

ZATŁACZANIE WÓD POZABIEGOWYCH W UTWORY SERII WĘGLANOWEJ DEWONU W UZDROWISKU USTROŃ

SUBSURFACE INJECTION OF WASTE-WATER INTO DEVONIAN CARBONATE FORMATION IN THE HEALTH RESORT USTROŃ

JAN WALIGÓRA¹, MAREK SOŁTYSIAK²

Abstrakt. W Przedsiębiorstwie Uzdrawiskowym Ustroń wykorzystane w kąpielach wannowych i basenowych wody lecznicze, eksploatowane z utworów dewońskich, są uzdatniane i zatłaczane na powrót otworem C-1 do górotworu. Eksploatacja otworu chłonnego prowadzi do jego stopniowej kolmatacji, by przeciwdziałać obniżaniu się chłonności odwiertu, prowadzone są zabiegi kwasowania, które pozwalają przywrócić jego parametry chłonne. Maksymalne wydajności otworu chłonnego osiągały 9,85 m³/h i wskutek kolmatacji, spadały do 2,5 m³/h. Po kwasowaniu wydajność otworu chłonnego wzrastała kilkukrotnie. W pracy, wykorzystując wyniki badań archiwalnych oraz wyniki badań własnych (prowadzonych w ramach Uzdrawiskowego Zakładu Górniczego), scharakteryzowano zmienność parametrów otworu chłonnego C-1 w trakcie jego eksploatacji, na tle warunków hydrogeologicznych.

Słowa kluczowe: kwasowanie otworu chłonnego, zatłaczanie wód do górotworu, Uzdrawisko Ustroń.

Abstract. 11.9–13.1% brine has been exploited by The Health Resort Ustroń for therapeutic purposes. The used brine is treated and injected into the Devonian carbonate formation. About 50 cubic meters of used brine with TDS 3.5–4.0 g/dm³ is injected daily. In time of a few years of exploitation the decrease of subsurface injection debit has been observed. Continuous use the injection well causes its clogging. Injection well is acidized in order to counteract to the fall of the capacity. Maximum yield of injection well attained 9.85 m³/h and decreased to 2.5 m³/h during exploitation. The yield of the injection well C-1 increased a few times after acidizing. In this paper the yield variability of the injection well C-1 was characterized.

Key words: acidizing of boreholes, subsurface injection, the health resort Ustroń.

ZATŁACZANIE JAKO SPOSÓB UTYLIZACJI POZABIEGOWYCH WÓD LECZNICZYCH

Przedsiębiorstwo Uzdrawiskowe Ustroń prowadzi swoją działalność, korzystając z wód leczniczych ujmowanych dwoma otworami eksploatacyjnymi U-3 i U-3A (fig. 1). Eksploatują one 11,9–13,1% wody lecznicze, występujące w utworach wodonośnych dewonu. Koncesję na eksploatację wód leczniczych uzyskano w 1994 r. W początkowym okresie eksploatacji wód leczniczych, uzdrawisko nie mogło w pełni prowadzić działalności z powodu trudności wy-
kających z braku możliwości utylizacji wód pozabiegowych.

Zapotrzebowanie na wody do celów leczniczych w różnych okresach działalności uzdrawiska, mogącego świadczyć codzienne zabiegi dla ponad 800 kuracjuszy, wynosi od $4,8 \cdot 10^3$ do $5,6 \cdot 10^3$ m³ rocznie. Generuje to powstawanie od $1,4 \cdot 10^4$ do $2,0 \cdot 10^4$ m³ wód odpadowych rocznie, o przeciętnej mineralizacji 3,5%. Sumaryczny, średni roczny ładunek związków rozpuszczonych w wodach pozabiegowych przekracza

¹ Przedsiębiorstwo Uzdrawiskowe „Ustroń” S.A., ul. Sanatoryjna 1, 34-300 Ustroń

² Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

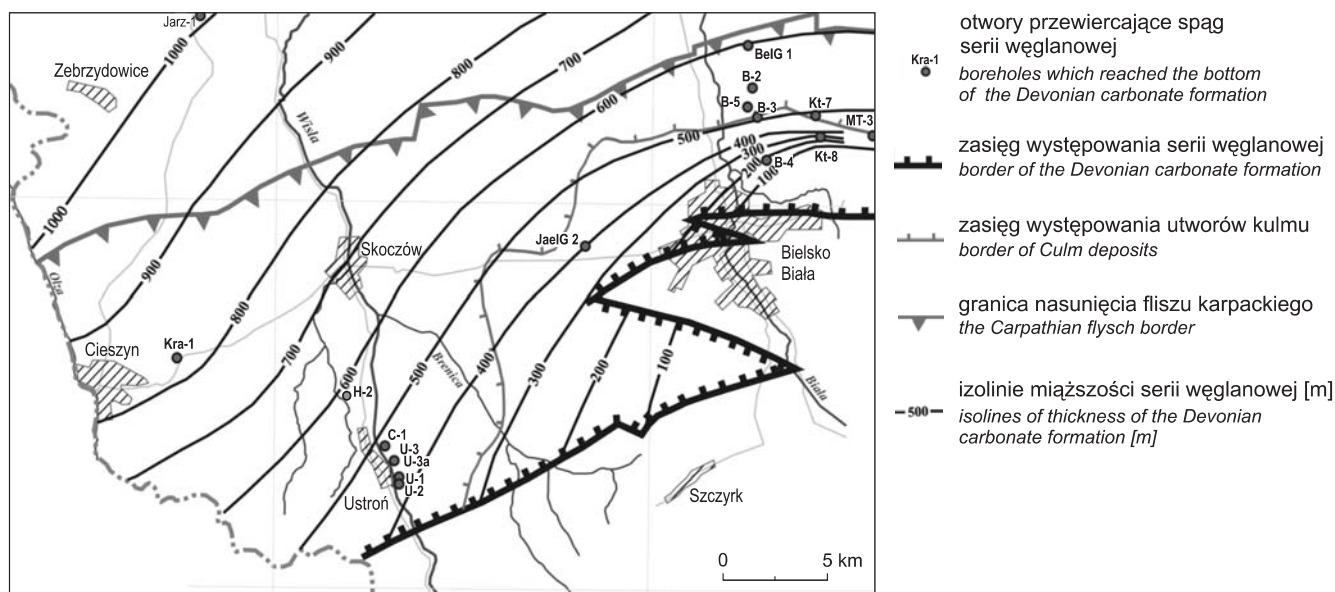


Fig. 1. Położenie Ustronia na tle miąższości serii węglanowej dewonu środkowego i górnego oraz dolnego karbonu (Krieger, Woźniak, 1998, z uzupełnieniami Szklarczyka, Szczepańskiego, 2006)

A map of thickness of the Middle and Upper Devonian carbonate formation in the region of Ustron (Krieger, Woźniak, 1998, modified by Szklarczyk, Szczepański, 2006)

540 Mg. Do końca grudnia 2010 r., przez otwór C-1, zatłoczono do warstw dewonu około $23 \cdot 510^3 \text{ m}^3$ zasolonych wód pozabiegowych, niosących ładunek chlorków w sumarycznej ilości przekraczającej $6,9 \cdot 10^3 \text{ Mg}$.

By umożliwić swobodne funkcjonowanie zakładu przyrodolecniczego, rozważane były następujące koncepcje utylizacji wód pozabiegowych:

- zrzut do wód powierzchniowych,
- zastosowanie metody bezzwrotnego zatłaczania do górotworu.

W pierwszym wariantie rozpatrywano przerzucanie wód pozabiegowych rurociągiem do zlewni rzeki Olzy. Koncepcja ta jednak nie mogła zostać zrealizowana z uwagi na ochronę wód powierzchniowych. W tej sytuacji, zaczęto rozpatrywać możliwość powrotnego zatłaczania ich do górotworu. Warunki geologiczne odpowiednie do głębokiego zatłaczania występują wówczas, gdy obszar, na którym planuje się lokalizację otworów chłonnych, posiada odpowiednią strefę zatłaczania oraz odpowiednią strefę izolującą utwory zbiornikowe, do których planowane jest zatłaczanie. Odpowiednia strefa zatłaczania wg Rotha (1992) to taka, która składa się z utworu lub grupy utworów charakteryzujących się wystarczającą porowatością i przepuszczalnością. Powinna być rozległa i cechować się wystarczającą miąższością, by zminimalizować ciśnienie zatłaczania. Strefa izolująca natomiast powinna składać się z warstw nieprzepuszczalnych oraz z warstw utworów przepuszczalnych,

które redukowałyby ciśnienie, gdyby kiedykolwiek zatłaczane wody zanieczyszczone miały migrować do strefy izolującej. Pierwsze udokumentowane użycie otworu do bezzwrotnego zatłaczania w górotwór odpadów przemysłowych miało miejsce w Stanach Zjednoczonych w 1953 r. (Roth, 1992). W Ustroniu pierwsze próby zatłaczania wód do utworów miocenu oraz dewonu podjęto w 1974 r., wykorzystując otwory H-2 i U-2, jednak uzyskane wyniki okazały się niezadowalające. Mimo to, zatłaczanie wód pozabiegowych do górotworu okazało się jedynym dostępnym sposobem ich utylizacji. Koncepcja zatłaczania wód odpadowych do górotworu przewidywała wykorzystanie, jako warstwy chłonnej, utworów serii węglanowej środkowego i górnego dewonu, w interwale głębokości 1210–1668 m p.p.t., izolowanej utworami nieprzepuszczalnymi karbonu i fliszu karpackiego.

W 1992 r. odwiercono w Ustroniu otwór C-1. Zlokalizowany on został na prawym brzegu Wisły, w odległości około 1,2 km w kierunku północnym od odwiertów eksploatacyjnych U-3 i U-3A (fig. 1). Jest to pierwszy w kraju otwór hydrogeologiczny, zaprojektowany i zrealizowany w celu długotrwałego zrzutu odpadów, jakimi są wody pozabiegowe. Technologia głębokiego zatłaczania wód pozabiegowych jest stosowana w uzdrowisku do dnia dzisiejszego. Należy podkreślić, iż przed utylizacją wody pozabiegowe podlegają uzdatnieniu – są oczyszczane z zanieczyszczeń mechanicznych i organicznych oraz związków żelaza i zawiesin. Dodatkowo, przed zatłoczeniem eliminowane są bakterie (Waligóra, Białas, 2004).

ŚRODOWISKO HYDROGEOLOGICZNE

Najstarszymi skałami nawierconymi w rejonie Ustronia są utwory prekambryjskie wykształcone w postaci gnejsów łyszczykowych. Na nich zalegają wapienie i dolomity dewońskie, skrasowiałe i szczelinowate, o miąższość ok. 460–550 m. Powyżej, w profilu geologicznym zalegają utwory karbonu. Stanowią je kompleksy iłowców, łupków, mułowców i piaskowców. Miąższość utworów karbonu w otworach U-2, U-3, U-3A, C-1 wynosi od 53 do 298 m. Na utworach karbońskich zalegają utwory fliszu, w tym rejonie reprezentowane przez osady płaszczowiny podśląskiej i śląskiej. Są one wykształcone jako naprzemianległe warstwy łupków, iłołupków, wapieni, margli, piaskowców i mułowców. Miąższość utworów fliszu w tym rejonie wynosi 550–1350 m. Najmłodszymi osadami są utwory czwartorzędu, związane z akumulacją rzeczną lub procesami wietrzenia starszych utworów.

W profilu hydrogeologicznym występują cztery piętra wodonośne: neogeńskie, kredowo-paleogeńskie, karbońskie i dewońskie (Chowaniec, 1993). Piętro neogenu występuje na północ od otworu C-1 i związane jest z gruboziarnistymi piaskowcami i zlepieńcami (warstwy dębowieckie). Piętro kredowo-paleogeńskie związane jest z płaszczowinami śląską i podśląską. Jest to piętro o charakterze szczelinowym i szczelinowo-porowym. Z uwagi na zróżnicowane warunki zasilania oraz zmienne wykształcenie litologiczne wody tego piętra charakteryzują się zróżnicowanym składem chemicznym. Mineralizacja wód w poziomie płaszczowiny śląskiej nie przekracza 2 g/dm^3 , a w poziomie płaszczowiny podśląskiej $3,2 \text{ g/dm}^3$. Piętro wodonośne karbonu z uwagi na przewagę utworów ilasto-mułowcowych nie charakteryzuje się dobrymi właściwościami kolektorskimi. Jest ono w tym rejonie słabo rozpoznane.

Z uwagi na głębokość zalegania, piętro wodonośne dewonu w zasięgu południowej części bloku górnośląskiego zasadniczo jest słabo rozpoznane. Informacji o nim dostarczają pojedyncze, głębokie otwory wiertnicze (fig. 1). Piętro wodonośne dewonu jest związane z występowaniem w profilu dewonu utworów węglanowych, o charakterze szczelinowo-krasowym. W rejonie Cieszyn–Ustron–Bielsko-Biała występuje w nich poziom silnie zmineralizowanych solanek. Jako obszar zasilania tego poziomu wskazuje się na, położony 120 km na zachód od Ustronia, obszar wychodni utworów dewońskich w Sudetach Wschodnich, natomiast jako obszar drenażu podaje się okolice Dębnika i Siewierza, około 80 km na północny-wschód od Ustronia (Michalik, 1972; Wróbel i in., 1998; Porwisi i in., 2002; Szklarczyk, Szczepański, 2006).

Informacji o parametrach hydrogeologicznych utworów dewonu w rejonie Ustronia dostarczają badania wykonane przez Michalika (1972, 1973, 1978) oraz Dulskiego (1993) w otworach hydrogeologicznych U-2, U-3, U-3A, C-1.

Pierwotne wydajności uzyskane w otworze U-3 wynosiły $6,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 3 m (1972 r.), a w otworze U-3A – $6,7 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 9 m (1978 r.). Występujące tu wody są wodami leczniczymi, typu Cl–Na–Ca, Fe, I. Ich mineralizacja wynosi 11,9–13,1%, w zależności od głębokości występowania. Obecnie udokumentowane zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujmowanych otworami U-3 i U-3A wynoszą $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji do 10 m. Występujące w utworach dewonu wody charakteryzują się zwierciadłem napiętym, stabilizującym się na rzędnej ok. 200 m n.p.m. Strop utworów wodonośnych występuje na głębokości 1188–1354 m p.p.t. (tab. 1).

Tabela 1

**Charakterystyka głębokich otworów hydrogeologicznych w rejonie Ustronia (na podstawie materiałów archiwalnych
Uzdrowskiego Zakładu Górniczego Ustron)**

The characterization of deep boreholes in the region of Ustron

Otwór wiertniczy	U-2	U-3	U-3A	C-1
Rok wykonania	1972	1971	1978	1993
Rzędna powierzchni terenu [m n.p.m.]	370,5	413,0	413,8	351,21
Rzędna stropu dewonu [m p.p.t.]	1188	1268	1274	1210
Rzędna spągu dewonu [m p.p.t.]	b.d.	1818	1742,4	1690
Głębokość otworu [m]	1380	1753	1750	1700
Wydajność eksploatacyjna [m^3/h]	<0,5	2,2	2,2	4,16
Współczynnik filtracji [m/d]	bd	0,137	bd	0,005 przed kwasowaniem 0,120 po kwasowaniu
Głębokość zwierciadła nawierconego w utworach dewonu [m p.p.t.]	1188	1320	1342	1354
Rzędna zwierciadła ustabilizowanego [m p.p.t.]	154	187,4	189,7	151
Mineralizacja [g/dm^3]	74	119	131	112

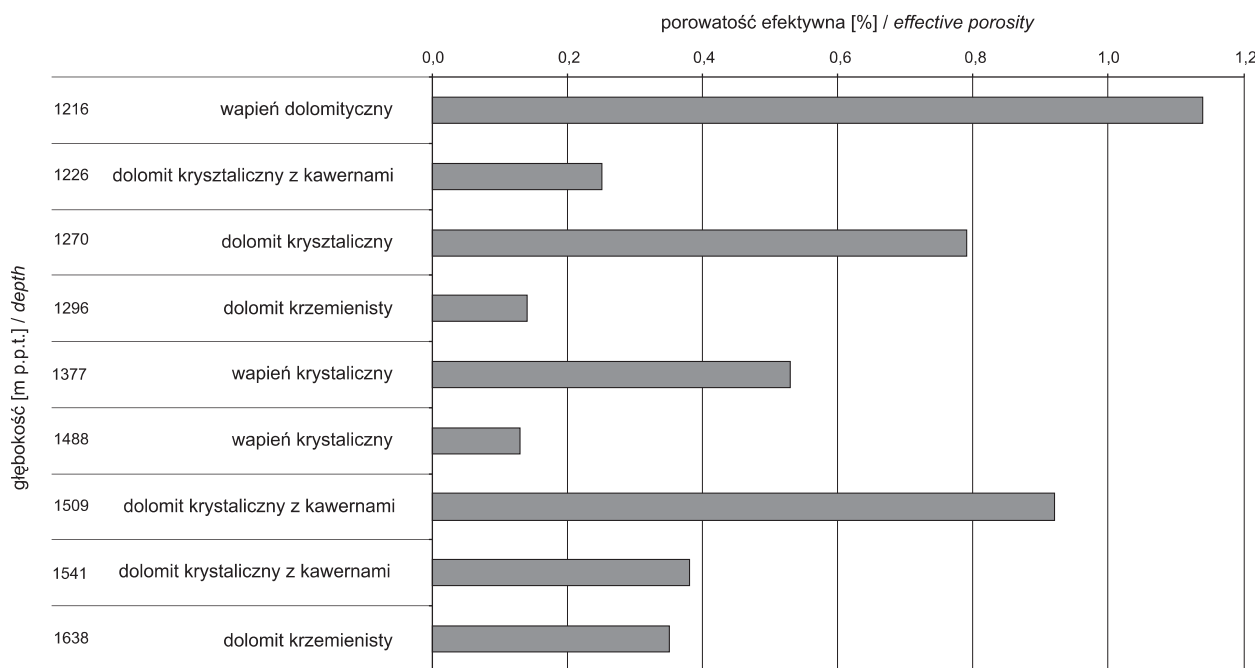


Fig. 2. Wartości porowatości efektywnej utworów serii węglanowej (źródło: materiały Uzdrowskiego Zakładu Górniczego)

Values of the effective porosity of the Devonian carbonate series

Szczegółowe badania rdzeni wiertniczych wykazały, iż wapień i dolomity dewonu nie są jednolite pod względem kolektorskim. Porowatość efektywna wapieni wynosi średnio 0,55%, wyższymi wartościami, przekraczającymi 1%, charakteryzują się wapień dolomityczny i dolomity (fig. 2). Wzrost wartości porowatości związany jest z lokalnie występującym skawernowaniem dolomitów, co jest przypuszczalnie skutkiem procesów wtórnej dolomitizacji skał węglanowych. Według Michalika (1972) kawernistość wapieni i dolomitów dewońskich jest wynikiem krasowania skał w okresie permu, kiedy omawiany obszar był wyniesiony. Podwyższona chłonność serii węglanowej dewonu, według poglądów Rózkowskiego i in. (1995) i Rózkowskiego (2002), związana jest z wtórnymi procesami dolomityza-

cji i skrasowienia skał dewonu zlokalizowanych w południowej części bloku górnośląskiego, co potwierdzone zostało m.in. badaniami w odwiercie Kra-1 koło Cieszyna (Niemczyk i in., 1994) oraz odwiercie MT-3 w Kozach (Wróbel i in., 1998; fig. 1).

Opierając się na wynikach badań geofizycznych otworu C-1, wskazano w profilu utworów dewońskich następujące interwały głębokości perspektywiczne dla celów zatłaczania: 1228–1257, 1331–1365, 1452–1464, 1501–1533, 1546–1570, 1612–1648, 1680–1690 m p.p.t., oraz dodatkowo interwały głębokości o nieco niższych parametrach: 1415–1436, 1583–1595 oraz 1312–1331, 1533–1546, 1570–1583 m p.p.t.

UŻYTKOWANIE OTWORU C-1

Otwór C-1 zafiltrowano w interwale głębokości od 1226 do 1695 m.p.p.t. Umieszczony w otworze filtr o średnicy wewnętrznej 6^{5/8}", wykonany został z rur kwasoodpornych. Posiada on perforację o średnicy 20 mm, zaś jego przepustowość wynosi do 15%. Skały nadkładu osłonięte zostały rurami 9^{5/8}" do głębokości 1226 m.p.p.t.

Po wykonaniu pompowań oczyszczających w otworze C-1 przeprowadzono badania chłonności. Okazało się, że chłonność była znacznie niższa od oczekiwanej i wyniosła

2,04 m³/h przy ciśnieniu 1,0–11,5 MPa. W celu zwiększenia chłonności odwiertu, w 1993 r. wykonano zabieg jego kwasowania. Zabieg ten polegał na wprowadzeniu pod ciśnieniem 20 MPa cieczy kwasującej, stanowiącej roztwór kwasu solnego z dodatkiem kwasu octowego, formaliny oraz niejonowych środków powierzchniowo czynnych (rokamid MR-Z). Jako przybitkę wtłoczono solankę pozabiegową. Głównym reagentem był kwas solny, natomiast użycie kwasu octowego wynikało z konieczności utrzymania w roztwo-

Tabela 2

**Chłonność dewońskiej serii węglanowej
ujętej otworem C-1 przed i po kwasowaniu**

Yield of the injection well C-1 before and after acidizing

Rok kwasowania	Chłonność [m ³ /h]		Wzrost chłonności [%]
	przed kwasowaniem	po kwasowaniu	
1993	2,04	8,50	417
1998	3,68	8,88	241
2003	2,85	9,85	345

rze związków żelaza. Pozostałe składniki cieczy kwasującej miały za zadanie przeciwdziałać niszcącemu działaniu kwasu na metalowe części otworu. W wyniku wtłoczenia 50 m³ cieczy kwasującej uzyskano wzrost chłonności otworu o 420%, tj. do 8,50 m³/h przy całkowitym wypełnieniu otworu wodą (tab. 2).

Regularne zatłaczanie solanek pozabiegowych do otworu C-1 rozpoczęto dwa lata po pierwszym zabiegu kwasowania, tj. w 1995 r. – do kwietnia tego roku było ono prowadzone okresowo, zaś od maja w sposób ciągły, w ilości od 0,75–4,1 m³/h. W początkowym okresie, tj. do początku

1997 r., przy zatłaczaniu wód pozabiegowych nie wytwarzano nadciśnienia. Średnio w 1996 r. zatłaczano 37,7 m³/dobę. Jednocześnie obserwowano postępujące obniżanie się chłonności otworu (fig. 3). Po 16 miesiącach eksploatacji na elementach uzbrojenia odwiertu stwierdzono osadzanie się Al(OH)₃ i SiO₂, co wskazywało na postępujące procesy kolmatacji. Obecność glinu wynikała z wykorzystania siarczanu glinu do procesów uzdatniania wód basenowych oraz do oczyszczania solanki pozabiegowej. Zaprzeszanie stosowania tej substancji w 1997 r. ograniczyło co prawda spadek chłonności otworu C-1, jednak w trakcie eksploatacji odwiertu stwierdzono dalszy stopniowy spadek chłonności, objawiający się coraz wyższym położeniem dynamicznego lustra wód pozabiegowych, przy tej samej wydajności tłoczenia. Utrzymanie pracy otworu w latach 1997–1998 wymagało zatłaczania wód pozabiegowych już pod ciśnieniem. Świadczyło to o postępującej kolmatacji strefy przyodwiertowej (fig. 3). Po przeprowadzeniu szczegółowej analizy metodą Hornera stwierdzono, że nastąpił spadek wartości współczynnika przepuszczalności ze 123 mD bezpośrednio po zabiegu kwasowania w 1993 r., do 15 mD w grudniu 1998 r. (Solecki, 1998). Ponadto analiza wykonana metodą Jacoba wykazała stały wzrost współczynnika oporów przepływu w warstwie chłonnej (Solecki, 2003). Z analizy parametrów hydraulicznych wynikało, iż powodem zmniejszania się chłonności otworu jest zawansowany proces

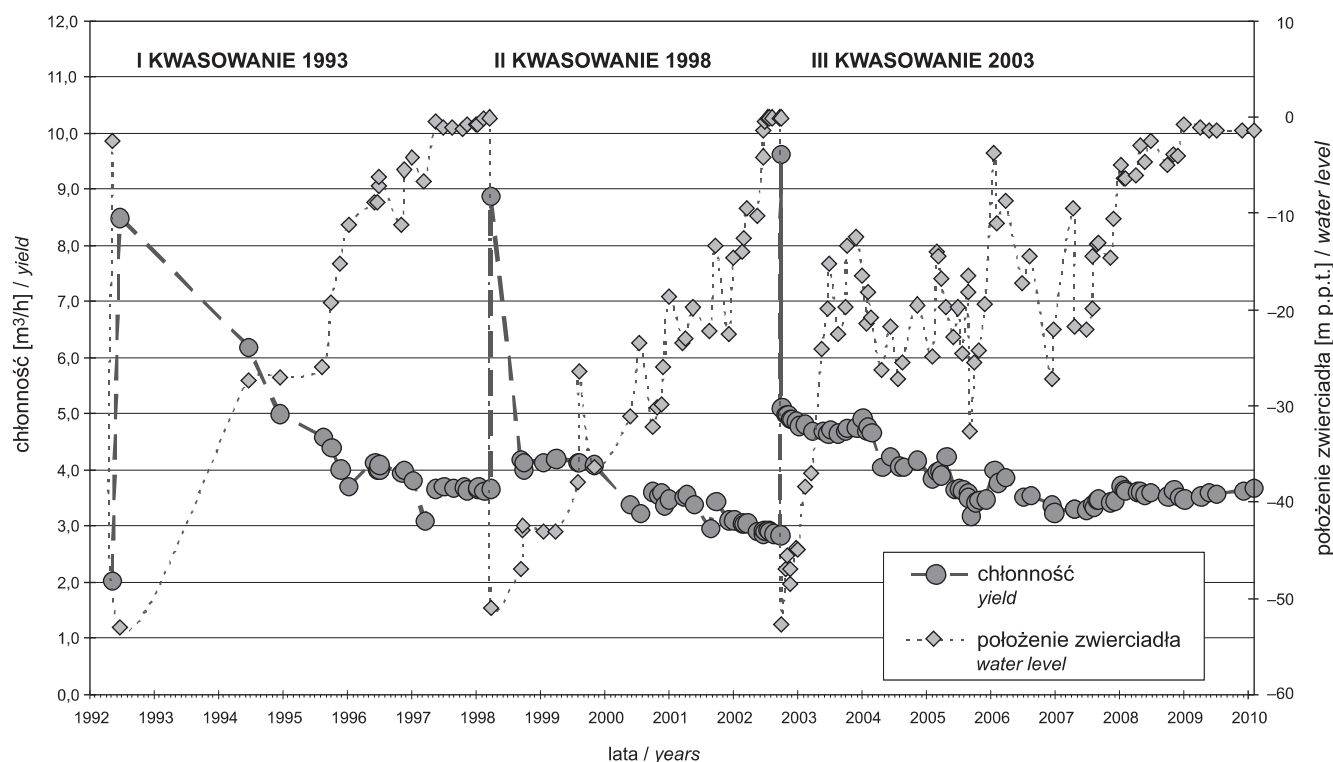


Fig. 3. Charakterystyka chłonności otworu C-1 w latach 1993–2010
(źródło: materiały Uzdrowskiego Zakładu Górniczego)

Characteristics of the yield of the well C-1 in the period 1993–2010

kolmatacji strefy przyotworowej. Fakty te wskazały na zasadność ponownego przeprowadzenia zabiegu intensyfikacji chłonności poprzez kwasowanie.

W 1998 r. wykonany został po raz drugi zabieg kwasowania otworu chłonnego C-1, dzięki któremu przywrócona została pierwotna chłonność odwiertu (fig. 3). Analiza przebiegu samego procesu kwasowania wykazała, iż następował wzrost chłonności przy jednoczesnym spadku ciśnienia zatłaczanej cieczy, co potwierdziło poprawę właściwości hydrodynamicznych warstwy chłonnej. Przez początkowy okres po wykonaniu II kwasowania, chłonność otworu wynosiła ok. 4 m³/h przy położeniu zwierciadła zatłaczanych wód ok. 40 m p.p.t. Jednak w latach 2001–2003 chłonność odwiertu ponownie systematycznie malała, zbliżając się do minimalnej wartości 2,5 m³/h, gwarantującej ciągłość pracy zakładu przyrodoleczniczego. Jednocześnie następowało podnoszenie się powierzchni zwierciadła słupa wód pozabiegowych tłoczonych do otworu chłonnego. Zwierciadło to na początku roku 2003 osiągnęło poziom terenu (fig. 3). Konieczne zatem było ponowne wykonanie zabiegu kwasowa-

nia. Po jego wykonaniu, przez 19 miesięcy chłonność otworu przekraczała 4,5 m³/h, natomiast głębokość położenia zwierciadła wód pozabiegowych w otworze podnosiła się od początkowo z ponad –40 m p.p.t. do około –18 m p.p.t. Od 2006 do końca 2010 roku chłonność otworu ustabilizowała się na poziomie 3,5 m³/h. Obserwowano jednak stopniowe podnoszenie się zwierciadła wody w otworze, które w połowie 2009 r. ustabilizowało się ok. 1,5 m p.p.t. Na podstawie doświadczeń z lat poprzednich należy oczekiwać, że w niedługim czasie nastąpi konieczność przeprowadzenia kolejnego kwasowania otworu. Mimo to, analiza przebiegu chłonności otworu w funkcji czasu wskazuje na tendencję wydłużania się bezawaryjnej pracy otworu chłonnego. Na efekt ten składa się skuteczność samego procesu kwasowania, jak również odpowiedni reżim procesów podczyszczania wód pozabiegowych, z których wyeliminowano substancje mogące sprzyjać procesom kolmatacji.

Drożność strefy przyotworowej otworu chłonnego można scharakteryzować, analizując czas opadania zwierciadła wody w otworze. W przypadku otworu zakolmatowanego,

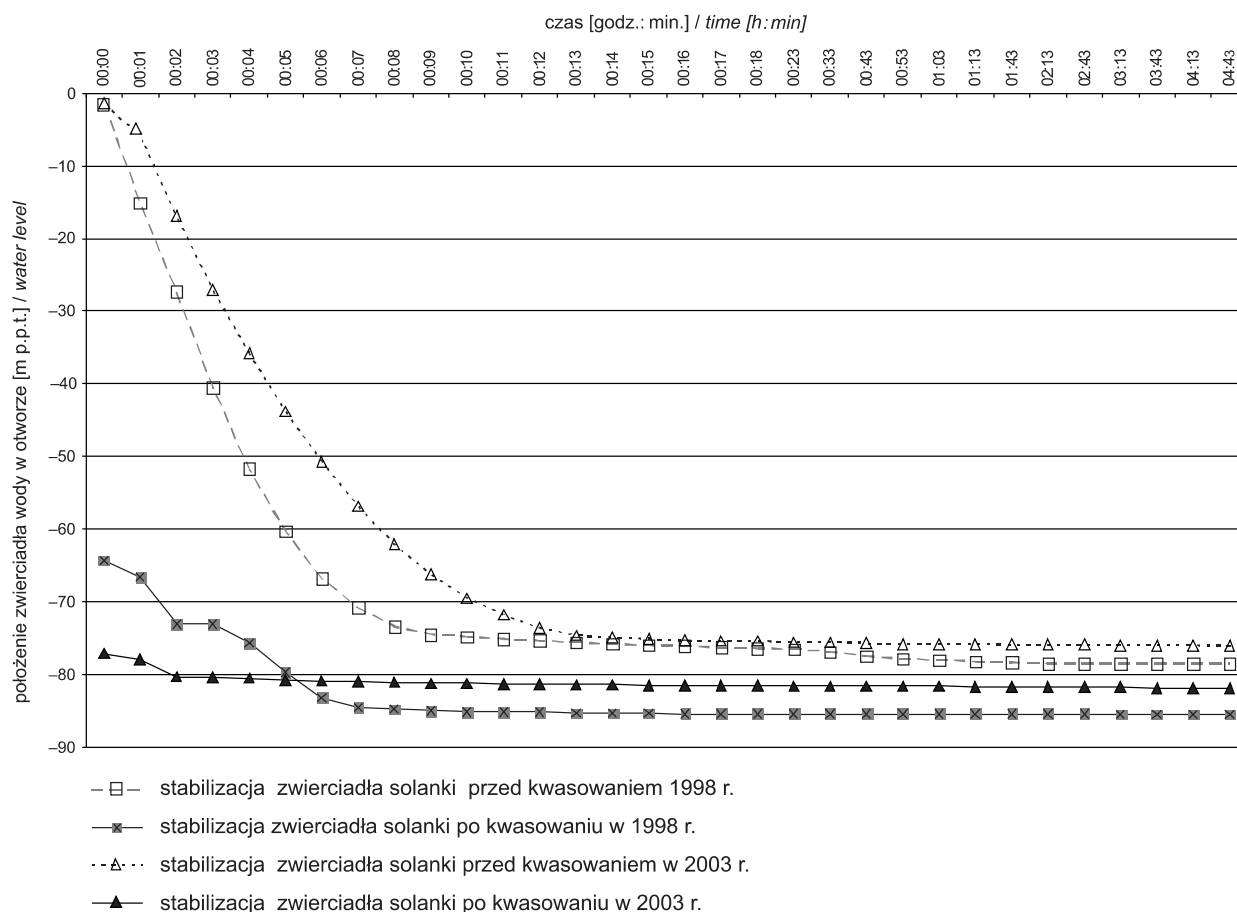


Fig. 4. Położenie poziomu zwierciadła wody w otworze chłonnym C-1 przed i po zabiegach kwasowania przeprowadzonych w latach 1998 i 2003 (źródło: badania własne)

Water level in the injection well C-1 before and after acidizing in 1998 and 2003

przy odpowiednio wysokim wydatku pompy tłoczącej wodę do odwiertu chłonnego, można było doprowadzić do jego całkowitego zalania, a następnie rejestrować w czasie obniżanie się zwierciadła wody w otworze. Do analizowanego otworu tłoczono wody pozabiegowe w natężeniu 4,1 m³/h. Badanie czasu opadania lustra wody w otworze przeprowadzono dwukrotnie: przed, a następnie po II i III kwasowaniu.

Przed wykonaniem kwasowania, stabilizacja poziomu lustra wody w otworze następowała po około 48 godzinach. Po wykonaniu kwasowania, wskutek udrożnienia strefy przyotworowej, przy wprowadzaniu do otworu wód pozabiegowych z tym samym wydatkiem, nie było możliwości zalania go do wierzchu, natomiast stabilizacja lustra wody w otworze następowała po kilkunastu minutach (fig. 4).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Kilkunastoletni okres zatłaczania wód pozabiegowych do górotworu potwierdził występowanie w rejonie Ustronia podwyższonej chłonności skał serii węglanowej dewonu.

2. Analiza wydajności otworu chłonnego C-1 wskazuje, że zapewnienie ciągłości utylizacji wód pozabiegowych wymaga cyklicznych zabiegów kwasowania.

3. Zabiegi kwasowania otworu C-1 skutkują czasowym wzrostem chłonności poziomu wodonośnego serii węglanowej dewonu. Maksymalny, czterokrotny, trwający kilkanaście dni wzrost chłonności, uzyskano po wykonaniu pierw-

szego kwasowania, natomiast maksymalną, chwilową chłonność otworu uzyskano po trzecim kwasowaniu.

4. Zatłaczanie oczyszczonych wód pozabiegowych do górotworu eliminuje konieczność zrzutu znaczących ilości chlorków do wód powierzchniowych.

Podziękowania. Autorzy uważają za swój miły obowiązek złożenie podziękowań Panu Profesorowi Andrzejowi Rózkowskiemu za wszystkie cenne uwagi, które miały wpływ na ostateczny kształt niniejszej pracy.

LITERATURA

- CHOWANIEC J., 1993 — Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne okolic Ustronia z uwzględnieniem wyników otworu chłonnego C-1. Arch. Uzdr. Zakł. Gór. Ustroń, niepublikowane.
- DULSKI K., 1993 — Dokumentacja hydrogeologiczna odwiertu chłonnego C-1 w Ustroniu. Arch. Uzdr. Zakł. Gór. Ustroń, niepublikowane.
- KRIEGER W., WOŹNIAK P., 1998 — Mapa miąższości serii węglanowej karbonu dolnego oraz dewonu środkowego i górnego. Państw. Inst. Geol., Oddz. Górnośląski — opracowanie archiwalne.
- MICHALIK A., 1972 — Dokumentacja hydrogeologiczna podziemnych wód mineralnych z utworów kredy i dewonu w Ustroniu. Państw. Inst. Geol., Oddz. Karpacki, Kraków, niepublikowane.
- MICHALIK A., 1973 — Wody mineralne w polskiej części Karpat Zachodnich. *Biul. Inst. Geol.*, **227**: 279–289.
- MICHALIK A., 1978 — Pionowa strefowość wód chlorkowych (solanek) w rejonie Ustronia. *Biul. Inst. Geol.*, **312**: 5–27.
- NIEMCZYK B., TALIK J., WRÓBEL R., 1994 — Nowe spojrzenie na chłonność utworów dewonu w świetle badań uzyskanych w otworze Krasna 1. *Prz. Geol.*, **42**, 9: 777.
- PORWISZ B., CHOWANIEC J., KOWALSKI J., KOZIARA T., SZKLARCZYK T., WITCZAK T., 2002 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i towarzyszących im lub występujących w obrębie wód potencjalnie leczniczych na obszarze Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Arch. Przeds. Geol., Kraków, niepublikowane.
- ROTH T. P., 1992 — Głębokie zatłaczanie wód zasolonych. Przepisy dotyczące tej technologii w Stanach Zjednoczonych. W: *Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego*: 176–189, Szczyrk.
- RÓŻKOWSKI A., 2002 — Solanki Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **40**: 4191–214.
- RÓŻKOWSKI A., CHMURA A., GAJOWIEC B., JURECZKA J., WAGNER J., 1995 — Ocena możliwości wtłaczania słonych wód w górotwór w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i jego południowym obrzeżeniu: 175–181. W: *Współczesne problemy hydrogeologii t. 7*, Kraków–Krynica.
- SOLECKI T., 1998 — Projekt techniczny zabiegu kwasowania w odwiercie chłonnym C-1. Arch. Uzdr. Zakł. Gór. Ustroń, niepublikowane.
- SOLECKI T., 2003 — Projekt techniczny zabiegu kwasowania w odwiercie chłonnym C-1. Arch. Uzdr. Zakł. Gór. Ustroń, niepublikowane.
- SZKLARCZYK T., SZCZEPAŃSKI A., 2006 — Ocena możliwości eksploatacyjnych wód z utworów dewońskich w rejonie Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała. *Geologos*, **10**: 285–292.
- WALIGÓRA J., BIAŁAS Z., 2004 — Monitoring procesów eksploatacji, uzdatniania i zatłaczania solanek pozabiegowych w Uzdrawiskowym Zakładzie Przyrodolecznictwa w Ustroniu. *Glob Energy*, **01/2004**: 34–37.
- WRÓBEL R., i in., 1998 — Ocena hydrogeologiczna możliwości recyrkulacji i głębokiego zatłaczania wód kopalnianych. Arch. Katowickiego Przeds. Geol., Katowice, niepublikowane.

SUMMARY

The health resort Ustroń exploits 11.5–13.1% brine, which occurs in the Devonian carbonate formation. The roof of the Devonian carbonate formation in Ustroń is at the depth 1188–1354 m. Hydrochemical type of exploited brine is: Cl–Na–Ca, Fe, Br, I, B. Brine has been exploited since 1994. Typical demand on brines approximates from $4.8 \cdot 10^3$ do $5.6 \cdot 10^3$ m³ annually. Activity of the health resort Ustroń generates about $15 \cdot 10^3$ – $20 \cdot 10^3$ of waste-water annually. The mineralization of waste-water is about 3.5%. The total, average annual content of dissolved substances is about 540 Mg.

The initial yield of the well C-1 amounted to 2.04 m³/h at the pressure range 1–11.5 MPa. In 1993 acidizing of the borehole was performed in order to enlarge its yield. As a result of injection of 50 m³ of acid liquid they obtained the growth of the yield up to 8.5 m³/h in the conditions of complete fulfillment of well with waste water (see [table 2](#)).

The exploitation of the well C-1 started in 1994. Average amounts of waste-water injected to the orogen are about 40–50 cubic meters daily. During first years of exploitation the decrease of subsurface injection debit has been observed.

Continuous usage of the injection well caused its clogging. In 1998 the second acidizing was performed. After that intervention the yield increased to 4 m³/h when the water surface was 40 m below ground level. Unfortunately in the period 2001–2003 the yield of the C-1 well decreased again up to 2.5 m³/h when the well was completely filled by waste water. Acidizing was therefore necessary. After acidizing, during 19 months, the field of the C-1 well exceeded 4.5 m³/h when the water surface was 40 m – 18 m below ground level. In the period 2006–2010 the yield of the C-1 well stabilized on the level about 3.5 m³/h. Increase of the water level has been observed simultaneously – now it is stabilized about 1.5 below ground level. This state has been kept up till now. One could expect the necessity of acidizing of the well in the nearest future.

The subsurface injection gives the possibility of the protection of surface water – since the beginning of use the C-1 well about 235 000 m³ of waste-water were injected to the Devonian carbonate formation. In this amount of water $6,9 \cdot 10^3$ Mg of chloride were dissolved.