

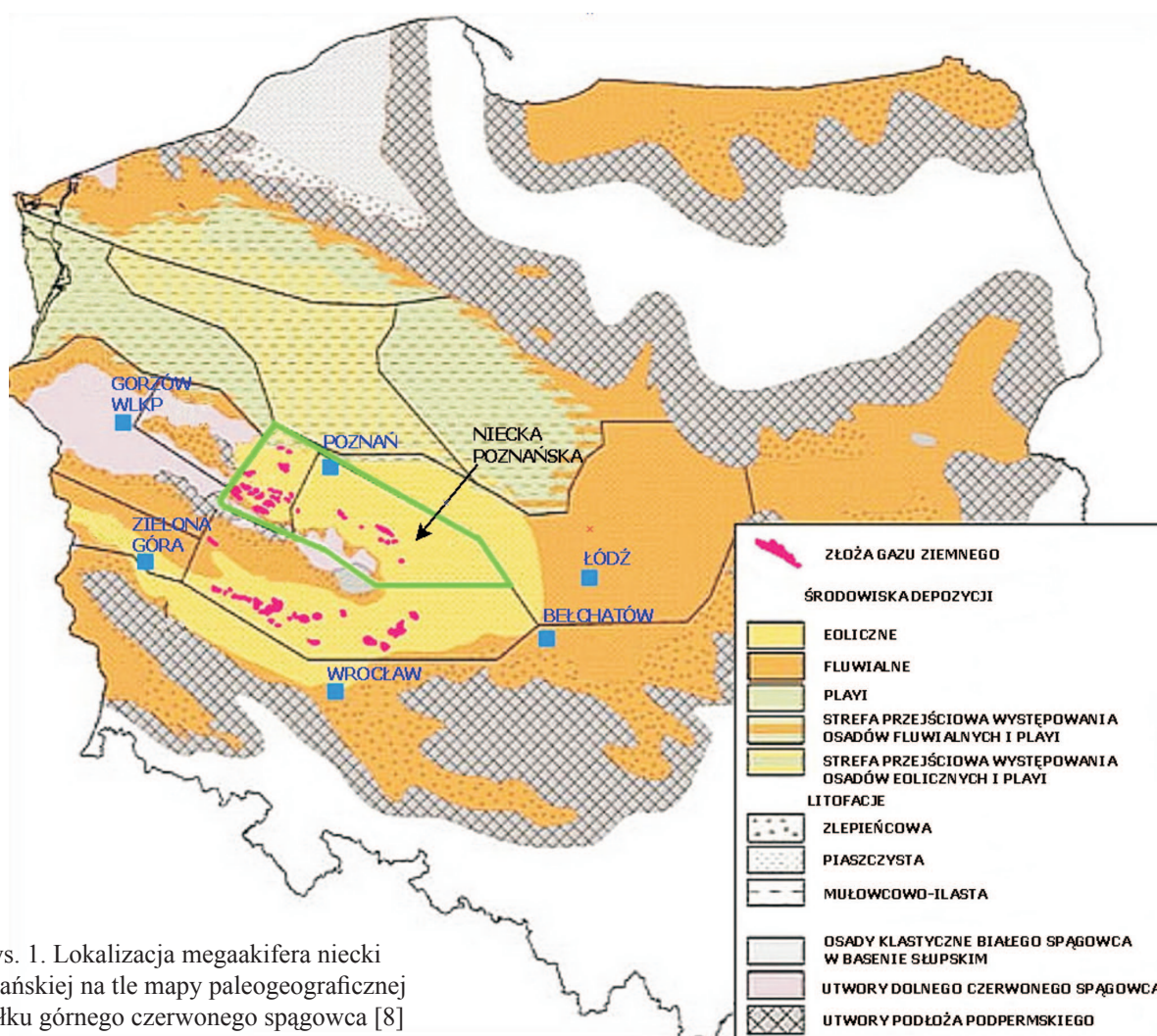
Marcin Warnecki  
Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

## Analiza możliwości pozyskania pozabilansowych zasobów gazu ziemnego z nasyconych poziomów solankowych w procesach sekwestracji CO<sub>2</sub>

### Megastruktura wodonośna niecki poznańskiej jako potencjalny projekt dla sekwestracji CO<sub>2</sub>

Solankowe poziomy wodonośne zalegające w warstwach Permu na obszarze niecki poznańskiej rozciągają

się na powierzchni ok. 5000 km<sup>2</sup> (rysunek 1). Struktura nasycona jest rodzimym gazem ziemnym, a jej szczel-



Rys. 1. Lokalizacja megaakifera niecki poznańskiej na tle mapy paleogeograficznej schyłku górnego czerwonego spągowca [8]

ność potwierdzona jest występowaniem wielu lokalnych akumulacji gazu, które powstały podczas grawitacyjnej migracji gazu, ostatecznie tworząc niewielkie złoża – obecnie w dużym stopniu szcerpane.

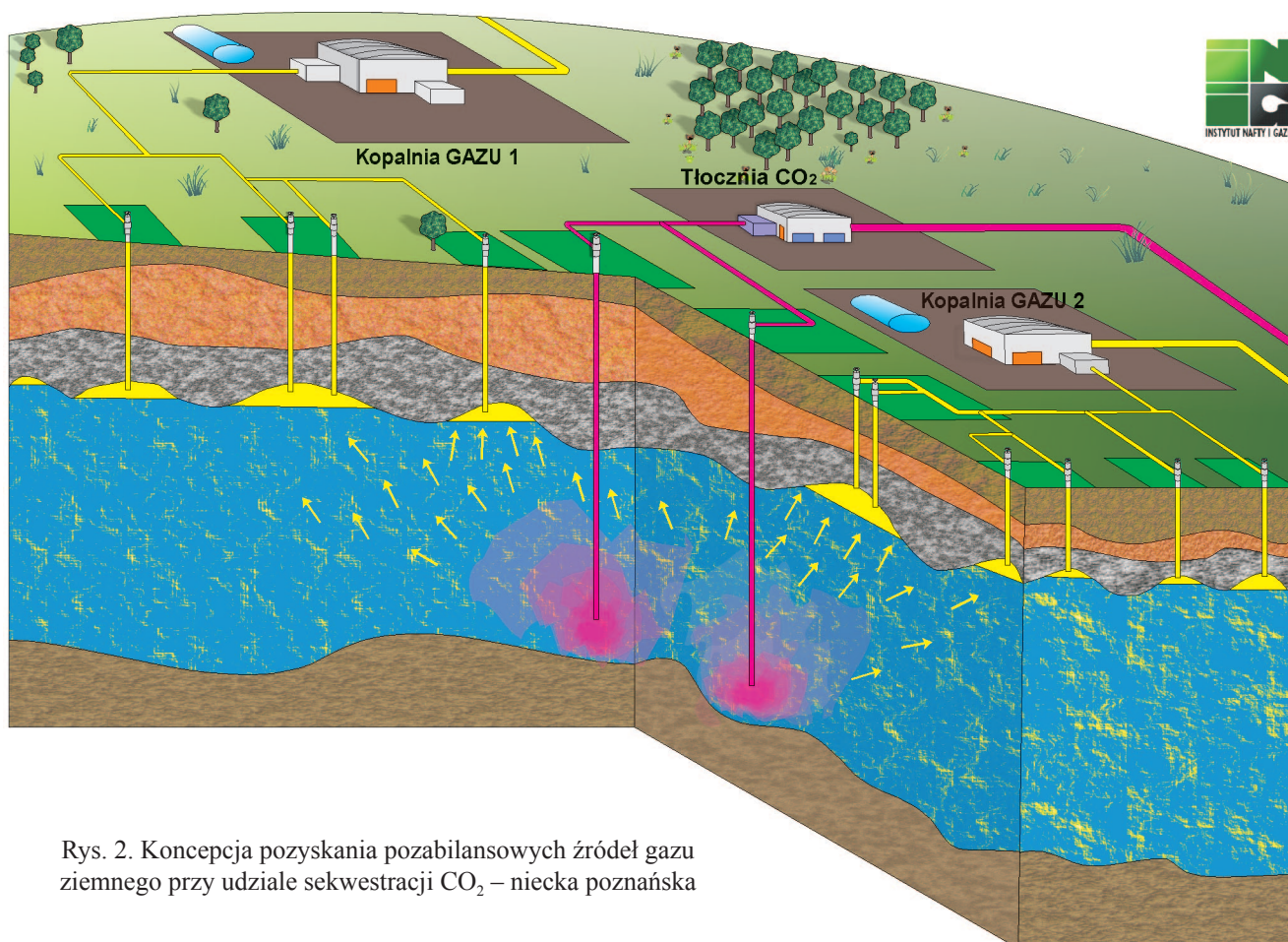
Ze względu na zróżnicowanie nachylenia stropu czerwonego spągowca nieckę poznańską podzielono na dwa obszary. Zachodnia część sięga od strefy Lwówek–Nowy Tomyśl do Poznania. Jej szerokość wynosi około 50 km, a rozciągłość około 35 km. Od północy niecka ograniczona jest wałem Rokietnica–Siekierki. Mniejsze 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 (ok. 80 km). Obszar ten cechuje się znacznie większym nachyleniem stropu czerwonego spągowca, a pułapki tam stwierdzone mają zamknięcia tektoniczno-litologiczne [8].

W ponad pięćdziesięciu odwiertach, którymi dowiercono się do warstw wodonośnych niecki, stwierdzono (próbnikami złoża) nasycenie wód złożowych gazem węglowodorowym. Już w latach 70. ub. wieku polscy geolodzy, znając ten fakt, zastanawiali się nad znalezieniem

możliwości wydobycia ogromnych ilości „uwięzionego” gazu. Przeprowadzone badania pozwoliły na ustalenie, że w 1 m<sup>3</sup> solanki rozpuszczone jest średnio ok. 2,4 Nm<sup>3</sup> gazu ziemnego (w zależności od mineralizacji, ciśnienia i temperatury złożowej). Wyliczono, że na powierzchni 5000 km<sup>2</sup> zasoby gazu rozpuszczonego w strukturze wodonośnej mogą dochodzić nawet do 120 mld Nm<sup>3</sup> [1]. 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 ok. 100 mld Nm<sup>3</sup>, co i tak jest porównywalne z wydobywalnymi zasobami gazu w Polsce, tj. ok. 140 mld Nm<sup>3</sup> [3].

Strukturę wodonośną niecki poznańskiej można porównać do ogromnego syfonu, prawie całkowicie wypełnionego wodą nasyconą gazem. Stosunkowo niewielka przestrzeń w syfonie „nad wodą”, wypełniona sprężonym gazem, może symbolizować złożę gazu powstałe w wyniku akumulacji gazu ziemnego w lokalnie najwyższych obszarach formacji czerwonego spągowca niecki (rysunek 2).

W sąsiedztwie niecki i zlokalizowanych na niej złóż węglowodorów znajduje się aglomeracja poznańska licząca ok. 1 mln mieszkańców [2]. Na terenie tym zlokalizowa-



Rys. 2. Koncepcja pozyskania pozabilansowych źródeł gazu ziemnego przy udziale sekwestracji CO<sub>2</sub> – niecka poznańska

nych jest wielu emitentów CO<sub>2</sub>, 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. Stanowią one ułatwienie w projektowaniu rurociągu transportującego CO<sub>2</sub> w rejon podziemnego składowania. Następnie gaz kwaśny (głównie CO<sub>2</sub>) byłby sprężany i zatłaczany bezpośrednio do głębokich solankowych poziomów wodonośnych. Procesowi temu sprzyja duża ilość wykonanych na tym obszarze odwiertów wraz z siecią rurociągów i urządzeń zagospodarowania

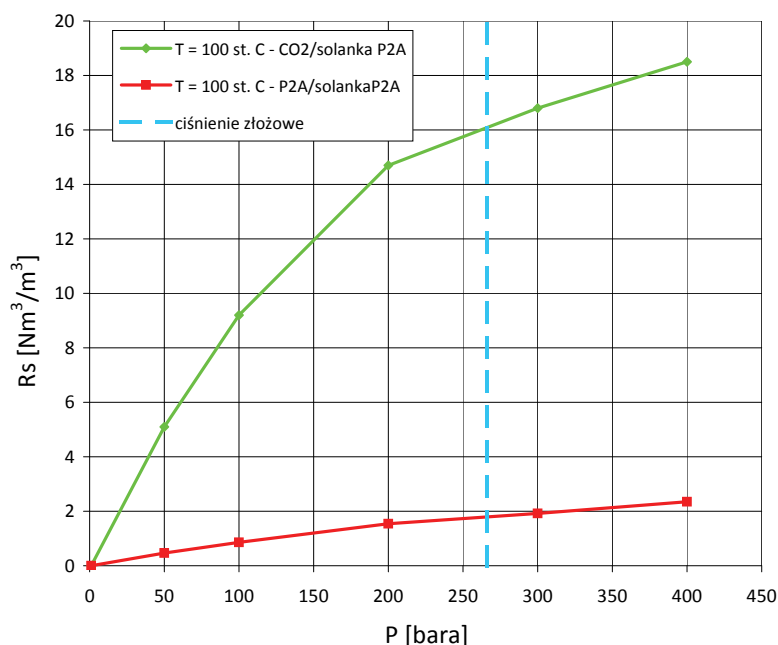
napowierzchniowego złóż. Bardzo istotną zaletą struktury wodonośnej niecki jest jej szczelność zweryfikowana na przestrzeni milionów lat, dzięki istnieniu wielu złóż gazu ziemnego w jej lokalnych wyniesieniach. Warunek pełnej potwierdzonej szczelności struktury magazynowej jest kardynalny w rozumieniu geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub>. Rejon niecki jako potencjalny magazyn sekwestracyjny jest także bardzo korzystny z punktu widzenia ekonomii przedsięwzięcia deponowania tam CO<sub>2</sub>. Mianowicie obszar ten jest już rozwiercony setkami odwiertów, które po części mogłyby zostać wykorzystane w projekcie sekwestracji – daje to gigantyczne oszczędności na wierceniach, które musiałyby być wykonane na nowej strukturze.

### Badanie procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych poprzez zatłaczany CO<sub>2</sub> na fizycznym modelu złoża

W ostatnich latach w Instytucie Nafty i Gazu przeprowadzono wiele badań ukierunkowanych pod kątem możliwości prowadzenia sekwestracji CO<sub>2</sub> w megastrukturze zawodnionej niecki poznańskiej. Nadal prowadzone są prace badawcze nad możliwością zwiększenia stopnia szczerpania zasobów gazu na istniejących złóżach, na strukturze niecki, w wyniku wypierania gazu węglowodorowego przez CO<sub>2</sub>, zatłaczanego bezpośrednio do wód podścielających. Zakłada się, iż z uwagi na kilkakrotnie wyższą rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w solance złożowej, w porównaniu z rozpuszczalnością gazu węglowodorowego, następować będzie wypieranie rodzimego gazu z warstw wodonośnych, a wyparte węglowodory wzbogacą zasoby istniejących złóż gazowych.

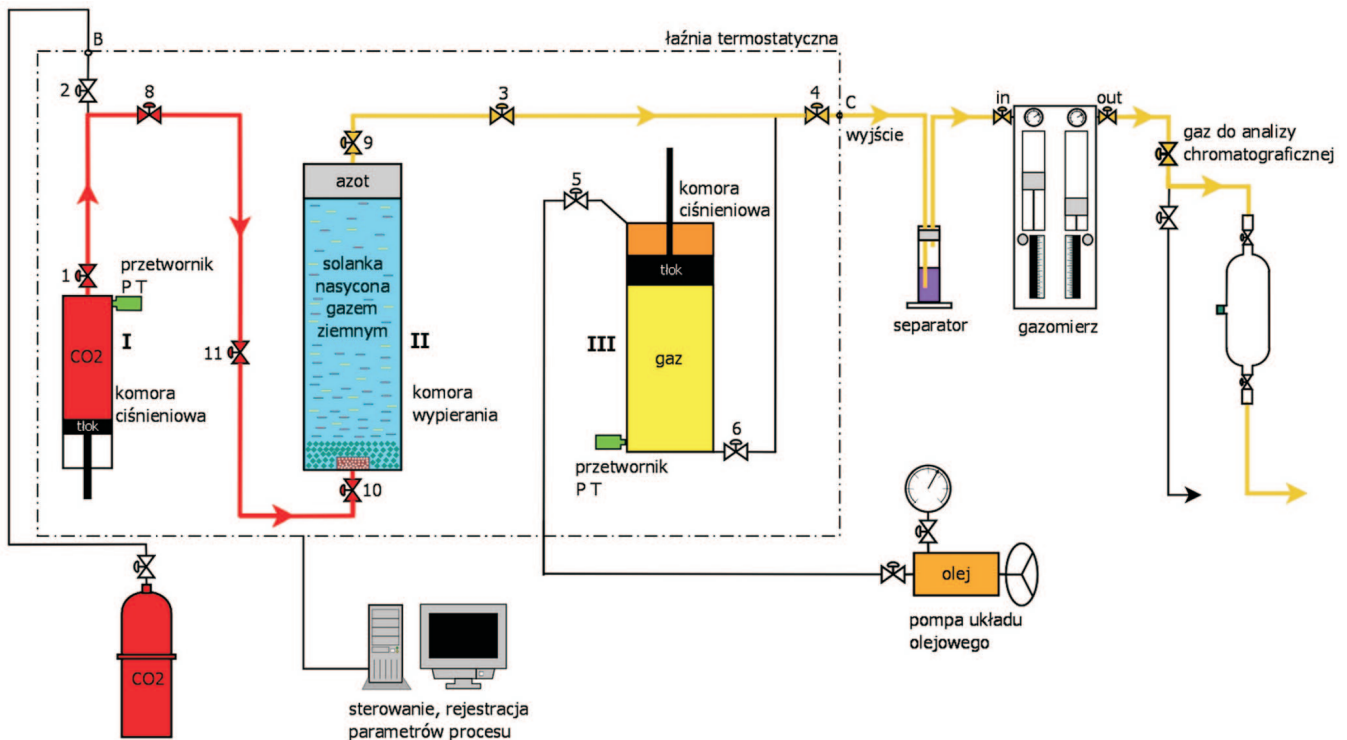
Wykonane prace badawcze pozwoliły określić skład i parametry fizykochemiczne oraz właściwości fazowe (PVT) płynów złożowych z wybranych złóż gazowych. Przeprowadzono badania laboratoryjne i symulacyjne dotyczące ditlenku węgla i jego mieszanin z rodzimym gazem ziemnym. Wykonane w warunkach złożowych badania rozpuszczalności CO<sub>2</sub> w odpowiednich solankach złożowych pozwoliły oszacować maksymalną zdolność rozpuszczania się CO<sub>2</sub> 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 po-

dawane w latach 70. ub. wieku wartości rozpuszczalności gazu w solance. Wykreślono krzywe rozpuszczalności CO<sub>2</sub> i rodzimego gazu ziemnego w solance, w funkcji ciśnienia, w temperaturze złożowej. Badania potwierdziły blisko 10-ciokrotnie większą zdolność rozpuszczania się CO<sub>2</sub> w wodzie złożowej (rysunek 3).



Rys. 3. Krzywe rozpuszczalności CO<sub>2</sub> i rodzimego gazu ziemnego w solance w funkcji ciśnienia, w temperaturze złożowej [6]

W trakcie wstępnych badań zatłaczania CO<sub>2</sub> do solanki nasyconej rodzimym gazem ziemnym określono współczynniki spęcznienia otrzymanej mieszaniny. Omawiane badanie w literaturze anglojęzycznej definiuje się jako *swelling test*. Parametr ten daje informację o tym, w jakim



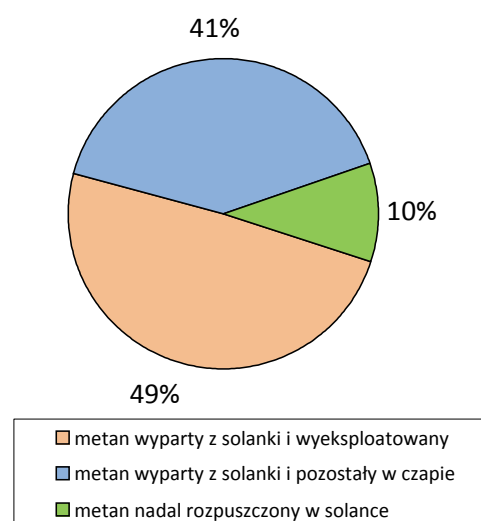
Rys. 4. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych skały zbiornikowej poprzez zatłaczany CO<sub>2</sub> [7]

stopniu zwiększy się objętość solanki podczas zatłaczania do niej gazu (tutaj CO<sub>2</sub>). Prowadzono także badania na aparaturze zwanej „cienka rurka” (ang. *slim tube*), gdzie w ośrodku porowatym o długości 25 m badano m.in. zdolność migracji CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> bezpośrednio do solanki złożowej nasyconej gazem ziemnym. Eksperyment prowadzono w warunkach złożowych odpowiadających parametrom panującym w warstwach zawodnionych czerwonego spągowca niecki poznańskiej (rysunek 4).

Do komory ciśnieniowej (II) zawierającej solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym, ze stałym wydatkiem, wprowadzano CO<sub>2</sub>, utrzymując ciśnienie złożowe w układzie. CO<sub>2</sub> – 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-ciokrotnie mniejszej zdolności do rozpuszczania się w wodzie. Gaz metanowy migrował w górę komory, mieszając się z azotem, stanowiącym sztuczną czapę gazową. Bufor azotowy umożliwił poprawne prowadzenie procesu, a odbierana z niego

zmienna w składzie mieszanina gazowa (N<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) była mierzona i poddawana analizie chromatograficznej. Bilans płynów wprowadzonych i odebranych z układu w trakcie opisywanego badania wykazał, że podczas blisko 16-togodzinnego eksperymentu z solanki wyparto ok. 90% rodzimego gazu metanowego (rysunek 5).



Rys. 5. Bilans metanu w procesie wypierania gazu ziemnego zatłaczanym CO<sub>2</sub> [7]

Przeprowadzenie eksperymentów w warunkach PT złożowych w ośrodku porowatym stało się kolejnym krokiem

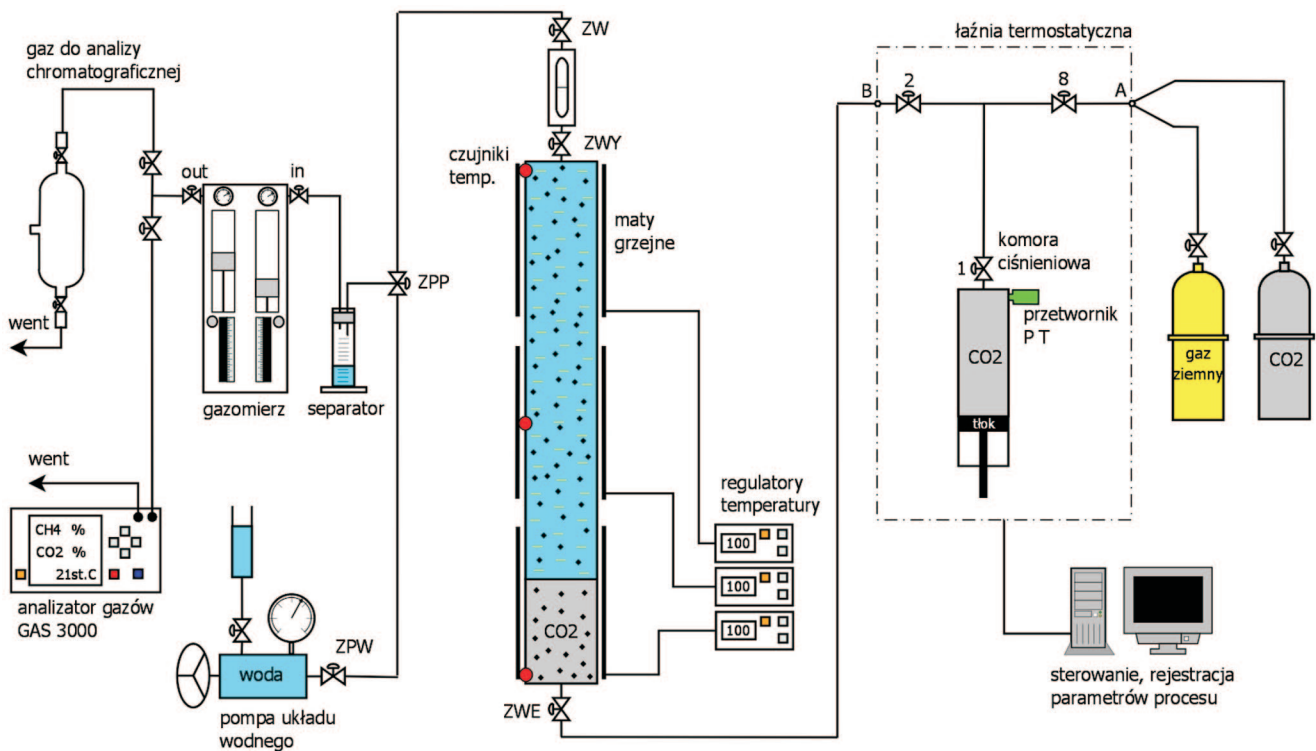
do przybliżenia zjawisk zachodzących w trakcie zatłaczania CO<sub>2</sub> do poziomów solankowych nasyconych gazem ziemnym. Do tego celu stworzono specjalne stanowisko badawcze (rysunki 6 i 7), którego głównym elementem była komora ciśnieniowa o długości 220 cm, wypełniona jednorodnym piaskiem kwarcytowym. Dokonano pomiarów objętości porowej otrzymanego modelu złoża, a następnie wyznaczono porowatość ośrodka  $\varphi = 35,3\%$ . Model złoża wyposażono w szklany wziernik umożliwiający obserwację „najwyższej” części próbki pod kątem zmian fazowych. Identyfikacja momentu pojawienia się w układzie wtórnej czapy gazowej, wynikającej z desorpcji gazu rodzimego przez zatłaczany CO<sub>2</sub>, była istotna dla właściwego prowadzenia eksperymentu wypierania. Wziernik (we współpracy z pompką wodną) umożliwiał także pomiar ilości wolnego gazu w warunkach PT złożowych. Z uwagi na fakt prowadzenia badań w wysokiej temperaturze ( $T_{zl} = 100^{\circ}\text{C}$ ), 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 precy-

zyjny czujnik i regulator zapewniający minimalne wahania temperatury układu.

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 ww. złożu ( $P_{zl} = 266$  bara,  $T_{zl} = 100^{\circ}\text{C}$ ).



Rys. 6. Stanowisko badawcze do modelowania procesów wypierania [4]

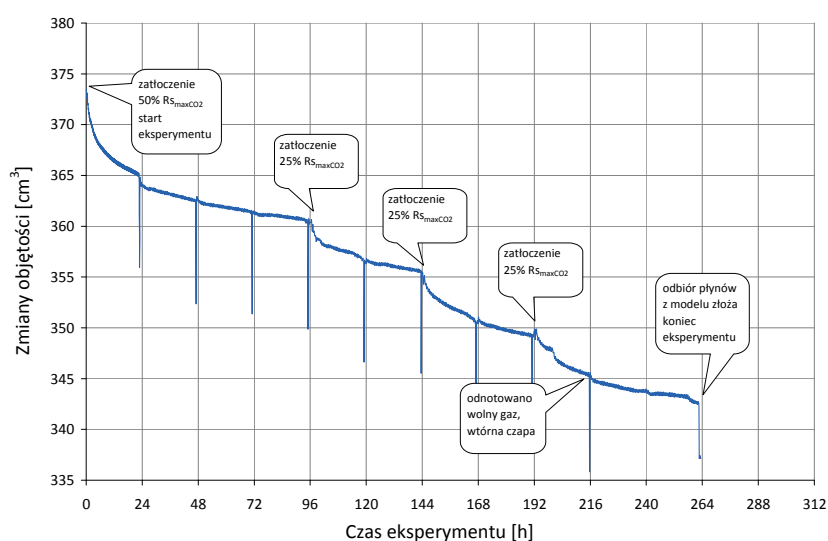


Rys. 7. Schemat stanowiska do badania procesu wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych przez zatłaczany CO<sub>2</sub> [5]

W komorze ciśnieniowej aparatury PVT przygotowano solankę nasyconą rodzimym gazem ziemnym Porażyn w warunkach złożowych. Następnie, w stanie jednofazowym (powyżej ciśnienia nasycenia), przetłoczono przygotowaną solankę do ośrodka porowatego modelu złoża – utrzymując stałe ciśnienie i zapobiegając tym samym wydzielaniu się gazu. Nasylenie całej objętości porowej modelu złoża ( $1631,4 \text{ cm}^3$ ) wymagało przygotowania wielu porcji (nasyconej w odp. warunkach) solanki i właściwego przetłoczenia każdej z nich, aż do całkowitego wypełnienia porów złoża. Zweryfikowano zgodność uzyskiwanego wykładnika gazowego na wyjściu złoża z rezultatami odpowiednich badań rozpuszczalności, co potwierdziło pełną jednorodność i właściwy stopień nasyce-  
nia solanki rodzimym gazem ziemnym. Następnie, utrzymując podwyższone ciśnienie, podniesiono temperaturę solanki do  $100^\circ\text{C}$ , utrzymując stan jednofazowy w układzie. Tak przygotowany układ pozostawiono do stabilizacji w warunkach złożowych.

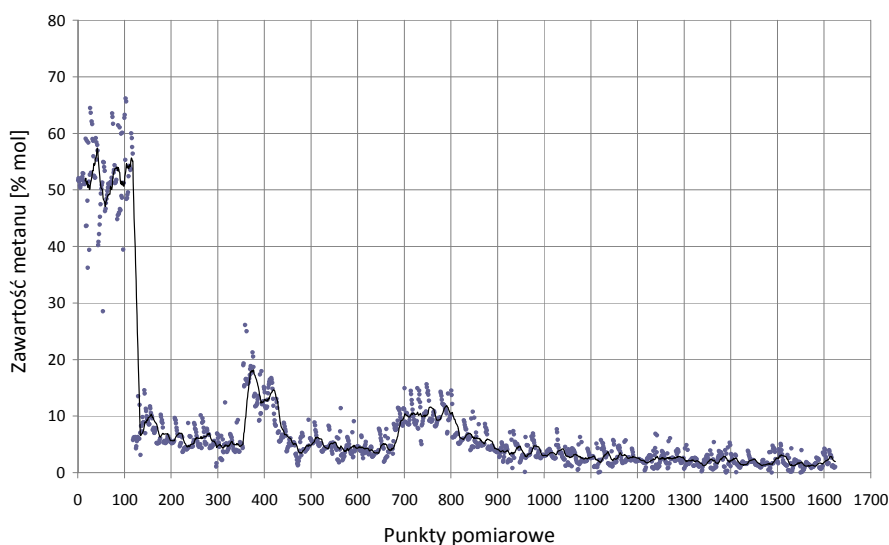
Następnym etapem eksperymentu było wprowadzenie do modelu kolejnych porcji  $\text{CO}_2$ . Założono jego stopniowe zatłaczanie w porcjach. Były to ułamki objętości ditlenku węgla ( $1/2$ ,  $1/4$ ), która byłaby równa ilości  $\text{CO}_2$  potrzebnej do maksymalnego nasyce-  
nia solanki w danych warunkach PT, a więc osiągnięcia rozpuszczalności  $R_{s_{\text{maxCO}_2}} = 16 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$  (przy  $P_{zł} = 266 \text{ bara}$ ,  $T_{zł} = 100^\circ\text{C}$ ) 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 (zaworem dolnym), przy jednoczesnym odbiorze solanki (zaworem górnym). Tłoczenie  $\text{CO}_2$  prowadzono porcjami, zachowując określony reżim czasowy. Na starcie eksperymentu wprowadzono w warunkach złożowych  $\text{CO}_2$  w ilości odpowiadającej  $50\% R_{s_{\text{maxCO}_2}}$ . Kolejne porcje  $\text{CO}_2$  zatłaczano po 4. 6. 8. dobie od rozpoczęcia eksperymentu (rysunek 8). Co 24 godziny, 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 wydzielili się już wolny gaz obecny w postaci wtórnej czapy gazowej. Ostatecznie zatłoczono  $125\%$  maksymalnej objętości  $\text{CO}_2$ , jaka mogłaby się całkowicie rozpuścić w danych warunkach w solance. Pomiedzy tło-

zeniami, komorę tłokową aparatury PVT pozostawiano połączoną z modelem złoża, w funkcji pracy utrzymywania stałego ciśnienia w układzie (*constant pressure mode*). Dyfuzja/rozpuszczanie się  $\text{CO}_2$  w solance nie powodowało spadku ciśnienia w złożu – tłok komory PVT odpowiednio przesuwał się, utrzymując  $P_{zł} = 266 \text{ bara}$ . Sterowanie i rejestracja parametrów prowadzonego procesu odbywała się przez oprogramowanie aparatury PVT. Gdy obecność fazy gazowej w modelu okazała się faktem, przystąpiono do odbioru kolejnych objętości gazu z czapy gazowej, z zachowaniem stałego ciśnienia. Następnie ze złoża wy-tłoczono fazę wodną, dokonując pomiaru wykładnika gazowego i oznaczając skład wydzielonego z solanki gazu.



Rys. 8. Zmiany objętości układu podtrzymującego ciśnienie złożowe w modelu [4]

W trakcie odbioru gazu pomierzono i poddano analizom składu 23 próbki gazu. W czasie rzeczywistym monitorowano skład gazu analizatorem  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ . Eksperyment kontynuowano do momentu odebrania z modelu (z zachowaniem ciśnienia złożowego) całego płynu złożowego biorącego udział w eksperymencie wypierania. Podczas odbioru płynu z modelu złoża odnotowano „wahnięcie” wykładnika gazowego. Uważa się, że za zaburzenie właściwego przebiegu krzywej nasyce-  
nia solanki gazem odpowiada fakt wytłaczania płynu złożowego (o temperaturze  $T_{zł} = 100^\circ\text{C}$ ) wodą o temperaturze pokojowej. Wprowadzenie zimnego płynu do złoża, dodatkowo w dużych ilościach, spowodowało znaczną destabilizację temperatury modelu i zakłócenie pracy układu trzech regulatorów temperatury. Zmiany temperatury mają wpływ na wielkość rozpuszczalności gazów w wodzie. Spowodowało to również anormalną koncentrację metanu w odbieranym gazie w omawianym momencie eksperymentu (rysunek 9).

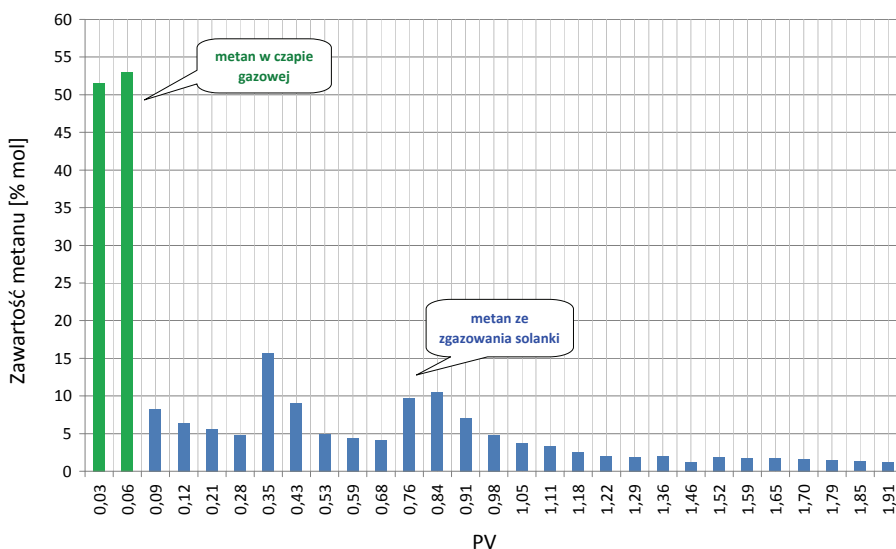


Rys. 9. Odbiór płynu z modelu złoża – koncentracja metanu w odbieranym gazie [4]

Po zbilansowaniu procesu wypierania gazu ziemnego przez zatłaczany CO<sub>2</sub> można stwierdzić, iż dzięki wprowadzeniu CO<sub>2</sub> do systemu złożowego składającego się z solanki pozostającej w równowadze fazowej 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<sub>2</sub>, parametrów PT złożowych, cech skały zbiornikowej (porowatość, przepuszczalność) i wielu innych.

W analizowanym wariantcie prowadzenia procesu na fizycznym modelu złoża, w momencie zakończenia eksperymentu, osiągnięto efektywność wypierania rzędu 25%. Oznacza to, że zatłoczony w odstępach czasowych i porcjach CO<sub>2</sub> zdesorbował rozpuszczony

jest w warunkach laboratoryjnych pełne oddanie procesów zachodzących w złożu w czasie geologicznym, bardziej złożonych i na większą skalę. Jednakże zastosowane rozwiązania pozwalają na pewno zbliżyć się do warunków i zjawisk zachodzących w złożu.



Rys. 10. Rezultaty eksperymentu wypierania – koncentracja metanu w odbieranym gazie [4]

### Podsumowanie

Podczas eksperymentu prowadzonego na fizycznym modelu złoża, dzięki zatłaczaniu CO<sub>2</sub> do ośrodka zbiornikowego wypełnionego solanką nasyconą gazem ziemnym, udało się pozyskać ok. 25% metanu pierwotnie „trwale” rozpuszczonego w wodach solankowych. Ilość ta stanowi pozabilansowe zasoby gazu, niemożliwe do wydobywania

standardowymi metodami eksploatacji. Prowadzone eksperymenty potwierdzają, że dzięki procesowi zatłaczania CO<sub>2</sub> do głębokich poziomów wodonośnych nasyconych gazem ziemnym, istnieje możliwość wzbogacania zasobów istniejących złóż gazu – dotyczy przyp. niecki poznańskiej. Dodatkowe ilości gazu węglowodorowego,

wyparte z poziomów wodonośnych, stają się wydobywalne, stanowiąc tzw. zasoby pozabilansowe. Przeprowadzony zakres badań oraz cechy geologiczno-złożowe pozwalają zauważyć, iż głębokie solankowe poziomy wodonośne niecki poznańskiej powinny wykazać się dużą przydatnością dla programu wielkoprzemysłowej sekwestracji CO<sub>2</sub>. Korzystną cechą tej megastruktury, w porównaniu do innych podobnych obiektów zawodnionych, jest szczelność zweryfikowana w czasie geologicznym. To jej istnienie zapewniło powstanie szeregu mniejszych złóż gazu ziemnego (obecnie w dużej mierze wyeksploatowanych) w przystropowej części megazbiornika uszczelnionego od góry kompleksem ewaporatów cechsztyńskich. Duża miąższość kilkusetmetrowych poziomów zawodnionych w rejonie niecki poznańskiej stwarza wyjątkowo korzystne i unikalne warunki geologiczne dla przyszłej sekwestracji CO<sub>2</sub> wydzielanego np. przez pobliski Zespół Elektrociepłowni Dalkia Poznań, a w dalszej perspektywie – przez obiekty typu elektrownia Bełchatów. Ważną cechą megazbiornika jest nasycenie wód wgłębnych rodzimym gazem węglowodorowym. Dla analizowanego złoża określono rozpuszczalność rzędu 1,8 Nm<sup>3</sup> gazu rodzimego (80%

metanu) rozpuszczonego w 1 m<sup>3</sup> solanki złożowej. Jest to wielkość, którą bezpośrednio można wykorzystać do obliczenia pozabilansowych zasobów gazu rozpuszczonego w strukturze wodonośnej.

Przeprowadzone badania wykazały, że z uwagi na blisko 10-ciokrotnie wyższą rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w solance złożowej, w porównaniu z rozpuszczalnością gazu węglowodorowego, zachodzi zjawisko wypierania rodzimego gazu z warstw wodonośnych. Jak wspomniano, daje to możliwość zwiększenia stopnia szcerpaia zasobów gazu na istniejących złożach w wyniku desorpcji gazu węglowodorowego przez CO<sub>2</sub> zatłaczany bezpośrednio do wód podścielających. Wyparty gaz węglowodorowy będzie tym samym powiększał zasoby istniejących złóż.

Należy mieć na uwadze ograniczenia, jakimi charakteryzuje się zbudowany model złoża, a co za tym idzie – prezentowany eksperyment. Niemożliwe jest w warunkach laboratoryjnych pełne oddanie procesów zachodzących w złożu w czasie geologicznym, bardziej złożonych i na większą skalę. Jednakże zastosowane rozwiązania pozwalają na pewno zbliżyć się do warunków i zjawisk zachodzących w złożu.

## Literatura

- [1] Karnkowski P.: *Formowanie się złóż gazu ziemnego na obszarze przedudeckim*. „Nafta” 1979, nr 8–9, s. 254–258.
- [2] Urban Audit: *City Profiles: Poznan*. Eurostat ([http://pl.wikipedia.org/wiki/Aglomeracja\\_pozna%C5%84ska](http://pl.wikipedia.org/wiki/Aglomeracja_pozna%C5%84ska)), 24 lipca 2011.
- [3] Wagner R., Pokorski J.: *W poszukiwaniu ropy i gazu*, <http://www.pgi.gov.pl> (dostęp 18 stycznia 2012).
- [4] Warnecki M.: *Analiza możliwości pozyskiwania pozabilansowych zasobów gazu ziemnego z nasyconych poziomów solankowych w procesach sekwestracji CO<sub>2</sub>*. Zlec. wew. INiG 68/KB. Archiwum INiG. Kraków 2012.
- [5] Warnecki M.: *Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z programem ich monitorowania. 1.3.2. Oznaczenia parametrów petrofizycznych próbek skał zbiornikowych i uszczelniających oraz parametrów PVT. Badanie zjawiska wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w warstwach wodonośnych poprzez zatłaczany CO<sub>2</sub> na fizycznym modelu złoża*. Zlec. wew. INiG 362/KB. Archiwum INiG. Kraków 2011.
- [6] Warnecki M.: *Rozpuszczalność CO<sub>2</sub> i rodzimych gazów ziemnych w solance złożowej*. „Nafta-Gaz” 2010, nr 1, s. 19–26.
- [7] Warnecki M.: *Wspomaganie wydobycia węglodorów w szcerpanych złożach gazu ziemnego poprzez zatłaczanie CO<sub>2</sub> do solankowego poziomu wodonośnego niecki poznańskiej*. Zlec. wew. INiG 319/KB. Archiwum INiG. Kraków 2009.
- [8] Wolnowski T.: *Perspektywy poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na niżu polskim*. „Wiadomości Naftowe i Gazownicze”, [www.wnp.pl](http://www.wnp.pl) (<http://www.wnp.pl/foto/6375.html>) (dostęp 28 sierpnia 2007).



Mgr inż. Marcin WARNECKI – absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik laboratorium PVT Zakładu Badania Złóż Ropy i Gazu Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się zagadnieniami inżynierii złożowej, eksploatacji, badaniami własności fazowych płynów złożowych i symulacjami procesów złożowych.