

Występowanie i możliwości zagospodarowania wód siarczkowych w rejonie Tarnobrzega

Agnieszka Felter¹, Jadwiga Stożek¹, Mariusz Socha¹, Jakub Sokołowski¹

The sulphide waters in the area of Tarnobrzeg and the possibility of their development. Prz. Geol., 65: 956–961.

Abstract. The long-term exploitation of sulphur deposits in the Tarnobrzeg region along with intense groundwater drainage caused a change of hydrodynamic and hydrogeochemical conditions. After the finishing of mining activities, the area has been reclaimed, causing a return to near-natural conditions. Therefore, the geological and hydrogeological conditions are currently close to natural. This area is prospective for extraction of mineralized sulphide waters and their use in balneotherapy.

Keywords: sulphide waters, chemical composition of waters, water management, balneotherapy Tarnobrzeg

Od lat 50. aż po 90. XX w. Tarnobrzeg stanowił największy w Polsce ośrodek wydobywania i przetwórstwa siarki. Podaż taniego surowca z odsiarczania węglowodorów, recesja gospodarcza oraz uciążliwość dla środowiska doprowadziły do stopniowego zaprzestania eksploatacji. Kopalnie i zakłady przetwórcze zlikwidowano, a tereny pogórnice i przemysłowe poddano rekultywacji. W miejscu wyrobiska poeksploatacyjnego kopalni Machów utworzono rekreacyjny zbiornik wodny Jezioro Tarnobrzegskie o powierzchni niemal 500 ha i głębokości sięgającej 42 m. Sposób zagospodarowania terenu ma służyć stworzeniu nowego wizerunku miasta jako nowoczesnego ośrodka turystyczno-wypoczynkowego oraz ożywieniu gospodarczemu regionu. Realizacji tych celów powinno sprzyjać ujęcie i zagospodarowanie występujących w utworach neogenu zmineralizowanych wód siarczkowych, stanowiących potencjalny surowiec leczniczy. Z uwagi na zainteresowanie władz gminy Tarnobrzeg tego rodzaju przedsięwzięciem w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) w 2016 r. zostało opracowane studium dotyczące warunków występowania i możliwości gospodarczego wykorzystania tych wód (Sokołowski i in., 2016).

Niniejszy artykuł został przygotowany na podstawie informacji pochodzących z opracowań publikowanych i archiwalnych oraz analizy danych z monitoringu wód podziemnych prowadzonego w rejonie dawnego wyrobiska Machów, a obecnie Jeziora Tarnobrzegskiego.

ROZPOZNANIE WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Szczegółową charakterystykę warunków hydrogeologicznych zawierają dokumentacje geologiczne sporządzone dla złoża siarki rodzimej Machów (m.in. Burek, 1954; Romaniec i in., 1964; Piskorz i in., 1982; Kowalik, Wójtowicz, 1990) oraz dokumentacja hydrogeologiczna wykonana po likwidacji kopalni (Bielec i in., 2003). Wieloletnia eksploatacja złoża umożliwiła badania hydrogeologiczne, dotyczące wpływu wydobywania (m.in. Sękiewicz, Zawadzki, 1972; Perek, 1995) i późniejszej likwidacji wyrobisk (m.in. Haładus, Kulma, 1996; Kulma i in., 1997; Kania, 2002) na zmiany warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych oraz oceny właści-

wości hydrogeologicznych osadów miocenu (m.in. Smuszkiewicz, 1969; Turek, 1965, 1977, 1978, 1982).

Analizowane w artykule dane, dotyczące właściwości fizyczno-chemicznych wód podziemnych, pochodzą z monitoringu prowadzonego przez Kopalnię Siarki Machów oraz PIG-PIB w ramach zadań państwowej służby geologicznej. Monitoring wokół wyrobiska Machów złożony z 18 otworów obserwacyjnych, z których 6 służyło monitorowaniu piętra neogeńskiego, został uruchomiony przez Kopalnię Siarki Machów w IV kw. 1997 r. (tab. 1, ryc. 1). Jego celem była kontrola zmian warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych w poziomach wodonośnych czwartorzędu i neogenu, zachodzących w trakcie likwidacji wyrobiska oraz po jego zakończeniu. W 2013 r. po zaprzestaniu prowadzenia systematycznych badań i obserwacji, część punktów monitoringowych została zlikwidowana. Spośród pozostałych dwa, w tym jeden neogeński, zostały włączone do sieci monitoringów badawczych wód podziemnych w obszarach obciążonych antropopresją (tzw. monitoring lokalny), a jeden (również neogeński) do krajowej sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych (sobw) PIG-PIB. W punktach tych są prowadzone obserwacje stanu ilościowego (tab. 1, ryc. 1). Przekazane przez Kopalnię Siarki Machów archiwalne wyniki pomiarów i obserwacji znajdują się w bazie Monitoringu Wód Podziemnych (MWP) prowadzonej w PIG-PIB.

WARUNKI WYSTĘPOWANIA WÓD PODZIEMNYCH

Tarnobrzeg jest położony w północnej, brzeżnej części powstałego w miocenie zapadliska przedkarpackiego. W rejonie miasta osady wypełniające zapadlisko zalegają bezpośrednio na utworach kambriu paleozoicznego trzonu Gór Świętokrzyskich (ryc. 2). Najstarszymi osadami są utwory burowęglowe badenu dolnego. Na nich lub bezpośrednio na skałach paleozoiku zalegają warstwy baranowskie osadzone również w badenie dolnym, które wraz z wyżej leżącymi osadami badenu górnego, reprezentowanymi przez serię chemiczną, stanowią kolektor dla zmineralizowanych wód siarczkowych. Powyżej zdeponowana została seria ilów krakowieckich badenu górnego i sarmatu (Czapowski, Gąsiewicz, 2015), zaś na powierzchni terenu

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; agnieszka.felter@pgi.gov.pl; jadwiga.stozek@pgi.gov.pl; mariusz.socha@pgi.gov.pl; jakub.sokolowski@pgi.gov.pl.

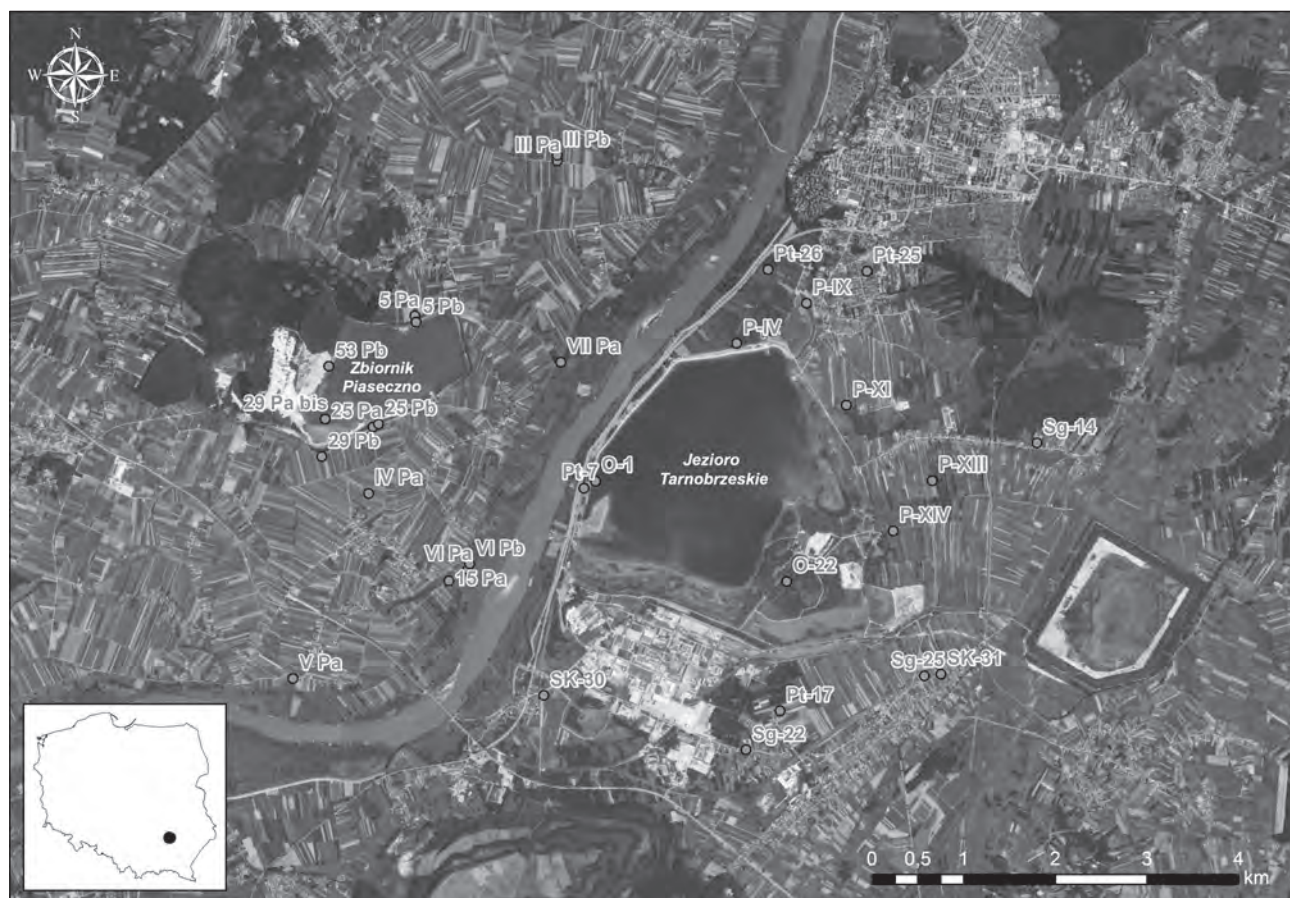
Tab. 1. Punkty monitoringu wód podziemnych piętra neogeńskiego (źródło danych: baza MWP)

Table. 1. The monitoring wells of the Neogene aquifer (source of data: database MWP)

Nazwa Name	Rok wyk. Year	Głębokość Depth [m]	Głębokość poziomu wod. Depth to water level [m]	Litologia Lithology	Głębokość zafiltr. Well-screen depth [m]	Stan Status	Przeznaczenie Purpose	Typ chemiczny wody* Chemical type of water*	Mineralizacja wody** Water mineralization** [mg/dm ³]
O-22	1990	124,0	115,7–124,0	wapienie, margle limestone, marble	116,5–124	czynny active	mon. lokalny PIG-PIB (nr 10009)	Cl-(HCO ₃)– Na-(Ca), S	6 734
Pt-7	1965	90,0	55,0–90,0	wapienie limestone	62,0–88,0	czynny active	sobw PIG-PIB (nr II/1290)	Cl-SO ₄ –Ca, S	4 184
Pt-17	1968	140,0	125,5–140,0	piasek sand	125,4–136,0	zlikw. dismantled	–	Cl-Na	
Pt-25	1968	82,6	87,0–116,7	piasek, wapienie sand, limestone	95,0–111,5	zlikw. dismantled	–	Cl-SO ₄ –Na– Ca, S	17 589
Pt-26	1968	87,0	61,0–93,0	piasek, wapienie sand, limestone	69,0–87,0	zlikw. dismantled	–	Cl-SO ₄ –Na– Ca, S	7 038
Pt-43	1992	107,8	105,5–122,7	wapienie, piaskowce sand, limestone	106,9–122,7	zlikw. dismantled	–	Cl-SO ₄ –Na, S	11 928

* na podstawie wyników badań z lat 1997–2013 / based on the results of the research based on research results from 1997–2013

** wartość średnia na podstawie wyników badań z lat 1997–2013 / average value based on the results based on research results from 1997–2013



Ryc. 1. Lokalizacja punktów obserwacyjnych

Fig. 1. Location of observation points

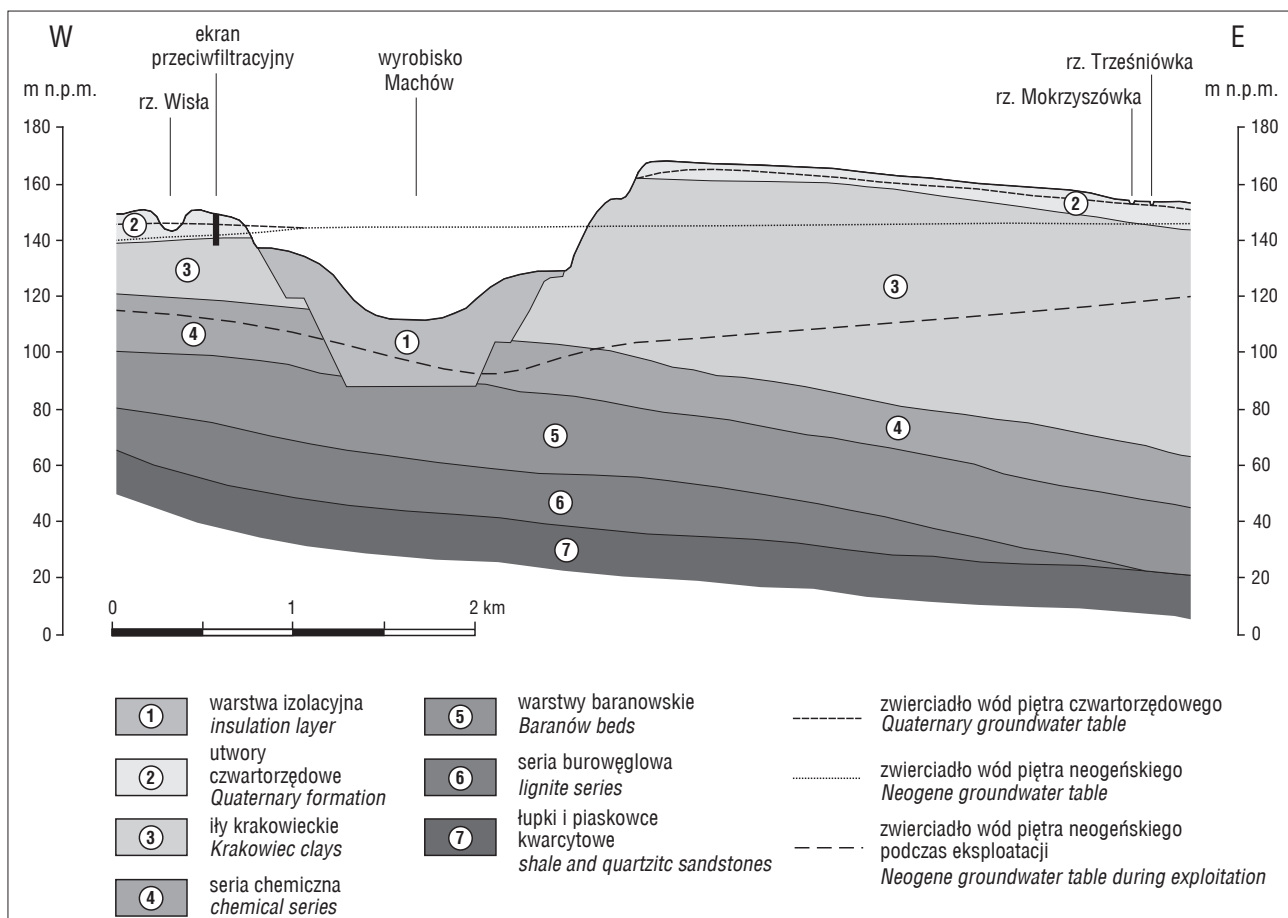
występują czwartorzędowe osady piaszczysto-żwirowe z przewarstwieniami ilasto-mułkowymi, stanowiące użytkowy poziom wodonośny.

Pierwotne warunki hydrogeologiczne zostały przekształcone w wyniku prowadzonego w latach 1970–1992 wydobycia metodą odkrywkową siarki ze złoża Machów i towarzyszącego mu odwadnianiu wyrobiska. Po zaprzestaniu eksploatacji złoża powierzchnia odkrywki wynosiła ok. 560 ha, a jej głębokość dochodziła do 110 m. Prace, prowadzone w latach 2005–2009, związane z rekultywacją terenu, wypełnieniem zabezpieczonej izolacją odkrywki wodą z Wisły oraz wyłączenie systemu odwadniania złoża doprowadziły do stabilizacji przepływów i przywrócenia warunków zbliżonych do istniejących przed rozpoczęciem eksploatacji.

Czwartorzędowy poziom wodonośny, zbudowany z utworów rzecznych i rzeczno-lodowcowych, występuje w sposób niemal ciągły (brak go w centralnej części miasta). Jego miąższość wynosi zwykle nie mniej niż 10 m, a maksymalnie dochodzi do 35 m i jest uzależniona od morfologii stropu ilów krakowieckich (Bielec i in., 2003). Zwierciadło wód ma na ogół charakter swobodny. Poziom jest pozbawiony izolacji od powierzchni terenu i zasilany poprzez bezpośrednią infiltrację wód opadowych. Przepływ wód odbywa się w kierunku Wisły oraz jej dopływu Trześniówki. Rzędne zwierciadła wody układają się na wysokościach od 145 do 168 m n.p.m., podobnie jak w okresie przed rozpoczęciem eksploatacji siarki.

Neogeńskie piętro wodonośne, związane z utworami serii chemicznej i warstwami baranowskimi tworzącymi połączony poziom wodonośny o zwierciadle naporowym, oddziela od poziomu czwartorzędowego kompleks słabo

przepuszczalnych ilów krakowieckich, których miąższość w rejonie Tarnobrzega wynosi 50–80 m i wzrasta w kierunku południowo-wschodnim. Zasilanie piętra następuje poprzez infiltrację opadów atmosferycznych na podczwartorzędowych wychodniach osadów neogenu na lewym brzegu Wisły, na zachód od linii Sandomierz–Świniary i prawdopodobnie, w rozmyciach erozyjnych w dolinie Wisły, gdzie mogą występować połączenia hydrauliczne między poziomem neogeńskim i czwartorzędowym (Perek, 1997). Właściwości hydrodynamiczne utworów wodonośnych neogenu są zróżnicowane. W przypadku serii chemicznej zależą od wielkości porowatości, głównie porowatości kawernistej (od drobnokawernistej po jaskinie). Współczynnik filtracji mieści się w przedziale 0,0003–57,4 m/d, a miąższość serii wynosi 5–15 m, średnio 10 m (Turek, 1982; Bielec i in., 2003). Właściwości filtracyjne warstw baranowskich są zależne od uziarnienia, rodzaju spoiwa i wykształcenia facjalnego. Współczynnik filtracji utworów wodonośnych waha się w przedziale 0,07–4,7 m/d dla piasków oraz 0,04–20 m/d dla piaskowców. Miąższość serii wynosi od 20 do 70 m (średnio 35 m). W obrębie piętra neogeńskiego przepływ wód odbywa się ze wschodu w kierunku niezrekultywowanej odkrywki kopalni siarki Piaseczno, położonej na lewym brzegu Wisły, wokół której jest prowadzony drenaż wód podziemnych (rzędna zwierciadła wody 135 m n.p.m.). Przed rozpoczęciem eksploatacji siarki zwierciadło wód podziemnych w rejonie Tarnobrzega stabilizowało się na rzędnych 147–151 m n.p.m., a więc podobnie jak w utworach czwartorzędowych (Turek, 1978). Pod wpływem działania systemów odwadniających wytworzył się rozległy lej depresji o promieniu ok. 8 km,



Ryc. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez obszar złoża siarki Machów (Kania, 2002)

Fig. 2. Schematic hydrogeological cross-section through the Machów sulphur deposit (Kania, 2002)

obejmujący rejon dawnych odkrywek Machów i Piaseczno. Obniżenie zwierciadła wody w rejonie odkrywki Machów osiągnęło ponad 60 m. Po utworzeniu i napełnieniu zbiornika (zwierciadło na rzędnej 145,5 m n.p.m.) oraz wyłączeniu systemu odwodnień rozpoczął się proces stabilizacji przepływów w utworach neogeńskich w warunkach zbliżonych do naturalnych, istniejących przed rozpoczęciem eksploatacji. Z prowadzonych obserwacji położenia zwierciadła wód wynika, że proces wypełniania lejki depresji zbliża się ku końcowi.

CHARAKTERYSTYKA HYDROCHEMICZNA WÓD SIARCZKOWYCH

W okresie poprzedzającym powstanie kopalni siarki Machów właściwości fizyczno-chemiczne wód piętra neogeńskiego, w którym stwierdzono występowanie wód siarczkowych, kształtowały się pod wpływem specyficznych naturalnych warunków, związanych z obecnością złóż siarki rodzimej i gipsów oraz izolacji od powierzchni terenu (Turek, 1982). Wody te cechowała naturalna zmienność – wzrostowi głębokości występowania warstwy wodonośnej, w kierunku południowo-wschodnim i południowym, towarzyszył wzrost mineralizacji wód oraz zaznaczająca się strefowość pionowa. W rejonie Tarnobrzega dominowały wody o mineralizacji w zakresie 3–15 g/dm³ i typie zmieniającym się z SO₄-Ca w Cl-SO₄-Na-Ca, w wody o mineralizacji 15–30 g/dm³ typu Cl-Na na południe i południowy wschód od Jeziora Tarnobrzskiego. Były to wody reliktowe o składzie chemicznym przeobrażonym na skutek wymiany jonowej. Wyraźnie zaznaczała się również naturalna strefowość pionowa – wzrost mineralizacji i udziału jonów Cl⁻ i Na⁺ w warstwie wodonośnej wraz z głębokością. Oszacowano, że na każde 10 m głębokości przypadał wzrost mineralizacji o 0,5–1,0 g/dm³ (Turek, 1982).

Rozpoczęcie eksploatacji złoża siarki Machów i jego intensywne odwadnianie spowodowało powstanie regionalnego lejki depresji i zaburzenie naturalnych warunków nie tylko hydrodynamicznych, lecz także hydrogeochemicznych. Rekultywacja odkrywki i zaprzestanie odwadniania poziomu neogeńskiego miały zgodnie z przewidywaniami przywrócić warunki zbliżone do naturalnych, jakie istniały przed rozpoczęciem eksploatacji (Bielec i in., 2003). Z danych pochodzących z monitoringu lokalnego, prowadzonego w latach 1997–2011, tj. przed, w trakcie i po zakończeniu prac związanych z rekultywacją obszarów kopalni Machów i jej otoczenia, wynika, że w rejonie Tarnobrzega właściwości fizyczno-chemiczne wód piętra neogeńskiego nie uległy istotnym zmianom w porównaniu ze stanem sprzed eksploatacji. Wody cechuje nadal znaczne zróżnicowanie typów chemicznych, które zmieniają się z Cl-SO₄-Ca przez Cl-SO₄-Na-(Ca) po Cl-Na (tab. 1), mineralizacji w zakresie 2–19 g/dm³ (średnio 4–18 g/dm³) oraz głównych składników wód (tab. 2). Zawartość dwuwartościowej siarki (S²⁻) waha się od 72 do 499 mg/dm³ przy wartościach średnich w poszczególnych punktach 101–373 mg/dm³. Z uwagi na obojętny lub lekko zasadowy odczyn wód S²⁻ występuje w formie siarkowodoru (H₂S) oraz siarczku wodoru (HS⁻). Z wykonywanych w ramach monitoringu lokalnego w latach 2002–2011 dodatkowych oznaczeń wynika, że zawartość H₂S w wodach w rejonie Tarnobrzega osiąga na ogół 40–60% wartości stężenia S²⁻.

Dane hydrochemiczne charakteryzują się dużą zmiennością wartości w czasie, jednak nie wykazują znaczących

statystycznie tendencji zmian (przy zastosowaniu metody regresji liniowej). Również analiza serii danych, w podziale na pochodzące sprzed wypełniania wodą kopalni Machów (11.1997–06.2005) oraz z okresu w trakcie jej napełniania i po zakończeniu prac (07.2005–02.2011), nie wykazała zmian zależności lub trendów. Największą stabilnością składu chemicznego cechowały się wody ujęte w punktach monitoringu lokalnego Pt-25 i Pt-26, które były zlokalizowane na północ lub wschód od wyrobiska kopalni Machów.

Z danych hydrochemicznych z lat 1997–2011 wynika, że zaznacza się nadal obserwowana w warunkach naturalnych strefowość hydrochemiczna. Najwyższa mineralizacja wód oraz najwyższy udział jonów Cl⁻ i Na⁺ w ich składzie charakteryzuje obszar położony na południe i południowy wschód od Jeziora Tarnobrzskiego (Pt-17 i Pt-43).

Według prognozy zmian warunków hydrochemicznych, opartych na modelu matematycznym, likwidacja kopalni siarki nie powinna wpłynąć znacząco na jakość wód podziemnych.

Przewiduje się, że w perspektywie 50 lat od zakończenia rekultywacji odkrywki Machów stężenia chlorków w wodach podziemnych piętra neogeńskiego mogą wzrosnąć do 15, a siarczanów do 40 mg/dm³ (Kania, 2002).

Wody piętra czwartorzędowego, na ogół zwykłe lub słonawe, są zróżnicowane pod względem składu chemicznego oraz pozbawione istotnych stężeń jonów S²⁻ (Kania, 2002; Bielec i in., 2003). Z danych archiwalnych wynika, że ich mineralizacja mieści się zwykle w zakresie 0,1–4,0 g/dm³, w pojedynczych przypadkach sięgając ponad 9,0 g/dm³. Są one również bardzo zróżnicowane pod względem typów chemicznych: HCO₃-SO₄-Ca, SO₄-HCO₃-Ca-(Mg), SO₄-Ca-Mg. Poziom wodonośny jest narażony na bezpośredni dopływ zanieczyszczeń z uwagi na brak izolacji od powierzchni terenu. Podwyższona mineralizacja wód oraz znaczący udział jonów Cl⁻ i SO₄²⁻ wskazuje na ogół na kontaminację, związaną z prowadzoną w rejonie wcześniejszą działalnością górnictwem lub przetwórstwem siarki, a niekiedy również na mieszanie się wód piętra czwartorzędowego i neogeńskiego. W wodach piętra czwartorzędowego może sporadycznie występować H₂S.

MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA WÓD SIARCZKOWYCH

Wody siarczkowe znajdują zastosowanie w balneoterapii i służą leczeniu schorzeń ortopedyczno-urazowych i reumatologicznych, narządu ruchu, układu nerwowego, skóry, kardiologicznych i nadciśnienia oraz osteoporozy. Bywają również wykorzystywane do celów rozlewniczych oraz wytwarzania produktów zdrowych i parafarmaceutyków.

Wody piętra neogeńskiego, występujące w rejonie Tarnobrzega, spełniają podstawowe wymagania stawiane wodom leczniczym w ustawie Prawo geologiczne i górnicze (Ustawa, 2011; Pgg), co potwierdzają wyniki laboratoryjnych oznaczeń właściwości fizyczno-chemicznych wykonanych w latach 1997–2011. Po przeprowadzeniu szczegółowych badań prawdopodobnie mogą one być wykorzystywane do celów balneoterapeutycznych. Wody te cechują się wystarczająco wysoką zawartością rozpuszczonych składników stałych oraz S²⁻, których ilość, zgodnie z ww. ustawą, nie powinna być mniejsza niż odpowiednio 1000 mg/dm³ i 1 mg/dm³. Należy również zwrócić uwagę, że nie przeprowadzono dotychczas badań zawartości jonu

Tab. 2. Parametry statystyczne wód podziemnych piętra neogeńskiego (źródło danych: baza MWP)

Table. 2. Statistical parameters of the Neogene aquifers (source of data: database MWP)

Składnik Component	Cecha statystyczna Statistical feature	Pt-7	Pt-17	Pt-25	Pt-26	Pt-43	O-22
SSR Substancje Stałe Rozpuszczone Dissolved solids	liczebność / quantity	39	36	39	39	40	16
	minimum / minimum	1880	11 030	6220	3474	5246	4799
	średnia arytmetyczna arithmetic average	4184	17 589	7038	4690	11 928	6734
	maksimum / maximum	5454	19 800	8026	6040	22 010	8022
pH	liczebność / quantity	39	36	39	39	39	15
	minimum / minimum	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,6
	średnia arytmetyczna arithmetic average	7	7,6	6,9	6,9	6,9	7,1
	maksimum / maximum	7,2	8,7	7,7	7,5	7,4	9,2
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	liczebność / quantity	39	35	39	39	39	15
	minimum / minimum	143	171	569	291	601	32
	średnia arytmetyczna arithmetic average	386	397	665	386	731	376
	maksimum / maximum	752	701	827	551	942	621
Na ⁺ [mg/dm ³]	liczebność / quantity	39	36	39	39	39	16
	minimum / minimum	1880	5098	1175	920	2768	1067
	średnia arytmetyczna arithmetic average	4182	6068	1643	1192	3497	1993
	maksimum / maximum	5455	6500	1988	1525	7680	2370
Cl ⁻ [mg/dm ³]	liczebność / quantity	39	36	39	39	40	16
	minimum / minimum	496	8645	1610	1050	1963	1650
	średnia arytmetyczna arithmetic average	1396	9893	2007	1352	4774	3047
	maksimum / maximum	2155	10 920	2384	1808	10500	4396
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	liczebność / quantity	38	36	39	39	40	14
	minimum / minimum	444	4	1900	750	1361	172
	średnia arytmetyczna arithmetic average	914	43	2145	1335	2488	384
	maksimum / maximum	1370	131	2436	1826	3160	1135
S ²⁻ [mg/dm ³]	liczebność / quantity	39	36	39	38	40	16
	minimum / minimum	72	76	95	68	69	98
	średnia arytmetyczna arithmetic average	117	243	145	101	133	373
	maksimum / maximum	153	491	288	160	232	499

jodkowego I⁻, który podobnie jak S²⁻ decyduje o właściwościach leczniczych wód, i obecność którego w rejonie Tarnobrzega jest wysoce prawdopodobna.

Zgodnie z ustawą Pgg wody lecznicze powinny charakteryzować się również brakiem zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych oraz naturalną zmiennością cech fizycznych i chemicznych. Ustawa nie definiuje w prawdzie zakresu zmienności, lecz z uwagi na znaczenie właściwych proporcji pomiędzy składnikami wód wykorzystywanych do celów leczniczych należy przyjąć, że powinna ona być możliwie niewielka. Zmienność właściwości wód w rejonie Tarnobrzega (tab. 2) pozwala wstępnie wnioskować, że predysponowane do lokalizacji ujęć wód siarczkowych, przeznaczonych do zastosowania w lecznictwie, są obszary położone pomiędzy Tarnobrzegiem a Jeziorem Tarnobrzeskim oraz na wschód od zbiornika. W zlokalizowanych tam, obecnie zlikwidowanych, punktach monitoringowych (Pt-25 i Pt-26) stwierdzono stosunkowo

najmniejszą zmienność właściwości fizyczno-chemicznych. Głębokość ujęć ulokowanych w tym rejonie nie powinna przekroczyć 120 m. Biorąc pod uwagę mineralizację i skład chemiczny wody, nie należałoby wykluczać ujęcia wód potencjalnie leczniczych na obszarze położonym na południe od Jeziora Tarnobrzeskiego, gdzie stwierdzono na głębokości do 140 m występowanie wód (Pt-17) o mineralizacji i typie chemicznym zbliżonym do wód leczniczych rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju (tab. 3, por. tab. 1) (Lisik, Szczepański, 2014). Ponadto jest to obszar szczególnie perspektywiczny dla ujęcia wód jodkowych.

Przy wyborze lokalizacji ujęcia wód siarczkowych należałoby również uwzględnić spodziewaną zawartość H₂S, który w dużych stężeniach jest gazem toksycznym. Przyjmuje się, że w wodach stosowanych do celów leczniczych jego zawartość nie powinna przekraczać 50 mg/dm³, z uwagi na toksyczność gazu występującego w dużych stężeniach.

Tab. 3. Złoża leczniczych wód siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju

Table. 3. Sulphurous water deposits in the area of Busko-Zdrój and Solec-Zdrój

Miejscowość Locality	Wiek poziomu wod. Age of water level	Liczba ujęć Number of intakes Głębokość Depth [m]	Typ chemiczny wody Chemical type of water Mineralizacja Mineralization [g/dm ³]	H ₂ S [mg/dm ³]	Zasoby eksploatacyjne Operating resources [m ³ /h]
Busko-Zdrój	K ₂	10 55–663	Cl–Na–(Ca), I, S, Fe Cl–Na, I, F, Fe, (S) 11–72	<1–67	31,75
Dobrowoda	Ng–K ₂ –J ₃	1 300	Cl–(SO ₄)–Na, I, S 14	45–98	8,00
Las Winiarski	K ₂	2 163–165	Cl–Na, I, S 13–14	34–57	3,11
Solec-Zdrój	K ₂	3 121–170	Cl–(SO ₄)–Na, I, S 15–20	12–340	0,96
Wielmin	J ₃	1 170	Cl–Na, S, I 31–40	640–960	3,00

PODSUMOWANIE

Rejon Tarnobrzega jest obszarem perspektywicznym dla ujmowania zmineralizowanych wód siarczkowych, występujących w utworach neogenu, i zagospodarowania ich w balneoterapii. Szczegółowe badania właściwości fizyczno-chemicznych wód przeprowadzono w latach 1997–2011, w ramach monitoringu lokalnego utworzonego wokół rekultywowanego wyrobiska kopalni siarki Machów. Z dostępnych danych wynika, że długotrwałe odwadniania górotworu, związane z odkrywkową eksploatacją siarki ze złoża Machów i zatłaczanie gorących par i wód w celu eksploatacji surowca metodą wytopu podziemnego ze złoża Jeziórko, nie spowodowało istotnych zmian właściwości fizyczno-chemicznych wód poziomu neogennego. Wody te charakteryzują się dość zróżnicowanym składem chemicznym, który cechował je również przed rozpoczęciem eksploatacji siarki, i reprezentują różne typy chemiczne: Cl–SO₄–Ca, Cl–SO₄–Na–(Ca), Cl–Na. Cechuje je także wysoka mineralizacja, wynosząca przeważnie 4–18 g/dm³, oraz zawartość S²⁻ rzędu 100–400 mg/dm³. Wartości te odpowiadają wymaganiom stawianym wodom leczniczym w ustawie Pgg. Jednoznaczne zakwalifikowanie tych wód do kopalni wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań. Obszary położone na północ lub wschód od Jeziora Tarnobrzkiego są predysponowane do zlokalizowania ujęcia zmineralizowanych wód siarczkowych, z uwagi na stosunkowo niewielką zmienność właściwości fizyczno-chemicznych.

Rekultywacja obszarów pogórnich i przemysłowych w rejonie Tarnobrzega, w szczególności utworzenie Jeziora Tarnobrzkiego, stwarza warunki dla uruchomienia ponadlokalnego ośrodka rekreacyjno-wypoczynkowego. Dodatkowa oferta usług o charakterze prozdrowotnym lub leczniczym, przy uwzględnieniu rosnącego zapotrzebowania społecznego na terapię wykorzystującą naturalne surowce lecznicze i rozwijającej się turystyki uzdrowiskowej, powinny przyczynić się do wzrostu zainteresowania tym regionem oraz jego rozwoju gospodarczego.

Autorzy pragną podziękować Recenzentom za cenne uwagi, które przyczyniły się do nadania ostatecznego kształtu artykule, a także Dyrekcji Kopalni Siarki „Machów” S.A. za przekazane wyniki analiz składu chemicznego wody, które zostały wykorzystane w powyższym artykule.

LITERATURA

- BIELEC B., HAŁADUS A., KANIA J., KIREJCZYK J., KULMA R., OSTROWSKI R., PANTULA Z., SZCZEPAŃSKA J. 2003 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne likwidowanego zakładu górniczego odkrywkowej kopalni siarki Machów. SIGMA BP Sp. z o.o., Tarnobrzeg.
- BUREK J. 1954 – Dokumentacja geologiczna złoża siarki kat. C2 w Tarnobrzegu. Narodowe Archiwum Geologiczne, nr 4633/161, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A. 2015 – Wykształcenie, stratygrafia i środowiska depozycji utworów pogranicza badenu i sarmatu z SW otoczenia Gór Świętokrzyskich – profile otworów badawczych Busko (Młyny) PIG-1 i Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1. Biul. Państw. Inst. Geol., 461: 9–52.
- HAŁADUS A., KULMA R. 1996 – Aktualizacja wyników dotychczas wykonanych badań modelowych dla wyrobisk poeksploatacyjnych Machów i Piaseczno z uwzględnieniem harmonogramu skojarzonej ich likwidacji. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- KANIA J. 2002 – Wpływ likwidacji kopalni odkrywkowych siarki na zmiany stosunków wodnych w ich otoczeniu. Biul. Państw. Inst. Geol., 403 (3): 5–61.
- KOWALIK J., WÓJTOWICZ J. 1990 – Dokumentacja geologiczna w kat. B+C1 złoża siarki rodzimej Machów I (odkrywka). Narod. Arch. Geol., PIG-PB, Warszawa, nr 1052/91.
- KULMA R., HAŁADUS A., KIREJCZYK J., KANIA J. 1997 – Wpływ projektowanego zbiornika wodnego w wyrobisku poeksploatacyjnym siarki w Machowie k. Tarnobrzega na wody podziemne. Gosp. Sur. Miner., 13 (2): 263–272.
- LISIK R., SZCZEPAŃSKI A. 2014 – Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpackiego. Wyd. Fundacja POSTERIS, Kielce.
- PEREK M. 1997 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 arkusz Tarnobrzeg (888) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PISKORZ S., NOWAK K., WÓJTOWICZ J., MOLENDĄ B. 1982 – Dokumentacja geologiczna w kat. B+C1+C2 złoża siarki rodzimej Machów. Arch. Przedsiębiorstwa Geol. w Kielcach, nr Z/1350.
- ROMANIEC E., NIEMCZYK J., BOBOWSKA M. 1964 – Dokumentacja geologiczna złoża siarki rodzimej Tarnobrzeg-Machów. Narod. Arch. Geol., PIG-PIB, Warszawa, nr 5203a.
- SEKIEWICZ J., ZAWADZKI J. 1972 – Wpływ eksploatacji otworowej na zmiany chemizmu wód w rejonie złoża siarki. Prz. Geol., 20 (7): 333–336.
- SMUSZKIEWICZ A. 1969 – Chemizm wód trzeciorzędowych rejonu Machowa. Kwart. Geol., 13 (3): 629–642.
- SOKOŁOWSKI J., SOCHA M., FELTER A., STOŻEK J. 2016 – Studium możliwości występowania i wykorzystania wód leczniczych i termalnych w Tarnobrzegu. PIG-PIB, Warszawa.
- TUREK S. 1965 – Charakterystyka hydrochemiczna wód poziomu trzeciorzędowego w rejonie Tarnobrzega na tle obszaru środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Przewodnik XXXVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego w Tarnobrzegu. Wyd. Geol., Warszawa.
- TUREK S. 1977 – Własności hydrogeologiczne osadów piaszczystych warstw baranowskich w rejonie Tarnobrzega. Biul. Inst. Geol., 21: 203–215.
- TUREK S. 1978 – Ciśnienie oraz własności fizyczne i chemiczne wód mioceńskiego poziomu wodonośnego w rejonie Tarnobrzega przed eksploatacją złoża siarki. Biul. Inst. Geol., 309 (13): 189–209.
- TUREK S. 1982 – Własności hydrogeologiczne osadów chemicznych na obszarze złoża siarki w rejonie Tarnobrzega. Biul. IG, 309 (6): 5–40.
- USTAWA z dn. 9.06.2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2016 r. poz. 1131, j.t.