

Ocena stanu chemicznego wód podziemnych we fragmencie zlewni Nysy Kłodzkiej w rejonie Barda

Marta Dendys¹, Robert Zdechlik¹

Assessment of groundwater chemical status in the part of Nysa Kłodzka river catchment area near Bardo (Lower Silesia).
Prz. Geol., 63: 678–682.

Abstract. Quality of groundwater is the most important issue in water management, especially in matter of using groundwater for local community consumption. Assessment of quality of the resources of groundwater is based on the results of chemical status monitoring and both are carried out according to EU regulations: the Water Framework Directive (2000/60/EC), the Groundwater Directive (2006/118/EC) and the Directive 2009/90/EC, and also national regulation (Regulations of the Minister of the Environment, 2008 and 2011). This paper presents the quality classification and groundwater chemical status assessment in part of catchment area of the Nysa Kłodzka river near Bardo town. Qualification and assessment was based on results of the field hydrogeological investigations and the chemical analysis of composition of the groundwater samples from monitoring points. In research area the major group are the groundwater rating as IV-class quality (62%). There are 23% of groundwater with II and III-class quality status and in the V-class – 15%. There are no points with groundwater rating as I-class quality. In area configuration groundwater in the part of Nysa Kłodzka river catchment are qualified as IV-class, so the chemical status is rating as poor. Assessment was accomplished by arithmetic average. Poor chemical status is caused by elevated concentration of selenium (Se), arsenic (As) and nickel (Ni). Occurring of this elements in groundwater is probably natural, because of geological structure of research area and lithology of aquifer.

Keywords: chemical status, groundwater, Nysa Kłodzka river, Bardo

Problem zaopatrzenia lokalnych społeczności w wodę przeznaczoną do spożycia stanowi poważne wyzwanie dla władz samorządowych. Wynika to z uwarunkowań, zarówno środowiskowych (budowa geologiczna, hydrogeologia i hydrologia, morfologia terenu), jak i czynników antropogenicznych. W przypadku mniejszych jednostek administracyjnych komplikację stanowi ich niewielki obszar, w związku z czym wskazanie jednoznacznie optymalnej lokalizacji ujęcia wód bywa trudne. W rejonach górskich występują liczne małe potoki, determinujące układ zwierciadła wód podziemnych, co także należy mieć na uwadze przy planowaniu działań zmierzających do zapewnienia wody do celów konsumpcyjnych. Nie bez znaczenia jest również sezonowe zróżnicowanie poboru wody, które wynikają np. ze zmienności natężenia ruchu turystycznego.

Obowiązujące regulacje prawne – Ramowa Dyrektywa Wodna (2000), tzw. Dyrektywa Wód Podziemnych (2006), tzw. Dyrektywa Techniczna (2009), Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (2008) oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (2011), nakładają konieczność prowadzenia monitoringu stanu wód podziemnych – zarówno ilościowego, jak i jakościowego. Obowiązkiem tym powinny być objęte wszystkie jednolite części wód podziemnych dostarczające powyżej 100 m³ wody na dobę. Prowadzenie monitoringu i oceny stanu chemicznego wód podziemnych oraz wykrywanie potencjalnych ognisk zanieczyszczeń stanowiących zagrożenie dla jakości wód, jest wskazane zwłaszcza w małych zlewniach rzek, szczególnie w rejonach górskich, z uwagi na dużą zmienność przepływów. Kompleksowa ocena stanu wód podziemnych jest również nieodzowna przy wdrażaniu skutecznych sposobów oczyszczania i uzdatniania wód na rozpatrywanym rejonie.

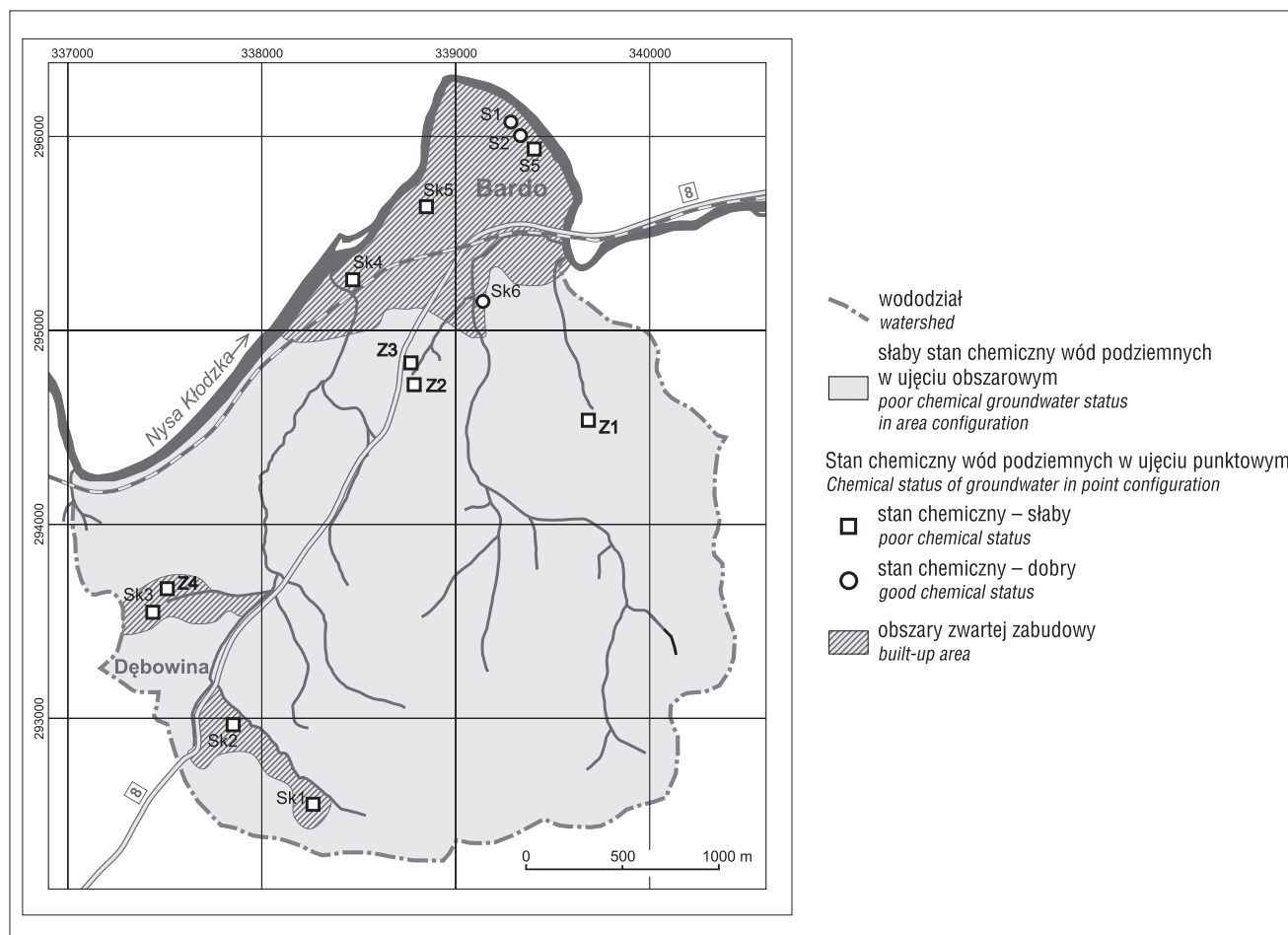
W artykule przedstawiono ocenę stanu chemicznego wód podziemnych pod kątem wyznaczenia obszarów perspektywicznych do pozyskania nowych rejonów zaopatrzenia w wodę w położonej nad Nysą Kłodzką miejscowości Bardo. Tego typu badania były prowadzone w związku z oceną stanu jakościowego i ilościowego wód podziemnych w zlewniach rzek, także potoków górskich. Wyniki tych badań zaprezentowano m.in. w następujących pracach: Szczepańska i in. (2009) – dla zlewni Koprzywianki, Kmiecik i in. (2013) oraz Dendys (2013) – dla zlewni potoku Rybnik k. Gorlic, Dendys & Korzec (2014) oraz Korzec & Dendys (2014) – dla zlewni potoku Zawadka k. Dębicy, a także Dembska-Sięka & Zdechlik (2014) – w zlewni Brennicy.

CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ

Obszar objęty pracami badawczymi obejmuje południowy fragment zlewni Nysy Kłodzkiej (ryc. 1), o powierzchni blisko 9 km² w rejonie Barda (województwo dolnośląskie, powiat ząbkowicki). W ujęciu fizyczno-geograficznym zlewnia ta znajduje się w Górach Bardzkich, zbudowanych ze sfałdowanych w orogenezie hercyńskiej skał paleozoicznych: zlepieńców, piaskowców kwarcytowych i kambryjskich, sylurskich oraz dolnokarbońskich łupków, a także skał pochodzenia wulkanicznego. Kierunek fałdowań przebiega poprzecznie do rozciągłości gór, wyznaczonej przez neogeńskie uskoki, skutkiem czego rzeźba terenu jest dosyć urozmaicona (Kondracki, 2013).

Cechą charakterystyczną Gór Bardzkich jest niska retencja podziemna. Wododział w przeważającej części przebiega wzdłuż grzbietów górskich. Główną rzeką jest wcinająca się głęboko w skaliste podłoże Nysa Kłodzka, ma liczne dopływy tworzące wachlarzowaty układ. Rzeki i potoki wykazują bardzo duże wahania przepływu. Są to ciekły ty-

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; marta.dendys@agh.edu.pl, robert.zdechlik@agh.edu.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów poboru wód podziemnych wraz z oceną ich stanu chemicznego we fragmencie zlewni Nysy Kłodzkiej w rejonie Barda, w układzie punktowym i obszarowym

Fig. 1. Groundwater sampling sites location and the groundwater chemical status of the Nysa Kłodzka catchment area, assessment in point and area configuration

powo górskie o dużym spadku, stąd w okresach roztopowych i wzmożonych opadów koryto Nysy Kłodzkiej nie jest w stanie pomieścić całkowitej ilości przepływającej wody, czego efektem są lokalne podtopienia terenu.

Utwory, z których jest zbudowana część Sudetów w rejonie Barda, tworzyły się od proterozoiku przez sylur, dewon, karbon, kredę górną, aż do czwartorzędu. W podłożu stwierdzono skały magmowe i metamorficzne proterozoiku i paleozoiku, wchodzące w skład metamorfiku kłodzkiego, masywu kłodzko-złotostockiego oraz struktury bardzkiej, a także z piaskowców czerwonego spągowca synklinorium śródsudeckiego oraz kredy górnej. Pokrywa czwartorzędowa jest zbudowana z eolicznych glin pyłastych, pyłów oraz rzeczno-lodowcowych piasków i żwirów. W budowie geologicznej południowo-zachodniej Polski dominują skały krystaliczne, schodowo obniżające się ku północnemu wschodowi, tworząc charakterystyczne stopnie przedzielone dyslokacjami uskokowymi. Bardo znajduje się w pobliżu tzw. sudeckiego uskoku brzeźnego, oddzielającego wypiętrzone masyw górski Sudetów od bloku przedsudeckiego. W skałach krystaliniku sudeckiego występują źródła wody o wysokich temperaturach, przekraczających nawet 100°C (Ciężkowski i in., 2011), stwierdzone co najmniej w kilku miejscach (m.in. w Łądku-Zdroju). Nie jest wykluczone, że w przyszłości będą

one wykorzystywane do pozyskiwania energii geotermalnej, w myśl strategii rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii (Tomaszewska & Hołojuch, 2012).

Zgodnie z tzw. nową wersją podziału Polski na zweryfikowane jednolite części wód podziemnych, która po akceptacji KZGW (Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej) powinna obowiązywać od 2016 roku (<http://www.psh.gov.pl/pl/publikacje/jcwpd/charakterystyka-zweryfikowanych-jcwpd.html>) rozpatrywany fragment zlewni Nysy Kłodzkiej leży w granicach JCWPd nr 126. W tej jednostce w utworach czwartorzędu, w strefach dolin rzecznych, występuje jeden poziom wodonośny do głębokości 30 m (w dolinie Nysy Kłodzkiej), będący w kontakcie hydraulicznym ze strefą wód szczelinowych w utworach paleozoicznych (http://www.psh.gov.pl/plik/id,5310,v,artykul_5773.pdf). Bezpośrednio na obszarze objętym badaniami nie ma żadnego głównego zbiornika wód podziemnych, natomiast w bliskim sąsiedztwie, od strony zachodniej, znajduje się GZWP nr 340 – dolina kopalna rzeki Nysa Kłodzka.

Wody podziemne występują zarówno w piaszczysto-żwirowych utworach rzecznych czwartorzędu, jak i w zalegających w podłożu piaskowcach karbonu dolnego. W utworach struktury bardzkiej (piaskowce i mułowce) dominują wody szczelinowe płytkiego krążenia o zwierciadle przeważnie napiętym, niewielkiej zasobności, zasilane przez

wody opadowe, z nielicznymi źródłami, główną bazę drenażową stanowi Nysa Kłodzka. Lokalnie na obszarach pokrytych piaszczysto-żwirowymi utworami wodnolodowcowymi, w dolinach rzecznych, występuje czwartorzędowe piętro wodonośne, zwykle tworzące wraz ze zwietrzalymi i spękanymi skałami podłoża jeden wspólny użytkowy poziom wodonośny o zwierciadle swobodnym i lokalnie napiętym. Poziom ten nie ma izolacji, miąższość utworów zawodnionych wynosi zazwyczaj 5–10 m, wartość współczynnika filtracji od 2,9 do 29,5 m/d, a wody są ujmowane do głębokości ok. 10 m (Kielczawa, 2000).

METODY BADAŃ

Badania terenowe przeprowadzono w połowie października 2014 r. Próbkę wód podziemnych, po wcześniejszym dokonaniu pomiarów głębokości położenia zwierciadła wody, pobrano z poziomu czwartorzędowego w 13 wytypowanych punktach monitoringowych (ryc. 1): 6 gospodarskich studniach kopanych, 4 źródłach i obszarach źródłiskowych oraz w 3 studniach wierconych ujęcia komunalnego. W studniach zwierciadło wody stwierdzono na głębokościach od 1,80 do 5,80 m p.p.t. (tab. 1). Pobór próbek był zgodny z wymaganiami formalnymi ujętymi w normach PN-EN serii ISO 5667: część 1 (2008), część 3 (2005), część 11 (2004) oraz część 14 (2004), a także z zalecaną metodyką i wskazówkami zawartymi m.in. w opracowaniach Witczaka i in. (2013), Zdechlika i in. (2013), Postawy i in. (2010). Dla każdej próbki w terenie określano nietrwale wskaźniki fizykochemiczne (pH, przewodność elektrolityczną właściwą γ_{25} oraz temperaturę), natomiast w laboratorium oznaczano stężenia substancji rozpuszczonych (43 składniki). Analizy chemiczne wykonano w akredytowanym laboratorium hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie (certyfikat akredytacji PCA nr AB 1050),

z uwzględnieniem wymogów zawartych w Dyrektywie Technicznej (2009) oraz Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2011). Średni błąd względny analizy bilansu jonowego wynosi $-1,99\%$ (przy rozrzucie od $-4,38-0,10\%$), i mieści się w przedziale dopuszczalnym podanym w normie PN-C-04638-02:1989.

Ocenę jakości wód podziemnych na podstawie wyników badań monitoringowych sporządzono zgodnie z zasadami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r., uwzględniając wymogi podane w Dyrektywach UE (Ramowa Dyrektywa Wodna, 2000; Dyrektywa Wód Podziemnych, 2006; Dyrektywa Techniczna, 2009). W przypadkach, gdy pomierzone stężenie składnika chemicznego było mniejsze niż granica oznaczalności zastosowanej metody analitycznej ($<DL$), do oceny stanu chemicznego wód przyjmowano, zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Wód Podziemnych (2006) i Dyrektywy Technicznej (2009), wartości $\frac{1}{2}DL$. Charakterystykę wód podziemnych przedstawiono również w ujęciu statystycznym, wykorzystując tło hydrogeochemiczne wyznaczone metodą prawdopodobieństwa. Jako granicę tła przyjęto wartości stężeń analizowanych wskaźników fizyczno-chemicznych, odpowiadające prawdopodobieństwu wystąpienia 16% (percentyl 16%) – dolna granica tła hydrogeochemicznego i 84% (percentyl 84%) – górna granica tła hydrogeochemicznego (Szczepańska & Kmiecik, 2005; Kania, 2002).

WYNIKI BADAŃ

Typy hydrogeochemiczne wód podziemnych określono zgodnie z powszechnie stosowaną klasyfikacją Szczukariewa-Priklonńskiego. Są to wody wielojonowe, głównie typu wodorowęglanowo-siarczanowego (tab. 1). Odczyn pH zmienia się w zakresie 6,16–7,57, natomiast tło hydrogeochemiczne zawiera się w przedziale 6,34–7,33. Średnia wartość przewodności elektrolitycznej właści-

Tab. 1. Wyniki badań terenowych oraz typy hydrogeochemiczne wód podziemnych
Table 1. Results of field investigations and the hydrogeochemical types of groundwater

| Oznaczenie punktu <i>Points</i> | Głębokość do zwierc. wody [m p.p.t.] <i>Depth to groundwater table [m below ground surface]</i> | pH | PEW <i>Electrolytical conductivity of water [mS/cm]</i> | Temperatura <i>Temperature</i> [°C] | Typ wód <i>Type of water</i> |
|--|---|------|--|---|--|
| <i>Studnie wiercone/ Drilled wells</i> | | | | | |
| S1 | 3,40 | 6,40 | 0,4740 | 10,8 | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| S2 | 2,90 | 6,33 | 0,4790 | 12,5 | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| S5 | 2,65 | 7,20 | 0,3910 | 12,3 | HCO ₃ -Ca-Mg |
| <i>Studnie kopane/ Dug wells</i> | | | | | |
| Sk1 | 2,50 | 6,78 | 0,1660 | – | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| Sk2 | 3,64 | 7,27 | 0,4380 | 11,8 | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| Sk3 | 2,40 | 6,37 | 0,6180 | 14,0 | HCO ₃ -SO ₄ -Cl-Ca-Na-K-Mg |
| Sk4 | 2,70 | 6,90 | 0,4900 | 13,3 | Cl-HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na-Mg |
| Sk5 | 5,80 | 6,59 | 0,5410 | 12,0 | HCO ₃ -Ca-Mg |
| Sk6 | 1,80 | 7,57 | 0,4040 | 12,2 | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| <i>Źródła/ Springs</i> | | | | | |
| Z1 | – | 7,35 | 0,3200 | 11,1 | HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg |
| Z2 | – | 6,16 | 1,8980 | 11,4 | Cl-Na-Ca |
| Z3 | – | 6,84 | 3,0600 | 12,9 | Cl-Na |
| Z4 | – | 6,56 | 0,4390 | 12,1 | HCO ₃ -SO ₄ -Cl-Ca-Mg |

wej wynosi 0,748 mS/cm, przy rozrzucie w zakresie 0,616–3,060 mS/cm i granicach tła hydrogeochemicznego 0,337–1,591 mS/cm. Dla porównania średnia wartość mineralizacji wynosi 489,69 mg/dm³, przy rozrzucie 140,0–1669,0 mg/dm³, a tło hydrogeochemiczne zawiera się w przedziale 280,0–868,68 mg/dm³. Twardość ogólna wód zmienia się w zakresie 67,00–455,20 mg CaCO₃/dm³, przy wartości średniej 192,22 mg CaCO₃/dm³ i zakresie tła hydrogeochemicznego 127,79–300,20 mg CaCO₃/dm³. Są to więc wody miękkie i średnio twarde. We wszystkich analizowanych próbkach poniżej granicy oznaczalności kształtowały się stężenia następujących jonów: NH₄⁺, Be⁺², Cd⁺² i W⁺⁶, a w większości próbek również jonów Ag⁺, Al⁺³, Cr⁺³, V⁺⁵ oraz Tl⁺⁴.

Wyniki analiz składu chemicznego pobranych próbek wód wykorzystano do klasyfikacji jakości wód podziemnych w układzie punktowym oraz do oceny stanu wód w układzie punktowym i obszarowym (tab. 2, ryc. 1). Spośród 13 punktów monitoringowych, w zdecydowanej większości, w ośmiu, co stanowi 62% wszystkich punktów, występują wody zaliczane do IV klasy – niezadowolającej jakości. W pozostałych punktach występowały wody klasy III – zadowolającej jakości (15%) bądź V – złej jakości (15%), a tylko w jednym punkcie (8%) wody zaliczono do II klasy – dobrej jakości. Oznacza to, że dominują wody podziemne cechujące się słabym stanem chemicznym. Decydują o tym przede wszystkim wysokie stężenia jonów Se⁺² (tab. 2). Dobry stan chemiczny stwierdzono jedynie w próbkach pobranych z punktów położonych w północnej części analizowanego fragmentu zlewni, głównie w zakolu Nysy Kłodzkiej (ryc. 1).

W celu oceny stanu chemicznego wód podziemnych w ujęciu obszarowym w badanym fragmencie zlewni Nysy Kłodzkiej dokonano agregacji danych za pomocą średniej arytmetycznej, następnie porównano wartości średnie z wartościami dopuszczalnymi w poszczególnych klasach, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2008). Wody podziemne rozpatrywanej zlewni zaliczają się do klasy IV – wód niezadowolającej jakości, co zarazem oznacza słaby stan chemiczny. Decydują o tym stężenia jonów Ni⁺², Se⁺² i Fe⁺².

Dokonano również analizy porównawczej otrzymanych wyników z wartościami dopuszczalnymi dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi, w myśl Rozporządzeń Ministra Zdrowia (2007, 2010). Stężenia analizowanych wskaźników chemicznych mieszczą się ogólnie w zakresie dopuszczalnym, z wyjątkiem przekroczeń odnotowanych w kilku punktach (tab. 3). Przekroczenia są nieznaczne i dotyczą głównie odczynu pH, stężeń jonów Se⁺² i As⁺³, a incydentalnie również PEW oraz jonów Na⁺, Fe⁺², Mn⁺², Cl⁻ i NO₂⁻. W przypadku jonów NH₄⁺ przekroczenie wartości granicznej we wszystkich rozpatrywanych punktach wynika ze zbyt wysokiej granicy oznaczalności DL przyjętej metody (<1,30 mg/dm³). Przyjmowana do oceny wartość ½DL (0,65 mg/dm³) nadal przewyższa obowiązującą wartość graniczną w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi (0,5 mg/dm³, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010), podczas gdy rzeczywiste stężenia mogą być niższe od tej wartości. Na uwagę zasługują wysokie stężenia jonów Fe⁺² i Mn⁺² w punktach Z3 (obszar źródłiskowy) i S5 (nieeksploatowana studnia ujęcia komunalnego).

Tab. 2. Klasyfikacja jakości oraz ocena stanu chemicznego wód podziemnych w układzie punktowym

Table 2. Classification of groundwater quality and assessment of groundwater chemical status in point configuration

| Oznaczenie punktu Points | Klasa jakości (wg Rozporządzenia Ministra Środowiska, 2008) oraz wskaźniki decydujące Quality class (according to Environment Ministry Regulation, 2008) and determining indicators | Stan chemiczny (wg RDW, 2000; Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2008) Chemical status (according to Water Framework Directive, 2000; Environment Ministry Regulation, 2008) |
|-----------------------------|--|---|
| S1 | III (pH – IV klasa) | dobry/ good |
| S2 | III (pH – IV klasa) | dobry/ good |
| S5 | IV (Mn – V klasa) | słaby/ poor |
| Sk1 | IV (Se) | słaby/ poor |
| Sk2 | IV (Se) | słaby/ poor |
| Sk3 | IV (pH – IV, Zn, K – V klasa) | słaby/ poor |
| Sk4 | IV (As, Se) | słaby/ poor |
| Sk5 | IV (K – V klasa) | słaby/ poor |
| Sk6 | II (NH ₄ , NO ₂ , SO ₄) | dobry/ good |
| Z1 | IV (As, Se, Mo) | słaby/ poor |
| Z2 | V (Se) | słaby/ poor |
| Z3 | V (Cl, Mn, Ni, Na, Fe) | słaby/ poor |
| Z4 | IV (K – V klasa) | słaby/ poor |

Tab. 3. Przekroczenia dopuszczalnych zakresów wartości dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi (zgodnie z Rozporządzeniami Ministra Zdrowia, 2007, 2010)

Table 3. Exceeds of threshold values for water intended for human consumption (according to the Minister of Health Resolutions, 2007 and 2010)

| Wskaźnik Indicator | Dopuszczalny zakres (granica) Permissible scope (limit) | Przekroczenia dopuszczalnego zakresu (oznaczenie punktu, wartość) Exceeding the permissible scope (point, value) |
|--|---|--|
| pH | 6,5–9,5 | S1 (6,4), S2 (6,33), Sk3 (6,37), Z2 (6,16) |
| PEW [mS/m] | 2,5 | Z3 (3,06) |
| Na ⁺ [mg/dm ³] | 200 | Z2 (203,69), Z3 (352,08) |
| NH ₄ ⁺ [mg/dm ³] | 0,5 | wszystkie punkty/ all points (0,65) |
| Fe ⁺² [mg/dm ³] | 0,2 | S2 (0,7), S5 (1,97), Z3 (82,89) |
| Mn ⁺² [mg/dm ³] | 0,05 | S2 (0,336), S5 (3,639), Z3 (2,406) |
| Se ⁺² [mg/dm ³] | 0,01 | Sk1 (0,02), Sk2 (0,015), Sk3 (0,011), Sk4 (0,035), Z1 (0,054), Z2 (0,022), Z3 (0,027), Z4 (0,017) |
| As ⁺³ [mg/dm ³] | 0,01 | Sk1 (0,05), Sk2 (0,03), Sk3 (0,02), Sk4 (0,17), Z1 (0,18), Z2 (0,06), Z3 (0,03), Z4 (0,05) |
| Cl ⁻ [mg/dm ³] | 250 | Z2 (452,2), Z3 (879,6) |
| NO ₂ ⁻ [mg/dm ³] | 0,5 | Z2 (0,73) |

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona klasyfikacja jakości wód podziemnych (wg Rozporządzenia Ministra Środowiska, 2008) w rejonie Barda wykazała, że dominują (62%) wody zaliczane do klasy IV – niezadowolającej jakości, a decydują o tym stężenia Se^{+2} , Zn^{+2} , K^+ , As^{+3} i Mo^{+6} . Wody klasy V – złej jakości, stanowią 15% i występują w źródłiskach (Z2 i Z3). W wodach tych stwierdzono wysokie stężenia Se^{+2} , Cl^- , Mn^{+2} , Ni^{+2} , Na^+ i Fe^{+2} . A zatem wody o słabym stanie chemicznym stanowią aż 77% ogółu. Dobry stan chemiczny stwierdzono jedynie w punktach monitoringowych (23%) położonych w północnej części fragmentu zlewni, głównie w zakolu Nysy Kłodzkiej (ryc. 1). Z tego względu lokalizacja ta wydaje się być najkorzystniejsza w kontekście możliwości eksploatacji dodatkowych ilości wody spełniającej kryteria jakościowe dla wód pitnych.

Obszarowa ocena stanu chemicznego jednoznacznie wykazała, że w rozpatrywanym fragmencie zlewni Nysy Kłodzkiej wody podziemne charakteryzują się słabym stanem chemicznym. Decydują o tym głównie wysokie stężenia jonów Se^{+2} , ale również Ni^{+2} i Fe^{+2} .

Analiza składu wód pod kątem wymagań dotyczących wartości dopuszczalnych w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi (Rozporządzenia Ministra Zdrowia, 2007, 2010) wskazuje, że przekroczenia wartości granicznych występują w przypadku: pH, PEW, Na^+ , NH_4^+ , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Se^{+2} , As^{+3} , Cl^- oraz NO_3^- (tab. 3). Względnie dobrą jakością charakteryzują się wody pobrane ze studni ujęcia komunalnego, gdzie nieznaczne przekroczenia odnotowano dla wskaźników nietoksycznych (pH w S1) oraz w nieeksploatowanych otworach studziennych (Fe^{+2} i Mn^{+2} w S2 i S5).

Ocena stanu jakościowego wód, przeprowadzona wyłącznie na bazie wyników jednorazowego opróbowania, nie może być traktowana jako w pełni miarodajna podstawa do wskazywania obszarów perspektywicznych do ujmowania wód podziemnych. W celu zapewnienia pełnej wiarygodności przy ocenie stanu jakościowego wód konieczne jest również rozważenie stabilności składu fizykochemicznego w czasie, a także uwzględnienie innych czynników i uwarunkowań (np. powiązania wód podziemnych z powierzchniowymi, sposobu użytkowania terenu, zagrożenia jakości wód, itp.).

Prace badawcze realizowano w ramach projektu NCBiR nr NR09-0036-10/2011 oraz badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH (11.11.140.026).

LITERATURA

CIEŻKOWSKI W., MICHNIEWICZ M. & PRZYLIBSKI T.A. 2011 – Wody termalne na Dolnym Śląsku. [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J. & Cieżkowski W. (red.), *Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska LXXXI Zjazdu PTG*. WIND, Wrocław: 107–120.
 DEMBSKA-SIĘKA P. & ZDECHLIK R. 2014 – Specyfika warunków hydrogeologicznych w obszarach górskich na przykładzie zlewni Brennicy (powiat cieszyński). *Prz. Geol.*, 62 (11): 768–774.
 DENDYS M. 2013 – Ocena możliwości zwiększenia wydajności ujęć brzegowych na przykładzie zlewni potoku Rybnika w Sękowej koło Gorlic. *Prz. Geol.*, 61 (11/2): 712–718.
 DENDYS M. & KORZEC K. 2014 – Ocena stanu ilościowego wód

podziemnych małych zlewni na przykładzie zlewni potoku Zawadka w gminie Dębica. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1: 63–70.
 DYREKTYWA Techniczna, 2009 – Dyrektywa Komisji nr 2009/90/WE z dnia 31 lipca 2009 r. ustanawiająca, na mocy dyrektywy 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, specyfikacje techniczne w zakresie analizy i monitorowania stanu chemicznego wód.
 DYREKTYWA Wód Podziemnych, 2006 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2006/118/WE z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.
 KANIA J. 2002 – Wpływ likwidacji kopalń odkrywkowych siarki na zmiany stosunków wodnych w ich otoczeniu. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 403: 5–61.
 KIEŁCZAWA J. 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Nowa Ruda. PIG i MOŚZNIŁ, Warszawa.
 KMIECIK E., ZDECHLIK R. & DRZYMAŁA M. 2013 – Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w zlewni Sękówki. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 287–292.
 KONDRACKI J. 2013 – Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
 KORZEC K. & DENDYS M. 2014 – Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w zlewni potoku Zawadka. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 2: 41–50.
 PN-C-04638-02:1989 – Woda i ścieki – bilans jonowy wody – sposób obliczania bilansu jonowego wody. PKN, Warszawa.
 PN-EN ISO 5667-1:2008 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 1: Wytyczne dotyczące opracowywania programów pobierania próbek i technik pobierania.
 PN-EN ISO 5667-11:2004 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 11: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód podziemnych.
 PN-EN ISO 5667-14:2004 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 14: Wytyczne dotyczące zapewnienia jakości podczas pobierania próbek wód środowiskowych i postępowania z nimi.
 PN-EN ISO 5667-3:2005 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 3: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami wody.
 POSTAWA A., KMIECIK E. & WĄTOR K. 2010 – Rola osoby próbnicy w monitoringu jakości wód przeznaczonych do spożycia. [W:] Sozański M. (red.), *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne*, T. 2. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań: 87–97.
 RAMOWA Dyrektywa Wodna, 2000 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (DzU z 2008 r. Nr 143, poz. 896).
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 15 listopada 2011 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (DzU z 2011 r. Nr 258, poz. 1550).
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU z 2007 r. Nr 61, poz. 417).
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU z 2010 r. Nr 72, poz. 466).
 SZCZEPAŃSKA J. & KMIECIK E. 2005 – Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
 SZCZEPAŃSKA J., SZKLARCZYK T. & STACH-KALARUS M. 2009 – Ocena stanu wód podziemnych zlewni Koprzywianki w świetle nowych przepisów prawnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 489–496.
 TOMASZEWSKA B. & HOŁOJUCH G. 2012 – Pozyskanie energii geotermalnej w świetle nowych uregulowań prawnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448: 281–284.
 WITCZAK S., KANIA J. & KMIECIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
 ZDECHLIK R., DRZYMAŁA M. & WĄTOR K. 2013 – Praktyczne aspekty opróbowania wód w systemie monitoringu wód podziemnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 659–666.