

Marcin Warnecki

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Badania procesów zatłaczania CO₂ do poziomów solankowych nasyconych gazem ziemnym na fizycznym modelu złoża

Głównym źródłem produkcji energii w Polsce są procesy, w których wykorzystuje się spalanie węgla – dlatego technologie niskiej emisji CO₂ z jego przechwytywaniem i bezpiecznym magazynowaniem są w naszym kraju wysoce pożądane. Głębokie solankowe poziomy wodonośne stanowią obecnie największy znany potencjał sekwestracyjny ditlenku węgla. W przeciwieństwie do wglębnych struktur naftowych stopień geologicznego rozpoznania poziomów solankowych jest znacznie mniejszy. 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 rozciągającymi się na powierzchni około 5000 km². Piaskowce te stanowią rozległy poziom solankowy nasycony gazem ziemnym. W lokalnych kulminacjach struktury powstały złoża gazu ziemnego. Jak wyliczono, megastruktura niecki poznańskiej w poziomach solankowych czerwonego spągowca może zawierać zasoby rozpuszczonego gazu ziemnego o objętości blisko 120 mld Nm³, a więc na poziomie obecnie udokumentowanych zasobów gazu ziemnego w Polsce. Już w latach 70. ub. wieku rozważano różne metody pozyskania rozpuszczonego gazu. 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 procesu sekwestracji CO₂ powinno zatem zachodzić zjawisko wypierania rozpuszczonych w solankach rodzimych gazów ziemnych i ich migracja do wyżejleżących kulminacji, które stanowią złoża gazu ziemnego. Następowalby więc proces naturalnego uzupełnienia zasobów uwolnionym gazem ziemnym, z możliwością jego późniejszego wydobycia. W artykule przedstawiono koncepcję niekonwencjonalnego pozyskiwania złóż gazu oraz zaprezentowano wyniki eksperymentu przeprowadzonego na fizycznym modelu złoża.

Słowa kluczowe: fizyczny model złoża, sekwestracja CO₂, głębokie solankowe poziomy wodonośne, czerwony spągowiec, niecka poznańska.

Investigation on the processes of CO₂ injection into geo-pressured saline aquifers saturated with natural gas using a physical reservoir model

Coal accounts for 95% of energy generation in Poland. Therefore, low carbon emitting technology with its 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 done mainly by expensive drilling. In existing aquifers saturated by natural gases their tightness is confirmed by the presence of a lot of local gas accumulations in top structures. Special attention was concentrated on the Poznań Trough mega-aquifer naturally saturated by native natural gases. This megastructure represents a great potential for long-term underground CO₂ storage covering an area of 5000 km². At present these Rotliegend sandstones are a huge container of brine saturated with natural gas. Reservoirs of natural gas have been formed in its local culminations. As calculated the Poznań Trough structure may contain dissolved natural gas resources to the amount of nearly 120 billion Nm³, and therefore at the current documented level of reserves of natural gas in Poland. Already in the 70's various ways of obtaining dissolved gas were considered. One of the most interesting proposals is the presented concept of storing CO₂ in these layers. This gas has good solubility in reservoir water, much higher than the solubility of natural gases. In the process of CO₂

sequestration, the phenomenon of displacement of native natural gas which originally saturates the underlying water through CO₂ injected into reservoir should occur. Such a displacement process allows to replenish the gas cap by volume equivalent to methane gas dissolved in underlying water. The paper describes the concept of obtaining the additional gas sources and the results of experiment carried out on a physical reservoir model.

Key words: physical reservoir model, CO₂ sequestration, deep geo-pressured saline aquifers, Rotliegend, Poznań Trough

Wprowadzenie

Solankowe poziomy wodonośne zalegające w warstwach permu na obszarze niecki poznańskiej rozciągają się na powierzchni około 5000 km². Struktura nasycona jest rodzimym gazem ziemnym, a jej szczelność potwierdzona została występowaniem wielu lokalnych akumulacji węglowodorów, które powstały podczas grawitacyjnej migracji gazu, ostatecznie tworząc niewielkie złoża – obecnie w dużym stopniu szcerpane [16]. Nieckę poznańską podzielono na dwa obszary. Zachodnia część sięga od strefy Lwówek–Nowy Tomyśl do Poznania. Jej szerokość wynosi około 50 km, a rozciągłość około 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 (około 80 km). Obszar ten cechuje się znacznie większym nachyleniem stropu czerwonego spągowca, a pułapki tam stwierdzone mają zamknięcia tektoniczno-litologiczne [16].

W ponad pięćdziesięciu odwiertach, którymi dowiercono się do warstw wodonośnych niecki, odnotowano nasycenie wód złożowych gazem ziemnym. Już w latach 70. ub. wieku polscy geolodzy, znając ten fakt, zastanawiali się nad znalezieniem możliwości wydobycia ogromnych ilości „uwięzionego” gazu. Przeprowadzone badania ustaliły, że w 1 m³ solanki rozpuszczonych jest średnio około 2,4 Nm³ gazu ziemnego. Oszacowano, że na powierzchni 5000 km² zasoby gazu rozpuszczonego w strukturze wodonośnej mogą dochodzić nawet do 120 mld Nm³ [5]. Nasycenie solanki gazem jest oczywiście niejednorodne na przestrzeni całej struktury zawodnionej i maleje wraz z głębokością, więc rzeczywista ilość rozpuszczonego gazu węglowodorowego może być zredukowana do około 100 mld Nm³, co i tak jest porównywalne z wydobywalnymi zasobami gazu w Polsce, tj. około 140 mld Nm³ [9].

Dokonując oczywistych uproszczeń, 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 złoża

powstałe w wyniku akumulacji gazu ziemnego w lokalnie najwyższych obszarach formacji czerwonego spągowca.

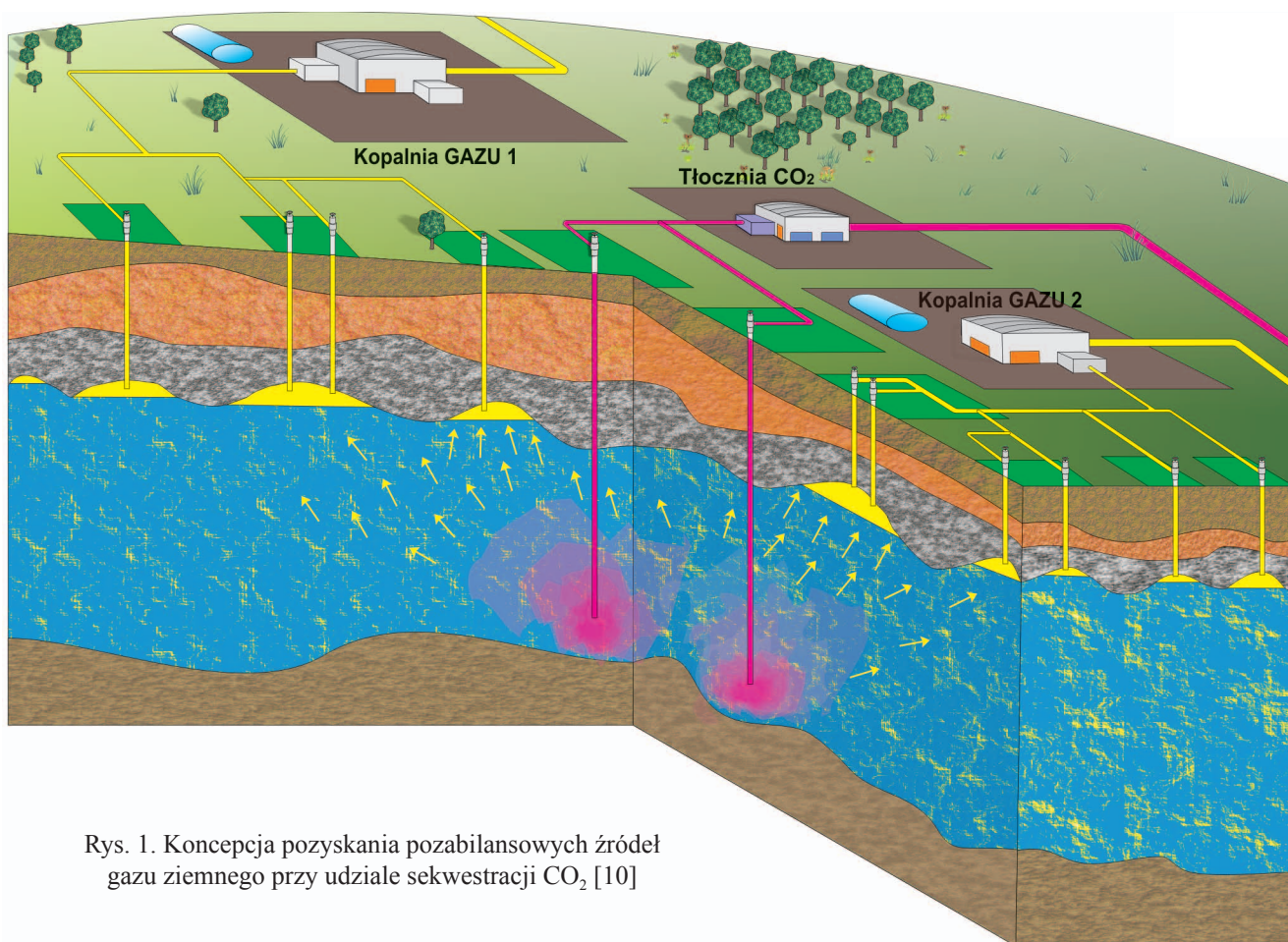
Jak wspomniano, głębokie solankowe poziomy wodonośne mają obecnie największy potencjał sekwestracyny CO₂, jednakże nieliczne są przypadki odpowiednich struktur o potwierdzonej szczelności geologicznej oraz dostatecznie zbadanych pod względem geologicznym. W przypadku megastruktury wodonośnej niecki poznańskiej wydaje się, że warunki te są w dużym stopniu spełnione. Prowadzone w latach 70. ubiegłego wieku poszukiwania ropy i gazu na opisywanym obszarze, oprócz odkrycia kilkudziesięciu złóż gazu ziemnego, dostarczyły wielu informacji o budowie i płynach złożowych, którymi nasycone są piaskowce czerwonego spągowca. Dodatkowo odnotowano wówczas, że wody podścielające złoża gazu są również, w istotnym stopniu, tym gazem nasycone. Z uwagi na fakt, że struktura wodonośna rozciąga się na obszarze około 5000 km², a jej miąższość wynosi 10–600 m, zasoby „uwięzionego”, rozpuszczonego w solance gazu ziemnego są ogromne – należy jednak znaleźć i zastosować odpowiednią metodę ich pozyskania. Gaz ziemny rozpuszczony w wodach złożowych próbowano wydobywać na wiele sposobów [1, 2, 3, 4, 7], między innymi eksploatując nasyconą gazem solankę, którą po odgazowaniu powrotnie zatłaczano do złoża, jednakże każda z tych technik różni się od metody przedstawionej w niniejszym opracowaniu.

W artykule prezentowana jest koncepcja zatłaczania i składowania CO₂ w poziomach solankowych podścielających złoża gazu ziemnego (rysunek 1). Ditenek węgla cechuje bardzo dobra rozpuszczalność w wodach złożowych – około 10-krotnie większa od rozpuszczalności metanu. Wykonywane od kilku lat w INiG – PIB badania laboratoryjne na fizycznych modelach złoża wydają się potwierdzać, że podczas zatłaczania CO₂ do pozostającego w równowadze systemu solankowego nasyconego gazem ziemnym zachodzi proces desorpcji rozpuszczonych w solankach rodzimych gazów ziemnych i, po osiągnięciu nasycenia krytycznego, ich grawitacyjna migracja.

Jako znaczące źródło emisji CO₂, położone w bliskim sąsiedztwie niecki poznańskiej, rozpatrywana powinna być aglomeracja poznańska, licząca około 1 mln mieszkańców [8].

Na terenie tym zlokalizowanych jest wielu emitentów CO₂, w tym największy – Dalkia Poznań ZEC. Odpadowe gazy kwaśne z elektrociepłowni mogłyby być przechwytywane i transportowane na wybrane obszary istniejących, w dużej mierze już wyeksploatowanych, kopalń gazu ziemnego. Sprzyjają temu korytarze, którymi przebiegają rurociągi transportujące gaz ze złóż w kierunku Poznania [10]. Stwarzają one ułatwienie w projektowaniu rurociągu transportującego CO₂

w rejon podziemnego składowania. Następnie gaz kwaśny (głównie ciekły CO₂) byłby zatłaczany bezpośrednio do głębokich poziomów solankowych, gdzie przechodziłby do stanu superkrytycznego [15]. Proponowanemu rozwiązaniu sprzyja duża ilość wykonanych na tym obszarze odwiertów wraz z siecią rurociągów i urządzeń zagospodarowania powierzchniowego złóż, które po odpowiednim dostosowaniu do nowych zadań mogłyby zostać wykorzystane w projekcie.



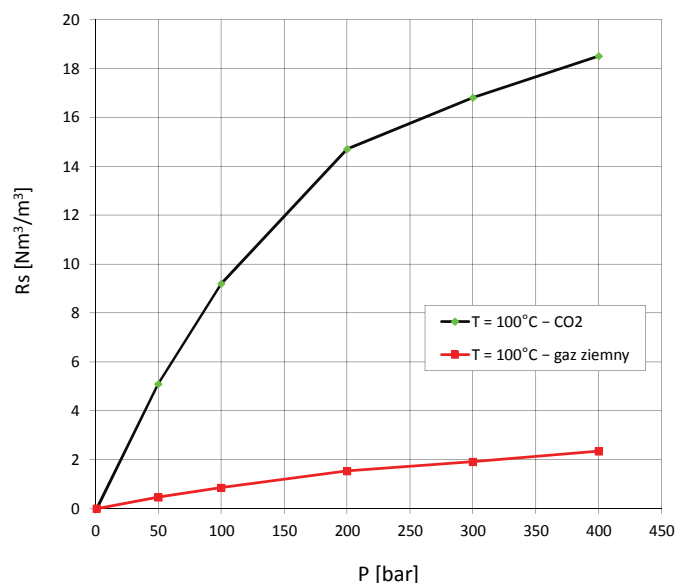
Rys. 1. Koncepcja pozyskania pozabilansowych źródeł gazu ziemnego przy udziale sekwestracji CO₂ [10]

Badanie procesu zatłaczania CO₂ i desorpcji rodzimego gazu ziemnego na fizycznym modelu złoża

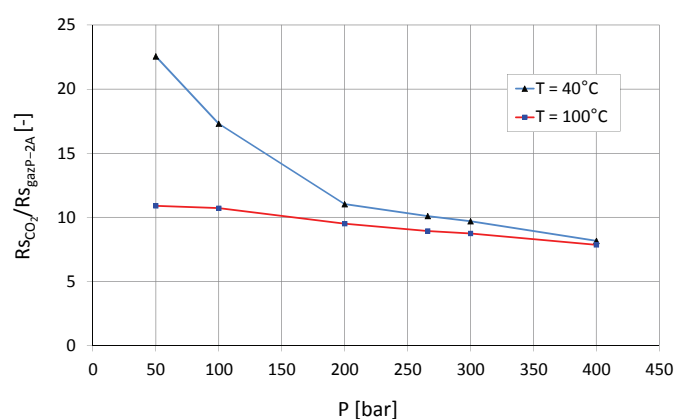
W Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzono wiele badań mających na celu poznanie procesów zachodzących podczas zatłaczania CO₂ do wód złożowych nasyconych rodzimym gazem ziemnym [5, 6, 7, 10, 11, 12]. Jako potencjalny obiekt sekwestracyjny przyjęto warstwy permu (czerwony spągowiec) megastruktury nieckii poznańskiej. Prace badawcze, zarówno laboratoryjne/eksperymentalne, jak i symulacyjne, są kontynuowane. Ich celem jest znalezienie możliwości wydobywania ogromnych ilości gazu ziemnego rozpuszczonego w rozległych warstwach wodonośnych poprzez zatłaczanie CO₂. Określono m.in. skład i parametry fizykochemiczne oraz właściwości fazowe (PVT) płynów złożowych z wybranych złóż gazowych

nieckii. Przeprowadzono badania laboratoryjne i symulacyjne dotyczące ditlenku węgla i jego mieszanin z rodzimym gazem ziemnym. Wykonane w warunkach złożowych badania rozpuszczalności CO₂ w odpowiednich solankach złożowych pozwoliły dokładnie określić 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, potwierdziły podawane w latach 70. ub. wieku wartości rozpuszczalności gazu w solance. Wykreślono izotermy rozpuszczalności CO₂ i rodzimego gazu ziemnego w solance, a badania te potwierdziły blisko 10-krotnie większą zdolność rozpuszczania się CO₂ w wodzie

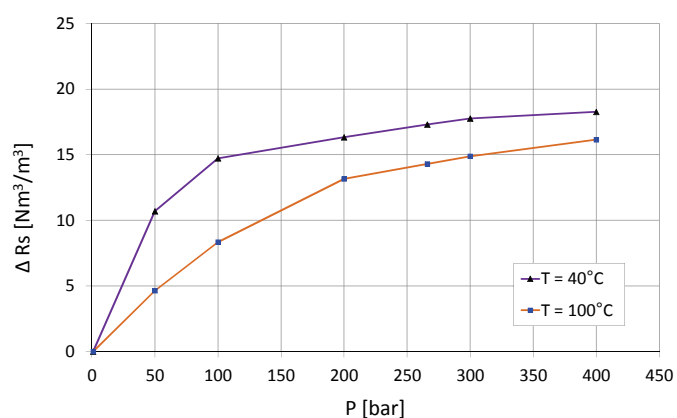
złożowej w stosunku do rodzimego gazu węglowodorowego (rysunki: 2, 3, 4).



Rys. 2. Rozpuszczalność CO₂ i rodzimego gazu ziemnego w solance [14]



Rys. 3. Stosunek rozpuszczalności CO₂ i gazu ziemnego w solance

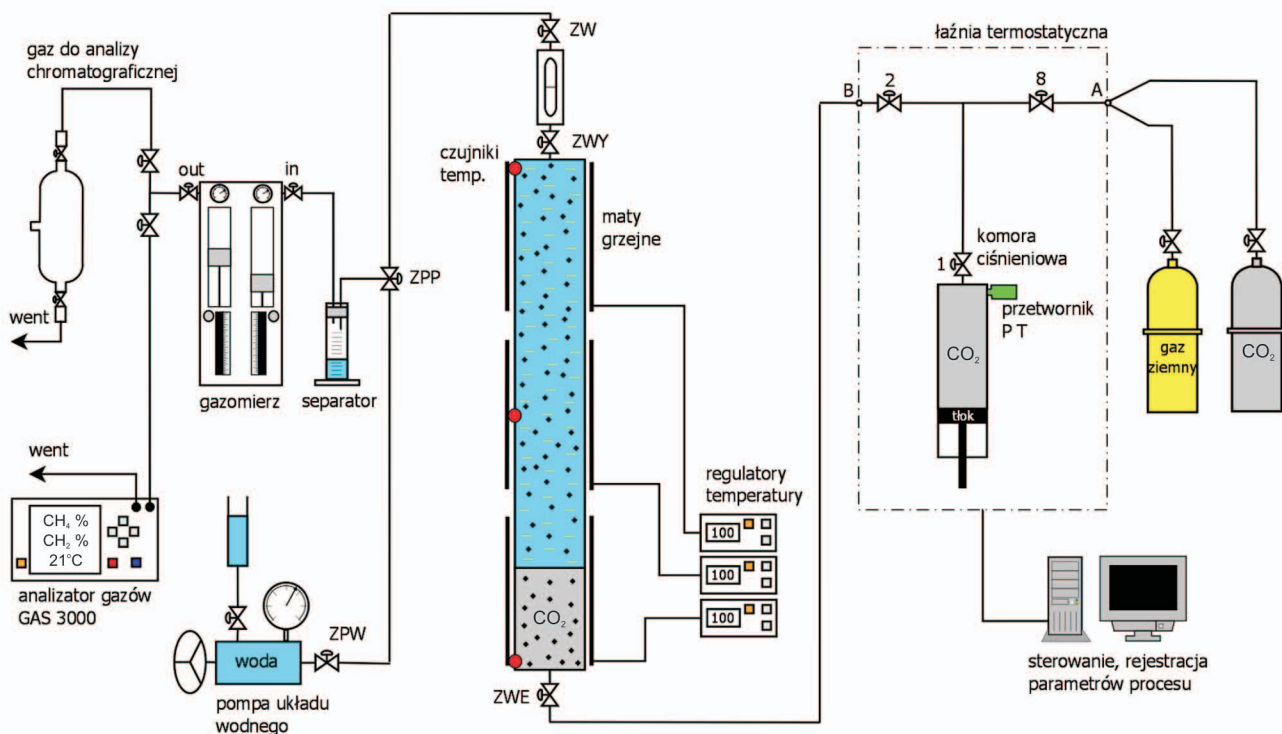


Rys. 4. Różnice rozpuszczalności CO₂ i gazu ziemnego w solance

W celu poznania zjawisk zachodzących w trakcie zatłaczania CO₂ do struktur wodonośnych nasyconych gazem ziemnym zbudowano stanowisko badawcze współpracujące z nowoczesną aparaturą do badań właściwości fazowych płynów złożowych (PVT) – rysunek 5. Skonstruowano fizyczny model złoża z ośrodkiem porowatym, którego głównym elementem była komora ciśnieniowa o długości 220 cm, średnicy wewnętrznej 4,6 cm i pojemności 3715 cm³. Komorę wypełniono wysokogatunkowym piaskiem kwarcytowym o ziarnistości 0,1÷0,5 mm. Dokonano pomiarów objętości porowej poprzez wypełnienie modelu złoża azotem: PV = 1317,3 cm³. Następnie wyznaczono porowatość ośrodka, która wyniosła: $\varphi = 35,6\%$. Uzyskany wynik objętości porowej ośrodka wyznaczono z dokładnością 1 cm³. Taką samą dokładność uzyskano dla pomiarów objętości mediów biorących udział w eksperymencie. Górną głowicę modelu skonstruowano w sposób umożliwiający sprawdzanie wierzchołka złoża pod kątem pojawienia się fazy gazowej. Model złoża wyposażono również w szklany wziernik umożliwiający obserwację i pomiar objętości ewentualnej czapy gazowej. Identyfikacja momentu pojawienia się w układzie wtórnej czapy gazowej, wynikającej z desorpcji gazu rodzimego przez zatłaczany CO₂, była niezwykle istotna dla właściwego prowadzenia eksperymentu wypierania. Wziernik, we współpracy z pompką wodną, umożliwiał pomiar ilości wolnego gazu w warunkach PT złożowych. Dla utrzymania zadanej temperatury badań konieczne było wyposażenie stanowiska w precyzyjny układ grzewczy z regulacją i stabilizacją temperatury. Zastosowano trzy maty grzewcze, którymi owinięto komorę modelu złoża, a następnie wykonano izolację termiczną. Każda z grzałek była sterowana indywidualnie poprzez precyzyjny czujnik



Rys. 5. Stanowisko badawcze do modelowania procesów wypierania [10]



Rys. 6. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO₂ [13]

i regulator zapewniający minimalne wahania temperatury układu (rzędu $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Dzięki zastosowaniu trzech płaszczy grzewczych owiniętych wzdłuż całej długości złoża, trzech czujników temperatury i trzech regulatorów wyeliminowano problem powstawania gradientu temperatury wraz z wysokością modelu złoża.

Ważnymi elementami opisywanego stanowiska badawczego są także:

- komora badawcza aparatury PVT – służąca do badań

i przygotowywania próbek solanki nasyconej rodzimym gazem ziemnym,

- separator,
- gazomierz – służący do precyzyjnego pomiaru gazu odbieranego z modelu złoża,
- analizator gazów (CO₂/CH₄/H₂S) do bieżącej oceny składu strumienia odbieranego gazu,
- wodna pompka ciśnieniowa,
- układ zaworów i połączeń ciśnieniowych.

Opis eksperymentu

Badanie procesów wypierania na fizycznym, porowatym modelu złoża przeprowadzono w temperaturze 40°C. Jak wykazały badania rozpuszczalności: w niższej temperaturze zwiększona jest zdolność do rozpuszczania się zarówno gazu ziemnego, jak i CO₂ w solance, co ułatwia pomiary wolumetryczne gazu i zwiększa dokładność zbilansowania eksperymentu. Ponadto obniżona temperatura badań zwiększa dysproporcje parametru rozpuszczalności CO₂ w solance w stosunku do gazu ziemnego (rysunek 4), co może przełożyć się na wzrost dynamiki badanego procesu. Dodatkową zaletą obniżonej temperatury badawczej jest zniwelowanie różnicy pomiędzy temperaturą modelu złoża i otoczenia, co ma duże znaczenie z technicznego punktu widzenia przeprowadzenia tak długotrwałego eksperymentu. Istotny jest również aspekt bezpieczeństwa. Model pozostawiano pod wysokim ciśnieniem, awaria pojedynczego elementu układu

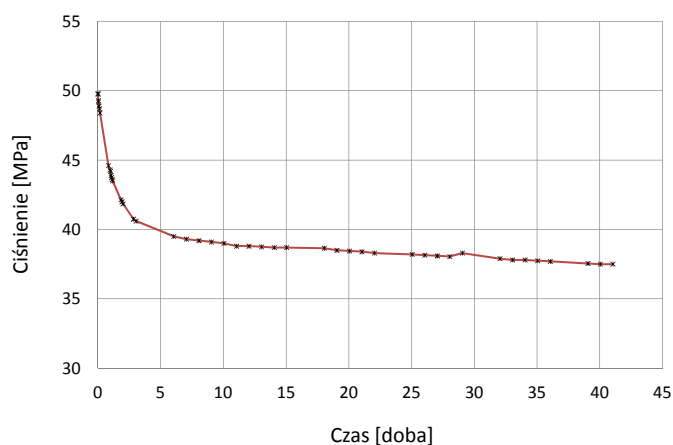
grzania/stabilizacji temperatury lub chwilowy brak prądu może spowodować poważne zagrożenie. Dytlenek węgla w zadanych warunkach termobarycznych znajduje się w obszarze nadkrytycznym.

W komorze ciśnieniowej aparatury PVT przygotowano solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym w temperaturze 40°C i przy ciśnieniu 266 bar. Następnie, w stanie jednofazowym, przetłoczono przygotowaną solankę do ośrodka porowatego modelu złoża, utrzymując stałe ciśnienie i zapobiegając tym samym wydzieleniu się gazu. Nasylenie całej objętości porowej modelu złoża ($PV = 1317,3 \text{ cm}^3$) wymagało przygotowania 11 porcji (nasyconej w odpowiednich warunkach) solanki i właściwego przetłoczenia każdej z nich, aż do całkowitego wypełnienia porów złoża. Sprawdzone zgodność uzyskiwanego wykładnika gazowego na wyjściu złoża z rezultatami odpowiednich badań rozpuszczalności,

co potwierdziło pełną jednorodność i właściwy poziom nasycenia solanki rodzimym gazem ziemnym w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury.

Kolejnym etapem eksperymentu było jednorazowe wprowadzenie do modelu zadanej ilości CO_2 – w odróżnieniu od eksperymentów wcześniejszych, w których CO_2 zatłaczano małymi porcjami. Były to wówczas ułamki objętości ditlenku węgla ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$), która byłaby równa ilości CO_2 potrzebnej do maksymalnego nasycenia użytej solanki w danych warunkach PT, a więc osiągnięcia rozpuszczalności $R_{s_{\max\text{CO}_2}} = 16 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ (przy $P_{\text{zi}} = 266 \text{ bar}$, $T_{\text{zi}} = 100^\circ\text{C}$) bez obecności rodzimego gazu rozpuszczonego w solance. Dane rozpuszczalności oraz inne istotne parametry PVT pozyskano dzięki wcześniej przeprowadzonym badaniom.

Zatłaczanie ditlenku węgla przeprowadzono, przy stałym ciśnieniu w układzie ($P_{\text{TL}} = 500 \text{ bar}$), przez zawór wejściowy/dolny (ZWE), przy jednoczesnym odbiorze solanki zaworem wyjściowym/górnym (ZWY). Wprowadzono jednorazowo do modelu złoża $49,84 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$ w warunkach PT tłoczenia, co daje $26\,476 \text{ Ncm}^3$. Jak wynika z przeprowadzonych wcześniej badań, objętość ta stanowi 93,5% CO_2 , jaka mogłaby się w zadanych warunkach, w „martwej” solance, rozpuścić (czyli 93,5% $R_{s_{\max\text{CO}_2}}$). Uwzględniając jednak fakt, że CO_2 zatłoczono do modelu wypełnionego solanką nasyconą rodzimym gazem ziemnym, objętość gazów znajdujących się w modelu złoża szacuje się ostatecznie na 100% $R_{s_{\max\text{CO}_2}}$, a więc przygotowano układ $\text{CO}_2/\text{CH}_4/\text{solanka}$ znajdujący się na granicy rozpuszczalności gazu w wodzie. Głównym zamierzeniem eksperymentu było (poprzez wprowadzenie CO_2 do modelu złoża, czyli systemu pozostającego w równowadze fazowej) zaburzenie ustalonych warunków równowagowych poprzez dodanie nowego składnika w układzie (tj. CO_2). Ditlenek węgla „miał za zadanie” rozpuszczać się w solance, a z racji tego, że jego rozpuszczalność w warunkach eksperymentu szacuje się na 30 razy większą od rozpuszczalności rodzimego gazu ziemnego, miał go wypierać z fazy wodnej.

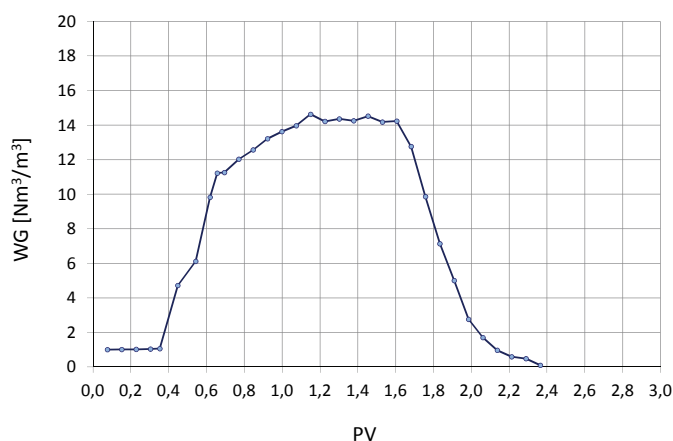


Rys. 7. Zmiana ciśnienia w modelu złoża

Następnie założono, że wyparte bąbelki gazu metanowego, łącząc się ze sobą, tworzą coraz większą strefę fazy gazowej i po osiągnięciu krytycznego nasycenia ośrodka porowatego stają się mobilne, migrując w górne strefy złoża.

Po zatłoczeniu do modelu zadanej ilości CO_2 prowadzono obserwacje zmian ciśnienia w układzie (rysunek 7). W początkowej fazie eksperymentu (pierwszych pięć dni) rejestrowano dużą dynamikę spadku ciśnienia wynikającą z rozpuszczania się CO_2 w wodzie. W dalszym okresie trwania doświadczenia obserwowano raczej powolny, jednostajny spadek ciśnienia, wynoszący około 1 bar/dobę. Odczyty prowadzono w odstępach 24-godzinnych, dokonując jednocześnie sprawdzenia obecności wolnej fazy gazowej w najwyższej części modelu złoża za pomocą specjalnej konstrukcji głowicy. W momencie przerwania eksperymentu, który trwał 41 dni, rejestrowano ciągły spadek ciśnienia w badanym układzie, jednakże nie odnotowano obecności wtórnej czapy gazowej w najwyższej części złoża.

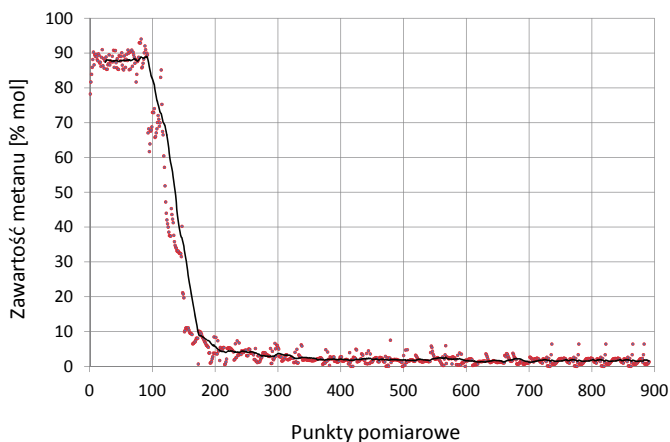
Przystąpiono do odbioru płynów z modelu, zatłaczając martwą solankę od dołu układu (przez zawór ZWE) i odbierając jednocześnie wypierany płyn przez górny zawór wyjściowy (ZWY) przy zachowaniu stałego ciśnienia w układzie. Wszystkie uzyskane wyniki pomiarów ciśnienia uzyskano z dokładnością do 1 bar przy odczycie z manometru tarczowego oraz $\pm 0,1 \text{ bar}$ przy odczycie przetwornikami aparatury PVT. Na separatorze oddzielano wodę złożową od wydzielającego się z niej gazu, następnie dokonywano pomiarów objętości obu płynów, co pozwalało na wykreślenie przebiegu zmian wykładnika gazowego mediów odbieranych z komory w funkcji ilości zatłaczanej solanki martwej (rysunek 8).



Rys. 8. Wykładnik gazowy płynu odbieranego z modelu złoża w funkcji objętości porowej modelu

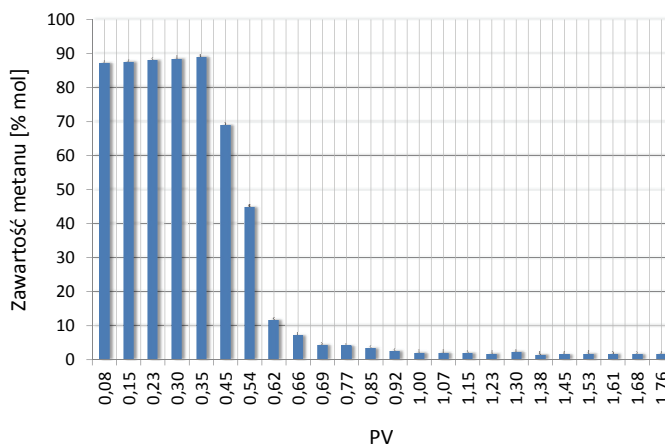
W trakcie odbioru gazu pomierzono i poddano analizie skład 24 próbek gazu (rysunek 9). W czasie rzeczywistym monitorowano skład gazu analizatorem (rysunek 10).

Eksperyment kontynuowano do momentu odebrania z modelu całego płynu złożowego biorącego udział w eksperymencie wypierania, co było potwierdzone spadkiem (do zera)



Rys. 9. Odbiór płynu z modelu złoża – koncentracja metanu w odbieranym gazie w funkcji objętości porowej modelu

wykładnika gazowego odbieranego płynu po zatłoczeniu/przetłoczeniu martwej solanki w ilości 2,4 objętości porowej modelu złoża.



Rys. 10. Koncentracja metanu w gazie odbieranym z modelu złoża – punkty pomiarowe zarejestrowane analizatorem stężenia metanu

Podsumowanie

Po zbilansowaniu przeprowadzonego procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO₂ można stwierdzić, że dzięki wprowadzeniu CO₂ do systemu złożowego solanki pozostającej w równowadze fazowej z nasycającym ją rodzimym gazem metanowym, w układzie zaczyna postępować proces prowadzący do powolnego stabilizowania się nowych warunków równowagi, które, finalnie, powinny skutkować utworzeniem się wolnej fazy gazowej w postaci wtórnej czapy w najwyższej części modelu złoża. Niestety, przy obecnym zaprojektowaniu i poprowadzeniu eksperymentu, czas potrzebny do ustabilizowania się nowych warunków równowagowych i jednorodnego rozpuszczenia się zatłoczonego CO₂ w solance okazał się zbyt długi w porównaniu z możliwością dalszego kontynuowania eksperymentu w laboratorium PVT. Przez 41 dni prowadzenia doświadczenia okazało się, że front ditlenku węgla przesunął się do objętości 65% PV, co oszacowano na podstawie zmian wykładnika gazowego i składu gazu wytlóconego z modelu bezpośrednio po przerwaniu eksperymentu. Badanie wykazało, że do pełnego nasycenia modelu złoża zabrakło około 77 z 220 cm całej długości/wysokości modelu.

Obserwując zarejestrowany spadek ciśnienia w modelu w funkcji czasu, można stwierdzić, że dynamika przemieszczania się frontu CO₂ na początku eksperymentu jest

znacznie większa niż w jego dalszej części – należy to uznać za zjawisko naturalne. Biorąc jednak pod uwagę cały eksperyment (41 dni), średnią prędkość przesuwania się frontu zmieszania można ustalić na 3,5 cm/dobę – z tego wynika, że pełne nasycenie całej części modelu złoża mogłoby zająć około 22 dni.

Pomimo faktu, że w trakcie trwania opisywanego eksperymentu nie odnotowano pojawienia się wtórnej czapy gazowej w najwyższym punkcie modelu złoża, co było głównym celem doświadczenia, to jednak wykonane badanie dało kilka odpowiedzi, co do zaprojektowania i przeprowadzenia kolejnych eksperymentów. W zadanych warunkach prowadzenia procesu i w zbudowanym modelu ośrodka porowatego określono prędkość przemieszczania się frontu nadkrytycznego CO₂. Zarejestrowano dynamikę spadku ciśnienia w układzie, zachodzącego wskutek dyfuzji i rozpuszczania się ditlenku węgla w nasyconej gazem solance.

Powyższe badania będą kontynuowane, w podobny sposób zostanie przygotowany i przeprowadzony kolejny eksperyment, lecz wydłużony zostanie czas jego trwania. W zależności od tego, co nastąpi wcześniej, doświadczenie kontynuowane będzie do momentu pojawienia się wtórnej czapy gazowej lub pełnego ustabilizowania się ciśnienia w układzie.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 10, s. 676–683

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego z fazy wodnej przy udziale sekwestracji CO₂* – praca INiG na zlecenie MNiSW; numer zlecenia: 0079/KB/13, numer archiwalny: DK-4100-79/13.

Literatura

- [1] Cook H. L. Jr. et al.: *Method for increasing the recovery of natural gas from a geo-pressured aquifer*. United States Patent No. 4,116,276. Sep. 26, 1978.
- [2] Cornelius A. J. et al.: *CO₂ removal from hydrocarbon gas in water bearing underground reservoir*. United States Patent No. 4,187,910. Feb. 12, 1980.
- [3] Jones P. H.: *Method and apparatus for natural gas and thermal energy production from aquifers*. United States Patent No. 4,359,092. Nov. 16, 1982.
- [4] Jones P. H.: *Natural gas production from geopressured aquifers*. United States Patent No. 4,279,307. Jul. 21, 1981.
- [5] Karnkowski P.: *Formowanie się złóż gazu ziemnego na obszarze przedśudeckim*. Nafta 1979, nr 8–9, s. 254–258.
- [6] Milek K., Szott W., Golabek A.: *Symulacyjne badanie procesów wypierania metanu rozpuszczonego w wodach złożowych poprzez zatłaczanie gazów kwasnych w ramach ich sekwestracji*. Nafta-Gaz 2013, nr 2, s. 112–122.
- [7] Richardson J. G. et al.: *Method for recovering gas from solution in aquifer waters*. United States Patent No. 4,149,596. Apr. 17, 1979.
- [8] Urban Audit: City Profiles: Poznan. Eurostat (http://pl.wikipedia.org/wiki/Aglomeracja_pozna%C5%84ska) (dostęp: 24.07.2011).
- [9] Wagner R., Pokorski J.: *W poszukiwaniu ropy i gazu*. Materiał wydrukowany ze strony <http://www.pgi.gov.pl> (dostęp: 18.01.2012).
- [10] Warnecki M.: *Analiza możliwości pozyskania pozabilansowych zasobów gazu ziemnego z nasyconych poziomów solankowych w procesach sekwestracji CO₂*. Nafta-Gaz 2013, nr 1, s. 34–41.
- [11] Warnecki M.: *Atrakcyjna technologia*. Przegląd Gazowniczy 2004, nr 4, s. 13–15.
- [12] Warnecki M.: *Badania laboratoryjne procesów wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w solankowych poziomach wodonosnych niecki poznańskiej z wykorzystaniem zatłaczanego CO₂*. Przegląd Geologiczny 2012, nr 448 (1), s. 95–105.
- [13] Warnecki M.: *Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z programem ich monitorowania. 1.3.2. Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skal zbiornikowych i uszczelniających oraz parametrów PVT. Badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonosnych poprzez zatłaczany CO₂ na fizycznym modelu złoża*. Zlec. wew. INiG 362/KB. Archiwum INiG. Kraków 2011.
- [14] Warnecki M.: *Rozpuszczalność CO₂ i rodzimych gazów ziemnych w solance złożowej*. Nafta-Gaz 2010, nr 1, s. 19–26.
- [15] Warnecki M.: *Wspomaganie wydobycia węglowodorów w szcerpanych złożach gazu ziemnego poprzez zatłaczanie CO₂ do solankowego poziomu wodonosnego niecki poznańskiej*. Zlec. wew. INiG 319/KB. Archiwum INiG. Kraków 2009.
- [16] Wolnowski T.: *Perspektywy poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na Nizie Polskiej*. Wiadomości Naftowe i Gazownicze. Materiał wydrukowany z serwisu www.wnp.pl (www.wnp.pl/foto/6375.html) (dostęp: 28.07.2007).



Mgr inż. Marcin WARNECKI
Kierownik Zakładu Badania Złóż Ropy i Gazu.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubież 25A
31-503 Kraków
E-mail: warnecki@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD BADANIA ZŁÓŻ ROPY I GAZU

Zakres działania:

- pobór wgłębnych i powierzchniowych próbek płynów złożowych;
- kompleksowe badania i analizy zmian fazowych próbek płynów złożowych na zestawie aparatów PVT firmy Chandler i Ruska;
- modelowanie procesu wypierania ropy gazem na fizycznym modelu złoża (tzw. „cienka rurka”);
- pomiar lepkości ropy wiskozymetrem kulkowym lub kapilarnym w warunkach PT;
- optymalizacja procesów powierzchniowej separacji ropy naftowej;
- laboratoryjne i symulacyjne badania warunków wytrącania się parafin, asfaltów w ropie oraz tworzenia się hydratów w gazie;
- badanie skuteczności działania chemicznych środków zapobiegających tworzeniu się hydratów;
- laboratoryjne modelowanie procesów wypierania ropy gazem w warunkach zmieszania faz;
- badanie procesów sekwestracji CO₂ w solankowych poziomach wodonosnych, nasyconych gazem ziemnym;
- badania na długich rdzeniach wiertniczych dla oceny efektywności metod zwiększenia stopnia odzysku ropy.



Kierownik: mgr inż. Marcin Warnecki
Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno
Telefon: 13 436-89-41 w. 5226
Faks: 13 436-79-71
E-mail: warnecki@inig.pl

