

TADEUSZ DĄBROWSKI

Charakterystyka hydrochemiczna wód głębinowych w utworach permu monokliny przedsudeckiej

THE HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BRINES IN THE PERMIAN DEPOSITS OF THE FORESUDETIC MONOCLINE

STRESZCZENIE: W pracy omówiono wody głębinowe poszczególnych poziomów wodonośnych permu, charakteryzujące się różnym reżimem hydrochemicznym. Wyraża się on odmiennym składem chemicznym i wartościami stosunków jonowych oraz różnym stopniem mineralizacji ogólnej. Wiązać to należy z różną genezą i dynamiką wód oraz odmiennym wykształceniem litologicznym i tektoniką utworów będących kolektorami wód głębinowych. W utworach permu występują bardzo silnie zmineralizowane wody, przeważnie typów Cl-Na, Cl-Na-Mg i Cl-Na-Ca, których mineralizacja wzrasta w miarę oddalania się od strefy podtrzciorzędowych wychodni permu. Przeprowadzona w pracy analiza związków korelacyjnych pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami hydrochemicznymi wykazała obecność stosunkowo niewielkiej liczby zależności. Stanowi to podstawę przypuszczenia, że rola stosunków jonowych w badaniach hydrogeologicznych nie jest jednoznaczna. Wysoka mineralizacja i skład chemiczny wód wskazują, że permskie piętro wodonośne na monoklinie przedsudeckiej leży w strefie niezwykle powolnej wymiany wód, odbywającej się zapewne w skali wieku geologicznego.

WSTĘP

Celem niniejszej pracy jest określenie warunków hydrochemicznych panujących w utworach permu monokliny przedsudeckiej, w strefie, gdzie istnieją perspektywy odkrycia złóż węglowodorów¹. Przeprowadzono również próbę ustalenia wzajemnych zależności między głębokością występowania, ciężarem właściwym, suchą pozostałością i wybranymi

¹ Temat ten stanowi rozprawę doktorską wykonaną pod kierunkiem prof. dr Zdzisława Pazdro w Zakładzie Nauk Geologicznych PAN.

stosunkami jonowymi wód głębinowych. Analiza tych danych miała na celu określenie regionalnego tła hydrochemicznego permu monokliny przedsudeckiej.

Stosunkowo duża ilość danych pozwoliła na opracowanie tego tematu w oparciu o metody statystyczne.

Celowość podjęcia tego typu pracy wynika z faktu, że badania hydrochemiczne mają duże znaczenie praktyczne. Wykorzystać je można między innymi w rozwiązywaniu takich zagadnień, jak:

— ocena jakości prób wody uzyskiwanych w wyniku opróbowania nowych otworów wiertniczych przez porównanie z określonym tłem hydrochemicznym;

— stwierdzenie, czy pojawiająca się w naftowym otworze eksploatacyjnym woda pochodzi ze strefy złożowej, czy też na skutek złego stanu technicznego otworu dostała się tam z wyżej leżącej warstwy wodonośnej;

— określenie roli stref dyslokacyjnych w przepływach wód głębinowych;

— wyznaczanie stref intensywnej wymiany i przypuszczalnych kierunków przepływu wód głębinowych.

Znajomość tych zagadnień z powodzeniem można wykorzystać do regionalnej oceny perspektyw występowania bituminów oraz do ukierunkowania wiertniczych prac poszukiwawczych.

W pracy nie podjęto próby ustalenia pochodzenia wód głębinowych występujących w permskim piętrze wodonośnym monokliny przedsudeckiej.

Większość danych hydrogeologicznych wykorzystanych w niniejszym opracowaniu pochodzi z wierceń wykonanych przez Przedsiębiorstwa Poszukiwań Naftowych podległe Zjednoczeniu Górnictwa Naftowego. Analizy chemiczne wód zostały wykonane w laboratoriach ruchomych PPN Piła, Kraków i Zielona Góra. W pracy uwzględniono również wyniki wierceń wykonanych na zlecenie Instytutu Geologicznego przez Przedsiębiorstwa Geologiczne podległe Centralnemu Urzędowi Geologii. Analizy chemiczne wód pobranych z tych otworów wykonano w Głównym Laboratorium Instytutu Geologicznego w Warszawie.

Autor składa serdeczne podziękowanie prof. dr Zdzisławowi Pazdro za opiekę i liczne rady, z których korzystał w czasie przygotowywania rozprawy.

Pragnę również podziękować prof. dr A. Polańskiemu i dr hab. J. Dowgiałko za cenne uwagi krytyczne zawarte w recenzjach, które uwzględniono przygotowując pracę do druku.

W czasie analizy materiałów i pisania tekstu pracy korzystałem z rad i uwag dr hab. B. Kozerskiego i dr hab. A. Radwańskiego, którym za okazaną pomoc jestem wdzięczny.

Wykonanie tej pracy było możliwe dzięki poparciu i pomocy, jakiej udzieliły mi dyrekcja Zjednoczenia Górnictwa Naftowego i Zakładu Opracowań Geologicznych Górnictwa Naftowego „Geonafte”, reprezentowane przez dr P. Karnkowskiego, dr inż. Z. Sliwińskiego i mgr Z. Koraba, którym serdecznie dziękuję.

Chciałbym także podziękować moim kolegom z Zakładu Opracowań Geologicznych Geonafta, mgr J. Bojarskiej i inż. W. Boguszowi, za życzliwe uwagi i dyskusje, oraz inż. Z. Cwierz, techn. M. Rochnie, techn. J. Stacherze i techn. E. Stępniewskiej za pomoc w zebraniu i zestawieniu materiałów wykorzystanych w pracy.

PRZEGLĄD PUBLIKACJI I WAŻNIEJSZYCH OPRACOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH PERMU MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ

Rozpoznanie warunków występowania wód głębinowych w utworach paleozoiku monokliny przedsudeckiej było możliwe dzięki głębokim wierceniom poszukiwawczym. Prace te rozpoczęto na szeroką skalę dopiero po wojnie i dlatego historia badań hydrogeologicznych na tym obszarze jest stosunkowo krótka.

Pierwsze dane dotyczące chemizmu wód w utworach permskich obszaru przedsudeckiego przedstawiła J. Gumułka (1964).

W rok później perspektywy występowania węglowodorów na Niżu Polskim w świetle wyników badań hydrochemicznych przedstawili S. Depowski & al. (1965).

Typy hydrochemiczne oraz zmiany mineralizacji i ciężaru właściwego wód pochodzących z utworów permu i triasu obszaru przedsudeckiego opisała J. Bojarska (1965).

Wyniki analiz chemicznych oraz zmienność wybranych stosunków jonowych wód w utworach permskich omawianego obszaru przedstawiła B. Łaszcz (1966a, b), przeprowadzając jednocześnie próbę oceny perspektyw występowania ropy i gazu na podstawie danych hydrochemicznych.

L. Cimaszewski (1967) omawiając anomalie hydrochemiczne złóż naftowych ilustruje swoje rozważania także przykładami z monokliny przedsudeckiej.

J. Gumułka (1966, 1968) przedstawiła charakterystykę wód w poziomach czerwonego spagowca, wapienia podstawowego i dolomitu głównego na tle geochemii wód w utworach permskich obszaru przedsudeckiego. W opracowaniach tych, dzięki danym otrzymanym z nowych wierceń, autorka rozwiązuje szereg problemów zasygnalizowanych w pracy z 1964 roku.

Kolejne opracowanie hydrochemii wód głębinowych z utworów permskich i triasowych monokliny przedsudeckiej przedstawiły J. Bojarska i B. Łaszcz-Filakowa (1968).

Obszerną analizę warunków hydrogeologicznych w rejonie Lubin-Sieroszowice przedstawił J. Sztelak (1968).

Omawiając anomalie bromkowe w wodach podziemnych Polski, K. Schoeneich (1970a) wydzieliła dwie anomalie w utworach dolomitu głównego na monoklinie przedsudeckiej w rejonie Chyż i Zakrzewa. W innym artykule ten sam autor zamieszcza szereg map rozkładu minera-

lizacji ogólnej wód (Schoeneich 1970b), obejmujących między innymi i obszar przedsudecki.

W opracowaniu warunków geologicznych i złożowych wapienia podstawowego i stropowych partii czerwonego spągowca (Birecki & *al.* 1970) omówiono perspektywy występowania węglowodorów na obszarze zachodniej i środkowej części monokliny przedsudeckiej. Jednym z kryteriów oceny była analiza warunków hydrochemicznych panujących w tych poziomach stratygraficznych.

Możliwość określania przypuszczalnych kierunków przepływu wód głębinowych na podstawie zmian ich chemizmu przedstawił T. Dąbrowski (1972a) na przykładzie wybranych rejonów monokliny przedsudeckiej i syneklizy perybałtyckiej.

Warunki hydrogeologiczne dolomitu głównego omawianej jednostki geologicznej są tematem pracy J. Bojarskiej i T. Dąbrowskiego (1970).

Na zakończenie podkreślić należy brak prac omawiających zagadnienia hydrodynamiki wód głębinowych w utworach permu monokliny przedsudeckiej. Wynika to z bardzo małej ilości poprawnie przeprowadzonych pomiarów parametrów hydrodynamicznych w głębokich otworach wiertniczych.

Dotychczasowe opracowania wyników analiz chemicznych wód mają w większości charakter przyczynków do oceny perspektyw występowania złóż węglowodorów na omawianym obszarze. Wydaje się, że zasygnalizowane zależności między chemizmem wód głębinowych a znanymi złożami ropy naftowej i gazu ziemnego wymagają dalszych badań.

CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA PERMU

Szczegółową charakterystykę geologiczną i strukturalną obszaru przedsudeckiego przedstawił J. Sokołowski (1967). Wśród nowszych prac na temat permu wymienić należy opracowanie T. Bireckiego & *al.* (1970), w którym przedstawiono rozkład miąższości i litofacji oraz sytuację strukturalną wapienia podstawowego, a także położenie stropu czerwonego spągowca, w zachodniej i środkowej części monokliny przedsudeckiej.

To samo zagadnienie dla dolomitu głównego tegoż obszaru opracowane zostało przez J. Bojarską & *al.* (1971).

Najstarszymi utworami monokliny przedsudeckiej, które stwierdzono w szeregu profilach otworów wiertniczych, są osady karbonu wykształcone w postaci ilowców, mułowców i piaskowców, o miąższości przekraczającej miejscami 2500 metrów. Na karbonie spoczywa kompleks osadowy permu-triasowy również o dużej miąższości.

Z uwagi na fakt, że opracowanie obejmuje analizę hydrochemiczną permu, warunki geologiczne tego piętra zostaną omówione szerzej.

Szczegółowa stratygrafia czerwonego spągowca ze względu na brak skamieniałości przewodnich jest trudna do ustalenia. Nie można stwierdzić czy na omawianym obszarze występuje pełny profil osadów tego wieku, czy też tylko jego część górna lub dolna. Utwory czerwonego spągowca występują w dwóch litofacjach: piaszczystej z przewarstwieniami zlepieńców i piaszczystej z przewarstwieniami łupków (Birecki & *al.* 1970). Miąższość osadów jest zmienna i waha się w granicach 0—900 m i powyżej. Osady te zapadają ku północy i północnemu wschodowi. Liczne dyslokacje o kierunkach SSW-NNE, SW-NE i SE-NW dzielą te osady na bloki strukturalne.

Stropowe partie czerwonego spągowca wykształcone są w postaci drobno- i średnioziarnistych piaskowców kwarcowych o spoiwie węglanowo-żelazistym lub ilastym.

Powyżej czerwonego spągowca występują na ogół piaskowce określane mianem białego spągowca. Niektórzy badacze zaliczają te osady do cechsztynu (Wyżykowski 1964, Sokołowski & Poborski 1970). Własności fizyczne piaskowców białego spągowca są zbliżone do wartości charakterystycznych dla czerwonego spągowca i w pracy oba poziomy omawiane są łącznie jako jeden poziom wodonośny.

Osady klastyczne czerwonego i białego spągowca przykryte są przez utwory węglanowe wapienia cechsztyńskiego. W niniejszej pracy serię tę, zgodnie z nomenklaturą stosowaną w górnictwie naftowym, nazywa się wapieniem podstawowym.

W spągowej partii tych utworów występują przeważnie łupki miedzionośne o miąższości w granicach 0,1—2 m. Jedynie w rejonie Lubina łupki osiągają miąższości rzędu 20 m (Sokołowski 1967).

W obrębie serii wapienia podstawowego monokliny przedsudeckiej wyróżnia się trzy zasadnicze facje: węglanowo-terrygeniczną, dolomitów i wapieni masywnych oraz węglanowo-mułowcową (Birecki & Karnkowski 1971). Miąższość tej serii zmienia się w granicach 0—80 m. Najlepsze własności kolektorskie skał stwierdzono w obrębie facji dolomitów i wapieni masywnych.

Charakter strukturalny poziomu wapienia podstawowego można uważać za zbliżony do obserwowanego w poziomie czerwonego spągowca. Wyjątek stanowią obszary o dużych miąższościach skał węglanowych.

Utwory wapienia podstawowego, reprezentujące cyklotem Werra, przykryte są przez osady ewaporatowe (anhydryty i sole) o miąższościach od kilkudziesięciu do powyżej 300 metrów. Na nich leży niewielkiej miąższości warstwa ilów brunatnych podścielających utwory dolomitu głównego cyklotemu Stassfurt. Opierając się na opisach rdzeni z wierceń wykonanych na monoklinie przedsudeckiej wyróżniono w poziomie dolomitu głównego trzy facje: dolomitów masywnych oraz wapieni dolomitycznych i margli, dolomitów masywnych z przewarstwieniami dolomitów algowo-onkolitowych oraz dolomitów i wapieni z przewarstwieniami margli

i łupków (Bojarska & *al.* 1971). Miąższość utworów dolomitu głównego jest zmienna i waha się w granicach 0—190 m, a ogólny kierunek zapadania N i NE.

Godnym podkreślenia jest bardzo skomplikowana budowa tektoniczna poziomu dolomitu głównego. Stwierdzono w jego obrębie liczne dyslokacje o kierunku NNE-SSW lub do niego zbliżonym (Bojarska 1971).

Nad dolomitem głównym występują nieprzepuszczalne anhydryty, sole kamienne, lokalnie sole potasowe i magnezowe oraz serie iłow i łowców cyklotemów Stassfurt, Leine i Aller, które kończą profil cechsztynu.

W sumie utwory tego wieku reprezentują kompleks skał o miąższości w granicach od ok. 100 do powyżej 900 m.

Ponad osadami permu leżą zgodnie utwory triasu, których miąższość dochodzi do ok. 1000 metrów.

Osady jury występują w północnej i północno-wschodniej części omawianego rejonu. Ulegają one wyklinowaniu w kierunku południowo-zachodnim, na skłonie monokliny.

Osady jury, triasu i permu monokliny przedsudeckiej przykryte są niezgodnie i przekraczają przez utwory młodszego trzeciorzędu (neogen), których miąższość osiąga średnio ok. 300 metrów.

Cały obszar monokliny przedsudeckiej pokrywają osady czwartorzędu o zmiennej miąższości od kilkunastu do około 100 metrów.

WARUNKI WYSTĘPOWANIA WÓD GŁĘBINOWYCH W UTWORACH PERMU

Wiercenia wykonane na monoklinie przedsudeckiej pozwoliły na wydzielenie permskiego, triasowego, trzeciorzędowego i czwartorzędowego piętra wodonośnego.

Skład chemiczny wód podziemnych zależy od wielu warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Spośród najważniejszych czynników kształtujących chemizm wód wymienić należy:

- historię geologiczną obszaru,
- tektonikę,
- litologię osadów, ich miąższość i rozprzestrzenienie,
- warunki podziemnej wymiany wód,
- fizyczne własności skał wodonośnych,
- czas przebywania wód w środowisku skalnym,
- warunki hydrodynamiczne,
- temperaturę.

Tak duża liczba czynników powoduje, że wyjaśnienie procesów kształtujących skład jonowy wód jest zadaniem bardzo trudnym. Szczególnie trudności napotyka się przy badaniach chemizmu silnie zmineralizowanych wód głębinowych, które w czasie swych podziemnych przepływów

brały udział w nakładających się na siebie procesach geochemicznych.

Wynikiem tych procesów jest bardzo silne zróżnicowanie składu chemicznego wód, na co wskazują wyraźne różnice w składzie jonowym, obserwowane nawet w obrębie niewielkich bloków strukturalnych.

W permskim piętrze wodonośnym monokliny przedsudeckiej wody głębinowe znane są z trzech poziomów. Najniższy — występuje w stropowych partiach czerwonego spągowca; wyższy związany jest z wapieniem podstawowym, a najwyższy z dolomitem głównym. Obok tych trzech głównych poziomów wodonośnych mogą występować lokalnie niewielkie ilości wód w szczelinach lub dyslokacjach przecinających anhydryty i sole cechsztynu.

Stropowe partie czerwonego spągowca i biały spągowiec wykształcone są w postaci drobno- i średnioziarnistych piaskowców, których porowatość efektywna² zmienia się w granicach 2—30%. Brak jest danych dotyczących szczelinowatości tych utworów.

Przepuszczalność piaskowców czerwonego i białego spągowca jest bardzo silnie zróżnicowana. Zmienia się ona w granicach od 0 do ok. 200 mdcy (tab. 1).

W stropowych partiach czerwonego spągowca występują wody typu subartezyjkiego (tab. 1). Brak odpowiedniej liczby pomiarów ciśnień złożowych lub wysokości ustabilizowanego zwierciadła wody nie pozwala na określenie kierunków i prędkości przepływów. Przyływy wód do otworów są zróżnicowane i wahają się od kilku do ok. 100 l/godz./1 metr opróbowanego interwału.

W spągowych partiach wapienia podstawowego spotyka się serię łupków miedzionośnych. Jest możliwe, iż lokalnie odgrywają one rolę nieprzepuszczalnego ekranu rozdzielającego poziomy wodonośny czerwonego spągowca i wapienia podstawowego.

Osady wapienia podstawowego są szczelinowo-porowym kolektorem wód głębinowych. Brak jest danych dotyczących wymiarów, gęstości występowania i stopnia wypełnienia szczelin w tym poziomie wodonośnym. Przeprowadzenie tego typu obserwacji w głębokich otworach jest praktycznie niemożliwe, a wyniki badań laboratoryjnych nie wystarczają do scharakteryzowania całego przewierconego kompleksu skał.

Porowatości efektywne utworów węglanowych wapienia podstawowego wahają się w granicach 1—12%, a przepuszczalność określona na próbach z rdzeni zmienia się od 0 do ok. 200 mdcy (tab. 1). W większości oznaczeń laboratoryjnych wartość przepuszczalności jest niższa od 50 mdcy.

W poziomie wodonośnym wapienia podstawowego występują wody subartezyjne (tab. 1). Liczba wykonanych pomiarów ciśnień złożowych lub wysokości ustalonego zwierciadła wód jest zbyt mała do określenia kierunków i prędkości przepływów w tym poziomie wodonośnym. Prze-

² Badaniom laboratoryjnym poddawane są nie spekane fragmenty skał.

Tabela (Table) 1

Zestawienie wybranych otworów, w których określono parametry hydrodynamiczne w utworach permu monokliny przedsudeckiej
 Selected boreholes where hydrodynamic parameters have been determined in Permian deposits of the Foresudetic monocline

Otwór /Borehole/	Wysokość otworu w m n.p.m. /Borehole elevation a.s.l. in m/	Głębokość oprobowanego interwału w m /Depth of tested interval in m/	Przepuszcza- czalność określona laboratory- ryjnie mdoy /Permeability stated by laboratory methods in mdoy/	Pierwotne ciśnienie warstwowe at. /Primary hydrostatic pressure in at./	Wysokość ustalonego zwierciadła wody w m n.p.m. /Depth of water surface in m a.s.l./	Przyływ wody m ³ /h /Water inflow in m ³ /h/	Sposób opróbowania: 1 - próbnikiem 2 - obserwacje zwierciadła wody /Way of testing: 1 - formation tester 2 - observations of water level/
Poziom wodonośny dolomitu głównego /Main dolomite aquifer/							
Borz. 4	90,2	1332,5-1317,0	0,3	140	-	11,6	1
Borz. 8	88,3	1332,5-1317,0	0,3	140	-	11,6	1
Dęb. 1	95	1279,8-1256,1	1,5	139,8	-	17	1
N.S. 1	75	1009,5-980,8	1,5	-	-5,3	b.d.	2
N.S. 3	74	706,0-697,5	1,8	-	+34	0,3	2
Ryb. 3	35	1942,0-1914,3	60,8	-	+32	0,6	2
		1960,6-1914,8	11,0	-	+54,6	samowypływ	
Poziom wodonośny wapienia podstawowego /Basic limestone aquifer/							
Cze. 9	148,5	1588,3-1571,8	130,5	b.d.	-	9,5	1
Mąk. 4	198,0	1570,8-1587,0	151,5	155	-	13,2	1
Paż. 1	101,0	1404,1-1439,0	7,4	140,5	-	b.d.	1
		1446,1-1468,7	0,7	157,0	-	b.d.	1
Prze. 1	136	1621,2-1652,1	4,8	189,5	-	15,2	1
Siek. 2	151,5	1466,7-1491,5	2,0	150,5	-	8,2	1
Poziom wodonośny czerwonego spagowca /Rotliegendes aquifer/							
Borz. 4	90,2	1440,0-1470,0	141	136,4	-	b.d.	1
Brzó. 1	86,5	1908,0-1922,0	176	-	-264?	2,5	2
Choj. 1	62,5	1505,0-1530,0	102	-	-245?	b.d.	2
Czek. 4	61,0	1798,0-1835,0	0,3	188,5	-	0,7	1
Wys. 2	168,0	1284,0-1305,0	180	121	-	2,0	1

Uwagi: — 264 ? — pomiar wykonano przed całkowitym ustabilizowaniem się zwierciadła wody w otworze, b.d. — brak danych w sprawozdaniu wynikowym otworu

Remarks: — 264 ? — measurement completed before full stabilization of water level in the borehole, b.d. — no data available in the borehole record

pływy wód do otworów natomiast są zróżnicowane i wahają się od paru litrów do kilku m³/godz./1 m opróbowanego interwału.

Pomiędzy wapieniem podstawowym i dolomitem głównym występują anhydryty i sole z wkładkami iłów. Uniemożliwiają one wymianę wód między tyami poziomami.

W dolomicie głównym przeważają wody szczelinowe. Porowatość efektywna tych osadów jest niska i wyjątkowo przekracza 10%. Laboratoryjne oznaczenia przepuszczalności wskazują, że utwory dolomitu głównego są słabo przepuszczalne. Najczęściej spotyka się przepuszczalności rzędu 0,1—20 mdcy (tab. 1). Ze względu na szczelinowaty charakter tego poziomu wodonośnego lokalnie można się spodziewać stref o bardzo dobrych własnościach kolektorskich. Przypuszczenie to potwierdzają duże przepływy ropy i solanek stwierdzone w rejonie Rybak i Pomorska.

Zwierciadło statyczne wód w utworach dolomitu głównego układa się przeważnie poniżej powierzchni terenu. Czasami spotyka się również wody pod ciśnieniem artezyjskim (tab. 1). Liczba pomiarów ciśnień złożowych nie pozwala na przeprowadzenie analizy warunków krążenia wód głębinowych w tym poziomie wodonośnym. Przypływy wód do otworów są różnej wielkości, od kilku l/godz. do ok. 1,0 m³/godz./1 m opróbowanego interwału.

Osady dolomitu głównego stanowią najwyższy permski poziom wodonośny. Powyżej nich leżą anhydryty i sole z przewarstwieniami iłów rozdzielające permskie i triasowe piętro wodonośne.

Pomiary temperatur w głębokich otworach wiertniczych na monoklinie przedsudeckiej wykonywane były stosunkowo rzadko. W wyniku pomiarów przeprowadzonych w obrębie utworów permu ustalić można, że stopień geotermiczny na tym obszarze zwiększa się w miarę oddalania od bloku przedsudeckiego od około 30 do ok. 41 m/1° C, w peryferycznej części monokliny przyległej do synklinorium szczecińsko-łódzko-miechowskiego.

Analizując budowę geologiczną oraz skład chemiczny wód głębinowych przyjąć można, że współczesnym obszarem zasilania omawianego piętra wodonośnego jest strefa podtrzeciorzędowych wychodni permu przyległa do bloku przedsudeckiego. Świadczyć o tym może stosunkowo niska mineralizacja wód (od ok. 1 g/l do ok. 20 g/l) stwierdzona w utworach czerwonego spągowca i wapienia podstawowego w rejonie Lubin-Sieroszowice (Sztelak 1968).

Kierunek zapadania utworów permskich, wzrost mineralizacji i przeobrażenia składu chemicznego³ pozwalają przypuszczać, że regionalny bardzo powolny przepływ wód odbywa się ku NW, N i NE.

³ Pod tym pojęciem rozumie się wszelkie zmiany w składzie chemicznym wód, jakie nastąpiły w czasie ich podziemnego obiegu, bez uwzględnienia ich pochodzenia. Zespół tych przemian I. I. Chebotariev (1955) określa mianem metamorfizmu. Przeobrażenia składu chemicznego, jakim ulegają wody reliktove w czasie diagenety osadów, E. T. Degens i G. V. Chilingar (1967) nazywają diagenetą wód.

Tabela (Table) 2

Otwór /Borehole/	Średnia głębokość oprobowanego interwału w m /Mean depth of tested interval in m/	Poziom wodonośny /Aquifer/	Wskaźniki hydrochemiczne /Hydrochemical coefficients/		
			sucha pozostałość g/l /dry residue in g/l/	rNa ⁺ + rK ⁺	rCa ⁺⁺
				rCl ⁻	rMg ⁺⁺
Biel. 1	1637 1678	wapień podstawowy czerwony spągowiec	171,9	0,42	3,5
			118,5	0,48	7,2
Borz. 8	1334 1467	dolomit główny wapień podstawowy	163,2	0,90	1,0
			248,0	0,76	3,4
Brzó. 1	1608 1919	dolomit główny czerwony spągowiec	332,0	0,51	1,5
			312,8	0,40	4,3
Cze. 2	1512 1532	wapień podstawowy czerwony spągowiec	232,4	0,68	4,9
			226,4	0,78	15,4
Odoł. 2	1444 1628	dolomit główny czerwony spągowiec	298,8	0,83	2,5
			280,2	0,75	4,6
Osiecz. 1	1871 2199	dolomit główny czerwony spągowiec	369,8	0,62	1,2
			302,8	0,48	2,8
Radu. 1	1609 1990	dolomit główny czerwony spągowiec	367,1	0,36	0,6
			278,4	0,95	8,2
Raw. 4	1407 1638	dolomit główny czerwony spągowiec	342,5	0,53	4,0
			218,7	0,49	4,4

Wysoka mineralizacja i skład jonowy wód wskazują, że permskie piętro wodonośne występuje w strefie hydrodynamicznej charakteryzującej się niezwykle powolną wymianą wód, zapewne w skali wieku geologicznego. Biorąc pod uwagę stosunkowo słabe własności hydrogeologiczne skał permskich, spodziewać się należy bardzo małych prędkości przepływu wód. Lokalnie w odpowiednich warunkach geologiczno-strukturalnych mogą one znajdować się w stagnacji.

Dużą rolę w podziemnych przepływach odgrywać mogą dyslokacje dzielące utwory permu na liczne bloki tektoniczne. Niejednokrotnie w pojedynczych, zlokalizowanych w sąsiedztwie dyslokacji otworach obserwuje się anormalny skład chemiczny wód polegający na wyraźnie obniżonej ich mineralizacji. Brak większej liczby wierceń, zlokalizowanych w sąsiedztwie, uniemożliwia określenie zasięgu i wyjaśnienie pochodzenia tych anomalii hydrochemicznych.

Przypuszczalnie obszarem drenującym utwory permskie monokliny przedsudeckiej jest synklinorium szczecińsko-łódzkie.

Wyjaśnienie genezy wód w utworach permu monokliny przedsudeckiej jest zadaniem bardzo trudnym, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwym. Rozwiązanie tego problemu wymagałoby między innymi szczegółowej analizy paleohydrogeologicznej, do przeprowadzania której nie ma jeszcze wystarczającej ilości danych geologicznych, hydrochemicznych i hydrodynamicznych.

W obrębie permskiego piętra wodonośnego występuje zaburzenie pionowej strefowości hydrogeochemicznej. Wody w utworach dolomitu

głównego są silniej zmineralizowane niż w poziomach wodonośnych czerwonego spągowca i wapienia podstawowego. Zjawisko to ilustrują wybrane dane zestawione w tabeli 2.

Na podstawie przedstawionych danych stwierdzić można, że warunki hydrogeologiczne utworów permu monokliny przedsudeckiej są bardziej skomplikowane. Jest to wynikiem zmiennej litologii i tektoniki, a także występowania wód różnego pochodzenia. Zróżnicowanie składu chemicznego wód oraz niedostatek pomiarów hydrodynamicznych powodują, że stan rozpoznania warunków hydrogeologicznych tego obszaru trudno jest uznać za zadowalający.

Osady permu na omawianym obszarze przykryte są dużej miąższości kompleksem skał triasowych. W utworach tego piętra wydzielić można trzy poziomy wodonośne: pstrego piaskowca, wapienia muszlowego i kajpru. Występują w nich wody silnie i średnio zmineralizowane, znajdujące się przeważnie pod ciśnieniem subarteryjским.

W północnym i północno-wschodnim obrzeżeniu monokliny w utworach jurajskich spotyka się średnio zmineralizowane wody podziemne, pod względem hydrochemicznym zbliżone do solanek występujących w triasowym piętrze wodonośnym.

Bezpośrednio na triasie monokliny przedsudeckiej leżą niezgodnie osady kenozoiku. Zróżnicowanie litologiczne utworów trzeciorzędu i czwartorzędu powoduje, że warunki występowania wód w tych piętrach wodonośnych są najbardziej zmienne w całym profilu hydrogeologicznym.

CHEMIZM WÓD PERMSKIEGO PIĘTRA WODONOŚNEGO

Ocena jakości prób wód

Właściwe opróbowanie głębokich otworów oraz zastosowanie odpowiedniej metody intensyfikacji przyływu stanowią skomplikowany problem techniczny. Szersze omówienie tych zagadnień ze specjalnym uwzględnieniem metodyki opróbowań stosowanej w polskim górnictwie naftowym znaleźć można w pracach: G. T. Ovnatova (1964), V. A. Sidorovskiego (1968), G. Suchonosova (1968), A. Kilara (1968), L. Cimaszewskiego & al. (1968), A. Błaszaka & al. (1970).

Uzyskanie przyływu wody w czasie opróbowania naftowych otworów poszukiwawczych uważa się za wynik negatywny wiercenia. Z tego względu nie zawsze prowadzi się kosztowne i czasochłonne badania mierzące do określenia wszystkich parametrów hydrogeologicznych. W wielu przypadkach ze względów ekonomicznych trzeba zrezygnować z opróbowania stwierdzonych w wierceniu poziomów wodonośnych lub ogranicza się czas oczyszczania strefy przyodwiertowej. Pobrane wówczas

próby noszą przeważnie ślady zanieczyszczeń i nie przedstawiają większej wartości.

W czasie opróbowywania utworów permskich w szeregu przypadków pobrano próby wód noszące ślady zanieczyszczenia filtratem płuczki lub mleczkiem cementowym (obecność znacznych ilości jonów OH^- i CO_3^{2-}). Próby te miały podwyższone pH dochodzące niejednokrotnie do $\text{pH} = 12$. Często pobrane z otworu, po zabiegu kwasowania, wody miały bardzo obniżone pH osiągające w skrajnych przypadkach wartości $\text{pH} = 2$.

Większość wód permskiego piętra wodonośnego ma pH zawarte w granicach 5—8. Dlatego przedział ten przyjęto umownie jako charakterystyczny dla wód głębinowych badanego piętra wodonośnego⁴. Prób o wyższym lub niższym stężeniu jonów wodorowych nie uwzględniono w opracowaniu.

Tabela (Table) 3

Poziom wodonośny /Aquifer/	Liczba analiz wód głębinowych /Number of brines analysis/		
	ogółem /total/	odrzucono ze względu na zanieczyszczenie of contamination/	wykorzystano /utilized/
Dolomit główny /Main dolomite/	270	121	149
Wapień podstawowy /Basic limestone/	62	23	39
Wapień podstawowy + czerwony spągowiec /Basic limestone and rotllegendes/	44	14	30
Czerwony spągowiec /Rotllegendes/	60	16	44
Razem /Total/	436	174	262

W wyniku wyeliminowania analiz chemicznych wód noszących wyraźne ślady zanieczyszczenia, znacznemu zmniejszeniu uległa liczba wykorzystanych w pracy danych hydrochemicznych, co przedstawia tabela 3.

Z zestawień widać, że z ogólnej liczby 436 analizowanych prób wody ślady zanieczyszczeń zawierały aż 174 próby, co stanowi prawie 40% wszystkich danych.

⁴ W literaturze brak jest ściśle sprecyzowanych przedziałów pH charakterystycznych dla wód podziemnych. Na przykład O. A. Alekin (1956) podaje, że zmieniają się one przeważnie w granicach 6,0—8,5, a czasami osiągają wartości niższe od 4. Wody mineralne, zdaniem Z. Pazdro (1964), mogą mieć pH zmienne w granicach 5,0—9,5, a J. Dowgiałło (1965, 1969) podaje analizy wód, w których pH zawarte jest w przedziale 5,0—8,3.

W tym etapie pracy trudno było ocenić wartość pozostałych analiz. Dalsza selekcja danych analitycznych jest możliwa dopiero po określeniu regionalnego tła hydrochemicznego badanych poziomów wodonośnych.

Stosowany w górnictwie naftowym zakres analiz chemicznych jest w zasadzie wystarczający do oceny chemizmu wód podziemnych. Ze względu na specyfikę problematyki hydrochemicznej stosowanej w praktyce poszukiwań naftowych, wydaje się jednak celowe nie tylko rozszerzenie zakresu wykonywanych analiz, ale również zastosowanie nowych metod analitycznych (Dybczyński & Sterliński 1968, Dowgiałło 1970).

Skład chemiczny wód

Skład chemiczny analizowanych wód podziemnych jest bardzo urozmaicony. Dotychczas stwierdzono w nich obecność niemal wszystkich występujących w przyrodzie pierwiastków chemicznych, tworzących znaczną ilość związków występujących pod rozmaitymi postaciami.

Wykonywane w laboratoriach górnictwa naftowego analizy obejmują jednak zaledwie niewielką ilość składników chemicznych wód. Z tego powodu omówienie chemizmu wód permskiego piętra wodonośnego będzie ograniczone do najbardziej rozpowszechnionych składników.

W poziomie wodonośnym czerwonego spągowca na omawianym obszarze monokliny przedsudeckiej występują silnie zmineralizowane wody głębinowe. Ich mineralizacja ogólna jest zmienna i waha się przeważnie w granicach 120—350 g/l (tab. 4). Mniejsze wartości notuje się w strefie przyległej do bloku przedsudeckiego. Rosną one w miarę oddalania się ku północy od współczesnej granicy zasięgu czerwonego spągowca i schodzenia tej formacji na coraz większe głębokości. Najwyższą mineralizację wód, powyżej 350 g/l, stwierdzono w zachodniej części monokliny w otworach Komo. 1, Gułb. 2, Sarb. 1 itd. W środkowej części monokliny spotyka się wody słabiej zmineralizowane, przeważnie w granicach 250—300 g/l (otwory Borz. 1, Bog. 7 itd.). Lokalizację otworów, w których opróbowano wody głębinowe tego poziomu wodonośnego, przedstawiono na figurze 1.

Istnieje szereg teorii próbujących wyjaśnić zjawisko kształtowania mineralizacji w wodach podziemnych (Russel 1933, Bredehoeft & al. 1964, Rittenhouse 1964, i in.).

Wysoką mineralizację wód w utworach czerwonego spągowca można próbować wyjaśnić biorąc za punkt wyjścia teorię filtracji jonów przez ropy. Szczegółowe jej omówienie przedstawiono w pracy J. Dowgiałło (1971). Nie można też wykluczyć możliwości, że w czasie kompaktacji osadów ilastych w warunkach wysokich ciśnień została z nich wyciśnięta część wód fizycznie związanych (Degens & Chilingar 1967). I. I. Chebotariev (1955) wzrost mineralizacji wód tłumaczy oddalaniem się od współ-

Tabela (Table) 4

Zestawienie wybranych analiz chemicznych wód z poziomu wodonośnego czerwonego spągowca monokliny przedsudeckiej
Selected chemical analyses of brines from the Rotliegendes waterbearing horizon in the Foresudetic monocline

Otwór /Borehole/	Rzędna otworu m n.p.m. /Borehole elevation in m a.s.l./	Opróbowany interwał w m /Depth of tested interval in m/	pH /pH/	Sucha pozostałość g/l /Dry residue in g/l/	Oznaczenia: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - ‰ mval /Indications: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - ‰ mval	Składniki jonowe wód /Ionic composition of brines/									
						Cl ⁻	Br ⁻	J ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	Fe ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺ lub Al ⁺⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺
Bog. 7	120	1520,0-1515,0	5,8	288,2	1 2 3	170,5	1,1	n.o.	0,1	0,5	1,5	13,2	1,2	93,6	0,7
						4808,8	14,0	-	2,3	13,6	31,0	661,5	98,8	4071,0	37,0
						49,5	0,1	-	0,01	0,1	0,3	6,8	1,0	41,8	0,4
Gub. 2	82	2036,0-2015,0	6,7	358,4	1 2 3	217,0	0,8	0,002	0,2	1,6	0,2	61,7	4,8	60,3	2,2
						6146,3	10,4	-	3,6	43,0	4,7	3078,7	392,0	2620,4	116,9
						49,5	0,1	-	0,03	0,3	0,04	24,8	3,2	21,1	0,9
Komo. 1	52	1974,0-1952,0	6,2	352,0	1 2 3	215,4	0,9	n.o.	0,1	0,6	0,8	64,2	3,0	58,9	1,9
						6073,7	11,6	-	2,2	15,4	17,1	3285,6	247,0	2563,2	104,2
						49,6	0,1	-	0,01	0,1	0,1	26,2	2,0	20,9	0,8
Osiecz. 1	45	2219,0-2180,0	7,0	302,8	1 2 3	186,0	n.o.	n.o.	1,0	n.o.	3,0	39,7	8,6	58,0	2,2
						5245,4	-	-	17,0	-	63,4	1980,5	708,4	2520,8	116,1
						49,2	-	-	0,2	-	0,6	18,6	6,6	23,7	1,1
Radu. 1	47	1990,0-	6,5	278,4	1 2 3	163,8	n.o.	n.o.	0,2	0,1	3,1	4,1	0,3	100,5	1,8
						4619,9	-	-	4,0	3,9	64,9	203,1	24,6	4368,7	96,1
						49,2	-	-	0,04	0,04	0,7	2,2	0,3	46,5	1,0
Sarzb. 1	50	2092,0-2078,0	6,3	351,0	1 2 3	212,4	n.o.	0,01	0,3	1,0	0,2	68,4	2,1	55,8	0,3
						5989,8	-	-	5,1	26,4	5,2	3410,9	170,4	2418,0	17,2
						49,7	-	-	0,04	0,2	0,04	28,3	1,4	20,1	0,1
St.Zag. 1	77	1985,0-1963,0	6,0	361,8	1 2 3	217,0	n.o.	0,02	0,2	0,9	0,5	66,3	1,2	62,4	0,6
						6119,8	-	-	2,7	23,4	11,1	3310,6	97,4	2714,2	35,0
						49,7	-	-	0,02	0,2	0,1	26,9	0,8	22,1	0,3
Żmig. 1	92	1495,0-1490,0	6,9	260,0	1 2 3	154,4	0,6	n.o.	0,1	n.o.	1,6	6,7	2,7	67,4	0,6
						4352,9	7,5	-	1,6	-	34,4	348,9	225,9	3802,2	19,4
						49,5	0,1	-	0,02	-	0,4	3,9	2,6	43,2	0,2

Uwagi: n.o. — nie oznaczono. W zestawieniu wykorzystano analizy chemiczne wód pochodzące ze sprawozdań wyników otworów wiertniczych
Remarks: n.o. — not determined. In this table hydrochemical data from borehole records have been utilized

czesnych stref zasilania. Autor ten podaje liczne przykłady regionalne, gdzie zjawisko to zaobserwował, nie wyjaśniając jednakże, na drodze jakich procesów geochemicznych następuje wzrost mineralizacji.

Na obszarze monokliny przedsudeckiej przeważają w utworach czerwonego spągowca wody o składzie jonowym Cl-Na-Ca i Cl-Na⁵. Jedynie w zachodniej jej części spotkać można również wody o innym składzie, np. Cl-Ca-Na, Cl-Na-Ca-Mg i Cl-Ca-Na-Mg. Wody wymienionych wyżej typów są charakterystyczne dla stref o bardzo utrudnionej wymianie wód (Sulin 1946, Chebotariev 1955, Dickey 1966, i in.).

Wśród anionów przeważa jon chlorkowy stanowiąc na ogół przeszło 48% mvali⁶. Największe jego ilości stwierdzono w otworach Gub. 2 (217,9 g/l), St. Zag. 1 (217,0 g/l) itd., a najniższe w otworach Biel. 1 (73,0 g/l), Ostrz. 1 (69,5 g/l) itd.

Jony siarczanowe i wodorowęglanowe występują w niewielkich ilościach, nie przekraczając w sumie 2% mvali. Jod i brom oznaczane były w wodach sporadycznie. Na podstawie istniejących danych stwierdzić można, że zawartość jodu zmienia się w granicach 15—24,3 mg/l, a bromu 39,9—1592,3 mg/l.

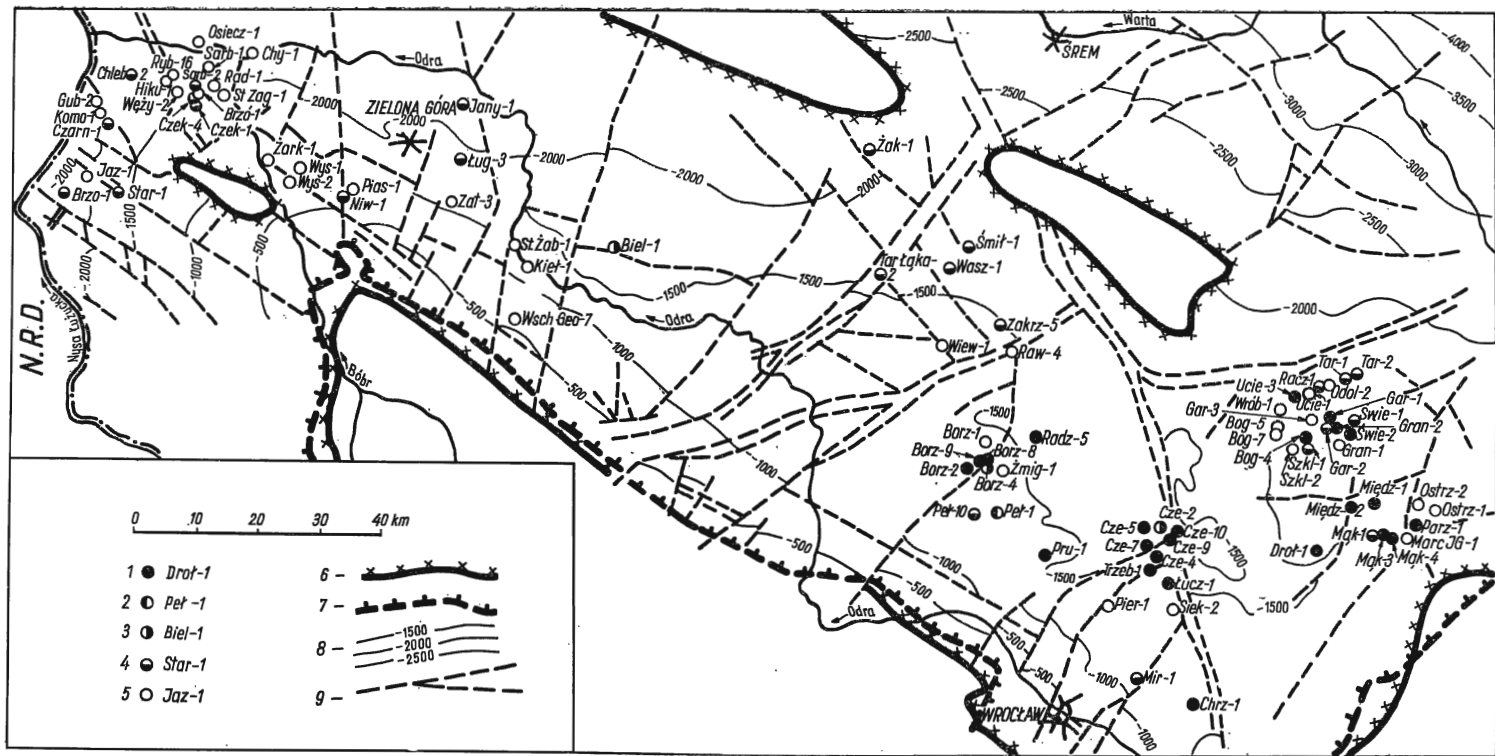
Ze względu na anormalną mineralizację, wody z otworów Wiew. 1 i Wsch. Geo. 7 uważać można za rozcieńczone. Ilości poszczególnych jonów stwierdzone w tych próbach nie mogą zatem być uważane za typowe dla poziomu wodonośnego czerwonego spągowca.

Zawartość alkaliów, przedstawioną jako suma sodu i potasu, najczęściej obliczano z różnicy sumy anionów i kationów oznaczonych w wodzie. Zmienia się ona w poziomie wodonośnym czerwonego spągowca od ok. 20% mvali (otwory Sarb. 1, Komo. 1, itd.) do powyżej 40% mvali (otwory Radu. 1, Żmig. 1, Bog. 7, itd.). Wagowo ilość jonów sodu i potasu waha się od ok. 20—40 m/l (otwory Biel. 1, Ostrz. 1, itd.) do powyżej 90 g/l (otwory Radu. 1 Bog. 7). Ilość wapnia zmienia się w granicach ok. 2—28% mvali (maksymalna ilość 68,4 g/l — otwór Sarb. 1), a zawartość magnezu nie przekracza na ogół 10% mvali (maksymalnie 8,6 g/l — otwór Osiecz. 1). Przewagę wapnia nad sumą alkaliów obserwuje się lokalnie w zachodniej części monokliny przedsudeckiej.

W niektórych otworach, np. Ryb. 16, Wiew. 1, itd., występują wody o mineralizacji ogólnej i składzie jonowym różnym od stwierdzonego w innych wierceniach. Może to wskazywać na istnienie anomalii hydrochemicznej w danej strefie. Ponieważ jednak występowanie tych ano-

⁵ Wyrażone w skróconej postaci nazwy klas wód, według klasyfikacji S. A. Szczukarieva (Prikoński & Łaptiew 1955), polegają na uwzględnieniu kationów i anionów występujących w wodzie w ilościach większych niż 10% mvali.

⁶ W pracy przyjęto, że suma anionów występujących w wodzie równa się sumie kationów i wynosi 50% mvali. Stąd łącznie suma kationów i anionów równa się 100% mvali. Często w hydrogeologii przyjmuje się, że suma anionów i suma kationów równają się po 100% mvali. O zastosowaniu w pracy pierwszego sposobu zdecydował fakt, że wszystkie analizy wód wykonane w laboratoriach górnictwa naftowego są przedstawione w tej formie.



malii nie jest w pełni udokumentowane, trudno wykluczyć możliwość pobrania z otworu próby będącej mieszaniną wód pochodzących z różnych poziomów wodonośnych.

Chemizm wód w poziomie wapienia podstawowego omówić można na podstawie danych ze środkowej części monokliny przedsudeckiej. W otworach leżących w zachodniej części monokliny poziom ten opróbowywano łącznie z czerwonym spągowcem (fig. 1).

Mineralizacja wód w poziomie wodonośnym wapienia podstawowego rośnie w miarę oddalania się ku NE od bloku przedsudeckiego, zgodnie z kierunkiem zapadania tych osadów. W otworze Chrz. 1 sucha pozostałość równa się 95,9 g/l, w otworze Ucie. 3 osiąga wartość 286,0 g/l, a w otworze Radz. 5 wartość najwyższą 314,0 g/l (fig. 1 i tab. 5). Przypuszczalnie wpływ na wzrost mineralizacji ogólnej może wywierać dopływ w utwory wapienia podstawowego wód ługujących sole cechsztyńskie. Udokumentowanie tego przypuszczenia jest niemożliwe z braku szczegółowych danych dotyczących występowania soli różnych typów w osadach cechsztynu i roli poszczególnych dyslokacji w podziemnych przepływach wód. Znaczną część dyslokacji, które zaznaczono na mapach strukturalnych (fig. 1 i 2), traktować należy jako hipotetyczne. Przebieg ich określono w większości przypadków na podstawie wyników prac sejsmicznych.

Fig. 1

Mapa lokalizacji otworów, w których opróbowano wody z poziomów wodonośnych czerwonego spągowca i wapienia podstawowego monokliny przedsudeckiej

1 otwór, w którym opróbowano poziom wodonośny wapienia podstawowego; 2 otwór, w którym opróbowano poziom wodonośny wapienia podstawowego oraz łącznie poziomy wodonośny wapienia podstawowego i czerwonego spągowca; 3 otwór, w którym opróbowano oddzielnie poziom wodonośny wapienia podstawowego i czerwonego spągowca; 4 otwór, w którym opróbowano łącznie poziomy wodonośny wapienia podstawowego i czerwonego spągowca; 5 otwór, w którym opróbowano poziom wodonośny czerwonego spągowca; 6 granica zasięgu czerwonego spągowca; 7 granica zasięgu wapienia podstawowego (wg T. Bireckiego); 8 izolnie stropu czerwonego spągowca; 9 dyslokacje

Uwaga: opracowano na podstawie materiałów archiwalnych PPN Kraków, Piła, Zielona Góra, ZOGGN-GEONAFTA oraz Instytutu Geologicznego w Warszawie. Mapa strukturalna stropu czerwonego spągowca wg W. Bogusza i P. Kopczyńskiego

Map of the localization of boreholes where water samples have been taken from the Rotliegendes and basic limestone waterbearing horizons of the Foresudetic monocline

1 borehole where samples have been taken from the basic limestone waterbearing horizon; 2 borehole where samples have been taken from the basic limestone waterbearing horizon, also jointly from the basic limestone and Rotliegendes waterbearing horizons; 3 borehole where samples have been taken separately from the basic limestone and the Rotliegendes waterbearing horizons; 4 borehole where samples have been taken jointly from the basic limestone and the Rotliegendes waterbearing horizons; 5 borehole where samples have been taken from the Rotliegendes waterbearing horizon; 6 boundary of the extent of the Rotliegendes; 7 Boundary of the extent of the basic limestone (after T. Birecki); 8 contour lines of the top of the Rotliegendes; 9 dislocations

Remark: Worked out on the ground of archival materials of the Petroleum Prospecting Enterprises in Kraków, Piła and Zielona Góra, also of the Geological Research Bureau for Oil Industry — GEONAFTA, and of the Geological Institute of Warsaw. The structural map of the top of the Rotliegendes after W. Bogusz & P. Kopczyński

Tabela (Table) 5

Zestawienie wybranych analiz chemicznych wód z poziomu wodonośnego wapienia podstawowego monokliny przedsudeckiej
 Selected chemical analyses of brines from the basic limestone waterbearing horizon in the Foresudetic monocline

Otwór /Borehole/	Rzędna otworu m n.p.m. /Borehole elevation in m a.s.l./	Opróbowany interwał w m /Depth of tested interval in m/	pH /pH/	Sucha pozostałość g/l /Dry residue in g/l/	Oznaczenia: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - ‰ mval /Indications: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - ‰ mval	Składniki jonowe wód /Ionic composition of brines/									
						Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	Fe ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺ lub Al ⁺⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺
Biel. 1	70	1665,0-1610,0	6,5	171,0	1 2 3	107,8 3039,9 49,4	n.o. - -	n.o. - -	0,1 2,0 0,03	0,1 2,7 0,04	1,4 28,2 0,5	27,8 1387,5 22,6	4,6 399,2 6,5	29,5 1284,6 20,9	0,03 - -
Borz. 4	90	1435,0-1422,0	5,5	189,4	1 2 3	112,7 3177,7 49,3	0,08 0,9 -	n.o. - -	0,7 11,8 0,2	n.o. -	1,7 30,8 0,5	5,9 294,7 4,6	8,6 8,6 0,1	66,6 2890,6 44,9	0,5 27,3 0,4
Chrz. 1	125	1095,0-1080,0	5,6	93,9	1 2 3	57,3 1615,1 48,5	0,2 2,2 0,1	n.o. - -	0,9 14,4 0,4	0,05 1,3 0,04	1,5 30,9 0,9	8,8 436,8 13,1	2,4 199,6 6,0	22,8 989,2 29,7	0,7 38,3 1,2
Cze. 5	124	1558,0-1541,0	5,5	222,4	1 2 3	137,8 3885,1 49,4	0,9 11,0 0,1	n.o. - -	0,1 1,0 0,01	0,3 7,9 0,1	1,3 16,6 0,4	17,3 804,6 10,9	1,4 145,1 1,8	65,8 2638,8 36,4	1,1 59,7 0,8
Cze. 10	148	1595,0-1577,0	5,3	238,2	1 2 3	145,0 4090,2 49,6	0,7 8,7 0,1	n.o. - -	0,1 1,2 0,02	0,3 8,1 0,1	0,6 13,4 0,2	21,6 1079,1 13,1	2,1 174,6 2,1	65,3 2840,0 34,4	0,5 27,9 0,3
Droł. 1	195	1617,0-1608,0	6,3	258,0	1 2 3	156,7 4419,9 49,7	n.o. - -	n.o. - -	0,05 0,8 -	n.o. -	1,3 27,5 0,3	7,0 351,1 3,0	2,4 194,8 2,2	89,7 3902,2 43,9	n.o. - -
Radź. 5	92	1621,0-1595,0	6,5	314,0	1 2 3	187,4 5285,9 49,4	0,5 6,2 0,1	n.o. - -	0,2 2,8 0,1	0,05 1,2 0,01	2,5 51,7 0,5	7,9 397,0 3,7	0,9 76,1 0,7	112,1 4874,7 45,6	n.o. - -
Uoie. 3	111	1529,0-1524,0	6,2	286,0	1 2 3	167,7 4729,2 49,1	0,9 11,4 0,1	n.o. - -	0,1 1,4 0,01	2,0 53,8 0,6	1,0 20,4 0,2	18,4 915,9 9,9	1,8 148,2 1,5	86,3 3752,1 38,9	n.o. - -

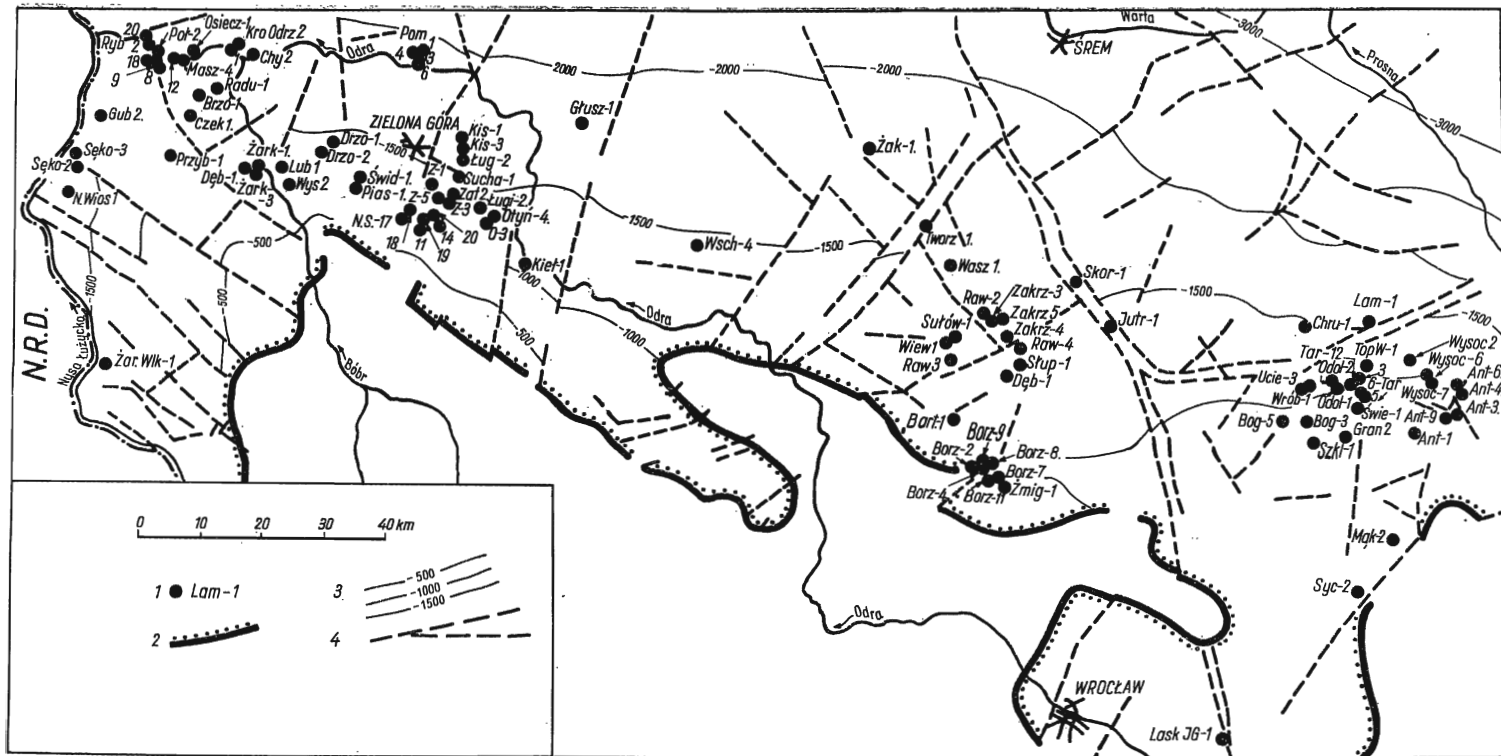
Uwagi: n.o. — nie oznaczono. W zestawieniu wykorzystano analizy chemiczne wód pochodzące ze sprawozdań wynikowych otworów wiertniczych
 Remarks: n.o. — not determined. In this table hydrochemical data from borehole records have been utilized

Tabela (Table) 6

Zestawienie wybranych analiz chemicznych wód z poziomu wodonosnego dolomitu głównego monokliny przedsudeckiej
Selected chemical analyses of brines from the main dolomite waterbearing horizon in the Foresudetic monocline

Otwór /Borehole/	Rzędna otworu m n.p.m. /Borehole elevation in m a.s.l./	Opróbowany interwał w m /Depth of tested interval in m/	pH /pH/	Sucha pozostałość g/l /Dry residue in g/l/	Oznaczenia: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - % mval /Indications: 1 - g/l 2 - mval/l 3 - % mval	Składniki jonowe wód /Ionic composition of brines/									
						Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	Fe ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺ lub Al ⁺⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺
Brzo. 1	90	1303,0-1286,0	7,0	415,2	1 2 3	273,0	n.o.	n.o.	1,9	0,02	0,6	24,4	51,4	48,2	3,7
						7699,8	-	-	32,0	0,4	12,1	1216,2	4231,2	2096,5	200,4
						49,7	-	-	0,2	-	0,1	7,8	27,3	13,5	1,3
Lask.IG-1	129	1042,0-1028,0	7,0	21,6	1 2 3	11,6	0,04	n.o.	0,2	n.o.	2,3	2,6	0,7	4,1	0,01
						325,0	0,5	-	3,9	-	47,0	130,0	54,2	176,5	2,7
						43,2	-	-	0,6	-	6,2	17,9	7,4	21,0	3,7
Lub. 1	87	1147,0-1099,0	7,0	320,2	1 2 3	224,1	n.o.	n.o.	0,3	n.o.	0,4	27,5	49,4	19,8	0,6
						6319,8	-	-	5,4	-	7,6	1371,0	4067,2	860,5	34,0
						49,9	-	-	0,04	-	0,1	10,8	32,1	6,8	0,3
N.S. 14	72	1093,0-1008,0	5,0	419,4	1 2 3	197,2	n.o.	n.o.	0,9	n.o.	0,9	15,8	16,4	78,2	1,1
						5559,4	-	-	14,4	-	19,8	788,6	1347,3	3398,3	59,8
						49,7	-	-	0,1	-	0,2	7,0	12,0	30,4	0,5
Ryb. 2	60	1881,0-1874,0	5,5	460,8	1 2 3	236,2	n.o.	n.o.	1,3	0,04	0,03	0,2	1,1	151,3	n.o.
						6659,8	-	-	21,3	-	1,1	10,4	91,1	6581,6	-
						49,8	-	-	0,2	-	-	0,1	0,7	49,2	-
Ryb. 8	37	1795,0-1762,0	6,0	408,4	1 2 3	258,8	n.o.	n.o.	0,7	0,04	0,2	12,0	26,2	104,9	n.o.
						7299,8	-	-	11,8	-	3,5	597,3	2156,5	4562,3	-
						49,9	-	-	0,1	-	-	4,1	14,7	31,2	-
Skor. 1	112	1777,0-1745,0	5,4	355,7	1 2 3	219,0	3,3	0,01	0,8	1,0	0,2	54,3	9,5	57,1	5,4
						6177,2	40,9	-	14,0	26,6	4,9	2708,7	779,2	2482,8	293,1
						49,4	0,3	-	0,1	0,2	0,04	21,6	6,2	19,8	2,3
Syo. 2	200	1543,0-1524,0	7,0	90,6	1 2 3	50,0	n.o.	n.o.	0,3	1,1	2,7	1,9	0,3	31,7	n.o.
						1410,0	-	-	4,8	28,0	56,2	96,3	24,6	1378,2	-
						47,0	-	-	0,2	0,9	1,9	3,2	0,8	48,0	-

Uwagi: n.o. — nie oznaczono. W zestawieniu wykorzystano analizy chemiczne wód pochodzące ze sprawozdań wynikowych otworów wiertniczych
Remarks: n.o. — not determined. In this table hydrochemical data from borehole records have been utilized



W poziomie wodonośnym wapienia podstawowego przeważają wody o składzie jonowym Cl-Na-Ca i Cl-Na-Ca-Mg. Lokalnie można spotkać wody o składzie Cl-Na lub Cl-Ca-Na-Mg. Podobne typy wód występują w poziomie wodonośnym czerwonego spągowca.

Skład anionów jest mało zróżnicowany. Jon chloru stanowi na ogół więcej niż 48% mvali. Największą jego ilość stwierdzono w otworach Ucie. 3 (167,7 g/l) i Radz. 5 (187,4 g/l), a najniższą w otworze Chrz. 1 (57,3 g/l). Jony siarczanowe i wodorowęglanowe występują w niewielkich ilościach, nie przekraczając łącznie 2% mvali. Jodu w wodach głębinowych nie analizowano. Wykonano natomiast stosunkowo dużo oznaczeń bromu, którego zawartość zmienia się od 79,9 mg/l (Borz. 4) do 1038 mg/l (Ucie. 3).

Podstawowym składnikiem kationowym wód poziomu wapienia podstawowego są alkalia. Ilość ich maksymalnie dochodzi do ok. 45% mvali (otwory Radz. 5, Borz. 4, itd.) i rzadko kiedy jest niższa od 30 mvali (otwory Biel. 1 i Chrz. 1). Wagowo ilość tego składnika waha się od ok. 23 g/l (Chrz. 1) do ok. 112,1 g/l (Radz. 5). Zawartość wapnia zmienia się w granicach ok. 4—23% mvali. Największą jego ilość stwierdzono w otworach Biel. 1 (27,8 g/l) i Cze. 10 (21,6 g/l). Zawartość magnezu w wodach tego poziomu wodonośnego jest w większości przypadków niższa od 10% mvali. Maksymalną jego ilość (4,8 g/l) stwierdzono w otworze Biel. 1.

Chemizm wód w poziomie wodonośnym wapienia podstawowego jest silnie zróżnicowany. Zmienną ilość poszczególnych składników jonowych obserwuje się nawet w poszczególnych blokach strukturalnych, np. w rejonie Bogdaja-Uciechowa, Czeszowa itd.

W osadach dolomitu głównego na monoklinie przedsudeckiej występują również bardzo silnie zmineralizowane wody głębinowe (tab. 6). Ich sucha pozostałość waha się w granicach od 21,6 g/l (Lask. IG-1) do powyżej 400 g/l (Ryb. 2, Ryb. 8, N.S. 14, itd.). Mineralizacja wód w utwo-

Fig. 2

Mapa lokalizacji otworów, w których opróbowano wody z poziomu wodonośnego dolomitu głównego monokliny przedsudeckiej

1 otwór w którym opróbowano poziom wodonośny dolomitu głównego, 2 granica zasięgu dolomitu głównego, 3 izolinie stropu dolomitu głównego, 4 dyslokacje

Uwaga: opracowano na podstawie materiałów archiwalnych PPN Kraków, Piła, Zielona Góra, ZOGGN-GEONAF TA oraz Instytutu Geologicznego w Warszawie. Mapa strukturalna stropu dolomitu głównego wg G. Gabryszewskiej

Map of the localization of boreholes where water samples have been taken from the main dolomite waterbearing horizon of the Foresudetic monocline

1 borehole where samples have been taken from the main dolomite waterbearing horizon, 2 boundary of the extent of the main dolomite, 3 contour lines of the top of the main dolomite, 4 dislocations

Remark: Worked out on the ground of archival materials of the Petroleum Prospecting Enterprises in Kraków, Piła and Zielona Góra, also of the Geological Research Bureau for Oil Industry — GEONAF TA, and of the Geological Institute of Warsaw. The structural map of the top of the main dolomite after G. Gabryszewska

rach dolomitu głównego rośnie ku N i NE zgodnie z kierunkiem zapadania tych utworów. Najsilniej zmineralizowane wody spotyka się w zachodniej części monokliny przedsudeckiej (rejon Rybaków i Nowej Soli). Wiązać to można z występowaniem w tym rejonie soli magnezowych w osadach cyklotemu Stassfurt. Lokalizację otworów, w których opróbowano wody głębinowe tego poziomu wodonośnego, przedstawiono na figurze 2.

Obecność wód o mineralizacji wyraźnie obniżonej w otworach Pom. 3, Wrób. 1 i Żmig. 1 tłumaczyć można złym opróbowaniem omawianego poziomu wodonośnego. Przypuszczenie to powstało dopiero po opracowaniu analitycznym całości materiałów hydrochemicznych.

W poziomie wodonośnym dolomitu głównego przeważają wody o składzie jonowym Cl-Na, Cl-Na-Mg. Rzadziej spotyka się wody o składzie Cl-Na-Mg-Ca, Cl-Mg-Na, Cl-Mg-Na-Ca i Cl-Mg-Ca-Na.

Skład anionów w omawianym poziomie wodonośnym jest bardzo mało zróżnicowany. Zdecydowanie przeważa jon chlorkowy, którego zawartość prawie zawsze przekracza 49% mvali, maksymalnie osiągając ilość 273 g/l (Drzo. 1). Wyjątek stanowią wody pochodzące z otworów leżących w pobliżu współczesnej granicy występowania utworów dolomitu głównego (np. otwory Lask. IG-1, Syc. 2). Przy tak znacznej ilości jonu chlorkowego pozostałe aniony odgrywają tutaj niewielką rolę. Jod oznaczono w kilku próbach, stwierdzając jego obecność w ilościach ok. 5—15 mg/l. Ilość bromu w większości przypadków waha się w granicach 500—1000 mg/l.

Zawartość alkaliów w wodach utworów dolomitu głównego zmienia się w szerokich granicach od ok. 7% mvali (Lub. 1) do ok. 49% mvali (Ryb. 2). Wagowo ilość ich waha się od ok. 4 g/l (Lask. IG-1) do ok. 15 g/l (Ryb. 2). Ilość wapnia jest również zmienna w granicach od 0,1 do ok. 21% mvali, a najwyższą wartość wagową 21,6 g/l osiąga w otworze Skor. 1. Zawartość magnezu waha się w granicach od ok. 1 do ok. 32% mvali. Największą ilość ok. 51 g/l wykryto w wodach opróbowanych w otworze Drzo. 1.

Najniższą zawartość alkaliów w poziomie wodonośnym dolomitu głównego stwierdzono w zachodniej części monokliny przedsudeckiej. W tym rejonie spotyka się także duże ilości jonu magnezu, znacznie przewyższające ilość jonów wapnia. Dopiero w rejonie Rawicza i Antonina jon wapnia uzyskuje wyraźną przewagę nad jonem magnezu. Ilość alkaliów stopniowo wzrasta ku wschodowi, a równocześnie zmniejsza się ilość jonów magnezu i wapnia.

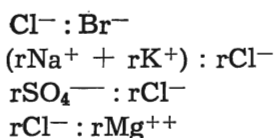
Mineralizacja i skład jonowy wskazują, że w permskim piętrze wodonośnym występują wody o wysokim stopniu przeobrażenia chemicznego. Zróżnicowanie składu chemicznego w poszczególnych poziomach wodonośnych wyjaśnić można różną genezą wód, litologią osadów i zmiennością przestrzenną warunków hydrodynamicznych.

Pewną trudność w opracowaniu szczegółowej charakterystyki hydrochemicznej omawianego piętra wodonośnego stwarza fakt nierównomiernego rozmieszczenia otworów wiertniczych oraz brak danych dotyczących warunków przepływu wód głębinowych.

KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH STOSUNKÓW JONOWYCH WYKORZYSTANYCH W ANALIZIE WARUNKÓW HYDROCHEMICZNYCH

Rola poszczególnych stosunków jonowych jako wskaźników w badaniach hydrochemicznych nie jest dotychczas w sposób jednoznaczny wyjaśniona ze względu na bardzo złożony charakter tego problemu. Liczni badacze analizując stosunki jonowe wód podziemnych doszli do przekonania, że na ich podstawie określić można pochodzenie i stopień przeobrażenia wód głębinowych (Vinogradov 1944, Sulin 1946, Schoeller 1955, Dickey 1966, Krotova 1969, i in.). Stwierdzenie to jest jednak dyskusyjne i dlatego w literaturze spotyka się często odmienne poglądy na ten temat (Filatov 1956, Samarina 1958).

Różnice w poglądach dotyczących znaczenia stosunków jonowych w ustalaniu genezy wód nie przekreślają ich poważnej roli jako wskaźników pozwalających na określenie różnic hydrochemicznych w obrębie badanych poziomów wodonośnych, czy też pomiędzy nimi. Do scharakteryzowania chemizmu wód permskiego piętra wodonośnego wybrano grupę stosunków jonowych (wagowych i równoważnikowych) najczęściej stosowanych przez geologów naftowych w Polsce ⁷:



W niniejszym opracowaniu zbadano zmienność wartości poszczególnych stosunków jonowych w badanych poziomach wodonośnych oraz przeprowadzono analizę ich zmienności w zależności od głębokości występowania, mineralizacji ogólnej i ciężaru właściwego wód głębinowych.

Stosunek $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ jest uważany za jeden z pośrednich wskaźników genezy wód. Podwyższona ilość bromu w wodach, obniżająca wartość tego stosunku poniżej 300, może być wynikiem nagromadzenia materiału organicznego lub obecności reliktowych ługów postsalinarnych w środowisku skalnym (Vinogradov 1944, Pazdro 1964, Rittenhouse 1967, Dowgiałło 1971). Możliwość dwuznacznej interpretacji wartości tego stosunku

⁷ Inne stosunki jonowe, które ze względu na małą przydatność w analizie warunków hydrochemicznych permu monokliny przedsudeckiej w tym miejscu pominięto, omówione zostały w pracy T. Dąbrowskiego (1972b).

jonowego obniża jego znaczenie jako wskaźnika genezy wód. W wodach ługujących sole kamienne stosunek $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ jest na ogół znacznie wyższy niż 300.

Wartość stosunku $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^-$ jest jednym z czynników pozwalających na ocenę stopnia wymiany jonu sodowego przez wapniowce⁸. Jeżeli przy wysokiej mineralizacji wód stosunek ten jest niższy od 0,86, może to wskazywać na rozwój procesów absorpcji wymiennej sprzyjających przejściu wapnia do roztworu w miejsce sodu (Balašov 1960, Pazdro 1964, Dowgiałło 1971). Najkorzystniejsze warunki przebiegu tego procesu występują w strefie bardzo utrudnionej lub utrudnionej wymiany wód. Wielkość stosunku $r\text{Na}^+ : r\text{Cl}^-$ uzależniona jest nie tylko od przebiegu wymiany jonowej, ale w równym stopniu od litologii utworów, w których wody występują. Gdy stosunek ten w wodach typu Cl-Na jest większy lub zbliżony do 1,0 przyjmuje się, że mamy do czynienia z wodami ługującymi pokłady soli kamiennej.

Wartość stosunku $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ jest wskaźnikiem przebiegu procesów redukcyjnych w wodach podziemnych. Niskie wartości tego stosunku (poniżej 0,01) wskazują na redukcyjny charakter środowiska sedymentacji morskiej. Redukcja siarczanów może także występować w środowisku skalnym w czasie migracji wód. Ponieważ proces ten może przebiegać w różnych warunkach, wartości tego stosunku nie można traktować jako wskaźnika genezy wód (Dowgiałło 1971). Podwyższone wartości stosunku $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ w wodach głębinowych mogą wskazywać na infiltrację wód z innych poziomów wodonośnych.

Stosunek $r\text{Cl}^- : r\text{Mg}^{++}$, według I. I. Chebotarieva (1955), rośnie wraz ze wzrostem mineralizacji. Odmienny pogląd reprezentuje O. A. Alekin (1956), który uważa, że w miarę wzrostu mineralizacji na skutek procesów przeobrażenia składu chemicznego wód zwiększa się ilość jonów wapnia i magnezu kosztem jonu sodowego, a tym samym wartość tego stosunku maleje.

Wyniki interpretacji wielkości poszczególnych stosunków jonowych czasami nie są jednoznaczne. Fakt ten jest szczególnie często obserwowany w czasie przeprowadzania analizy warunków hydrochemicznych regionów w których występują osady salinarnie. Różnego typu łatwo rozpuszczalne sole mogą w sposób zasadniczy wpłynąć na chemizm wód i w rezultacie utrudnić prawidłową ocenę przebiegu procesów geochemicznych w badanym poziomie wodonośnym. W utworach cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej występują różnego typu sole. Dlatego liczyć się tu należy z możliwością otrzymania wartości stosunków jonowych, których interpretacja będzie odmienna od podanej na podstawie literatury.

⁸ Przy obliczaniu stosunków jonowych powinno uwzględniać się tylko sód. W większości analiz wykorzystanych w pracy nie wykonano ilościowych oznaczeń sodu i potasu. Dlatego autor był zmuszony w miejsce sodu wstawić sumę alkaliów. Uproszczenie takie jest możliwe dzięki stwierdzonemu niewielkiemu udziałowi ilościowemu jonu potasowego w stosunku do jonu sodowego.

METODYKA OPRACOWANIA WYNIKÓW ANALIZ CHEMICZNYCH

Podstawowy materiał analityczny zebrano ze sprawozdań wynikowych głębokich otworów wiertniczych. Łącznie zbiór ten obejmuje 436 analiz prób wód głębinowych.

Konieczność wykonania wielu obliczeń przy tak licznie dużym materiale wyjściowym zdecydowała o zastosowaniu elektronicznej techniki obliczeniowej. Pozwoliło to na przyspieszenie wykonania pracochłonnych operacji matematycznych i zwiększenie liczby wykonywanych przybliżeń.

Założenia do programu obliczeń opracowano w Zakładzie Opracowań Geologicznych „GEONAF TA” w ramach prowadzonych prac hydrogeologicznych.

Program na maszynie ZAM-41 został opracowany w języku M-SAS przez L. Kopytkę (1971)⁹. Przewidywał on obliczenie wybranych stosunków jonowych oraz eliminację wyników analiz noszących ślady zanieczyszczeń. Do dalszych obliczeń zakwalifikowano wyniki spełniające następujące warunki:

$$5 \leq \text{pH} \leq 8, \quad \text{CO}_3^{--} < 1,0 \text{ mg/l}, \quad \text{OH}^- = 0,0 \text{ mg/l},$$

co spowodowało, że liczba analiz zmniejszyła się do 262 dla wszystkich poziomów permskiego piętra wodonośnego.

Mając wyniki obliczeń następujących stosunków jonowych:

$$\begin{aligned} \text{Cl}^- : \text{Br}^- \\ (r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^- \\ r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^- \\ r\text{Cl}^- : r\text{Mg}^{++} \end{aligned}$$

przystąpiono do ustalenia zależności pomiędzy nimi. Zbadano również istniejące związki między stosunkami jonowymi a głębokością występowania wód głębinowych, ich ciężarem właściwym i suchą pozostałością. Do zrealizowania tego zadania wykorzystano program obliczeń opracowany w języku SAKO na maszynie ZAM-41 (Miazek 1971). W oparciu o ten program przeprowadzono analizę statystyczną celem ustalenia zależności między określonymi zbiorami (X, Y) danych hydrochemicznych w każdym poziomie wodonośnym oddzielnie. Założono, że zależność między liczbami poszczególnych grup da się wyrazić w postaci wielomianu najwyższej stopnia czwartego.

⁹ Wszystkie obliczenia, według programu tego autora, wykonano w Stołecznym Ośrodku Elektronicznej Techniki Obliczeniowej „SOETO” w Warszawie.

$$y = W_p(X) \quad (1)$$

gdzie:

- $W_p(X)$ — wielomian stopnia p ($p = 1, 2, 3, 4$),
 y — wartość zmiennej zależnej (badanego zbioru wyjściowego).

Ustalenie liczbowej zależności między tymi zmiennymi polegało na znalezieniu równania linii zbliżonej do prostej lub krzywej określonego kształtu, która przebiega jak najbliżej punktów empirycznych. Do tego celu zastosowano „metodę najmniejszych kwadratów”, przybliżając do równania typu:

$$y' = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots \quad (2)$$

gdzie:

- y' — wartość regresyjna,
 a_0, a_1, a_2 — współczynniki regresji,
 x — wartość zmiennej niezależnej (badanego zbioru wyjściowego).

Jako ocenę właściwego wyboru równania regresji przyjęto wskaźnik korelacji „ R ”:

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

gdzie:

- n — ilość elementów w zbiorze,
 x_i — należy do zbioru X ,
 y_i — należy do zbioru Y ,
 i — 1, 2, 3, ... n .

Wskaźnik ten pozwala na określenie, czy linia otrzymana w wyniku obliczeń zgadza się z wielkościami empirycznymi.

Program ułożono tak, że wskaźnik korelacji R_1 oblicza się przy założeniu, że $y' = a_0 + a_1x$. Następnie zakłada się, że $y' = a'_0 + a'_1x + a'_2x^2$, i powtarza obliczanie wskaźnika korelacji R_2 . Otrzymaną wartość R_2 porównuje się z wartością R_1 . Jeżeli różnica między tymi wskaźnikami jest mniejsza niż założony stopień dokładności, do dalszej analizy przyjmuje się wartość R_1 . Gdy różnica ta jest większa, wówczas zwiększa się stopień wielomianu o jeden i powtarza obliczenie. Program przewiduje, że z chwilą uzyskania wielomianu stopnia czwartego obliczenie zostaje przerwane.

Druga część programu obejmuje budowę szeregów rozdzielczych według ustalonych klas suchej pozostałości i wybranych stosunków jonowych w wodach głębinowych permskich poziomów wodonośnych. Przekształca on rozkład danych liczbowych w odpowiadający im rozkład procentowy.

ROZKŁAD WARTOŚCI SUCHEJ POZOSTAŁOŚCI I WYBRANYCH STOSUNKÓW JONOWYCH

Charakteryzując chemizm wód permskiego piętra wodonośnego ograniczono się do określenia zmienności mineralizacji i wybranych stosunków jonowych w każdym z poziomów wodonośnych oraz do porównania wartości tych elementów pomiędzy poszczególnymi poziomami wodonośnymi permu.

Sucha pozostałość badanych wód zmienia się w bardzo szerokich granicach (fig. 3A). Najsilniej zmineralizowane wody stwierdzono w najwyższym leżącym poziomie wodonośnym permu — dolomicie głównym. Najniższe wartości suchej pozostałości spotyka się w wodach poziomu wapienia podstawowego.

Zróznicowanie wartości mineralizacji ogólnej wód w różnych poziomach wodonośnych jest wyraźne. Decydować o tym może różny pochodzenie i odmienny przebieg procesów przeobrażenia wód zachodzących w różnych pod względem litologii osadach permu. W utworach dolomitu głównego obserwuje się wody o mineralizacji wyższej niż w pozostałych poziomach wodonośnych. Zjawisko to może być wywołane infiltracją w osady dolomitu głównego wód ługujących sole cechszytyńskie, lub wpływem ługów pokryształizacyjnych. Na możliwość występowania w tym poziomie solanek o charakterze zbliżonym do ługów solnych pierwsza zwróciła uwagę J. Gumułka (1966).

Wody głębinowe występujące w utworach permu, ze względu na ich wysoką mineralizację, zaliczyć można do klasy silnych solanek (Prickłowski & Łaptiev 1955). Około 90% wód z poziomów wodonośnych czerwonego spągowca i dolomitu głównego, a 85% z poziomu wapienia podstawowego charakteryzuje się suchą pozostałością powyżej 150 g/l (tab. 7 i fig. 3A). Dla porównania sucha pozostałość wód oceanicznych wynosi ok. 35 g/l (Alekin 1956).

Najczęściej spotykane wartości mineralizacji (50% częstotliwości występowania)¹⁰ w poszczególnych poziomach przedstawiają się następująco:

dolomit główny	ok. 300 g/l
wapień podstawowy	ok. 220
czerwony spągowiec	ok. 280

¹⁰ Dla scharakteryzowania zmienności poszczególnych zbiorów danych w opracowaniu przyjęto wartości, które występują z 50% i 5% częstotliwością.

Graniczne wartości mineralizacji ogólnej wód (5% częstotliwości występowania) w permskim piętrze wodonośnym przedstawiają się następująco:

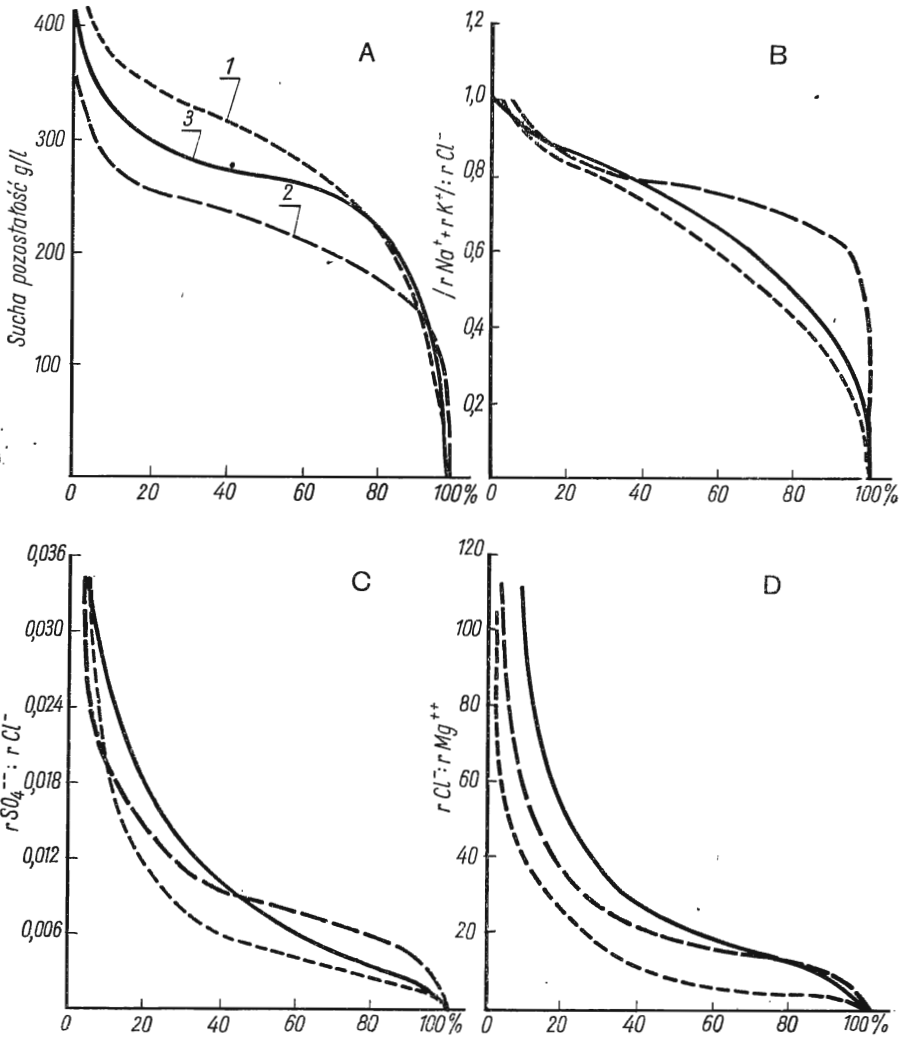


Fig. 3

Wykresy częstotliwości występowania wartości

A suchej pozostatości, B stosunku jonowego $(rNa^{+} + rK^{+}) : rCl^{-}$, C stosunku jonowego $rSO_{4}^{--} : rCl^{-}$, D stosunku jonowego $rCl^{-} : rMg^{++}$

Krzywe kumulacyjne dla wód pochodzących z: 1 dolomitu głównego, 2 wapienia podstawowego, 3 czerwonego spągowca

Occurrence frequency curves of the values of

A dry residue, B ion ratio $(rNa^{+} + rK^{+}) : rCl^{-}$, C ion ratio $rSO_{4}^{--} : rCl^{-}$, D ion ratio $rCl^{-} : rMg^{++}$

Cumulative curves for waters from: 1 main dolomite, 2 basic limestone, 3 Rotliegendes

dolomit główny ok. 80 i ok. 400 g/l
 wapień podstawowy ok. 75 i ok. 300
 czerwony spągowiec ok. 100 i ok. 360

Podane wyżej wartości odczytane z krzywych kumulacyjnych traktowań należy jako dane przybliżone. Należy zwrócić uwagę, że krzywe dla po-

Tabela (Table) 7

Zestawienie wybranych otworów*, w których określono wartości charakterystycznych stosunków jonowych w wodach głębinowych permu monokliny przedsudeckiej
 Selected boreholes where the ionic ratio values have been determined in the Permian brines of the Foresudetic monocline

Otwór /Borehole/	Średnia głębokość próbowanego interwału w m /Mean depth of tested interval in m/	Ciężar właściwy wody w g/cm ³ /Specific gravity of brines in g/cm ³	Sucha pozostałość w g/l /Dry residue in g/l/	Stosunki jonowe /Ionic ratios/			
				$\frac{Cl^-}{Br^-}$	$\frac{rNa^+ + rK^+}{rCl^-}$	$\frac{rSO_4^{--}}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rMg^{++}}$
Poziom wodonośny dolomitu głównego /Main dolomite aquifer - Zechstein/							
Borz. 4	1305	1,145	214,2	323,8	0,87	1,06	13,9
Borz. 8	1334	1,168	263,2	377,0	0,90	0,01	17,0
Dęb. 1	1267	1,165	245,0	164,8	0,82	0,01	83,3
Lask. IG-1	1035	1,017	21,6	268,6	0,54	0,14	6,0
Osiecz. 1	1871	1,282	369,8	-	0,62	0,001	6,1
Tom. 3	1929	1,024	20,0	85,6	0,26	0,05	4,9
Ryb. 8	1778	1,290	406,4	-	0,62	0,000	3,4
Skor. 1	1762	1,240	355,7	67,0	0,40	0,001	7,9
Żmig. 1	1316	1,003	9,0	-	1,07	0,03	61,2
Poziom wodonośny wapienia podstawowego /Basio limestone aquifer - Zechstein/							
Borz. 4	1428	1,123	189,4	1410,3	0,91	0,01	370,4
Chrz. 1	1087	1,067	95,9	330,9	0,61	0,02	8,1
Cze. 2	1512	1,154	232,4	157,0	0,68	0,009	19,8
Cze. 5	1549	1,155	222,4	521,5	0,74	0,007	27,1
Cze. 9	1579	1,156	350,0	141,6	0,91	0,000	15,5
Cze. 10	1586	1,165	238,2	207,4	0,69	0,003	23,4
Mak. 4	1578	1,145	217,0	277,4	0,87	0,009	36,9
Radz. 5	1608	1,202	314,0	380,4	0,92	0,01	69,5
Siek. 2	1478	1,090	135,0	138,3	0,70	0,01	20,0
Ucie. 3	1526	1,194	285,0	166,7	0,79	0,004	98,8
Poziom wodonośny czerwonego spągowca /Rotliegendes aquifer/							
Bog. 7	1518	1,190	288,2	152,4	0,85	0,006	48,7
Borz. 1	1571	1,167	254,1	313,3	0,89	0,01	153,6
Gub. 2	2025	1,241	358,4	261,8	0,43	0,001	15,7
Komo. 1	1962	1,243	352,0	232,7	0,43	0,003	24,6
Ości. 2	1628	1,193	289,2	-	0,75	0,008	23,9
Osiecz. 1	2199	1,214	302,8	-	0,48	0,01	7,4
Ostrz. 1	1741	1,082	129,0	-	0,94	0,03	108,3
Radu. 1	1990	1,189	278,4	-	0,55	0,01	187,4
Wys. 2	1254	1,165	274,7	400,1	0,77	0,002	31,2
Żmig. 1	1492	1,170	260,0	257,5	0,87	0,008	19,3

* Zestawienie wszystkich otworów patrz T. Dąbrowski (1972).
 For all data see T. Dąbrowski (1972).

szczególnych poziomów wodonośnych wykreślono na podstawie różnych ilości danych, pochodzących z otworów nierównomiernie zlokalizowanych na całym obszarze monokliny przedsudeckiej.

Brak dostatecznej liczby danych nie pozwolił na przedstawienie zmienności stosunku jonowego $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ w poziomach wodonośnych permu monokliny przedsudeckiej.

Wartości stosunku $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^-$ wahają się w granicach od ok. 0,4 do powyżej 1,0 (fig. 3B). Zauważyć można podobieństwo przebiegu krzywych kumulacyjnych w poziomie czerwonego spągowca i dolomitu głównego, przy odmiennym charakterze krzywej dla poziomu wapienia podstawowego.

Wy tłumaczenie takiego rozkładu wartości w poziomie dolomitu głównego nie jest proste. Jeżeli założymy, że mineralizacja wód w tych utworach jest między innymi spowodowana dopływem wód łągujących sole kamienne, wówczas wartości powinny być wyższe lub równe 0,85 (Balašov 1960). Występowanie w utworach salinarnych cechsztynu łatwo rozpuszczalnych soli magnezu i wapnia zostało stwierdzone w zachodniej części monokliny. Obecność tych soli wpływać może lokalnie na obniżenie wartości tego stosunku w wodach poziomu dolomitu głównego.

Stwierdzić można, że wody głębinowe permskiego piętra wodonośnego charakteryzują się niskimi wartościami stosunku $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^-$. Jedynie w ok. 23% analizowanych wód wartość wynosi 0,85 (fig. 3B), czyli jest wyższa od wartości w wodzie oceanicznej.

Wartości stosunku $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^-$, o 50% częstotliwości występowania, w poszczególnych poziomach wodonośnych przedstawiają się następująco:

dolomit główny	ok. 0,65
wapień podstawowy	ok. 0,68
czerwony spągowiec	ok. 0,75

Graniczne wartości (5% częstotliwości występowania) są następujące:

dolomit główny	ok. 0,25	i	ok. 0,97
wapień podstawowy	ok. 0,57	i	ok. 0,96
czerwony spągowiec	ok. 0,28	i	ok. 0,96

Z krzywej rozkładu $(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) : r\text{Cl}^-$ widać, że wartości w utworach wapienia podstawowego zmieniają się w stosunkowo niewielkim przedziale (fig. 3B). Powoduje to charakterystyczne wybrzuszenie krzywej w stosunku do krzywych reprezentujących czerwony spągowiec i dolomit główny.

W wodach permskiego piętra wodonośnego wartości stosunku $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ są na ogół niskie i wahają się w granicach od ok. 0 do ok. 0,30 (fig. 3C). Krzywe kumulacyjne częstotliwości występowania przecinają się wzajemnie wskazując, że w żadnym z poziomów wodonośnych nie obserwuje się charakterystycznego dla niego rozkładu wartości. Przy-

puszczać można, że bez względu na wykształcenie litologiczne osadów permjskich przebieg procesu redukcji siarczanów w wodach był podobny. Równie niskie wartości stosunku jonowego stwierdził J. Dowgiałło (1971) w zmineralizowanych wodach mezozoiku północnej Polski.

Wykresy częstotliwości występowania wartości stosunku jonowego $rCl^- : rMg^{++}$ układają się w sposób odmienny w każdym z poziomów wodonośnych. Najniższe wielkości obserwuje się w poziomie dolomitu głównego, a najwyższe w osadach czerwonego spągowca (fig. 3D). Charakterystyczne wartości (50% częstotliwości występowania) tego stosunku dla poszczególnych poziomów wodonośnych są następujące:

dolomit główny	ok. 8
wapień podstawowy	ok. 18
czerwony spągowiec	ok. 25

a graniczne wartości (5% częstotliwości występowania) wynoszą:

dolomit główny	ok. 3	i	ok. 55
wapień podstawowy	ok. 7	i	ok. 110
czerwony spągowiec	ok. 6	i	ok. 180

Według I. I. Chebotarieva (1955) wartość stosunku jonowego w wodzie oceanicznej równa się 5,08, a w wodach typu chlorkowego wynosi ok. 14,6.

W wyniku łącznego opróbowania poziomu wodonośnego czerwonego spągowca i wapienia podstawowego uzyskano wody o mineralizacji i wartościach stosunków jonowych zbliżonych do tych samych cech wód pochodzących z poziomu czerwonego spągowca. Świadczyć to może o istnieniu większych przypływów wód do opróbowywanej strefy z utworów czerwonego spągowca niż z osadów wapienia podstawowego. Pośrednio może to wskazywać także na lepsze własności kolektorskie klastycznych osadów czerwonego spągowca. Wniosku tego nie należy jednak zbyt uogólniać, gdyż w wapieniu podstawowym występować mogą silnie szczelinowate strefy, z których dopływ wód może znacznie przewyższać ilości dopływające z czerwonego spągowca.

Analiza wykresów częstotliwości występowania suchej pozostałości i wybranych stosunków jonowych wykazała, że każdy z poziomów wodonośnych permu charakteryzuje się odmiennym reżimem hydrochemicznym.

W wyniku przeprowadzonej analizy rozkładu wartości suchej pozostałości i wybranych stosunków jonowych określono tło hydrochemiczne poszczególnych poziomów wodonośnych. Jako typowe dla każdego z badanych poziomów przyjęto umownie takie wartości, które mieszczą się w granicach 25—75% częstotliwości występowania (fig. 3). Zestawienie charakterystycznych wartości suchej pozostałości i wybranych stosunków jonowych przedstawiono w tabeli 8.

Z przytoczonych danych wynika, że wartości poszczególnych wskaź-

T a b e l a (Table) 8

Wskaźnik hydrochemiczny /Hydrochemical coefficient/ Poziom wodonośny /Aquifer/	Dolomit główny /Main dolomite/	Wapień podstawowy /Basic limestone/	Czerwony spągowiec /Rotliegendes/
Sucha pozostałość g/l /Dry residue in g/l/	340-245	250-170	280-230
$rNa^+ + rK^+ : rCl^-$	0,83-0,47	0,84-0,69	0,84-0,50
$rSO_4^{--} : rCl^-$	0,008-0,002	0,012-0,006	0,014-0,004
$rCl^- : rMg^{++}$	19-4	32-13	43-14
Dominujący typ hydrochemiczny wód /Main hydrochemical types of brines/	Cl-Na Cl-Na-Mg Cl-Na-Mg-Ca	Cl-Na Cl-Na-Ca Cl-Ca-Na	Cl-Na Cl-Na-Ca

ników hydrochemicznych tła wahają się w szerokich granicach. Wynika to ze znacznej wielkości obszaru, jaki objęto badaniami. Utwory permu występują tu w różnych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych. Wywiera to decydujący wpływ na zmienność wartości wskaźników hydrochemicznych. Utrudnia to wykorzystanie wykresów częstotliwości występowania do jednoznacznej oceny jakości prób wody. W określonych granicach mogą się bowiem mieścić wartości otrzymane z analizy wód lekko rozcieńczonych lub słabo zanieczyszczonych.

ANALIZA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY GŁĘBOKOŚCIĄ WYSTĘPOWANIA, SUCHĄ POZOSTAŁOŚCIĄ, CIĘŻAREM WŁAŚCIWYM I WYBRANYMI STOSUNKAMI JONOWYMI WÓD

Opracowanie właściwych kryteriów oceny jakości prób wody ma zasadnicze znaczenie w badaniach hydrogeologicznych. Znajomość tła hydrochemicznego określona rozkładem wartości suchej pozostałości i stosunków jonowych pozwala jedynie na ogólną ocenę jakości prób wody. Dlatego w pracy podjęto dalsze próby ściślejszego ustalenia podstaw oceny jakości wód. W tym celu przeprowadzono analizę zależności między głębokością występowania a ciężarem właściwym, suchą pozostałością i wybranymi stosunkami jonowymi wód głębinowych. Następnie kolejno badano zależności między ciężarem właściwym i suchą pozostałością wód a stosunkami jonowymi i dalej współzależności między nimi. Próby te zmierzały do ustalenia zależności, które w przyszłości mogłyby służyć za podstawę oceny jakości prób wód pobieranych z głębokich otworów wiertniczych. Pamiętać należy, że przy ocenie jakości tych prób nie można opierać się tylko na kryterium hydrochemicznym. W przypadku stwier-

dzenia anomalii należy starannie przeanalizować lokalne warunki geologiczne oraz przebieg wiercenia i zabiegów przeprowadzonych w otworze.

Badanie zależności przeprowadzono na maszynie cyfrowej ZAM-41 wykorzystując w tym celu program obliczeń opracowany przez A. Miazek (1971).

Danych jest 7 zbiorów liczb reprezentujących wybrane parametry hydrochemiczne każdego z poziomów wodonośnych permu monokliny przedsudeckiej, które oznaczono kolejnymi numerami:

- 1 — średnia głębokość opróbowanego interwału w m,
- 2 — ciężar właściwy wody w g/cm^3 ,
- 3 — sucha pozostałość w g/l ,
- 4 — stosunek jonów $Cl^- : Br^-$,
- 5 — stosunek jonów $(rNa^+ + rK^+) : rCl^-$,
- 6 — stosunek jonów $rSO_4^{--} : rCl^-$,
- 7 — stosunek jonów $rCl^- + rMg^{++}$.

Wykonano obliczenia mające na celu stwierdzenie zależności funkcyjnych między poszczególnymi parami tych zbiorów. W celu skrócenia zapisu zamiast podawać pełne nazwy parametrów posłużono się odpowiadającymi im kolejnymi numerami:

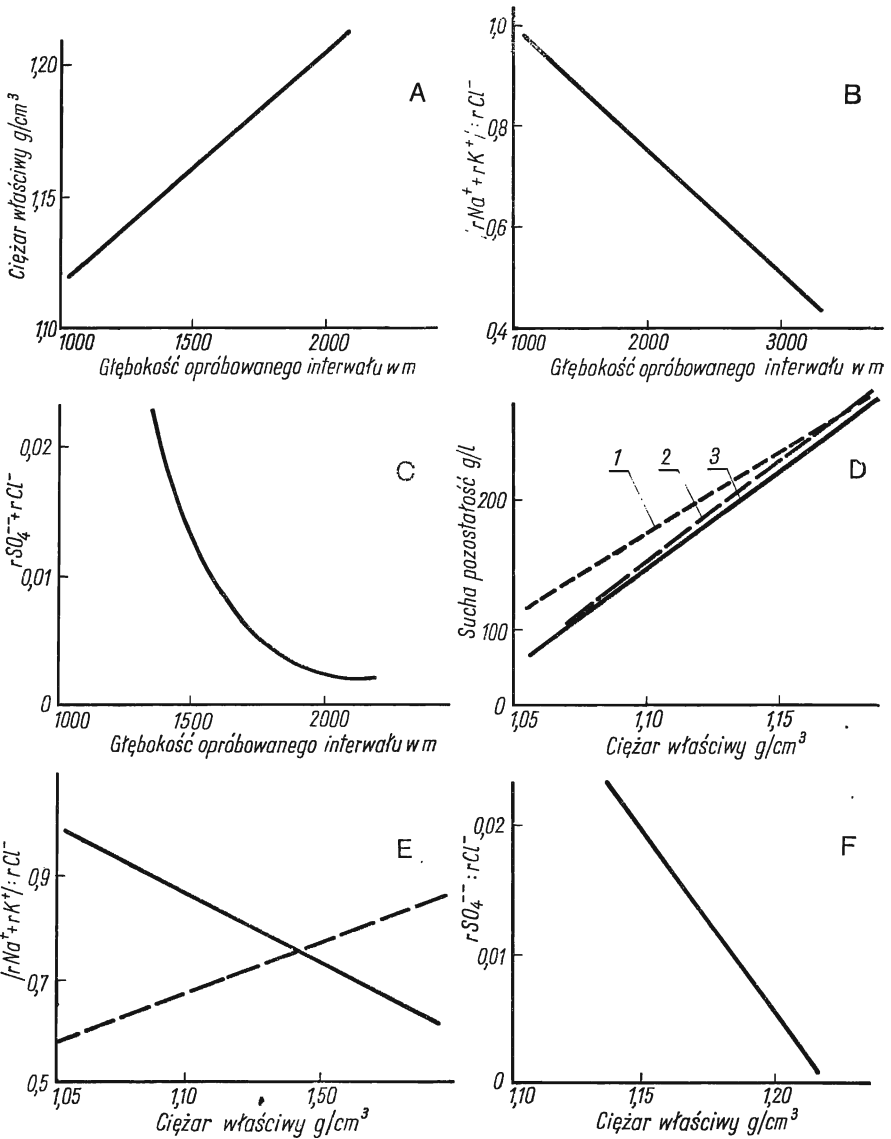
2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, 5 : 1, 6 : 1, 7 : 1
 3 : 2, 4 : 2, 5 : 2, 6 : 2, 7 : 2
 4 : 3, 5 : 3, 6 : 3, 7 : 3
 5 : 4, 6 : 4, 7 : 4
 6 : 5, 7 : 5
 7 : 6

Łącznie dla każdego z poziomów wodonośnych wykonano 21 obliczeń zależności między tak zestawionymi parami zbiorów liczbowych. W przypadkach, gdy stwierdzono istnienie związków między poszczególnymi parametrami, przedstawiono je w postaci wykresów (fig. 4). W pracy wykorzystano tylko te zależności między zbiorami liczb, które wyrażone przez wielomian co najwyżej trzeciego stopnia charakteryzowały się wskaźnikiem korelacji wyższym od 0,5. Jest to założenie umowne, gdyż zależności charakteryzujące się wskaźnikiem korelacji w granicach 0,5—0,7 trudno uznać za wyraźne. Jeżeli wskaźnik ten jest wyższy od 0,7, można mówić o istnieniu związku między badanymi parametrami (Perkal 1967).

Wykresy zależności przedstawiono w układzie współrzędnych prostokątnych, którym przypisano odpowiednie pary analizowanych elementów. Wniesiono na nie, dla każdego poziomu wodonośnego oddzielnie, punkty określone przez odpowiednie pary liczb empirycznych, których wartości odczytano z osi współrzędnych. W utworzony zbiór punktów wkreślono linię spełniającą równanie regresji. Jeżeli badana zależność występowała w trzech poziomach wodonośnych, to dla każdej pary zbiorów liczbowych otrzymano po 3 wykresy. W celu łatwiejszego porówna-

nia istniejących zależności w różnych poziomach wodonośnych przedstawiono przebieg tych linii na jednym wykresie.

Przeprowadzona analiza zależności pozwoliła na określenie związków między wybranymi wskaźnikami hydrochemicznymi. W badaniach hydrogeologicznych uwzględnia się szereg różnych stosunków jonowych, często przypisując im podobne znaczenie w określaniu genezy wód czy też przy ocenie warunków geochemicznych, w jakich one występują. Wykonane obliczenia pozwoliły tylko w pewnych przypadkach na stwierdzenie wyraźnych związków między niektórymi wskaźnikami hydroche-



micznymi. Uzyskane wyniki z permskiego piętra wodonośnego trudno jest traktować jako ostateczne. Tego typu analizę należy przeprowadzać powtórnie po zebraniu jeszcze większej ilości danych wyjściowych. W przypadku, gdy uzyskane w pierwszym etapie wyniki zostaną potwierdzone, badaniami należy objąć inne jednostki hydrogeologiczne Polski. Jeżeli i te prace potwierdzą brak lub istnienie poszczególnych związków, powstaną wystarczające podstawy do porównania roli wybranych stosunków jonowych dla badań hydrogeologicznych.

W wodach permskiego piętra wodonośnego nie stwierdzono wyraźnej zależności ciężaru właściwego i mineralizacji od głębokości występowania wód. Jest to prawdopodobnie wywołane dopływem w utwory dolomitu głównego i wapienia podstawowego wód ługujących sole cechsztyńskie. Zjawisko to wywołuje powstawanie inwersji w pionowym rozkładzie mineralizacji wód głębinowych.

W poziomie wodonośnym czerwonego spagowca stwierdzono pewną tendencję wzrostu ciężaru właściwego w zależności od głębokości występowania wód (fig. 4A). Przedstawić ją można w postaci wielomianu

$$y = 1,028 + 0,000088 x; \quad R = 0,53$$

Niski wskaźnik korelacji „R” wskazuje, że związek ten nie jest wyraźny. Podobnie przedstawia się zależność suchej pozostałości od głębokości występowania wód.

Brak związku między głębokością występowania wód a stopniem ich zmineralizowania w utworach cechsztynu monokliny przedsudeckiej może być wynikiem procesów ługowania soli, ewentualnie udziałem ługów

Fig. 4

Wykresy zależności

A — ciężaru właściwego od średniej głębokości opróbowanego interwału

B — $(rNa^+ + rK^+) : rCl^-$ od średniej głębokości opróbowanego interwału

C — $rSO_4^{--} : rCl^-$ od średniej głębokości opróbowanego interwału

D — suchej pozostałości od ciężaru właściwego

E — $(rNa^+ + rK^+) : rCl^-$ od ciężaru właściwego

F — $rSO_4^{--} : rCl^-$ od ciężaru właściwego

Linie opisujące zbiory punktów empirycznych dla poziomów wodonośnych

1 dolomitu głównego, 2 wapienia podstawowego, 3 czerwonego spagowca

Uwaga: Brak wykresów dla poszczególnych poziomów wodonośnych oznacza, że w ich obrębie zależności tej nie stwierdzono

Relation curves

A — of specific weight and the mean depth of the sampled interval

B — $(rNa^+ + rK^+) : rCl^-$ ratio and the mean depth of the sampled interval

C — $rSO_4^{--} : rCl^-$ ratio and the mean depth of the sampled interval

D — of the dry residue and the specific weight

E — $(rNa^+ + rK^+) : rCl^-$ ratio and the specific weight

F — $rSO_4^{--} : rCl^-$ ratio and the specific weight

Lines describing the collection of empiric points for the waterbearing horizons in:

1 the main dolomite, 2 the basic limestone, 3 the Rotliegendes

Remark: Lack of curves for the particular waterbearing horizons indicates that no such relation has been observed

okryształizacyjnych, które powodują anormalny rozkład suchej pozostałości w pionowym profilu hydrogeochemicznym. Powstawaniu anomalii sprzyja szczelinowy charakter cyrkulacji wód w utworach cechsztynu. Lokalnie sprzyjąc on może szybszej i głębiej sięgającej wymianie wód.

Zależność stosunku jonowego ($r\text{Na}^+ + r\text{K}^+$) : $r\text{Cl}^-$ od średniej głębokości opróbowanego interwału obserwuje się tylko w poziomie wodonośnym czerwonego spągowca (fig. 4B). Wyrazić ją można w postaci równania

$$y = 1,451 - 0,00047 x; \quad R = 0,61$$

Z wykresu widać, że stosunek ten ma tendencję zmniejszania się w miarę wzrostu głębokości występowania wód. Może to być wynikiem procesów przeobrażania ich składu chemicznego, który powoduje wzrost ilości jonów wapnia i magnezu w wodach kosztem jonu sodu. Brak tej zależności w poziomie wapienia podstawowego i dolomitu głównego można ewentualnie tłumaczyć dopływem wód ługujących sole.

Zależność stosunku jonowego $r\text{SO}_4^{--}$: $r\text{Cl}^-$ od średniej głębokości opróbowanego interwału stwierdzono również w poziomie wodonośnym czerwonego spągowca (fig. 4C). Wyraża się ona wzorem:

$$y = 0,211 - 0,00022 x + 0,000000058 x^2; \quad R = 0,62$$

Malejąca wartość tego stosunku jonowego w miarę zwiększania się głębokości występowania wód świadczy o wzroście redukcyjnego charakteru środowiska skalnego. Do głębokości ok. 1600 m zmiana ma charakter zbliżony do liniowego. W przedziale głębokości 1600—1800 m następuje zmiana przebiegu linii, która zaczyna się zbliżać asymptotycznie do osi x. Wskazuje to, że wartość badanego stosunku jonowego ustala się.

W celu sprawdzenia metody obliczeń zbadano zależność między suchą pozostałością a ciężarem właściwym wody (fig. 4D). Zależność między tymi parametrami jest bardzo wyraźna i ma charakter liniowy. Wskaźnik korelacji dla poszczególnych równań regresji jest wysoki i waha się od 0,87 do 0,98.

Zależność wielkości stosunku ($r\text{Na}^+ + r\text{K}^+$) : $r\text{Cl}^-$ od ciężaru właściwego wody w poziomach wodonośnych czerwonego spągowca i wapienia podstawowego nie jest wyraźna. Ustalono następujące zależności funkcyjne między tymi wielkościami w poziomach wodonośnych wapienia podstawowego

$$y = 1,380 + 1,865 x; \quad R = 0,51$$

i czerwonego spągowca

$$y = 2,632 - 2,526 x; \quad R = 0,54$$

Z wykresu (fig. 4E) widać, że w poziomie wodonośnym wapienia podstawowego wielkość tego stosunku rośnie zgodnie ze zwiększeniem się ciężaru właściwego wody. W wodach poziomu czerwonego spągowca zależ-

ność ta ma tendencję odwrotną. Fakt ten można przypuszczalnie wytłumaczyć wpływem zjawiska ługowania soli na kształtowanie się ciężaru właściwego wody w poziomie wapienia podstawowego. W utworach czerwonego spągowca wzrost ciężaru właściwego wody nastąpił przypuszczalnie na skutek procesów przeobrażenia ich składu chemicznego, który polega na zmniejszeniu się ilości jonu sodowego na skutek wymiany jonowej.

Wartość stosunku $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ maleje liniowo ze wzrostem ciężaru właściwego wody w poziomie wodonośnym czerwonego spągowca (fig. 4F) zgodnie z równaniem:

$$y = 0,332 - 0,272 x; \quad R = 0,75$$

Zmniejszenie się tego stosunku jest wynikiem wzrostu ilości jonu chlorowego w wodach o większym ciężarze właściwym.

Zależność omówionych wyżej trzech stosunków jonowych od suchej pozostałości jest bardzo zbliżona do ich związku z ciężarem właściwym wód. Dlatego w pracy nie przedstawiono wykresów tych zależności.

Mała ilość oznaczeń zawartości bromu w wodach głębinowych poziomu wapienia podstawowego i czerwonego spągowca nie pozwoliła na ustalenie związku między stosunkiem $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ i pozostałymi parametrami hydrochemicznymi tych wód.

Analiza zależności stosunku jonowego $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ od głębokości występowania i mineralizacji wód w poziomie dolomitu głównego nie wykazała związku między tymi parametrami. Obserwuje się również brak zależności między poszczególnymi stosunkami jonowymi a $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$. J. Dowgiałło (1971) stwierdził w wodach mezozoiku północnej Polski, że wartości $\text{Cl}^- : \text{Br}^-$ maleją wraz z głębokością. Odchylenie od tej zasady zaobserwował w strefach, gdzie występują osady ewaporatowe. Pogląd ten znajduje potwierdzenie w wynikach analizy hydrochemicznej dolomitu głównego monokliny przedsudeckiej.

Przeprowadzona analiza związków korelacyjnych pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami hydrochemicznymi wykazała istnienie stosunkowo niewielkiej liczby zależności. Wskazuje to, że rola niektórych stosunków jonowych wód głębinowych jako wskaźników warunków hydrochemicznych nie jest jednoznaczna. Być może, wniosek ten należałoby ograniczyć do pięter wodonośnych, w których na kształtowanie stosunków jonowych mają wpływ ługi solne powodujące anomalie hydrochemiczne.

Stwierdzone zależności w większości przypadków wskazują na zróżnicowanie chemizmu wód występujących w różnych poziomach wodonośnych permu monokliny przedsudeckiej. Pośrednio świadczyć to może o częściowym braku łączności hydraulicznej lub utrudnionej wymianie wód pomiędzy tymi poziomami.

Zależności pomiędzy stosunkami jonowymi, stwierdzone w wodach otrzymanych w wyniku łącznego opróbowania poziomów wodonośnych

czerwonego spągowca i wapienia podstawowego, są na ogół zbliżone do wyników z poziomu czerwonego spągowca. Wyniki te różnią się od danych hydrochemicznych charakterystycznych dla osadów wapienia podstawowego. Na tej podstawie można przypuszczać, że w czasie pobierania prób większe przyipywy wód uzyskiwano z osadów czerwonego spągowca.

Mimo wstępnej eliminacji wyników analiz chemicznych wód wyraźnie zanieczyszczonych, na wykresach występują punkty odległe od linii opisującej badane zbiory liczbowe. Wartości takie można traktować jako anomalie spowodowane zanieczyszczeniem prób wody i należałoby je odrzucić (Dąbrowski 1972b).

PRAKTYCZNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZNAJOMOŚCI WARUNKÓW HYDROCHEMICZNYCH W POSZUKIWANIACH NAFTOWYCH

Opracowana charakterystyka pozwoliła na wstępne określenie tła hydrochemicznego w poziomach wodonośnych permu monokliny przedsudeckiej. Dzięki niej uzyskano zbiór wartości suchej pozostałości i stosunków jonowych oraz szereg wykresów zależności wybranych parametrów hydrochemicznych typowych dla każdego z badanych poziomów wodonośnych. Tak zebrany materiał oraz analiza danych dotyczących przebiegu wiercenia, rodzaju użytych płuczek i zabiegów zmierzających do wywołania produkcji pozwolić mogą w przyszłości na skuteczną eliminację wyników analiz prób wód noszących ślady zanieczyszczeń.

Analiza danych hydrochemicznych wykazała, że wody głębinowe permskiego piętra wodonośnego monokliny przedsudeckiej charakteryzują się wysokim stopniem przeobrażenia ich składu chemicznego. Występują one w strefie, gdzie wymiana wód jest bardzo powolna i odbywa się w skali wieku geologicznego. Zjawisko powolnej wymiany wód jest czynnikiem sprzyjającym akumulacji złóż węglowodorów. Dlatego przypuszczać należy, że w utworach permu monokliny przedsudeckiej istnieją poważne perspektywy odkrycia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.

Bardziej szczegółowe poznanie warunków hydrochemicznych panujących w utworach permu pozwolić może w przyszłości na jednoznaczne wyjaśnienie dyskusyjnego jeszcze problemu łączności hydraulicznej między poziomami wodonośnymi wapienia podstawowego i czerwonego spągowca. Uzyskane do chwili obecnej dane hydrochemiczne i obserwacje z obszarów złożowych wskazują, że są to dwa oddzielne poziomy wodonośne. Twierdzenie to ma charakter roboczy i wymaga dalszych badań, nim problem ten zostanie w pełni rozwiązany. Wyjaśnienie związku między tymi poziomami wodonośnymi ma pierwszorzędne znaczenie w pro-

jektowaniu naftowych otworów poszukiwawczych i przy dokumentowaniu zasobów w odkrytych złożach.

Znajomość chemizmu wód w określonym poziomie wcdonośnym może być podstawą do oceny hydrogeologicznej roli poszczególnych dyslokacji. Jeżeli po obu stronach uskoku występują wody o zbliżonych parametrach hydrochemicznych, wówczas przypuszczać można, że strefa ta nie ogranicza przepływu wód. Sytuowanie wierceń poszukiwawczych w strukturach antyklinalnych przyległych do takich dyslokacji jest niecelowe, gdyż nie stanowią one nieprzepuszczalnego zamknięcia pułapki, w której możliwa jest akumulacja węglowodorów.

W oparciu o analizę danych hydrochemicznych i warunków geologicznych regionu można wyznaczyć przypuszczalne kierunki podziemnych przepływów wód. Znajomość tego czynnika jest bardzo ważna przy projektowaniu naftowych otworów poszukiwawczych. Przepływ wód może spowodować przesunięcie złoża poza centralną partię struktury. W takiej sytuacji negatywny wynik wiercenia wykonanego w szczytowej partii struktury nie przekreśla całkowicie perspektyw odkrycia złoża na jej peryferiach.

Znajomość regionalnego tła hydrochemicznego w poszczególnych poziomach wodonośnych może być wykorzystana do określenia pochodzenia wód pojawiających się w naftowym otworze eksploatacyjnym. Jeżeli dopływająca do otworu woda ma skład chemiczny charakterystyczny dla wód występujących w eksploatowanym poziomie, świadczyć to może o wyczerpywaniu się złoża lub nieprawidłowej jego eksploatacji. Inną możliwością jest dopływ wód do otworu z wyżej leżącego poziomu wodonośnego na skutek złego stanu technicznego otworu. W takiej sytuacji należy otwór zrekonstruować i dalej prowadzić eksploatację.

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonej analizy hydrochemicznej wód głębinowych w utworach permu monokliny przedsudeckiej nasuwają się następujące wnioski:

1. Zakres wykonywanych przez laboratoria górnictwa naftowego analiz wód jest wystarczający do ogólnej oceny warunków hydrochemicznych w badanych poziomach wodonośnych. Jest on jednak niewystarczający do wyjaśnienia związków genetycznych pomiędzy środowiskiem skalnym, węglowodorami i wodami głębinowymi. Wydaje się, że w rozwiązaniu tego typu problemów dużą rolę odegrać może zastosowanie neutronowej analizy aktywacyjnej i analizy izotopów trwałych wodoru, węgla, tlenu i siarki.

2. Chemizm wód głębinowych permskiego piętra wodonośnego monokliny przedsudeckiej jest wyraźnie zróżnicowany. W miarę oddalania się od bloku przedsudeckiego ku północy, zgodnie z kierunkiem zapadania osadów, zmienia się skład jonowy i mineralizacja ogólna wód. Typ hydrochemiczny zmienia się od $\text{SO}_4\text{-Ca}$ w strefie podtrzęciorzędowych wychodni permu do Cl-Na w północnych peryferiach monokliny. Zmianom tym towarzyszy wzrost mineralizacji ogólnej od kilku g/l do powyżej 300 g/l.

3. W permskim piętrze wodonośnym występują na ogół wody typu Cl-Na , Cl-Na-Ca i Cl-Na-Ca-Mg . Wysoki stopień ich przeobrażenia chemicznego wskazuje, że piętro to leży w strefie hydrodynamicznej charakteryzującej się bardzo utrudnioną wymianą wód.

4. Istniejące dane wskazują, że wody głębinowe poziomów wodonośnych permu charakteryzują się różnym reżimem hydrochemicznym. Wyraża się on odmiennym składem jonowym, różnym stopniem mineralizacji ogólnej i wartościami analizowanych stosunków jonowych oraz różnymi zależnościami funkcyjnymi między tymi parametrami. Wiązać to można z różną genezą wód, hydrodynamiką, wykształceniem litologicznym i tektoniką osadów będących ich kolektorami. Wody głębinowe w poziomie czerwonego spagowca mają większą stabilność hydrochemiczną niż wody występujące w utworach wapienia podstawowego. Największą zmienność chemizmu wód obserwuje się w poziomie dolomitu głównego.

5. Przeprowadzona analiza związków korelacyjnych pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami hydrochemicznymi wykazała istnienie stosunkowo niewielkiej liczby zależności w wodach utworów permu. Potwierdza to sygnalizowany w literaturze pogląd, że rola stosunków jonowych w badaniach hydrochemicznych nie jest jednoznaczna.

6. W ocenie warunków hydrochemicznych permskiego piętra wodonośnego monokliny przedsudeckiej napotyka się na trudności wynikające z braku danych hydrodynamicznych i nie najlepszych wyników opróbowań głębokich otworów wiertniczych.

7. Przedstawione w postaci wykresów zmiany wartości wybranych elementów hydrochemicznych oraz ich wzajemne zależności stanowiącą podstawę do oceny jakości prób wody pobieranych z głębokich otworów wiertniczych.

LITERATURA CYTOWANA

- ALEKIN O. A. 1956. Podstawy hydrochemii. *Wydawn. Geol.* Warszawa.
- BALAŠOV L. S. 1960. O dvoch genetičeskich klassach solenych vod v osadočnych otloženiach. — *Trudy Lab. Hidrogeol. Probl. Akad. Nauk SSSR*, t. 30. Moskva.
- BIRECKI T., WÓJCIKIEWICZ S. & BOJARSKA J. 1970. Syntetyczne regionalne opracowanie gazonośnego horyzontu (poziom wapienia podstawowego i stropowych partii czerwonego spągowca) dla zachodniej i środkowej części monokliny przedsudeckiej. *Maszynopis — Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- & KARNKOWSKI P. 1971. Rozwój miąższościowo-facjalny poziomu wapienia podstawowego. *Materiały geologiczne na konferencję — Ibidem*.
- BŁASZAK A., REINISCH R. & SKARBEK K. 1970. Nowe metody i udoskonalony sposób dowiercania i opróbowywania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego (The new methods and improved way to drill to the pay zone and to test it). — *Geof. i Geol. Naft.*, nr 1/2. Kraków.
- BOJARSKA J. 1965. Stosunki hydrogeologiczne obszaru przedsudeckiego oraz wnioski poszukiwawcze. *Maszynopis — Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- 1971. Mapa strukturalna stropu dolomitu głównego w obrębie obszaru przedsudeckiego w skali 1 : 200 000. *Archiwum Inst. Geol.* Warszawa.
- & ŁASZCZ-FILAKOWA B. 1968. Hydrochemiczna charakterystyka wód wgłębnych. *Maszynopis — Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- & DĄBROWSKI T. 1970. Charakterystyka hydrogeologiczna utworów dolomitu głównego obszaru przedsudeckiego na podstawie wybranych rejonów. *Maszynopis — Ibidem*.
- , BIRECKI T., WÓJCIKIEWICZ S. & DĄBROWSKI T. 1971. Syntetyczne regionalne opracowanie geologiczne dolomitu głównego. *Maszynopis — Ibidem*.
- BREDEHOEFT J. D., BLYTH C. R., WHITE W. A. & MAXEY G. N. 1964. Possible mechanism for concentration of brines in surface formations. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 48, no. 2. Tulsa.
- CHEBOTARIEV I. I. 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. — *Acta Geochim. et Cosmochim.*, vol. 8, no. 1/2, 3, 4. London — New York.
- CIECH U., DĄBROWSKA M., DYDYŃSKA D., HEŁBICKA Z., WITTEK K., SZEFER T. & *al.* 1957—1972. Analizy chemiczne wód wykonane w laboratoriach ruchowych PPN Piła, Kraków i Zielona Góra. *Maszynopisy — Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- CIMASZEWSKI L. 1967. Anomalie hydrochemiczne złóż naftowych (The hydrochemical anomalies of the oilfields). — *Geof. i Geol. Naft.*, nr 7—9. Kraków.
- , KARNKOWSKI P., KRUCZEK J., KWOLEK S. & SKARBEK K. 1968. Obserwacje i analiza objawów w czasie wiercenia oraz konwencjonalne opróbowanie otworów. *Archiwum Zjedn. Górn. Naft.* Warszawa.
- DĄBROWSKI T. 1972a. Tracing the directions of underground flow by the hydrochemical method and its utilization for oil prospecting in Poland. — *Geol. Jb. Hannover*.
- 1972b. Charakterystyka hydrochemiczna wód wgłębnych w utworach permu monokliny przedsudeckiej. *Archiwum Zakł. Nauk. Geol. PAN.* Warszawa.
- DEGENS E. T. & CHILINGAR G. V. 1967. Diagenesis of subsurface waters. *In: Diagenesis of sediments. — Developments in Sedimentology*, vol. 8. Amsterdam — London — New York.
- DEPOWSKI S., KRÓLICKA J. & ŁASZCZ B. 1965. Występowanie węglowodorów na Niżu Polskim w świetle wyników badań hydrochemicznych (Occurrence of bitumen in the Polish Lowland area in the light of hydrochemical studies). — *Kwartalnik Geol.*, nr 1. Warszawa.

- DICKEY P. A. 1966. Patterns of chemical composition in deep subsurface waters. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., vol. 50, no. 11. Tulsa.
- DOWGIAŁŁO J. 1965. Solanki Pomorza Zachodniego. T. 4, z. 2. Szczecin. Tow. Nauk., Wyzd. Nauk Matem. i Techn. Szczecin.
- 1969. Występowanie wód leczniczych w Polsce. *In: Geologia Surowców Balneologicznych*. Warszawa.
- 1970. Zastosowanie badań izotopów trwałych w hydrogeologii. — *Post. Nauk Geol.*, t. 1. Warszawa.
- 1971. Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski Północnej (Study of the origin of mineralized waters in Mesozoic formations of North Poland). — *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, t. 13. Warszawa.
- DYBCZYŃSKI R. & STERLIŃSKI S. 1968. Podstawy analizy aktywacyjnej. — *Post. Techn. Jądr.* 43/397. Warszawa.
- FILATOV K. V. 1956. Gravitacjonnaia hipoteza formirovanija chemiceskogo sostava podzemnych vod platformnych depresji. *Akad. Nauk SSSR*. Moskwa.
- GUMUŁKA J. 1964. Geochemia wód permskich rejonu przedsudeckiego. Maszynopis — *Archiwum Inst. Naft. Kraków*.
- 1966. Charakterystyka wód dolomitu głównego na tle geochemii wód permskich obszaru przedsudeckiego. Maszynopis — *Ibidem*.
- 1968. Geochemiczna charakterystyka wód wapienia podstawowego Ca-1 i czerwonego spągowca obszaru przedsudeckiego. Maszynopis — *Ibidem*.
- KILAR A. 1968. Opróbowanie otworów próbnikami złoża. Maszynopis — *Archiwum Zjedn. Górn. Naft. Warszawa*.
- KOPYTKO L. 1971. Program obliczeń do tematu „Analiza statystyczna danych hydrochemicznych dla potrzeb górnictwa naftowego w Polsce”. Maszynopis — *Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- KROTOVA V. A. 1969. Hidrogeologičeskie kriterii neftenosnosti. *Gostoptechizdat*. Leningrad.
- ŁASZCZ B. 1966a. Wskaźniki hydrochemiczne permu zachodniej części monokliny przedsudeckiej (Hydrochemical coefficients of the Permian deposits in the western part of the Fore-Sudetic monocline). — *Przegląd Geol.*, nr 7. Warszawa.
- 1966b. Wskaźniki hydrochemiczne permu wschodniej części monokliny przedsudeckiej (Hydrochemical coefficients of the Permian deposits in the eastern area of the Fore-Sudetic monocline). — *Ibidem*, nr 12.
- MIAZEK A. 1971. Program obliczeń do tematu „Analiza stosunków hydrochemicznych wód węgłobnych”. Maszynopis — *Archiwum „Geonafy”*. Warszawa.
- OVNATOV G. T. 1964. Vskryte i obrabotka plasta. *Gostoptechizdat*. Leningrad.
- PAZDRO Z. 1964. Hydrogeologia ogólna. Warszawa.
- PERKAL J. 1967. Matematyka dla przyrodników i rolników. T. 2. Warszawa.
- PRIKŁOŃSKI W. A. & ŁAPTIEV F. F. 1955. Własności fizyczne i skład chemiczny wód podziemnych. *Wydawn. Geol.* Warszawa.
- RITTENHOUSE G. 1964. Possible mechanism for concentration of brines in subsurface formations. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 48, no. 2. Tulsa.
- 1967. Bromine in oil — field waters and its use in determining possibilities of origin of these waters. — *Ibidem*, vol. 51, no. 12.
- RUSSEL W. L. 1933. Subsurface concentration of chloride brines. — *Ibidem*, vol. 17, no. 10.
- SAMARINA V. S. 1958. Hidrochimičeskoe oprobovanie podzemnych vod. *Univ. Leningradz*. Leningrad.
- SCHOELLER H. 1955. Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. — *Rev. Inst. Franc. Pétrole of Ann. Combust. Liquid.*, vol. 10, no. 3—8. Paris.

- SCHOENEICH K. 1970a. Największe anomalie bromkowe w wodach polskich. — *Problemy Uzdrowiskowe*, z. 3/51. Warszawa.
- 1970b. Mineralizacja wód głębokich (Deep waters mineralization). — *Geof. i Geol. Naft.*, nr 9/10. Kraków.
- SIDOROVSKIJ V. A. 1968. Opróbowanie rozvedończych skvażyn. *Niedra*. Leningrad.
- SOKOŁOWSKI J. 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przed-sudeckiego (Geology and structure of the Sudetic Foreland). — *Geologia Sudetica*, vol. 3. Wrocław.
- & POBORSKI J. 1970. Geologia i surowce mineralne Polski. — *Biul. Inst. Geol.* 251. Warszawa.
- SUCHONOSOV G. 1968. Zastosowanie próbników złożowych w PPN Piła (Application of drill stem-testers in Piła Petroleum Exploration Enterprise). — *Nafta*, nr 8. Katowice.
- SULIN V. A. 1946. Vody neftiannykh mestoroždenij v sisteme podzemnykh vod. *Gostoptechizdat*. Moskva — Leningrad.
- SZTEŁAK J. 1968. Rodzaje zagrożeń wodnych w kopalniach rejonu monokliny przed-sudeckiej ze szczególnym uwzględnieniem zagrożeń z serii węglanowej oraz sposoby ich zwalczania. — *Zesz. Nauk. Polít. Śląskiej*, nr 227. Gliwice.
- VINOGRADOV A. P. 1944. O chlor-bromnom koeficjentie podzemnykh vod. — *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, t. 67, nr 2. Moskva.
- WYŻYKOWSKI J. 1964. Utwory czerwonego spągowca na przedgórzu Sudetów (Rotliegendes formations in the Sudetic foreland). — *Przegląd Geol.*, nr 7/8. Warszawa.

SUMMARY

ABSTRACT: The variable hydrochemical regime characterizing the brines of the particular Permian waterbearing formation is discussed. Differences are observed in the chemical composition, values of the ionic ratios, and varying general mineralization. This should probably be connected with the various origin and dynamics of the brines as well as with differences in the lithology and tectonics of the deposits collecting the brines. In Permian deposits there occur very strongly mineralized waters mostly of the types Cl-Na, Cl-Na-Mg, Cl-Na-Ca. Their mineralization increases with the distance from the zone of the Sub-Tertiary outcrops of the Permian. An analysis of correlations between the particular hydrochemical indices has shown the presence of a relatively small number of dependent factors. This reasonably suggests a lack of uniformity in the determination of ionic relations in hydrogeological studies. Strong mineralization and the chemical composition of the waters indicate that the Permian waterbearing formation in the Foresudetic monocline lies within a zone of extremely slow water exchange, to be rated on a geological scale.

The hydrogeological data from the Permian of the Foresudetic monocline, used in the present paper, come from boreholes drilled by the companies managed by the Central Board for Oil Industry, and also from boreholes of the Geological Institute.

The water collectors occur in the top parts of the Rotliegendes, the Zechstein limestone (of the Werra cyclothem) known as basic limestone, and the main dolomite of the Stassfurt cyclothem.

The clastic sediments of the Rotliegendes overlying the Carboniferous represent a rock complex 0—900 m thick, with porosity = 2—30 percent and permeability = 0—200 mdcy. The top of these deposits dips N and NE from a depth of 500 to over 3,000 m (Fig. 1). Numerous dislocations directed SSW-NNE, SW-NE and SE-NW divide these deposits into structural blocks.

In the Rotliegendes waterbearing horizon the strongly mineralized brines are mostly of the Cl-Na-Ca, Cl-Na type. Their mineralization ranges from 120—350 g/l. It grows with the distance towards the N and the NE from the present boundary of the Rotliegendes deposits and with the descent of this formation to greater depths.

The basic limestone is developed as various carbonate deposits with thickness ranging from 0 to 80 m. The structural character of this horizon resemble those observed in the Rotliegendes horizon, with the exception of very thick zones.

The deposits of the basic limestone are fissure-porous collectors of brines. Their effective porosity ranges from 1—12 per cent, the permeability is 0—200 mdcy.

The hydrochemical characteristics of the basic limestone is discussed on data from the central part of the Foresudetic monocline. In boreholes in the western part of the monocline this horizon has been sampled together with the Rotliegendes. Mineralization of waters increases with the distance to the NE from the Foresudetic block and ranges from 95—315 g/l in waters of the Cl-Na-Ca and Cl-Na-Ca-Mg type.

The basic limestone and main dolomite waterbearing horizons are separated by a series of evaporates of considerable thickness (up. to c. 300 m) of the Werra cyclothem. The main dolomite is developed as various carbonate sediments 0—190 m thick, with a N and NE dip (Fig. 2). The deposits of this series are divided by numerous dislocations, most of them directed NNE-SSW. The dolomite is overlain by such impervious deposits as anhydrites, halite, locally potassium and magnesium salts, as well as by series of silts and siltstones from the Stassfurt, Leine and Aller cyclothem.

Fissure waters predominate in the main dolomite. The effective porosity of these deposits is low, only exceptionally exceeding the 10 per cent figure. Laboratory determinations of permeability indicat its range between 0 and 20 mdcy. In view of the fissure type of the main dolomite waterbearing horizon zones with excellent collecting properties may be locally expected. This supposition is occasionally confirmed by the rich inflow of petroleum and brines.

Strongly mineralized brines of the type Cl-Na, Cl-Na-Mg are those most common in deposits of the main dolomite, types Cl-Na-Mg-Ca and Cl-Mg-Na being less frequent. Their mineralization ranges from 21 g/l to over 400 g/l and increases N and NE according to the dip direction of these sediments.

The Permian deposits are conformably overlain by the Triassic up to 1,000 m in thickness. In the N and NE parts of the monocline there are Jurassic deposits. The Permo-Mesozoic complex is unconformably and transgressively overlain by deposits of the younger Tertiary which are the substratum of the Quaternary.

The strong mineralization and the ionic composition of these brines suggest the occurrence of the Permian waterbearing formation within the hydrodynamic zone characterized by extremely slow exchange of the waters, probably on a scale of geologic time.

The calculation of the ionic ratios as well as the determination of their distribution and mutual relations in the particular Permian waterbearing horizons required a great deal of mathematical operations. This called for the use of the electronic computing technique.

The distribution of the dry residue in brines is shown in a diagram in Fig. 3A from which it is seen that the lowest values are observable in the basic limestone horizon while the highest ones occur in the main dolomite horizon. This observation reliably indicates disturbances in the vertical hydrochemical zonation of the Permian waterbearing formation in the Foresudetic monocline.

The variability of the $r\text{Na}^+ + n\text{K}^+ : r\text{Cl}^-$ ratio (Fig. 3B) in the main dolomite waterbearing horizon and those of the Rotliegendes is similar and shows strongly

differentiated values. In the basic limestone horizon the variability is not so marked and ranges mostly from 0.6—0.8.

In opposition to the foregoing diagrams no characteristic distribution of the $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ ratio (Fig. 3C) is shown in any of the horizons.

The values of the $r\text{Cl}^- : r\text{Mg}^{++}$ ratio have a wide range. The lowest ones are observed in the main dolomite waterbearing horizon, the highest in the Rotliegendes horizon (Fig. 3D).

Differentiation in the values of the particular ionic ratios is connected with the different conditions of the occurrence of brines.

The role of the particular ionic ratios as indices in hydrochemical investigations has not yet been uniformly cleared up. Hence an attempt is being made to determine the mutual correlation of the indices. This attempt, at the same time, aimed to determine the relations which in the future might be used as a basis to estimate the quality of water from deep borehole samples. With the use of the electronic computers 21 relations have been calculated for each of the three Permian waterbearing horizons.

In some cases the results of the calculations are somewhat surprising since they deviate from those currently accepted in hydrogeology. For example, in the Rotliegendes waterbearing horizon (Fig. 4A) a very slight tendency between specific weight of brines and the depth of their occurrence has been observed. At the same time no such tendency has been noted in the Zechstein deposits, this being possibly due to the dissolution of salts.

This suggestion seems to be confirmed by the relation of the $r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ : r\text{Cl}^-$ ratio to the depth of the sampled interval (Fig. 4B). In the Rotliegendes horizon this ratio is reduced with increasing depth of the occurrence of water. The absence of this relation in the Zechstein waterbearing horizons may be connected with an inflow of waters dissolving the salt deposits.

The value of the $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ ratio decreases with the increasing depth of the occurrence of water. Down to a depth of 1,600 m the change is sublinear. At a depth between 1,600 and 1,800 m there is a change in the course of the curve which asymptotically approaches the X axis (Fig. 4C).

In order to verify the computation methods a test has been made of the relation of the dry residue and the specific weight of water (Fig. 4D). The relation between these parameters is very distinct and has a linear character.

In the Rotliegendes and basic limestone waterbearing horizons there is no distinct relation of the value of the $r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ : r\text{Cl}^-$ ratio to the specific weight of water. The diagram in Fig. 4E shows that in the basic limestone waterbearing horizon the value of the ratio increases with increasing specific weight of water. In the waters of the Rotliegendes horizon there is an opposite tendency. This fact may reasonably be explained by the effects of the dissolution of salts on the value of the specific weight of water in the basic limestone horizon. In the Rotliegendes deposits the increase in the specific weight of water probably resulted from changes in its chemical composition which consists in decreasing amounts of sodium ion due to ionic exchange.

In the Rotliegendes waterbearing horizon the value of the $r\text{SO}_4^{--} : r\text{Cl}^-$ ratio decreases linearly with increasing specific weight of water. The decrease results from an increase in the amounts of chloride ion in waters with greater specific weight (Fig. 4F).

The general conclusions reasonably suggested by the results of a hydrochemical analysis of brines in the Permian deposits of the Foresudetic monocline are as follows:

1. The hydrochemical character of the brines in the Permian waterbearing formation is strongly differentiated. The mineralization and ionic composition of

the brines changes according to the dip direction of the deposits with the northward distance from the Foresudetic block. The hydrochemical type ranges from $\text{SO}_4\text{-Ca}$ in the zone of the Sub-Tertiary Permian outcrops to Cl-Na in the northern margins of the monocline. These changes are accompanied by a growth in the general mineralization from a few g/l to more than 300 g/l.

2. In the Permian waterbearing formation there occur as a rule strongly mineralized waters of the types: Cl-Na , Cl-Na-Ca , Cl-Na-Ca-Mg . The high extent of their chemical transformation indicates that the Permian waterbearing formation lies within the hydrodynamic zone characterized by a very difficult water exchange. It is a zone where conditions favour the accumulation of hydrocarbons.

3. The available data indicate that the brines of the Permian waterbearing formation are characterized by variability in the hydrochemical regime. This is expressed by varying ionic composition, wide extent of general mineralization, the different values of the ionic ratios and by various functional relations of these parameters. This may be connected with differences in the origin of the waters, hydrodynamics, lithological development and tectonics of the water collecting deposits. In the Rotliegendes horizon the brines display greater hydrochemical stability than those in the basic limestone deposits. The strongest variability in the chemical characters of the waters is observable in the main dolomite horizon.

4. An analysis of the correlations between the particular hydrochemical indices shows the existence of relatively few relations in waters of the Permian deposits. This confirms some opinions in the literature that the role of ionic relations in hydrochemical studies has not been reliably determined.

5. An estimate of the hydrochemical conditions in the Permian waterbearing formation of the Foresudetic monocline meets with difficulties caused by lack of hydrodynamic data and the none-too-adequate sampling of deep boreholes.

*Geological Research Bureau
for Oil Industry — GEONAF TA
00-537 Warszawa, ul. Krucza 6/14
Warsaw, March 1973*
