

Inwersja hydrochemiczna i wiekowa wód podziemnych na obszarze GZWP nr 401 (Zbiornik Niecka Łódzka)

Andrzej Rodzoch¹, Katarzyna Karwacka¹

Hydrogeochemical and age inversion of groundwater in the area of MGB No. 401 (Łódź Basin). Prz. Geol., 63: 1033–1036.

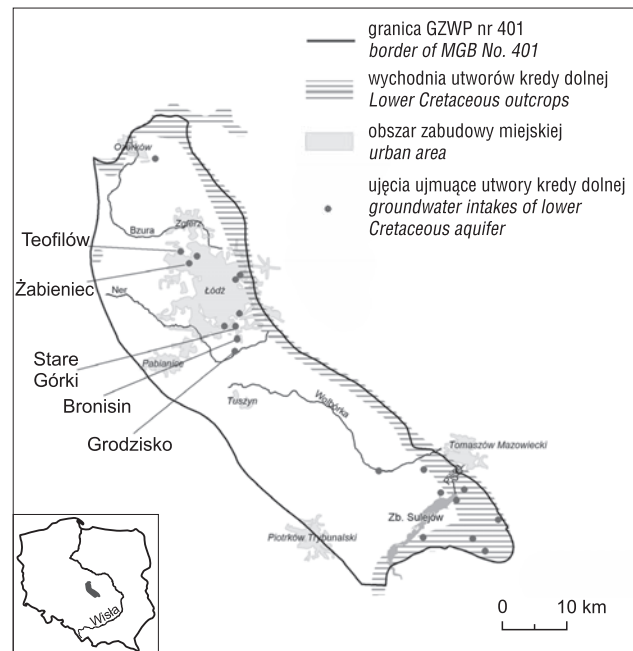
Abstract. The area of Łódź basin is presented in the hydrogeology literature as an area where hydrogeochemical vertical inversion and age vertical inversion between Upper Cretaceous aquifer and Lower Cretaceous aquifer occur. This article describes new facts and research results which will allow to verify the well-known fact about inversion presented above. Furthermore, the presented research results help to form a thesis about groundwater recharge and groundwater discharge of Early Cretaceous aquifer which creates MGB No. 401 (Łódź Basin).

Keywords: Łódź Basin, Lower Cretaceous aquifer, hydrogeochemical inversion

System hydrogeologiczny będący przedmiotem prezentowanej analizy obejmuje obszar wyznaczony granicami GZWP nr 401 (Zbiornik Niecka Łódzka), szczegółowo ustalonymi w 2014 r. w ramach sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej obszar ochronny zbiornika (Rodzoch i in., 2014) (ryc. 1). W sensie głębokościowym prezentowana charakterystyka dotyczy tylko systemu wód zwykłych, obejmującego piętra wodonośne kenozoiku oraz kredy górnej i dolnej. Opisywany obszar, tak jak i cała niecka mogileńsko-łódzka, jest rejonem o najgłębiej sięgającej strefie wód słodkich w naszym kraju. W otworze termalnym GT-2 w Poddębicach, wykonanym w 2010 r., na głębokości 1962 m, w piaskowcach kredy dolnej ujęto wodę termalną o temperaturze 71°C i mineralizacji 0,4 g/dm³ (Wiktorowicz, 2014). Inną szczególną cechą opisywanego obszaru jest bardzo intensywna i trwająca od wielu lat eksploatacja wód poziomów kredy górnej i dolnej w rejonie aglomeracji łódzkiej. Doprowadziła ona do powstania rozległego i głębokiego leja depresji. Z reguły tak głębokie przeobrażenia reżimu hydrodynamicznego powodują także przekształcenia pionowej strefowości hydrochemicznej i temperaturowej, obserwowanej często w głębokich, niekwaśnych zbiornikach wodonośnych. Rozpoznanie i analiza tego typu przeobrażeń ma istotne znaczenie dla ustalenia optymalnych warunków eksploatacji wód podziemnych w sposób nie powodujący ich degradacji jakościowej i ilościowej.

Literatura dotycząca warunków hydrochemicznych na obszarze niecki łódzkiej, w sytuacji silnej antropopresji, nie jest zbyt bogata. Ogólną charakterystykę tych warunków można znaleźć w pracy Bojarskiego (1996) dotyczącej Niżu Polskiego, a bardziej szczegółową, dotyczącą wód termalnych niecki łódzkiej, w tym wód poziomu dolnokredowego, w pracach Wiktorowicz (2013, 2014). Bardzo cenną pozycją bibliograficzną, zawierającą ciekawe wyniki badań i analiz hydrogeochemicznych północnej części obszaru niecki łódzkiej od Ozorkowa aż po Tuszyń, jest mało znana w środowisku hydrogeologów publikacja Ziulkiewicza pt. „Pionowa strefowość hydrochemiczna wód podziemnych na obszarze aglomeracji łódzkiej” (2003). Badania autora, prowadzone na trzech poligonach badawczych na terenie Łodzi, koncentrowały się głównie

na rozpoznaniu pionowej zmienności hydrochemicznej wód podziemnych, poczynając od wód przesiąkowych w strefie aeracji, aż do najgłębiej położonych poziomów wodonośnych kredy dolnej i jury górnej. Oprócz bardzo szczegółowej charakterystyki chemizmu wód podziemnych, w publikacji tej udokumentowano występowanie wyraźnej, pionowej inwersji mineralizacji wód podziemnych, która maleje wraz z głębokością i najniższa jest w wodach poziomu kredy dolnej. Praca zawiera również wyniki badań izotopowych wieku wód, z których wynika, że wody poziomu kredy górnej są znacznie starsze (ok. 8000–9000 lat) od wód poziomu kredy dolnej (ok. 400 lat). Autor tłumaczy to istnieniem znacznego zróżnicowania zdolności retencyjnych obu omawianych poziomów wodonośnych i odmiennym charakterem ich zasilania i drenażu. Według autora w poziomie kredy górnej wymiana wód jest utrudniona



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the research area

¹ HYDROEKO – Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód, ul. Wąwozowa 25 lok. 48, 02-796 Warszawa; rodzoch@hydroeko.waw.pl, k.karwacka@hydroeko.waw.pl.

z uwagi na szczelinowy charakter wodonośca i występowanie uszczelnionych stref tektonicznych. W poziomie kredy dolnej przepływ wód jest dużo szybszy, czemu sprzyjają dobre warunki filtracyjne, jednorodność litologiczna wodonośca i budowa strukturalna niecki ze stromo zapadającym skrzydłem wschodnim. Chociaż charakterystyka chemizmu i strefowości hydrochemicznej wód podziemnych w rejonie Łodzi przedstawiona przez autora jest bardzo dobrze i wiarygodnie udokumentowana, to niektóre wnioski mogą budzić wątpliwości, zwłaszcza dotyczące hydrodynamiki i zasilania kredowych poziomów wodonośnych oraz wieku wód. Dotyczy to w szczególności poglądu, że poziom dolnokredowy jest zasilany z osadów nadległych jedynie w wąskiej strefie wychodni podkenozoicznych. W opinii autorów, z bilansowego punktu widzenia, pogląd ten jest trudny do przyjęcia, co potwierdzają wyniki badań modelowych wykonanych w ramach prac dokumentacyjnych GZWP nr 401 (Rodzoch i in., 2014).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

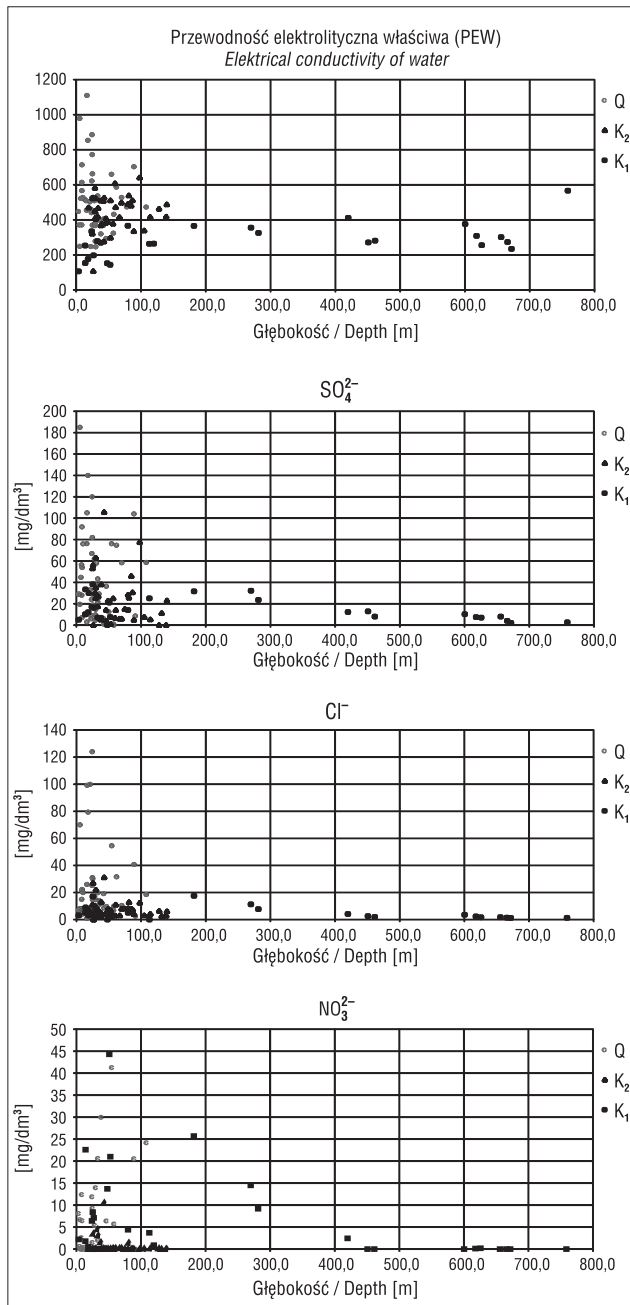
Na całym omawianym obszarze podłoże utworów kredowych stanowią utwory kimerydu górnego, wykształcone głównie w postaci słabo przepuszczalnych łupków marglistych, iłów i iłowców. Utwory te wraz z osadami iłowcowo-mułowcowymi beriasu, walanżynu i hoterywu (kreda dolna) stanowią ciągły kompleks izolacyjny, rozdzielający piętro wodonośne jury górnej (oksfordu) od piasków i słabo związanych piaskowców albu środkowego i lokalnie hoterywu górnego, tworzących GZWP nr 401. Miąższość osadów wodonośnych kredy dolnej zawiera się w przedziale od 50 do 200 m, przy średniej około 100 m. Na powierzchni podkenozoicznej utwory te odsłaniają się w wąskim pasie o szerokości około 1–4 km, ciągnącym się wzdłuż wału kujawskiego oraz wzdłuż północnej i południowej granicy GZWP nr 401. Jedynie w południowej części obszaru, w skarpie doliny Pilicy i w rejonie niecki tomaszowskiej, lokalnie wychodzą na powierzchnię terenu. W kierunku południowo-zachodnim zapadają stromo aż do głębokości przekraczającej 1000 m. Poza wychodniami podkenozoicznymi poziom kredy dolnej jest przykryty grubym kompleksem wapienno-marglistych utworów kredy górnej z przelawiczeniami łupków i iłowców. **Osady paleogenu–neogenu** występują tylko w północnej części obszaru. Reprezentowane są głównie przez neogeńskie słabo przepuszczalne iły i iły piaszczyste z wkładkami węgla brunatnego oraz mułki zaliczane do miocenu. Część stropową tworzą iły, iły pylaste i mułki pliocenu z licznymi wkładkami piasków drobnoziarnistych i pylastych. Niewielkie znaczenie użytkowe ma jedynie mioceniński poziom wodonośny, ujmowany lokalnie w okolicy Łodzi oraz na północ od Ozorkowa. **Czwartorzęd** jest reprezentowany głównie przez gliny zwałowe oraz żwiry i piaski wodnolodowcowe, tworzące zwartą pokrywę o miąższości mieszczącej się najczęściej w przedziale 30–70 m, lokalnie w rejonie Wzgórz Łódzkich dochodzącej do 130 m. W okolicach Ozorkowa, Lutomińska, Pabianic i niecki tomaszowskiej czwartorzęd jest silnie zredukowany w wyniku wyniesienia powierzchni mezozoicznej. Na obszarach wyniesionych o największej miąższości osadów czwartorzędowych (np. rejon Wzgórz Łódzkich) poziom czwartorzędowy jest głównym poziomem użytkowym. Największe znaczenie użytkowe ma **poziom wodonośny kredy**

górną, z którego pochodzi aż 62% (ok. 90 tys. m³/d) wód podziemnych eksploatowanych w granicach GZWP nr 401 (Rodzoch i in., 2014). Jego zasilanie odbywa się głównie poprzez dopływ wód z nadległych poziomów wodonośnych kenozoiku. W rejonie Łodzi, na skutek wieloletniej, intensywnej eksploatacji wód, wytworzył się rozległy obszar zdepresjonowania wód w poziomie kredy górnej. **Poziom wodonośny kredy dolnej**, mimo głębokiego występowania na dużej części obszaru GZWP nr 401 ma duże znaczenie dla zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Obecnie z poziomu tego pochodzi około 24% (ok. 35 tys. m³/d) wszystkich wód podziemnych eksploatowanych w granicach obszaru GZWP nr 401, z czego około 95% to pobór skoncentrowany w rejonie Łodzi. Wzajemna relacja ciśnień piezometrycznych poziomów wodonośnych kredy dolnej i górnej odtworzonych na modelu jest zróżnicowana. Na większości obszaru zwierciadło statyczne poziomu kredy dolnej występuje nieco niżej niż poziomu kredy górnej i stąd też, w rejonach tych poziom dolnokredowy może być zasilany przez przesączanie pionowe z poziomu górnokredowego. Zasilanie to jest stosunkowo niewielkie, zróżnicowane przestrzennie i zależne od różnicy ciśnień, tektoniki górotworu oraz miąższości i charakteru słabo przepuszczalnych utworów kredy górnej. Kwestia kierunków i wielkości zasilania poziomu wodonośnego kredy dolnej na obszarze niecki łódzkiej jest ciągle przedmiotem sporów i dyskusji. Cały czas przeważa pogląd, podtrzymywany przez Ziulkiewicza (2003) i powtarzany w publikacjach innych autorów (Mikula i in., 2007; Wiktorowicz, 2014), że poziom ten zasilany jest tylko na wychodniach podkenozoicznych, a dopływ wód z poziomu kredy górnej praktycznie nie zachodzi, z uwagi na uszczelnienie górotworu w głębokich jego partiach, w wyniku zaciskania się szczelin.

PIONOWA ZMIENNOŚĆ CHEMIZMU WÓD PODZIEMNYCH

Cechą charakterystyczną wód podziemnych analizowanego systemu wodonośnego niecki łódzkiej jest wyraźnie niższa wartość mineralizacji ogólnej wód poziomu kredy dolnej od mineralizacji obserwowanej w poziomach wyżej leżących. W granicach GZWP nr 401 przewodność elektrolityczna właściwa (PEW) wód dolnokredowych zawiera się w przedziale od 106 do 522 $\mu\text{S}/\text{cm}$, przy wartości średniej 283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rodzoch i in., 2014). Podwyższone wartości tego parametru (powyżej 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) obserwuje się najczęściej w wodach zmienionych antropogenicznie, głównie w rejonie wychodni w południowo-wschodniej części obszaru, oraz w studniach intensywnie eksploatowanych, z większym udziałem zasilania z poziomu kredy górnej (niektóre studnie w rejonie Łodzi). W poziomie kredy górnej PEW zawiera się w przedziale 276–641 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a w poziomach czwartorzędowych – 246–1237 $\mu\text{S}/\text{cm}$, z przewagą w zakresie 300–600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ryc. 2). Według danych Zakładu Wodociągów i Kanalizacji (ZWIK) w Łodzi, w latach 2000–2012 we wszystkich studniach ujmujących głęboko położony poziom wodonośny kredy dolnej: Grodzisko (st. nr 5 o gł. 901 m), Stare Górki (st. nr 2 o gł. 782 m) oraz Żabieniec (st. nr A-6 o gł. 682 m), wartość PEW wahała się w przedziale 200–350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Opisana zmienność pionowa mineralizacji w rejonie Łodzi została bardzo dobrze udokumentowana przez Ziulkiewicza (2003), który przyczynę wyraźnie niższej mine-



Ryc. 2. Wykresy zmienności wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych w wodach podziemnych obszaru GZWP nr 401 w zależności od głębokości ich występowania

Fig. 2. Variability charts of selected physico-chemical groundwater indicators in MGB No. 401 area depending on the depth of their occurrence

ralizacji wód dolnokredowych tłumaczy ich szybszym i ułatwionym krążeniem. W przekonaniu autorów pogląd ten jest dyskusyjny, ponieważ regionalna analiza zmienności chemizmu wód podziemnych wskazuje, że zjawisko to należy wiązać bardziej z litologią osadów wodonośnych niż z głębokością ich zalegania. Potwierdzeniem tego może być występowanie podobnej różnicy w wartości mineralizacji pomiędzy poziomami kredowymi w rejonie płytkiego występowania poziomu kredy dolnej w południowej części obszaru GZWP nr 401. Podobnie jak w rejonie Łodzi, wody w utworach kredy górnej mają tam z reguły 2-krotnie wyższą wartość przewodności elektrolitycznej i suchej pozostałości, mimo bardzo szybkiej wymiany wód (Rodzoch i in., 2014). Jest to dobrze udokumentowane na

arkuszach MHP 1 : 50 000 nr 702 i 703. Naturalna mineralizacja i chemizm wód poziomu kredy dolnej na całym obszarze niecki łódzkiej, są podobne i w niewielkim stopniu związane z głębokością ich występowania. Niewielkie, obserwowane różnice są związane głównie z antropopresją. Potwierdzają to dane monitoringu regionalnego województwa łódzkiego z lat 1992–1999, według których nie ma praktycznie żadnego zróżnicowania wartości suchej pozostałości oraz chlorków i siarczanów w zależności od głębokości zalegania poziomu. Sucha pozostałość zawiera się w przedziale od 150 do 250 mg/dm³, chlorki w przedziale 5–10 mg/dm³, a siarczany – 15–45 mg/dm³ (Rodzoch i in., 2014).

Z analizy zmienności wybranych parametrów fizyczno-chemicznych badanych w latach 1992–1999, w ramach monitoringu regionalnego woj. łódzkiego wynika, że chemizm wód poziomów wodonośnych kredy górnej i dolnej zmieniał się w poszczególnych latach w sposób zróżnicowany, ale ogólnie w niewielkim zakresie. Amplituda tych zmian była wyraźnie wyższa w poziomie kredy górnej, niż w poziomie kredy dolnej, co jest związane z bardziej intensywnym mieszaniem się wód w poziomie górnokredowym, zasilanym od góry z poziomów kenozoiku. Wartość stężeń najsilniej zmieniała się w przypadku siarczanów, które najbardziej reagują na zmiany warunków hydrochemicznych w warunkach intensywnej eksploatacji i ciągłej zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych. W przypadku chlorków zmiany były niewielkie. Ogólnie można stwierdzić, że zróżnicowanie chemizmu wód piętra kredowego jest niewielkie (ryc. 3). Można również zaobserwować wyraźnie wyższą niestabilność i lokalne zróżnicowanie chemizmu wód w obu poziomach kredowych w rejonie łódzkim, związaną z dopływem wód z różnych głębokości w warunkach intensywnej i zmiennej ich eksploatacji.

BADANIA IZOTOPOWE WIEKU WÓD PODZIEMNYCH

W ramach dokumentacji wykonano oznaczenie zawartości izotopu radiowęglu ¹⁴C oraz dodatkowo trwałych izotopów tlenu $\delta^{18}\text{O}$ i wodoru $\delta^2\text{H}$ w czterech próbkach wody, pobranej w rejonie Łodzi i Ozorkowa, ze studni ujmujących poziom wodonośny kredy dolnej na różnych głębokościach. Wiek wód w utworach kredy dolnej oceniono w przybliżeniu na 2000 lat w przypadku najgłębszych studni zafiltrowanych w warstwach dolnokredowych w Łodzi i na 3800 lat w przypadku znacznie płytszej studni zlokalizowanej w Ozorkowie. Wiek wód pobranych z łódzkich studzien jest znacząco mniejszy, ponieważ są to wody z dużym udziałem wód młodszych, dopływających z wyżej leżących utworów wodonośnych, w warunkach intensywnej eksploatacji poziomu kredy dolnej. Dopływ ten zachodzi głównie w obrębie osadów porowych tego poziomu, zasilanego przede wszystkim na wychodniach podkenozoicznych, wzdłuż wału kujawskiego. Nie można także wykluczyć dopływu wód z przesączania pionowego z utworów kredy górnej oraz dopływu bocznego z utworów jury od strony wału kujawskiego. W rejonie Ozorkowa nie ma zasilania poziomu kredy dolnej przez dopływ od góry wód młodszych (jest to rejon głębokiego drenażu tego poziomu) i stąd też wiek wód jest prawie 2-krotnie większy. Z dużym prawdopodobieństwem można zakładać, że odpowiada on rzeczywistemu wiekowi wód wgłębnej części poziomu zbiornikowego, gdzie przepływ jest bardzo powolny.

Tab. 1. Wyniki badań izotopowych wód podziemnych w rejonie Łodzi**Tab. 1.** Isotopic analysis results of groundwater in Łódź's area

Isotop Isotope	Według Ziółkiewicza Studnia B7 – uj. Teofilów Głęb. stropu w.w. – 660 m p.p.t. Well B7 – groundwater Teofilów Głęb. stropu w.w. – 660 m p.p.t. The depth of roof aquifer – 660 m b.g.l.	Według HYDROEKO Studnia A-6 – uj. Żabieniec Głęb. stropu w.w. – 618 m p.p.t. According to HYDROEKO Well A-6 – groundwater Żabieniec The depth of roof aquifer – 618 m b.g.l.
^{14}C [% pmc]	46,4 +/- 1,5	48,6 +/- 1,5
$\delta^{13}\text{C}$ [‰] VPDB	-12,2	-13,0
$\delta^{18}\text{O}$ [‰] VSMOW	-9,86	-9,87
$\delta^2\text{H}$ [‰] VSMOW	-68,2	-71,0

Opisane wyniki datowania wieku wód poziomu kredy dolnej są niezgodne z danymi Ziółkiewicza (2003), który to wiek wód poziomu kredy dolnej w rejonie Łodzi ustalił na ok. 400 lat a poziomu kredy górnej – na ok. 8000–9000 lat. Różnica ta jest trudna do wytłumaczenia, tym bardziej, że gdy porównamy wyniki zawartości poszczególnych izotopów w badanej wodzie poziomu kredy dolnej (pobranej z tego samego rejonu Łodzi – ujęcie Teofilów i Żabieniec) widać, że są one bardzo podobne, natomiast datowanie wieku jest zupełnie różne. Pokazują to wartości oznaczeń zestawione w tabeli 1.

Nie przesądzając, które datowanie może być bliższe prawdy, należy stwierdzić, że punktowych oznaczeń wieku wód nie można odnosić do obszaru całego GZWP nr 401, ponieważ w różnych jego rejonach, w tym zwłaszcza w re-

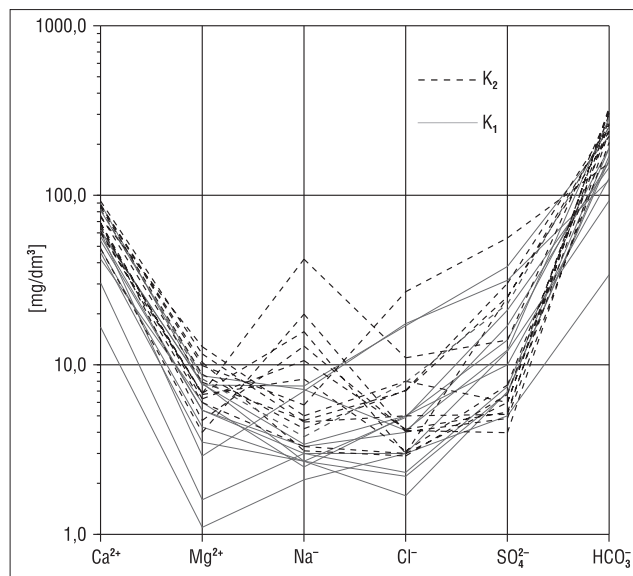
jonie Łodzi, wiek wody jest prawdopodobnie silnie zróżnicowany.

PODSUMOWANIE

Przyczyny niskiej mineralizacji wód z poziomu kredy dolnej i wyraźnie wyższej z poziomu kredy górnej, zdaniem autorów nie należy wiązać tylko z czasem przebywania tych wód w systemie wodonośnym, chociaż lokalnie również ten czynnik może odgrywać istotną rolę. Z porównania chemizmu wód obu poziomów na całym obszarze niecki łódzkiej, widać wyraźnie, że zależy on głównie od litologii utworów wodonośnych i stopnia antropopresji, a mniej od głębokości ich występowania. Oznaczenia wieku wód dolno- i górnokredowych przytoczonych przez Ziółkiewicza nie powinno się przyjmować jako niepodważalnego dowodu na istnienie inwersji wiekowej wód występujących w piętrze wodonośnym kredy na całym obszarze niecki łódzkiej. Zjawisko to może występować lokalnie, zwłaszcza w rejonach o intensywnej eksploatacji poziomu kredy dolnej.

LITERATURA

- BOJARSKI L. (red.) 2006 – Atlas hydrochemiczny i hydrodynamiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascenzyjnego zasolenia wód podziemnych na niżu Polski. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MIKUŁA E. & STĘPIŃSKA-DRYGAŁA I. 2007 – Łódź. [W:] Nowicki Z. (red.), Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 109–128.
- RODZOCH A. MUTER K. & MANUSZAK M. 2014 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 401 (Zbiornik Niecka Łódzka). BPiOW-HYDROEKO. Warszawa.
- WIKTOROWICZ B. 2013 – Skład chemiczny wód termalnych w utworach dolnokredowych niecki łódzkiej. [W:] Aktualne problemy hydrogeochemii. XIV Międzynarodowa Konferencja naukowa. Sosnowiec.
- WIKTOROWICZ B. 2014 – Wody termalne niecki łódzkiej – zielona energia z wnętrza ziemi. Państw. Inst. Geol.-PIB. Oddział Świętokrzyski, Kielce.
- ZIÓLKIEWICZ M. 2003 – Pionowa strefowość hydrochemiczna wód podziemnych na obszarze aglomeracji łódzkiej. Acta Geographica Lodziensia Nr 85, Łódzkie Towarzystwo Naukowe.



Ryc. 3. Wykres Schoellera zawartości wybranych jonów w wodach kredowych poziomów wodonośnych

Fig. 3. Schoeller's chart of the content of selected ions in a sample of Cretaceous aquifer water