

**ANALIZA ZWIĄZKU WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH W UTWORACH MIOCEŃSKICH Z WYSTĘPOWANIEM W NICH ŻŁÓŻ SIARKI NA OBSZARZE ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO**

UKD 556.332.44:551.782.1:552.53/.54:553.661(438 – 13zapadlisko przedkarpackie)

Strefę rozpoznanych złóż siarki w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego charakteryzują prawie jednakowe warunki hydrogeologiczne. Występują dwa główne poziomy wodonośne: czwartorzędowy i mioceniński. Poziom mioceniński obejmuje osady siarczanowe (gipsy, utwory pogipsowe, jak wapienie i margle) oraz niżej leżące osady baranowskie (piaski, piaskowce, wapienie litotamniowe). Wodonośny poziom mioceniński od czwartorzędowego izolowany jest przez osady ilaste. Kontakty tych poziomów występują wzdłuż północnej granicy zapadliska przedkarpackiego, gdzie wyklinowują się osady górnego tortonu i dolnego sarmatu.

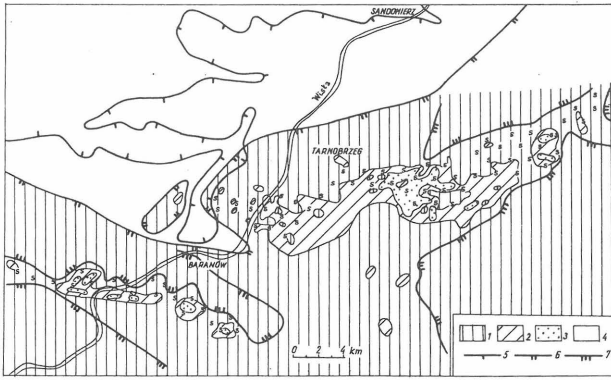
Dysponując licznymi wynikami badań hydrogeologicznych, podjąłem próbę analizy zależności warunków hydrogeologicznych od występujących złóż siarki, w tym przede wszystkim od procentowej zawartości siarki. Analizowałem m.in. zależność pomiędzy procentową zawartością siarki w złożu a przepuszczalnością osadów siarczanowych, a także baranowskich oraz poszczególnymi składnikami chemicznymi wody pobranej z osadów siarczanowych i baranowskich (poziomu miocenińskiego). Istnieje pewien związek z przepuszczalnością osadów siarczanowych, nie ma natomiast ze składem chemicznym wód.

Rezultaty analizy ilustruję na przykładzie złóż siarki w rejonie Tarnobrzega. W tym rejonie znajdują się dwa

obszary złóż: północne i południowe. Problematykę hydrogeologiczną tych złóż przedstawiam na podstawie analizy wyników badań prowadzonych w czasie ich dokumentowania; są to więc warunki naturalne, jakie istniały przed eksploatacją złóż. Osady siarczanowe i baranowskie zagiębiają się w kierunku południowym i południowo-wschodnim. W ich spągu są nieprzepuszczalne utwory kambru i prekambriu. Wody występujące w osadach siarczanowych i baranowskich przeważnie są izolowane przez piaskowce leżące w stropie osadów baranowskich oraz ility i gipsy znajdujące się w spągu osadów siarczanowych. Na części terenu istnieje bezpośredni kontakt wód. Warunkuje to prawie jednakowe ciśnienie i skład chemiczny wód, występujących w osadach siarczanowych i baranowskich.

**PRZEPUSZCZALNOŚĆ OSADÓW  
SIARCZANOWYCH**

Przepuszczalność badana była w 183 otworach metodą pompowań i metodą właczania wody, czyli wodochłonności. Wyniki tych badań posłużyły do obliczenia jednolitymi metodami współczynników filtracji. Z obliczeń tych wynika, że współczynniki filtracji są o wartościach od 0,0003 do około 58 m/24 h. Zróżnicowanie to ma od-



Ryc. 1. Przepuszczalność osadów siarczanowych.

Obszary występowania osadów przeważnie o współczynniku filtracji (w m/24 h): 1 – do 1, 2 – od 1 do 5, 3 – od 5 do 60, 4 – stwierdzone występowanie złóż siarki, 5 – granica zwartego występowania miocenijskich utworów ilastych (nad osadami siarczanowymi), 6 – granica występowania osadów siarczanowych, 7 – granica zwartego występowania gipsów w ilości ponad 75% ogólnej miąższości osadów siarczanowych.

Fig. 1. Permeability of sulfate sediments.

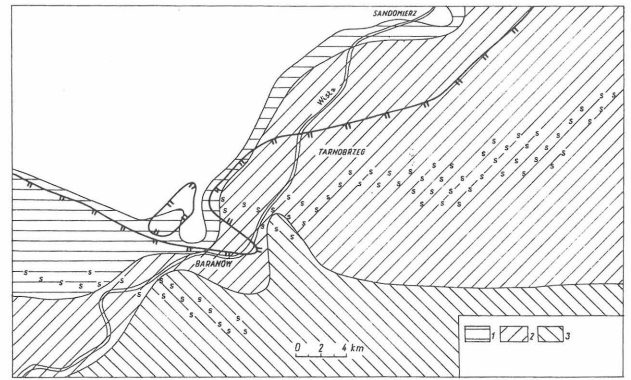
Areas of occurrence of sediments with permeability coefficients usually equal (in m/24 h): 1 – up to 1, 2 – 1 to 5, 3 – 5 to 60; 4 – recorded occurrences of sulfur deposits, 5 – boundary of continuous occurrence of Miocene clay sediments (above the sulfate), 6 – boundary of occurrence of sulfate rocks, 7 – boundary of continuous occurrence of gypsum in amounts over 75% of total thickness of sulfate rocks.

zwierciedlenie w litologii osadów siarczanowych. Poszczególne typy skał charakteryzują przeważnie następujące wartości współczynników filtracji w m/24 h:

gipsy, ily	do 0,01
wapienie zbite, zailone, o słabo widocznej porowatości i szczelinowatości, margle ilaste, mułowce	0,01 – 1
wapienie częściowo margliste, o średnio widocznej porowatości i szczelinowatości, margle spękane	1 – 5
wapienie jamiste, rozkruszone, o wyraźnie widocznej porowatości i szczelinowatości, kawerniste	5 – 60

Z powyższej charakterystyki wynika, że gipsy należy uważać jako praktycznie nieprzepuszczalne. Są one jednak w pewnych strefach przepuszczalne, w przypadku występowania spękań, szczelin tektonicznych lub krasu.

W nawiązaniu do oceny przepuszczalności skał w otworach, w których wykonano pompowania i wodorochłonność, przeprowadziłem analizę opisów profilów geologicznych 850 otworów, w których wydzieliłem poszczególne typy skał. Ocena przepuszczalności oparta została także na zanikach płuczki w czasie wiercenia oraz na wynikach badań geofizycznych w otworach. Tego rodzaju ocena przepuszczalności skał posłużyła do wydzielenia obszarów osadów siarczanowych (ryc. 1) o współczynnikach filtracji przeważnie do 1, 1–5 i 5–60 m/24 h. Największą przepuszczalność wykazują osady, w których stwierdzono przemysłową zawartość siarki. Cechą charakterystyczną jest również to, że udokumentowane złoża siarki otoczone są osadami o małej przepuszczalności i nieprzepuszczalnymi w strefach, gdzie przeważają gipsy (ryc. 1).



Ryc. 2. Mineralizacja wód w osadach siarczanowych.

Wody występują przeważnie o mineralizacji (g/dm<sup>3</sup>): 1 – od 1 do 3, 2 – od 3 do 15, 3 – od 15 do 30. Pozostałe oznaczenia jak na ryc. 1.

Fig. 2. Mineralization of waters in sulfate rocks.

Waters with mineralization usually equal (in g/dm<sup>3</sup>): 1 – from 1 to 3, 2 – from 3 to 15, 3 – from 15 to 30. Other explanations as given in Fig. 1.

## PRZEPUSZCZALNOŚĆ OSADÓW BARANOWSKICH

Współczynniki filtracji osadów baranowskich maksymalnie wynoszą 20 m/24 h, przeważnie poniżej 5 m/24 h. Z porównania warunków filtracyjnych osadów siarczanowych i baranowskich wynika, że tylko lokalnie średnie współczynniki filtracji osadów baranowskich są większe niż osadów siarczanowych. Przeważnie są mniejsze. Z uwagi na zmiany miąższości, rozpatrzona była także wodoprzewodność, która maksymalnie wynosi 900 m<sup>2</sup>/24 h. Największa wodoprzewodność jest na nieznacznej części północnego złoża. Na pozostałym obszarze tego złoża wodoprzewodność osadów baranowskich jest przeważnie od 15 do 70 m<sup>2</sup>/24 h, a w części wschodniej do 15 m<sup>2</sup>/24 h. Na południowym obszarze złoża siarki wodoprzewodność osadów baranowskich wynosi do 15 m<sup>2</sup>/24 h. Nie ma związku przepuszczalności i wodoprzewodności osadów baranowskich ze złożami siarki.

## SKŁAD CHEMICZNY WÓD

Z 380 analiz chemicznych wód wynika, że wody poziomu miocenijskiego wykazują stopniowy wzrost mineralizacji z zagłębianiem się osadów wodonośnych w kierunku południowym i południowo-wschodnim (ryc. 2). Ze zwiększeniem ogólnej mineralizacji następuje również zmiana zawartości poszczególnych jonów i ich procentowego udziału. Biorąc pod uwagę ogólną mineralizację wód i ich skład jonowy, w poziomie miocenijskim można wydzielić trzy główne strefy hydrogeochemiczne. Pierwsza strefa obejmuje osady o mineralizacji 1–3 g/dm<sup>3</sup>. Są to wody wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe, przechodzące w kierunku południowym i południowo-wschodnim w wody siarczanowo-wodorowęglanowo-wapniowe. W wodach tych występuje siarkowodor w ilości kilkunastu do kilkudziesięciu mg/dm<sup>3</sup>. Przeciętna zawartość zasadowych składników wody przedstawia się następująco (w %):

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	– 25
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	– 18
Cl <sup>-</sup>	– 7
Ca <sup>2+</sup>	– 40

Mg <sup>2+</sup>	— 5
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	— 5
H <sub>2</sub> S	— 25

Drugą strefę stanowią wody o mineralizacji 3–15 g/dm<sup>3</sup>. W miarę oddalania się od obszarów infiltracji, wzrasta ogólna mineralizacja i zmienia się skład anionowo-kationowy. Wody z typu siarczanowo-wapniowego przechodzą w wody chlorkowo-siarczanowo-sodowo-wapniowe. Ich ogólny skład jest następujący (w %):

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2 – 10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10 – 35
Cl <sup>-</sup>	9 – 35
Ca <sup>2+</sup>	10 – 35
Mg <sup>2+</sup>	1 – 5
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	12 – 37
H <sub>2</sub> S	35 – 400 mg/dm <sup>3</sup>

W strefie trzeciej są wody o mineralizacji 15–30 g/dm<sup>3</sup>, typu chlorkowo-sodowego. Średnia zawartość głównych składników jest następująca (w %):

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8
Cl <sup>-</sup>	40
Ca <sup>2+</sup>	8
Mg <sup>2+</sup>	2
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	40
H <sub>2</sub> S	400 mg/dm <sup>3</sup>

Z mikroelementów w największych ilościach stwierdzony został bar (1,5–53,5 mg/dm<sup>3</sup>), stront (6,0–53,0 mg/dm<sup>3</sup>) oraz do kilku mg/dm<sup>3</sup> Fe, Li i Mn. Stwierdzono także obecność jodu w ilościach do 8 mg/dm<sup>3</sup>, bromu do 3 mg/dm<sup>3</sup>. Nie wykryto nigdzie agresywnego dwutlenku węgla, azotynów i azotanów.

Na zewnątrz opisanych stref hydrogeochemicznych występują wody o mineralizacji do 1 g/dm<sup>3</sup>, przeważnie do 0,5 g/dm<sup>3</sup>. Wody te zasilane są bezpośrednio opadami atmosferycznymi. Strefowość hydrogeochemiczna zaznacza się na całym obszarze występowania poziomu mioceńskiego w granicach zapadliska przedkarpacciego. W strefie wód o mineralizacji 3–15 g/dm<sup>3</sup> znajdują się wszystkie dotychczas rozpoznane złoża na obszarze zapadliska przedkarpacciego. W trzeciej strefie wraz z pogłębianiem się utworów wodonośnych mineralizacja wód dochodzi do 120 g/dm<sup>3</sup>. Są to wody chlorkowo-sodowe, zawierające metan.

Analizy chemiczne wód pobranych z osadów chemicznych i baranowskich w tych samych otworach wykazują nieznaczną zmianę składu jonowego i mineralizacji. Z głębokością wzrasta mineralizacja i, podobnie jak w strefowości poziomej, następuje stopniowy wzrost procentowej zawartości jonów Cl<sup>-</sup> i Na<sup>+</sup>, maleje natomiast udział jonów Ca<sup>2+</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Stwierdzono w pionie różny stopień zmiany składu chemicznego wód na poszczególnych obszarach, co tłumaczyć należy m. in. zależnością od przepuszczalności skał i warunkami wymiany wód. Można jednak przyjąć, że w granicach obszarów omawianych złóż siarki, mineralizacja wód zwiększa się przeciętnie 0,5–1,0 g/dm<sup>3</sup> na 10 m głębokości.

Wody w wydzielonych strefach hydrogeochemicznych różnią się ogólną mineralizacją, nie dostrzega się natomiast ukierunkowanych różnic w stosunkach poszczególnych składników, które wskazywałyby na określoną genezę tych wód. Wartości wskaźników hydrogeochemicznych są różne, dowodzi to występowania wód mających zarówno kontakt z wodami powierzchniowymi, jak i utrudniony tego rodzaju kontakt, a także wskazuje na istnienie wód reliktowych i silnie przeobrażonych.

Z opracowań paleogeograficznych należy wnioskować, że sedymentacja osadów baranowskich w pierwszym okresie

odbywała się w środowisku słodkim, stopniowo zmieniającym się w morskie, zasolenie stale wzrastało aż do końca fazy osadów siarczanowych. Po sedymentacji osadów siarczanowych następuje przerwa, w której zachodziło wysładzanie wód. Występujące nad siarczanami osady ilaste powstawały w środowisku morskim, o podwyższonym zasoleniu – w środowisku redukcyjnym.

Wody poziomu mioceńskiego nie wykazują strefowości hydrochemicznej pionowej, odzwierciedlającej warunki paleogeograficzne. W osadach baranowskich wody powinny być bowiem mniej zmineralizowane niż w osadach siarczanowych. Na ogół jest odwrotnie lub mineralizacja jest jednakowa.

Rozpoznane wody poziomu mioceńskiego dowodzą o przeobrażeniu pierwotnego ich składu chemicznego. Przeobrażenie to nastąpiło prawdopodobnie na skutek długotrwałej wymiany jonowej pomiędzy wodami a skałami. Intensywność przeobrażenia składu chemicznego wód jest różna, zależna od izolacji wód, wymiany z wodami dopływającymi z powierzchni, drenażu i głębokości występowania. Przeobrażenie pierwotnego składu wód powodowane jest także ciągłym ich przepływem i drenażem. Prędkość przepływu jest bardzo mała, ale jego skutkiem jest dopływ niezmineralizowanych wód z obszarów infiltracji i ich wymiana z wodami zmineralizowanymi. O takiej wymianie dowodzą wyniki przeprowadzonych badań izotopowych w innych częściach zapadliska przedkarpacciego. Badania te wykazały, że w obrębie wydzielonych stref hydrogeochemicznych występuje mieszanina wód reliktowych i pochodzenia infiltracyjnego. Udział składnika relikтового wzrasta z głębokością występowania poziomu wodonośnego, czyli ze wzrostem mineralizacji wód, wskazuje to na malejącą wraz z głębokością rolę procesu rozcieńczania wód mineralnych przez wody pochodzenia atmosferycznego. To stałe przeobrażenie wód powoduje, że obecnie nie obserwuje się określonej zależności składu chemicznego wód i wskaźników hydrogeochemicznych od występowania złóż siarki. Rozpatrywane liczne związki poszczególnych parametrów hydrogeochemicznych i złożowych nie wykazały wspólnej zależności. Z tego względu nasuwa się wniosek, że parametry hydrogeochemiczne nie mogą stanowić wskaźników przy rozpoznawaniu złóż siarki.

## S U M M A R Y

The zone of sulfur deposits identified in the Miocene in the Carpathian Foredeep is characterized by almost uniform hydrogeological conditions. Two major aquifers found here are the Quaternary and Miocene. The latter comprises sulfate rocks (gypsum and post-gypsum rocks – limestones and marls) and underlying Baranów Beds (sands, sandstones and Lithothamnium limestones). It is isolated from the Quaternary aquifer by clay rocks. Contacts of the aquifers are found along northern boundary of the Carpathian Foredeep.

The analysis of relations between hydrogeological conditions and distribution of sulfur deposits in the Miocene aquifer showed some connections with permeability of sulfate rocks. Rocks displaying accumulations of sulfur have been found to be characterized by the highest permeability. The sulfur deposits appeared to be surrounded by poorly permeable or impervious rocks. In turn, no interrelations were found between chemical composition of waters and distribution of sulfur deposits.

The results of studies are presented at the example of sulfur deposits from the Tarnobrzeg area.