

Stan chemiczny wód podziemnych aglomeracji łódzkiej

Jerzy J. Malecki¹, Dorota Porowska¹, Ewa Styrkowiec², Maciej Ziulkiewicz³

Chemical status of groundwater of the Łódź agglomeration. Prz. Geol., 65: 1329–1333.

Abstract. The article identifies the hydrogeochemical environments controlling the chemical composition of groundwater in the Łódź agglomeration. The study was conducted with a different position of the groundwater table within: the Quaternary, Upper- and Lower Cretaceous aquifers. These aquifers are continuously exploited from a long time till present.

The papers focuses on geogenic factors resulting from geological construction, lithology, circulation in the Łódź basin and anthropogenic factors associated with the change of the circulation system and the potential migration of pollution from the surface.

The chemical composition of water from the Quaternary, Upper- and Lower Cretaceous aquifers was stable, without any anthropogenic changes. The hydrochemical inversion of water within the Cretaceous aquifers is the result of the different lithology of these aquifers and the variation in the way and magnitude of groundwater recharge.

Keywords: Quaternary aquifer, Upper Cretaceous aquifer, Lower Cretaceous aquifer, chemical status of groundwater

Badania wód podziemnych w rejonie aglomeracji łódzkiej są prowadzone od początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Dotyczą one zarówno dynamiki wód podziemnych jak i ich chemizmu. Analizowano rozwój leja depresji wynikający z intensywnej eksploatacji trwającej aż do lat osiemdziesiątych. W latach następnych ograniczono pobór, w wyniku czego położenie zwierciadła wody zaczęło stopniowo powracać do stanu pierwotnego.

Intensywny pobór wód podziemnych, odbywający się przez ponad 100 lat na niewielkim obszarze, spowodował szereg daleko posuniętych przemian w pierwotnym środowisku hydrogeologicznym (Rodzoch, Pazio-Urbanowicz, 2015).

Kilka lat po uruchomieniu pierwszych studni zaczął powstawać lej depresji. Wraz ze wzrastającym poborem wód, lej ten pogłębiał się i rozrastał przestrzennie. W latach 1958–1959 w centrum Łodzi zwierciadło poziomu górno-kredowego obniżyło się o 7 m, natomiast na peryferiach miasta i w Zgierzu o 1–2 m. W okresie od 1920 do 1970 r. zwierciadło poziomu górno-kredowego uległo obniżeniu o ok. 70 m. Od połowy lat siedemdziesiątych rozpoczęła się stopniowa odbudowa zwierciadła, co szczególnie widoczne jest w centrum leja depresji, gdzie w 1975 r. zwierciadło kształtowało się na rzędnej około 100 m n.p.m., zaś w 1997 r. na 130 m n.p.m. Centrum leja przesunęło się ku północy, w okolice Zgierza (Nowicki, 2007).

Celem artykułu jest ocena stanu chemicznego wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych, przy zmieniającym się układzie hydrodynamicznym zwierciadła i zróżnicowanym rozwoju miasta i przemysłu. Badania wykonane zostały w dwóch strefach, położonych w północnej i południowej części miasta. Strefa północna znajdowała się w centrum leja depresji, natomiast w południowej strefie lej zaznaczył się znacznie słabiej. W każdym przypadku analizowano wody poziomów: czwartorzędowego, górno- i dolnokredowego.

LOKALIZACJA TERENU BADAŃ

Badaniami stanu hydrodynamicznego i składu fizykochemicznego wód podziemnych objęto strefę położoną w północnej części Łodzi (reprezentowaną przez studnie: Żabieniec-A-2, Teofilów B-4, Teofilów B-7 i Żabieniec A-6) oraz strefę położoną na południe od miasta (reprezentowaną przez studnie: Grodzisko 5b, Bronisin 4a i Bronisin 4z) (ryc. 1). W obu przypadkach są to studnie ujmujące wody przez wodociąg miejski z piętra czwartorzędowego oraz poziomów dolno- i górno-kredowego.

METODY BADAŃ

Badaniami objęto wody użytkowych poziomów wodonośnych z okresu sięgającego od lat 90. ub.w. do 2016 r. Krótszy ciąg obserwacji wynika z przerw w eksploatacji studni, a w niektórych przypadkach (studnia Grodzisko 5b, Teofilów B-7) także z wyłączenia studni z eksploatacji i likwidacji otworu.

Badania wydajności studni i położenia zwierciadła wody wykonywane były z miesięczną częstotliwością, natomiast analizy fizykochemiczne wykonywane były dwa razy w ciągu roku. Badania fizykochemiczne wód wykonane zostały w Laboratorium Badawczym Zakładu Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi, które posiada certyfikat akredytacji i spełnia wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Skomplikowane warunki hydrogeologiczne na terenie niecki łódzkiej powodują obecność wielu pięter i poziomów wodonośnych (tab. 1). W zależności od lokalizacji, największe znaczenie użytkowe mają wody piętra czwartorzędowego i kredowego (poziomów górno- i dolnokredowych). Podrzędnie znaczenie użytkowe mają wody piętra paleogeńsko-neogeńskiego i górnokredowego.

¹ Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; jerzy.malecki@uw.edu.pl; dorotap@uw.edu.pl.

² Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o. w Łodzi, ul. Wierzbowa 52, 90-133 Łódź; estyrkowiec@zwik.lodz.pl.

³ Pracownia Geologii, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-129 Łódź; macziul@uni.lodz.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Location of the study area

W obrębie **piętra czwartorzędowego** występuje kilka warstw wodonośnych o różnym rozprzestrzenieniu i różnym stopniu łączności hydraulicznej. W przekroju pionowym utworów czwartorzędowych wyróżnia się trzy poziomy wodonośne: podmorenowy, śródmorenowy i nadmorenowy, które stanowią piaski o różnej granulacji i współczynnikach filtracji od $8,1 \times 10^{-4}$ do $2,4 \times 10^{-5}$ m/s (tab. 1). W północnej części Łodzi analizowana strefa znajdowała się w przedziale głębokości 37,0–11,8 m p.p.t., zaś na południe od miasta występowała nieco głębiej – 68,5–117,0 m p.p.t. (tab. 2).

W rejonie Łodzi wodonośne utwory **górnjej kredy** występują na głębokości 40–140 m. Górnokredowa warstwa wodonośna (kampan, santon, koniak, turon górny) ma charakter szczelinowy, zbudowana jest z opok przewarstwionych marglami oraz wapieniami marglistymi

bądź piaszczystymi (tab. 1). Peryferyjnie warstwę wodonośną stanowią cenomańskie wapienie zawierające lokalnie domieszki margliste. W przypadku obu warstw współczynnik filtracji jest zbliżony ($2,0 \times 10^{-3}$ – $1,3 \times 10^{-6}$ m/s), średnio osiąga $3,47 \times 10^{-5}$ m/s. Na poligonie Teofilów–Żabieniec, położonym na północ od miasta kreda górna reprezentowana jest przez opoki, natomiast na poligonie Grodzisko–Bronisin, zlokalizowanym rejonie południowym kreda górna wykształcona jest w postaci wapieni i margli (tab. 2).

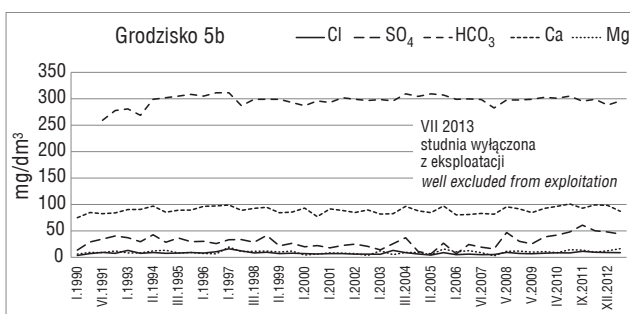
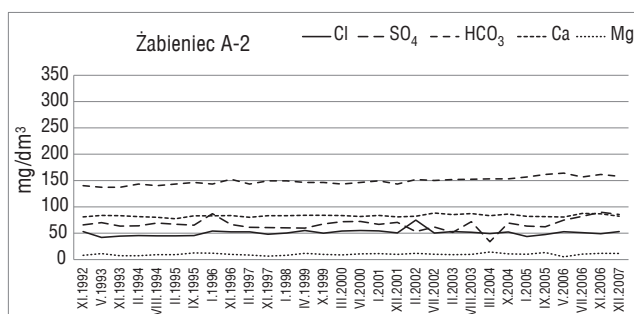
Strop piaszczystych utworów wodonośnych **dolnej kredy** występuje na różnych głębokościach, poczynając od 10 m na wychodniach do 2600 m w osi synkinalnej. Wodonośne utwory dolnokredowe wykazują wyraźną dwudzielność, spowodowaną obecnością trudno przepuszczalnych utworów albu dolnego pomiędzy wodonośnymi osadami piaszczystymi hoterywu i albu. Wodonośne utwory hoterywu górnego to piaskowce drobnoziarniste, zaś albu środkowego i dolnego – to utwory piaszczyste: piaski i piaskowce średnio- i gruboziarniste, których współczynnik filtracji zawiera się w przedziale $5,8 \times 10^{-4}$ – $7,75 \times 10^{-5}$ m/s (tab. 1). Na obu badanych poligonach utwory wieku dolnokredowego ujmowane są na głębokości poniżej 660 m p.p.t. i wykształcone są w postaci różnoziarnistych piaskowców, które w części północnej zawierają domieszki glaukonitu (tab. 2).

Generalnie na terenie Łodzi i pobliskich miast (np. Pabianic) intensywna eksploatacja wód z poziomu **górnjej kredy** doprowadziła do powstania lejów depresji. W centrum leja znalazł się poligon północny – Teofilów–Żabieniec, natomiast poligon południowy Grodzisko–Bronisin był w jego marginalnej strefie. Analiza zwierciadła wód poziomu **dolnokredowego** wykazała, że wody odpływają głównie w kierunku północno-zachodnim. Zasadniczo obniżenie zwierciadła wody ma charakter lokalny, związany z intensywną, punktową eksploatacją studni, natomiast wyłączenie studni skutkuje szybkim podniesieniem zwierciadła wody.

WYNIKI BADAŃ

Wody **piętra czwartorzędowego** wykazują znaczne zróżnicowanie przestrzenne typów hydrochemicznych, mineralizacji oraz zawartości poszczególnych jonów. Zwykle są to wody wielojonowe ze znacznym udziałem jonów HCO_3^- i Ca^{2+} (Ziułkiewicz, 2003).

Porównanie chemizmu wód na badanych poligonach wskazuje na różnice w zawartości wodorowęglanów i chlorków (ryc. 2). Ich stabilne koncentracje w okresie 10-letniego cyklu badań sugerują, że składniki te są głównie kształtowane pod wpływem czynników geogenicznych.



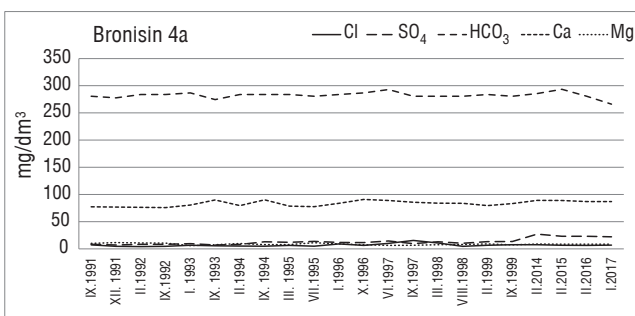
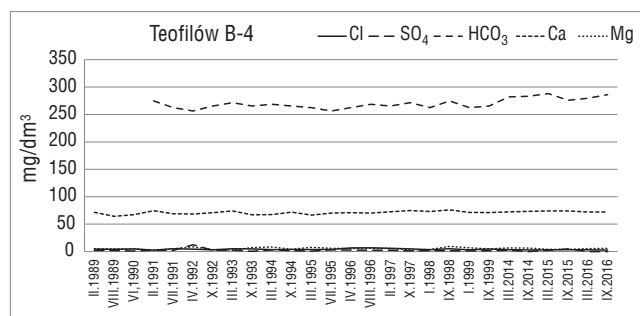
Ryc. 2. Zawartość głównych składników wód podziemnych piętra czwartorzędowego
Fig. 2. Content of major ions in groundwater from the Quaternary aquifer

Tab. 1. Charakterystyka środowiska geologicznego wód podziemnych na terenie niecki łódzkiej (Ziulkiewicz, 2003)**Table 1.** Characteristics of the geological environment of groundwater in the Łódź Basin (Ziulkiewicz, 2003)

Piętro wodonośne <i>Multiaquifer formation</i>	Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	Warstwa wodonośna <i>Aquifer horizon</i>	Wykształcenie litologiczne <i>Lithology</i>	Współczynnik filtracji <i>Permeability coefficient</i> [m/s]
Czwartorzęd <i>Quaternary</i>	holoceński (aluwia dolin rzecznych), plejstoceński (na wysoczyznach) <i>Holocene (river sediments), Pleistocene (upland)</i>	nadmorenowa <i>supramoraine</i>	piaski różnoziarniste i żwiry z domieszką mułków i torfów, lokalnie gliny spiazczone <i>varigrained sands and gravels with addition muds and peats, locally sandy clays</i>	$2,8 \times 10^{-4}$ – $8,1 \times 10^{-4}$
	plejstoceński <i>Pleistocene</i>	(śródmorenowa) międzymorenowa <i>intermoraine</i>	piaski drobnoziarniste, pylaste i średnioziarniste, pospółki żwirowo-piaszczyste z przewarstwieniami mułków, ilów i glin spiazczonych <i>fine-grained sands, dusty sands and medium-grained sands, gravel-sandy deposits with silts, clays and sandy loams</i>	$2,4 \times 10^{-5}$
	plejstoceński / <i>Pleistocene</i>	podmorenowa <i>submoraine</i>	piaski różnoziarniste i żwiry <i>poorly sorted sands and gravels</i>	–
Paleogen–Neogen <i>Paleogene–Neogene</i>	plioceński / <i>Pliocene</i>		piaski drobnoziarniste <i>fine-grained sands</i>	$6,5 \times 10^{-5}$
	mioceński / <i>Miocene</i>		piaski drobnoziarniste <i>fine-grained sands</i>	$2,4 \times 10^{-5}$ – $8,0 \times 10^{-5}$
Kreda <i>Cretaceous</i>	kreda górną <i>Upper Cretaceous</i>	główna – kampan, santon, koniak, turon (górny) <i>Main – Campanian, Santonian, Coniacian, Turonian (upper)</i>	opoki z przewarstwieniami margli i wapieni marglistych i piaszczystych <i>opokas with marls and marly and sandy limestones</i>	$2,0 \times 10^{-3}$ – $1,3 \times 10^{-6}$ $k_{sr}=3,47 \times 10^{-5}$
		peryferyjna – cenoman <i>peripheral – Cenomanian</i>	wapienie, wapienie margliste <i>limestones and marly limestones</i>	
	kreda dolną <i>Lower Cretaceous</i>	alb środkowy i dolny <i>Middle and Lower Albian</i>	utwory piaszczyste: piaski i piaskowce (słabozwięzłe) średnio i gruboziarniste <i>sandy deposits: medium- and coarse grained sands and sandstones</i>	$5,8 \times 10^{-4}$ – $7,75 \times 10^{-5}$
Jura <i>Jurassic</i>	jura górną <i>Upper Jurassic</i>	hoteryw górny <i>Upper Hauterivian</i>	piaskowce drobnoziarniste <i>fine-grained sandstones</i>	$3,1 \times 10^{-5}$ – $2,3 \times 10^{-6}$
		kimeryd dolny <i>Lower Kimmeridgian</i>	wapienie margliste <i>marly limestones</i>	
		oxford górny <i>Upper Oxfordian</i>	wapienie płytowe <i>platy limestones</i>	

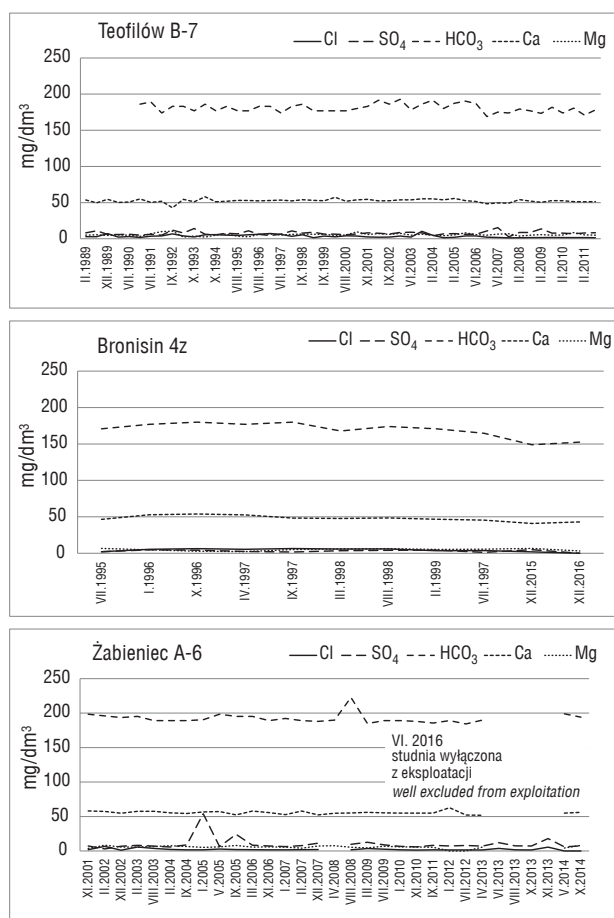
Wody poziomu górnokredowego reprezentują typ hydrochemiczny $\text{HCO}_3\text{--Ca--Mg}$ oraz $\text{HCO}_3\text{--Ca}$, rzadziej $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na}$, o mineralizacji oscylującej wokół 380 mg/dm^3 . Pomimo długotrwałej eksploatacji wód poziomu górnokredowego, nie stwierdzono zmian ich chemizmu na badanych poligonach (ryc. 3). Stabilność składu chemicznego wód tego poziomu potwierdzają również badania archiwalne (Ziulkiewicz, 2003).

Wody poziomu dolnokredowego reprezentują typ hydrochemiczny $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ z pochodnymi $\text{HCO}_3\text{--Ca--Mg}$ lub $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na}$, w kilku przypadkach stwierdzono typ $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca}$. Mineralizacja tych wód zazwyczaj nie przekracza 300 g/dm^3 . Podobnie jak w przypadku wód poziomu górnokredowego, intensywna eksploatacja nie spowodowała zmiany ich chemizmu (ryc. 4).

**Ryc. 3.** Zawartość głównych składników wód podziemnych poziomu górnokredowego**Fig. 3.** Content of major ions in groundwater from the Upper Cretaceous aquifer

Tab. 2. Charakterystyka otworów reprezentujących badane strefy
Table 2. Characteristics of the wells representing the studied zones

Nazwa studni Name of well	Rzędna terenu [m n.p.m.] Elevation [m a.s.l.]	Głębokość ujętej strefy [m p.p.t.] Depth interval [m b.s.l.]	Stratygrafia ujętej strefy Stratigraphy	Litologia ujętej strefy Lithology	Zwierciadło wody nawiercone/ ustalone [m p.p.t.] Groundwater table drilled/determined [m b.s.l.]
Teofilów–Żabieniec (północ / North)					
Żabieniec A-2	189,27	37,0–111,8	czwartorzęd Quaternary	piaski średnio- i drobnoziarniste fine-grained and medium-grained sands	37,0 / 0,7
Teofilów B-4	186,12	127,0–180,0 (otwór bosy uncased well)	Kreda górna Upper Cretaceous	opoki / opokas	127,0 / 54,4
Teofilów B-7	187,00	656,3–832,0	kreda dolna Lower Cretaceous	piaskowce średnio- i drobnoziarniste; z glaukonitem medium- and fine-grained sandstones with glauconite	656,5 / 49,6
Żabieniec A-6	204,30	620,0–680,0	kreda dolna Lower Cretaceous	piaskowce drobno- i gruboziarniste; z glaukonitem fine- and coarse-grained sandstones with glauconite	618,0 / 55,8
Grodzisko–Bronisin (południe / South)					
Grodzisko 5b	192,44	68,5–117,0	czwartorzęd Quaternary	piaski różnoziarniste poorly sorted sands	68,5 / 4,1
Bronisin 4a	195,61	114,3–320,0 (otwór bosy uncased well)	kreda górna Upper Cretaceous	wapień i margle limestones and marls	114,3 / 16,0
Bronisin 4z	195,8	672,9–725,6	kreda dolna Lower Cretaceous	piaskowce różnoziarniste z cienkimi wkładkami mułowców poorly sorted sandstones with mudstone	672,9 / 42,2



Ryc. 4. Zawartość głównych składników wód podziemnych poziomu dolnokredowego

Fig. 4. Content of major ions in groundwater from the Lower Cretaceous aquifer

DISKUSJA WYNIKÓW

W rozpatrywanym wieloletnim stężeniu chlorków i związków azotu różnicowały poszczególne poligony, wykazywały natomiast dużą stabilność w monitorowanych studniach. Najwyraźniej można to zaobserwować w przypadku wód **poziomu czwartorzędowego**. Na poligonie Teofilów–Żabieniec, położonym w północnej części miasta stężenia chlorków w wodach tego poziomu oscylowały wokół 50 mg/dm³, podczas gdy na południu, na poligonie Grodzisko–Bronisin osiągały jedynie 16 mg/dm³ (tab. 3).

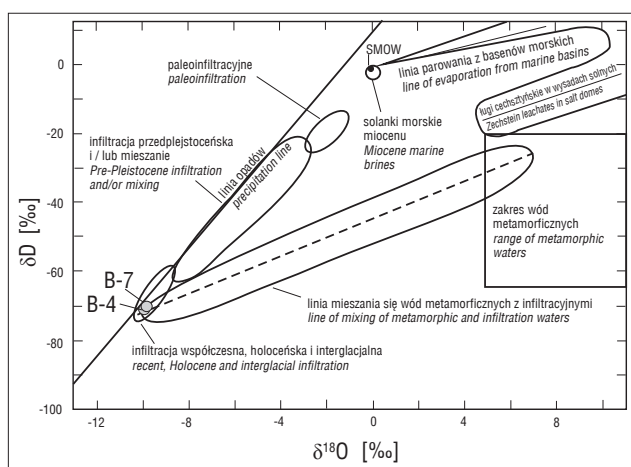
Wody obu **poziomów kredowych** wykazują znaczne podobieństwo pod względem typu hydrochemicznego, natomiast wyraźnie różnicuje je stopień zmineralizowania, wskazując na istnienie inwersji hydrochemicznej, potwierdzonej przez innych autorów (Rodzoch, Karwacka, 2015). Inwersję mineralizacji wód stwierdzono w studniach znajdujących się zarówno w północnej części Łodzi, jak i na obrzeżach miasta. Fakt ten należy wiązać z czynnikami geogenicznymi: zróżnicowaną litologią oraz budową geologiczną przekładającą się na schemat przepływu wód.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2015) badane wody w znacznym stopniu mieszczą się w II klasie wód o dobrej jakości, ze względu na podwyższoną zawartość wapnia i manganu, a w niektórych przypadkach także wodorowęglanów i jonu amonowego. Lokalnie wysokie stężenia **żelaza** obniżają jakość wody do III klasy.

Wyniki analiz zawartości stabilnych izotopów tlenu i wodoru naniesione na wykres $\delta^{18}\text{O}$ – δD , pozwoliły na stwierdzenie, iż skład wody z poziomów górno- i dolnokredowego znajduje się w pobliżu linii WMWL co oznacza, że są to wody pochodzenia infiltracyjnego, a w odniesieniu do zaznaczonych zakresów można wskazywać na infiltrację holoceniową (ryc. 5).

Tab. 3. Zawartość wybranych jonów w badanych wodach
Table 3. Content of selected ions in the studied groundwater

Zawartość Content Piętro / poziom Aquifer / aquifer horizon	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
	[mg/dm ³]		
Teofilów–Żabieniec (północ / North)			
Czwartorzęd / Quaternary	42,1–55,1 n = 30	<0,44 – 9,78 n = 30	0,25–0,52 n = 30
Kreda górna / Upper Cretaceous	1,4–6,9 n = 27	<0,5 – 1,46 n = 27	0,22–0,54 n = 27
Kreda dolna / Lower Cretaceous	1,3–10,4 n = 48	<0,13–0,44 n = 48	<0,44–2,72 n = 48
	1,1–6,8 n = 30	0,12–1,31 n = 30	0,01–0,07 n = 30
Grodzisko–Bronisin (południe / South)			
Czwartorzęd / Quaternary	3,4–16,0 n = 44	0,1–2,8 n = 44	0,3–1,0 n = 44
Kreda górna / Upper Cretaceous	4–15,5 n = 22	<0,44–1,55 n = 22	0,23–0,48 n = 22
Kreda dolna / Lower Cretaceous	<2–6,5 n = 11	0,09–0,81 n = 11	0,05–0,21 n = 11



Ryc. 5. Skład izotopowy wód kredowych niecki łódzkiej na tle innych wód podziemnych rozpoznanych na obszarze Polski (Grabczak, Zuber, 1986)

Fig. 5. Isotopic composition of Cretaceous water within Łódź basin compared to other groundwater in Poland (Grabczak, Zuber, 1986)

Badania izotopów promieniotwórczych (¹⁴C) wskazały na istnienie inwersji wiekowej pomiędzy górnokredowym i dolnokredowym poziomem wodonośnym, wiek tych wód różni się o cały rząd wielkości i odpowiednio wynosi: K_{górna} – ok. 8000–9000 lat, K_{dolna} – ok. 400 lat.

Inwersyjny układ wieku wód w kredowych utworach wodonośnych niecki łódzkiej wynika ze znacznych różnic zdolności retencyjnych obu omawianych poziomów wodonośnych. **Poziom dolnokredowy** jest głównie zasilany w wąskiej strefie wychodni podkenozoicznych. Szybkiemu przepływowi wód w głąb utworów dolnokredowych sprzyjają dobre warunki filtracyjne. Na wychodniach współczynniki filtracji są dużo wyższe niż w pobliżu osi synklijalnej niecki).

Poziom górnokredowy, występujący znacznie płycej, jest zasilany na całym obszarze kontaktu wodonośnych utworów węglanowych z nadległymi utworami kenozoiku. Zasilanie to odbywa się na drodze powolnego przesączania przez utwory trudno przepuszczalne (gliny zwalowe, lokalnie ility paleogeneo-neogeńskie). Wyraźna trójdzielność profilu skalnego kredy górnej wskazuje na dobre warunki

tylko w stropowej części (do 25 m) obejmującej szczeliny wietrzeniowe. Głębiej współczynnik szczelinowatości maleje, utrudniając przepływ wód. Warunki zasilania i krążenia w poważnym stopniu przyczyniają się do znacznego wydłużenia czasu przepływu wód górnokredowych ku strefom ich drenażu.

WNIOSKI

Badane wody podziemne charakteryzują się dobrą jakością i w znacznym stopniu mieszczą się w II klasie. Lokalnie wysokie stężenia żelaza obniżają ich jakość do III klasy. Stabilny skład chemiczny tych wód wskazuje, że rozwój leja depresji nie wpłynął na ich stan chemiczny. Przyczyną inwersji mineralizacji wód poziomów kredowych zostały uzasadnione na podstawie wyników oznaczeń izotopów stabilnych tlenu (¹⁸O) i deuteru (²H) oraz izotopów promieniotwórczych (¹⁴C). Stwierdzona inwersja wynika z przyczyn geogenicznych. Chemizm wód kredowych jest kształtowany na skutek naturalnych procesów, spośród których największe znaczenie ma litologia wodonośna i jego podatność na ługowanie oraz czas przebywania wody w ośrodku skalnym, wynikający z różnicy w sposobie i wielkości zasilania obu poziomów.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne uwagi i sugestie.

LITERATURA

- GRABCZAK J., ZUBER A. 1986 – A combined isotope and chemical approach to determining the origin of brines in salt mines. Freiberg. Forschungsh., C417, 105–115.
- NOWICKI Z. (red.) 2007 – Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PN-EN ISO/IEC 17025:2005 – Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- RODZOCH A., KARWACKA K. 2015 – Inwersja hydrochemiczna i wiekowa wód podziemnych na obszarze GZWP nr 401 (Zbiornik Niecka Łódzka). Prz. Geol., 63 (10/2): 1033–1036.
- RODZOCH A., PAZIO-URBANOWICZ K. 2015 – Zasilanie i drenaż wód podziemnych GZWP nr 401 (Zbiornik Niecka Łódzka) w świetle badań modelowych. Prz. Geol., 63 (10/2): 1037–1041.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. Dz.U. z 2016 r. poz. 85.
- ZIUŁKIEWICZ M. 2003 – Pionowa strefowość hydrochemiczna wód podziemnych na obszarze aglomeracji łódzkiej. Wyd. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź.