkaliczność, niewielka ilość chlorków i siarczanów oraz alkaliczny odczyn. W danym okresie zawartość poszczególnych składników w wodzie obu cieków była bardzo podobna.

Wody z obszarów występowania fliszowych skał godulskich i istebniańskich mają obojętny odczyn i bardzo małą zawartość soli mineralnych (tabela II). Ścisłej określając, zawierają one śladowe ilości żelaza, bardzo małą ilość wapnia i magnezu oraz mało potasu i sodu. Ponadto wody te mają bardzo niską alkaliczność, małą ilość chlorków, a stosunkowo większą ilość siarczanów. Zawartość poszczególnych jonów w wodach obu cieków jest bardzo podobna. Takim samym chemizmem wody odznaczają się inne potoki (Górna Żylica i Kocierz) płynące przez tereny zbudowane z takich skał (B o m b ó w n a 1960, P a s t e r n a k 1960).

Analizowane wody rzek o zlewni zbudowanej z fliszowych skał magurskich i podmagurskich (tabela III) cechują się alkalicznym odczynem, średnią twardością ogólną i alkalicznością, średnimi ilościami wapnia i magnezu oraz małą lub średnią ilością potasu, sodu i siarczanów. Żelazo i chlorki występują w takich wodach w bardzo małych ilościach. Spośród badanych rzek na takim podłożu wyraźnie mniejszą zawartość wapnia i magnezu notuje się w wodzie rzeki Skawy. Wiąże się to przypuszczalnie z odmienną pokrywą glebową zlewni tej rzeki (gleby ilaste) i większymi różnicami wysokości względnych, jakimi odznacza się część jej dorzecza. Ilaste gleby zlewni z powodu swej słabej przesiąkliwości sprzyjają spływom powierzchniowym wód opadowych, utrudniając równocześnie przemiywanie głębszych warstw podłoża.

Wody spływające z obszarów, których podłoże tworzą piaskowce i łupki krośnieńskie (tabela III) mają alkaliczny odczyn, dużą twardość ogólną, znaczną zawartość siarczanów, stosunkowo duży zasób potasu i sodu, a małą ilość żelaza i chlorków. Spośród innych wód z terenów fliszu karpaciego wody te szczególnie wyróżniają się dużą ilością magnezu. Ogólnie większą ilość soli mineralnych zawiera woda rzeki Sanoczek, której zlewnię w stosunkowo większym procencie budują łatwiej wietrzejące warstwy łupkowe. Podobne stosunki między jonami, lecz znacznie w sumie mniej jonów, ma woda rzeki San (tabela III). Wydaje się, że zasadniczą przyczyną tego jest fakt występowania w części obszaru zlewni tej rzeki innych utworów skalnych, z których spływające wody są znacznie uboższe w zasadowe składniki (P a s t e r n a k 1964). Być może, że wpływa na to również bardziej górskie od pozostałych badanych rzek na tym podłożu ukształtowanie terenu.

Wyższą nieco jeszcze twardość ogólną i alkaliczność mają wody cieków, których podłoże zlewni zbudowane jest z inoceramowych warstw skalnych (tabela III). W odróżnieniu od wód z warstw krośnieńskich twardość tych wód spowodowana jest głównie przez sole wapnia, gdyż ilość magne-

Tabela III. Skład chemiczny wody rzek i potoków (w mg/l)
 Table III. Chemical composition of river and stream water (in mg/l)

Rzeki (r) Rivers	Potoki (p) Streams	Starowisko Point	Podłoże ziemi Substratum of the basin		Data Date	pH	Alkaliczność w me Alkalinity in me	Twardość w ogołina Hardness in German degrees	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cl	SO ₄
			Skaly Rocks	Gleby Soils											
Baba (r)		Chabówka	piaskowce i żupki magun- Magura sandstones and shales	Gliniaste szkieletowe, iłaste i pylowe skeletal loam, silty and clayey	5.V.63	8.0	3.00	9.3	51.5	9.1	1.79	5.40	ślad trace	6.0	19.4
							10.VII.63	8.0	2.75	8.4	47.9	7.4	2.56	8.80	0.02
					22.X.63	8.1	3.20	9.9	52.5	11.3	2.13	5.68	0.02	6.0	20.4
Skawa (r)		Sucha			5.V.63	8.2	1.53	5.1	28.6	4.8	1.43	4.44	ślad trace	4.0	18.0
					26.VII.63	8.4	2.00	6.1	31.1	7.6	2.32	6.80	0.04	5.2	18.9
					19.X.63	8.1	2.10	6.6	33.2	8.5	1.94	5.68	0.04	4.5	22.2
Kamienica Nawojowska		Nowy Sącz			28.VII.64	7.8	3.15	9.4	50.0	10.6	2.39	7.84	0.02	5.2	21.6
Łososina (r)		Łososina Dolna			28.VII.64	7.8	2.80	8.4	39.0	12.8	2.92	9.28	0.02	6.2	24.2
Sań (r)		Postolów	krynolite i żupki krynolite Krynolite sandstones and shales and other rocks	Gliniaste szkieletowe skeletal loam	24.IV.63	8.1	2.05	6.1	26.4	10.4	1.79	7.2	ślad trace	3.2	21.8
							30.VII.63	8.4	2.90	8.5	34.3	16.1	3.19	8.8	0.04
					14.X.63	8.2	2.65	8.3	25.7	20.4	1.74	7.0	0.08	3.2	28.0
Kalalozka (r)		Tarnawa Górna	piaskowce i żupki krynolite Krynolite sandstones and shales	Gliniaste i iłaste loamy and clayey	24.IV.63	8.2	3.70	11.1	60.0	11.7	3.20	9.1	ślad trace	3.5	30.0
							30.VII.63	8.2	3.75	12.0	45.4	24.5	7.40	12.0	0.06
					14.X.63	8.2	4.40	13.9	29.7	42.1	4.41	10.5	0.0	3.8	50.0
Senoczek (r)		Dąbówka			23.IV.63	8.2	4.50	13.5	70.4	15.6	3.32	8.8	0.08	3.8	32.4
					30.VII.63	8.0	4.50	13.5	65.4	18.9	8.02	14.0	0.08	6.5	48.0
					14.X.63	8.1	5.30	16.0	48.6	39.7	5.10	13.2	0.16	4.8	49.2
Łubianka (r)		Łubianka	żupki i piaskow- ce inceramian Inoceraman shales and sand- stones	pyłowe i iłaste silty and clayey	13.V.63	7.9	5.10	15.0	91.8	9.3	3.72	13.7	0.24	10.2	32.0
							29.VII.63	7.8	5.30	15.0	92.2	9.1	4.58	15.6	0.25
					13.X.63	8.0	5.00	15.4	86.8	13.9	3.80	14.3	0.28	10.2	45.3
Olśowa (p)		Olśwany			30.VII.63	7.9	5.64	15.1	81.5	16.0	5.48	10.8	0.12	6.0	14.0
					13.X.63	7.7	5.04	14.1	80.8	12.6	4.07	11.5	0.08	6.2	25.6

zu w nich jest stosunkowo niewielka (9,1—16,0 mg/l). Wody te cechują się ponadto średnim zasobem potasu, sodu, żelaza, siarczanów oraz małą lub średnią ilością chlorków. Mają zwykle słabo alkaliczny odczyn. Zawartość jonów w wodzie obu cieków jest bardzo podobna.

Wody z terenów, których podłoże budują karpackie wapienie i łupki cieszyńskie, wykazują słabo alkaliczny odczyn, dużą twardość ogólną, znaczną zawartość wapnia i siarczanów, a mały lub średni zasób magnezu, potasu i sodu (tabela IV). Żelazo i chlorki występują w tych wodach w średnich ilościach. Zawartość mineralnych soli w obu badanych ciekach w poszczególnych porach roku nie wykazuje większych odchyień.

Wody potoków z obszarów występowania wapieni jurajskich (tabela IV) mają bardzo mało zmienny alkaliczny odczyn, znaczną twardość ogólną, średnią zawartość siarczanów oraz małe ilości żelaza, potasu, sodu i chlorków. Charakterystyczną cechą wód na takim podłożu jest bardzo mała zawartość magnezu. Mała ilość magnezu występuje również w znacznie bardziej zmineralizowanych źródłanych wodach ze skał jurajskich (Oleksynowa 1966). Według Aleksandrowicza i Wilka (1962) źródła krasowe zasilają w wodę badany potok Prądnik w około 29%. Wyraźnie bogatszą od wód Prądnika i Będkówki jest woda rzeki Rudawy (tabela IV), której znaczny obszar zlewni zajmują poza jurajskimi i innymi starszymi wapieniami skały i gleby lessowe. Woda tej rzeki oprócz nieco wyższej twardości ogólnej oraz większej ilości żelaza, potasu i sodu wyróżnia się przede wszystkim kilkakrotnie wyższą ilością magnezu oraz wyjątkowo wysoką zawartością siarczanów. Na podstawie analogii z właściwościami wód z terenów lessowych (tabela II) można sądzić, że większa ilość magnezu w wodzie tej rzeki jest skutkiem występowania w jej zlewni lessów, z których składnik ten, jak wykazano to powyżej, jest dość intensywnie wymywany. Natomiast duża ilość siarczanów w wodzie Rudawy pochodzić może, jak się wydaje, z podziemnych wód gipsowo-siarczkowych, jakie występują na terenie jej zlewni (Gólab i inni 1960). Nie jest także wykluczone, że źródłem SO_4 w jej wodzie mogą być bitumiczne wapienie z pirytem, które występują w zlewni niektórych jej dopływów (Kozłowski 1962).

Zasobne w zasadowe sole mineralne są również wody rzek, których podłoże zlewni tworzą kredowe margle i lessy (tabela IV). Szczególnie bogata w te składniki jest woda rzeki Szreniawy, która na badanym odcinku zlewni ma, w porównaniu z rzeką Nidzią, większe powierzchnie lessów. Ogólnie biorąc wody obu rzek charakteryzują się znaczną twardością ogólną, alkalicznym odczynem, bardzo dużą ilością wapnia oraz średnim lub znacznym zasobem magnezu, potasu i sodu. Poza tym wody te mają dużą alkaliczność i zawartość siarczanów, a średnie ilości chlorków. Podobnie dużą zasadowość zanotowano także w wodzie rzeki Górnej Huczwy (Wyżyna Lubelska), której zlewnię budują takie same utwory (Zawadzki 1957). Żelazo występuje w tych wodach w średnich ilość-

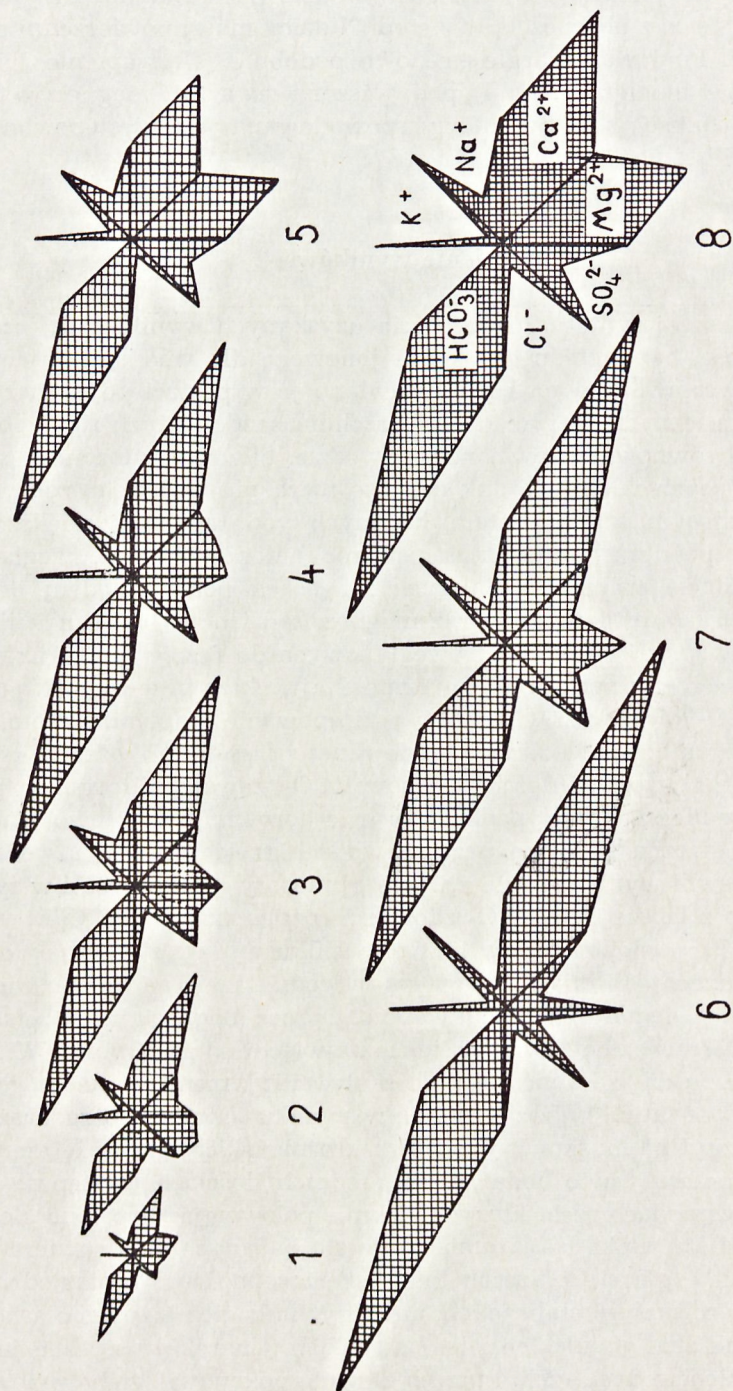
Tabela IV. Skład chemiczny wody rzek i potoków (w mg/l)
 Table IV. Chemical composition of river and stream waters (in mg/l)

Rzeki (r) Rivers	Stenowisko Point	Podłoże zlewni Substratum of the basin		Data Date	pH	Alkalizność w mg/l Alkalinity in mg/l	Twardość ogólna w stopniach Hardness in German degrees	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cl	SO ₄
		Skały Rocks	Gleby Soils											
Knajska (r)	Dębowiec	wapienie i kruszywa Cieszyn limestones and shales	pyłowe i rdziny	29.IV.63	7.6	2.75	10.8	69.0	4.8	3.98	7.20	0.12	13.5	55.5
			ilt and rendzinas	26.VII.63	7.6	3.20	9.3	55.4	6.5	2.82	7.80	0.14	9.0	15.2
Łaziński (r)	Roztroplice	wapienie i kruszywa Cieszyn limestones and shales	pyłowe i rdziny	22.X.63	7.9	4.10	13.5	80.8	9.5	3.65	7.04	0.16	12.0	40.7
			ilt and rendzinas	29.IV.63	7.9	3.15	11.1	69.3	5.9	2.52	6.52	0.15	9.7	44.8
Prądnik (r)	Ojców	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	26.VII.63	7.7	4.95	14.1	80.8	11.9	6.57	12.00	0.17	14.5	18.5
			lessow i rdziny	22.X.63	7.9	3.95	13.0	74.0	11.3	2.96	7.52	0.12	11.0	39.5
Bądkówka (r)	Bądkowice	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	8.V.63	8.0	4.05	12.0	81.1	2.6	1.96	3.80	0.04	6.0	15.6
			lessow i rdziny	15.VII.63	8.0	4.30	12.8	79.7	7.2	1.96	4.20	0.04	6.2	16.4
Radawa (r)	Mydlniki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	15.IX.63	8.2	4.35	13.0	88.6	2.6	2.09	4.16	0.12	6.5	15.0
			lessow i rdziny	10.X.61	8.0	3.70	11.4	71.3	4.4	0.66	2.70	ślad trace	3.2	15.2
Nidzica (r)	Książ Wielki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	22.V.63	8.0	4.05	14.0	52.2	29.1	3.61	6.48	0.20	9.8	52.5
			lessow i rdziny	18.VII.63	8.1	4.35	13.8	71.8	16.1	2.32	5.80	0.02	8.2	34.2
Szerzawa (r)	Stomniki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	17.IX.63	8.1	4.47	14.7	79.7	15.0	2.80	6.60	0.24	8.2	45.6
			lessow i rdziny	19.V.61	8.2	4.84	15.7	99.3	7.5	2.56	4.00	0.30	7.1	36.0
Szerzawa (r)	Stomniki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	6.VII.61	8.0	4.82	15.7	97.9	8.6	2.91	2.80	0.35	6.4	34.6
			lessow i rdziny	5.IX.61	8.0	4.86	15.8	98.9	8.3	3.29	3.52	0.10	7.4	35.5
Szerzawa (r)	Stomniki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	10.V.65	8.2	5.80	17.1	96.5	15.6	4.85	7.70	0.14	9.8	21.0
			lessow i rdziny	15.VII.65	8.4	6.10	18.1	100.0	17.8	5.10	8.15	0.12	12.0	23.1
Szerzawa (r)	Stomniki	wapienie jurajskie Jurassic limestones and loess	rdziny	12.X.65	8.4	5.95	17.5	98.3	16.3	5.50	7.84	0.04	10.2	21.8
			lessow i rdziny											

ciach, przy czym trochę więcej jest go w wodzie rzeki Nidzicy. Przypuszczalnie łączy się to z obecnością w zlewni Nidzicy małej powierzchni gleb piaszczystych. Ponieważ margle kredowe podobnie jak wapienie jurajskie ubogie są w magnez (tabela I), podwyższona zawartość magnezu a także potasu w wodzie rzeki Szreniawy spowodowana jest występowaniem w jej zlewni lessów.

Omówienie wyników

W celu bardziej syntetycznego ujęcia uzyskanych wyników obliczono średnie wartości bezwzględnej składu jonowego dla wód spływających z różnych utworów skalnych i przedstawiono je w postaci pojedynczych elementów graficznych na ryc. 1. Powierzchnia każdej z tych figur obrazuje sumę milirównoważników jonów w wodzie. Figury te ułożono w szeregu wzrastających wielkości. Jak dane te wyraźnie wskazują, zdecydowanie dominującymi komponentami badanych wód, tak jak w większości czystych wód powierzchniowych, są spośród anionów kwaśne węglany, a wśród kationów wapń. Na dalszych miejscach pod względem ilości znajdują się siarczany i chlorki oraz magnez, sól i potas. Stosunek ilościowy jonów wapniowych i wodorowęglanowych do reszty jonów układa się w wodach z rozmaitych podłoży różnie. Największą przewagę osiągają jony Ca i HCO_3 w wodach z terenów występowania wapieni. Natomiast w wodach spływających ze zlewni zbudowanej z lessów lub warstw krośnieńskich, przy zbliżonych ilościach jonów HCO_3 , zawartość magnezu jest tak duża, że w niektórych wypadkach prawie dorównuje ilościowo jonom wapnia. Tak znaczna ilość magnezu w wodach rzek o takich utworach skalnych w zlewni wynikać może z większej nieco jego zawartości w tych utworach albo z lepszej od CaCO_3 zdolności rozpuszczania MgCO_2 w wodzie. Najmniej prawdopodobne w tym przypadku wydaje się, aby było to efektem podkoncentrowania się magnezu w wodzie rzeki na skutek większego wytrącania się z niej węglanu wapnia. Oprócz magnezu wody ze skał lessowych i krośnieńskich zawierają także najwięcej potasu (ryc. 2). Wiąże się to głównie z dużą zasobnością tych skał w ilit i muskowitz, z których potas uwalnia się łatwiej niż ze skaleni, w wyniku procesów przeobrażeń minerałów (biotyt na muskowitz w skałach krośnieńskich) oraz wietrzenia. Odnośnie do potasu warto dodać, że w średnich ilościach występuje on jeszcze tylko w wodach rzek, których zlewnię pokrywają karpackie gleby pyłowe (w podłożu łupki z hydromiką). Reszta badanych wód zawiera go bardzo niewiele ($< 3 \text{ mg/l}$). Szczególnie niską zasobnością w potas odznaczają się wody ze skał krystalicznych, niektórych ubogich luźnych piasków oraz fliszowych skał godulskich i ištebniańskich. Charakterystyczne jest, że we wszystkich wodach rzek, których zlewnię pokrywają gleby pyłowe, występuje większa ilość chlorków. Poza tym należy zaznaczyć, że w skła-



Ryc. 1. Średni bezwzględny skład jonowy wód rzek i potoków na różnym podłożu skalnym: 1 — krystalicznym, 2 — fliszowym gólsko-istebniańskim, 3 — piaskowym, 4 — fliszowym magurskim, 5 — fliszowym krosnieńskim i innym, 6 — wapiennym jurajskim, 7 — wapienno-lupkowym cieszynskim, 8 — fliszowym krosnieńskim, 9 — wapiennym jurajskim i lessowym, 10 — fliszowym ino-ceramowym, 11 — marglowym (kreda) i lessowym, 12 — lessowym

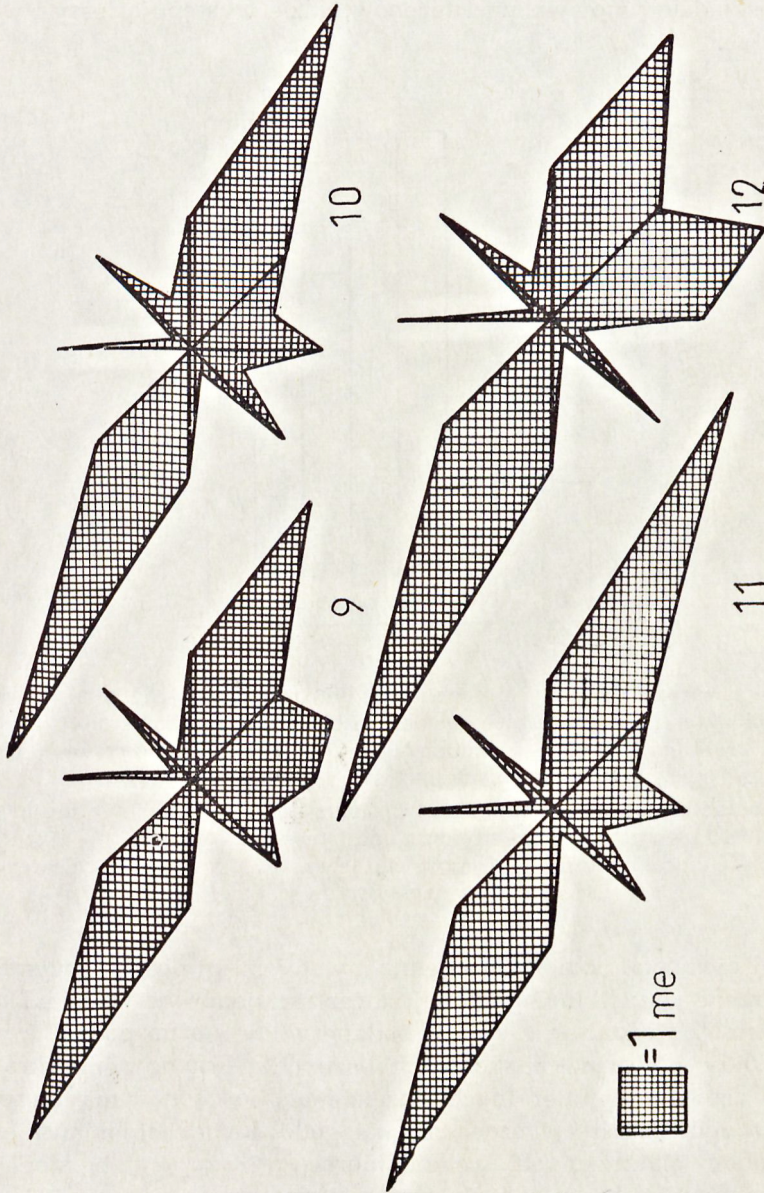
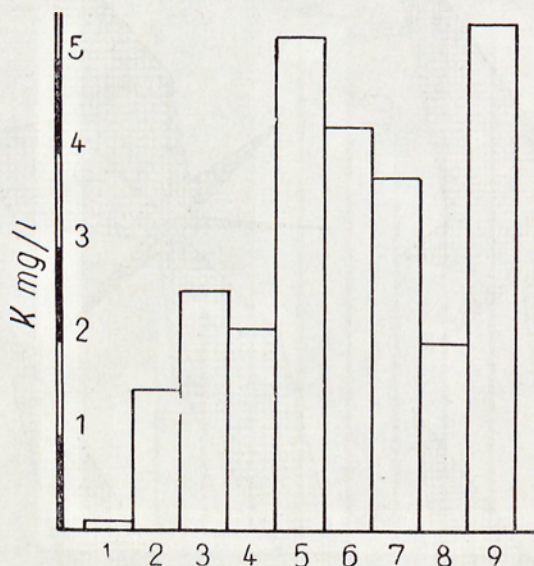


Fig. 1. Mean absolute ion composition of waters of rivers and streams flowing on a rock substratum: 1 — crystalline, 2 — Godula and Istebna Flysch, 3 — sandy, 4 — Magura Flysch, 5 — Krosno Flysch and other, 6 — calcareous Jurassic, 7 — Cieszyn calcareous and shaly, 8 — Krosno Flysch, 9 — calcareous Jurassic and loessy, 10 — Inoceranian Flysch, 11 — marly (Cretaceous) and loessy, 12 — loessy

dzie jonowym wód z większości fliszowych skał karpackich, zwłaszcza z ubogich w węglany skał godulskich i istebniańskich, zaznacza się stosunkowo większy udział siarczanów. Bardzo mały odsetek stanowią natomiast siarczany w składzie jonowym wód terenów, gdzie występują lessy i wapienie jurajskie.



Ryc. 2. Średnia zawartość potasu w wodach rzek i potoków o różnych skałach zlewni: 1 — krystalicznych, 2 — godulskich i istebniańskich, 3 — piaskowych, 4 — magurskich, 5 — krośnieńskich, 6 — inoceramowych, 7 — wapienno-lupkowych cieczyńskich, 8 — wapiennych jurajskich, 9 — lessowych

Fig. 2. Mean content of potassium in waters of rivers and streams whose drainage areas are built of: 1 — crystalline, 2 — Godula and Istebna, 3 — sandy, 4 — Magura, 5 — Krosno, 6 — Inoceramian, 7 — Cieszyn calcareous and shaly, 8 — calcareous Jurassic, 9 — loessy rocks

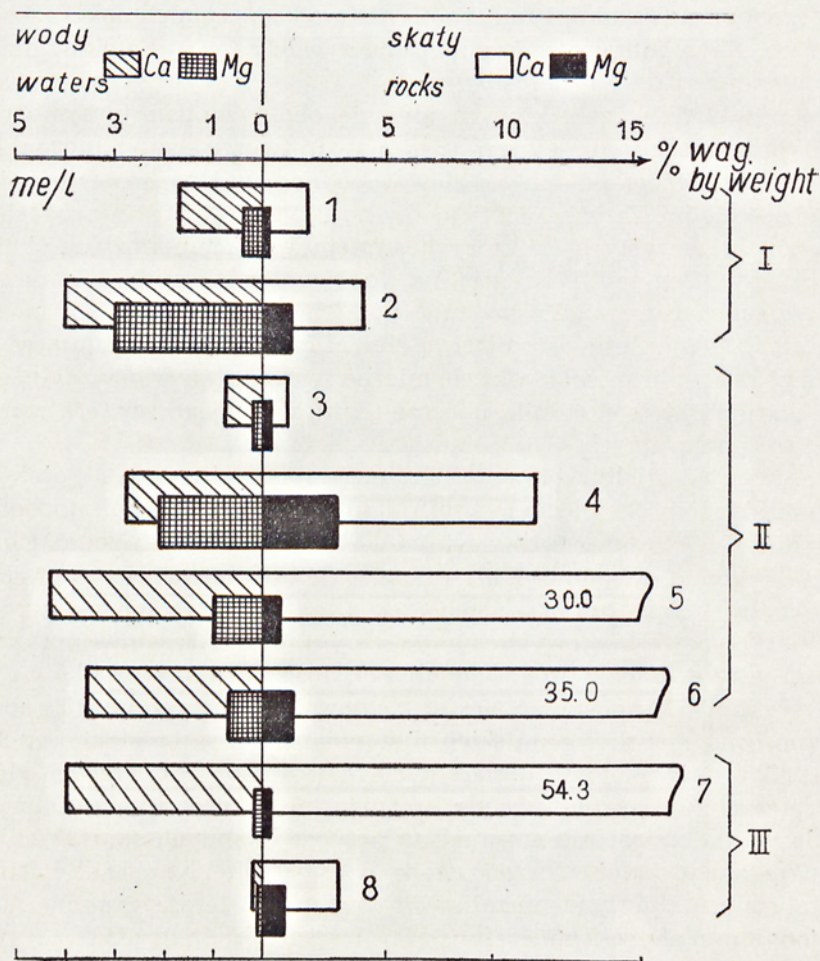
Wpływ różnych skał podłoża na chemizm wody rzek i potoków wyraża się jednak przede wszystkim w ogólnej zawartości jonów w wodzie. Pod tym względem, jak widać to z ryc. 1, badane wody można podzielić na kilka grup. Wody spływające ze skał krystalicznych należą do wód o skrajnie małej zawartości soli mineralnych. Bardzo małą ilość jonów mają wody z obszarów zbudowanych z fliszowych skał godulskich i istebniańskich. Wody z terenów piaszczystych, średnio biorąc, wykazują mały stopień zmineralizowania. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że w pojedynczych przypadkach suma jonów w wodach rzek o takim podłożu zlewni waha się, zależnie od rodzaju i gatunku piasków, najczęściej od bardzo małych do średnich wartości. Zdecydowanie średnio zmineralizowane wody mają rzeki, których zlewnię tworzą fliszowe skały magurskie. Do

grupy wód o znacznej ilości jonów zaliczają się wody z rejonów występowania wapieni jurajskich, wapienno-lupkowych skał cieszyńskich oraz z fliszowych warstw krośnieńskich i inoceramowych. Należy przy tym zaznaczyć, że wody z obszarów występowania tych ostatnich skał są bardziej zasobne w składniki mineralne niż wody z wymienionych skał wapiennych. Najbogatsze w sole mineralne są wody rzek i potoków o zlewni zbudowanej ze skał i gleb lessowych.

Na przykładzie rzek, których zlewnię obok wapieni jurajskich (Rudawa) oraz margli kredowych (Szreniawa) tworzą lessy, można łatwo zauważyć, że obecność ich w zlewni podnosi ogólną zawartość jonów w wodzie cieków. Zwykłą ilość jonów notuje się również w wodach rzek z terenów piaszczystych, na których występują i inne utwory zasobniejsze w węglany (Tanew). Wskazują na to również przeprowadzone przez Stangenberg (1951) badania wody rzeki Pilicy, mającej podobny charakter zlewni. Jeśli natomiast w zlewni cieków obok dominującej skały zasobnej w zasadowe składniki chemiczne występują utwory skalne i glabowe znacznie w te składniki uboższe (San), woda jego zawiera wyraźnie mniej soli mineralnych.

Porównując średnie sumy soli mineralnych wód rzek i potoków ze średnim składem chemicznym i mineralnym skał ich zlewni, dochodzimy do wniosku, że stosunek tych wartości w wypadku różnych podłoży kształtuje się rozmaicie. Ogólnie można powiedzieć, że zawartość jonów (głównie wapnia i magnezu) w wodach rzek z terenów występowania wszystkich piaskowcowo-lupkowych skał o średniej przepuszczalności oraz porowatości jest w zasadzie proporcjonalna do ilości tych pierwiastków w podłożu (ryc. 3). Wody cieków o zlewni zbudowanej z bardzo ubogich na ogół w wapń i magnez skał godulskich i istebniańskich są najslabiej zmineralizowane, a najwięcej soli mineralnych mają wody rzek, których zlewnię tworzą zasobne w wapń warstwy krośnieńskie i inoceramowe. Odmiennie układa się natomiast ten stosunek w przypadku innych skał. Wody rzek o zlewni zbudowanej z bardzo słabo porowatych i przesiąkliwych skał krystalicznych i jurajskich skalistych wapieni zawierają w sumie nieproporcjonalnie mało soli mineralnych do ilości ich w podłożu. W jurajskich skałach dotyczy to tylko wapnia. Odnosnie do wód z podłoża krystalicznego można sądzić, że wiąże się to nie tylko ze złą przepuszczalnością tych skał, lecz także z dużą ich odpornością na wietrzenie. Stosunkowo niewysoka mineralizacja wód z wapieni wynika głównie ze słabej rozpuszczalności w wodzie zawartych w nich węglanów. Do małej rozpuszczalności wapienia jurajskiego, poza jego słabą przesiąkliwością oraz małą zwykle w wodach powierzchniowych zawartością wolnego CO₂, przyczynia się zapewne także duży stopień jego wykryształizowania związany z wiekiem geologicznym. Jak wykazali bowiem Musierowicz i inni (1953) oraz Gorlachowa (1962) przy podobnym składzie chemicznym starsze twarde i dobrze wykryształizowane wapienie wykazują mniejszy stopień

rozpuszczalności w wodzie niż miękkie wapienie kredowe czy miocenijskie. Pewnym potwierdzeniem tego jest fakt, że mimo iż wapienie cieszyńskie są od jurajskich w sumie w węglan wapnia uboższe, wody z nich spływają



Ryc. 3. Porównanie średnich zawartości wapnia i magnezu w wodach rzek i potoków z zasobem tych składników w skałach ich zlewni. Wody spływające z terenów zbudowanych ze skał: 1 — piaskowych, 2 — lessowych, 3 — goduńskich i istebniańskich, 4 — krośnieńskich, 5 — inoceramowych, 6 — wapienno-lupkowych cieszyńskich, 7 — wapiennych jurajskich, 8 — krystalicznych.

Przepuszczalność skał: I — dobra, II — średnia, III — słaba

Fig. 3. Comparison of mean contents of calcium and magnesium in waters of rivers and streams with the supply of these components in the rocks of their drainage areas. Waters flowing from terrains built of: 1 — sandy, 2 — loessy, 3 — Godula and Istebna, 4 — Krosno, 5 — Inoceramian, 6 — Cieszyn calcareous and shaly, 7 — calcareous Jurassic, 8 — crystalline rocks.

Permeability of rocks: I — good, II — moderate, III — small

jące zawierają podobną ilość wapnia. Na małą rozpuszczalność wapieni jurajskich, zdaniem Tokarskiego (1953), mogą również wpływać zanieczyszczenia (krzemionka, żelazo), które poprzez tworzenie na powierzchni skały jak gdyby powłoki izolacyjnej utrudniają dyfuzję wody i zarazem proces jej rozpuszczania.

Jeszcze inaczej przedstawia się stosunek ogólnej zawartości soli w wodzie do zasobu ich w podłożu w rzekach o zlewni zbudowanej z przepuszczalnych piasków i lessów (ryc. 3). Jakkolwiek zależnie od składu danego piasku czy utworu lessowego występującego w zlewni chemizm wody ciekłu może wykazywać wahania, to ogólnie można powiedzieć, że wody spływające z takich skał i gleb zawierają o wiele więcej składników, niż wskazuje na to ich zapas w podłożu. Najprawdopodobniej łączy się to głównie z dobrą przepuszczalnością piasków i lessów, która warunkuje nie tylko lepsze krążenie roztworów glebowych z wolnym CO_2 , a przez to i intensywniejsze ich przemywanie, lecz także większą zdolność poziomej migracji rozpuszczonych składników do wód powierzchniowych. Do wyjątkowo wysokiej mineralizacji wody cieków z terenów lessowych przyczynia się ponadto słaby stopień wykrystalizowania, a znaczny rozproszania, występujących w lessach węglanów.

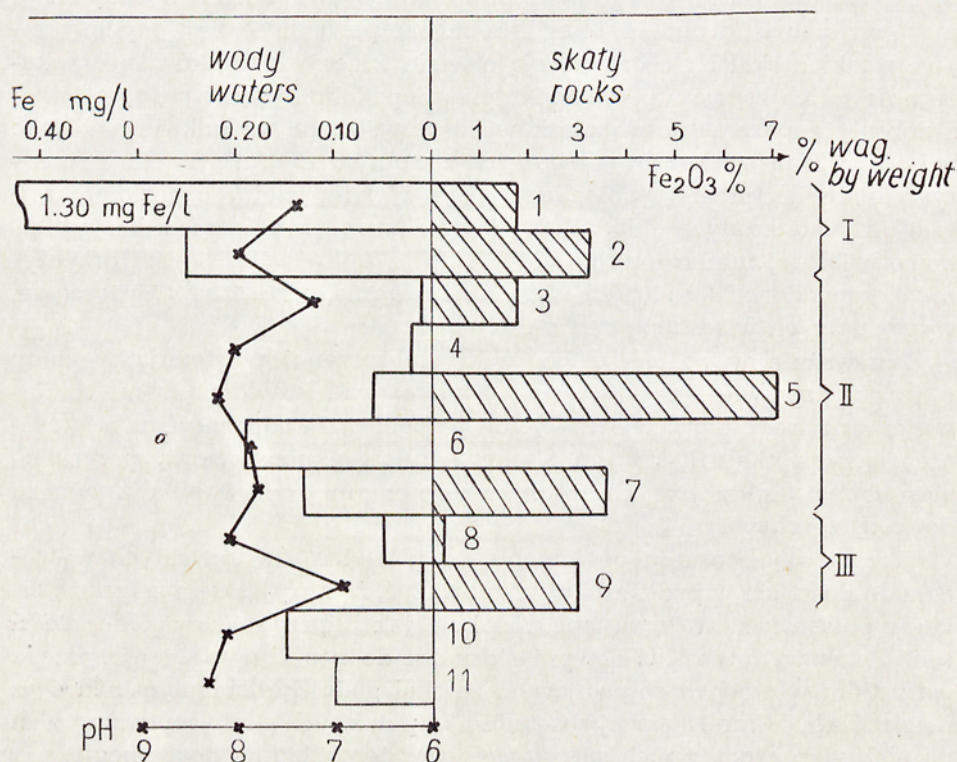
Przeważnie w postaci słabo wykrystalizowanej występują węglany również w spoiwie skał piaskowcowo-lupkowych. Prawdopodobnie to zjawisko oraz średnia przepuszczalność i na ogół mała odporność na wietrzenie fizyczne skał fliszowych stanowią właśnie podstawową przyczynę stosunkowo większej z tych skał niż z wapieni, migracji wapnia i magnezu do wód rzecznych.

Rozpatrując stosunki poszczególnych pierwiastków zawartych w wodzie do ilości ich w podłożu można zauważyć, że z wyjątkiem żelaza i niekiedy potasu kształtują się one podobnie jak w przypadku ogólnej ilości soli. Potas w innym ilościowym stosunku do podłoża występuje przede wszystkim w wodach spływających ze skał godulsko-istebniańskich oraz magurskich. Mimo znacznej zasobności w potas tych skał i wytworzonych na nich gleb, wody z nich spływające są w ten składnik dość ubogie.

Przypuszcza się, że na tak małą zdolność migracyjną potasu z wymienionych skał składa się stosunkowo słaba rozpuszczalność potasowych skaleni (Bailey 1963), stanowiących w tych skałach główne źródło potasu oraz większa zwykle na tych terenach zwięzłość gleb w dolinach. Zwięzłe gleby (gliniaste) posiadające dość dużą zdolność sorpcyjną mogą według Półnowa (Saukow 1953) silniej przytrzymywać potas niż Na i Ca, i w ten sposób ograniczać jego wymywanie z podłoża.

Zawartość żelaza w badanych wodach (tabela II—IV) wahała się w granicach 0—3,20 mg Fe/l. W większości przypadków jednak żelazo występowało w wodach w bardzo małych ilościach ($< 0,10$ mg Fe/l). Średnie ilości żelaza w wodach rzek i w niektórych podłożach ich zlewni podano na ryc. 4. Jak dane te wskazują, ilość żelaza w wodach nie wykazuje wy-

rażnej zależności od zasobu jego w podłożu ani też od odczynu tych wód. Najmniejszą zawartość żelaza mają wody z obszarów zbudowanych ze skał krystalicznych, fliszowych i wapiennych. Prawdopodobnie wiąże się to głównie z dużą na ogół zwięzłością, a małą przepuszczalnością tych skał oraz pokrywających je gleb. Spośród wód z fliszowych terenów najwyższej żelaza stwierdza się jeszcze w wodach rzek i potoków, których zlewnia w większości lub w całości pokryta jest przez lepiej przesiąkliwe gleby pyłowe (Lubienianka, Knajka, potok Łaziński). Z karpacckich zlewni



Ryc. 4. Średnia zawartość żelaza w wodach rzek i potoków na różnych podłożach skalnych w porównaniu z jego zasobem w niektórych skałach oraz średnim odczynem tych wód. Wody cieków o skałach zlewni: 1 — piaskowych, 2 — lessowych, 3 — godulsko-istebniańskich, 4 — magurskich, 5 — krośnieńskich, 6 — inoceramowych, 7 — wapienno-lupkowych cieszyńskich, 8 — wapiennych jurajskich, 9 — krystalicznych, 10 — wapiennych jurajskich i lessowych, 11 — margli kredowych i lessów.
Przepuszczalność skał: I — dobra, II — średnia, III — słaba

Fig. 4. Mean content of iron in waters of rivers and streams flowing on various rock substrata as compared with its supply in some rocks and with the mean reaction of these waters. Waters of streams whose drainage areas are built of various rocks: 1 — sandy, 2 — loessy, 3 — Godula and Istebna, 4 — Magura, 5 — Krosno, 6 — Inoceramian, 7 — Cieszyn calcareous and shaly, 8 — calcareous Jurassic, 9 — crystalline, 10 — calcareous Jurassic and loessy, 11 — calcareous marls and loesses.

Permeability of rocks: I — good, II — moderate, III — small

większa ilość żelaza może więc być wynoszona przez rzeki tylko w postaci zawiesiny podczas ich wysokich stanów wody. Nieco większe ilości żelaza, bo najczęściej średnie, notuje się w wodach z terenów lessowych. Natomiast z reguły dużo lub niekiedy bardzo dużo żelaza występuje w wodach rzek o zlewni piaszczystej. Składa się na to wzmożona cyrkulacja wód gruntowych w piaskach i związane z tym daleko idące przemieszczanie się z ich górnych warstw kwaśnych związków humusowych, które przez tworzenie z żelazem (Fe^{2+}) kompleksowych połączeń zwiększają jego rozpuszczalność (Pasternak 1967). Żelazo w wodzie rzek (nie zawiesinowe) z powodu swej dużej skłonności do utleniania może bowiem utrzymywać się w niej w większych ilościach głównie w takich właśnie połączeniach.

W świetle powyższego widać, że zawartość związków mineralnych w wodach rzek i potoków zależy nie tylko od chemicznych, lecz także fizycznych właściwości skał i gleb ich zlewni. Warto przy tym zaznaczyć, że fizyczne cechy skał i gleb odgrywają ważną rolę przede wszystkim w wymywaniu trudno migrujących do wody rzek składników, do których zalicza się żelazo. Do najważniejszych fizycznych właściwości utworów podłoża, jak się zdaje, należą ich przepuszczalność i porowatość. Od tych cech podłoża zależy bowiem powierzchnia zetknięcia się wody ze skałą i glebą oraz szybkość poruszania się wody w tym podłożu. Od szybkości tej z kolei, według Alekina (1956), w dużym stopniu uzależniona jest mineralizacja wód gruntowych, które zasilają rzeki. Powiększenie sumarycznej powierzchni skały może nastąpić pod wpływem jej fizycznego wietrzenia. Wydaje się, że w efekcie tego właśnie zjawiska, spośród rzek o jednakowym rodzaju fliszowego podłoża zlewni, więcej jonów w wodzie występuje w rzekach, których zlewnię w przewodzie budują łatwiej wietrzejące warstwy łupkowe (Sanoczek, Kamienica N.). Istotne znaczenie dla ilości jonów wymywanych z podłoża mają również adsorpcyjne zdolności gleb związane z ich zasobnością w ilaste i organiczne substancje. Biorąc pod uwagę stosunkowo niewielką ilość magnezu w lessach i fliszowych warstwach krośnieńskich obserwuje się w wodach z nich spływających pewne geochemiczne nagromadzenie się tego składnika. Pewne niewielkie różnice w chemizmie wody pomiędzy rzekami o jednakowym typie podłoża łączyć się mogą nie tylko ze zmiennością litologiczną skał, lecz także z odmienną morfologią zlewni (czas kontaktu wody z podłożem). W wypadku znacznego wymycia z gleb zlewni zasadowych składników (wielkość gleb karpackich i piaszkowych), zdecydowanie większa rola w zaopatrzeniu wód rzek w takie składniki przypada skałom.

SUMMARY

The results obtained in the present work show that the dominant components of the investigated waters are, among anions, acid carbonates and among cations calcium (fig. 1). Sulphates, chlorides, magnesium, sodium, and potassium occur in

smaller amounts. The quantitative ratio of calcareous and bicarbonate ions to the remaining ions varies in waters of various substratum. The greatest predominance of Ca and HCO_3 ions is observed in waters from terrains of limestone occurrence. In waters flowing from a drainage area built of loess or Krosno Flysch beds the amounts of HCO_3 ions are similar, whereas the content of magnesium in some cases almost equals quantitatively that of calcium ions. Waters from such rocks are also the richest in potassium (fig. 2). On the other hand, waters flowing from crystalline rocks or some poor loose sands and from the Godula-Istebna Flysch rocks contain very little potassium. A characteristic trait is that in all waters from rivers whose drainage area is covered by silt soils chlorides occur in large amounts. The ion composition of waters from the majority of Carpathian Flysch rocks, particularly of those poor in carbonates, shows a relatively greater share of sulphates. On the other hand, in the ion composition of waters from terrains where loesses and Jurassic limestones occur, sulphates are represented in a very small percentage.

The influence of various rocks of the substratum on the chemical properties of river and stream waters is most pronouncedly marked in the total content of ions in the water (Tables II—IV). In this respect the investigated waters can be divided into several groups (fig. 1). Waters flowing from crystalline rocks have an extremely low content of mineral salts. A very small amount of ions is observed in waters from areas built of the Godula-Istebna Flysch rocks. Waters from sandy soils taken as a whole show a low degree of mineralization. It should be noted that in particular cases the total amount of ions in waters of rivers of such a substratum ranges, depending on the kind of sands, from small to medium values. A definitely moderate degree of mineralization is observed in waters of rivers whose drainage area is formed of Flysch Magura rocks. Waters from regions in which Jurassic limestones, Cieszyn calcareous-shaly rocks, and Flysch Krosno and Inoceranian beds occur contain large amounts of ions. Worthy of note is that waters from areas of occurrence of the latter rocks are richer in mineral components than waters from the mentioned calcareous rocks. The most abundant in mineral salts are waters of rivers and streams whose drainage area is built of loess rocks and soils.

The ratio of the sum of mineral salts in waters of rivers and streams to the total content of these salts in the rocks of their drainage areas in the case of different substrata varies to a high degree (fig. 3). The content of ions (chiefly of Ca and Mg ions) in waters of rivers from terrains in which all the sandstones and shales are moderately permeable and porous, is in principle proportional to the amount of these elements in the substratum. Waters of rivers whose drainage area is built of very weakly porous and absorptive crystalline rocks and rocky Jurassic limestones contain, taken as a whole, incommensurably little mineral salts in relation to their amount in the substratum. In Jurassic rocks this refers only to calcium. On the other hand, waters flowing from highly permeable sandy and loessy terrains contain many more mineral components than their supply in the substratum would indicate. The ratios of the particular elements present in the water to their amount in the substratum are very much the same, with the exception of iron and sometimes of potassium.

The content of iron in the waters shows no distinct dependence on its supply in the substratum nor on the reaction of these waters (fig. 4). The least content of iron is observed in waters from areas built of crystalline, Flysch, and calcareous rocks. Among waters from Flysch terrains a slightly larger amount of iron is present in waters of rivers whose drainage areas are covered by the more permeable silt soils. A moderate amount of iron is noted in waters from loess terrains, whereas in the waters of rivers of a highly permeable sandy drainage area iron occurs in large or sometimes very large amounts. This is due to the intensified circulation of ground

waters in sands and consequently to the far-reaching displacement from their upper layers of acid humus compounds which, by forming with iron (Fe^{2+}) complex compounds increase its solubility.

The content of mineral compounds in the waters of rivers and streams is conditioned not only by the chemical but also by the physical properties of the rocks and soils of their drainage areas. It is on the physical features of the substratum that the area of the contact of water with the rock and soil, as well as the rate of the movement of water (with free CO_2) in this substratum depend. The physical features of rocks and soils play an important role above all in washing out components not readily migrating to rivers, which particularly refers to iron. The more important physical features of rocks determining the migration of components to the water of rivers are, apart from their porosity and permeability, the degree of crystallization of carbonates related to the geological age of the rock (high in Jurassic limestones, low in loesses) and the resistance of rocks to weathering. The latter is an important factor, since under the influence of physical weathering there may occur an increase in the total surface of the rock. Also the adsorptive capacity of soils conditioned by their high content of clayey and organic substances is of great significance for the amount of ions washed out from the substratum. This refers particularly to potassium. Compact soils with a high sorptive capacity can retain potassium more readily than Na and Ca, therefore limiting its outwashing from the substratum. Some small differences in the chemical properties of water between rivers of the same type of substratum may be related not only to the lithological variation of rocks but also to a different morphology of the drainage area. In the case of a considerable outwash of basic components from soils of the drainage area the role of rocks in supplying river waters with these components is much more important.

LITERATURA

- Adamczyk B., Tokaj J., 1957. Studia nad glebami górkimi na terenie gromady Sieniawa. Roczn. Glebozn., 6, 163—192.
- Alekin O. A., 1956. Podstawy hydrochemii. Warszawa, Wyd. Geol.
- Aleksandrowicz S. W., Wilk Z., 1962. Budowa geologiczna i źródła Doliny Prądnika w Ojcowskim Parku Narodowym. Ochrona Przyrody, 28, 187—210.
- Bailly F., 1963. Methodische Untersuchungen zur K-Freisetzung aus Mineralen. Z. Pfl. Ernähr. Düng., 102, 17—28.
- Bolewski A., Turnau-Morawska M., 1963. Petrografia. Warszawa, Wyd. Geol.
- Bombówna M., 1960. Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Soły i jej dopływów. Acta Hydrobiol., 2, 3—4, 175—200.
- Bombówna M., 1965. Hydrochemical characteristics of the Wielka Puszca stream. Acta Hydrobiol., 7, suppl. 1, 1—7.
- Burtanówna J., Konior K., Książkiewicz M., 1937. Mapa geologiczna Karpat Śląskich. Wyniki badań i objaśnienia do mapy. Kraków, PAU, Wyd. Śląskie.
- Dziewański J., Starkel L., 1962. Dolina Sanu między Soliną a Zwierzyniem w czwartorzędzie. Prace Geogr. PAN, 36, Warszawa, Wyd. Geol.
- Gaweł A., 1948. Dolomityzacja wapieni jurajskich okolic Krakowa. Roczn. Pol. Tow. Geol. 18, 292—308.
- Gołąb J. i inni, 1960. Mapa hydrogeologiczna Polski. Atlas geol. Polski, tab. 14, Wyd. Geol.
- Gorlach K., 1962. Rozpuszczalność wapieni krajowych różnego pochodzenia a ich wartość nawozowa. Acta Agraria et Silv., ser. Rol., 2, 101—140.

- Just J., Hermanowicz W., 1955. Fizyczne i chemiczne badanie wody do picia i potrzeb gospodarczych. Warszawa, PZWL.
- Kamieński M., 1949. Skały budowlane w Polsce. Biul. PIG 57.
- Kozłowski S., 1959. Poszukiwania geologiczne nowych baz surowca cementowego w Polsce południowo-wschodniej. Cement, 15/24, 2.
- Kozłowski S., 1962. Zagadnienie eksploatacji dolomitów dewońskich w rejonie śląsko-krakowskim z punktu widzenia ochrony przyrody. Ochrona Przyrody, 28, 211—226.
- Książkiewicz M., 1948. Stratygrafia serii magurskiej na przedpolu Babiej Góry. Biul. PIG 48.
- Lazar J., 1950. Gleby Góry Jasieniowej w Beskidzie Śląskim. Roczn. Glebozn., 1, 115—130.
- Lazar J., 1952. Badania wstępne nad glebami Karpat fliszowych. Roczn. Nauk Rol., A-66, 1, 95—127.
- Musierowicz i inni, 1953. Badania rozpuszczalności „aktywności” niektórych skał węglanowych, określonej metodą elektrodializy. Roczn. Nauk. Roln., A-66, 3, 31.
- Obuchowicz Z., 1958. Wstępne badania nad rozpoziomowaniem warstw krośnieńskich (oligocen) centralnej depresji karpackiej. Biul. I. G., 116.
- Oleksynowa K., 1966. Materiały do poznania chemizmu wód Doliny Prądnika i Doliny Sąpsowskiej. Acta Hydrobiol., 8, 3—4, 275—292.
- Oleksynowa K., Komornicki T., 1961. Materiały do znajomości wód w Tatrach, cz. VI. Dolina Rybiego Potoku i Dolina Roztoki. Zeszyty Naukowe WSR w Krakowie, Rol., 8, 37—66.
- Paschalski J., 1963. Próba charakterystyki wód tatrzańskich na podstawie zdolności buforowych. Pol. Arch. Hydrobiol., 11 (24), 3, 349—384.
- Pasternak K., 1960. Gleboznawcza i geologiczna charakterystyka dorzecza rzeki Soły. Acta Hydrobiol., 2, 3—4, 159—174.
- Pasternak K., 1964. Geologiczna i gleboznawcza charakterystyka dorzecza rzeki Sanu. Acta Hydrobiol., 6, 3, 289—307.
- Pasternak K., 1967. Skład chemiczny wody stawów na terenach piaszczystych. Acta Hydrobiol., 9, 1—2, 111—127.
- Pyjor S., Różycki S., 1948. Łupki bitumiczne. Mater. Budow., 3, 150—157.
- Saukow A., 1953. Geochemia. Warszawa, Wyd. Geol.
- Sioli H., 1963. Beiträge zur regionalen Limnologie des brasilianischen Amazonasgebietes. V. Die Gewässer der Karbonstreifen Unteramazoniens (sowie einige Angaben über Gewässer der anschließenden Devonstreifen). Arch. Hydrobiol., 59, 3, 311—350.
- Skoczylas-Ciszewska K., Kamieński M., 1959. O facji inoceramowej warstw istebniańskich Pogórza Wiśnicko-Rożnowskiego. Kwart. Geol. 3, 4, 977—995.
- Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes. 1955, New York, APHA.
- Stangenberg M., 1951. Skład chemiczny i bakteriologiczne wskaźniki zanieczyszczenia rzeki Pilicy. Wiad. Służby Hydr. Meteor., 2, 5.
- Stangenberg M., 1958. Ogólny pogląd na skład chemiczny wód rzecznych Polski. Pol. Arch. Hydrobiol., 4 (17), 289—359.
- Świdziński H., 1947. Słownik stratygraficzny Północnych Karpat fliszowych. Biul. PIG 37.
- Tokarski J., 1953. Polskie wapienie jako środek nawozowy. Roczn. Nauk Rol., 66-A, 3, 5—29.
- Tokarski J., 1961. Materiały do znajomości lessów. Roczn. PTG, 31, 2—4.

- Tokarski J., Oleksynowa K., 1951. Special Analysis of Loess from the Environs of Mogiła near Cracow. Ext. Bull. Acad. Pol. Sci. Lettres U. Sci. Math.-Nat., A, Sci. Math., 315—320.
- Zawadzki S., 1957. Badania genezy i ewolucji gleb błotnych węglanowych Lubelszczyzny. Annal. Univer. MCS Lublin, E, 12, 1, 1—86.
- Praca zbiorowa, 1961. Katalog analiz chemicznych, cz. II, Inst. Geol., Prace 26, Warszawa, Wyd. Geol.

Adres autora — Author's address

doc. dr Kazimierz Pasternak

Zakład Biologii Wód, Polska Akademia Nauk, Kraków, ul. Sławkowska 17.