

Badania podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla do złoża węglowodorów z wykorzystaniem prototypowej instalacji

Radosław Tarkowski*



Institut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie zrealizował na zlecenie Ministra Środowiska przedsięwzięcie z dziedziny geologii pt. *Badania in situ podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla w złożu węglowodorów, przy wykorzystaniu wytworzonej, prototypowej instalacji — etap I. Określenie możliwości zatłaczania CO₂ w wybranym*

złożu węglowodorów. Zadanie to było finansowane ze środków wypłacanych przez NFOŚiGW. Celem prac (prowadzonych od grudnia 2004 r. do września 2006 r.) było wytypowanie i szczegółowe scharakteryzowanie złoża węglowodorów nadającego się do lokalizacji pilotowej, badawczej instalacji zatłaczania dwutlenku węgla. Przedsięwzięcie to zostało wykonane przez interdyscyplinarny zespół z IGSMiE PAN, Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej oraz PGNiG S.A., pod kierownictwem Radosława Tarkowskiego.

Zgodnie z przyjętymi w założeniach, wybrane złożo węglowodorów miało spełniać następujące warunki:

- mieć niewielkie rozmiary, duży stopień szczypania lub być w końcowym stadium eksploatacji, w którym zatłaczanie CO₂ będzie mogło spowodować intensyfikację wydobycia;
- znajdować się w niewielkiej odległości od producenta CO₂, a sieć drogowa powinna umożliwić transport tego gazu cysternami;

Kolejnym, ważnym warunkiem było uzyskanie od podmiotu eksploatującego złożo zgody na przeprowadzenie badań.

Obowiązujące przepisy jako miejsce zatłaczania dwutlenku węgla determinowały wybór złoża ropy naftowej. Jednak ze względu na to, że w przyszłości, po wprowadzeniu stosownych regulacji prawnych, możliwe będzie zatłaczanie CO₂ również do szczypanych złożo gazu ziemnego, w analizie uwzględniono też taką możliwość.

Opracowanie końcowe, będące rezultatem realizacji przedsięwzięcia, podzielono na trzy części:

1. *Wybrane zagadnienia dotyczące podziemnego składowania CO₂.*
2. *Analiza złożo węglowodorów w Polsce pod kątem podziemnego składowania CO₂.*

*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7, 30-950 Kraków 65, skryt. poczt. 49; tarkowski@min-pan.krakow.pl

3. Szczegółowa charakterystyka złoża Jastrząbka Stara pod kątem budowy instalacji zatłaczania CO₂.

Wybrane zagadnienia dotyczące podziemnego składowania CO₂

W pierwszej części opracowania scharakteryzowano następujące zagadnienia: *Emisja CO₂ a globalne zmiany klimatu, Możliwości pozyskania CO₂ w Polsce z dużych źródeł emisji, Prawne aspekty podziemnego składowania CO₂, Instalacje podziemnego składowania CO₂, Metody pozyskiwania CO₂ ze strumienia gazów spalinowych i przemysłowych.*

Przedstawiono dane o emisji CO₂ w Polsce oraz dokonano analizy największych emitentów tego gazu (powyżej 500 Gg/rok) z sektora energetycznego i przemysłu, uwzględniając ich lokalizację, wielkość emisji, koncentrację dwutlenku węgla w strumieniu gazów spalinowych i przemysłowych. Na obszarze Polski wskazano 68 zakładów emitujących powyżej 500 Gg CO₂/rok, w tym 44 elektrownie i elektrociepłownie zawodowe, 8 cementowni, 4 rafinerie, 2 koksownie, 4 huty, 2 zakłady papiernicze oraz 4 zakłady azotowe.

Scharakteryzowano regulacje prawne w zakresie podziemnego składowania CO₂ w głębokich strukturach geologicznych oraz doświadczenia innych krajów w tym zakresie. Podkreślono, że nie istnieje prawodawstwo, tak międzynarodowe, jak i narodowe, obejmujące większość zagadnień związanych z podziemnym składowaniem CO₂, a istniejące regulacje prawne są w tym zakresie fragmentaryczne. Wskazano, że podziemne składowanie CO₂ jest młodą koncepcją i jeżeli ma być zastosowane na skalę przemysłową, musi być ujęte w prawodawstwie. Stwierdzono, że jeżeli redukcja emisji CO₂ stanie się priorytetem w międzynarodowych planach działań, wówczas zostaną do tego dostosowane międzynarodowe i krajowe uregulowania prawne. Podkreślono, że obowiązujące w UE dyrektywy nie pozwalają na jednoznaczne sklasyfikowanie antropogenicznej emisji CO₂ jako: odpadu, substancji lub zaliczenie jej do innej kategorii. Wskazano, że w Polsce zatłaczanie dwutlenku węgla do złoża ropy naftowej jest prawnie możliwe w ramach intensyfikacji wydobycia ropy naftowej, natomiast zatłaczanie go do złóż gazu ziemnego nie jest prawnie dopuszczone.

Opisano trzy działające w Europie i Ameryce Północnej przemysłowe instalacje podziemnego składowania CO₂: Sleipner na Morzu Północnym, Snøhvit na Morzu Barentsa oraz Weyburn w Kanadzie. Podkreślono, że opisane zakłady (jak również kilkadziesiąt instalacji EOR) działają na zasadach rynkowych, na podstawie prawa górniczego oraz innych uregulowań prawnych. Wskazano, że są to instalacje przemysłowe lub badawczo-wdrożeniowe. Instalacje przemysłowe wykorzystują CO₂ do intensyfikacji wydobycia ropy naftowej (Weyburn i kilkadziesiąt instalacji EOR) lub służą do podziemnego składowania tego gazu w celu uniknięcia emisji do atmosfery (Sleipner, Snøhvit w budowie). Instalacje badawczo-wdrożeniowe dostarczają naukowcom i praktykom informacji dotyczących zagadnień związanych z podziemnym składowaniem dwutlenku węgla. Podkreślono, że spośród dostępnych technologii wychwytywania CO₂, żadna nie jest przystosowana do wychwytywania tego gazu na wielką skalę; przy czym problem stwarzają koszty, nie technologia. Opracowanie taniej metody oddzielania CO₂ ze

strumienia gazów spalinowych i przemysłowych znacząco wpłynie na ekonomikę inwestycji związanych z geologiczną sekwestracją tego gazu. Wychwytywanie CO₂ przed spalaniem, tlenowe spalanie węgla oraz wychwytywanie po spalaniu, to udoskonalane dzisiaj procesy, które zostaną wdrożone w niedalekiej przyszłości na skalę przemysłową.

Analiza złóż węglowodorów w Polsce pod kątem podziemnego składowania CO₂

W drugiej części opracowania skoncentrowano się na zagadnieniach dotyczących analizy złóż węglowodorów w Polsce, które mogą być wykorzystane do podziemnego składowania dwutlenku węgla. Część ta składa się z następujących podrozdziałów: *Kryteria typowania złóż przeznaczonych do składowania CO₂, Złóża węglowodorów w Polsce do podziemnego składowania CO₂, Wytypowanie 2–3 złóż węglowodorów do celów pilotowej instalacji podziemnego składowania CO₂, Charakterystyka geologiczno-złożowa wraz z historią eksploatacji wytypowanych złóż ropy naftowej Kije, Jastrząbka Stara oraz złoża gazu ziemnego Łąktka, Charakterystyka rozwiązań technicznych związanych z pozyskaniem dwutlenku węgla i transportem.*

Przedstawiono zagadnienia poszukiwań obiektów geologicznych oraz kryteria wyboru struktur geologicznych do składowania CO₂ w złożach węglowodorów. Dokonano przeglądu złóż węglowodorów pod kątem możliwości wykorzystania ich do podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla. Przedmiotem analizy było 85 złóż ropy naftowej i 253 złoża gazu ziemnego. Przedstawiono złoża węglowodorów wytypowane do składowania CO₂ oraz do celów badawczych z uwagi na kategorię wykorzystania przemysłowego.

Uwzględniając status złoża, głębokość zalegania, wielkość, obecność co najmniej 2 odwiertów oraz pozytywną, wstępną zgodę właściciela koncesji na wykorzystanie złoża do celów pilotowej instalacji zatłaczania CO₂ — dokonano wyboru trzech złóż: dwóch złóż ropy naftowej (Kije i Jastrząbka Stara) oraz jednego złoża gazu ziemnego (Łąktka). Przedstawiono charakterystykę trzech wytypowanych złóż, biorąc pod uwagę aspekty geologiczno-złożowe oraz historię eksploatacji. Wszystkie trzy złoża charakteryzują się dobrymi parametrami zbiornikowymi, budową geologiczną złoża gwarantującą szczelność zbiornika, dużym współczynnikiem szczypania zasobów i możliwością wykorzystania istniejącej infrastruktury kopalnianej.

Na podstawie oceny wybranych kryteriów: wielkości i możliwości intensyfikacji wydobycia, odległości od najbliższego producenta CO₂ i możliwości dojazdu, głębokości zalegania serii złożowej, rodzaju skały zbiornikowej i jej parametrów, szczelności geologicznej złoża, możliwości wykorzystania istniejącej infrastruktury i szczelności technicznej złoża, za najbardziej odpowiednie do lokalizacji pilotowej instalacji zatłaczania dwutlenku węgla uznano złożo Jastrząbka Stara. Złożo to wyróżnia się najmniejszą głębokością zalegania serii zbiornikowej, niewielką odległością od producenta CO₂, najmniejszymi pierwotnymi zasobami wydobywalnymi przy kilkunastokrotnie większych zasobach geologicznych. Jest ono najbardziej interesujące pod względem możliwości intensyfikacji wydobycia ropy naftowej z punktu widzenia operatora złoża. Nieco mniej korzystnymi, lecz również dobrymi parametrami charakteryzuje się złożo Kije.

Szczegółowa charakterystyka złoża Jastrząbka Stara pod kątem budowy instalacji zatłaczania CO₂

W rozdziałach trzeciej części opracowania przedstawiono: *Szczegółową charakterystykę geologiczno-złożową, Charakterystykę rozwiązań technicznych i technologicznych instalacji zatłaczania CO₂, Symulację komputerową zatłaczania CO₂, Zakres i harmonogram badań podziemnego składowania CO₂ oraz Analizę kosztów instalacji podziemnego zatłaczania CO₂ do złoża Jastrząbka Stara.*

Zaprezentowano szczegółową charakterystykę geologiczno-złożową obiektu wybranego do zatłaczania dwutlenku węgla. Dokonano analizy pomiarów geofizyki wiertniczej w horyzontach złożowych w celu określenia parametrów skał zbiornikowych z odwiertów złożowych. Przedstawiono model geologiczny złoża, szczegółowo charakteryzując skały zbiornikowe i uszczelniające, parametry graniczne, porowatość, zailenie i nasycenie wodą, korelację piaskowcowych poziomów roponośnych. Przedstawiono charakterystykę techniczną i technologiczną projektowanej instalacji zatłaczania CO₂ oraz wyposażenie odwiertu przeznaczonego do zatłaczania gazu. Opisano instalację przechowywania i zatłaczania CO₂, składającą się — w zależności od formy zatłaczanego dwutlenku węgla — ze: zbiornika przechowywania ciekłego gazu, układu odparowania ciekłego CO₂ i kompresora (w przypadku zatłaczania gazowego CO₂) oraz zbiornika do przechowywania ciekłego gazu wraz z pompą (w przypadku zatłaczania ciekłego dwutlenku węgla). Omówiono wyniki symulacji komputerowej procesu zatłaczania CO₂, modelowania przepływu w odwiertach z uwzględnieniem przemian fazowych i wydajności odwiertów, modelowania przepływów w złożu od odwiertów z uwzględnieniem ruchu CO₂ w złożu, zasięgów czasowych frontów CO₂ oraz możliwej migracji CO₂ do innych warstw.

Na podstawie wyników obliczeń zarekomendowano model zatłaczania ciekłego dwutlenku węgla. Wyliczono, że zatłoczenie 23 mln nm³ CO₂ nie spowoduje przebiecia CO₂ do sąsiedniego otworu eksploatacyjnego, spowoduje natomiast znaczące podniesienie się ciśnienia w sąsiednim otworze i umożliwi wydobycie ze złoża dodatkowych ilości ropy. Zatłoczenie 23 mln nm³ CO₂ w ciągu 8 lat umożliwi dodatkowe wydobycie 30 000 nm³ ropy. Zaproponowano więc odwiercenie nowego otworu (w sąsiedztwie istniejącego) jako zatłaczającego w celu zwiększenia ewentualnych efektów produkcyjnych i monitorowania rozprzężu CO₂. W takim przypadku możliwe jest szybkie przebiecie frontu CO₂ do istniejącego odwiertu, który byłby wykorzystywany jako monitorujący. W ramach realizacji zaproponowanych badań przewiduje się zatłoczenie 7200 ton CO₂ w ciągu 2 lat. Zaproponowano, aby przeprowadzona symulacja została wykorzystana do opracowania zasadniczego projektu technicznego zatłaczania CO₂. Może być ona także podstawą do przygotowania dodatku do planu ruchu robót górniczych na wytypowanym złożu.

Przedstawiono zakres i harmonogram badań możliwych oraz niezbędnych do przeprowadzenia. Szczególną uwagę zwrócono na zagadnienia monitoringu podziemnego składowania dwutlenku węgla. Przedstawiono cele, eta-

py, program monitoringu (operacyjny, weryfikacyjny i środowiskowy) oraz metody monitoringu:

- geochemiczne;
- geofizyczne, w tym sejsmiczne, powierzchniowe badania 3D/4D, monitoring mikrosejsmiczny, sejsmikę otworową, międzyotworowe zdjęcie elektromagnetyczne (EM), tomografię metodą elektrooporową (ERT), monitoring grawimetryczny, profilowania otworowe i inne;
- monitoring satelitarny i lotniczy;
- pomiary parametrów eksploatacyjnych.

Zaproponowano program monitoringu przed zatłaczaniem CO₂ (określenie tła geochemicznego w rejonie złoża, badania geofizyczne, badania hydrogeologiczne — wskaźnikowe i geologiczno-inżynierskie), w trakcie zatłaczania CO₂ (badania geochemiczne, badania geofizyczne, monitoring parametrów zatłaczania i inne) i po zakończeniu zatłaczania CO₂ (monitoring parametrów złożowych i środowiskowy). Wykorzystano doświadczenia nabyte podczas udziału wykonawców (IGSMiE PAN) w projektach 6. Programu Ramowego UE (CO2SINK i CO2ReMoVe).

Na podstawie zakresu i harmonogramu badań przeprowadzono analizę kosztów związanych z budową i działaniem instalacji podziemnego zatłaczania CO₂ oraz proponowanymi badaniami. Analiza kosztów obejmowała wykonanie napowierzchniowej instalacji do zatłaczania CO₂, przebrojenie odwiertów oraz (ewentualnie) odwiercenie nowego otworu zatłaczającego, określenie kosztów pozyskania CO₂ wraz z nakładami finansowymi niezbędnymi do przeprowadzenia badań, w tym wykonania modelu geologicznego złoża oraz symulacji złożowych. Zaproponowano kilka wariantów i podano dla nich koszty wytworzenia i działania instalacji podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla. Suma kosztów tych projektów waha się od 10 do 22 mln zł. Najdroższe warianty uwzględniają wykonanie sejsmiki 3D. Zaproponowano zrealizowanie wariantu obejmującego zatłaczanie płynnego CO₂, dzierżawę instalacji do zatłaczania CO₂ i wiercenie nowego otworu w pobliżu otworu obserwacyjnego. Proponowany wariant gwarantuje najpewniejsze i najskuteczniejsze przeprowadzenie eksperymentu zatłaczania CO₂ do złoża, umożliwia przeprowadzenie pełnego zestawu badań, zmniejsza też ryzyko wystąpienia problemów technicznych podczas pracy instalacji. Jego koszt szacuje się na 17 mln zł. Nowy odwiert jest przeciwstawną możliwością wobec wykonywania kosztownych badań sejsmicznych 3D i 4D.

W II etapie przedsięwzięcia zespół jego wykonawców proponuje przeprowadzenie badań podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla do złoża węglowodorów Jastrząbka Stara. Obiekt ten spełnia warunki wymagane do tego, by stać się poligonem doświadczalnym w zakresie podziemnego zatłaczania CO₂ na skalę europejską i może być wykorzystany przez polskie zespoły badawcze, przy udziale partnerów z UE (np. uczestniczących w projekcie CO2ReMoVe). Uruchomienie pilotowej instalacji zatłaczania CO₂ można by było rozpocząć w krótkim czasie. Wymaga to jednak zgody operatora złoża. Znaczne nakłady finansowe mogłyby być pokryte z różnych źródeł (Komisji Europejskiej, funduszy pomocowych itp.).