INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

Nr 2/2/2006, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 51–64
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Ewelina Milijanović, Stefan Satora

WPŁYW BUDOWY GEOLOGICZNEJ NA WYSTĘPOWANIE WÓD MINERALNYCH W ROWIE TEKTONICZNYM KRZESZOWIC

Streszczenie

Występowanie wód mineralnych w różnych rejonach Polski związane jest z określoną budową geologiczną, która często uzależniona jest od warunków tektonicznych. Taka właśnie sytuacja panuje w rowie tektonicznym Krzeszowic k. Krakowa, gdzie na tektonicznie zaburzonych skałach paleozoicznych i mezozoicznych stanowiących podłoże osadziły się morskie kenozoiczne utwory wieku trzeciorzędowego-mioceńskiego, zawierające nie tylko iły, ale także osady chemiczne siarczanowe i chlorkowe (gipsy, anhydryty i hality). Wody infiltracyjne, opadowe wnikające w te osadowe skały chemiczne podczas długotrwałego okresu ługowania podlegają mineralizacji, stając się wodami mineralnymi o zawartości substancji mineralnej powyżej 1000 $mg \cdot dm^{-3}$. Wodami mineralnymi zalegającymi w omawianym rejonie są mioceńskie siarczanowo-wapniowo-magnezowe wody wypływające w źródłach „Zdrój Główny" i „Zofia" i ujęte studniami R-1 i R-2 oraz jurajsko-kredowe wody chlorkowo-siarczanowo-sodowe występujące w studni S-2.

Płytsze mioceńskie wody mineralne są wodami infiltracyjnymi o bardzo długim okresie krążenia (ponad 50 letnim). Występujące w nich jony siarczanowe, wapnia i siarkowodór pochodzą z procesów rozpuszczania mioceńskich utworów gipsowych, z wtórnymi zmianami związanymi z występowaniem bardziej redukcyjnych warunków środowiska.

Wody głębszego poziomu, jurajsko-kredowego są starsze od wód płytszego mioceńskiego poziomu. Ich mineralizacja przypuszczalnie jest związana z domieszkami wody wznoszącej się pod wpływem różnicy ciśnienia hydrostatycznego z utworów karbonu produktywnego.

Wydajności ujęć mioceńskich kształtują się w zakresie 0,2–22,7 $m^3 \cdot h^{-1}$, natomiast studni jurajsko-kredowej 0,6 $m^3 \cdot h^{-1}$.

Słowa kluczowe: budowa geologiczna, rów tektoniczny, wody podziemne, wody mineralne

WPROWADZENIE

Nie każda wydobywana z głębi Ziemi woda ma właściwości fizykochemiczne, które mogą wywierać pozytywny wpływ na organizm człowieka. Spośród występujących w niej składników znaczenie fizjologiczno-odżywcze ma dziesięć jonów, z których największe mają jony wapnia, magnezu i siarczanowe. Są one niezbędne do prawidłowego rozwoju organizmu lub wywierają na niego leczniczy wpływ. Właściwości lecznicze wód mineralnych znane były już w starożytności. W Polsce pierwsze wzmianki na temat wód mineralnych pochodzą z dzieła nadwornego lekarza Stefana Batorego z 1557 r. Krzeszowickie wody mineralne występujące w tektonicznym rowie Krzeszowic k. Krakowa mają ponad dwustuletnią tradycję uzdrowiskową i swoje szczególne właściwości zawdzięczają charakterystycznej budowie geologicznej, z którą są związane oraz panującymi warunkami tektonicznymi, które umożliwiły ich powstanie. Warunki występujące w trzeciorzędzie-miocenie sprzyjały rozwojowi sedymentacji salinarnej, w wyniku której powstały znane w całej Polsce złoża soli kamiennej w Baryczy, Bochni, Łężkowicach i Wieliczce. W wyniku tej samej sedymentacji doszło też do utworzenia złóż gipsu, które miały kluczowe znaczenie w genezie krzeszowickich wód mineralnych. Artykuł ma na celu ustalenie wpływu budowy geologicznej okolic Krzeszowic na występowanie w rowie tektonicznym określonego typu wód mineralnych.

CEL, ZAKRES I METODYKA

Celem opracowania jest charakterystyka budowy geologicznej i warunków tektonicznych występujących w rejonie lokalizacji rowu zapadliskowego Krzeszowic oraz ustalenie ich wpływu na występowanie wód mineralnych, których skrócona charakterystyka jakościowa będzie też przedstawiona. Zakresem pracy objęto rejon występowania wód mineralnych, który stanowi miasto Krzeszowice oraz część rowu zapadliskowego Krzeszowic w najbliższym otoczeniu miasta. Przedstawione wyniki analiz fizykochemicznych wód mineralnych źródeł oraz ujętych studniami wierconymi wykonane były w latach 1965–2002. Materiały wykorzystane do publikacji pochodzą z prac drukowanych przedstawionych w rozdziale bibliografia, z pracy magisterskiej współautorki opracowania oraz z wykonanych przez nią wizji i badań terenowych.

CHARAKTERYSTYKA TERENU

Miasto Krzeszowice obejmuje powierzchnię 16,9 km^2 i liczy 11 tys. mieszkańców, wchodzi w skład powiatu krakowskiego, który jest częścią województwa małopolskiego. Krzeszowice położone 25 km na zachód od Krakowa czasami nazywane są jego „satelitą".

Równoleżnikowo przebiegający rów krzeszowicki przechodzący przez miasto rozciąga się od Dulowej, gdzie łączy się z zapadliskiem chrzanowsko-dulowskim aż do Krakowa, gdzie łączy się z zapadliskiem przedkarpackim [Płonczyński, Łopusiński,1993]. Przeciętna wysokość dna rowu waha się w granicach 260–280 m n.p.m., a głębokość w stosunku do ograniczających go od północy i południa wysoczyzn wynosi maksymalnie 200 m. Obszar Krzeszowic jest terenem, w którym występują elementy rzeźby zrębowej, krasowej i fluwialnej. Rów krzeszowicki od północy ograniczony jest Wysoczyzną Czatkowicką (400–450 m n.p.m.). Od tej strony wznoszą się widoczne z Krzeszowic wzgórza: Miękińska Góra (446 m n.p.m.), Bartlowa Góra (342 m n.p.m.) oraz dalej na wschód ciągnie się masyw Marmurowych Wzgórz. Teren charakteryzuje się pofalowaną powierzchnią, silnie pociętą prostopadłymi dolinkami potoków, które spływają w kierunku rowu. W okolicach Krzeszowic są to doliny: Miękini, Czernki i Eliaszówki, o charakterze jarów dochodzących do kilkudziesięciu metrów głębokości [Alexandrowicz 1965]. W obrębie dna rowu krzeszowickiego (250–300 m n.p.m.) wyróżniamy dwie terasy rzeczne: plejstoceńską, zbudowaną z lessów o wysokości 2–6 m oraz holoceńską – z otoczaków piaskowcowych. W granicach Krzeszowic występuje tylko terasa plejstoceńska. Miasto położone jest w płaskim dnie rowu, a tylko północno-zachodnia część na terenie o nieco bardziej urozmaiconej rzeźbie. Na obszarze ziemi krzeszowickiej możemy spotkać się z rzeźbą krasową w postaci suchych dolin, lejów i żłobków. Głębokie jary krasowe rozcinają zbocza rowu Krzeszowic, tworząc malownicze dolinki: Kluczwoda, Bolechówka i Kobylanka. Na ukształtowanie omawianego terenu oprócz procesów naturalnych miał również wpływ człowiek. Obecny krajobraz świadczy o tym jak duże znaczenie dla życia i gospodarki ludzkiej przedstawia rzeźba. W krzeszowickim krajobrazie zaznaczają się liczne kamieniołomy – wapienia w Czatkowicach, dolomitów w Dubiu, „marmurów" w Dębniku, diabazów w Niedźwiedziej Górze czy porfirów w Zalasiu, które rozcinają większość skalistych wzgórz oraz kopalnie – węgla kamiennego w Tenczynku i Filipowiczach [Milijanović 2006].

RYS HISTORYCZNY UZDROWISKA

Pierwszą pochodzącą z roku 1625 informację o wodzie krzeszowickiej „jako pomocnej w wielu chorobach" sporządził ówczesny proboszcz Krzeszowic, Bernard Bocheński w swoich kronikach. Rozwój uzdrowiska rozpoczął się w drugiej połowie XVIII wieku, kiedy to dr Jan Gotfryd Leonhardi, na zlecenie księcia Augusta Czartoryskiego, przeprowadził badania geologiczne rejonu Krzeszowic oraz dokonał badań właściwości wody siarczanowej. Około 1770 roku polecił on ocembrować wypływ źródła mineralnego nazwanego „Zdrój Główny". Następnym lekarzem przybyłym do Krzeszowic był dr de Lafontaine, który jako pierwszy opisał własności lecznicze wód krzeszowickich i same Krzeszowice w swojej pracy pt. „Opisanie skutków i użycia ciepłych siarczystych i zimnych żelaznych kąpieli w Krzeszowicach". W latach dwudziestych XVIII wieku w zachodniej części Krzeszowic odkryto nowe źródło wody siarczanowej, nazwane przez dra Józefa Dietla „Zofia" [Motyka i in. 2003]. W 1928 roku Krzeszowice uzyskały status uzdrowiska. W 1964 roku reaktywowano nieczynne ujęcia wody siarczkowej i solanki na zlecenie Kopalni Węgla Kamiennego „Siersza". Podjęto również budowę nowych ujęć, których realizacja nastąpiła w latach 1965–1966. Odwiercono wówczas otwory S-2, R-1 oraz R-2 i rozpoczęto działalność balneologiczną dla potrzeb kopalni „Siersza". Od października 2000 roku ośrodek uzdrowiskowy działa jako Samodzielny Zakład Opieki Zdrowotnej – Ośrodek Rehabilitacji Narządu Ruchu „Krzeszowice".

BUDOWA GEOLOGICZNA I TEKTONIKA TERENU

Obszar Krzeszowic leży w obrębie monokliny śląsko-krakowskiej, sąsiadującej z Karpatami, reprezentującymi pasmo alpejskie i oddzielonymi od niej zapadliskiem przedkarpackim. Monoklina jest to wypiętrzona w stosunku do otoczenia płyta, zapadająca na północny wschód i zanurzająca się ku południowi pod Karpaty. Jej geneza związana jest z laramijskimi ruchami górotwórczymi, mającymi miejsce na przełomie kredy i trzeciorzędu [Gradzinski 1974]. Jednostkę tę budują skały dewonu, karbonu, permu, triasu, jury, kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu. Najstarszymi skałami występującymi w obrębie monokliny śląsko-krakowskiej są utwory dewońskie i zaliczyć do nich można wapienie, dolomity i margle. W okresie karbonu w okolicach Dębnika tworzyły się wapienie węglowe.

W okolicach Krzeszowic stwierdza się występowanie licznych skał magmowych. Większość z nich to skały wylewne o charakterze potoków lawowych: melafiry w Rudawie, porfiry w Miękini, a także diabaz a Niedźwiedziej Góry. Ich wiek jest określany na przełom karbonu górnego i permu. W permie tworzyły się wapienie słodkowodne. Ich odsłonięcia możemy spotkać między Krzeszowicami a Trzebinią, w Filipowicach, Karniowicach i Myślachowicach. W dolnym trasie osadzały się utwory węglanowe, piaski i iły w środowisku przybrzeżnym, częściowo lądowym. Z początkiem jury środkowej sedymentowały piaski, wapienie piaszczyste, margle, żwiry, zlepieńce oraz iły z glaukonitem i fosforytami.

W miocenie doszło do transgresji morza i sedymentacji piasków, zlepieńców i iłów. Była ona związana z silną tektoniką uskokową, która miała decydujący wpływ na morfologię omawianego terenu [Gradziński 1974]. W dolnym tortonie doszło do transgresji morskiej zalewającej cały obszar krakowski. Charakterystycznymi osadami pochodzącymi z tego okresu są iły, zalegające obecnie głównie na terenach zapadliskowych, w rowie przedgórskim na przedpolu Karpat. W okresie przypadającym na koniec dolnego tortonu doszło do spłycenia morza, powstały warunki sprzyjające sedymentacji chemicznej. Lokalnie zaczęły się wytrącać gipsy, anhydryty, a także sól kamienna. Kompleks niebieskich i szarych naprzemianległych iłów, cienkoławicowych pelitycznych gipsów, dzięki systemowi szczelin, powiększonych procesami krasowymi, stał się dobrym źródłem mineralizacji wód siarczanowych Krzeszowic [Bogacz 1965, 1967]. W miocenie skały monokliny śląsko-krakowskiej, stanowiąc sztywną bryłę, pękają wzdłuż licznych powierzchni uskokowych. Powstają wtedy zapadliska i zręby tektoniczne, których brzegi często przebiegają równolegle do siebie, tworząc uskoki schodowe. Zrzuty pojedynczych uskoków zawierają się w granicach od kilkunastu centymetrów do kilkudziesięciu metrów. Morze mioceńskie wkroczyło na obszar monokliny jeszcze w czasie trwania zaburzeń tektonicznych. Pochodzące z tego okresu iły wypełniają dna praktycznie wszystkich większych zapadlisk trzeciorzędowych, a gdzieniegdzie występują również na formach wyniesionych [Gradziński 1974; Rutkowski 1986]. Najważniejszą trzeciorzędową jednostką tektoniczną jest rów krzeszowicki, rozpoczynający się w okolicach Dulowej i ciągnący się ku zachodowi od okolic Zabierzowa ku południowemu wschodowi, aż do wzniesienia Pasternika. Pod względem tektonicznym zapadlisko ciągnie się dalej, w okolicach Krakowa i Nowej Huty łączy się z zapadliskiem przedkarpackim.

W zachodniej części rowu jego krawędzie uskokowe są wyraźnie zaznaczone, natomiast przechodząc ku części wschodniej zaczynają się zacierać, szczególnie na brzegu północnym. Ku zachodowi rów Krzeszowic przechodzi w szeroką Nieckę Dulowską, związaną z orogenezą waryscyjską. Północny brzeg niecki stanowi przedłużenie krawędzi rowu i ma charakter uskokowy.

Omawiany obszar w czwartorzędzie-plejstocenie objęty był jedynie zlodowaceniem południowopolskim, sięgającym nawet w głąb Karpat, po którym pozostały typowe osady polodowcowe, czyli gliny morenowe i ich rezydua [Gradziński 1974; Rutkowski 1986].

W okolicach Krzeszowic występują gliny zwałowe w postaci izolowanych płatów o barwie żółtobrązowej, czasami szaroniebieskiej. Ich podłoże w Niecce Dulowskiej stanowią iły miocenu, a w pozostałych miejscach utwory miocenu, jury, permu i karbonu.

Osady zlodowacenia środkowopolskiego to przede wszystkim utwory fluwioglacjalne i aluwialne w postaci piasków i żwirów. Piaski fluwioglacjalne występują w rowie krzeszowickim. Utwory pochodzące ze zlodowacenia północnopolskiego stanowią na omawianym obszarze mułki, piaski i żwiry tarasów nadzalewowych oraz lessy.

Osady młodszej części czwartorzędu czyli holocenu występują wyłącznie w dolinach rzek i zagłębieniach terenu. W rejonie Krzeszowic osady rzeczne tarasów zalewowych stanowią piaski, żwiry, mułki oraz iły.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Na obszarze Krzeszowic występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, trzeciorzędowe i jurajsko-kredowe. Najniższe piętro jurajsko-kredowe zalega w utworach marglistych, marglisto-piaszczystych i piaszczysto-żwirowych kredy oraz w spękanych i skrasowiałych wapieniach górnej jury. Te ostatnie są dobrym poziomem wodonośnym tworząc poziom wód jurajsko-kredowych. Jest on izolowany od poziomu gipsowego warstwą nieprzepuszczalnych iłowców [Tomaszewska 2003; Motyka i in. 2003].

Szczelinowatość tych warstw maleje wraz z głębokością. Współczynnik filtracji omawianych warstw charakteryzuje się dużą zmiennością: od $5 \cdot 10^{-8}$ do $6{,}1 \cdot 10^{-3}$ $m \cdot s^{-1}$.

Z hydrogeologicznego punktu widzenia utwory kredy mają znaczenie drugorzędne ze względu na występowanie ich w postaci

niewielkich, o małej miąższości, izolowanych płatów, a także charakter litologiczny [Bogacz 1967]. Wody tego poziomu ujęte są na omawianym terenie otworem S-2 o głębokości 85 m zasilanym z poziomu piaszczysto-żwirowego. Jest on zlokalizowany w pobliżu zlikwidowanego w 1965 roku przez zaiłowanie otworu S-1, z którego przed II wojną światową eksploatowano wodę chlorkową. Ustabilizowane zwierciadło wody w tym otworze zalega na głębokości 5,36 m p.p.t., natomiast zasoby dyspozycyjne przy depresji wynoszącej 2,33 m wynoszą 0,69 $m^3 \cdot h^{-1}$ [Motyka i in. 2003]. Ujęte otworem wody są typu chlorkowo-siarczanowo-sodowego o mineralizacji 3,1 $g \cdot dm^{-3}$.

Krzeszowickie wody siarczkowe związane są z występowaniem niebieskich iłów, cienkoławicowych, bardzo często cienko laminowanych gipsem południowej facji miocenu. Warstwa wodonośna ma charakter szczelinowy, ograniczona jest spągiem zbudowanym z nieprzepuszczalnych iłowców marglistych górnego opolu i stropem, który budują iły miocenu. Jej miąższość jest rzędu ok. 20 m, lecz lokalnie może osiągać 30 m.

Obecność spękań, większych szczelin oraz rozmyć krasowych, w postaci wygładzenia powierzchni szczelin w gipsach umożliwia krążenie i akumulację wód mineralnych [Bogacz 1967]. Zasilanie tego horyzontu odbywa się przez infiltrację wód powierzchniowych poprzez utwory czwartorzędowe i serię łupków do serii gipsowej oraz na wychodniach serii gipsowej w kierunku na północny wschód od Krzeszowic i na obszarze północnego obniżenia rowu krzeszowickiego. Współczynnik filtracji omawianego poziomu wynosi $2,7 \cdot 10^{-5}$ $m \cdot s^{-1}$. Wody tej warstwy charakteryzują się podwyższoną mineralizacją, rzędu 3,0 $g \cdot dm^{-3}$. Na podstawie klasyfikacji Alowskiego-Szwieca możemy je uznać za siarczanowo-wapniowo-magnezowe, siarczkowe [Tomaszewska 2003]. Wody mineralne tego poziomu ujęte są dwoma odwiertami „Zdrojem Głównym" oraz R-2. Zasoby eksploatacyjne „Zdroju Głównego" wynoszą 1,61 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 2,3 m. Otwór R-2 ujmuje wodę mineralną z głębokości 10,8 m, której zwierciadło podniosło się do głębokości 0,3 m p.p.t. Zasoby eksploatacyjne tego odwiertu wynoszą 4,3 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 2,3 m. Wydajności nieujętych źródeł wynoszą 0,5-0,9 $m^3 \cdot h^{-1}$ [Motyka i in. 2003].

GENEZA WÓD MINERALNYCH

Wykonane analizy hydrogeochemiczne potwierdzają, że zasilanie wód trzeciorzędowych następuje poprzez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych na wychodniach serii gipsowej oraz pośrednio przez utwory czwartorzędowe i serię gipsów [Motyka i in. 2003]. Wychodnie kompleksu gipsów, iłowców gipsowych i iłów występują we wschodniej części Krzeszowic. Jony siarczanowe, wapnia i siarkowodór w trzeciorzędowych wodach krzeszowickich pochodzą z procesów rozpuszczania mioceńskich utworów gipsowych, z wtórnymi zmianami wynikającymi z występowania bardziej redukcyjnych warunków środowiska. Rozwój procesów desulfatyzacji, czyli redukcji siarczanów, odbywających się bardzo często przy udziale bakterii, prowadzi do częściowej redukcji siarczanów i wzbogacania wód podziemnych w siarkowodór [Tomaszewska 2003]. Stwierdzono również, że w procesie nasycania wód siarczanami i wapnem, biorą udział również inne niż rozpuszczanie gipsu silne procesy. Zaliczyć do nich można głównie rozpuszczanie minerałów kalcytu, dolomitu i wapnia. Nie stwierdzono związku między stężeniem jonów siarczanowych a obecnością siarkowodoru. Badania izotopowe przeprowadzone przez Międzyresortowy Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie wykazały, że wody lecznicze eksploatowane ze „Zdroju Głównego" charakteryzują się niską zawartością radiowęgla oraz brakiem trytu. Oznacza to, że mamy do czynienia z wodą zasilaną przed 1954 r. (przed rozpoczęciem prób termojądrowych). Dodatkowo badania wykazały, że wody lecznicze „Zdroju Głównego" są pochodzenia infiltracyjnego i nie zawierają domieszki współczesnych wód infiltracyjnych.

Wody głębszego poziomu, jurajsko-kredowego są starsze od wody płytszego poziomu, najprawdopodobniej co najmniej wieku plejstoceńskiego. Ich mineralizacja przypuszczalnie jest związana z domieszkami wody wznoszącej się pod wpływem różnicy ciśnienia hydrostatycznego z utworów karbonu produktywnego [Motyka i in. 2003]. Wody chlorkowe wykazują cechy wód reliktowych środkowej strefy hydrochemicznej, która charakteryzuje się warunkami ułatwionej wymiany.

CHARAKTERYSTYKA UJĘĆ I JAKOŚĆ WÓD MINERALNYCH

Ujęciami eksploatującymi wody mineralne w omawianym rejonie są dwa źródła „Zdrój Główny i „Zofia" oraz trzy studnie wiercone R-1, R-2 i S-2.

„Zdrój Główny" stanowi źródło o wydajności 1,61 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 2,33 m, którego zwierciadło obecnie zostało obniżone poniżej powierzchni terenu (brak samowypływu). Woda ma temperaturę wahającą się od 8,4 do 11,0 ^oC. Wykonane analizy prób wody w latach 1966–1993 wskazują na to, że badane wody są średnio zmineralizowane (2841,0–3050,0 $mg \cdot dm^{-3}$), pod względem odczynu od słabo kwaśnego do słabo zasadowego (pH 6,8–7,9) i zawierają siarkowodór w stężeniu 3,5–5,4 $mg \cdot dm^{-3}$. Stężenie jonu siarczanowego w tych wodach wynosi 1616,0–1735,0 $mg \cdot dm^{-3}$, wapnia 578,0–628,0 $mg \cdot dm^{-3}$ i magnezu 114,0–128,0 $mg \cdot dm^{-3}$. Stężenia chlorków wynosi 17,7-26,7 $mg \cdot dm^{-3}$, potasu 10,0–14,5,0 $mg \cdot dm^{-3}$ oraz sodu 23,0–37,0 $mg \cdot dm^{-3}$ są dość niskie.

„Zofia" to też źródło o samowypływie wynoszącym ok. 0,2 $m^3 \cdot h^{-1}$, obecnie nie wykorzystywane. Wykonane analizy prób wody w latach 1966–2001 wskazują na to, że badane wody są słabo zmineralizowane (2666,0–2712,0 $mg \cdot dm^{-3}$), pod względem odczynu słabo kwaśne (pH 6,7) i zawierają siarkowodór w stężeniu 4,7–14,0 $mg \cdot dm^{-3}$. Stężenie jonu siarczanowego w tych wodach wynosi 1510,0–1584,0 $mg \cdot dm^{-3}$, wapnia 587,0–623,0 $mg \cdot dm^{-3}$ i magnezu 67,1–99,2 $mg \cdot dm^{-3}$. Stężenia chlorków 10,6–14,1 $mg \cdot dm^{-3}$, potasu 7,3–13,5 $mg \cdot dm^{-3}$ i sodu 13,0–13,1 $mg \cdot dm^{-3}$ są dość niskie.

Otwór R-2 o głębokości 22,8 m wykonany został w 1966 roku. Jest on położony na zachodnim stoku doliny Krzeszówki i stanowi rezerwę dla „Zdroju Głównego". Skład chemiczny wody z odwiertu jest podobny do wody ze źródła Zofia, zawiera jednak nieco większe stężenia sodu i mniejsze azotu amonowego (tab. 1). Filtr tego otworu o średnicy 125 mm wykonany jest z rur winidurowych, wokół których wykonana została obsypka żwirowa 7–10 mm. Nadfiltrowa ma długość 12,56 m, część czynna 8,0 m, a podfiltrowa 2,3 m. Zasoby eksploatacyjne studni wynoszą 4,3 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 2,3 m.

Otwór R-1 o średnicy 273 mm wykonany został do głębokości 89,5 m w roku 1971. Składa się on z rur stalowych zainstalowanych w skałach bez obsypki. Długość nadfiltrowej wynosi 81,1 m, części czynnej 6,4 m i podfiltrowej 2,0 m. Wydajność eksploatacyjna studni wynosi 22,7 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 1,4 m.

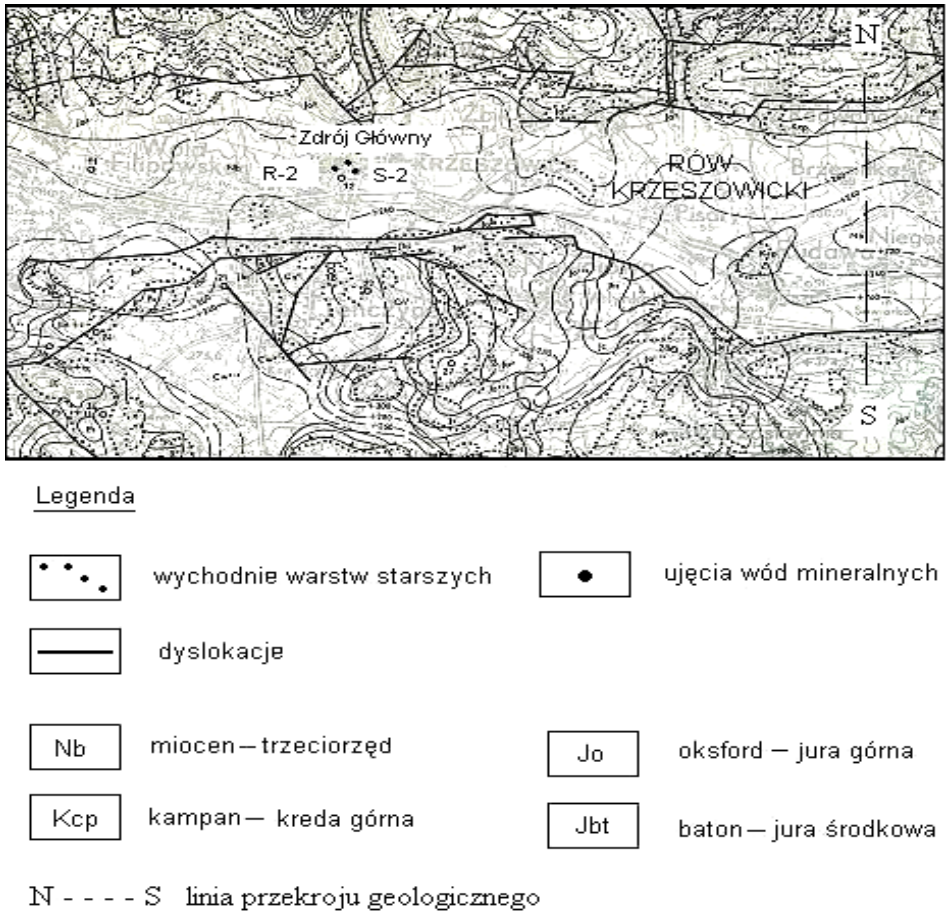
Tabela 1. Zestawienie analiz chemicznych wód mineralnych rowu krzeszowickiego [Motyka i in. 2003]
Table 1. Statement of chemical analysis mineral waters of Krzeszowice tectonic trench

Oznaczany parametr		Analizy z ujęć				
		Trzeciorzęd-miocen				Jura-Kreda
		„Zdrój Główny”	„Zofia”	R-1	R-2	S-2
		1967–1993	1966–2001	1967	1976–1999	1965–2002
Odczyn	pH	6,8–7,9	6,70	bd	6,9–7,2	7,4–8,1
Ogól. mineral.	$mg \cdot dm^{-3}$	2841,0–3050,0	2666,0–2712,0	2590,0	2528,0–2677,0	2910,0–3919,0
H_2S		3,5–5,4	4,7–14,0	5,3	6,8–9,2	
Ca		578,0–628,0	587,0–623,0	603,0	590,0–762,0	10,1–47,7
Mg		114,0–128,0	67,1–99,2	68,1	61,8–68,10	6,0–34,1
Na		23,0–37,0	13,0–13,1	15,0	21,5–30,2	828,0–999,0
K		10,0–14,5,0	7,3–13,5	6,6	6,0–8,0	23,0–24,3
NH_4		0,26–3,98	4,8	1,2	0,65–0,96	1,6–1,9
Sr		10,0–19,0	17,50	bd	12,50	0,76–1,50
Li		n.w.-1,8	0,03	bd	0,05–0,4	0,13–0,15
Fe		ślady -7,5	0,01–0,28	8,50	śl. -0,5	0,04–2,50
Mn		n.w.-0,1	n.w.	0,3	śl.-0,09	0,00–0,15
HCO_3		340,0–431,0	327,0–360,0	409,0	345,0–350,0	223,0–525,0
SO_4		1616,0–1735,0	1510,0–1584,0	1472,0	1440,0–1420,0	369,0–490,0
Cl		17,7–26,7	10,6–14,1	8,9	21,3–25,4	1005,0–1028,0
NO_3		n.w.-3,0	bd	bd	0,05	0,24
H_2SiO_3		67,0–78,0	39,0–73,0	29,00	35,0-36,0	n.m.
HBO_2		bd	śl.	bd	0,73	5,10
Br		bd	n.w.	bd	0,50	0,30–1,28
J		bd	bd		n.w.	0,23

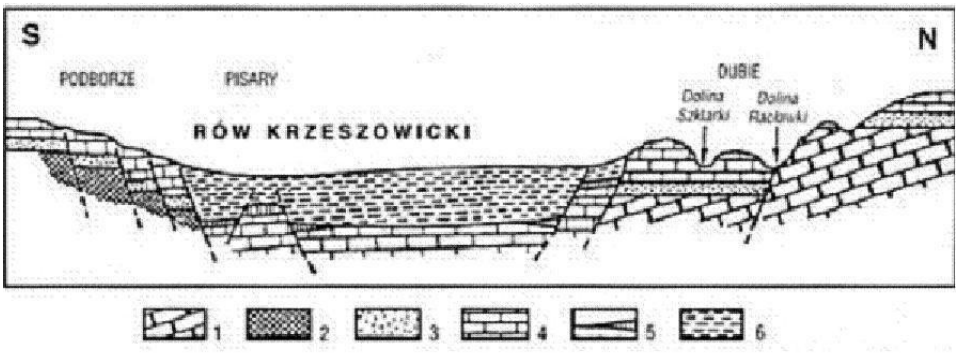
Otwór S-2 średnicy 236 mm do głębokości 65,0 m i 110 mm do 85,0 m został wykonany w 1965 roku. Jego nadfiltrowa ma długość 66,5 m, część czynna osadzona w obsypce żwirowej 15–20 mm – 16,5 m, a podfiltrowa 2,0 m. Wydajność eksploatacyjna tej studni wynosi 0,6 $m^3 \cdot h^{-1}$ przy depresji 40,0 m. Woda ujmowana z tego otworu

pochodzi z poziomu jurajsko-kredowego, zawiera 1016,0 mg·dm^{-3} chlorków, 490,6 mg·dm^{-3} siarczanów, żelaza 1,82 mg·dm^{-3}, magnezu 31,6 mg·dm^{-3} oraz wapnia 48,8 mg·dm^{-3}.

Ogólna mineralizacja tych wód waha się w granicach od 2910,0 do 3919,0 mg·dm^{-3}. Ujęte wody są typu sodowo-chlorkowo-siarczanowego.



Rysunek 1. Mapa geologiczna rowu tektonicznego Krzeszowic
Figure 1. The geological map of Krzeszowice tectonic trench



Rysunek 2. Przekrój poprzeczny przez Rów Krzeszowicki: 1 – dewon i karbon dolny, 2 – karbon górny, 3 – jura środkowa, 4 – jura górna, 5 – kreda, 6 – miocen
Według R. Gradzińskiego (1970)
Figure 2. The cross section of Krzeszowice tectonic trench

PODSUMOWANIE

Budowa geologiczna i warunki tektoniczne występujące w rejonie Krzeszowic korzystnie wpłynęły na możliwość tworzenia się wód mineralnych. W miocenie, dolnym trzeciorzędzie, około 26 mln lat temu skały zapadliska przedkarpackiego, stanowiąc sztywną bryłę, pękały podczas licznych ruchów tektonicznych wzdłuż wielu powierzchni uskokowych. Powstały wtedy zapadliska i zręby tektoniczne, których brzegi często przebiegały równolegle do siebie, tworząc uskoki schodowe. Morze mioceńskie, wkraczając na obszar zapadliska jeszcze w czasie trwania zaburzeń tektonicznych powodowało wypełnienie dna utworami ilastymi. Tworzyła się wówczas najważniejsza w omawianym rejonie trzeciorzędowa jednostka tektoniczna, którą jest rów krzeszowicki, rozpoczynający się w okolicach Dulowej i ciągnący się ku zachodowi od okolic Zabierzowa ku południowemu wschodowi, aż do wzniesienia Pasternika. W okresie przypadającym na koniec dolnego tortonu (górny miocen) doszło do spłycenia morza, powstały warunki sprzyjające sedymentacji chemicznej. Lokalnie zaczęły wytrącać się gipsy, anhydryty, a także sól kamienna. które stały się dobrym źródłem mineralizacji wód siarczanowych Krzeszowic. Występujące wody mineralne (źródła Zofia i Zdrój Główny oraz otwory R-1 i R-2) są wodami infiltracyjnymi o bardzo długim okresie krążenia (ponad 50-letnim). Jony siarczanowe, wapnia i siarkowodór

pochodzą tutaj z procesów rozpuszczania mioceńskich utworów gipsowych, z wtórnymi zmianami wynikającymi z występowania bardziej redukcyjnych warunków środowiska. Rozwój procesów redukcji siarczanów odbywa się tutaj bardzo często przy udziale bakterii, prowadząc do częściowej redukcji siarczanów i wzbogacania wód podziemnych w siarkowodór. Wody głębszego poziomu, jurajsko-kredowego (ujęte otworem S-2) są starsze od wód płytszego mioceńskiego poziomu. Ich mineralizacja przypuszczalnie jest związana z domieszkami wody wznoszącej się pod wpływem różnicy ciśnienia hydrostatycznego z utworów karbonu produktywnego. Są one typu chlorkowo-siarczanowo-sodowego wykazując cechy wód reliktowych.

BIBLIOGRAFIA

Alexandrowicz S. W. *Rozwój zapadliska przedkarpackiego w świetle wyników badań nad stratygrafią miocenu Południowej Polski*. Geog. i Geol. Naftowa, 7, 1965, s. 243–247.

Bogacz K. *O występowaniu siarki w rowie krzeszowickim*. Przegląd Geologiczny R. 13, nr 6, Warszawa 1965.

Bogacz K. *Budowa geologiczna północnego obrzeżenia rowu krzeszowickiego*. Pr. Geol. Komis. Nauk. Geol. PAN Krak, nr 41, Warszawa 1967.

Gradziński R. *Budowa geologiczna terytorium Krakowa*. Folia Geographica – Physica vol VIII, Kraków 1974.

Milijanović E. *Wody mineralne Krzeszowic i ich zagrożenie antropogeniczne*. Katedra Stratygrafii i Geologii Regionalnej AGH Kraków (Praca magisterska) 2006.

Motyka J., Porwisz B., Rajchel L., Zuber A. *Wody mineralne Krzeszowic*. Wpółczesne problemy hydrogeologii, Tom XI, cz.1. Gdańsk 2003.

Płonczyński J., Łopusiński L. *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski*. Arkusz Krzeszowice, skala 1:50 000. Państwowe Wydawnictwa Geologiczne Warszawa 1993.

Rutkowski J. *O trzeciorzędowej tektonice uskokowej okolic Krakowa*. Przegląd Nr 10, Warszawa 1986.

Tomaszewska B. *„Zdrój Główny" w Krzeszowicach. Analiza składu chemicznego wód leczniczych*. Miesięcznik WUG nr 6/2003.

mgr inż. Ewelina Milijanović
dr inż. Stefan Satora
Katedra Zaopatrzenia Osiedli w Wodę i Kanalizacji AR
al. Mickiewicza 24/28, 31-120 Kraków

Recenzent: *Prof. dr hab. Stanisław Węglarczyk*

Ewelina Milijanović, Stefan Satora

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL STRUCTURES ON THE PRESENCE OF MINERAL WATERS IN TECTONIC TRENCH OF KRZESZOWICE

SUMMARY

Presence of mineral waters in different regions of Poland is associated with particular geological structure, which often depends on tectonic conditions. This situation occurs in tectonic trench of Krzeszowice near by Krakow, where on tectonic disturbances of Paleozoic and Mesozoic rocks presenting bedrock deposit marine Cenozoic formation date Tertiary-Miocene, contains not only clay but also sulfate and chloride chemical deposits (gypsum, anhydrite and halite). Infiltration, precipitation waters penetration in sedimentary rocks during long-lasting term leaching liable to mineralization become mineral waters of more than 1000 mg/dm3 mineral content. Mineral waters that occurrs in this region, are Miocene sulfate –calcium- magnesium waters flout out in spring "Zdrój Główny" and "Zofia" and taken by wells R-1 and R-2 and also Jurassic-Cretaceous waters chloride - sulfate- sodium waters present in well S-2.

Shallow Miocene mineral water is infiltration water with very long circulation period (more than 50 years). Presence in them sulfate, calcium ions and hydrogen sulfide is connected with dissolution processes of Miocene gypsum deposits and with secondary changes that are affected by presence of more reducing conditions of environment.

Water from deeper Jurassic-Cretaceous horizon are older than water form shallow Miocene horizon. Mineralization of this water is connected with water admixture ascending affected under the influence of hydrostatic pressure difference from productive Carbon horizon.

Generally Miocene intakes discharge ranges from 0,2 to 22,7 $m^3 \cdot h^{-1}$ however in Jurassic well it is around 0,6 $m^3 \cdot h^{-1}$.

Key words: geological structure, tectonic trench, underground water, mineral water