

Wody podziemne bloku przedsudeckiego — tło hydrogeochemiczne i jakość

Sebastian Buczyński*, Magdalena Modelska*



S. Buczyński

M. Modelska

Sudety Mountains foreland groundwater — hydrogeochemical background and quality. *Prz. Geol.*, 55: 145–150.

Summary. The study area — the Bystrzyca River catchment extends over about 1500 km² of the Sudety Mts foreland (SW Poland). The chemical composition of groundwater collected in 2004 from 57 sampling wells within the Holocene–Pliocene and Miocene aquifers throughout the Bystrzyca River catchment was analyzed. The results served to study the hydrogeochemical background and quality of groundwater. Groundwater of both aquifers were usually dominated by HCO_3^- (with the background of 47–400 mg/l and 110–260 mg/l for Holocene–Pliocene and Miocene aquifers, respectively), SO_4^{2-} (9–200 mg/l; 6–82 mg/l), Ca^{2+} (20–101 mg/l; 32–72 mg/l) and Mg^{2+} (4.8–20 mg/l; 7.2–16 mg/l) ions, but the quality of groundwater from the Miocene aquifer was relatively better. The similar chemical composition of the both aquifer's groundwater shows that the Miocene aquifer was reinforced by water seepage from the upper Holocene–Pliocene aquifer. Thus, the water from the Holocene–Pliocene aquifer could have been the source of anthropogenic pollutions to the Miocene aquifer. However, groundwater from the Miocene aquifer contain more Fe_{tot} and Mn^{2+} ions, attributed to geogenic influences. Concentration of toxic ions like NO_2^- and probably anthropogenic NO_3^- and Cl^- ions in the studied groundwaters was low, not exceeding the limits for potable water (as defined by Polish standards: Official Journal. No. 203, item 1718).

Key words: groundwater, hydrogeochemical background, water quality, Sudety mountains foreground

Zaopatrzenie w wodę ludności i zakładów przemysłowych należy do priorytetowych zadań lokalnych jednostek administracyjnych. Ujęcia wód wykorzystywane do powyższych celów muszą spełniać wymagania ilościowe, zaspokajając potrzeby komunalne oraz surowe wymagania jakościowe określone w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dn. 19 listopada 2002 (Dz. U. Nr 203, poz. 1718). W przypadku korzystania z wód powierzchniowych oraz pierwszych poziomów wód podziemnych wiąże się to z budową drogich i kosztownych w utrzymaniu zakładów uzdatniania wody. Eksploatując wody z głębszych poziomów wodonośnych w większym stopniu wykorzystujemy naturalny system odporności zbiorników wód podziemnych (Felter & Nowicki, 1997). Niestety pozyskiwanie dużych ilości wody podziemnej prowadzi do odwodnienia wodonośca. Zmieniają się wówczas naturalne układy krążenia wód podziemnych i powstaje nowy skomplikowany hydrodynamicznie i hydrochemicznie system wodonośny, w zależności od rozprzestrzenienia lokalny lub regionalny. Dlatego też, istotnym zadaniem jest monitorowanie składu chemicznego wód podziemnych na obszarach, gdzie stwierdzono pogarszanie się jakości wód.

Jednym z obszarów, gdzie zaobserwowano tendencję do stałego obniżania jakości wód podziemnych jest obszar bloku przedsudeckiego (Kryza, 1995a). Przyczyny takiego stanu rzeczy Kryza (1995a) upatrywał w braku stref ochronnych płytkich ujęć gospodarskich, które w tamtym okresie stanowiły ponad 50% źródeł zaopatrzenia w wodę. Kryza (1995a) stwierdził jednocześnie, że radykalne polepszenie jakości wód podziemnych zachodzi na obszarach wiejskich, dla których wybudowano wodociągi i kanalizację.

Celem badań przeprowadzonych w latach 2003–2004 było rozpoznanie składu chemicznego wód podziemnych poziomów kenozoicznych bloku przedsudeckiego w granicach zlewni Bystrzycy i jej najbliższym sąsiedztwie (ryc. 1). Badania te pozwoliły wyznaczyć naturalne tło hydrogeochemiczne oraz określić zmiany jakości wód podziem-

nych w wyniku zmieniającej się eksploatacji. Wyniki badań porównano z wynikami otrzymanymi przez Kryzę (1995a).

Na obszarze ok. 1500 km² badaniom poddano wody eksploatowane przez komunalne ujęcia w 16 gminach. Wszystkie miejscowości leżące w obrębie badanych gmin, w tym także zachodnia część miasta Wrocławia, zapotrzebowanie na wodę zaspokajają wodami podziemnymi z poziomu holoceno–pliocenckiego lub miocenońskiego.

Warunki hydrogeologiczne

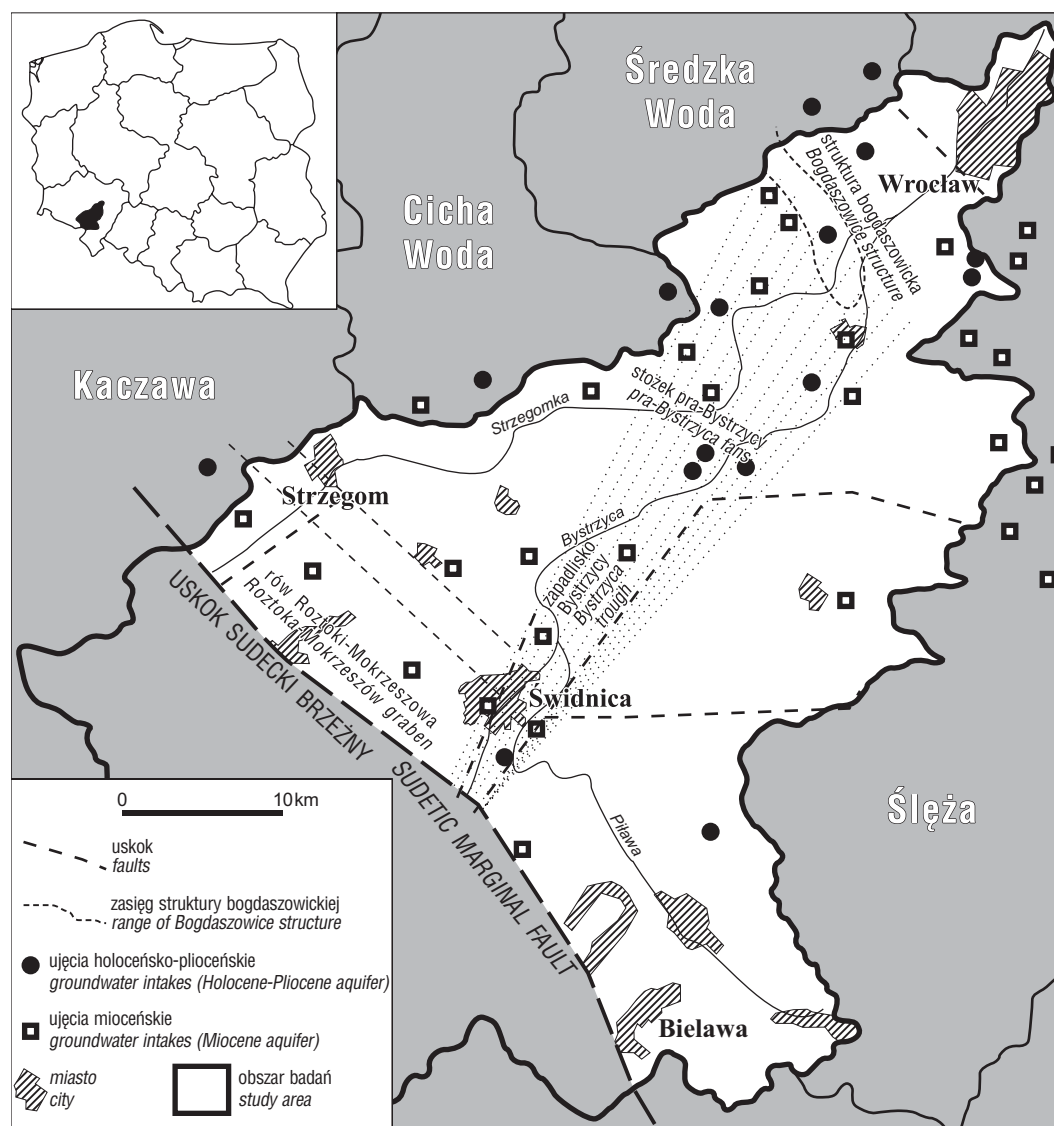
Głównymi poziomami użytkowymi na omawianym terenie są wody w utworach kenozoicznych (Michniewicz i in., 1981). Poziomy użytkowe w utworach holoceno–pliocenckich występują głównie w dolinie rzecznej Odry i Bystrzycy (niecka wrocławska). W osadach holoceno–pliocenckich występują dwa poziomy wodonośne: górny, powszechnie występujący, o miąższości 5–15 m i dolny zasobny w wodę, występujący w strukturach rynnowych dolin kopalnych (Dendewicz & Krawczyk, 1989; Krawczyk & Dendewicz, 1997; Kryza i in., 1989).

Miąższy mioceno–oligocenoński kompleks ilasty, jest przeławiony licznymi warstwami osadów piaszczystych i tworzy wielowarstwowy, często bardzo rozczłonkowany, system wodonośny o zmiennych miąższościach. Najczęściej wyróżnia się dwa miocenońskie poziomy wodonośne występujące na głębokościach od 10 do ok. 150 m. Charakter kontaktów hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi piętrami kenozoiku oraz krystalicznym podłożem jest przedmiotem dyskusji. Przypuszcza się, że poziomy miocenońskie mogą pozostawać w kontakcie hydraulicznym z wodami holoceno–pliocenckiego poziomu rynnowego struktur kopalnych, jak i z leżącym niżej kompleksem paleozoiczno–prekambryjskim bloku przedsudeckiego (Krawczyk & Dendewicz, 1997).

Metodyka

W celu oznaczenia składu chemicznego wód podziemnych w utworach kenozoicznych na przedsudeckiej części

*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Pl. M. Borna 9, 50-205 Wrocław; sebu@ing.uni.wroc.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów opróbowania wód podziemnych z uwzględnieniem stratygrafii formacji na obszarze zlewni Bystrzycy

Fig. 1. Groundwater intakes location with stratigraphy of the aquifers in Bystrzyca River Catchment

zlewni Bystrzycy wytypowano 57 punktów badawczych (ryc. 1). Powyższe punkty zostały wyznaczone na podstawie kartowania hydrogeologicznego wykonanego na tym terenie w latach 2003–2004. W praktyce, opróbowane punkty stanowiły studnie, w których eksploatacja była prowadzona w sposób ciągły. Na terenie badań do studni spełniających powyższy warunek można było zaliczyć jedynie studnie eksploatowane przez komunalne ujęcia wód podziemnych. W zlewni Bystrzycy spośród 57 punktów pomiarowych większość (41) stanowiły studnie ujmujące wody poziomu mioceńskiego. Studnie ujmujące wody z warstw holoceno-plejstoceńskich stanowiły 28% (16 studni). Studnie te znajdują się zarówno na terenach miejskich, jak i w strefach, gdzie stwierdzono minimalny wpływ działalności ludzkiej na wody podziemne. Opróbowanie przeprowadzono w okresie od 01.10.2003 do 09.06.2004. Analizy chemiczne wykonane zostały w laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej, Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód w Krakowie. Badania laboratoryjne obejmowały analizy jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_2 . Wykonano także oznaczenie jonów manganu (Mn^{2+}) i żelaza (Fe^{2+}).

Tło hydrogeochemiczne rozumiane jako zakres stężeń badanych substancji charakterystyczny dla danej jednostki lub fragmentu jednostki hydrogeologicznej ograniczone jest dolną i górną granicą wartości stężeń, poza którymi występują wartości anomalne (*Słownik hydrogeologiczny*, 2002). W praktyce, przedziały tła hydrogeochemicznego są przyjmowane w zależności od przyjętej metody obliczeń i dokładności oznaczeń składników (Matschullat i in., 2000; Newcomb & Rimstidt, 2002) w zakresach przedstawionych w tab. 1.

Do oceny współczesnego, regionalnego tła hydrogeochemicznego (Macioszczyk, 1990; Macioszczyk & Dobrzyński, 2002) wybrano 11 wskaźników chemicznych (ryc. 2, 3). Oceny rozkładu ich stężeń dokonano niezależnie dla poziomu holoceno-plejstoceńskiego (ryc. 2) — 208 oznaczeń i mioceńskiego (ryc. 3) — 533 oznaczenia. Ze względu na stosunkowo niedużą liczbę obserwacji dla poziomu holoceno-plejstoceńskiego ($n < 30$), do wyznaczenia tła hydrogeochemicznego zastosowano metodę wykresów prawdopodobieństwa. Metoda ta jest metodą orientacyjną, ale w pełni przydatną i powszechnie stosowaną w praktyce hydrogeologicznej (Macioszczyk &

Tab. 1. Zakresy przedziałów tła hydrogeochemicznego. x_{sr} — średnia; δ — odchylenie standardowe; M — mediana
 Tab. 1. Hydrogeochemical background range; x_{sr} — average; δ — std. deviation; M — median

Autor (rok) Author (year)	Szerokość przedziału tła hydrogeochemicznego Hydrogeochemical background range
Albul (1969)	$x_{sr} \pm 3\delta$
Nielsen (1991)	$x_{sr} \pm 1,96\delta$
Macioszczyk (1987); Macioszczyk & Dobrzyński (2002)	$x_{sr} \pm 1,28\delta$
Zdechlik & Kania (2003)	$x_{sr} \pm 1\delta$
Sara & Gibbon (1991) vide Szczepańska & Kmiecik (2005)	$M \pm 2\delta$
Szczepańska & Kmiecik (2005)	$M \pm 3\delta$

Dobrzyński, 2002; Szczepańska & Kmiecik, 2005; Zdechlik & Kania, 2003).

Na podstawie oceny rozkładu cech badanych wód na wykresie prawdopodobieństwa zdecydowano się przyjąć przedział tła za Macioszczyk (1987). Proponuje ona dla rozkładów zbliżonych do normalnych za tło uznać wartość między 10 a 90 percentylem krzywej kumulacyjnej wybranego składnika, co odpowiada przedziałowi ok. $\pm 1,28\delta$ wokół wartości średniej, gdzie δ oznacza odchylenie standardowe.

W celu określenia jakości wód podziemnych obszaru badań przeanalizowano dane chemiczne z uwzględnieniem:

— klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. Klasyfikacja ta w dalszej części artykułu nazwana została w skrócie „klasyfikacją dla potrzeb monitoringu” (*Rozporządzenie Ministra Środowiska*, 2004),

— wymagań jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi (*Rozporządzenie Ministra Zdrowia* z dnia 19.11.2002).

Dokładną charakterystykę składu chemicznego wód i zestawienie podstawowych parametrów statystycznych składników chemicznych wód podziemnych piętra kenozoicznego można znaleźć w pracy Buczyński (2005) oraz Buczyński i Modelska (2005).

Współczesne tło hydrogeochemiczne

W poziomie holoceno-plioceno tło hydrogeochemiczne mineralizacji ogólnej wód utrzymuje się w przedziale od 200 do 600 mg/dm³ (tab. 2, ryc. 2). Jest to przedział nieco większy niż w przypadku wód z poziomu mioceńskiego, gdzie zanotowano wartości 210–460 mg/dm³ (tab. 2, ryc. 3). Na powyższą różnicę największy wpływ mają stężenia jonów HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺ i NO₃⁻ (tab. 2). W przypadku HCO₃⁻ przedział tła hydrogeochemicznego dla wód poziomu holoceno-plioceno jest o ponad 100% większy (47–400 mg/dm³), niż w przypadku wód poziomu mioceńskiego (110–260 mg/dm³). Nieco większe przedziały tła hydrogeochemicznego dla wód płytkiego poziomu holoceno-plioceno zaobserwowano także w przypadku stężeń jonów K⁺, SiO₂, Fe²⁺ (tab. 2). Na podobnym poziomie kształtują się wartości tła hydrogeochemicznego dla jonów Mg²⁺ i Cl⁻ (tab. 2). Przeciętne stężenia (średnie) na podobnym poziomie można zaobserwować w przypadku mineralizacji ogólnej (330–310 mg/dm³), Ca²⁺ (49–50 mg/dm³), K⁺ (1,7–2,1 mg/dm³), NO₃⁻ (1,1 mg/dm³), SiO₂ (18–22 mg/dm³).

Niższe wartości tła hydrogeochemicznego dla wód poziomu holoceno-plioceno stwierdzono w przypadku stężeń jonów Na⁺ i Mn²⁺ (tab. 2).

Charakterystyka zmienności jonów NO₃⁻ i SO₄²⁻ w przypadku wód poziomu holoceno-plioceno, wskazuje na znaczne przekształcenie naturalnego tła hydrogeochemicznego tego obszaru pod wpływem czynników antropogenicznych (tab. 2, ryc. 2).

Zarówno w wodach poziomu holoceno-plioceno, jak i mioceńskiego nie zaobserwowano wysokich wartości anomalnych odbiegających od górnej granicy tła

Tab. 2. Tło hydrogeochemiczne jonów i substancji rozpuszczonych w wodach podziemnych bloku przedsudeckiego
 Table 2. Total dissolved solids and ions hydrogeochemical backgrounds of groundwater at the Sudety Mts. Foreground

Poziom holoceno-pliocenoński <i>Holocene-pliocene aquifer</i>												
	M _{og.}	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Fe _{og.}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Stężenie substancji rozpuszczonych [mg/dm ³] <i>Concentration of dissolved solids [mg L⁻¹]</i>												
X _{sr} - 1,28δ	200	10	3,3	0,6	20	4,8	0,03	–	4	9	47	0,5
X _{sr}	330	18	5,1	1,7	49	10	0,04	2,3	12	40	110	1,1
X _{sr} +1,28δ	600	31	11	4,8	101	20	0,07	6,2	41	200	400	17
Poziom mioceński <i>Miocene aquifer</i>												
	M _{og.}	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Fe _{og.}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Stężenie substancji rozpuszczonych [mg/dm ³] <i>Concentration of dissolved solids [mg L⁻¹]</i>												
X _{sr} - 1,28δ	210	17	4,3	1,5	32	7,2	0,04	0,04	4,2	6	110	0,3
X _{sr}	310	22	10	2,1	50	11	0,15	0,32	12	21	180	1,1
X _{sr} +1,28δ	460	32	25	3,2	72	16	0,55	1,9	39	82	260	5

hydrogeochemicznego. Wyjątek stanowiło stężenie jonów Mn^{2+} w wodach poziomu holoceno-pliocenońskiego. W trzech punktach zanotowano wartości anomalnie odbiegające o rząd wielkości od stężeń tła hydrogeochemicznego (ryc. 2).

Biorąc pod uwagę wyniki oznaczeń stężeń jonów, wód poziomów kenozoicznych bloku przedsudeckiego obserwuje się bardzo słabe zróżnicowanie środowiska hydrogeochemicznego. Wyjątek stanowią tu jedynie SO_4^{2-} , NO_3^- , Fe^{2+} (oba poziomy) i Mn^{2+} (poziom mioceński), w przypadku których nachylenie prostych na wykresie prawdopodobieństwa wskazuje na stosunkowo dużą zmienność składu chemicznego (różnice wynoszą 3–4 rzędy wielkości — ryc. 2, ryc. 3).

Jakość wód podziemnych

Badane wody podziemne zlewni Bystrzycy w zasięgu bloku przedsudeckiego charakteryzowały się najczęściej bardzo dobrą i dobrą jakością. Nie zaobserwowano wyraźnych różnic w jakości wód obu badanych poziomów wodonośnych. Zarówno wody poziomu holoceno-pliocenońskiego jak i mioceńskiego to w odpowiednio 82 i 67,5 % wody klasy I oraz w 12 i 32,5% wody klasy II. W 6% próbki wód poziomu holoceno-pliocenońskiego to wody klasy III. Analiza wskaźników chemicznych tych wód w klasyfikacji dla potrzeb monitoringu wykazała jednak przekroczenia we wszystkich klasach jakości. W badanych wodach najczęściej notowano przekroczenia przez wskaźniki chemiczne klasy II w zakresie składników będących pochodzenia antropogenicznego, takich jak jony PO_4^{3-} oraz geogenicznego jak SiO_2 . Przekroczenia klas od III do V obejmują najczęściej geogeniczne jony Fe^{2+} i Mn^{2+} w wodach obu pieter wodonośnych.

Najczęściej spotykane stężenia (mediany) to 2,31 $mgFe_{og}/dm^3$ i 0,06 $mgMn^{2+}/dm^3$. W zasadniczej części wód poziomu holoceno-pliocenońskiego były przekroczone więc maksymalne wartości stężeń dla wód pitnych odnośnie tych składników (*Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002*). Stężenia jonów azotanowych wykazywały duże zróżnicowanie: od 0,3 do 23 $mgNO_3^-/dm^3$, przy średniej arytmetycznej 6,1 $mgNO_3^-/dm^3$ i medianie 1,4 $mgNO_3^-/dm^3$. W żadnym badanym punkcie nie zaobserwowano przekroczenia maksymalnych wartości stężeń dla wód pitnych pod względem azotanów.

W wodach poziomu mioceńskiego zaobserwowano wyższe niż w wodach poziomu holoceno-pliocenońskiego stężenia żelaza ogólnego. Maksymalne stężenia tego składnika osiągały wartość 42,1 $mgFe_{og}/dm^3$, średnio 3,21 $mgFe_{og}/dm^3$. Jednocześnie niższe od średniej wartości mediany (0,15 $mgFe_{og}/dm^3$) wskazują, że wysokie wartości występowały stosunkowo rzadko w całej populacji. Stężenia jonów manganu były wyższe od stężeń w wodach poziomu holoceno-pliocenońskiego (mediana — 0,15 $mgMn^{2+}/dm^3$). Stężenia zarówno żelaza, jak i manganu w większości badanych punktów przekraczały maksymalne wartości stężeń dla wód pitnych (*Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002*). Obserwowane stężenia azotanów, w wodach podziemnych zlewni Bystrzycy, należały do stosunkowo niskich i nie przekraczały 14,4 mg/dm^3 , przy najczęściej występujących wartościach ok. 1,3 mg/dm^3 .

W większości badanych wód zanotowano również przekroczenia wartości progowych jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do picia przez ludzi, w zakresie jonów Fe^{2+} i Mn^{2+} . Badane wody miały również w

większości zbyt niskie stężenia Mg^{2+} (<30 mg/dm^3). W związku z powyższym wody te wymagają jedynie prostego uzdatniania (Witczak & Adamczyk, 1995). Bardzo istotnym faktem było nie zaobserwowanie w żadnym z badanych punktów przekroczeń maksymalnych stężeń dla wskaźników toksycznych, w tym związków azotu oraz metali (Buczyński, 2005). Wody ze wszystkich punktów charakteryzują się stężeniami badanych metali w klasie I jakości wód.

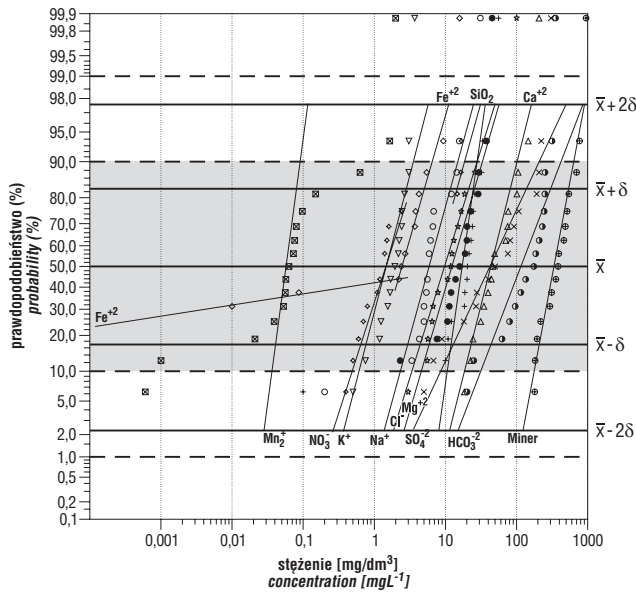
Podsumowanie

Analiza składu chemicznego badanych wód pozwoliła zaobserwować pewne różnice hydrochemiczne pomiędzy poziomem holoceno-pliocenońskim a mioceńskim. Wody poziomu holoceno-pliocenońskiego charakteryzowały się wyższymi wartościami mineralizacji ogólnej oraz stężeń jonów Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , przy jednocześnie niższym stężeniu jonów Na^+ i Mn^{2+} (tab. 2). Powyższe różnice są wynikiem większego udziału czynników antropogenicznych w kształtowaniu składu chemicznego wód płytszego poziomu holoceno-pliocenońskiego.

Zanotowane stężenia siarczanów w wodach podziemnych na badanym terenie należy uznać za wysokie. Witczak i Adamczyk (1995) podają wartości tła dla typowych naturalnych wód podziemnych od 5 do 60 $mg SO_4^{2-}/dm^3$. W badanych przez nas wodach podziemnych wartości te są wyraźnie wyższe, zwłaszcza w przypadku wód z poziomu holoceno-pliocenońskiego, gdzie wartość tła wynosi 9–200 $mg SO_4^{2-}/dm^3$. Na podobną koncentrację jonów siarczanowych w wodach podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego okolic Mietkowa (10–200 $mg SO_4^{2-}/dm^3$) wskazał także Kryza z zespołem (1995b). Stałe stężenia jonów siarczanowych w płytkich wodach podziemnych tego regionu wskazują, że siarczany są pochodzenia geogenicznego i ich źródłem są naturalne procesy (wietrzenie minerałów zawierających siarkę), a nie oddziaływanie zanieczyszczonego powietrza czy imisje antropogeniczne związane z siedliskami wiejskimi i rolnictwem. Niezależnie od pochodzenia wysokie zawartości jonów siarczanowych utrzymujące się na stałym poziomie od lat osiemdziesiątych XX w. (Kryza, 1995b) pozostają lokalną anomalią.

W porównaniu do wyników badań Kryzy (1995a, b) w okresie 20 lat zaobserwowano obniżenie stężeń jonów chlorkowych, wapniowych, manganowych, sodowych i potasowych w wodach podziemnych na obszarze bloku przedsudeckiego. Średnia wartość stężenia chlorków dla trzech stref zanieczyszczeń o których pisał Kryza (1995a) na początku lat 90. wynosiła 96,5 mg/dm^3 . Na terenach poza siedliskami wiejskimi i miejskimi średnia wartość stężeń chlorków wyniosła 47,7 mg/dm^3 , a szacunkowa wartość tła hydrogeochemicznego 16–85 $mg Cl^-/dm^3$. W latach 2003–2004 średnie stężenia chlorków w wodach podziemnych obu poziomów kształtowały się na poziomie 12 mg/dm^3 . W wodach podziemnych na tym terenie jony chlorkowe pochodzą z opadów atmosferycznych, ścieków komunalnych i nawozów naturalnych. Analiza budowy geologicznej terenu wyklucza pochodzenie jonów chlorkowych z ługowania skał. Malejące stężenia chlorków w wodach podziemnych dowodzą, że rozbudowa kanalizacji wiejskich w podwrocławskich gminach prowadzi do poprawy jakości płytkich wód podziemnych w tym rejonie.

W latach osiemdziesiątych XX w. w przypadku jonów wapnia średnie stężenie dla 3 stref o których pisał Kryza i in. (1995b) wyniosło 96,6 $mg Ca^{2+}/dm^3$, a dla strefy nie objętej zanieczyszczeniami 75,5 $mg Ca^{2+}/dm^3$. W latach



Ryc. 2. Zmienność stężeń jonów i substancji rozpuszczonych w wodach podziemnych poziomu holoceno-pliocenckiego bloku przedsudeckiego — przedział tła hydrogeochemicznego
Fig. 2. Variability of ions concentrations and total dissolved solids of groundwater of Holocene-Pliocene aquifer at the Sudety Mts. foreground — range of hydrogeochemical background

2003–2004 średnie stężenia jonów wapnia w wodach podziemnych obu poziomów kształtowały się na poziomie 49–50 mg/dm³.

Stężenia jonów sodowych i manganowych w wodach podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na przestrzeni ostatnich ok. 20 lat również uległy zmniejszeniu. Kryza i in. (1995b) tło hydrogeochemiczne płytkich wód podziemnych okolic Mietkowa określił na 8–35 mg Na⁺/dm³ i 0,05–1,7 mg Mn²⁺/dm³. W latach 2003–2004 tło hydrogeochemiczne wód poziomu holoceno-pliocenckiego wynosiło odpowiednio 3,3–11 mg Na⁺/dm³ i 0,03–0,07 mg Mn²⁺/dm³. Wartości te wskazują, że jony sodowe i manganowe w wodach płytszego poziomu holoceno-pliocenckiego są pochodzenia antropogenicznego, a zmniejszenie stężenia tych jonów w wodach podziemnych wskazuje na stopniową poprawę jakości wód i zbliżanie się wartości tła hydrogeochemicznego do wartości naturalnych charakterystycznych dla płytkich wód podziemnych tego regionu. W wodach głębszego poziomu wodonośnego (mioceńskiego) jony sodowe i manganowe są prawdopodobnie pochodzenia geogenicznego. Wartości tła hydrogeochemicznego jonów sodowych i manganowych kształtują się na poziomie 4,3–25 mg Na⁺/dm³ i 0,04–0,55 mg Mn²⁺/dm³. Takie wartości stężeń jonów sodowych i manganowych wskazują na dłuższy czas przebywania wód w skałach zbiornikowych (Witczak & Adamczyk, 1995). Wysokie i w podobnych zakresach stężenia jonów żelaza we wszystkich badanych wodach wskazują na wspólne (geogeniczne) źródło tego składnika chemicznego.

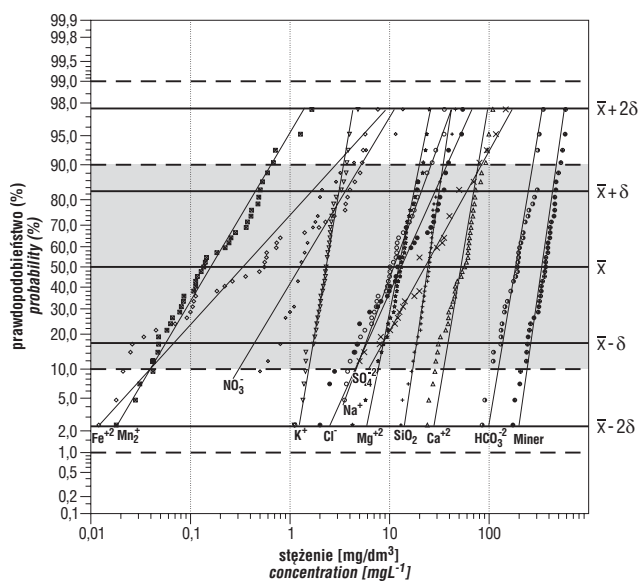
Średnie stężenia azotanów w wodach obu poziomów kształtują się na jednakowym poziomie (1,1 mg/dm³), jednak w przypadku wód płytszego poziomu holoceno-pliocenckiego zakres tła hydrogeochemicznego azotanów jest szerszy (0,5–17 mg NO₃⁻/dm³), a maksymalne notowane stężenia dochodzą do 23 mg NO₃⁻/dm³. Według Witczaka i Adamczyka (1995) naturalne tło hydrogeochemiczne wynosi od 0 do 0,22 mg NNO₃⁻/dm³, co odpowiada wartościom od 0 do 0,97 mg NO₃⁻/dm³. Kryza i in. (1995b) na podstawie wyników z lat osiemdziesiątych XX w. oszacowali

tło hydrogeochemiczne wód pierwszego poziomu wodonośnego na 0,1 do 2,0 mg NNO₃⁻/dm³, co odpowiada wartościom od 0,44 do 8,85 mg NO₃⁻/dm³. Również Ciężkowski z zespołem (1997), Staško (1996) i Rzonca i in. (2004) wskazują na podwyższone zawartości azotanów w Masywie Śnieżnika, Górach Sowich i Górach Żółtych, twierdząc, że notowane stężenia azotanów są przejawem podwyższonego regionalnego tła hydrogeochemicznego, a nie tylko lokalną anomalią. Również na terenie badań zwiększone w porównaniu do lat osiemdziesiątych XX w. wartości stężeń azotanów, przy jednocześnie malejących stężeniach jonów sodowych, chlorkowych, wapniowych, potasowych i manganowych wskazują, że źródłem tych podwyższonych stężeń nie są obszary siedlisk wiejskich, rolnictwo czy nieodpowiednia gospodarka ściekowa, ale zanieczyszczenie powietrza i opadów związane ze spalaniem paliw. Niższe stężenia azotanów w głębszym poziomie mioceńskim, gdzie zanotowany zakres tła hydrogeochemicznego wynosi 0,3–5 mg NO₃⁻/dm³, pozostają do końca nie wyjaśnione. Najprawdopodobniej, pomimo podważania przez niektórych hydrogeologów zjawiska samooczyszczania się głębszych warstw wodonośnych z azotanów, niższe wartości stężeń NO₃⁻ wynikać mogą z procesów denitryfikacji, zachodzących w głębszych warstwach w bardziej redukcyjnych warunkach.

Skład chemiczny wód obu badanych poziomów wskazuje, że pozostają one ze sobą w ścisłym związku hydraulicznym (Buczyński 2005; Buczyński & Modelska, 2005). Jednocześnie dotychczasowe badania z użyciem modelowania hydrogeologicznego potwierdzają, że zasilanie poziomów mioceńskich zachodzi z wyżej leżących poziomów holoceno-pliocenckich na drodze przesączania przez warstwy skał słaboprzepuszczalnych, poprzez okna hydrogeologiczne i w strefach głębokich wcięć erozyjnych. Zasoby odnawialne wód podziemnych poziomów mioceńskich stanowią w 68% wody przesączające się z wyżej leżącego poziomu holoceno-pliocenckiego. Pozostałe 32% stanowi dopływ regionalny wód z SW z wypiętrzonego masywu Sudetów i z dopływów ascensyjnych z podłoża krystalicznego (Buczyński, 2005). Na podobne wartości dopływu wód podziemnych do poziomu mioceńskiego wskazują także badania Bocheńskiej i in. (1989) oraz wyniki modelowania hydrogeologicznego rowu Roztoki-Mokreszowa (Gurwin, 2005).

W pierwszej połowie lat 90. większa część wód płytkiego poziomu holoceno-pliocenckiego należała do III klasy. Brak było w badanym obszarze wód wysokiej jakości. Wśród wód głębszego poziomu spotykało się wody niskiej, średniej i wysokiej jakości z tendencją do stałego obniżania jakości wody (Kryza, 1995a; Kryza, 1995b). Aktualne badania wskazują na znaczną poprawę jakości wód podziemnych obu poziomów wodonośnych. Tylko 6% próbek wód płytkiego poziomu holoceno-pliocenckiego została zakwalifikowana do wód klasy III, a w przypadku poziomu mioceńskiego nie stwierdzono wód klasy III. Pozytywnym jest również fakt, że przeważająca większość to wody klasy I. Na tak radykalną poprawę jakości wód podziemnych największy wpływ ma zkanalizowanie małych miejscowości, które rozpoczęło się w latach 90.

Na podstawie przeprowadzonych badań składu chemicznego wód podziemnych bloku przedsudeckiego zlewni Bystrzycy, stwierdzono przekroczenia maksymalnych stężeń dla wód pitnych w zakresie jonów żelaza i manganu (jony pochodzenia geogenicznego). Nie zaobserwowano przekroczeń związanych z jonami azotanowymi. Stwierdzono też, że zaistniałe różnice, szczególnie w składzie anionowym badanych wód, są wynikiem zanieczyszczeń z



Ryc. 3. Zmienność stężeń jonów i substancji rozpuszczonych w wodach podziemnych poziomu miocenijskiego bloku przedsudeckiego — przedział tła hydrogeochemicznego

Fig. 3. Variability of ions concentrations and total dissolved solids of groundwater of Miocene aquifer at the Sudety Mts. Foreground — range of hydrogeochemical background

powierzchni terenu bardziej na nie narażonego poziomu holocenijsko-pliocenijskiego. Charakter chemiczny wód obu badanych poziomów wodonośnych oraz badań dynamiki wód podziemnych wskazuje na ich bliski związek hydrauliczny, co stwarza możliwość przedostawania się zanieczyszczeń z bardziej zmienionego antropogenicznie poziomu holocenijsko-pliocenijskiego do wód głębszych poziomów wodonośnych.

Na podstawie powyższych rozważań dotyczących zmian składu chemicznego wód i ich dynamiki można wnioskować, że poziomy kenozoiczne na bloku przedsudeckim pomimo istnienia miększych warstw skał słabo-przepuszczalnych pozostają ze sobą w ścisłym związku hydraulicznym. Nieodpowiednia gospodarka wodami podziemnymi przy braku ochrony wód może w konsekwencji doprowadzić do pogorszenia jakości wód podziemnych GPU i wzrostu kosztów wydobycia i uzdatniania wody, a w skrajnych przypadkach do zaprzestania eksploatacji wód tego zbiornika.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2003/2005 jako projekt badawczy (grant MNiI nr 5T12B 056 25).

Literatura

- ALBUL S. P. 1969 — Rudopolska hydrogeochemia. Wyd. Uniw. Drużby Narodów, Moskwa.
- BOCHENSKA T., LUBCZYŃSKI M. & SZCZEPIŃSKI J. 1989 — Kilka uwag o możliwościach odnawiania wód podziemnych w rejonie Świdnicy. Pr. Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej, 58: 19–24.
- BUZYŃSKI S. 2005 — Warunki hydrogeologiczne osadowych formacji trzeciorzędu na bloku przedsudeckim (na przykładzie zlewni Bystrzycy). Rozprawa doktorska, Arch. Uniw. Wroc.
- BUZYŃSKI S. & MODELSKA M. 2005 — Skład chemiczny wód podziemnych bloku przedsudeckiego na przykładzie zlewni Bystrzycy. [W:] Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław: 161–171.
- CIEŻKOWSKI W., KRYZA H., KRYZA J., PULINA M., ŘEHAK J., STAŠKO S. & TARKA R. 1997a — Wody podziemne i wpływ czynników antropogenicznych na ich zasoby i jakość. [W:] Jahn A.,

- Kozłowski S. & Pulina M. (red.) 1997 — Masyw Śnieżnika — zmiany w środowisku przyrodniczym. Wyd. PAE, Warszawa: 147–167.
- DENDEWICZ A. & KRAWCZYK J. 1989 — Perspektywiczne struktury wodonośne w niecce wrocławskiej. [W:] Konf. Nauk.- Techn. — Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę, Wrocław: 25–31.
- FELTER A. & NOWICKI Z. 1997 — Tryt — bezpośredni wskaźnik niskiej wrażliwości warstwy wodonośnej na antropopresję. Prz. Geol., 45: 862–864.
- GURWIN J. & LUBCZYŃSKI M. 2005 — Modeling of complex multi-aquifer systems for groundwater resources evaluation — Świdnica study case (Poland). Hydrogeology Journal, 13: 1431–1474 (Paper) 1435–0157 (Online) DOI: 10.1007/s10040-004-0382-9.
- KLECZKOWSKI A. S. & RÓŻKOWSKI A. (red.) 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Wydawnictwo TRIO, Warszawa.
- KRAWCZYK J. & DENDEWICZ A. 1997 — Zawodnienie i zbiorniki wód podziemnych trzeciorzędowej niecki wrocławskiej. VIII Współ. Probl. Hydrogeol., Kielce: 353–355.
- KRYZA H., KRYZA J., POPRAWSKI L. & STAŠKO S. 1987 — Geogeniczne i antropogeniczne zmiany składu wód podziemnych w zlewni Bystrzycy. Przew. 58 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Wałbrzych: 246–251.
- KRYZA J., POPRAWSKI L. & STAŠKO S. 1989 — Główne zbiorniki wód podziemnych w rejonie wrocławskim — koncepcja optymalnego zagospodarowania i aktywnej ochrony. [W:] Konf. Naukowo-Techniczna. „Alternatywne źródła zaopatrzenia Wrocławia w wodę”, Wrocław: 33–38.
- KRYZA J. 1995a — Wody podziemne i problemy ochrony środowiska bloku przedsudeckiego. Przew. 66 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Wrocław: 41–57.
- KRYZA J. 1995b (red.) — Warunki hydrogeologiczne w rejonie zbiornika retencyjnego Mietków w dorzeczu Bystrzycy i ich zmiany pod wpływem antropopresji. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Pr. Geol. Miner., 35: 1–105. Wrocław.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol.
- MACIOSZCZYK A. 1990 — Tło i anomalie hydrogeochemiczne. Metody badania oceny i interpretacji, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MATSCHULLAT J., OTTENSTEIN R. & REIMANN C. 2000 — Geochemical background — can we calculate it? Environmental Geology, 39: 990–1000. Springer-Verlag
- MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B. & WOJTKOWIAK A. 1981 — Mapa Hydrogeologiczna Polski 1: 200 000, Arkusz: 54 — Wałbrzych. Wyd. Geol.
- NEWCOMB W. D. & RIMSTIDT J. D. 2002 — Trace element distribution in US groundwaters: a probabilistic assessment using public domain data, Applied Geochemistry, 17: 49–57.
- NIELSEN D. M. (red.) 1991 — Practical handbook of groundwater monitoring. Lewis Publ., Chelsea, USA.
- Rozporządzenie** Ministra Środowiska nr 32 z dn. 11.02.2004 r. — W sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.
- Rozporządzenie** Ministra Zdrowia nr 937 z dn. 19.11.2002 — Wymagania fizykochemiczne, jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do picia przez ludzi.
- RZONCA B., BUCZYŃSKI S., MAKARCZUK M., MARKIEWICZ T., OKRAJ K. & TYŁAK G. 2004 — Wody w otoczeniu Jaskini Radochowskiej (Góry Złote, Sudety). Prz. Geol., 52: 675–682.
- STAŠKO S. 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Acta Univ. Wratisl., 1870. Pr. Geol.-Miner., 53: 1–85.
- SZCZEPAŃSKA J. & KMIECIK E. 2005 — Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
- WITCZAK S. & ADAMCZYK A. 1995 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- ZDECHLIK R. & KANIA J. 2003 — Tło hydrogeochemiczne i rozkład stężeń jonów wskaźnikowych w rejonie złoża Bełchatów. Współ. Probl. Hydrogeol., 11: 327–334.

Praca wpłynęła do redakcji 24.03.2006 r.

Akceptowano do druku 01.12.2006 r.