

Andrzej F. ADAMCZYK, Jacek MOTYKA, Zbigniew WILK, Stanisław WITCZAK \*

## O WPLYWIE TEKTONIKI USKOKOWEJ NA ZAWARTOŚĆ JONU CHLORKOWEGO W WODACH TRIASU OLKUSKIEGO

(7 fig.)

*Influence of disjunctive tectonics on chloride-ion content in the  
Triassic waterbearing horizon of the Olkusz region  
(near Cracow)*

(7 Figs)

**Treść:** Przedstawiono pionowe i poziome rozmieszczenie koncentracji jonu Cl<sup>-</sup> w wodach triasowego piętra wodonośnego w południowej części niecki błędowskiej. Nie stwierdzono systematycznego wzrostu zawartości tego jonu w zależności od głębokości. Na podstawie interpretacji rozkładu koncentracji chlorków w badanych wodach wydzielono wartość tła i wielkości anomalnie wysokie. Mapa rozmieszczenia anomalii dodatnich wykazuje związek ich występowania z obecnością uskoku i ich przebiegiem. Autorzy wyjaśniają to zjawisko tym, że strefy uskoku są drogami wynoszenia chlorków z podłoża triasu, w którym stwierdzono obecność wód zmineralizowanych typu NaCl.

### WSTĘP

Doniosły wpływ nieciągłych dyslokacji tektonicznych na warunki krążenia wód podziemnych jest w hydrogeologii powszechnie uznawany. Nierzadko strefy uskoku stanowią uprzywilejowane ze względu na przepuszczalność drogi przemieszczania się wód podziemnych. Wówczas, gdy niweczą ekranujący charakter skał nieprzepuszczalnych rozdzielających poszczególne poziomy wodonośne, stwarzają warunki do wymiany i do mieszania się wód podziemnych o różnym składzie jonowym charakterystycznym dla tych poziomów lub do wynoszenia na powierzchnię wód z poziomów wodonośnych usytuowanych głęboko pod powierzchnią terenu. Stąd też wystąpienia wód zmineralizowanych i termalnych na powierzchni związane są często ze strefami dyslokacyjnymi.

Można się spodziewać, że zmiana składu jonowego wód nie ogranicza się do samego uskoku, lecz obejmuje również w pewnym zasięgu strefy przyuskokowe.

\* Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30.

Zjawisko takie zostało zaobserwowane i udokumentowane m. in. w toku badań chemizmu zmineralizowanych wód w utworach permskich podścielających triasowe piętro wodonośne w rejonie olkuskim zawierające wody słodkie (Motyka i in., 1972; Adamczyk i in. 1978). Stwierdzono, że w strefach sąsiadujących z uskokiem przebijanym wyrobiskami górniczymi nastąpiło znacznie głębsze wysłodzenie zmineralizowanych wód nasycających osady permu niż w strefach bardziej od uskoku oddalonych. W obrazie kartograficznym przejawia się to jako pozioma strefowość hydrochemiczna wynikła z intersekcyjnego przecięcia płaszczyzną poziomą na określonej głębokości stref utworzonych w profilu pionowym. W obrazie tym sąsiedztwo uskoku stanowi strefę o obniżonej mineralizacji (anomalię ujemną) na tle znacznie wyższej mineralizacji wód zawartych w skałach permskich oddalonych od uskoków. Obserwowany, na obszarach oddalonych od uskoków, spadek mineralizacji wód wypełniających osady permskie w miarę zbliżania się do stropu można tłumaczyć dyfuzyjnym ich wysładzaniem i usuwaniem migrujących od dołu soli przez słodkie wody krążące w triasie. Wysłodzenie wód permskich w strefach uskokowych i skałach z nimi sąsiadujących zostało spowodowane procesem przenikania wód triasowych w głąb. Przemieszczanie się wód o silnie zróżnicowanej mineralizacji można traktować jako proces dwukierunkowy. W związku z tym w sprzyjających okolicznościach, tzn. przy odpowiedniej różnicy ciśnień hydrostatycznych, wody słone z głębiej położonych serii skalnych mogą migrować ku górze, wykorzystując dobrą przepuszczalność stref uskokowych. W rezultacie mogłoby to spowodować zmianę chemizmu wód triasowych w strefach uskokowych i ich otoczeniu. Naświetleniu tej kwestii jest poświęcony niniejszy artykuł. Ponieważ wody słone o mineralizacji powyżej 10 mg/l występujące w spągowej partii zlepieńcowo-piaskowcowych osadów permu są typowymi roztworami chlorku sodowego, przeto jako wskaźnik roli uskoków w krążeniu wód przyjęto jon  $\text{Cl}^-$ . Rozmieszczenie zawartości tego jonu w wodach triasowych badanego obszaru zarówno w profilu pionowym triasu, jak i w płaszczyźnie poziomej poddano szczegółowej analizie.

Ogólna charakterystyka chemizmu wód występujących w utworach triasowych, w tym również zawartości chlorków w niecce błędowskiej, której południową część stanowi rejon olkuski, została podana w pracy Rózkowskiej i in. (1975), zwięzły zaś opis warunków hydrogeologicznych tego rejonu m. in. w pracy Kotlickiego (1962), Wilka i Motyki (1977).

#### CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW PODSTAWOWYCH

Materiałem podstawowym do scharakteryzowania przestrzennego rozkładu jonu chlorkowego w wodach triasowego piętra wodonośnego są wyniki ponad 190 analiz chemicznych wód pochodzących z otworów

wiertniczych i studzien wykonanych w utworach wapienia muszlowego oraz retu rejonu olkuskiego. Opróbowany obszar zajmuje powierzchnię wielkości około 320 km<sup>2</sup>. Próbkki wody do analizy były pobierane przez pracowników Zakładu Badań Geologicznych w Krakowie w latach 1952—1972 w trakcie dokumentowania hydrogeologicznego tego obszaru. Znaczna większość analiz została wykonana w laboratorium tegoż Zakładu. Wyniki analiz zostały przez autorów szczegółowo sprawdzone. W tych przypadkach, gdy ze względu na pełny zakres analiz było to możliwe, ich wyniki wyrażano w formie miligramorównoważnikowej i określano wielkość wyrażonego w procentach błędu poszczególnych analiz jako iloraz z różnicy kationów i anionów i sumy jonów. Już w trakcie wstępnej selekcji stwierdzono, że aż 27% analiz nie obejmuje oznaczeń głównych jonów występujących w wodzie, w związku z czym określenie błędu tych analiz nie było możliwe, zaś dla blisko 20% analiz błąd obliczony przekraczał 3%. Ponieważ jednak praca niniejsza dotyczy wyłącznie zawartości jonów Cl<sup>-</sup>, które były oznaczane we wszystkich przypadkach, przeto rozważania na temat przestrzennego rozkładu tego jonu oparto na całości zgromadzonego materiału. Uznano to za słuszne, ponieważ chlorki są stosunkowo łatwe do analitycznego oznaczenia i w związku z tym w toku analizy za pomocą metody stosowanej w Zakładzie Badań Geologicznych popełnia się tylko nieznaczne błędy, według normy PN/C-04552 nie większe niż 0,2 mg/l.

W przypadkach, gdy rozważania autorów dotyczyły mineralizacji ogólnej, uwzględniono tylko te analizy, których błąd nie przekraczał dopuszczonego normami.

Próbki wód do analiz chemicznych pobierane były w trakcie przeprowadzania próbnego pompowań w różnych ogniwach litostratygraficznych triasowego piętra wodonośnego w przedziale głębokości od 35 do 225 m poniżej powierzchni terenu. Stwierdzone analizami koncentracje jonu Cl<sup>-</sup> mieszczą się w granicach od 1 do 344 mg/l. W tabeli 1 przedstawiono w sposób syntetyczny wyniki oznaczeń koncentracji jonu chlorkowego w wodach pobranych do analizy z otworów, w których próbne pompowanie objęło tylko jedno litostratygraficzne ogniwo wo-

Tabela 1  
Zawartości jonu chlorkowego w wodach poszczególnych litostratygraficznych ogniw triasowego piętra wodonośnego

Ogniwo litostratygraficzne	Liczba analiz	Zawartość chlorków mg/l	
		najmniejsza	największa
Dolomity diploporowe	21	2,5	344,3
Dolomity kruszczonośne	17	1,8	28,0
Warstwy olkuskie i golińskie	20	2,5	31,6
Ret	23	6,0	99,5

donośnego piętra triasowego. Można uznać, że próbki te charakteryzują rzeczywisty skład chemiczny wód danego ogniwa w miejscu próbnego pompowania. Pogląd taki znajduje uzasadnienie w tym, że w trakcie próbnich pompowań stosowano niewielkie depresje, a zatem ich zasięg był nieznaczny.

Rozkłady częstości zawartości chlorków w wodach poszczególnych ogniw litostratigraficznych przedstawiono na fig. 1.

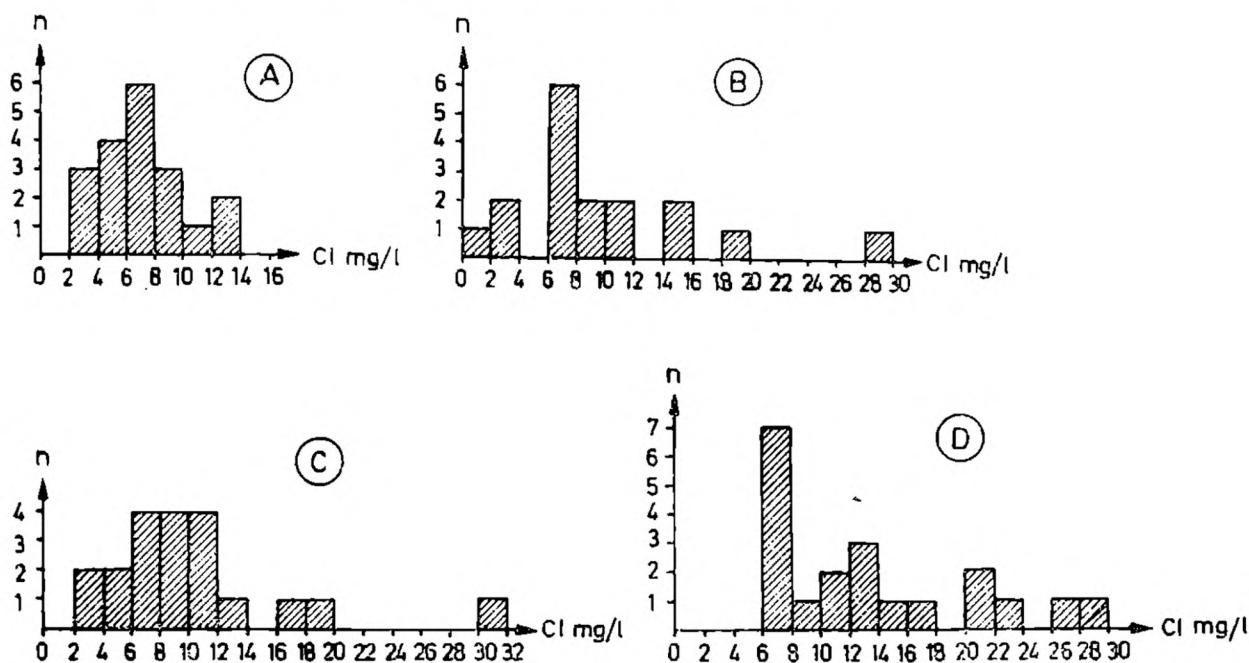


Fig. 1. Rozkłady zawartości chlorków w wodach poszczególnych ogniw litostratigraficznych wodonośnego piętra triasowego. A — dolomity diploporowe; B — dolomity kruszczońskie; C — wapienie dolnego wapienia muszlowego; D — dolomity retu

Fig. 1. Distribution of chloride content in the ground-waters of different lithostratigraphic units of the Triassic water-bearing horizon. A — Middle Muschelkalk, diplopore dolomites; B — Lower Muschelkalk, ore-bearing dolomites; C — Lower Muschelkalk, limestones; D — Roethian, marly dolomites

Analizy nie ujęte w tab. 1 i na fig. 1 reprezentowały wody zmieszane. Pobierano je w trakcie próbnich pompowań obejmujących dwa lub więcej ogniw triasu (62 próbki) lub w trakcie eksploatacji głębokich studzien ujęć wodociągowych (18 próbek), bądź też pochodziły one z otworów z samowypływami (40 próbek). Na diagramach (fig. 1) ze względów technicznych pominięto pojedyncze wysokie koncentracje chlorków (99 mg/l i 94,5 mg/l Cl w wodach retu oraz 85,2 mg/l i 344,3 mg/l w wodach dolomitów diploporowych). Sprawdzone, że informacje o tych anomalnie wysokich zawartościach chlorków są wiarygodne.

Rozmieszczenie opróbowanych otworów wiertniczych i ujęć jest nierównomierne (fig. 2). Stosunkowo znaczna ich ilość jest zlokalizowana w północno-zachodniej i północnej części badanego rejonu. Natomiast niewiele informacji odnosi się do jego części wschodniej i południowo-wschodniej. Tam zaś obserwuje się największą zmienność zawartości



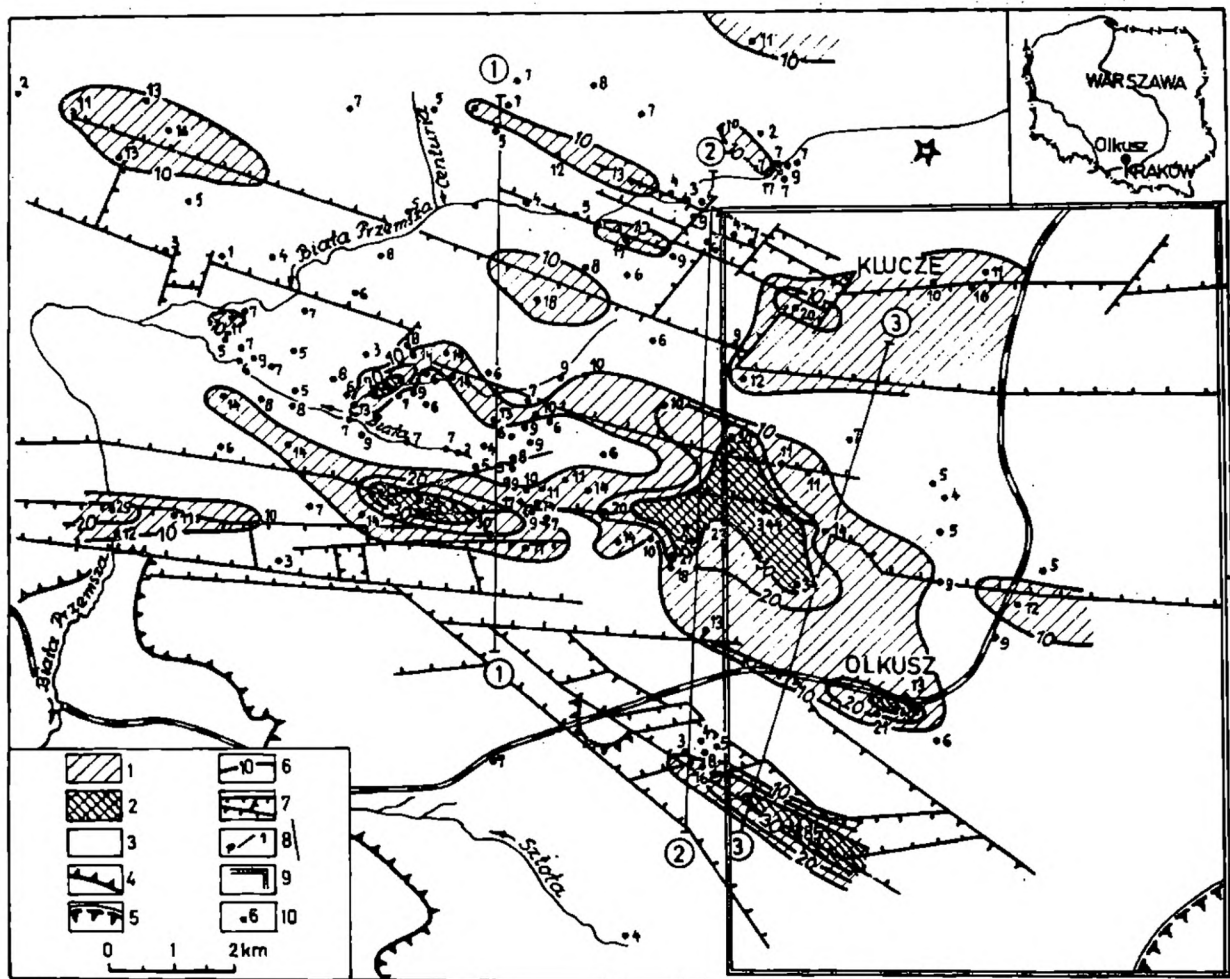


Fig. 2. Mapa zawartości chlorków w wodach piętra triasowego. 1 — obszary występowania wód o zawartości chlorków powyżej 30 mg/l; 2 — obszary występowania wód o zawartości chlorków od 10 do 30 mg/l; 3 — obszary występowania wód o zawartości chlorków poniżej 10 mg/l oraz obszary o nie rozpoznanej zawartości chlorków w wodach; 4 — granica występowania utworów triasu pod czwartorzędem; 5 — granica występowania utworów triasu pod jurą; 6 — izoliny zawartości chlorków w wodach triasowych; 7 — uskoki; 8 — linie przekrojów geologicznych; 9 — granica obszaru, dla którego sporządzono szkic geologiczny podłoża triasu (fig. 6); 10 — linia kolejowa; 11 — punkty poboru próbek wody do analiz z zaznaczoną zawartością chlorków

Fig. 2. Map of the chloride content in the ground-waters of Triassic. 1 — areas of occurrence of ground-waters with chloride content over 30 mg/l, 2 — areas of occurrence of ground-waters with chloride content from 10 mg/l to 30 mg/l; 3 — areas of occurrence of ground-waters with chloride content below 10 mg/l and of unrecognized chloride content; 4 — extent of Triassic under Quaternary; 5 — extent of Triassic under Jurassic; 6 — isolines of chloride content in Triassic ground-waters; 7 — faults; 8 — geological cross-section lines; 9 — border of the territory for which the geological sketch has been made of the Triassic base (Fig. 6); 10 — railroad line; 11 — sites of ground-waters sampling

chlorków w badanych wodach. Niemniej, zdaniem autorów, mimo nierównomiernego rozmieszczenia punktów opróbowania ogólny obraz poziomego rozkładu zawartości chlorków w badanych wodach można uznać za wiarygodną podstawę interpretacji.

Nierównomierność w rozmieszczeniu punktów opróbowania ma natomiast wpływ na rezultat statystycznego opracowania całego zbioru

danych o zawartości jonu  $\text{Cl}^-$ . Wynika to z faktu, iż na obszarach dużego zagęszczenia punktów poboru próbek obserwuje się niskie zawartości chlorków. Ważą więc one na otrzymanej średniej arytmetycznej koncentracji chlorków oraz wpływają na rozkład całej populacji (fig. 1).

W 16 przypadkach pobierano z jednego otworu 2 lub 3 próbki wody z różnych głębokości i różnych ogniw stratygraficznych triasu. Koncentrację jonu  $\text{Cl}^-$  we wszystkich tych próbkach brano pod uwagę zarówno przy analizie statystycznej, jak i przy analizie pionowego rozkładu, natomiast do konstrukcji obrazu rozmieszczenia zawartości chlorków w planie brano wartości uśrednione. Zawartości chlorków w wodach pobieranych z tych samych otworów na różnych głębokościach były z reguły mało zróżnicowane i nie wykazywały wyraźnych kierunkowych tendencji ani wzrostu, ani spadku.

W kilku przypadkach na tej samej głębokości pobierano parę próbek po różnym czasie od rozpoczęcia próbnego pompowania. W tych przypadkach koncentrację chlorków uśredniano i wartość średnią brano zarówno do analizy statystycznej (fig. 1), jak i do konstrukcji przestrzennego rozmieszczenia zawartości chlorków (fig. 2). Należy nadmienić, że zaobserwowane w trakcie próbnego pompowania zmiany zawartości chlorków były niewielkie i nie wykazywały zdecydowanych tendencji zmian kierunkowych.

Z podanych wyżej przyczyn liczba oznaczeń jonu  $\text{Cl}^-$  brana pod uwagę w różnych rozważaniach jest odmienna i wynosi w analizie statystycznej 191 oraz 157 w analizie pionowego i poziomego rozmieszczenia.

#### ANALIZA ROZKŁADU ZAWARTOŚCI JONU CHLORKOWEGO W WODACH PODZIEMNYCH PIĘTRA TRIASOWEGO

Badania nad charakterem rozkładu, określaniem tła i obszarów występowania anomalnych koncentracji składników chemicznych wód podziemnych odgrywają ważną rolę w hydrogeologii. O ile charakter rozkładu można badać za pomocą podstawowych metod statystycznych, o tyle wyodrębnienie z badanej populacji wartości przynależnych do tła lub podzbioru wartości anomalnych jest zagadnieniem znacznie trudniejszym.

Wśród badaczy zajmujących się tą problematyką nie ma zgodności poglądów co do sposobu wydzielenia z badanej populacji podzbioru anomalnych koncentracji danego jonu. Problem nieco się upraszcza w przypadku analizy empirycznego rozkładu o dwu lub więcej maksimumach. Wówczas uzyskujemy przynajmniej pewność, że mamy do czynienia z dwoma lub więcej zmieszanyymi ze sobą elementarnymi rozkładami.

Znacznie bardziej skomplikowana i niejednoznaczna jest analiza rozkładów jednomodalnych. W tym przypadku zgodność między różnymi badaczami dotyczy jedynie ogólnego założenia, że badana populacja składa się co najmniej z dwóch podzbiorów, tzn. koncentracji przyna-

leżnych do tła i do wartości anomalnych. Założenie to, pozornie oczywiste, jest istotne wtedy, gdy nie znamy mechanizmów hydrogeochemicznych i hydrodynamicznych, które decydują o charakterze rozkładu badanej populacji. Ponieważ rzadko je znamy dostatecznie dobrze, stąd też pochodzą różne propozycje stosowania metod rozkładu populacji wartości stężeń składników chemicznych w wodach podziemnych na podzbiory tła i anomalii (Smirnow, 1963; Albul, 1969; Bølviken, 1971; Macioszczyk, 1977).

Na podstawie empirycznych badań Smirnow (1963) stwierdził, że w wodach podziemnych występują trzy podstawowe typy jednomodalnych rozkładów zawartości elementów chemicznych: a) symetryczny, zbliżony do normalnego, b) asymetryczny ze skośnością dodatnią, odpowiadający rozkładowi lognormalnemu, c) asymetryczny ze skośnością ujemną, rzadko spotykany w wodach podziemnych.

W przypadku rozkładu symetrycznego Macioszczyk (1977) proponuje sporządzenie krzywej kumulacyjnej i wstępne założenie 5 lub 10% jako wartości anomalnie niskie, a powyżej 90% lub 95% jako wartości anomalnie wysokie. Przyjęty procent anomalii weryfikuje się aż do uzyskania logicznego i czytelnego obrazu kartograficznego.

Albul (1969) zajmując się zastosowaniem badań hydrogeochemicznych w poszukiwaniach rud proponuje, aby za minimalną wartość anomalną przyjmować średnią koncentrację badanego jonu powiększoną o trzykrotną wartość odchylenia standardowego.

W odniesieniu do rozkładów asymetrycznych z wyraźną skośnością Smirnow (1963) proponuje, aby w pierwszym przybliżeniu traktować je jako rozkłady normalne, których jednorodność została zakłócona przez wpływ wartości anomalnych. Dalszy tok postępowania polega na przyjęciu osi symetrii w miejscu wartości modalnej i wykreśleniu wokół tej osi krzywej parabolicznej. Punkty leżące wyraźnie na zewnątrz paraboli według cytowanego badacza należą do podzbioru wartości anomalnych niskich lub wysokich.

Macioszczyk (1977) zaleca, aby w przypadku rozkładu asymetrycznego ze skośnością dodatnią postępować podobnie jak przy interpretacji rozkładu symetrycznego, posługując się półlogarytmiczną skalą. Według cytowanej autorki można również przyjąć wartość modalną jako oś symetrii i wykreślić symetrycznie do lewej prawą gałąź, której przecięcie z osią koncentracji należy przyjąć jako granicę między tłem a wartościami anomalnymi.

Bølviken (1971) uważa, że przynależność do podzbioru wartości anomalnych może być określona metodą graficzną za pomocą odpowiednich testów statystycznych. W ogólnym zarysie metoda ta polega na wykreśleniu krzywej kumulacyjnej na siatce laplaso-regularnej, a następnie określeniu stopnia zmieszania i parametrów rozkładów badanych podzbiorów tła i anomalii.

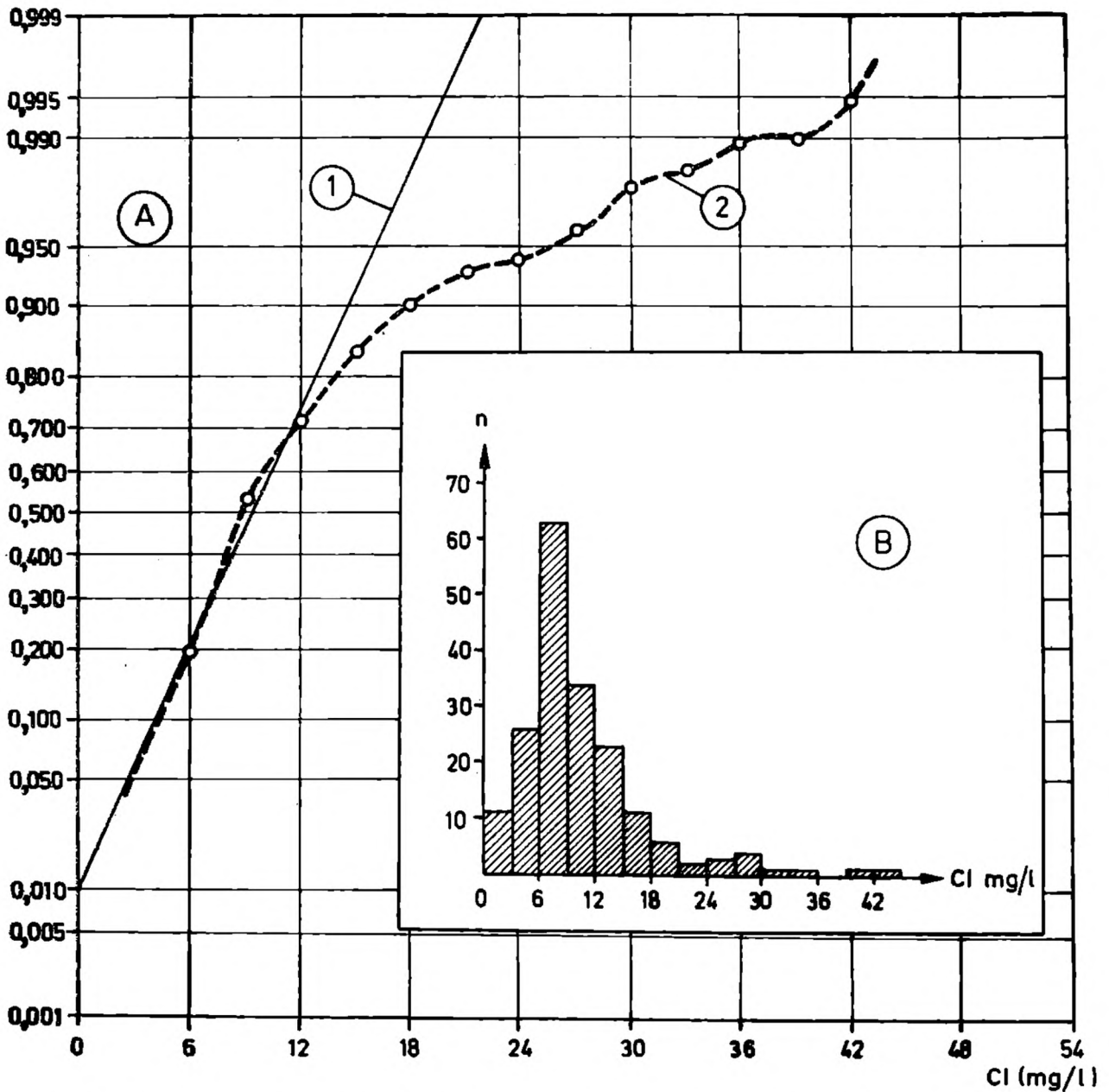


Fig. 3. Rozkład zawartości chlorków w wodach podziemnych piętra triasowego. A — skumulowana częstość względna w probabilistycznym układzie współrzędnych; 1 — prosta teoretyczna dla rozkładu normalnego; 2 — krzywa empiryczna; B — histogram rozkładu

Fig. 3. Distribution of chloride content in ground-waters of Triassic horizon. A — cumulated relative frequency in probabilistic co-ordinate system; 1 — theoretical straight line for normal (standard) distribution; 2 — empirical curve. B — distribution histogram

Rozważany w niniejszej pracy zbiór stężeń jonu chlorkowego w wodach podziemnych piętra triasowego jest wyraźnie jednomodalny, asymetryczny ze skośnością dodatnią (fig. 3). Z analizowanego zbioru zostały wyłączone wyniki oznaczenia koncentracji jonu  $\text{Cl}^-$  w czterech punktach pomiarowych, ponieważ jego stężenia w 3 przypadkach przekraczały 85 mg/l, a w jednym aż 340 mg/l, i wobec tego uznano je jako jawnie anomalne, tzn. nie przynależnego do żadnego z badanych podzbiorów.



Próby rozłożenia omawianego zbioru stężeń jonu  $\text{Cl}^-$  za pomocą metody podanej przez Bølvikena (1971) zakończyły się niepowodzeniem. Za pomocą testów statystycznych udało się jedynie wykluczyć normalność i lognormalność badanej populacji. Z przedstawionej na fig. 3 krzywej kumulacyjnej na siatce laplaso-normalnej można wnioskować, że rozważana populacja składa się co najmniej z dwóch podzbiorów, z czego jeden odpowiadający interpolowanej prostej jest przypuszczalnie podzbiorem wartości tła. Nie udało się określić stopnia zmieszania i parametrów rozkładu podzbioru wartości anomalnych, jakkolwiek można przyjąć, że wpływ tego podzbioru wyrażający się odchyleniem krzywej empirycznej (2) od prostej (1) wyraźnie się uwidacznia począwszy od koncentracji jonu  $\text{Cl}^-$  równej około 12 mg/l. Powyżej stężenia równego około 22 mg/l mamy do czynienia z wartościami przynależnymi wyłącznie do podzbioru koncentracji anomalnych.

Biorąc pod uwagę wnioski z przeprowadzonej analizy populacji stężeń jonu chlorkowego, autorzy wykreślili na mapie koncentracji (fig. 2) dwa pola. Jedno z nich ograniczone izohalinami 10—30 mg/l odpowiada w przybliżeniu obszarom nakładania się wartości tła i anomalii. Drugie ograniczone od dołu izohaliną 30 mg/l zawiera wyłącznie elementy podzbioru wartości anomalnych.

#### PRZESTRZENNE ROZMIESZCZENIE JONU CHLORKOWEGO W WODACH TRIASU OLSKUSKIEGO

Przedstawione na fig. 1 histogramy rozkładu zawartości jonu chlorkowego w wodach z wapienia muszlowego różnią się między sobą tylko nieznacznie, a ich charakter jest zbliżony do rozkładu normalnego. Inny jest natomiast obraz rozkładu chlorków w recie. Zostało to potwierdzone za pomocą testu  $\chi^2$ . Co prawda, podobnie jak w wapieniu muszlowym, dominują tu wody o zawartości chlorków od 6 do 8 mg/l, nie ma jednak wód o zawartości chlorków poniżej 6 mg/l, natomiast dużą grupę stanowią wody o zawartości powyżej 12 mg/l. Wskazywałoby to, że zawartości chlorków w utworach retu są podwyższone w stosunku do ich zawartości w wodach wapienia muszlowego. Wpływa to niewątpliwie w pewnym stopniu na omówiony w poprzednim rozdziale rozkład całej badanej populacji.

Figura 4 przedstawia zależność zawartości chlorków w wodach triasowych od głębokości ich występowania, przy czym jako głębokość przyjmowano położenie środka opróbowywanego odcinka profilu triasu. Z wymienionej figury wynika, że na badanym obszarze w węglanowych utworach triasu nie stwierdzono systematycznego wzrostu zawartości jonu chlorkowego z głębokością w całym jej zbadanym przedziale, który to wzrost wynikałby z normalnej pionowej strefowości geochemicznej. Należy nadmienić, że na tym samym mniej więcej obszarze,

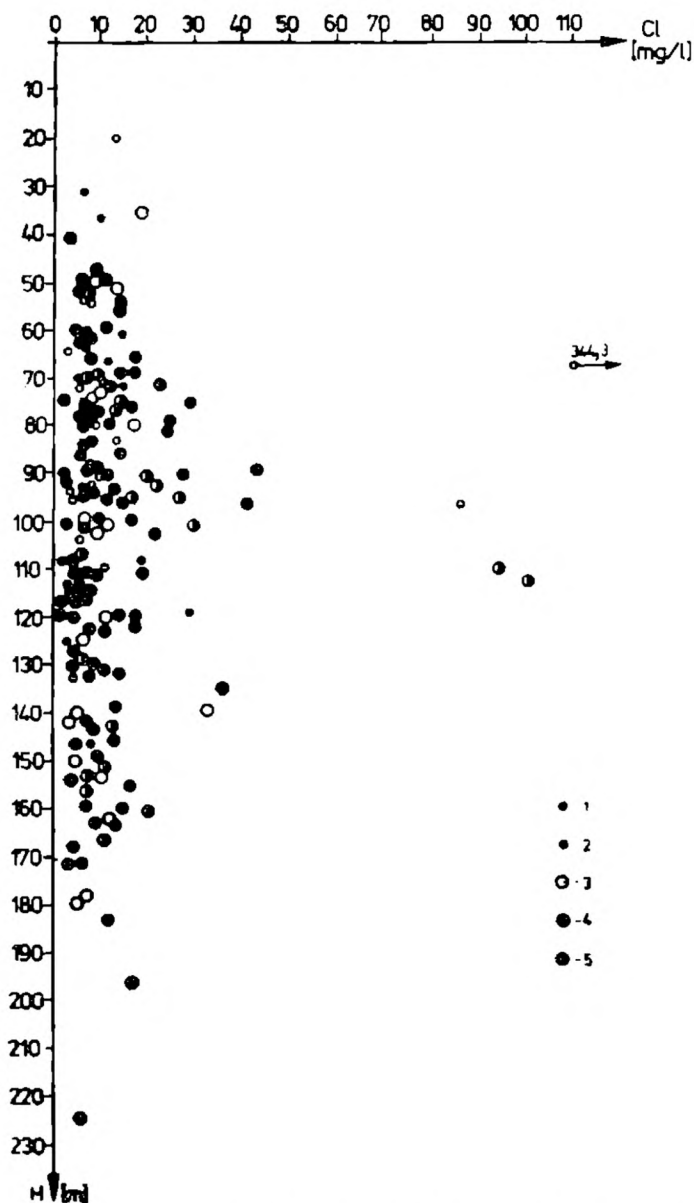


Fig. 4. Zależność zawartości chlorków w wodach piętra triasowego od głębokości ich występowania. 1 — wody z dolomitów diploporowych; 2 — wody z dolomitów kruszczośnych; 3 — wody z warstw olkuskich lub gogolińskich; 4 — wody z retu; 5 — wody reprezentujące kilka ogniw stratygraficznych triasu łącznie.

Fig. 4. Dependence of chloride content in the ground-waters of Triassic horizon on the depth of their occurrence. 1 — ground-waters from diplopore dolomites; 2 — ground-waters from ore-bearing dolomites; 3 — ground waters from Lower Muschelkalk limestones; 4 — ground waters from Roethian; 5 — mixed ground waters representing several of the Triassic lithostratigraphical units

którego dotyczy niniejszy artykuł, Różkowska i in. (1975) zaobserwowali wzrost mineralizacji wód poziomów wodonośnych triasu w zależności od głębokości ich występowania. Dający się zauważyć, na fig. 4 wzrost zawartości chlorków w przedziale głębokości 80 do 140 m może być wyjaśniony położeniem miejsca poboru próbek w stosunku do uskoków, bądź też w stosunku do spągu triasu. Sprawa ta została poruszona w następnym rozdziale.

Zróznicowanie zawartości chlorków w płaszczyźnie poziomej przed-

stawia mapa (fig. 2). Sporządzono ją przy założeniu uzasadnionym diagramem punktowym (fig. 4), że brak jest wyraźnej zależności zawartości chlorków od głębokości poboru prób. W związku z tym wszystkie oznaczenia chlorków zostały odrzucone na płaszczyznę mapy. Obraz rozmieszczenia zawartości jonu chlorkowego w wodach triasowych (fig. 2) wykazuje znaczne jej zróżnicowanie w płaszczyźnie poziomej. Występują na nim obszary o wybitnie podwyższonych zawartościach jonu chlorkowego w stosunku do wartości dominujących (od 6 do 8 mg/l), a także o stosunkowo niskich jego koncentracjach. Obraz ów wykazuje jednak pewne prawidłowości, które można tłumaczyć warunkami krążenia i wymiany między wodami triasowego piętra wodonośnego a wodami występującymi w utworach podścielających.

#### INTERPRETACJA OBRAZU POZIOMEGO ZRÓŻNICOWANIA ZAWARTOŚCI JONU CHLORKOWEGO W WODACH PIĘTRA TRIASOWEGO

Na omawianym obszarze występuje czwartorzędowe, jurajskie i triasowe piętro wodonośne oraz paleozoiczny kompleks wodonośny. Drogi krążenia wód podziemnych w obrębie tych pięter są bardzo skomplikowane (Haładus i in., 1978). Wpływa na to złożona budowa geologiczna rejonu, a co za tym idzie, bardzo urozmaicone, choć niezbyt dobrze rozpoznane warunki zasilania i drenażu poszczególnych pięter wodonośnych. Prócz tego piętra te pozostają ze sobą w łączności hydraulicznej, której typy są bardzo różnorodne, zaś kontury stref kontaktów poza nielicznymi wyjątkami nie są znane (Wilk, Motyka, 1977). Dodatkowe trudności w określaniu dróg krążenia wód podziemnych powoduje szczelinowy i szczelinowo-krasowy typ zbiornika, jakim są jurajskie, triasowe i paleozoiczne skały wodonośne.

W obrębie szczelinowo-krasowych skał piętra triasowego istnieją dogodne warunki dla szybkiej wymiany wody w całym jego profilu. Wody podziemne tego piętra charakteryzuje niewielka mineralizacja, zwykle nie przekraczająca 350 ml/ (Rózkowska i in., 1975; Adamczyk, Wilk, 1976). Są to wody najczęściej typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ . Interesujący nas jon chlorkowy występuje podrzędnie, sporadycznie tylko przekraczając 1 mval/l.

Na znacznym obszarze w podłożu węglanowych osadów triasu zalegają molassowe, zlepieńcowe utwory permu. We wschodniej części rejonu olkuskiego skały triasowe leżą przekraczając na ilastych i węglanowych osadach paleozoicznych (fig. 5, 6). Z powodu niskiej przepuszczalności zlepieńców permskich krążenie wód podziemnych w ich obrębie jest bardzo utrudnione. W wyniku dotychczasowych badań (Motyka i in., 1972; Witczak i in. 1975; Adamczyk i in. 1978) stwierdzono, że w skałach permskich występują wody zmineralizowane.

Granica pomiędzy słodkimi wodami krążącymi w utworach triasu

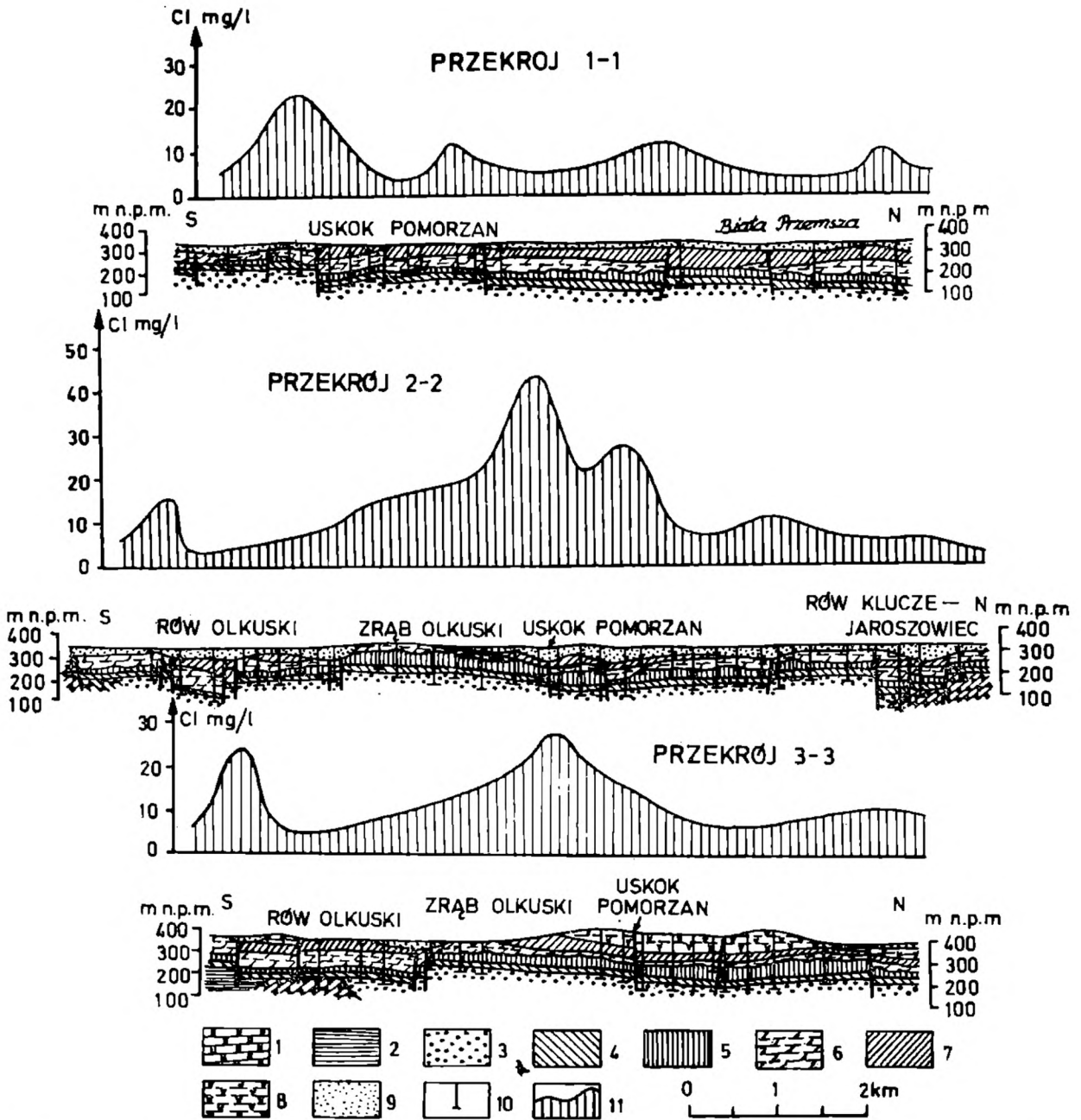


Fig. 5. Zawartość chlorków w wodach piętra triasowego na tle przekrojów geologicznych. 1 — dewon; 2 — karbon; 3 — perm; 4 — ret; 5 — warstwy gogolińskie i olkuskie; 6 — dolomity kruszonośne i diploporowe; 7 — kajper; 8 — jura; 9 — czwartorzęd; 10 — otwory wiertnicze; 11 — wykres zawartości chlorków w wodach piętra triasowego wzdłuż przekrojów geologicznych

Fig. 5. Chloride content in the ground-waters of Triassic horizon upon the background of geological cross-sections. 1 — Devonian; 2 — Carboniferous; 3 — Permian; 4 — Roethian; 5 — Gogolin and Olkusz Beds, (Lower Muschelkalk); 6 — diplopore and ore-bearing dolomites (Lower and Middle Muschelkalk); 7 — Keuper; 8 — Jurassic; 9 — Quaternary; 10 — bore-holes; 11 — graph of chloride content in the ground waters of Triassic waterbearing horizon along with geological cross-section

układa się wzdłuż powierzchni stropowej zlepieńców permskich. Począwszy od tej granicy mineralizacja wód podziemnych rośnie szybko z głębokością. Stwierdzona zawartość substancji rozpuszczonych w wo-



dach utworów permu mieści się w granicach od 0,33 do blisko 22 g/l. Wody słone o mineralizacji powyżej 5 g/l są najczęściej typowymi rozтворami NaCl, niekiedy z podwyższoną zawartością jonów  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Jon chlorkowy występuje w nich w ilości od 60 mg/l do przeszło 12 000 mg/l, średnio kilkadziesiąt razy większej niż w utworach triasu.

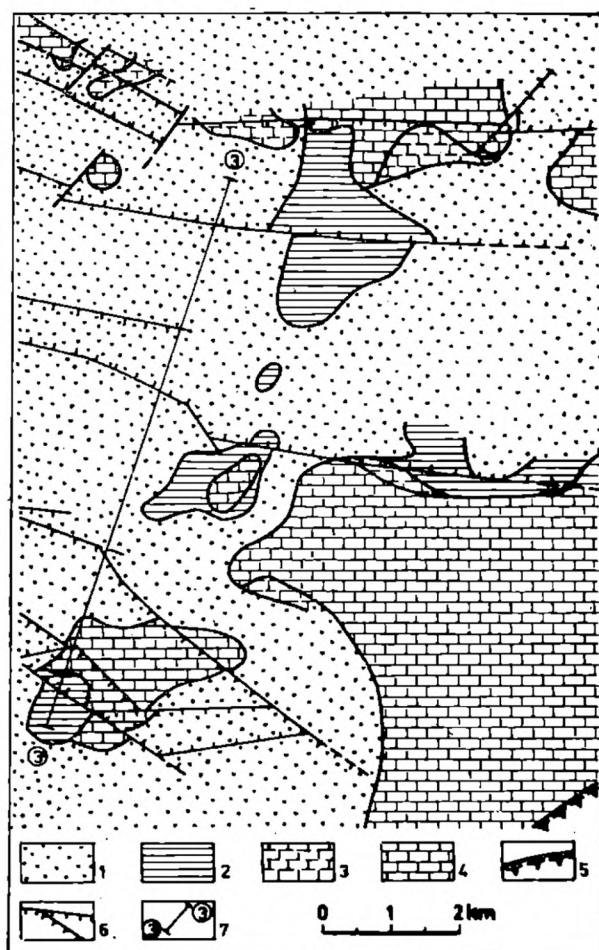


Fig. 6. Szkic geologiczny podłoża triasu we wschodniej części rejonu olkuskiego. 1 — perm; 2 — karbon; 3 — dewon bezpośrednio pod triasem; 4 — trias; 5 — granica zasięgu utworów triasu; 6 — uskoki; 7 — linie przekrojowe

Fig. 6. Geological sketch of the base of Triassic in the eastern part of the Olkusz region. 1 — Permian; 2 — Carboniferous; 3 — Devonian immediately under Triassic; 4 — Triassic; 5 — border of Triassic formation extent; 6 — faults; 7 — geological cross-section lines

Wody występujące w osadach permu, pierwotnie przypuszczalnie słone w całym profilu, ulegają stopniowemu wysładzaniu głównie w drodze dyfuzji, a wynoszone tą drogą sole odprowadzane są przez intensywnie krążące wody triasowe. Niezależnie od tego w strefach spękań towarzyszącym np. uskokom na obszarach, gdzie ciśnienie hydrodynamiczne w utworach permu jest wyższe niż w triasie, sole mogą być wynoszone także przez wody migrujące ku górze z utworów permu.

Pionowy zasięg dyfuzyjnego przenoszenia jonu chlorkowego do wód piętra triasowego jest niewielki. Wynikiem tego procesu jest przypusz-

czalnie nieznaczne podwyższenie zawartości tego jonu w przyspągowym odcinku profilu triasu.

Opracowując przedstawiony na fig. 7 diagram punktowy, uwzględniono wszystkie oznaczenia jonu chlorkowego, a więc zarówno te, które wykonano na obszarach, gdzie chlorki unoszone były do wód triasowych w drodze dyfuzji, jak i tam, gdzie dominował proces transportu soli przez migrujące wody podziemne. Tą drogą mogą być wynoszone znaczne ilości jonu  $\text{Cl}^-$  z głębokiego podłoża triasu, zmieniając nawet skład chemiczny i typ wody. W zależności od przepuszczalności dróg migracji wód słonych i różnicy ciśnień wpływ wynoszenia jonu  $\text{Cl}^-$  może się zaznaczyć we wszystkich ogniwach triasu. Różny też może być rezultat działania tego procesu, wyrażający się wzrostem koncentracji omawianego jonu. Oprócz wymienionych wyżej czynników rolę w ogólnym bilansie jego masy odgrywa także szybkość krążenia wód w utworach triasu.

W świetle powyższych rozważań interesująco przedstawia się obraz poziomego rozmieszczenia jonu  $\text{Cl}^-$  w wodach piętra triasowego przedstawiony na mapie (fig. 2). Wyraźnie widać, że w otoczeniu stref uskokowych zawartość tego jonu jest wyższa niż na obszarach nie zaangażowanych tektonicznie (fig. 2, 6). Szczególnie wysokie koncentracje jonu chlorkowego w wodach piętra triasowego obserwuje się w pobliżu uskoku głównego Pomorzán (fig. 2, 6). Wzrost stężenia jonów  $\text{Cl}^-$  w otoczeniu uskoków można wyjaśnić tym, że strefy uskokowe jako lepiej przepuszczalne i przerywające ciągłość warstw izolujących poszczególne poziomy wodonośne są drogami przenoszenia tych jonów wraz z wodami przemieszczającymi się z głębszego podłoża do węglanowych osadów triasu.

Wydłużony w kierunku równoleżnikowym kształt obszarów o podwyższonej koncentracji chlorków w wodach może być rezultatem dominującego kierunku uskoków, jak też w pewnej mierze regionalnego kierunku ruchu wód podziemnych w wodonośnym piętrze triasowym w okresie poboru próbek wody do analiz, na których oparta jest niniejsza praca. Aktualnie na omawianym terenie ruch wód podziemnych odbywa się w innych kierunkach wymuszonych przez intensywny drenaż kopalń rud cynkowo-olowiowych.

Trudne do jednoznacznego wyjaśnienia jest występowanie podwyższonych zawartości jonu chlorkowego w wodach piętra triasowego we wschodniej części zrębu olkuskiego (fig. 2, 6). Nie można tego faktu tłumaczyć transportem soli przez wody podziemne wykorzystujące strefy uskokowe i migrujące ku górze z uwagi na brak tego typu dyslokacji w tamtej okolicy. Być może obserwowany tam wzrost koncentracji jonu  $\text{Cl}^-$  jest związany z ascenzją głębiej krążących wód zmineralizowanych do utworów triasu poprzez strefy bezpośrednich kontaktów typu sedimentacyjno-transgresywnego pomiędzy triasowym i paleozoicz-

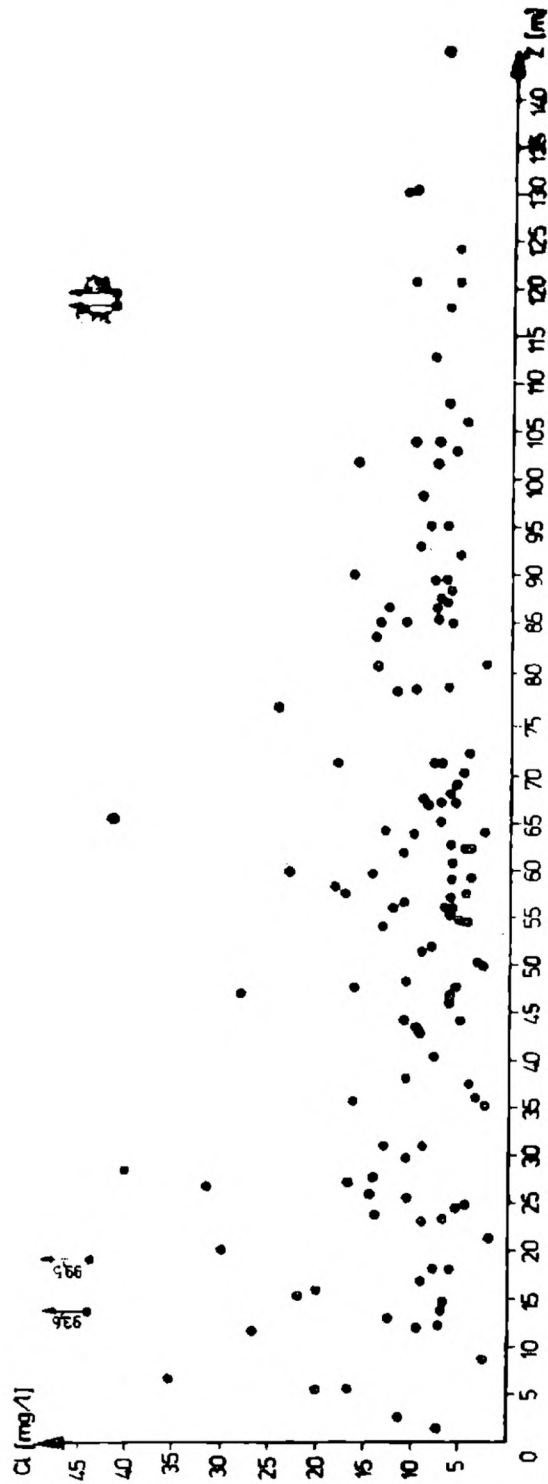


Fig. 7. Zależność zawartości chlorków w wodach piętra triasowego od odległości od spągu triasu (z)

Fig. 7. Dependence of chloride content in the waters of Triassic horizon on the distance from the base of Triassic (z)

nym piętrzem wodonośnym (fig. 6). Ze względu na brak danych o mineralizacji wód krążących w paleozoicznych skałach węglanowych, hipotezy tej nie można uzasadnić. Stwierdzono jedynie, że zwierciadło wody utworów dewonu stabilizuje się znacznie, bo około 20 m wyżej niż w utworach triasu w otoczeniu stref bezpośrednich kontaktów obu pięter wodonośnych. Istnieją zatem hydrodynamiczne warunki dla migracji wód z paleozoicznego do triasowego piętra wodonośnego.

Maszynopis nadesłano X 1978, przyjęto do druku XII 1978

#### WYKAZ LITERATURY — REFERENCES

- Adamczyk A. F., Wilk Z. (1976), Zróżnicowanie chemizmu wód dołowych kopalń rejonu olkuskiego. *Spraw. z Pos. Kom. PAN, Oddz. w Krakowie*.
- Adamczyk A. F., Motyka J., Wilk Z., Witczak S., (1978), Słone wody w osadach permskich północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Salt waters in Permian sediments on the north-eastern border of Upper Silesia Coal Basin), *Rocz. Pol. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)*, 48, 3—4.
- Haładus A., Motyka J., Szczepański A., Wilk Z., (1978), Prognozowanie metodą modelowania analogowego dopływów wody do kopalń pracujących w skałach szczelinowo-krasowych (Forecasting of groundwater inflow into mines operating in fissure-karst horizons by means of electric analog simulation method). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 48, 3—4.
- Kotlicki S. (1962), Problemy hydrogeologiczne triasu regionu śląsko-krakowskiego (Hydrogeological problems in the Triassic of the Silesia-Cracow Region). *Kwart. geol.* 3: 4, 605—620.
- Macioszczyk A. (1977), Wyznaczanie tła i anomalii hydrochemicznych w badaniach hydrogeologicznych (Determination of the background and the hydrochemical anomalies in hydrogeological studies). *Biul. geol. Uniw. Warsz.*, 21: 67—84.
- Motyka J., Niewdana J., Witczak S. (1972), Hydrochemiczna metoda przewidywania zawodnionych stref uskokowych w warunkach jednej z kopalń cynku i ołowiu (The hydrochemical method of forecasting flooded fault zones under the conditions of a zinc and lead mine). *Zesz. Nauk. AGH* 373, zesz. specj. 37: 141—157.
- Motyka J., Wilk Z. (1976), Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbných pompowań (monoklina śląsko-krakowska) (Variation of water permeability with depth of the carbonate Triassic rocks in the light of statistical analysis of pumping tests (Silesia-Cracow monocline). *Kwart. geol.*, 20: 2, 381—399. Warszawa.
- Rózkowska A., Rózkowski A., Rudzińska T. (1975), Charakterystyka hydrochemiczna piętra wodonośnego triasu rejonu śląsko-krakowskiego (Hydrochemical characteristic of the Triassic water-bearing system in the Silesia-Cracow Region). *Inst. Geol. Biul.* 282: 551—581.
- Wilk Z., Motyka J. (1977), Kontakty między poziomami wodonośnymi w oluskim rejonie kopalnictwa rud (Contacts between water-bearing horizons-Olkusz ore mining region near Cracow). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 42: 1, 115—143.



- Witczak S., Adamczyk A. F., Motyka J., Niewdana J. (1975), *Możliwość występowania i wykorzystania wód mineralnych w rejonie Olkusza. Probl. Uzdr.* 7: 177—184, Warszawa.
- Albul S. P. — Албул С. П. (1969), *Рудопоисковая гидрогеохимия. Унив. Дружбы Народов им. П. Лумумбы, Каф. Геол., Москва, 344.*
- Bølviken B. — Бёльвикен Б. (1973), *Статистический подход к проблеме интерпретации данных при геохимических поисках. Геохимические поиски, Мир, Москва, 298—301.*
- Smirnov S. I. — Смирнов С. И. (1963), *Вероятностно-статистические закономерности распределения химических элементов в природных водах. Гидрохимические матер., АН СССР, Москва, 5—55.*

## SUMMARY

**Abstract:** The vertical and horizontal distribution of  $\text{Cl}^-$  ion concentration in the ground-waters of Triassic aquifer in the southern part of the Będów basin north-west of Cracow is presented. The usual systematic growth of content of the ion has not been recorded in relation to depth. Upon the basis of the interpretation of the distribution of concentration of chlorides in the examined waters the value of the background and anomalous high values have been distinguished. The map of distribution of positive anomalies points to the clear connection of their occurrence with the presence of faults and with their course. The authors have explained the phenomenon by pointing that the fault zones are the ways of convectional elevation of chlorides from the base of Triassic where the presence of mineralized waters of the type  $\text{NaCl}$  has been recorded and discussed in the previous authors' paper (Adamczyk et al., 1978).

In the present paper the authors have examined the concentration of chloride ion in the Triassic waterbearing horizon basing their examination on 190 analyses of ground water taken at the time of pumping tests from the bore-holes distributed on the territory of about 130  $\text{km}^2$ . The tectonics of the examined area is well known due to the dense net of ore-prospecting bore-holes. The content of chlorides in the Triassic waters is between 2 ppm to 344 ppm. It has been reported that the distribution of the concentration of chlorides in the examined waters is uni-modal in character, asymmetric with the positive skewness (Fig. 1). Upon the basis of the shape of the distribution curve it has been stated that the concentration value of chloride background is about 12 ppm, whereas the concentration values exceeding 30 ppm have been recognized to be anomalously high. The relation between the concentration of chloride ion and the depth measured in relation to the terrain surface has not been recorded, nevertheless the increase of the chloride content in the base part of the examined aquiferous horizon i.e. in the Roethian has been recorded.

The map of the distribution of the chloride ion content in the Triassic waters (Fig. 2) shows its considerable differentiation in the horizontal plane. There are areas of apparently higher concentration in relation to the background and also of relatively low concentration of  $\text{Cl}^-$ .

The picture shows certain regularities which can be explained by the conditions of circulation and exchange between waters occurring in the Triassic aquiferous horizon and the waters present in underlying formations.

The Triassic waterbearing horizon of the fissure-karstic type about 110 m thick including Roethian and the Lower and Middle Muschelkalk is underlain by the Permian sediments of continental origin. In the Permian deposits there are present mineralized waters of the total ion concentration reaching up to 22 000 ppm and the chloride ion content to 12 000 ppm. Because of the low permeability of the Permian deposits the circulation of waters there is very constrained. In the earlier papers of the authors (Motyka et al., 1972, Witczak et al., 1975, Adamczyk et al., 1978) it has been demonstrated that the waters occurring in the Permian deposits originally salty in the entire profile undergo gradual freshening mainly by way of diffusion. The ascending in this way salts are removed by the fresh waters circulating intensively in very permeable Triassic limestones and dolomites. The vertical range of the diffusive elevation of chloride ion within the Triassic horizon is small. The consequence of this process is probably only a little increase in the content of this ion in the base portion of the Triassic profile (Fig. 7). However, in the zones where fissures accompany faults and the piezometric head in the Permian formations is higher than in Triassic, the salty waters can be elevated by way of convection. In this way large quantities of ion  $\text{Cl}^-$  can be convected not only from Permian but also from the older formations occurring in the base. Depending on the permeability of the migration ways of salt waters and the difference of piezometric pressures as well as on the velocity of the horizontal ground-water flow in Triassic the influence of the convectional elevation of chloride-ion can reach different height. The mentioned process can also influence accordingly the increase of the concentration of chlorides in Triassic waters. Bearing all this in mind the graph of horizontal distribution of ion  $\text{Cl}^-$  presented in Fig. 2 and 6 becomes clear. It is evident there that areas including places with higher concentration of this ion than in the chloride background are mainly situated in the vicinity of fault zones. The elongated shape of the places with the higher concentration of chloride in the Triassic waters corresponds with the main direction of tectonic disjunctive dislocations. Apart from this the shape of hydrochemical anomalies can be influenced by the regional direction of the underground waters flow which was dominant at the time when the samples were being taken. At present on the described territory the movement of the groundwaters in Triassic is different. This is caused by the intensive drainage of the zinc-lead ore mines.