

Marcin Warnecki

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Badania procesów wypierania metanu przy udziale sekwestracji CO₂

Geologiczne poziomy wodonośne stanowią obecnie największy znany potencjał sekwestracyjny ditlenku węgla. W przeciwieństwie do wgłębnych struktur naftowych stopień geologicznego rozpoznania poziomów solankowych jest jednak 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 ok. 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 w ilości blisko 120 mld Nm³, a więc na poziomie obecnie udokumentowanych zasobów gazu ziemnego w Polsce. Już w latach 70. ubiegłego 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 powinien zatem zachodzić proces wypierania rozpuszczonych w solankach rodzimych gazów ziemnych i ich migracja do wyżejleżących kulminacji, które stanowią złoża gazu ziemnego. Następowałby wtedy proces naturalnego uzupełnienia zasobów uwolnionym gazem ziemnym z możliwością jego późniejszego wydobycia. Prezentowane wyniki badań są kolejną częścią czasochłonnych eksperymentów laboratoryjnych prowadzonych przez autora na fizycznym modelu złoża.

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

Investigating methane gas recovery from geo-pressured saline aquifers using CO₂ injection

Deep saline aquifers have the largest long-term CO₂ storage potential, 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 through expensive drilling. In existing aquifers saturated by natural gases their tightness is confirmed by the presence of lots of local gas accumulations in the 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 5000 km² area. 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. According to calculations the Poznań Trough structure may contain dissolved natural gas resources to the amount of nearly 120 billion Nm³, therefore at the current proved reserves of natural gas in Poland. Various ways of obtaining dissolved gas were already considered in the 70's. One of the most interesting proposals is the concept of CO₂ storage in these layers. This gas has good solubility in formation water, much higher than the solubility of natural gases. In the process of CO₂ sequestration, the process of displacement of native natural gas which originally saturates the underlying water with CO₂ injected into reservoir should occur. The presented research results are another part of the time-consuming laboratory experiments conducted by the author on a physical reservoir model.

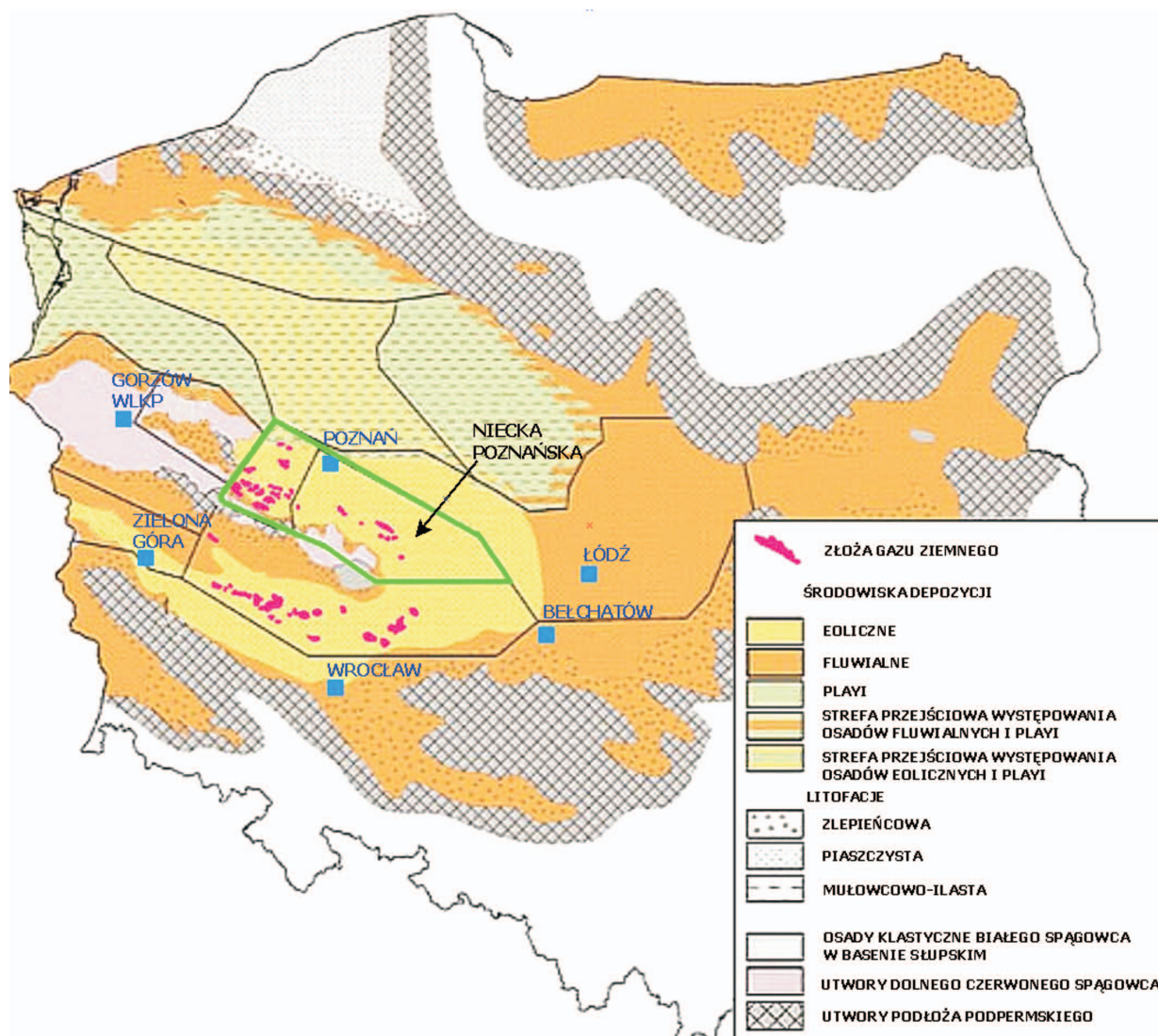
Key words: physical reservoir model, CO₂ sequestration, deep geo-pressured saline aquifers, Rotliegend, Poznań Trough.

Wprowadzenie

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 [12]. Nieckę poznańską podzielono na dwa obszary. Zachodnia część sięga od strefy Lwówek–Nowy Tomyśl do Poznania. Od północy niecka ograniczona jest wałem Rokietnica–Siekierki. W zachodniej części zapadliska odkryto wiele złóż gazu ziemnego, natomiast wschodni obszar niecki (rozciągający się od Poznania do Pleszewa) cechuje się dużym nachyleniem stropu czerwonego spągowca. Zlokalizowano tam niewiele złóż – rysunek 1.

W kilkudziesięciu odwiertach, którymi dowiercono się do warstw wodonośnych niecki, stwierdzono nasycenie wód

złożowych gazem ziemnym. Już w latach 70. ubiegłego wieku polscy geolodzy, znając ten fakt, zastanawiali się nad znalezieniem możliwości wydobycia ogromnych ilości „uwięzionego” gazu. Przeprowadzone badania ustaliły, że w 1 m³ solanki rozpuszczone 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 [1]. Jest to wartość porównywalna z udokumentowanymi, wydobywalnymi zasobami gazu w Polsce, tj. około 140 mld Nm³ [4]. Głębokie solankowe poziomy wodonośne mają obecnie największy potencjał sekwestracyjny CO₂, jednakże nieliczne są przypadki odpowiednich struktur o potwierdzonej szczelności dostatecznie zbadanych pod względem geologicznym. W przypadku struktury wodonośnej niecki poznańskiej wydaje się, że warunki te są w dużym stopniu spełnione. Prowadzone w latach 70. ubiegłego wieku poszukiwania ropy i gazu, oprócz odkrycia



Rys. 1. Lokalizacja niecki poznańskiej na tle mapy paleogeograficznej schyłku górnego czerwonego spągowca [12]

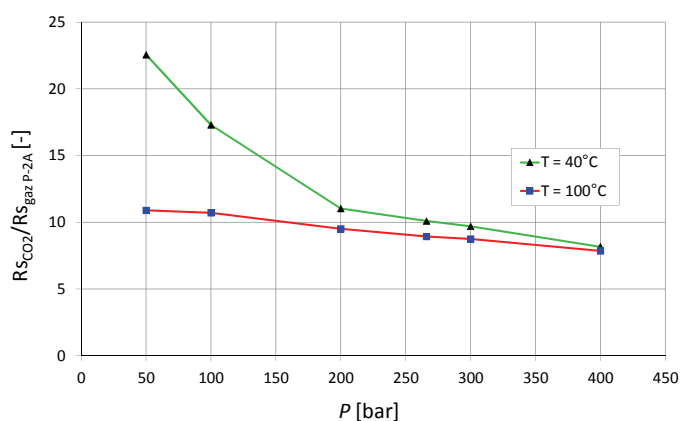
kilkudziesięciu złóż, dostarczyły wielu informacji o omawianej formacji oraz o płynach złożowych, którymi nasycone są piaskowce czerwonego spągowca. Ponadto odnotowano, że wody podścielające złoża gazu są również, w dużym stopniu, tym gazem nasycone. Struktura wodonośna niecki rozciąga się na bardzo rozległym obszarze, a jej miąższość generalnie zawiera się pomiędzy 10÷600 m. Dlatego zasoby rozpuszczonego w solance gazu ziemnego są ogromne – należy jednak znaleźć i zastosować odpowiednią metodę ich pozyskania. Już w latach 30. ubiegłego wieku we Włoszech i w Japonii gaz ziemny rozpuszczony w wodach złożowych próbowano eksploatować na wiele sposobów [13–17], m.in. pozyskując nasyconą gazem solankę, którą po odgazowaniu

powrotnie zatłaczano do złoża. Techniki te różniły się jednak od metody prezentowanej w niniejszym opracowaniu. W artykule przedstawiona została koncepcja zatłaczania i składowania CO₂ w poziomach solankowych podścielających złoża gazu ziemnego. DITLENEK 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.

Modelowanie procesu wypierania gazu metanowego z nasyconej solanki poprzez zatłaczanie CO₂

Na przestrzeni kilku ostatnich lat w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym wykonano wiele badań mających na celu poznanie procesów zachodzących podczas zatłaczania CO₂ do wód złożowych nasyconych rodzimym gazem ziemnym [3, 5–11]. Jako potencjalny obiekt sekwestracyjny przyjęto warstwy permu obszaru niecki poznańskiej. Prace badawcze (eksperymentalne i symulacyjne) nadal są intensywnie 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 niecki. 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 określić zdolność rozpuszczania się ditlenku węgla w funkcji ciśnienia, temperatury i stopnia mineralizacji. Potwierdzono znaczne różnice w rozpuszczalności CO₂ i gazu metanowego w wodach złożowych badanego rejonu – rysunek 2. Z przeprowadzonych badań wynika, że w temperaturze 100°C i w zakresie badanych ciśnień (50÷400 bar) w wodzie złożowej może rozpuścić się 8÷11 razy więcej CO₂ niż gazu ziemnego. W niższej temperaturze, tj. 40°C, i w zakresie ciśnień poniżej 200 bar dysproporcje rozpuszczalności obu gazów dodatkowo zwiększają się na korzyść CO₂ (linia zielona na rysunku 2). Przy ciśnieniu 50 bar w solance może rozpuścić się około 23 razy więcej CO₂ niż gazu metanowego (w przeliczeniu na warunki normalne). Powyższe zjawisko wykorzystywane jest w procesach desorpcji metanu z nasyconych wód węglanych z użyciem sekwestracji CO₂ [2].

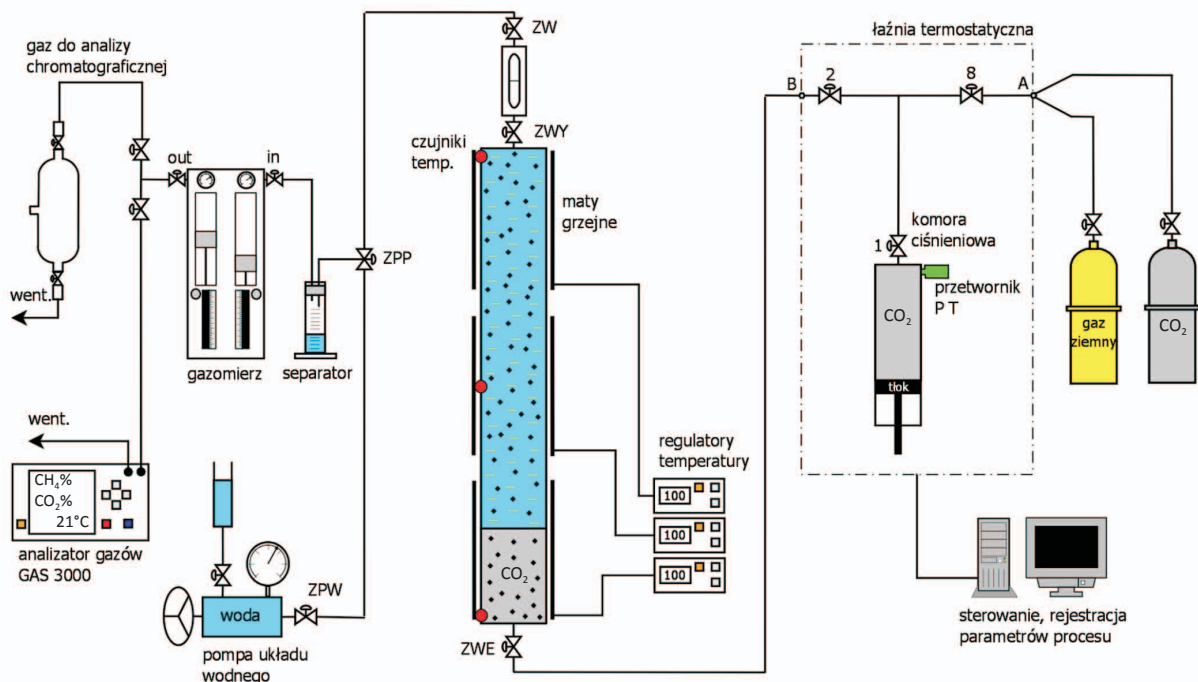
Dla zbadania zjawisk zachodzących w trakcie zatłaczania CO₂ do struktur wodonośnych nasyconych gazem ziemnym



Rys. 2. Stosunek rozpuszczalności CO₂ i gazu ziemnego w solance [8]

stworzono stanowisko współpracujące z nowoczesną aparaturą do badań właściwości fazowych płynów złożowych – rysunki 3 i 4. Zbudowano fizyczny model złoża z ośrodkiem porowatym, którego głównym elementem była komora ciśnieniowa o 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: φ = 35,6%. Górną głowicę modelu skonstruowano w sposób umożliwiający sprawdzanie wierzchołka złoża pod kątem pojawienia się fazy gazowej – rysunek 5.

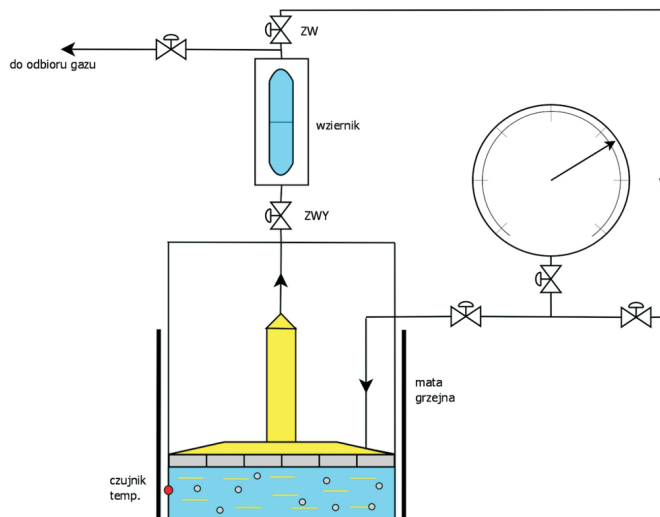
Model złoża wyposażono również w szklany wziernik, umożliwiając obserwację i pomiar objętości ewentualnej czapy gazowej. Identyfikacja momentu pojawienia się w układzie wtórnej czapy gazowej, wynikającej z desorpcji gazu rodzimego przez zatłaczany CO₂, była niezwykle istotna dla właściwego prowadzenia eksperymentu wypierania. Wziernik we współpracy z pompką wodną umożliwiał pomiar ilości wolnego gazu w warunkach PT złożowych.



Rys. 3. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO₂ [8]



Rys. 4. Stanowisko badawcze do badań procesów wypierania – na drugim planie, z prawej strony, widoczny model złoża [5]



Rys. 5. Rozwiązanie konstrukcyjne umożliwiające prowadzenie obserwacji najwyższej części modelu złoża pod kątem uformowania się wtórnej czapy gazowej

Dla utrzymania zadanej temperatury badań koniecznością 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 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.

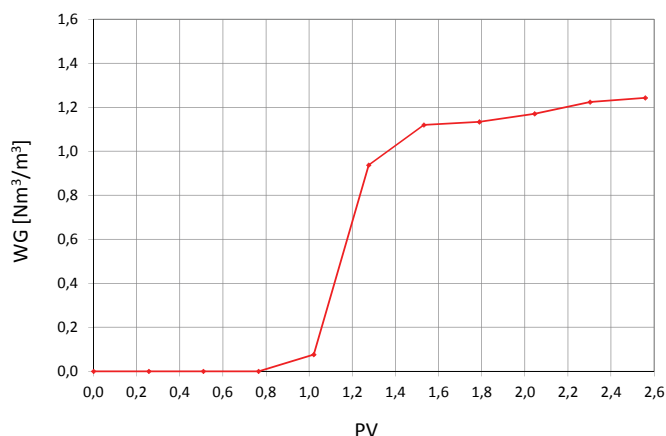
Ważnymi elementami opisywanego stanowiska badawczego są także:

- 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.

Przebieg i rezultaty eksperymentu

Eksperyment wypierania gazu ziemnego z użyciem CO_2 przeprowadzono na fizycznym modelu złoża w temperaturze 40°C . Jak wykazały badania, w niższej temperaturze zwiększona jest zdolność do rozpuszczania się zarówno gazu ziemnego, jak i CO_2 w solance. Ułatwia to pomiary wolumetryczne gazu i zwiększa dokładność zbilansowania eksperymentu. Ponadto obniżona temperatura badań zwiększa dysproporcje parametru rozpuszczalności CO_2 w solance w stosunku do gazu ziemnego – rysunek 2. Zjawisko to może zwiększać dynamikę badanego procesu. Dodatkową zaletą obniżonej temperatury badawczej jest zniwelowanie różnicy temperatur modelu złoża i otoczenia, co ma duże znaczenie z technicznego punktu widzenia przeprowadzenia tak długotrwałego eksperymentu. Ponadto istotny jest również aspekt bezpieczeństwa. Model pozostawia się pod wysokim ciśnieniem na bardzo długi okres czasu (nawet kilka miesięcy), a awaria któregoś z elementów kontroli i stabilizacji temperatury lub chwilowy brak prądu natychmiast przerywa eksperyment i może spowodować poważne zagrożenie. Badany układ jest mało ściśliwy. Stanowi go woda nasycona gazem ziemnym i objętościowo niewielka ilość ditlenku węgla, wypełniającego od dołu pory ośrodka złożowego modelu. CO_2 w zadanych termobarycznych warunkach badania znajduje się w obszarze nadkrytycznym i może być traktowany jako „gęsty gaz”. Niewielki wzrost temperatury badanego systemu skutkuje bardzo wysokim wzrostem ciśnienia – nawet powyżej 100 MPa.

Przygotowanie samego eksperymentu wypierania polegało na odpowiednim wypełnieniu objętości porowej modelu badanymi płynami złożowymi. W komorze ciśnieniowej aparatury PVT przygotowano solankę nasyconą gazem metanowym w temperaturze 40°C i przy ciśnieniu złożowym 266 bar. Następnie, w stanie jednofazowym, przetłoczono przygotowaną solankę do ośrodka porowatego modelu złoża (wypełnione go uprzednio martwą solanką złożową) – utrzymując stałe ciśnienie i zapobiegając tym samym wydzieleniu się gazu. Nasylenie całej objętości porowej modelu złoża wymagało przygotowania 10 porcji (nasyconej w odpowiednich warunkach) solanki i właściwego przetłoczenia każdej z nich, aż do całkowitego wypełnienia porów złoża. Podczas wprowadzania do modelu nasyconej gazem solanki równocześnie odbierano solankę martwą, pierwotnie wypełniającą ośrodek porowaty. Po zatłoczeniu około jednej objętości porowej nasyconej solanki wykładnik gazowy wytłaczanego płynu odpowiednio wzrastał. Wypełnianie złoża uznano za zakończone, gdy WG ustabilizował się na maksymalnym notowanym poziomie, świadczącym o jednorodnym wypełnieniu ośrodka porowatego nasyconą gazem solanką – rysunek 6.



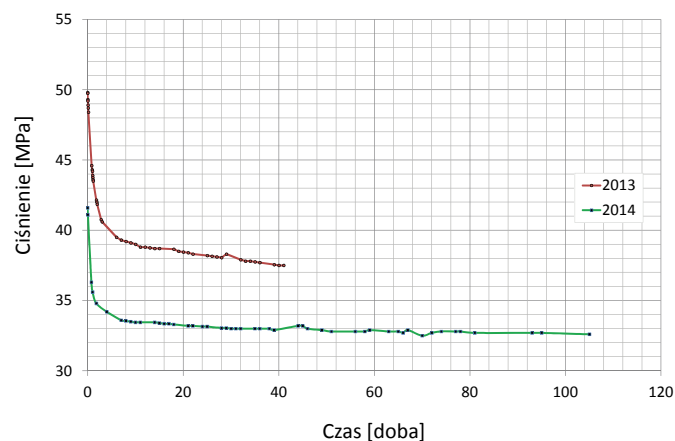
Rys. 6. Wykładnik gazowy solanki odbieranej z modelu podczas napełniania złoża

Następnym etapem eksperymentu było jednorazowe wprowadzenie do modelu zadanej ilości CO_2 . Dane rozpuszczalności oraz inne istotne parametry PVT pozyskiwano z wcześniej przeprowadzonych badań. Zatłaczanie ditlenku węgla przeprowadzono przy stałym ciśnieniu w układzie ($P_{TL} = 415$ bar), przez zawór wejściowy/dolny (ZWE), przy jednoczesnym odbiorze solanki zaworem wyjściowym/górnym (ZWY) – rysunek 3. Jednorazowo do modelu złoża wprowadzono $60,98 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$ w warunkach PT tłoczenia, co daje $31\,450 \text{ Ncm}^3$. Jak wynika z przeprowadzonych wcześniej badań, objętość ta stanowi 125% CO_2 , jaka mogłaby się (w odniesieniu do ciśnienia złożowego 266 bar i temperatury badawczej 40°C) rozpuścić w „martwej” solance (czyli 125% R_{s,max,CO_2}). Głównym zamierzeniem eksperymentu było (dzięki wprowadzeniu CO_2 do modelu złoża, czyli systemu pozostającego w równowadze fazowej) zaburzenie ustalonych warunków równowagowych poprzez dodanie nowego składnika w układzie. Ditlenek węgla w warunkach eksperymentu ma około 8 razy większą rozpuszczalność w solance względem rodzimego gazu ziemnego. W związku z powyższym oczekiwany jest proces desorpcji metanu z fazy wodnej. Z kolei 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 zadanej ilości CO_2 do modelu złoża prowadzono obserwacje ciśnienia w układzie – rysunek 7 (zaznaczono na nim również przebieg zmian ciśnienia w systemie podczas prowadzenia podobnego eksperymentu w 2013 roku [8]). Poprzednie doświadczenie zostało przerwane po 42 dobach. Po jego zakończeniu i interpretacji uzyskanych wyników uznano, że uzasadnione byłoby znaczne wydłużenie eksperymentu. Konsekwencją ówczesnych konstatacji jest wyko-

nanie kolejnego, zdecydowanie dłużej trwającego i nieco zmodyfikowanego, doświadczenia – na wykresie oznaczonego jako „2014”. Prezentowany eksperyment (2014) prowadzono przy niższych ciśnieniach niż zeszloroczny. Zatłoczenie CO₂ do modelu zrealizowano przy ciśnieniu 415 bar i było to maksymalne ciśnienie, które – w miarę postępu czasu i rozpuszczania się CO₂ w solance – konsekwentnie malało.

Ciśnienie początkowe eksperymentu powinno być na tyle wysokie, by zapobiec jego spadkowi poniżej ciśnienia nasycenia układu, w którym to faza gazowa wydzieli się z wody niezależnie od badanych procesów wypierania. Z drugiej jednak strony, zbyt ni wzrost ciśnienia niepożądanie wpływa na zwiększenie rozpuszczalności badanych gazów w wodzie złożowej, utrudniając wydzielenie się banieczek gazu z wody wskutek desorpcji z udziałem CO₂. Utrzymanie właściwej proporcji pomiędzy zadaniem ciśnieniem a ilością zatłoczonego do modelowego systemu złożowego CO₂ jest chyba największą trudnością przy właściwym zaprojektowaniu eksperymentu.

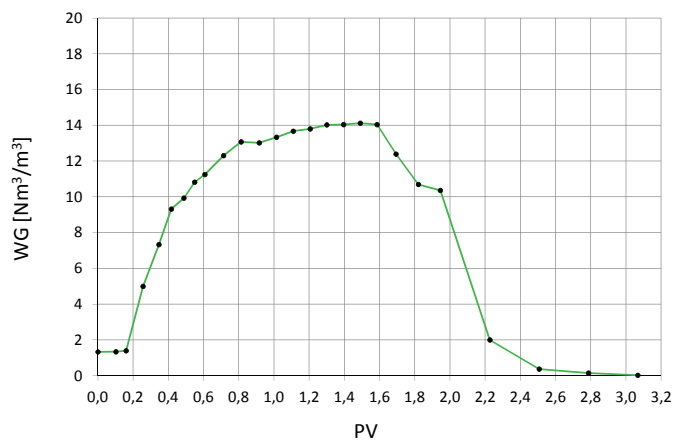


Rys. 7. Zmiana ciśnienia w modelu złoża – porównanie eksperymentów z roku 2013 i 2014

W początkowej fazie eksperymentu (pierwsze 5 dni) rejestrowano dużą dynamikę spadku ciśnienia wynikającą m.in. z rozpuszczania się CO₂ w wodzie. W dalszym okresie trwania doświadczenia obserwowano raczej powolny, jednostajny spadek ciśnienia, wynoszący około 1 bar/24 h. Odczyty prowadzono w odstępach 24-godzinnych, dokonując jednocześnie sprawdzenia obecności wolnej fazy gazowej w najwyższej części modelu złoża, za pomocą specjalnej konstrukcji głowicy – rysunek 5.

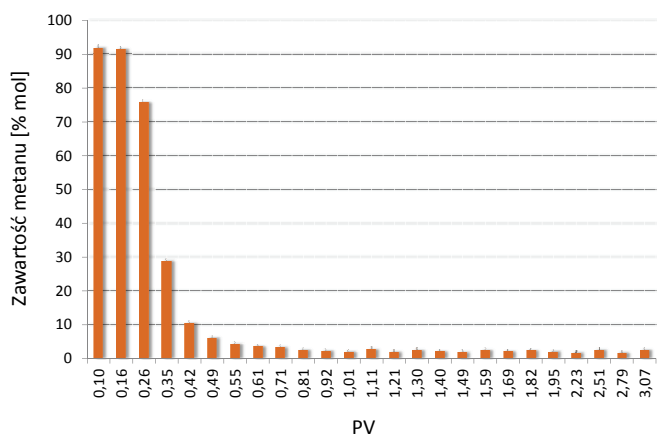
Po 105 dobach kontynuowania eksperymentu (dla porównania eksperyment „2013” trwał 42 doby) nie odnotowano obecności wtórnej czapy gazowej w najwyższej części złoża. Mimo znacznego wydłużenia badania (w stosunku do 2013 r.), czas doświadczenia okazał się być ciągle zbyt krótki do wydzielenia ze środowiska wodnego fazy gazowej oraz do

migracji i akumulacji gazu w najwyższej strefie modelu złoża. Po przerwaniu eksperymentu przystąpiono do odbioru płynów z modelu, zatłaczając martwą solankę od dołu układu (ZWE), odbierając jednocześnie wypierany płyn (w postaci nasyconej gazami solanki) górnym zaworem wyjściowym (ZWY). Na separatorze oddzielano wodę złożową od wydzielającego się z niej gazu, a następnie dokonywano pomiarów objętości, co pozwalało na wykreślenie przebiegu zmian wykładnika gazowego mediów odbieranych z komory w funkcji ilości zatłaczanej solanki martwej. Dzięki pomiarom objętości solanki, tłoczony do modelu przez komorę ciśnieniową aparatury PVT, określono zmiany wykładnika gazowego (rysunek 8) oraz skład gazu wydzielającego się z ropy (rysunek 9) w funkcji objętości porowej (PV) fizycznego modelu złoża. W trakcie odbioru gazu pomierzono i poddano analizom składu 25 próbek. W czasie rzeczywistym monitorowano skład gazu analizatorem CH₄/CO₂. Na rysunku 11 zestawiono wyniki analiz składu gazu wydzielającego się z solanki stopniowo wytłaczanej z modelu złoża. Są to bieżące odczyty analizatora gazu generowane co 3 sekundy, wykonywane przez cały proces wytłaczania nasyconej solanki z modelu, aż do chwili pojawienia się („na wyjściu”) solanki martwej.



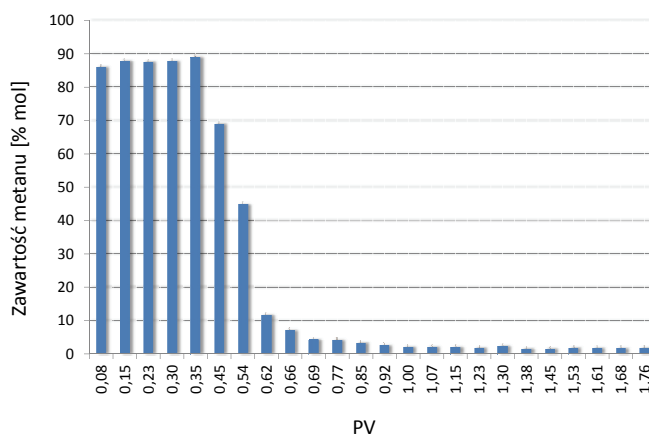
Rys. 8. Wykładnik gazowy płynu odbieranego z modelu złoża po zakończeniu eksperymentu

Wytłaczanie kontynuowano do momentu odebrania z modelu całego płynu złożowego biorącego udział w eksperymencie wypierania, co było potwierdzone spadkiem wykładnika gazowego odbieranego płynu – $WG = 0 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ po zatłoczeniu martwej solanki odpowiadającej ilości 3,1 PV modelu. Na rysunku 9 przedstawiono skład gazu wydzielonego z wytłaczanej solanki w odniesieniu do objętości porowej modelu. Każdy z 25 słupków odpowiada kolejnemu krokowi odbioru solanki z modelu i pozyskanej wówczas oddzielnej próbce gazu. Daje się zauważyć, że już po wytłoczeniu ilości 0,16 PV solanki z modelu następuje wyraźny spadek zawartości metanu w gazie. W tym samym czasie obserwuje



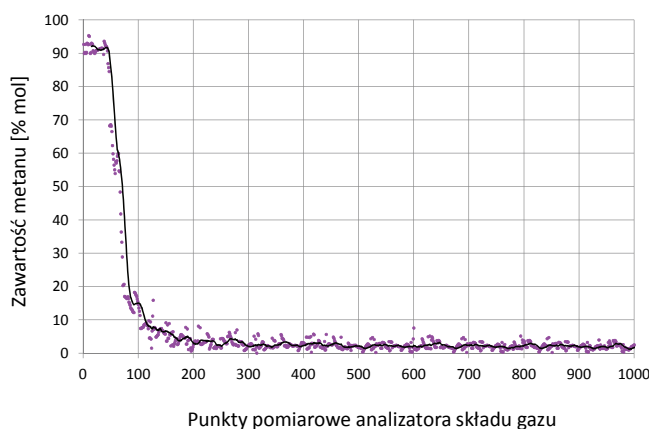
Rys. 9. Odbiór płynu z modelu złoża – koncentracja metanu w odbieranym gazie, eksperyment 2014

się znaczny wzrost wykładnika gazowego, co świadczy o nasyceniu solanki ditlenkiem węgla. CO_2 przez 105 dni trwania eksperymentu zdążył nasycić 0,84 objętości porowej fizycznego modelu złoża. Pozostała, najwyżej znajdująca się przestrzeń modelu, tj. 0,16 PV, zawierała głównie gaz metanowy i można przyjąć, że front przemieszczającego się grawitacyjnie CO_2 do niej nie zdążył dotrzeć. Dla porównania, zaprezentowano rozkład koncentracji metanu w środowisku wodnym po zakończeniu/przerwaniu podobnego eksperymentu z 2013 roku – rysunek 10. Porównując oba eksperymenty, daje się zauważyć (oczekiwane w 2014 r.) zwiększenie przestrzeni modelu spenetrowanej przez CO_2 – jednakże, jak już wspomniano, w obu przypadkach czas badań był za krótki na nasycenie ditlenkiem węgla całej objętości badanego systemu złożowego. W eksperymencie z 2014 r. odnotowano także większe koncentracje metanu w gazie wydzielonym z najwyższej strefy modelu złoża – czyli z obszaru, do którego CO_2



Rys. 10. Odbiór płynu z modelu złoża – koncentracja metanu w odbieranym gazie, eksperyment 2013

nie zdążył „dotrzeć”. Może to świadczyć o nagromadzeniu się tam pewnych ilości metanu wypartego z niższej strefy modelu złoża, czyli nasyconej przez CO_2 .



Rys. 11. Odbiór płynu z modelu złoża – koncentracja metanu w odbieranym gazie, wyniki analizatora

Podsumowanie

Prezentowane badania procesów wypierania gazu ziemnego z wód złożowych z użyciem zatłaczania CO_2 prowadzone na fizycznym modelu złoża są bardzo czasochłonne. Na przedstawionym w niniejszej pracy przykładzie widać, że nawet 3,5 miesiąca kontynuowania eksperymentu to zbyt krótki okres, aby wychwycić moment wydzielania się wolnej fazy gazowej w badanym układzie. Po zbilansowaniu przeprowadzonego procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO_2 , można stwierdzić, iż dzięki wprowadzeniu CO_2 do systemu złożowego, składającego się z solanki pozostającej w równowadze fazowej z nasycającym ją rodzimym gazem metanowym, w układzie zaczyna postępować proces prowadzący do powolnego stabilizowania się nowych warunków równowagowych, które finalnie powinny skutkować utworzeniem się wolnej fazy gazowej w postaci wtórnej czapy

w najwyższej części modelu złoża. Przy obecnym zaprojektowaniu i poprowadzeniu eksperymentu czas potrzebny do jednorodnego rozpuszczenia się zatłoczonego CO_2 w solance okazał się zbyt długi w porównaniu z możliwością dalszego kontynuowania eksperymentu w laboratorium PVT. Doświadczenia prowadzone przez 105 dni okazały się być zbyt krótkie, a front ditlenku węgla przesunął się do objętości 84% PV modelu (dla porównania w eksperymencie 2013 CO_2 dotarł do 65% PV). Zostało to oszacowane na podstawie zmian wykładnika gazowego i składu gazu wyłoczonego z modelu bezpośrednio po przerwaniu eksperymentu. Badanie wykazało, że do pełnego nasycenia modelu złoża ditlenkiem węgla i ustabilizowania się nowych warunków równowagowych w badanym systemie zabrakło około 35 cm 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 największa – należy to uznać za zjawisko naturalne. W miarę postępu czasu dynamika rozpuszczania się i dyfuzji CO₂ w środowisku wodnym maleje.

Opisany eksperyment był drugim tego typu badaniem przeprowadzonym na fizycznym modelu złoża w Zakładzie Badania Złóż Ropy i Gazu. Kolejne, trzecie badanie jest kontynuowane od 2.07.2014 r. Do modelu wprowadzono 98 cm³ CO₂ (z zachowaniem identycznych warunków

ciśnienia i temperatury zatłaczania), co w przeliczeniu na warunki normalne daje $V_{CO_2} = 50\,526\text{ Ncm}^3$. W odniesieniu do przeprowadzonych wcześniej badań, objętość ta stanowi 200% CO₂, jaka mogłaby się (w ciśnieniu złożowym 266 bar i temperaturze badawczej 40°C) w „martwej” solance rozpuścić (czyli 200% Rs_{maxCO_2}).

Prezentowane badania są unikalne, a każdy kolejny eksperyment daje dodatkowe informacje o przebiegu zjawisk zachodzących w ośrodku porowatym podczas wprowadzania CO₂ do środowiska wodnego nasyconego gazem ziemnym.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 3, s. 159–166

Artykuł nadesłano do Redakcji 18.11.2014 r. Zatwierdzono do druku 9.01.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Badania procesu wypierania metanu przy udziale sekwestracji CO₂* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-25/14, nr zlecenia wew.: 0025/KB/14.

Literatura

- [1] Karnkowski P.: *Formowanie się złóż gazu ziemnego na obszarze przedśudeckim*. Nafta 1979, nr 8–9, s. 254–258.
- [2] Lubas J., Krepulec P.: *Technologia powrotnego zatłaczania gazów kwasnych nowoczesnym sposobem zagospodarowania złóż zasiarzonych*. Nafta-Gaz 1999, nr 6, s. 329–333.
- [3] 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.
- [4] Wagner R., Pokorski J.: *W poszukiwaniu ropy i gazu*. Materiał wydrukowany ze strony <http://www.pgi.gov.pl> (dostęp: 18.01.2012).
- [5] 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.
- [6] Warnecki M.: *Atrakcyjna technologia*. Przegląd Gazowniczy 2004, nr 4, s. 13–15.
- [7] 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.
- [8] Warnecki M.: *Badania procesów zatłaczania CO₂ do poziomów solankowych nasyconych gazem ziemnym na fizycznym modelu złoża*. Nafta-Gaz 2014, nr 10, s. 676–683.
- [9] 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*. Dokumentacja INiG, zlec. wew. INiG 362/KB. Kraków 2011.
- [10] Warnecki M.: *Rozpuszczalność CO₂ i rodzimych gazów ziemnych w solance złożowej*. Nafta-Gaz 2010, nr 1, s. 19–26.
- [11] Warnecki M.: *Wspomaganie wydobycia węglowodorów w szcerpanych złóżach gazu ziemnego poprzez zatłaczanie CO₂ do solankowego poziomu wodonosnego niecki poznańskiej*. Dokumentacja INiG, zlec. wew. INiG 319/KB. Kraków 2009.
- [12] Wolnowski T.: *Perspektywy poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na Niziu Polskim*. Wiadomości Naftowe i Gazownicze. Materiał wydrukowany z serwisu www.wnp.pl (<http://www.wnp.pl/foto/6375.html>) (dostęp: 28.08.2007).

Akty prawne i normatywne

- [13] Cook H. L. Jr. et al.: *Method for increasing the recovery of natural gas from a geopressed aquifer*. United States Patent No. 4,116,276. Sep. 26, 1978.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Jones P. H.: *Natural gas production from geopressed aquifers*. United States Patent No. 4,279,307. Jul. 21, 1981.
- [17] Richardson J. G. et al.: *Method for recovering gas from solution in aquifer waters*. United States Patent No. 4,149,596. Apr. 17, 1979.



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