

BADANIA LABORATORYJNE PROCESÓW WYPIERANIA RODZIMEGO GAZU ZIEMNEGO ROZPU SZCZONEGO W SOLANKOWYCH POZIOMACH WODONOŚNYCH NIECKI POZNAŃSKIEJ Z WYKORZYSTANIEM ZATŁACZANEGO CO₂

LABORATORY STUDIES ON DISPLACING PROCESSES OF NATIVE HYDROCARBON GAS DISSOLVED IN DEEP SALINE AQUIFER OF POZNAŃ TROUGH USING CO₂ INJECTION

MARCIN WARNECKI¹

Abstrakt. W artykule prezentowana jest koncepcja wykorzystania ogromnej struktury wodonośnej, zalegającej na obszarze niecki poznańskiej, rozciągającej się na powierzchni 5 000 km², jako potencjalnego miejsca do podziemnego składowania CO₂. Instytut Nafty i Gazu wraz z Polskim Górnictwem Naftowym i Gazownictwem SA posiadają pewne doświadczenia w wychwytywaniu i podziemnym składowaniu gazów kwaśnych. Od 1996 r. na złożu Borzęcin k. Wrocławia pracuje instalacja zatłaczająca kwaśne gazy odpadowe do strefy zawodnionej (tzw. akifera) podścielającej złożę gazu ziemnego. Obok technologicznych parametrów pracy instalacji obserwowane, analizowane i badane są procesy wypierania rodzimego gazu ziemnego nasycającego warstwy wodonośne przez gazy kwaśne zatłaczane bezpośrednio do wód podścielających złożę. Opisywane zjawisko zachodzi z powodu blisko 10-krotnie większej rozpuszczalności CO₂ w stosunku do gazu ziemnego w wodzie. Pozwala to na zwiększenie wydobywalnych zasobów złoża o gaz pierwotnie rozpuszczony w warstwach wodonośnych i nie dający się pozyskać standardowymi metodami eksploatacji. W artykule opisano aparaturę i stanowiska badawcze służące do badań procesów wypierania gazu ziemnego. Zaprezentowano wyniki wybranych eksperymentów przeprowadzonych na fizycznym modelu złoża.

Słowa kluczowe: sekwestracja CO₂, głębokie solankowe poziomy wodonośne, rozpuszczalność CO₂ w wodzie, perm, czerwony spągowiec, niecka poznańska.

Abstract. In this paper we present Poznań Trough megaaquifer naturally saturated by native natural gases. This megastructure represents a great potential for long-term underground CO₂ storage on 5 000 km² area. Oil & Gas Institute and Polish Oil & Gas Company has gained a lot of experience in acid gas capture and storage. The acid gas containing 60% of CO₂ and 15% of H₂S reinjected into an aquifer directly underlying the Borzęcin gas reservoir has been in operation since 1996. Apart from technological parameters we also analyzed the process of displacement of native natural gas which originally saturates the underlying water by acid gases injected into reservoir. Such a displacement process allows to replenish the gas cap by volume equivalent to methane gas dissolved in underlying water. This paper describes the apparatus and research station/unit designed to explore the natural gas displacement processes. The results of some experiments carried out on a reservoir physical model are presented.

Key words: CO₂ sequestration, deep saline aquifers, CO₂ solubility in water, Permian, Rotliegend, Poznań Trough.

¹ Instytut Nafty i Gazu O/Krosno, ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno; e-mail: warnecki@inig.pl

MEGASTRUKTURA WODONOŚNA NIECKI POZNAŃSKIEJ – POTENCJALNY PROJEKT DLA SEKWESTRACJI CO₂

Głębokie solankowe poziomy wodonośne zalegające w warstwach permu na obszarze niecki poznańskiej rozciągają się na powierzchni ok. 5 000 km² (fig. 1). Formacja ta jest nasycona rodzimym gazem ziemnym, a jej szczelność potwierdzona występowaniem wielu lokalnych akumulacji gazu, które powstały podczas jego grawitacyjnej migracji, ostatecznie tworząc niewielkie złoża – obecnie w dużym stopniu szczypane.

Ze względu na zróżnicowanie nachylenia stropu czerwonego spągowca nieckę poznańską podzielono na dwa obszary. Zachodnia część sięga od strefy Lwówek–Nowy Tomysł

do Poznania. Jej szerokość wynosi ok. 50 km, a rozciągłość ok. 35 km. Od północy niecka ograniczona jest wałem Rokietnica–Siekierki. Mniejsze nachylenie stropu czerwonego spągowca przyczyniło się do zachowania zakumulowanego gazu w kilku ciągach obiektów strukturalnych. W tej części basenu odkryto wiele złóż gazu ziemnego. Wschodnia część niecki poznańskiej rozciąga się od Poznania do rejonu Pleszewa (ok. 80 km). Obszar ten cechuje się znacznie większym nachyleniem stropu czerwonego spągowca, a pułapki tam stwierdzone mają zamknięcia tektoniczno-litologiczne (Wolnowski, 2007).

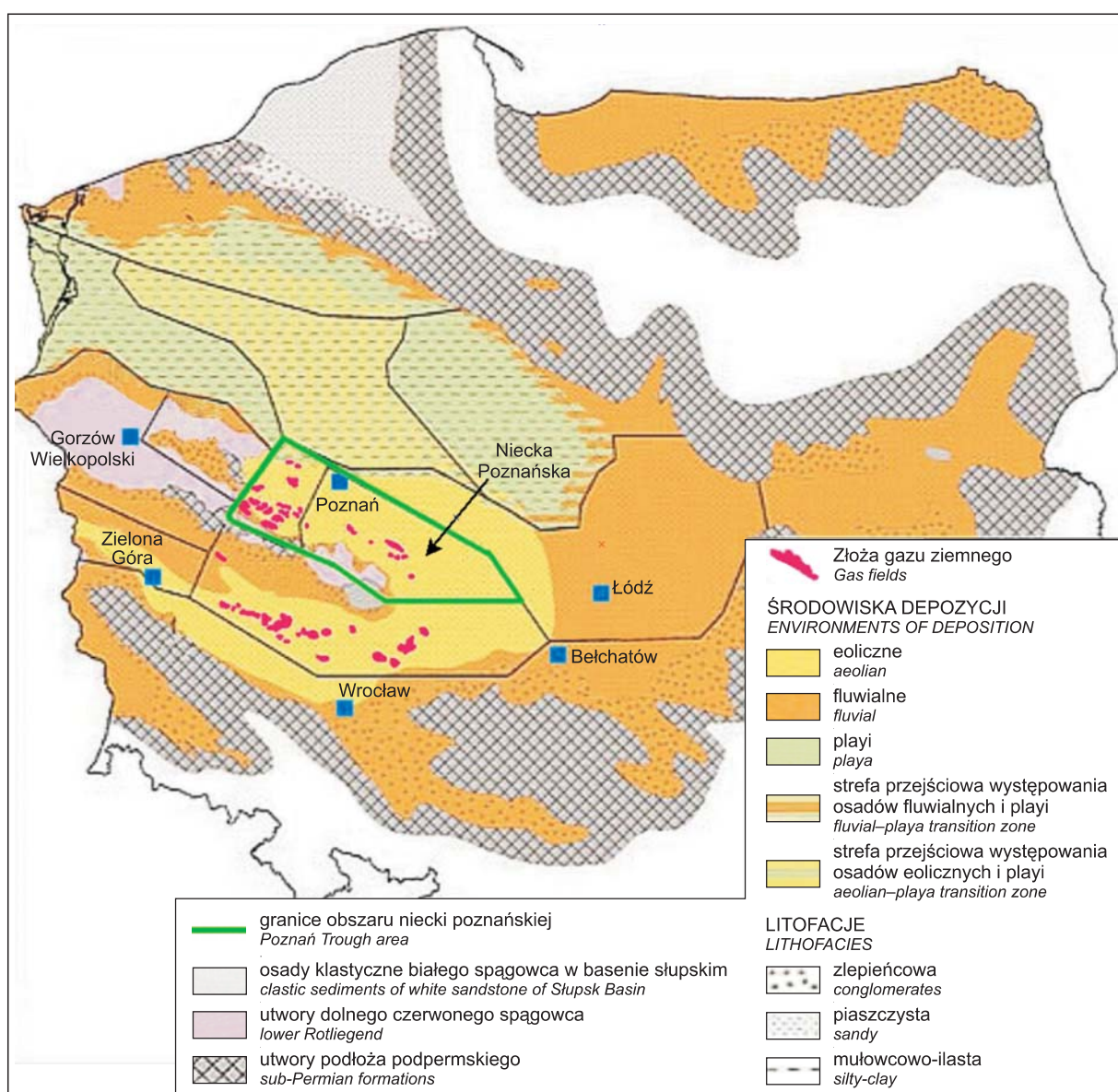


Fig. 1. Lokalizacja niecki poznańskiej na tle mapy paleogeograficznej schyłku górnego czerwonego spągowca (Wolnowski, 2007)

Poznań Trough mega-aquifer location on the map of Rotliegend area in Poland (Wolnowski, 2007)

W ponad 50 otworach, którymi dowiercono się do warstw wodonośnych niecki, stwierdzono (próbnikami złoża) nasycenie wód złożowych gazem węglowodorowym. Już w latach 70. XX w. polscy geolodzy, znając ten fakt, zastanawiali się nad znalezieniem możliwości wydobycia ogromnych ilości „uwiecznionego” gazu. Przeprowadzone badania ustaliły, że w 1 m³ solanki rozpuszczone jest średnio ok. 2,4 Nm³ gazu ziemnego (w zależności od mineralizacji, ciśnienia i temperatury złożowej). Wyliczono, że na powierzchni 5 000 km² zasoby gazu rozpuszczonego w strukturze wodonośnej mogą dochodzić nawet do 120 mld Nm³ (Karnkowski, 1979). Nasycenie solanki gazem jest oczywiście niejednorodne na przestrzeni całej struktury zawodnionej, a także może maleć wraz z głębokością, więc rzeczywista ilość rozpuszczonego gazu węglowodorowego może być zredukowana do ok. 100 mld Nm³, co jest porównywalne z wydobywalnymi zasobami gazu w Polsce, tj. ok. 140 mld Nm³ (Wagner, Pokorski, 2012).

Struktura wodonośna niecki poznańskiej może być porównana do ogromnego syfonu, prawie całkowicie wypełnionego wodą nasyconą gazem. Stosunkowo niewielka przestrzeń w syfonie „nad wodą”, wypełniona sprężonym

gazem, może symbolizować złożo gazu powstałe w wyniku akumulacji gazu ziemnego w lokalnie najwyższych obszarach formacji czerwonego spągowca niecki (fig. 2).

W niedalekim sąsiedztwie niecki i zlokalizowanych na niej złóż węglowodorów znajduje się aglomeracja poznańska licząca ok. 1 mln mieszkańców (Urban Audit...). Na terenie tym zlokalizowanych jest wielu emitentów CO₂, w tym największy – Zespół Elektrociepłowni Poznańskich. Odpadowe gazy kwaśne z elektrociepłowni mogłyby być przechwytywane i transportowane na wybrane obszary istniejących, w dużej mierze już wyeksploatowanych, kopalń gazu ziemnego. Sprzyjają temu istniejące korytarze, którymi przebiegają rurociągi transportujące gaz ze złóż w kierunku Poznania. Stwarzają one ułatwienie w projektowaniu rurociągu transportującego CO₂ w rejon podziemnego składowania. Następnie gaz kwaśny (głównie CO₂) byłby sprężany i zatłaczany bezpośrednio do głębokich solankowych poziomów wodonośnych. Procesowi temu sprzyja duża liczba wykonanych na tym obszarze odwiertów wraz z siecią rurociągów i urządzeń zagospodarowania napowierzchniowego złóż. Bardzo istotną zaletą struktury wodonośnej niecki jest jej szczelność zweryfikowana na przestrzeni milionów lat

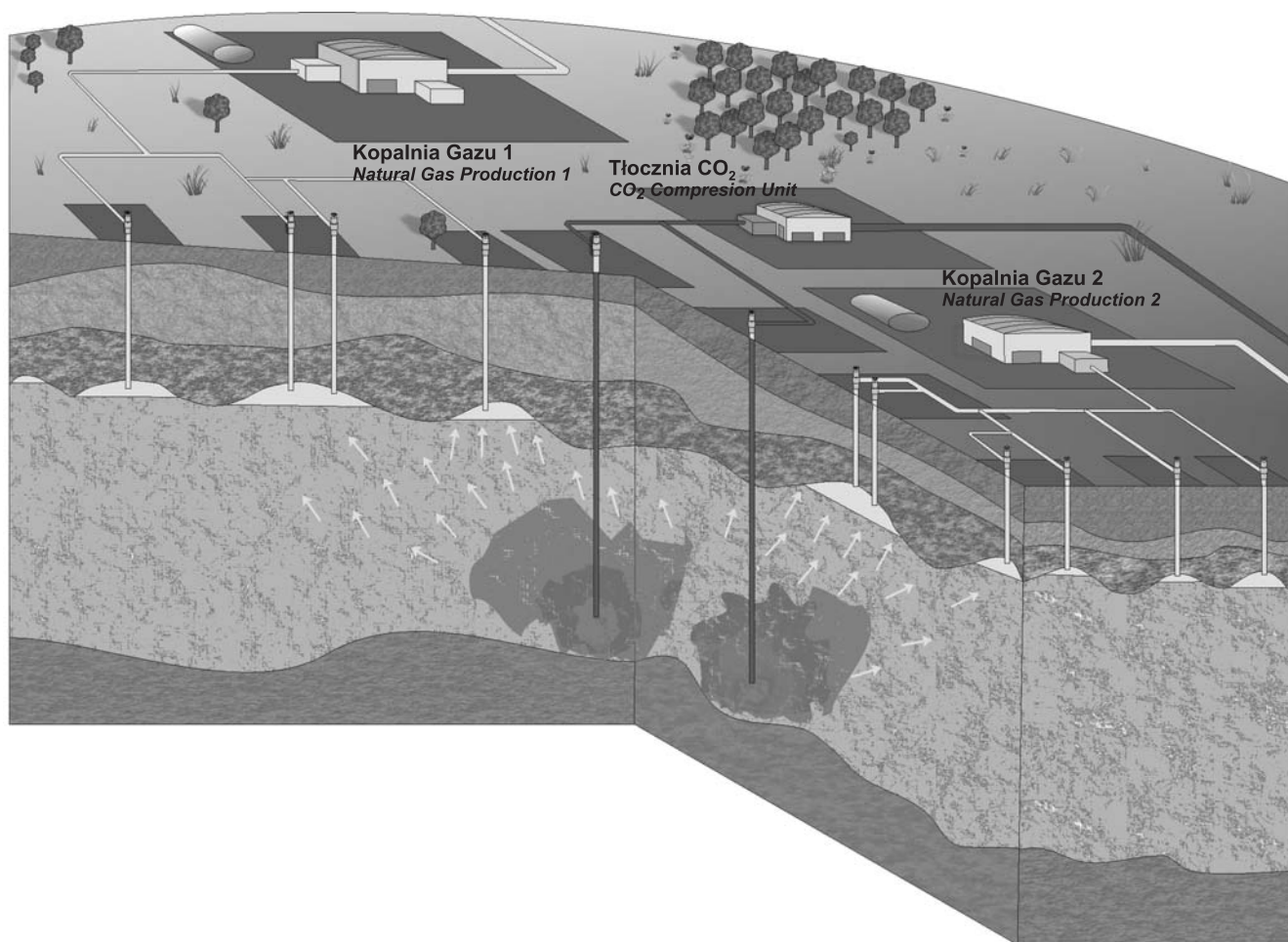


Fig. 2. Koncepcja pozyskania pozabilansowych źródeł gazu ziemnego przy udziale sekwestracji CO₂ – niecka poznańska

The concept of obtaining the additional gas sources involving CO₂ sequestration – Poznań Trough

dzięki istnieniu wielu złóż gazu ziemnego w jej lokalnych wyniesieniach. Warunek pełnej potwierdzonej szczelności struktury magazynowej jest kardynalny w rozumieniu geologicznej sekwestracji CO₂. Rejon niecki jako potencjalny magazyn sekwestracyjny jest także bardzo korzystny z punktu widzenia ekonomii przedsięwzięcia deponowania

tam CO₂. Mianowicie obszar ten jest już rozwiercony setkami odwiertów, które po części mogłyby zostać wykorzystane w projekcie sekwestracji – daje to gigantyczne oszczędności w zakresie wierceń, które musiałyby być wykonane na „świeżej” strukturze.

MODELOWANIE I ANALIZA PROCESU WYPIERANIA RODZIMEGO GAZU METANOWEGO ROZPUSZCZONEGO W WARSTWACH WODONOŚNYCH SKAŁY ZBIORNIKOWEJ POPRZEZ ZATŁACZANY CO₂ NA FIZYCZNYM MODELU ZŁOŻA

W Instytucie Nafty i Gazu przeprowadzono wiele badań ukierunkowanych na możliwości prowadzenia sekwestracji CO₂ w megastrukturze zawodnionej niecki poznańskiej. Wciąż prowadzone są studia nad możliwością zwiększenia stopnia szczypania zasobów gazu na istniejących złóżach, w strukturze niecki, w wyniku wypierania gazu węglowodorowego przez CO₂ zatłaczanego bezpośrednio do wód podścielających. Zakłada się, że, z uwagi na kilkakrotnie wyższą rozpuszczalność CO₂ w solance złożowej w porównaniu z rozpuszczalnością gazu węglowodorowego, będzie następować wypieranie rodzimego gazu z warstw wodonośnych, a wyparte węglowodory będą wzbogacać zasoby istniejących złóż gazowych.

Wykonane prace badawcze pozwoliły określić skład i parametry fizykochemiczne oraz właściwości fazowe (PVT) płynów złożowych z wybranych złóż gazowych. Przeprowadzono badania laboratoryjne i symulacyjne dotyczące ditlenku węgla (CO₂) i jego mieszanin z rodzimym gazem ziemnym złóż niecki. Wykonane w warunkach złożowych badania rozpuszczalności CO₂ w odpowiednich solankach złożowych pozwoliły oszacować maksymalną zdolność rozpuszczania się CO₂ w funkcji ciśnienia, temperatury i stopnia mineralizacji. Eksperymenty w komorze ciśnieniowej aparatury PVT, polegające na odtworzeniu stopnia nasycenia solanek złożowych rodzimym gazem ziemnym, w warunkach ciśnienia i temperatury (PT) złożowych, potwierdziły wcześniej podawane wartości rozpuszczalności gazu w solance (próbki złoża – lata 70. XX w.). Wykreślono krzywe rozpuszczalności CO₂ i rodzimych gazów metanowych z odwiertów Porążyn 2A (P2A) i Ujazd 15 (U15), w funkcji ciśnienia i temperatury, w wybranych solankach oraz wodzie destylowanej. Badania te potwierdziły blisko 10-ciokrotnie większą zdolność rozpuszczania się ditlenku węgla w wodzie złożowej w stosunku do gazów rodzimych / metanowych (fig. 3).

Podczas eksperymentu zatłaczania CO₂ do solanki nasyconej rodzimym gazem ziemnym określono współczynniki spęcznienia otrzymanej mieszaniny. Omawiane badanie w literaturze anglojęzycznej występuje jako *swelling test* i daje informacje o tym, w jakim stopniu zwiększy się objętość (w tym przypadku) solanki podczas zatłaczania do niej gazu (tutaj CO₂).

Prowadzono także badania na aparaturze zwanej cienką rurką (ang. *slim tube*), gdzie w ośrodku porowatym o długości 25 m badano m.in. zdolność migracji CO₂ w ośrodku

wodnym nasyconym gazem ziemnym w warunkach ciśnienia i temperatury złożowej.

Na specjalnie do tego celu skonstruowanym stanowisku badawczym, współpracującym z nowoczesną aparaturą do badań właściwości fazowych płynów złożowych (PVT), przeprowadzono symulację procesu zatłaczania CO₂ bezpośrednio

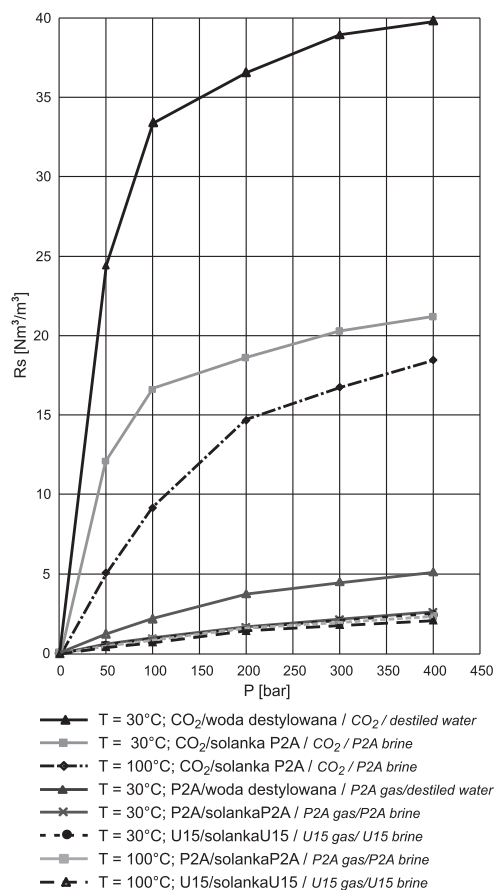


Fig. 3. Krzywe rozpuszczalności CO₂ i rodzimych gazów ziemnych w solankach i wodzie destylowanej w funkcji ciśnienia oraz temperatury (Warnecki, 2010)

Pozostałe objaśnienia w tekście

Solubility curves of CO₂ and native hydrocarbon gases in the reservoir brine and distilled water as a function of pressure and temperature (Warnecki, 2010)

For other explanations see the text

do solanki złożowej nasyconej gazem ziemnym. Eksperyment prowadzono w warunkach złożowych odpowiadających parametrom panującym w warstwach zawodnionych czerwonego spagowca niecki poznańskiej (fig. 4).

Użyto trzech komór:

I – komora służąca do przygotowania próbek solanki nasyconej rodzimym gazem ziemnym w warunkach PT złożowych; podczas samego procesu wypierania służyła ona do kontrolowanego zatłaczania CO₂ do komory wypierania II;

II – komora wypierania; na jej spodzie zamontowano dyfuzor ułatwiający rozpuszczanie się w solance wprowadzanego do komory CO₂; dodatkowo szklane kulki umieszczone w komorze miały na celu zwiększenie zdolności rozpuszczania się wtłaczanego od dołu komory CO₂; w 95% wypełniona została solanką; ok. 5% pozostałej objętości stanowił bufor azotowy w postaci czapy gazowej;

III – komora gazowa, pomocnicza, służąca do utrzymania ciśnienia w układzie podczas manewrów mających na celu odpowiednie przygotowanie układu do badań; po badaniach wypierania użyto jej do wytlóczenia solanki z komory.

Do komory ciśnieniowej (II) zawierającej solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym, ze stałym wydatkiem wprowadzano CO₂, utrzymując ciśnienie złożowe w ukła-

dzie. CO₂, znajdujący się w warunkach superkrytycznych, wtłaczany (poprzez dyfuzor z piaskowca) do komory, rozpuszczał się w solance, desorbując z niej jednocześnie rodzimy gaz ziemny o blisko 10-krotnie mniejszej zdolności do rozpuszczania się w wodzie. Gaz metanowy grawitacyjnie migrował w górę komory, mieszając się z azotem stanowiącym „sztuczną” czapę gazową. Bufor azotowy umożliwiał poprawne prowadzenie procesu, a odbierana z niego, zmienna w składzie, mieszanina gazowa (N₂+CH₄+CO₂) była mierzona i poddawana analizie chromatograficznej. Bilans płynów wprowadzonych i odebranych z układu w trakcie opisywanego badania wykazał, że podczas blisko 16-godzinnego eksperymentu z solanki wyparto ok. 90% rodzimego gazu metanowego (fig. 5).

Kolejnym, naturalnym krokiem do przybliżenia zjawisk zachodzących w trakcie zatłaczania CO₂ do głębokich solankowych poziomów wodonośnych nasyconych gazem ziemnym było przeprowadzenie eksperymentów w ośrodku porowatym. Do tego celu stworzono specjalne stanowisko badawcze (fig. 6, 7), którego głównym elementem była komora ciśnieniowa zbudowana ze stalowej rury o długości 2,2 m. Komorę starannie wypełniono jednorodnym piaskiem kwarcytowym. Dokonano pomiarów objętości porowej poprzez wypełnienie modelu złoża azotem, a następnie wyznaczono porowatość ośrodka $\phi = 35,3\%$.

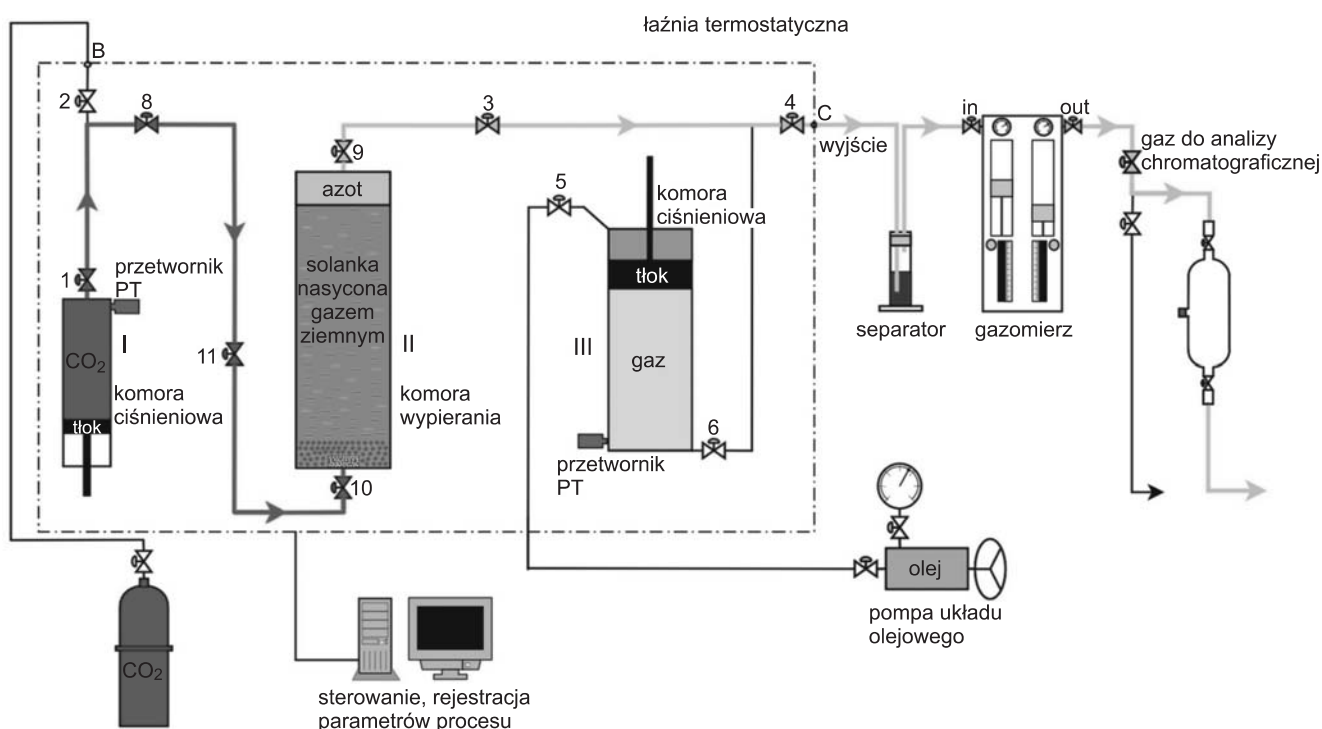


Fig. 4. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych skały zbiornikowej poprzez zatłaczany CO₂ (Warnecki, 2009)

Pozostałe objaśnienia w tekście

Scheme of the apparatus used to study the process of displacing the natural gas dissolved in the reservoir water by CO₂ injection (Warnecki, 2009)

For other explanations see the text

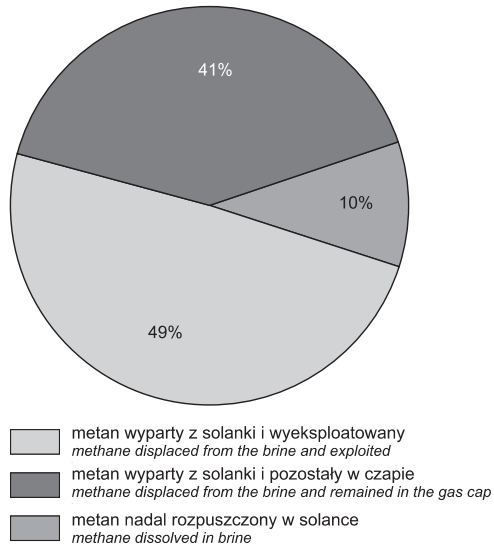


Fig. 5. Bilans metanu w procesie wypierania gazu ziemnego zatłaczanym CO₂ (Warnecki, 2009)

The methane balance in the gas displacing process by CO₂ injection (Warnecki, 2009)



Fig. 6. Stanowisko badawcze do modelowania procesów wypierania (Warnecki, 2011)

Research apparatus for modeling of displacement processes (Warnecki, 2011)

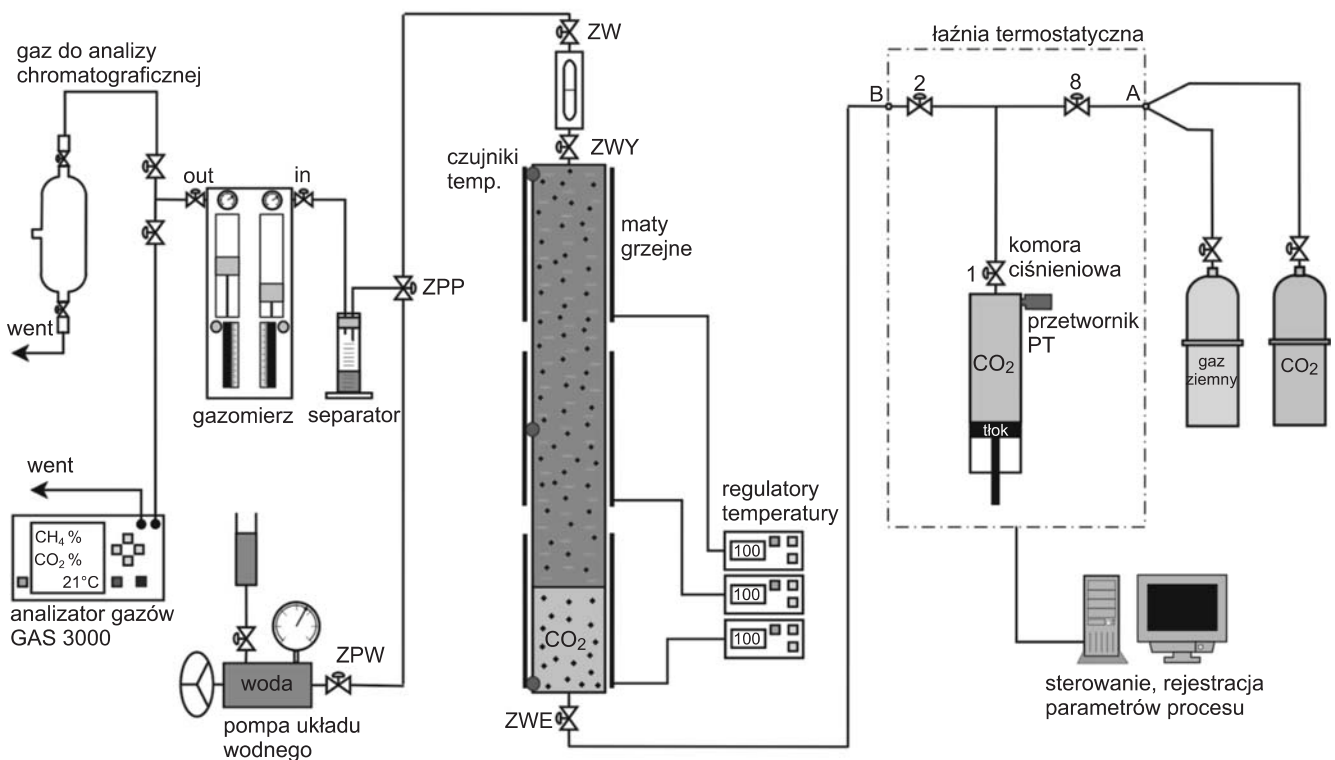


Fig. 7. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych przez zatłaczany CO₂ (Warnecki, 2011)

Scheme of the apparatus for modeling of displacement processes (Warnecki, 2011)

Model złoża wyposażono w szklany wziernik, umożliwiając obserwację „najwyższej” części próbki pod kątem zmian fazowych (fig. 8). Identyfikacja momentu pojawienia się w układzie wtórnej czapy gazowej, wynikającej z desorpcji gazu rodzimego przez zatłaczany CO₂, była istotna dla właściwego prowadzenia eksperymentu wypierania. Wziernik (we współpracy z pompką wodną) umożliwiał także pomiar ilości wolnego gazu (wielkości czapy) w warunkach PT prowadzenia procesu wypierania.

Z uwagi na fakt prowadzenia badań w wysokiej temperaturze ($T_{zi}=100^{\circ}\text{C}$), koniecznością było wyposażenie stanowiska badawczego w precyzyjny układ grzewczy z regulacją i stabilizacją temperatury złoża. Zastosowano 3 maty grzewcze, którymi owinięto komorę modelu złoża, a następnie wykonano izolację termiczną. Każda z grzałek była sterowana indywidualnie poprzez precyzyjny czujnik i regulator zapewniający minimalne wahania temperatury układu.

Stanowisko badawcze składa się z następujących elementów:

- komora badawcza aparatury PVT służąca do badań i przygotowywania próbek solanki nasyconej rodzimym gazem ziemnym w warunkach PT złożowych; podczas samego procesu wypierania komora ta służyła do kontrolowanego zatłaczania CO₂ do modelu złoża;
- separator – umożliwiający pomiar odbieranej cieczy;
- gazomierz – służący do precyzyjnego pomiaru gazu odbieranego z modelu złoża;
- analizator gazów (CO₂, CH₄, H₂S) do określenia składu odbieranego gazu;
- wodna pompka ciśnieniowa umożliwiająca wprowadzenie badanego płynu do wziernika z zachowaniem stałego ciśnienia; układ połączeń został tak skonstruowany, że umożliwiał ponowne wycofanie próbki z wziernika do modelu złoża, nie zakłócając żadnych parametrów prowadzenia procesu;
- układ zaworów i połączeń ciśnieniowych umożliwiających m.in. pobór próbek gazu do chromatografii gazowej (analizowano 10 próbek gazu);
- układ regulacji i stabilizacji temperatury.

Do eksperymentu wypierania użyto gazu i wody złożowej pobranej z odwiertu Porażyn-2A. Badania zasadnicze prowadzono przy ciśnieniu i temperaturze odpowiadającym warunkom złożowym panującym na wymienionym złożu ($P_{zi} = 266$ bara, $T_{zi} = 100^{\circ}\text{C}$).

W komorze ciśnieniowej aparatury PVT przygotowano solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym w warunkach PT złożowych. Następnie, w stanie jednofazowym (powyżej ciśnienia nasycenia), przetłoczono przygotowaną solankę do ośrodka porowatego modelu złoża – utrzymując stałe ciśnienie i zapobiegając wydzieleniu się gazu. Po całkowitym nasyceniu złoża solanką, pewną jej objętość przetłoczono przez ośrodek porowaty, przy jednoczesnej separacji i pomiarze odbieranych z modelu płynów. Pozwoliło to na ocenę zgodności uzyskiwanego wykładnika gazowego na wyjściu złoża z rezultatami odpowiednich badań rozpuszczalności. Stwierdzono stabilizację rejestrowanego wykładnika gazowego na poziomie $1,8 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$. Potwierdzało to jednorod-



Fig. 8. Wziernik modelu złoża z osłoną bezpieczeństwa (Warnecki, 2011)

Sight glass of reservoir model with a safety protection unit (Warnecki, 2011)

ność i właściwy stopień nasycenia solanki rodzimym gazem ziemnym. Podniesiono temperaturę solanki do 100°C , utrzymując stan jednofazowy w układzie. Tak przygotowany układ pozostawiono do stabilizacji w warunkach złożowych ($P_{zi} = 266$ bara, $T_{zi} = 100^{\circ}\text{C}$).

Do komory badawczej aparatury PVT wprowadzono CO₂ w fazie ciekłej, następnie sprężono do warunków zatłaczania ($P_{TL} = 266$ bara). Założono zatłoczenie takiej ilości CO₂, która byłaby równa ilości CO₂ potrzebnej do maksymalnego nasycenia użytej solanki w danych warunkach PT, a więc osiągnięcie rozpuszczalności $R_{\text{maxCO}_2} = 16 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ (przy $P_{zi} = 266$ bara, $T_{zi} = 100^{\circ}\text{C}$) bez obecności rodzimego gazu rozpuszczonego w solance. Dane rozpuszczalności oraz inne istotne parametry PVT pozyskano z wcześniej przeprowadzonych badań.

Zatłaczanie ditlenku węgla przeprowadzono, przy stałym ciśnieniu, przez zawór wejściowy (ZWE), przy jednoczesnym odbiorze solanki zaworem wyjściowym (ZWY). Ostatecznie zatłoczono 109% maksymalnej objętości CO₂, jaka mogłaby się rozpuścić w danych warunkach w solance. Było to $26\,102 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2$, w warunkach PT złożowych $89,6 \text{ m}^3$ (wysokość słupa CO₂ w modelu złoża 13 cm, powierzchnia kontaktu z solanką 7 cm^2 – uwzględniono porowatość ośrodka). Komorę tłoczącą CO₂ pozostawiono połączoną z modelem złoża, w funkcji pracy utrzymywania stałego ciśnienia w układzie (*constant pressure mode*). Dyfuzja/rozpuszczanie się CO₂ w solance nie powodowało spadku ciśnienia

w złożu – tłok komory PVT odpowiednio przesuwiał się, utrzymując $P_{zi} = 266$ bara. Sterowanie i rejestracja parametrów prowadzonego procesu odbywały się przez oprogramowanie aparatury PVT.

Tak przygotowany model złoża pozostawiono, w celu osiągnięcia nowych warunków równowagi fazowej, na okres 1 doby. Po tym czasie, z zachowaniem ciśnienia złożowego, wprowadzono górną (najbardziej interesującą) część badanego płynu do wziernika. Miało to na celu sprawdzenie, czy w określonym przedziale czasowym, w złożu nie wydzielił się już wolny gaz obecny w postaci wtórnej czapy gazowej. Obecność fazy gazowej rzeczywiście została stwierdzona, przystąpiono więc do odbioru kolejnych porcji/objętości gazu „z czapy”, z zachowaniem stałego ciśnienia utrzymywanego przez CO_2 dotłaczany od dołu modelu złoża.

W trakcie odbioru gazu pomierzono i poddano analizom składu 17 próbek gazu. W czasie rzeczywistym monitorowano skład gazu analizatorem CH_4/CO_2 (fig. 9), ponadto skład

10 pierwszych próbek określono dodatkowo poprzez chromatografię gazową. Eksperyment kontynuowano do momentu pojawienia się, najpierw „przekładek” wodnych, a po chwili – wody na wyjściu układu, co wskazywało na fakt wytłoczenia „czapy gazowej”.

Po zbilansowaniu przeprowadzonego procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO_2 można stwierdzić, że dzięki wprowadzeniu CO_2 do systemu złożowego złożonego z solanki pozostającej w równowadze z nasycającym ją rodzimym gazem metanowym, w układzie tworzą się nowe warunki równowagowe, skutkujące pojawieniem się wtórnej czapy gazowej.

Czas migracji zdesorbowanego z solanki gazu do czapy, jej wielkość i skład fazy gazowej zależy od wielu czynników: sposobu i ilości zatłaczanego CO_2 , parametrów PT złożowych, cech skały zbiornikowej (porowatość, przepuszczalność) i wielu innych.

Przebieg eksperymentu przedstawiono w tabeli 1 oraz na figurze 10. W analizowanym wariancie prowadzenia proce-

Tabela 1

Eksperyment wypierania rodzimego gazu rozpuszczonego w solance złożowej przez zatłaczany CO_2 na fizycznym modelu złoża

Experiment of displacement of native gas dissolved in the reservoir brine by CO_2 injection on a reservoir physical model

Czas eksperymentu	Objętość gazu wydzielonego z solanki i odebranego ze złoża	Numer próbki gazu	Zawartość metanu w odbieranym gazie	Metan wyparty z solanki i odebrany z modelu złoża		
				[Ncm ³]	[ΣNcm ³]	[Σ%]
[hh:mm]	[Ncm ³]	–	[% obj]	[Ncm ³]	[ΣNcm ³]	[Σ%]
00:00	wprowadzenie CO_2 do modelu złoża – rozpoczęcie eksperymentu					
23:00	2508	1	13,322	334	334	15,34
23:57	1495	2	11,575	173	507	23,28
24:22	2553	3	9,854	252	759	34,83
24:56	1897	4	7,110	135	894	41,03
25:23	2705	5	5,216	141	1035	47,51
26:12	2703	6	3,978	108	1142	52,44
26:34	2720	7	2,850	78	1220	56,00
26:52	2779	8	2,422	67	1287	59,09
27:18	2702	9	2,108	57	1344	61,71
43:22	2792	10	1,879	52	1397	64,12
44:00	2837	11	1,7*	48	1445	66,33
44:10	2783	12	1,5*	42	1487	68,25
44:19	1072	13	1,3*	14	1500	68,89
44:36	2837	14	1,2*	34	1534	70,45
44:56	2801	15	1,1*	31	1565	71,87
45:09	2828	16	1,0*	28	1594	73,16
45:31	2976	17	0,9*	27	1620	74,39

* pomiar bieżący (online) analizatorem Biogas 3000 – wartości uśrednione / the actual (online) measurement by the Biogas 3000 analyzer – average values

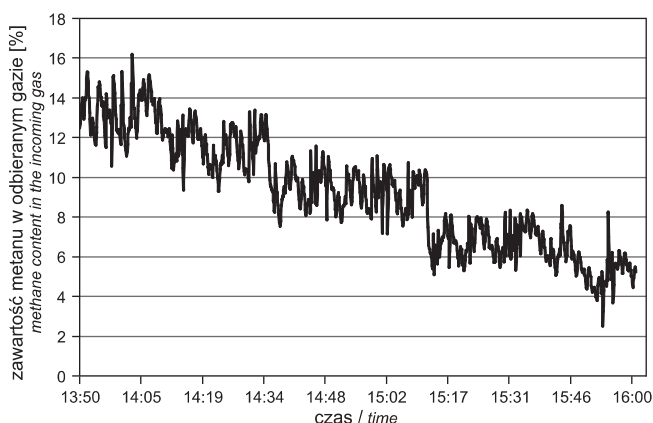


Fig. 9. Metan w odbieranym gazie – fragment wyników z analizatora (Warnecki, 2011)

Methane content in the received gas – part of the results of the analyzer measurements (Warnecki, 2011)

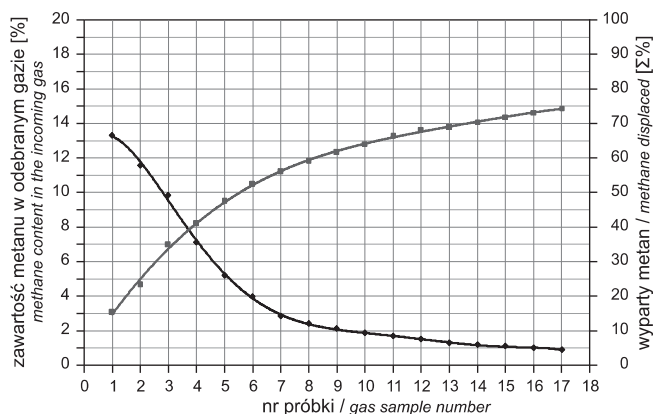


Fig. 10. Bilans metanu w eksperymencie wypierania (Warnecki, 2011)

The methane balance in the displacing process (Warnecki, 2011)

su na fizycznym „porowatym” modelu złoża, w momencie przerwania eksperymentu, osiągnięto efektywność wypierania rzędu 75% (fig. 11). Należy mieć jednak na uwadze ograniczenia, jakimi charakteryzuje się zbudowany model złoża, a co za tym idzie niedoskonałość eksperymentu. Niemożliwe jest w warunkach laboratoryjnych pełne oddanie procesów zachodzących w złożu (zwłaszcza w czasie geo-

logicznym) bardziej złożonych i na większą skalę. Jednakże zastosowane rozwiązania pozwalają na pewno zbliżyć się do warunków i zjawisk zachodzących w naturze, a uzyskane kolejne wyniki eksperymentów jawią się pozytywnie, potwierdzając fakt istnienia zjawiska wypierania z solanki gazu ziemnego w procesach sekwestracji CO₂.

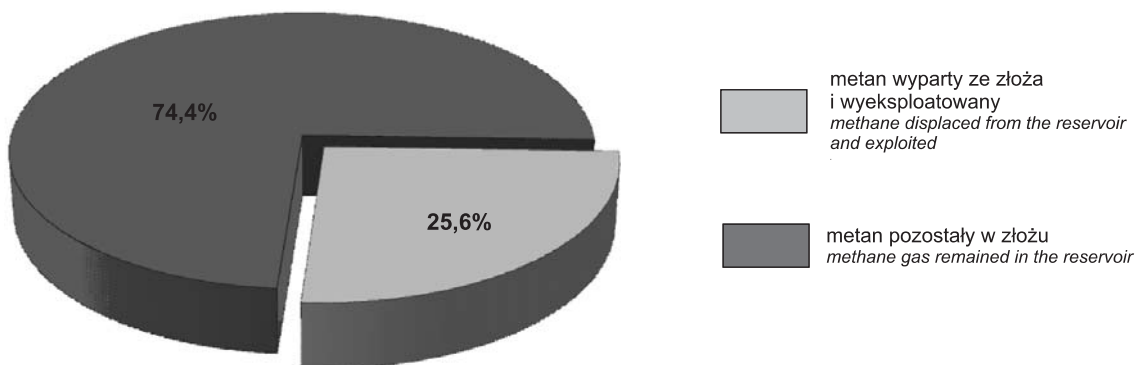


Fig. 11. Skuteczność procesu wypierania gazu ziemnego zatłaczanym CO₂ (Warnecki, 2011)

Effectiveness of the process of displacing the natural gas by CO₂ injection (Warnecki, 2011)

PODSUMOWANIE

Głębokie solankowe poziomy wodonośne stanowią największy znany obecnie potencjał sekwestracyjny ditlenku węgla. W przeciwieństwie do wglębnych struktur naftowych, ze względu na brak ogromnego potencjału zasobowego, stopień geologicznego rozpoznania poziomów solanko-

wych jest jednak znacznie mniejszy. Dotyczy to również szeroko pojętej problematyki związanej z przebiegiem zjawisk składowania CO₂ w tych utworach. Jednym z głównych problemów jest brak potwierdzonej szczelności nadkładu, którą gwarantują szcerpane złoża węglowodorów.

Typując przyszłe poziomy geologiczne dla podziemnego składowania CO₂ w Polsce, uwzględnić należy utwory permskie zalegające na obszarze Niżu Polskiego. Szczególną uwagę zwraca megastruktura niecki poznańskiej wypełnionej utworami czerwonego spągowca o powierzchni około 5 000 km² i miąższości sięgającej nawet 1000 m. Piaskowce te stanowią rozległy poziom solankowy, a jego wyjątkowość polega na nasyceniu gazem ziemnym, średnio w ilości 2,4 Nm³ gazu w 1 m³ solanki. W lokalnych kulminacjach powstały niewielkie złoża gazu ziemnego w chwili obecnej prawie całkowicie wyeksploatowane. Ogromną zaletą tego typu obiektów, w przeciwieństwie do poziomów nienasyconych gazem ziemnym, jest potwierdzona na przestrzeni czasu geologicznego szczelność struktury.

Jak wyliczono megastruktura niecki poznańskiej, w poziomach solankowych czerwonego spągowca, może zawierać rozpuszczony gaz węglowodorowy (80% metanu) w ilości blisko 120 mld Nm³, a więc na poziomie obecnie udokumentowanych zasobów gazu ziemnego w Polsce. Jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, a więc w chwili odkrycia tych zasobów, rozważano różne metody pozyskania rozpuszczonego gazu. Wydaje się, że jedną z ciekawszych propozycji jest prezentowana koncepcja składowania w tych poziomach CO₂. Gaz ten cechuje dobra rozpuszczalność w wodach złożowych, znacznie większa od rozpuszczalności gazów ziemnych. W trakcie sekwestracji CO₂ powinien zatem zachodzić proces wypierania rozpuszczonych w solankach rodzimych gazów ziemnych i ich migracji do wyżej ległych kulminacji, które stanowią złoża gazu ziemnego obecnie w dużej mierze wyeksploatowane. Następowalby więc proces naturalnego uzupełnienia

zasobów uwolnionym gazem ziemnym z możliwością jego późniejszego wydobycia.

Podczas przedstawionego eksperymentu wypierania, prowadzonego na fizycznym modelu złoża, dzięki zatłaczaniu CO₂ do ośrodka porowatego wypełnionego solanką nasyconą rodzimym gazem ziemnym, udało się pozyskać/wyekspluatować ok. 75% metanu pierwotnie „trwale” rozpuszczonego w wodach solankowych. Ilość ta stanowi pozabilansowe zasoby gazu, niemożliwe do wydobycia standardowymi metodami eksploatacji. Generalnie można stwierdzić, że dzięki procesowi zatłaczania CO₂ do głębokich poziomów wodonośnych nasyconych gazem ziemnym, istnieje możliwość wzbogacania zasobów istniejących złóż gazu – dotyczy badanego przypadku niecki poznańskiej. Dodatkowe ilości gazu węglowodorowego, wyparte z poziomów wodonośnych, stają się wydobywalne, stanowiąc pozabilansowe zasoby dodatkowe.

Przeprowadzony zakres badań oraz cechy geologiczno-złożowe pozwalają uważać, że głębokie solankowe poziomy wodonośne niecki poznańskiej powinny wykazać się dużą przydatnością dla programu wielkoprzemysłowej sekwestracji CO₂. Niejako przy okazji, można spodziewać się pozyskania dodatkowych ilości „niekonwencjonalnego” gazu ziemnego wzbogacającego zasoby istniejących złóż. Należy jednak podkreślić, że dynamika procesu desorpcji rodzimego gazu, czas jego grawitacyjnej migracji i kumulacji w lokalnych wyniesieniach megastruktury pozostają ciągle w obszarze poznawania – eksperymenty laboratoryjne w sprzężeniu z (bazującymi na nich) symulacjami komputerowymi są kontynuowane.

LITERATURA

- KARNKOWSKI P., 1979 — Formowanie się złóż gazu ziemnego na obszarze przedśudeckim. *Nafta*, **8/9**: 254–258.
- Urban Audit — City Profiles: Poznan. Eurostat. www.wikipedia.org/wiki/AglomeracjaPoznanska (24.07.2011).
- WAGNER R., POKORSKI J., 2012 — W poszukiwaniu ropy i gazu. <http://www.pgi.gov.pl> (18.01.2012).
- WARNECKI M., 2011 — Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z programem ich monitorowania. Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających oraz parametrów PVT. Badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych poprzez zatłaczanie CO₂ na fizycznym modelu złoża. Arch. INiG, Kraków.
- WARNECKI M., 2010 — Rozpuszczalność CO₂ i rodzimych gazów ziemnych w solance złożowej. *Nafta-Gaz*, **1**: 19–26.
- WARNECKI M., 2009 — Wspomaganie wydobycia węglowodorów w szcerpanych złożach gazu ziemnego poprzez zatłaczanie CO₂ do solankowego poziomu wodonośnego niecki poznańskiej. Arch. INiG, Kraków.
- WOLNOWSKI T., 2007 — Perspektywy poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na niżu polskim. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*. www.wnp.pl (28.08.2007).

SUMMARY

It has been estimated that without real efforts to reduce greenhouse gas emission the global temperatures will rise by several degrees altering the world's climate. The coal contributes 95% to energy generation in Poland. Therefore, low carbon emitting technology with the capture and

underground storage of CO₂ is required in our country. Deep saline aquifers have the largest long-term storage potential of CO₂, but there are many problems with their exploration and qualification due to the lack of tightness confirmation. It is very important to reduce the cost of their

exploration performed mainly by expensive drilling. In existing megaaquifers saturated by natural gases their tightness is confirmed by the presence of many local gas accumulations in top structures. We present Poznań Trough megaaquifer naturally saturated by native natural gases. This megastructure represents a great potential for long-term underground CO₂ storage on 5 000 km² area. Oil & Gas Institute and Polish Oil & Gas Company has gained some experience in acid gas capture and storage. The acid gas containing 60% of CO₂ and 15% of H₂S reinjected into an aquifer directly underlying the Borzęcin gas reservoir

has been in operation since 1996 year. Apart from technological parameters we also analyzed the process of displacement of native natural gas which originally saturates the underlying water by acid gases injected into reservoir. Such a displacement process allows to replenish the gas cap by volume equivalent to methane gas dissolved in underlying water. The PVT study results indicate that volume of methane gas displaced from reservoir waters is in direct proportion to volume of CO₂ injected into reservoir and that acid gas concentration in hydrocarbon gases being displaced from reservoir is gradually increasing.

