

Tadeusz Solecki*

ZASTOSOWANIE ODWIERTÓW CHŁONNYCH W OCHRONIE ŚRODOWISKA NA PRZYKŁADZIE UZDROWISKA USTRONÓW**

1. WSTĘP

W latach 60. ubiegłego wieku rozpoczęto od podstaw budowę nowego kompleksu leczniczo-rehabilitacyjnego w Ustroniu-Zawodziu. W latach 1972–78 wykonano odwierty, w których udokumentowano zasoby wód o znaczeniu leczniczym. Wówczas jednak problem zrztu wykorzystanych w lecznictwie solanek był rozpatrywany jedynie pod kątem rozwiązań technicznych, zagadnienia ekologiczne były pominięte z przyczyny braku uregulowań prawnych.

W latach 70. oraz 80. wykonano szereg opracowań projektowych, które zakładały zrzt solanek pozabiegowych do cieków powierzchniowych, w pierwotnym założeniu do Wisły, a w drugim wariantcie do Olzy i jej dopływów. Mimo zainwestowania znacznych środków finansowych w budowę zakładu przyrodoleczniczego, szpitala sanatoryjnego oraz wykonania odwiertów, a także udokumentowania zasobów wód leczniczych, na przełomie kolejnej dekady znowelizowane prawo spowodowało wstrzymanie dalszych prac projektowych, a także prac budowlanych w Uzdrowskim Zakładzie Przyrodoleczniczym, ponieważ nie było możliwości prowadzenia zabiegów leczniczych bez rozwiązania problemu odprowadzania solanek pozabiegowych.

W celu rozwiązania tego problemu, zaproponowano zastosowanie zatłaczania solanek pozabiegowych do górotworu, a po uzyskaniu pozytywnej opinii Departamentu Prawnego MOŚNiL z dnia 8 maja 1990 roku przystąpiono do opracowania projektów, które ostatecznie rozwiązały problem kompleksowo, począwszy od otworowej eksploatacji solanek, poprzez ich lecznicze wykorzystanie, oczyszczanie i zatłaczanie do górotworu. Odwiert chłonny C-1 do zatłaczania solanki pozabiegowej zlokalizowano tak, aby dopływ solanki

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

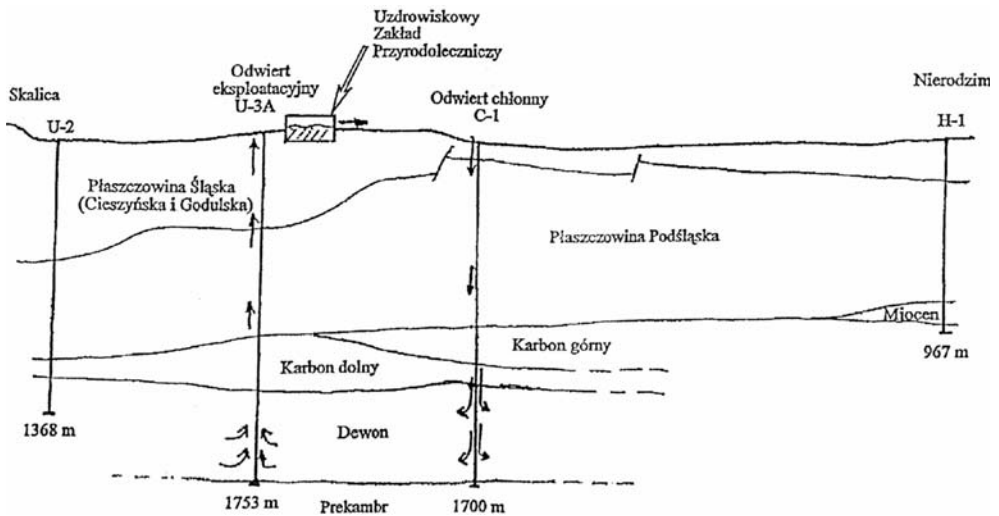
** Praca została wykonana w ramach badań statutowych nr 11.11.190.01

z Zakładu Przyrodoleczniczego następował grawitacyjnie, zaś sam odwiert znajdował się w obszarze górniczym Ustroń, a wprowadzanie do górotworu solanki pozabiegowej nie miało niekorzystnego wpływu na eksploatowaną solankę do celów leczniczych.

W 1989 r. opracowano koncepcję systemu odprowadzania solanek pozabiegowych do odwiertów chłonnnych z Uzdrowiska Ustroń [2], a w 1990 r. projekt odwiertu chłonnego C-1 dla oczyszczonych solanek pozabiegowych, który zatwierdzony został przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa decyzją z dnia 17.12.1990 roku.

Równolegle prowadzone były wstępne prace badawcze nad technologią uzdatniania solanek pokąpielowych [5]. Założono bowiem, że solanka, która wprowadzona zostanie do górotworu i mieszać się będzie z solankami dewońskimi, nie może pogarszać ich jakości.

Schemat systemu eksploatacyjno-chłonnego wykorzystania solanek leczniczych na tle budowy geologicznej rejonu Ustronia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat systemu eksploatacyjno-chłonnego na tle budowy geologicznej

2. WARUNKI GEOLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE

Obszar Ustronia charakteryzuje się tym, że utwory krystaliniku występują stosunkowo blisko powierzchni terenu, tworząc tzw. grzbiet cieszyńsko-kępski, a rejon Ustronia znajduje się na jego północno-zachodnim skłonie. W budowie geologicznej okolic Ustronia biorą udział utwory: krystaliniku (prekambr), paleozoiku (dewon i karbon), fliszu karpaccyjskiego (kreda i paleogen) oraz miocenu (podkarpackiego).

W Ustroniu, w otworach U-3, U-3A i C-1 stwierdzono strop utworów prekambru na głębokościach 1736, 1744 i 1688 m p.p.t. Utwory prekambru zbudowane są z gnejsów biotytowych, skał kontaktowych oraz diabazów. W otworze C-1 nawiercono jedynie gnejsy łyszczykowe.

Utwory dewonu na omawianym obszarze reprezentowane są przez iłowcowo-mułowcowo-piaskowcową serię dewonu dolnego oraz wapienno-dolomityczną serię dewonu środkowego i górnego. W rejonie Ustronia utwory dewonu środkowego i górnego zostały przewiercone odwiertami U-3, U-3A i C-1, a ich miąższość wynosi: 463,7; 470,6 i 478,0 m.

Utwory karbonu reprezentowane są w rejonie Ustronia zarówno przez karbon dolny, jak i karbon górny. Jest to seria iłowcowo-mułowcowo-piaskowcowo-łupkowa o miąższości 298,0 m w otworze C-1.

Utwory fliszowe Karpat (kreda-paleogen) w rejonie Ustronia leżą bezpośrednio na osadach karbońskich i osiągają 912,0 m miąższości w otworze C-1. Należą one do jednostki podśląskiej i cieszyńskiej (śląskiej). Wykształcone są w postaci piaskowców i łupków będących ze sobą w różnych proporcjach. Jednostkę podśląską reprezentują na powierzchni pstry łupki, margle i łupki menilitowe. Natomiast jednostka cieszyńska (śląska) zbudowana jest z dolnych i górnych łupków cieszyńskich, warstw lgockich i godulskich, menilitowych i krośnieńskich.

Poza wodami występującymi w utworach czwartorzędu i stropowej części fliszu, są cztery piętra wodonośne:

- 1) kredowo-paleogeńskie,
- 2) neogeńskie,
- 3) karbońskie,
- 4) dewońskie.

Z punktu widzenia parametrów fizycznych i możliwości zatłaczania do górotworu interesujące jest piętro dewońskie. Dewońskie piętro wodonośne w okolicach Ustronia stwierdzono i przebadano w otworach U-2, U-3, U-3A i C-1. Piętro to zbudowane jest z utworów dewonu górnego i środkowego wykształconych w postaci wapieni szarych i ciemnoszarych, beżowych i niekiedy czarnych przeławiconych dolomitami lub marglami i ciemnymi, czasem czarnymi łupkami ilastymi. W otworze U-3 na głębokości 1320÷1425 m, a więc 50 m poniżej stropu dewonu stwierdzono szczeliny i pustki krasowe.

Utwory dewonu w otworze C-1 przewiercono na głębokości 1210÷1688 m. Na podstawie profilowania geofizycznego ustalono, że najbardziej chłonne strefy znajdują się na głębokościach:

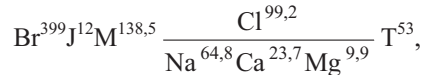
- 1330÷1352 m – strefa margli oraz wapieni marglistych spękanych,
- 1405÷1435 m – strefa wapieni i wapieni marglistych mocno spękanych,
- 1507÷1560 m – strefa wapieni mocno porowatych i kawernistych, a także mocno spękanych.

W trakcie wiercenia w utworach dewonu obserwowano liczne ucieczki płuczki. W sumie, podczas wiercenia w tych utworach, ubyłoby w obiegu 107 m płuczki. Wyraźne ucieczki płuczki obserwowano poniżej głębokości 1354 m. Wydajności uzyskiwane z tego poziomu są zróżnicowane. W otworze U-2 wynoszą $Q = 0,035$ m/h przy $s = 507$ m (przed kwasowaniem), oraz $Q = 0,0515$ m/h przy $s = 189$ m (po kwasowaniu). W otworze U-1 nie prowadzono badań pozwalających określić wydajność poziomu wodonośnego. Wielkość dopływu solanki do odwiertu określono orientacyjnie na $0,01\div 0,06$ m/h. W otworze U-3 uzyskano 6,0 m/h wody przy depresji 3,0 m, zaś w odwiercie U-3A – 6,77 m/h przy depresji 3,9 m.

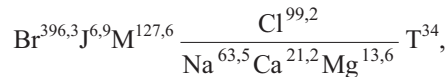
Współczynniki filtracji obliczone na podstawie próbnych pompowań wynoszą od $0,98 \cdot 10^{-9} \div 2,47 \cdot 13^{-9}$ m/s w otworze U-2 do $1,36 \cdot 10^{-6} \div 1,97 \cdot 13^{-6}$ m/s w otworze U-3.

Skład chemiczny wód dewońskiego poziomu wodonośnego przedstawia się następująco:

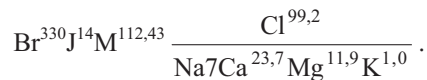
– w otworze U-3



– w otworze U-3A



– w otworze C-1



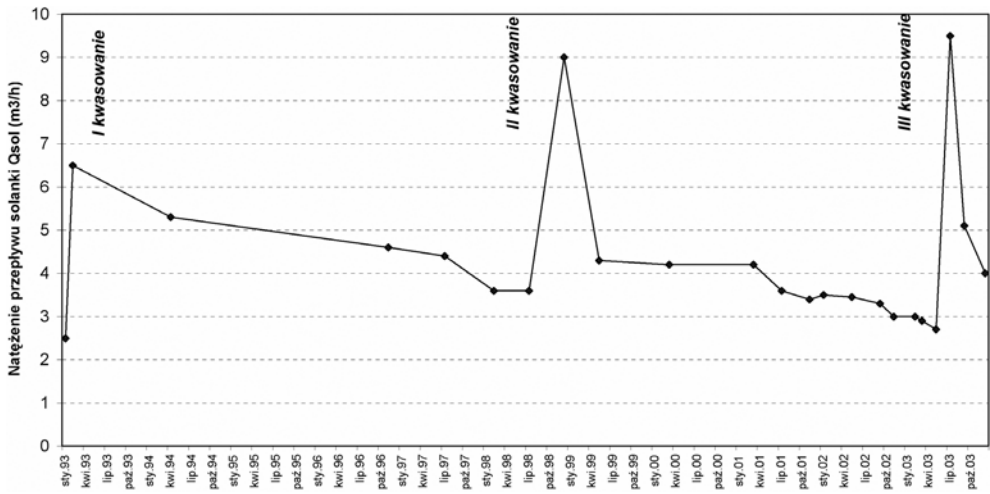
Są to: 7,0% (U-2), 13,9% (U-3), 12,7% (U-3A) i 11,2% (C-1) wody chlorkowo-sodowo-wapniowe, bromkowe, jodkowe [1].

3. KONSTRUKCJA ODWIERTU CHŁONNEGO C-1 I ZABIEGI UAKTYWNIAJĄCE

W otworze C-1 zaprojektowano konstrukcję, mając na uwadze przeznaczenie odwiertu do zatłaczania solanki w warstwy chłonne górotworu. Konstrukcja odwiertu to: rura śr. 610 mm do 3,10 m, rury 18 $\frac{5}{8}$ " do 21 m, rury 14" do 206,5 m, rury 9 $\frac{5}{8}$ " do 1226 m. Wszystkie rury cementowane do wierzchu. Następnie rury 6 $\frac{5}{8}$ " – stanowiące kolumnę filtrową w interwale 1192,7 ÷ 1700 m p.p.t., perforacja rur w strefach chłonności wyznaczonych metodami geofizycznymi. Perforacja filtra wynosi około 7 ÷ 8%, otwory średnicy 20 mm wykonano w ilości 110 ÷ 130 na 1 mb. Jedynie odcinek filtra w głębokości 1228,78 ÷ 1257,89 m posiada perforację 16%, przy otworach o śr. 18 mm w ilości 340 ÷ 370 na 1 mb. Wyposażenie dodatkowe to rury tłoczne (eksploatacyjne) 3 $\frac{1}{2}$ " × 2 $\frac{7}{8}$ " ; głębokość zapuszczenia 0 ÷ 454,32 m oraz rury 2 $\frac{7}{8}$ " , głębokość zapuszczenia 454,32 ÷ 1355,64 m. Uszczelniacz gumowy typu *cup-tester* – 198,9 ÷ 200,32 m, na rurach 3 $\frac{1}{2}$ " do rur 9 $\frac{5}{8}$ ". Przestrzeń pierścieniowa nad uszczelniaczem wypełniona inhibitorem korozji DS-403.

Zgodnie z opracowanym projektem technologicznym do pierwszego zabiegu kwasowania użyto 46 m³ cieczy kwasującej stanowiącej mieszaninę z udziałem: 15-procentowy HCl + 3-procentowy CH₃COOH + 1-procentowa urotropina + 0,1-procentowy rokamid MR-17. Jako przybitkę użyto 39 m³ wody złożowej (solanka pochodząca z odwiertu C-1). Ciecz kwasującą tłoczono przez przewód tłoczny 4" × 2 $\frac{7}{8}$ " zapuszczony do głębokości 1650 m.

W otworze C-1 wykonano szczegółowe badania chłonności dewońskiego poziomu wodonośnego. Początkowo chłonność wynosiła 1,57 m/h przy ciśnieniu tłoczenia 10 atm. Zwierciadło wody stabilizowało się wówczas 124,35 m p.p.t. Zdecydowanie korzystniejsze wyniki uzyskano po kwasowaniu odwiertu – 9,8 m/h, a zwierciadło wody stabilizowało się ok. 61,0 m p.p.t. Przebieg zmian maksymalnej chłonności odwiertu C-1 podczas 10 letniego okresu ciągłego odprowadzania solanki pozabiegowej do górotworu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zmiana maksymalnego przepływu solanki Q_{sol} dla $H_{lus} = 0$ m p.p.t.

Maksymalną chłonność określano okresowo przy całkowitym zalaniu odwiertu chłonnego solanką gdy lustro wody utrzymywane jest przy powierzchni terenu – $H_{lus} = 0$ m p.p.t. W okresie od 1993 r. do 2003 r. wykonano trzy zabiegi uaktywniania. Pierwszy w lutym 1993 r. bezpośrednio po wykonaniu odwiertu C-1, drugi we wrześniu 1998 r., a trzeci w maju 2003 r. Przed pierwszym kwasowaniem odwiertu C-1 współczynnik filtracji dla utworów dewonu kształtował się w granicach $4,32 \div 7,55 \cdot 10^{-9}$ m/s przy założeniu, że miąższość aktywnej warstwy wodonośnej wynosi ok. 150 m. Po pierwszym kwasowaniu współczynnik filtracji zwiększył się $8,2 \cdot 10^{-7}$ m/s.

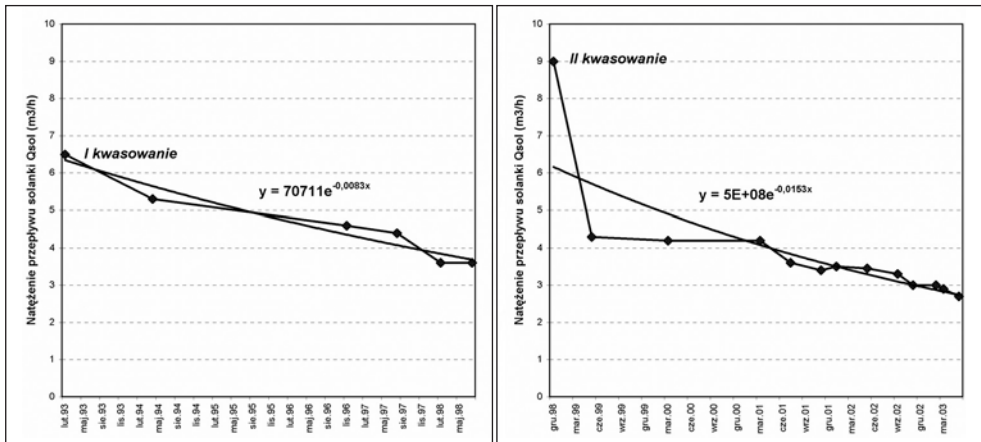
Spełnienie założenia projektowego o grawitacyjnym odprowadzaniu minimum 2 m³/h solanki pozabiegowej z uzdrowiska Ustroń do odwiertu chłonnego C-1 wymaga okresowego powtarzania zabiegów kwasowania, co wyraźnie widać z wykresu na rysunku 2.

Po wykonaniu zabiegu pierwszego kwasowania, wykonano komputerową symulację pracy systemu eksploatacyjno-chłonnego U-3 – C-1 przy zatłaczaniu z wydajnością 3,0 m³/h, uwzględniając jednocześnie eksploatację odwiertu U-3 lub U-3A z wydajnością 0,75 m³/h [3]. Wyniki symulacji wykazują, że po okresie 25–30 lat odwierty eksploatacyjne nie powinny być objęte zasięgiem wtłaczanych solanek. Również przeprowadzone obliczenia prognozy zmian ciśnienia oraz zasięgu strefy oddziaływania (przy założeniu radialnego rozprzyszczenia wtłaczanej solanki) pozwalają stwierdzić, iż w ciągu 30 lat wtłoczona solanka nie powinna dostać się do odwiertu U-3 (U-3A).

4. MONITORING I ANALIZA PRZEBIEGU PROCESU WPROWADZANIA SOLANKI DO GÓROTWORU

Proces wprowadzania solanki do górotworu solanki pozabiegowej do górotworu za pomocą odwiertu C-1 jest objęty monitoringiem, początkowo pomiary wykonywano manualnie, a od 1999 r. zainstalowano do tego celu automatyczną aparaturę pomiarową [4, 5]. Wyniki aktualnie gromadzone są w bazie danych w czasie rzeczywistym, a ich obraz tabelaryczny może być pokazany na ekranie komputera na stanowisku decyzyjnym. Zainstalowana armatura umożliwia korektę wybranych parametrów ze stanowiska decyzyjnego. Pomiarem objęte są następujące parametry: czas, temperatura zewnętrzna, położenie lustra solanki w otworze, ciśnienie głowicowe, ciśnienia w różnych odcinkach ciągu technologicznego uzdatniania solanki przed wprowadzeniem do odwiertu C-1, temperatura solanki, natężenie przepływu solanki oraz objętość wprowadzonej solanki do górotworu (narastająco). Do końca roku 2006 wprowadzono łącznie 186 364 m³ solanki poprzez odwiert C-1 do górotworu.

Przykładowy raport dobowy z 22 lutego 2007 r. przedstawia tabela 1.



Rys. 3. Trendy zmian maksymalnego natężenia przepływu solanki Q_{sol} (dla $H_{lus} = 0$ m p.p.t.) po kwasowaniach

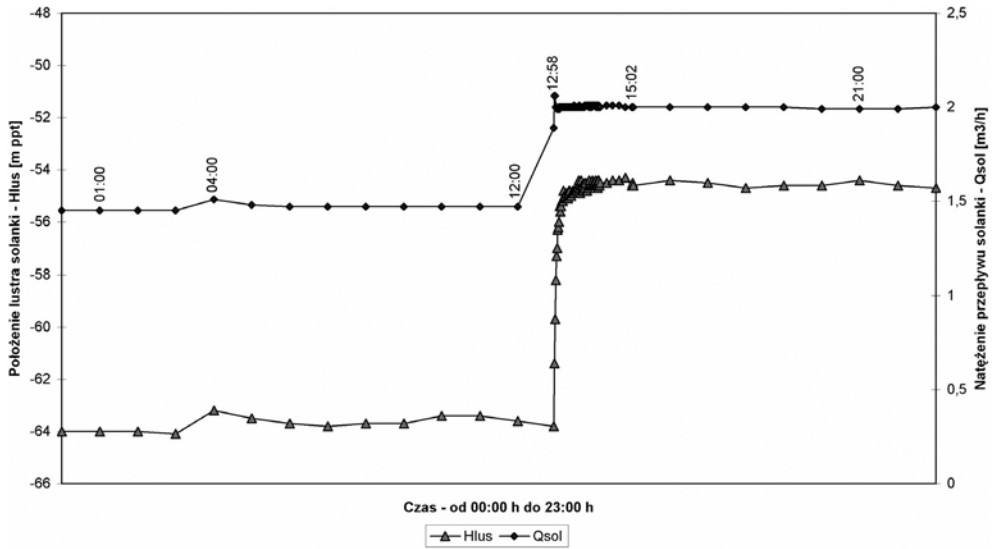
Na rysunku 3 przedstawiono okresy między kwasowaniem i spadek chłonności maksymalnej odwiertu C-1 w czasie. Jak zauważono wcześniej, spełnienie założenia projektowego o grawitacyjnym odprowadzaniu minimum 2 m³/h solanki pozabiegowej do odwiertu chłonnego C-1 wymaga okresowego powtarzania zabiegów kwasowania. Spadki maksymalnej chłonności odwiertu po zabiegu kwasowania przebiegają według określonych trendów i tak po kwasowaniu I można je opisać przybliżoną zależnością $y = 70711e^{-0,0083x}$, a po kwasowaniu II przybliżoną zależnością $y = 5 + 08e^{-0,0153x}$.

Na rysunku 4 przedstawiono wykres dobowy zależności położenia lustra solanki w otworze C-1 od natężenia przepływu solanki. Wybrano do analizy raport z dnia 21.02.2003 r. ze względu na występujące zmiany natężenia przepływu solanki.

Tabela 1

Raport dobowy monitoringu pracy odwiertu chłonnego

22 lutego 2007 00:00 *** [SYSTEM ODWIERT – RAPORT DOBOWY] ***														
Data	Czas	Tzew °C	Plus MPa	Hlus mppt	Gsol g/cm ³	Pglo MPa	Psol MPa	Tsol °C	Qsol m ³ /h	zQsol m ³ /h	Vsol m ³	Pwlot MPa	Pzel MPa	Pkkt MPa
22-02	00:00	-0,4	0,440	54,7	1,023	-0,085	0,372	11,9	2,00	2,00	129427	0,456	0,409	0,385
22-02	01:00	-1,2	0,442	54,5	1,023	-0,085	0,372	12,0	2,00	2,00	129429	0,455	0,409	0,385
22-02	02:00	-2,3	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,372	12,0	2,00	2,00	129431	0,455	0,409	0,386
22-02	03:00	-2,2	0,440	54,7	1,023	-0,085	0,372	12,0	1,99	2,00	129433	0,455	0,408	0,385
22-02	04:00	-2,2	0,444	54,3	1,023	-0,085	0,371	11,9	2,00	2,00	129435	0,455	0,408	0,384
22-02	05:00	-0,9	0,444	54,3	1,023	-0,084	0,371	11,9	1,99	2,00	129437	0,455	0,407	0,384
22-02	06:00	1,0	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,371	12,0	1,99	2,00	129439	0,454	0,407	0,384
22-02	07:00	-1,0	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,371	12,0	1,99	2,00	129441	0,454	0,406	0,384
22-02	08:00	0,0	0,447	54,0	1,023	-0,085	0,370	12,0	1,99	2,00	129443	0,453	0,406	0,384
22-02	09:00	1,1	0,444	54,3	1,023	-0,085	0,370	12,0	1,99	2,00	129445	0,454	0,407	0,383
22-02	10:00	2,5	0,448	53,9	1,023	-0,085	0,371	12,1	1,99	2,00	129447	0,454	0,408	0,384
22-02	11:00	3,6	0,448	53,9	1,023	-0,085	0,371	12,2	2,00	2,00	129449	0,455	0,408	0,384
22-02	12:00	5,5	0,453	53,4	1,023	-0,085	0,372	12,3	2,00	2,00	129451	0,456	0,408	0,385
22-02	13:00	10,7	0,450	53,7	1,023	-0,085	0,372	12,4	2,00	2,00	129453	0,456	0,409	0,386
22-02	14:00	12,8	0,446	54,1	1,023	-0,085	0,373	12,5	2,00	2,00	129455	0,456	0,409	0,386
22-02	15:00	5,5	0,447	54,0	1,023	-0,085	0,373	12,5	2,00	2,00	129457	0,457	0,409	0,386
22-02	16:00	5,9	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,372	12,4	1,99	2,00	129459	0,456	0,408	0,385
22-02	17:00	5,3	0,442	54,5	1,023	-0,085	0,372	12,3	1,99	2,00	129461	0,456	0,409	0,385
22-02	18:00	3,7	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,372	12,3	1,99	2,00	129463	0,456	0,408	0,385
22-02	19:00	3,4	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,372	12,3	1,99	2,00	129465	0,455	0,408	0,385
22-02	20:00	3,3	0,443	54,4	1,023	-0,085	0,372	12,3	1,99	2,00	129467	0,455	0,408	0,385
22-02	21:00	3,2	0,444	54,3	1,023	-0,085	0,371	12,3	1,99	2,00	129469	0,455	0,408	0,384
22-02	22:00	2,9	0,444	54,3	1,023	-0,085	0,370	12,2	1,99	2,00	129471	0,455	0,406	0,384
22-02	23:00	2,5	0,445	54,2	1,023	-0,085	0,371	12,3	1,99	2,00	129473	0,454	0,406	0,384



Rys. 4. Zależność położenia lustra solanki ($H_{lus} = 0$ m p.p.t.) od natężenia przepływu solanki (Q_{sol} m³/h) przykładzie danych pomiarowych z dn. 21.02.2007 r.

Widać z wykresu jednoznaczny wpływ zmiany natężenia przepływu solanki na położenie lustra solanki w otworze. Obliczony współczynnik korelacji między wynikami pomiarów H_{lus} i Q_{sol} wynosi $k = 0,914$.

5. WNIOSKI

- 1) Odwiert C-1 w Ustroniu, pierwszy w Polsce wykonany specjalnie do zatłaczania solanek pozabiegowych z uzdrowiska osiągnął swój cel z rezultatem lepszym, niż oczekiwano.
- 2) Ponieważ poziom wodonośny w utworach dewonu jest wykorzystany zarówno do zatłaczania, jak i do eksploatacji solanek dla celów leczniczych, odwiertem C-1 odprowadzania jest solanka oczyszczonych z wszelkich zawiesin powyżej 5 m, bez zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych.
- 3) Po dwunastoletnim okresie ciągłej pracy układu eksploatacyjno-chłonnego odwiertów U3-C-1 można stwierdzić, iż działa on prawidłowo, ponieważ w otworach eksploatacyjnych nie stwierdzono wzrostu ciśnień hydrostatycznych i zmian mineralizacji, a w otworze chłonnym nie zaobserwowano trwałego podniesienia się poziomu lustra solanki.
- 4) W czasie ciągłego wprowadzania solanki pozabiegowej do górotworu następuje zmniejszanie chłonności odwiertu C-1 z powodu kolmatacji strefy przyodwiertowej warstwy chłonnej.
- 5) Utwory warstwy chłonnej (kompleks wapienno-dolomitowy dewonu) umożliwiają zwiększenie chłonności odwiertu C-1, co zostało potwierdzone w wyniku przeprowadzenia trzech skutecznych okresowych zabiegów kwasowania.

Autor dziękuje Przedsiębiorstwu Uzdrawiskowemu „Ustroń” S.A. za udostępnienie danych źródłowych.

LITERATURA

- [1] Białas Z.: *Eksploatacja solanek w Uzdrawiskowym Zakładzie Przyrodolecznicy w Ustroniu*. Warszawa, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2004
- [2] Solecki T. i in.: *Opracowanie systemu odprowadzania solanek pozabiegowych do odwiertów chłonnych z Uzdrawiska Ustroń*. Stow. Inż. i Tech. Przem. Naftowego i Gazowniczego. Kraków, SITPNaft. 1989
- [3] Solecki T., Stopa J.: *Interpretacja wyników badań hydrodynamicznych w odwiercie chłonnym C-1 i symulacja pracy systemu eksploatacyjno-chłonnego U-3 – C-1 w Ustroniu oraz program prac i badań kontrolnych na okres do pełnego wykorzystania systemu*. Kraków, AGH 1993
- [4] Solecki T i in.: *Odprowadzanie do górotworu odwiertem C-1 oczyszczonych solanek pozabiegowych z Uzdrawiskowego Zakładu Przyrodoleczniczego*. Kraków, Przedsiębiorstwo Uzdrawiskowe „Ustroń” S.A., Projekt celowy KBN AGH 1999
- [5] Waligóra J., Białas Z.: *Monitoring procesów eksploatacji, uzdatniania i zatłaczania solanek pozabiegowych w Uzdrawiskowym Zakładzie Przyrodolecznicy w Ustroniu*. Warszawa, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2004