

CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOCHEMICZNA UTWORÓW TRIASU GÓRNEGO W REJONIE WOŹNIK (OTWÓR BADAWCZY K-1)

HYDROGEOCHEMISTRY OF THE UPPER TRIASSIC FORMATIONS IN THE WOŹNIKI AREA (BOREHOLE K-1)

HANNA RUBIN¹, KRYSZTYN RUBIN¹

Abstrakt. Badania dotyczyły słabo przepuszczalnych utworów triasu górnego występujących na obszarze GZWP Lubliniec–Myszków. Ocena właściwości hydrogeochemicznych tych utworów stanowi podstawę do określenia ich roli w zasilaniu i kształtowaniu chemizmu wód serii węglanowej triasu. Wykonanie otworu badawczego K-1 o głębokości 99,5 m, zlokalizowanego w Woźnikach, umożliwiło przeprowadzenie badań właściwości hydrogeochemicznych utworów triasu górnego (noryk–retyk), wykształconych głównie jako ility, iltowce i mułowce, lokalnie przewarstwionych utworami węglanowymi i piaskowcami. W profilu triasu górnego stwierdzono występowanie dwóch horyzontów wodonośnych w spękanych iltowcach przewarstwionych utworami węglanowymi i piaskowcami. W artykule przedstawiono wyniki badań wilgotności, porowatości i wyciągów wodnych z utworów triasu górnego oraz składu chemicznego i izotopowego wód podziemnych występujących w tych utworach.

Słowa kluczowe: utwory słabo przepuszczalne, właściwości hydrogeochemiczne, trias górny.

Abstract. The investigations deal with Upper Triassic low permeability formations located in the Lubliniec–Myszków area of MGWB. The assessment of hydrogeochemical properties of these formations is a basis for determining their role in recharging groundwater of the Triassic carbonate aquifer and their influence on the groundwater chemistry. Drilling of the borehole K-1 (located in Woźniki) down to a depth of 99.5 m made it possible to perform investigations on hydrogeochemical properties of the Upper Triassic formations (Norian-Rhaetian) composed mainly of clays, claystones and mudstones, locally interbedded by carbonates and sandstones. It was affirmed that the Upper Triassic interval contains two aquifers located in fissured claystones interbedded by carbonates and sandstones. This contribution presents the results of water content and porosity tests, water extracts from the Upper Triassic formations as well as chemistry and isotopic contents of the groundwater from these formations.

Key words: low permeability formations, hydrogeochemistry properties, Upper Triassic.

WSTĘP

Zasilanie GZWP Lubliniec–Myszków, wydzielonego w obrębie węglanowych utworów triasu środkowego (wapien muszlowy) i dolnego (ret), zachodzi na wychodniach tego kompleksu w części południowej zbiornika, z dopływu bocznego oraz na drodze pionowego przesączania przez słabo przepuszczalne utwory triasu górnego pokrywające ok. $\frac{3}{4}$ powierzchni, których miąższość wzrasta ku północy, sięgając nawet 290 m. Jak wykazały badania modelowe, piono-

we przesączanie ma główny udział w bilansie wód zasilających GZWP Lubliniec–Myszków (Kowalczyk i in., 2002). W celu rozpoznania roli utworów triasu górnego w zasilaniu i kształtowaniu chemizmu wód serii węglanowej triasu wykonano dotychczas badania właściwości hydrogeologicznych iltów występujących w strefie przypowierzchniowej na obszarze całego zbiornika (Rubin, Rubin, 2007).

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; e-mail: hanna.rubin@us.edu.pl, krystyn.rubin@us.edu.pl

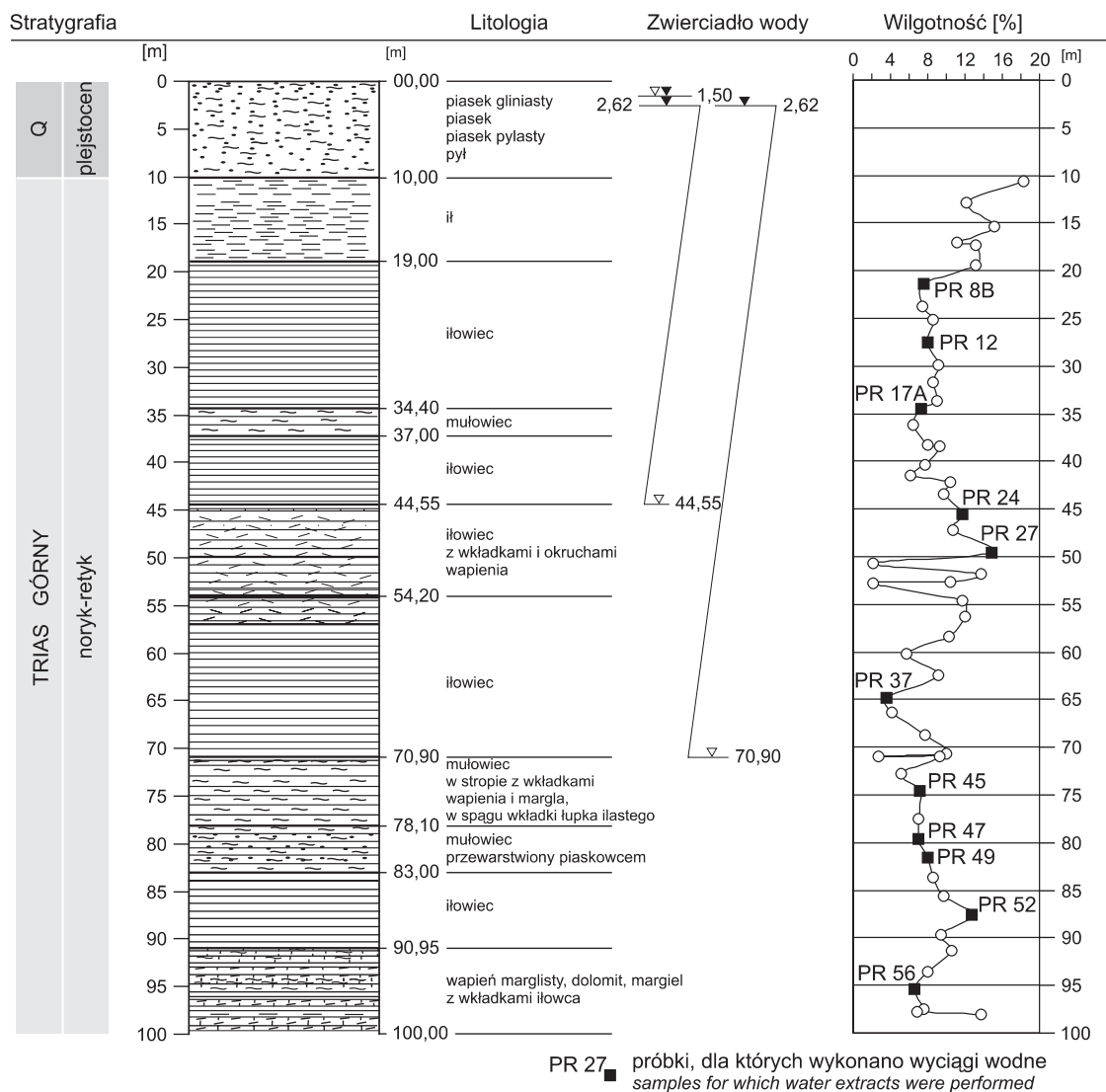


Fig. 1. Profil litostratigraficzny i hydrogeologiczny otworu badawczego K-1

Lithostratigraphic and hydrogeologic profile of the borehole K-1

W artykule przedstawiono wyniki badań hydrogeochemicznych utworów triasu górnego w profilu otworu badawczego K-1, odwierconego w rejonie Woźnik (Rubin, 2008). Otwór K-1, o głębokości 99,5 m, przewiercił 89,5 m utworów triasu górnego (noryk-retyk), wykształconych głównie jako iły, iłowce i mułowce, lokalnie przewarstwionych utworami węglanowymi i piaskowcami (fig. 1). W profilu triasu górnego stwierdzono występowanie dwóch horyzontów wodonośnych w spękanych iłowcach z przewarstwieniami utworów węglanowych i piaskowców. Wiercenie

otworu badawczego K-1 prowadzone było metodą obrotową, na płuczkę iłową samorodną, z pełnym rdzeniowaniem od stropu utworów triasu górnego. Po zakończeniu wiercenia otwór zailowano do głębokości 85 m i wykonano zabudowę piezometru K-1/1 do obserwacji drugiego horyzontu wodonośnego w utworach triasu górnego. W odległości 3,6 m od piezometru K-1/1 odwiercono otwór do głębokości 56 m i zabudowano piezometr K-1/2 do obserwacji pierwszego horyzontu wodonośnego w utworach triasu górnego.

METODYKA BADAŃ

Próbki skał do badań szczegółowych pobierano jak najszybciej po wydobyciu na powierzchnię, wycinając je ze środkowej części rdzenia wiertniczego tak, aby wyeliminować możliwość kontaktu próbki skały z płuczką.

Wilgotność oznaczano zgodnie z PN-88/B-04481 dla 55 próbek pobieranych średnio co 2 m.

Porowatość otwartą w zakresie średnic porów od 0,003 do 300 μm i porowatość aktywną w zakresie średnic porów

od 0,2 do 300 μm oznaczono dla 19 próbek za pomocą porozymetru rtęciowego AutoPore II 9220 firmy Micromeritics, metoda ta pozwoliła też określić powierzchnię właściwą badanych próbek (Bachleda-Curuś, Semyrka, 1997; Marciniak i in., 1999).

Zastosowana metoda ciśnieniowa dla uzyskania wód porowych z próbek skał nie pozwalała na uzyskanie objętości niezbędnej dla wykonania analizy chemicznej, dlatego dla 11 próbek zastosowano ekstrakowanie roztworów metodą wyciągów wodnych. Procedura polegała na zalaniu 100 g rozdrobnionej próbki wodą dejonizowaną w ilości zapewniającej stosunek suchej masy próbki do masy wody użytej do wyciągu równy 1:10, wytrząsaniu przez 2 godziny, następnie pozostawieniu w spoczynku przez 24 godziny. Uzyskany w ten sposób wyciąg przesączono przez filtr

membranowy 0,45 μm i oznaczono skład chemiczny metodą ICP.

Próbki wód podziemnych zostały pobrane z piezometrów K-1/1 i K-1/2 po odpompowaniu dwóch objętości słupa wody. Próbki wód, które bezpośrednio przy poborze przefiltrowano przez filtr membranowy 0,45 μm , posłużyły do oznaczenia składu chemicznego metodą ICP, natomiast próbki niefiltrowane przeznaczono do badań składu izotopowego.

Dla dwóch próbek wytypowanych do badań mineralogicznych wykonano szlify, które napyłono węglem i poddano badaniom za pomocą elektronowego środowiskowego mikroskopu skaningowego Philips XL 30 ESEM z przystawką analityczną EDS (EDAX typu Sapphire). Identyfikację minerałów przeprowadzono na podstawie porównania uzyskanych widm EDS z widmami wzorcowymi.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wartości wilgotności utworów triasu górnego w otworze K-1 wynoszą od 2,13 do 18,27%, przy czym największą wilgotność mają utwory w stropie i spągu profilu (fig. 1). Jest to strefa kontaktu z poziomami wodonośnymi w piaskach plejstocenu (w stropie) oraz w spękanych dolomitach triasu środkowego (w spągu). Wilgotność utworów triasu górnego w tych strefach wynosi odpowiednio 18,27 i 13,66%. Ponadto stwierdzono występowanie stref o podwyższonej wilgotności na głębokości około 50 i 88 m, czyli w obrębie występowania horyzontów wodonośnych w szczelinowych utworach iłowcowo-mułowcowych z przewarstwieniami wapienia i piaskowca.

Wartości porowatości otwartej wynoszą od 4,77 do 18,41%, natomiast wartości porowatości aktywnej (pory $>0,2 \mu\text{m}$) zmieniają się od 0,04 do 11,71% (fig. 2). Największą wartość porowatości aktywnej oznaczono dla próbki drobnoziarnistego piaskowca pobranego z głębokości 81,5 m. Porowatość aktywna próbek mułowców waha się od 1,28 do 7,59%. Najmniejsze wartości porowatości aktywnej wykazywały próbki iłowców (0,04–4,77%). Wartości porowatości otwartej i aktywnej mają odzwierciedlenie w wartościach powierzchni właściwej, której najmniejsze wartości (ok. 3–4 m^2/g) stwierdzono dla próbek wykazujących większą porowatość, natomiast większe wartości powierzchni właściwej (ok. 14–15 m^2/g) cechują próbki o małej porowatości.

Według kryteriów hydrogeologicznych udział porów $>0,2 \mu\text{m}$ umożliwia ruch wody pod działaniem siły ciężkości i sił molekularnych (ruch kapilarny), stąd oznaczone wartości porowatości aktywnej świadczą o bardzo małej możliwości przesączania się wody przez badane utwory triasu górnego. W praktyce geologiczno-inżynierskiej za pory całkowicie wypełnione wodą związaną uznaje się ultrapory o wymiarach $<0,1 \mu\text{m}$, więc w badanych utworach udział porów dostępnych dla wody wolnej może być większy, zwłaszcza przy panujących znacznych gradientach ciśnienia. Jednakże czynnikiem mającym decydujący wpływ na możliwość przesączania się wody przez utwory o tak małej porowatości jest

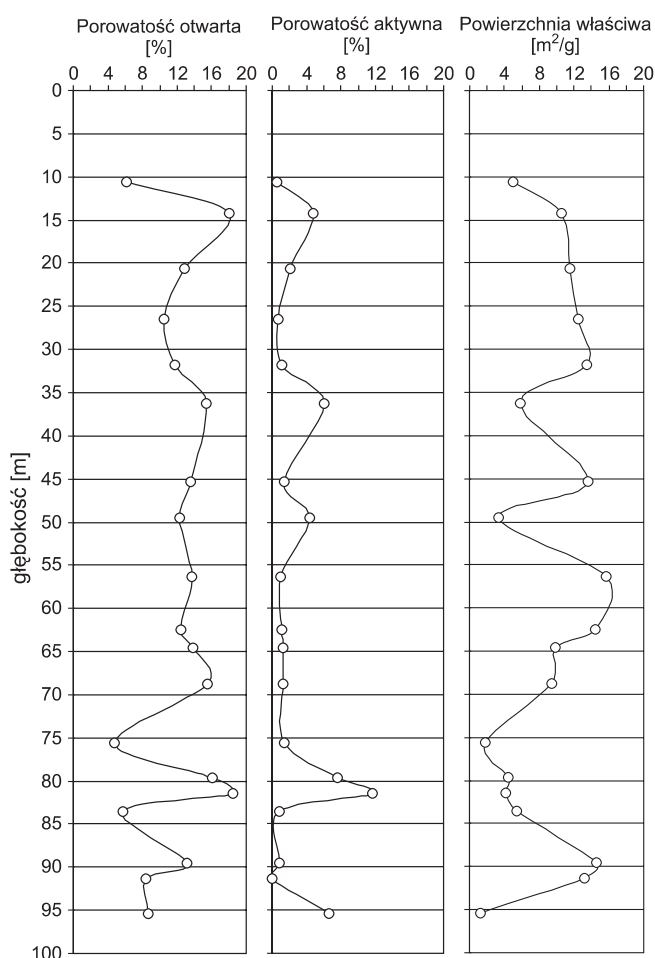


Fig. 2. Zmienność porowatości i powierzchni właściwej utworów triasu górnego w profilu otworu badawczego K-1

Variability in porosity and specific surface of the Upper Triassic formations in the profile of borehole K-1

występowanie spękań formujących szczeliny umożliwiające ruch wody. Badanie porowatości metodą porozymetru ręciowego wykonywane jest dla próbek o niewielkiej objętości, co ogranicza możliwość pełnego rozpoznania szczelino-watości utworów. W makroskopowym badaniu rdzenia wiertniczego stwierdzono obecność licznych makrospękań, których naturalne pochodzenie, niezwiązane z procesem wiercenia, potwierdzają zlustrowania tektoniczne występujące w przedziale głębokości 85,4–89,0 oraz 90,3–92,4 m.

Badanie zmienności składu chemicznego wód porowych w profilu utworów triasu górnego przeprowadzono metodą wyciągów wodnych dla wytypowanych 11 próbek pobranych z głębokości od 20,5 do 95,5 m (fig. 1, 3). Badane próbki różnią się pod względem litologicznym oraz położeniem w stosunku do stref zawodnienia, różny jest też typ hydrochemiczny uzyskanych z nich wyciągów. Wyciągi wodne z utworów rozdzielających strefy zawodnione w utworach plejstocenu i triasu górnego mają typ wody, o którym decydują jony HCO_3^- , Ca i Mg. W składzie wyciągów wodnych z pozostałych próbek (oprócz PR47) wzrasta udział jonów sodu i potasu (obydwu lub jednego z nich), co jest przyczyną zmiany typu z prostego trzyjonowego na bardziej złożony, np.: HCO_3^- -Ca-K-Na-Mg (PR24), HCO_3^- -Ca-K-Na (PR37). Dla próbek z dolnej strefy badanego profilu do jonów decydujących o typie hydrochemicznym wyciągów wodnych dołącza jon chlorkowy, co powoduje występowanie typów HCO_3^- -Cl-Ca-Na (PR49) i HCO_3^- -Cl-Ca-Na-Mg (PR56).

W wyciągu wodnym z próbki PR47, pobranej ze strefy występowania drugiego horyzontu wodonośnego w utwo-

rach triasu górnego, stwierdzono dominujący udział jonu siarczanowego, który tylko w tym przypadku formuje typ hydrochemiczny SO_4 -Ca-Mg. Zastanawiający był tak odmienny skład wyciągu z tej próbki, zwłaszcza że wyciąg wodny z próbki PR49 pobranej z tej samej strefy ma typ hydrochemiczny HCO_3^- -Cl-Ca-Na. Dlatego dla próbek PR47 i PR49 przeprowadzono badania składu mineralnego za pomocą elektronowego środowiskowego mikroskopu skaningowego (SEM). Stwierdzono, że w obydwu próbkach ziarna reprezentowane są głównie przez kwarc, w mniejszym stopniu kalcyt i sporadycznie skalenie. W próbce PR47 występują mniejsze ziarna i więcej jest spoiwa niż w próbce PR49. Spoiwo próbki PR47 jest o składzie kaolinitu, rzadziej illitu i muskowitu; fragmentarycznie występuje spoiwo kalcytowe, natomiast skład spoiwa próbki PR49 odpowiada kaolinitowi. W próbce PR47 często występuje piryt w postaci skupisk framboidalnych lub zrekrystalizowanych ziaren, wtrąceń w spoiwie czy pomiędzy blaszkami kaolinitu, stwierdzono też występowanie substancji organicznej z rozproszoną siarką (fig. 4). W próbce PR49 nie zaobserwowano ani pirytu, ani substancji organicznej.

Wyniki badań mineralogicznych wskazują, że dominujący udział siarczanów w składzie wyciągu wodnego z próbki PR47 może wynikać z rozkładu pirytu. Rozkład pirytu zgodnie z reakcją: $\text{FeS}_2 + 3,5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ może zachodzić w opróbowanej strefie (drugi horyzont wodonośny w utworach triasu górnego) o ile dostępny jest tlen, ale prawdopodobnie decydujący wpływ na wysokie stężenie siarczanów w ekstrakcie ma kontakt z tlenem i wodą podczas przygotowywania wyciągu. Inną możliwością powsta-

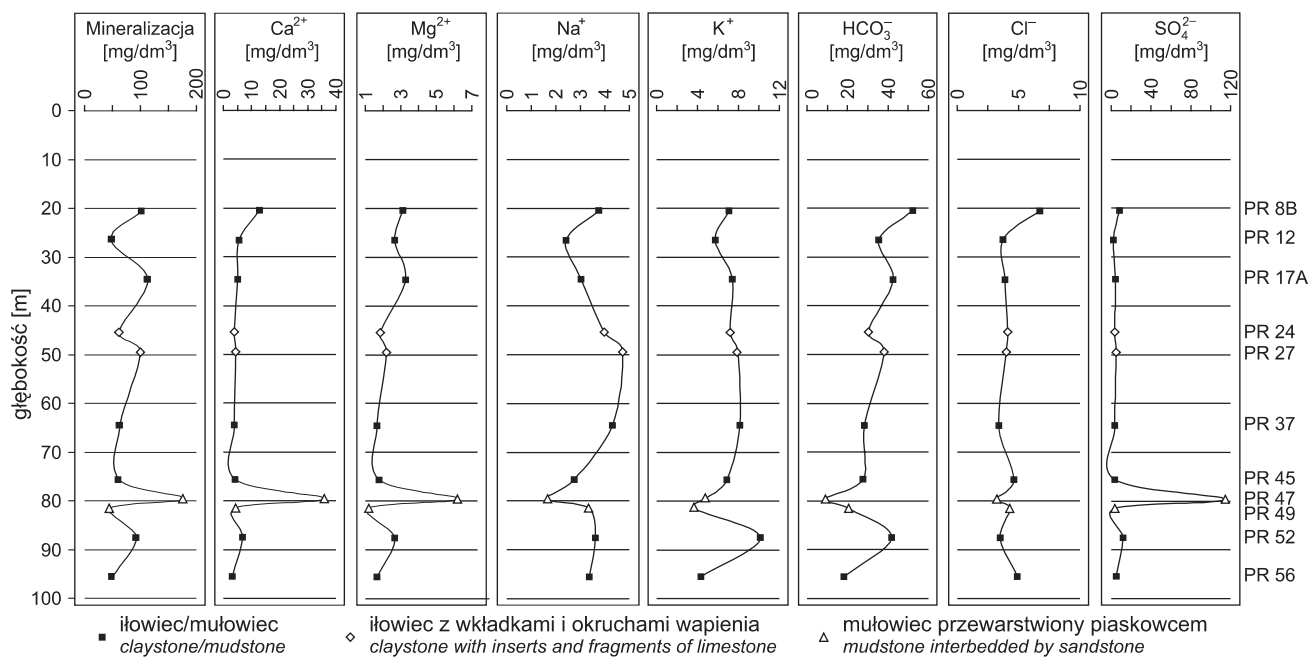


Fig. 3. Zmienność mineralizacji i stężeń głównych jonów w wyciągach wodnych z próbek utworów triasu górnego z otworu badawczego K-1

Variability of mineralization and concentrations of main ions in water extracts from Upper Triassic deposits borehole K-1

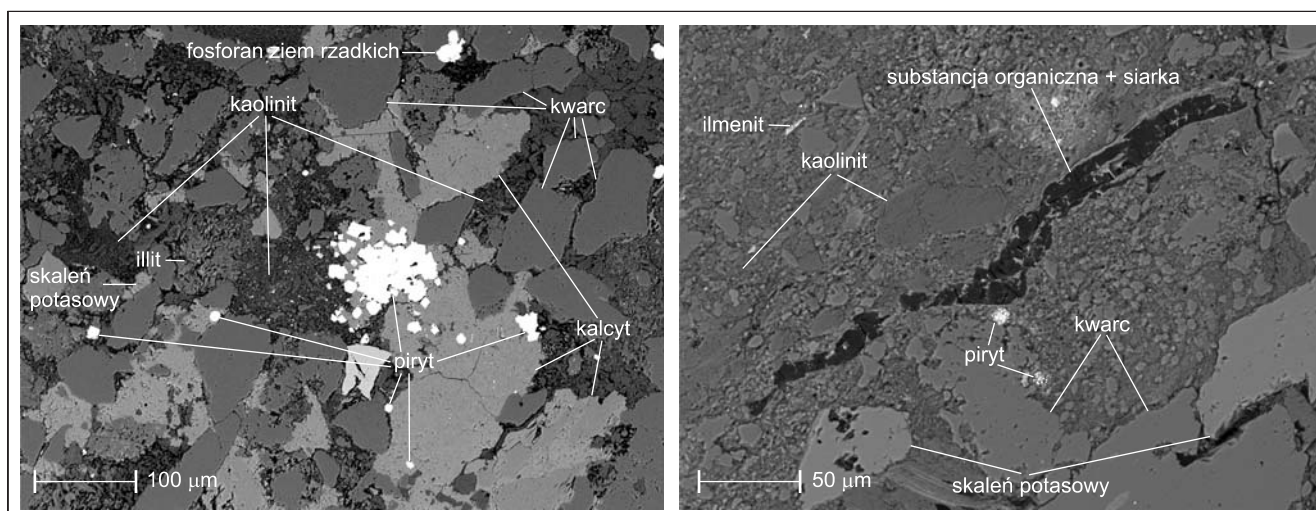


Fig. 4. Wyniki badań SEM próbki PR47 z utworów triasu górnego z otworu badawczego K-1

Results of SEM examinations of the PR47 sample from Upper Triassic deposits borehole K-1

Tabela 1

Skład chemiczny i izotopowy wód podziemnych występujących w profilu triasu górnego w otworze badawczym K-1

Chemical and isotopic composition of groundwater from Upper Triassic profile in borehole K-1

Składnik	Jednostka	Piezometr K-1/2 warstwa wodonośna 44,5–54,2 m	Piezometr K-1/1 warstwa wodonośna 70,9–83,0 m
Mineralizacja		423,69	477,45
Ca ²⁺	mg/dm ³	47,11	48,75
Mg ²⁺		25,6	25,3
Na ⁺		14,77	29,79
K ⁺		10,77	8,3
HCO ₃ ⁻		284	329
SO ₄ ²⁻		21,01	6,62
Cl ⁻		5,9	12,1
δ ¹⁸ O	‰	-10,65	-9,49
δ ² H	VSMOW	-76,0	-68,5
Tryt	TU	0,2 ± 0,3	0,5 ± 0,3
Typ wody		HCO ₃ -Ca-Mg	HCO ₃ -Ca-Mg-Na

wania siarczanów jest utlenienie siarki związanej z substancją organiczną, co również może zachodzić podczas ekstrakcji. Jony wodorowe uwalniane podczas rozkładu pirytu powodują obniżenie wartości pH (wyciąg z próbki PR47 ma wartość pH = 7,64, natomiast wyciąg z próbki PR49 ma wartość pH = 9,01) oraz reagują z węglanami (kalcytem, dolomitom), co z kolei może być przyczyną obserwowanego wzrostu stężenia jonów wapnia i magnezu w wyciągu (fig. 3).

Wody z pierwszej warstwy wodonośnej występującej w utworach triasu górnego (piezometr K-1/2) wykazują mineralizację wynoszącą 423,7 mg/dm³ (tab. 1). Wody te reprezentują typ hydrochemiczny HCO₃-Ca-Mg, zgodny z charakterem wyciągów wodnych z utworów nadległych. Wody drugiej warstwy wodonośnej (piezometr K-1/1) wykazują niewielki wzrost mineralizacji (477,45 mg/dm³). Typ hydrochemiczny ulega zmianie na HCO₃-Ca-Mg-Na. Podobną zmianę typu hydrochemicznego spowodowaną wzrostem udziału sodu zaobserwowano również dla wyciągów wodnych z utworów występujących w stropie i spągu tej warstwy wodonośnej.

Wyniki badań składu izotopowego wskazują na znaczny wiek wód. Brak trytu w wodach, przy warunkach uniemożliwiających szybką ich wymianę, jest wskazówką, że wody pochodzą z zasilania przed 1952 rokiem. Jednocześnie wartości izotopów tlenu i wodoru wskazują na wyraźną stratyfikację wieku wody, która może być zachowanym rezultatem wahań klimatycznych holocenu.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań słabo przepuszczalnych utworów triasu górnego pobranych z otworu badawczego K-1 w Woźnikach wskazują na możliwość przesączania się wód przez te utwory, choć proces ten musi być długotrwały. Skład izotopowy wód horyzontów wodonośnych występujących w profilu triasu górnego wskazuje na znaczny ich wiek, co potwierdza bardzo powolne przesączanie się wód przez te utwory. W takiej sytuacji procesy zachodzące podczas przesączania wód mają decydujący wpływ na formowanie składu chemicznego wód podziemnych, nie tylko w utworach triasu górnego, ale i kompleksu serii węglanowej triasu.

Rozpoznanie rzeczywistego składu chemicznego wód porowych w profilu triasu górnego jest kluczowe dla oceny tych procesów, jednakże uzyskanie wód porowych ze słabo przepuszczalnych utworów triasu górnego przy tak niskiej ich wilgotności jest trudne. Zastosowana metoda wyciągów wodnych jest standardowo stosowana dla tego typu utworów, jednakże radykalnie zmienia ona naturalne warunki, w jakich występują wody porowe, co wynika ze zmiany

ciśnienia, temperatury, dostępu tlenu itp., wpływając tym samym na ich skład chemiczny (Sacchi i in., 2001). Droga do pośredniego określenia rzeczywistego składu wód porowych na podstawie wyników uzyskanych z wyciągów wodnych jest coraz częściej stosowane modelowanie hydrogeochemiczne, ale niezbędne jest określenie szeregu elementów uwzględnianych w koncepcji opracowywanego modelu (skład mineralny, pojemność wymiany kationowej CEC, występowanie faz gazowych itp.) (Appello i in., 2008; Samper i in., 2008). W dalszym etapie badań słabo przepuszczalnych utworów triasu górnego będą podjęte prace prowadzące do określenia rzeczywistego składu chemicznego wód porowych na drodze modelowania hydrogeochemicznego, bazującego na wynikach wyciągów wodnych z tych utworów.

Badania były sfinansowane ze środków budżetowych na naukę w latach 2004–2008 jako projekt badawczy nr 4 T12B 006 27.

LITERATURA

- APPELO C.A.J., VINSOT A., METTLER S., WECHNER S., 2008 – Obtaining the porewater composition of a clay rock by modeling the in- and out-diffusion of anions and cations from an in-situ experiment. *J. of Contaminant Hydrol.*, **101**: 67–79.
- BACHLEDA-CURUŚ T., SEMYRKA R., 1997 – Zastosowanie analizy porozymetrycznej dla oceny przestrzeni porowej skał w profilach utworów karbonu dolnego i kambru środkowego północno-zachodniej Polski. *Geol. AGH*, **23**, 2: 165–188.
- KOWALCZYK A., RUBIN K., TREICHEL W., WRÓBEL J., 2002 – Odnawialność wód podziemnych szczelinowo-krasowego zbiornika Lubliniec–Myszków w świetle badań modelowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **404**: 51–66.
- MARCINIAK M., PRZYBYŁEK J., HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1999 – Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. Wyd. SORUS, Poznań–Kraków.
- PN-88/04481, 1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- RUBIN H., RUBIN K., 2007 – Podstawowe właściwości hydrogeologiczne ilów retyko-kajpru występujących na obszarze GZWP Lubliniec–Myszków. *W: Współczesne problemy hydrogeologii* (red. A. Szczepański, E. Kmieciak, A. Żurek), t.13, cz. 2: 325–333. AGH, Kraków.
- RUBIN K., 2008 – Rola utworów triasu górnego w zasilaniu i kształtowaniu chemizmu wód serii węglanowej triasu na przykładzie Głównego Zbiornika Wód Podziemnych Lubliniec–Myszków (GZWP 327). Projekt badawczy nr 4 T12B 006 27. Praca niepublikowana.
- SACCHI E., MICHELOT J-L., PITSCH H., LALIEUX P., ARANY-OSSY J-F., 2001 – Extraction of water and solutes from argillaceous rocks for geochemical characterisation: methods, processes, and current understanding. *Hydrogeol. J.*, **9**: 17–33.
- SAMPER J., ZHENG L., MONTENEGRO L., FERNANDEZ A.M., RIVAS P., 2008 – Coupled thermo-hydro-chemical models of compacted bentonite after FEBEX in situ test. *Appl. Geochem.*, **23**: 1186–1201.

SUMMARY

Upper Triassic low permeability formations cover about 3/4 of the Main Aquifer Lubliniec–Myszków found within the Middle and Lower Triassic formations. According to model investigations, infiltration through the Upper Triassic formations has the main contribution to the aquifer's recharging water balance. This paper presents the results of hydrogeological investigations of the Upper Triassic formations

(the Norian–Rhaetian) in the borehole K-1 drilled near Woźniki. The formations are represented by a 89.5-m thick series of clays, claystones and mudstones, locally interlayered with carbonates and sandstones. It was affirmed that the Upper Triassic interval contains two aquifers in fractured claystones interlayered by carbonates and sandstones. The water content in the Upper Triassic deposits ranges from 2.13% to

18.27%. The formations that are in contact with the Pleistocene and Middle Triassic aquifers and within the Upper Triassic aquifers have higher water contents. Open porosity values range from 4.77% to 18.41%, whereas effective porosities (pores $> 0.2 \mu\text{m}$) vary from 0.04% to 11.71%. These outcomes indicate a very small capability of water infiltration through the formations under investigation. However, the macrofractures that developed due to tectonic activity in the area may account for a larger vertical flow evidenced by the occurrence of polished tectonic surfaces in the K-1 well drill core. Under the conditions of very slow water infiltration through the Upper Triassic formations to the aquiferous Triassic carbonate series, the processes that accompany the vertical water flow have a crucial influence on the water chemistry. The chemical composition variety of pore water in

the Upper Triassic deposits was investigated using an aqueous extract test. This is the standard method used in analysing formations with such a low water content. The hydrochemical type of extracts varies with sampling depth. At lower depths, only HCO_3 , Ca and Mg ions have a decisive effect. As the depth increases, Na and K ions join their influence, and at the largest depths, there are also Cl and SO_4 ions. The hydrochemical types of the ground-water bodies in the Upper Triassic formations show conformity to the type of the extracts from the overlying formations. It was affirmed that the method of water extracts takes a radical effect on the change in chemistry of pore water in the formations. That is why the water composition should be determined by means of hydrochemical modelling to comply with reality.