

Pionierskie doświadczenia Polski w zakresie sekwestracji dwutlenku węgla

Jan Lubaś*



Sekwestracja CO₂, a więc wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla w strukturach geologicznych (*Carbon Capture and Storage* — CCS) zajmuje szczególne miejsce w programie prac Komisji Europejskiej, która stara się stworzyć warunki sprzyjające wdrożeniu tej technologii przed rokiem 2020. Unia Europejska nadała technologii CCS priorytet w ograniczaniu emisji CO₂ wytwarzanego

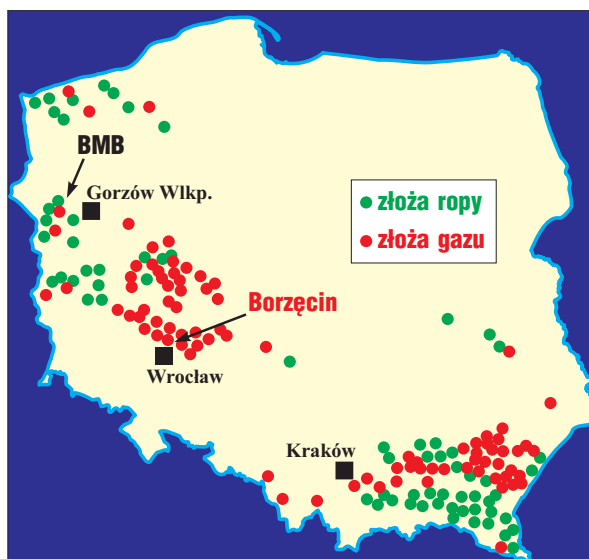
podczas procesów energetycznego spalania węgla. Po roku 2020 w krajach UE technologia CCS ma być obowiązkowo stosowana we wszystkich nowych elektrowniach węglowych, a użytkownicy starszych instalacji będą zobowiązani do stopniowej ich modernizacji.

Ze względu na to, że w Polsce ponad 95% energii elektrycznej wytwarza się w toku procesów energetycznego spalania węgla kamiennego i brunatnego, zagadnienie to ma dla nas duże znaczenie strategiczne.

Do największych emitentów gazów zawierających znaczną zawartość CO₂ należą zakłady energetyczne, jednak również eksploatacja złóż ropy i gazu, szczególnie zasiarzonych, jest źródłem emisji gazów kwaśnych, które zawierają CO₂ i H₂S. W Polsce pokaźne doświadczenia w powrotnym zatłaczaniu do zawodnionych struktur węglowych gazów pochodzących z instalacji oczyszczania płynów złożowych zebrano w Instytucie Nafty i Gazu (INiG) oraz w Zielonogórskim Oddziale Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa (PGNiG).

Początki sekwestracji CO₂ w Polsce

W połowie lat 90. XX w. w ówczesnym Instytucie Górnictwa Naftowego i Gazownictwa (obecnie jest to Instytut



Ryc. 1. Lokalizacja pierwszej w Europie przemysłowej instalacji sekwestracji CO₂ w Borzęcinie k. Wrocławia na tle mapy złóż ropy i gazu; BMB — największe w Polsce złożo ropy i gazu Barnówko–Mostno–Buszewo

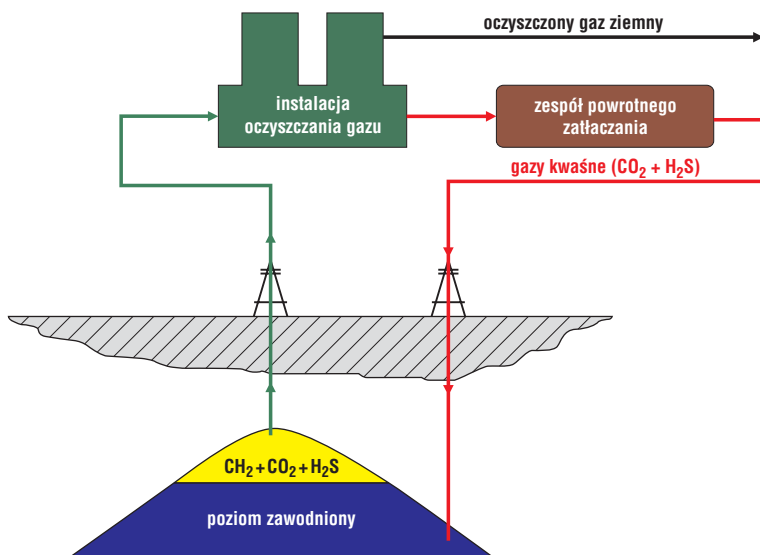
Nafty i Gazu) wykonano prace badawcze i projektowe finansowane ze środków Komitetu Badań Naukowych — Projekt celowy nr 99187 92C/1025. W ich efekcie, wykorzystując również środki finansowe PGNiG, w 1995 r. w Borzęcinie wybudowano pierwszą w Europie instalację przemysłowego składowania gazów kwaśnych, wydzielanych podczas eksploatacji złoża gazu ziemnego (ryc. 1 i 2).

Uruchomienie instalacji w Borzęcinie nastąpiło w styczniu 1996 r., a więc wcześniej niż powszechnie znanej w



Ryc. 2. Instalacja oczyszczania gazu z Kopalni Gazu Ziemnego *Borzęcin*, wraz z zespołem powrotnego zatłaczania gazów kwaśnych, zawierających około 60% CO₂. Fot. K. Moroz

*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno, ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno, jan.lubas@inig.pl



świecie instalacji Sleipner na Morzu Północnym. Instalacja w Borzęcinie, z racji niewielkich rozmiarów złoża, jest mniejsza od instalacji norweskiej. W obu instalacjach zatłaczany do górotworu gaz jest produktem odpadowym z aminowego oczyszczania gazu ziemnego.

Proces zastosowany w Borzęcinie polega na wydobywaniu węglowodorów na powierzchni ziemi i odseparowaniu od nich składników kwaśnych, czyli CO_2 i H_2S , które po oddzieleniu są powrotnie zatłaczane do strefy zawodnionej, podścielającej złożo gazu ziemnego (ryc. 3).

Pomimo niewielkich rozmiarów złoża w Borzęcinie w ciągu 12 lat wtłoczono do niego blisko 3 mln m^3 gazu zawierającego CO_2 . W porównaniu z projektem Sleipner, atutem obiektu w Borzęcinie jest możliwość badania zjawisk zachodzących w mniejszej skali czasowej. Jest to unikalny, lądowy poligon doświadczalny.

Pierwotne zasoby geologiczne złoża gazu ziemnego Borzęcin wynosiły 5,2 mld nm^3 . Proces powrotnego zatłaczania gazów kwaśnych rozpoczęto w chwili, gdy ze złoża wydobyto już 3,5 mld nm^3 , a więc 67% gazu. W pierwszym etapie eksploatacji złoża wydobywany gaz ziemny, ze względu na zawartość gazów kwaśnych w postaci CO_2 i H_2S , był poddawany procesom oczyszczania z wykorzystaniem instalacji aminowej. Produktem odpadowym były gazy kwaśne, zawierające do 60% CO_2 oraz do 15% H_2S , resztę stanowiły węglowodory i azot. Technologia utylizacji gazów kwaśnych polegała na ich selektywnym utlenianiu w piecach dopalających z wykorzystaniem niezbędnych ilości gazu ziemnego. Produkty spalania, w postaci CO_2 , SO_2 i NO_x , zrzucano kominem sanitarnym do atmosfery. Z przeprowadzonych wyliczeń wynika, że w okresie tym wyemitowano do atmosfery ponad 20 mln m^3 CO_2 oraz 7 tys. ton związków siarki. W drugim etapie eksploatacji złoża, począwszy od roku 1996, rozpoczęto proces sekwestracji CO_2 . Kwaśne gazy pochodzące z instalacji aminowej nie są dopalane w piecach, tylko — powrotnie zatłaczane do strefy wody podścielającej złożo gazu.

Ryc. 3. Schemat procesu powrotnego zatłaczania gazów kwaśnych do strefy zawodnionej złoża gazu ziemnego Borzęcin

Przed przystąpieniem do projektowania instalacji w Instytucie Nafty i Gazu wykonano odpowiednie badania laboratoryjne i symulacyjne, na podstawie których stwierdzono, że ze względu na znacznie większą rozpuszczalność zatłaczanych gazów kwaśnych w wodach złożowych w porównaniu z rodzimym gazem ziemnym — proces przemieszczania się dwutlenku węgla i siarkowodoru do czapy gazowej będzie bardzo ograniczony. Wykazano również, że przebiega interesujący ze względów poznawczych i praktycznych proces wypierania rodzimego gazu ziemnego rozpuszczonego w wodach złożowych przez zatłaczane gazy kwaśne. Dodatkowe ilości wypieranego gazu ziemnego wzbogacają więc wyżejległą czapę gazową, z której wydobywany jest gaz ziemny.



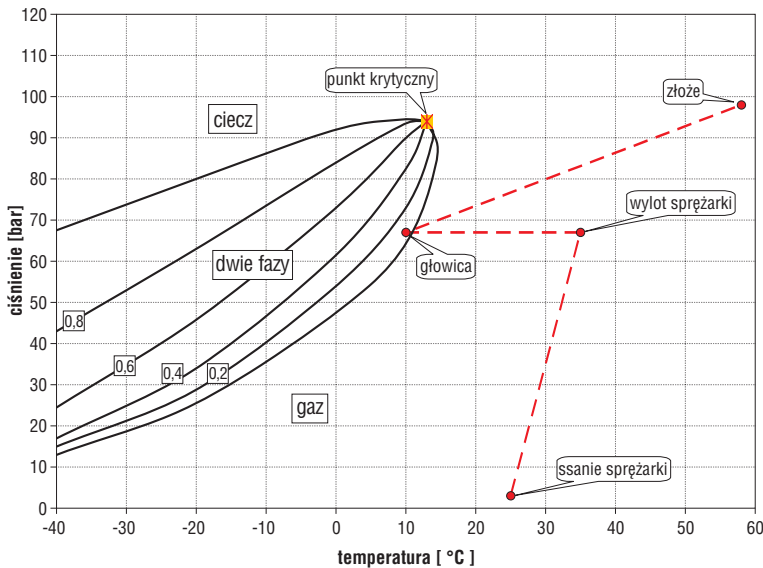
Ryc. 4. Głowica odwiertu B-28, do którego są zatłaczane kwaśne gazy zawierające CO_2 . Fot. M. Walczak

Wykonane badania pozwoliły określić:

□ rozpuszczalność rodzimego gazu ziemnego, zawierającego około 65% węglowodorów, 35% azotu, 0,3% CO_2 i 0,1% H_2S , w wodzie złożowej w warunkach ciśnienia złożowego 97 bar i temperatury złożowej 58 °C wynosi 1,55 nm^3 gazu/ m^3 wody;

□ rozpuszczalność zatłaczanego gazu kwaśnego, który zawiera do 60% CO_2 , 15% H_2S , 15% węglowodorów i 10% azotu w wodzie złożowej w tych samych warunkach wynosi 13 nm^3 gazu/ m^3 wody, a więc jest 8,4 razy większa od rozpuszczalności rodzimego gazu ziemnego;

□ na podstawie diagramu fazowego (skonstruowanego metodą komputerowej symulacji zjawisk PVT, ryc. 5) stwierdzono, że w całym obszarze wartości ciśnienia i temperatury podczas procesu zatłaczania mamy do czynienia z jedną fazą gazu.



Ryc. 5. Diagram fazowy ilustrujący przebieg procesów zatłaczania gazów kwaśnych do złoża Borzęcin

Analizując przebieg zmian parametrów złożowych w strefie przyodwiertowej (patrz ryc. 6) stwierdzono, że po zatłoczeniu około 18 tys. nm^3 gazu kwaśnego nastąpił spadek ciśnienia zatłaczania z początkowego 10,4 MPa, poprzez 8,2 do 6,6 MPa.

Można przypuszczać, że ze względu na dużą zawartość CO_2 w zatłaczanych gazach, powstający kwas węglowy rozpuścił lepiszcze i matrycę skał złożowych, zmniejszając w efekcie opory przepływu zatłaczanego gazu w strefie przyodwiertowej. Mniejsze ciśnienie zatłaczania wiąże się z obniżeniem mocy zużywanej na sprężanie gazu, co ma korzystny wpływ na ekonomikę przedsięwzięcia.

Proces zatłaczania gazów kwaśnych przebiega w warunkach bardzo wysokiej korozyjności potencjalnej, wynikającej z wartości ciśnienia cząstkowego CO_2 i H_2S oraz sprzyjającej procesowi korozji temperatury. Według norm API 6A i NACE MR 01.75 środowisko, w którym wartość ciśnienia cząstkowego CO_2 wynosi ponad 0,21 MPa, a H_2S ponad 0,34 kPa, jest uznawane za wysokokorozyjne. W roz-

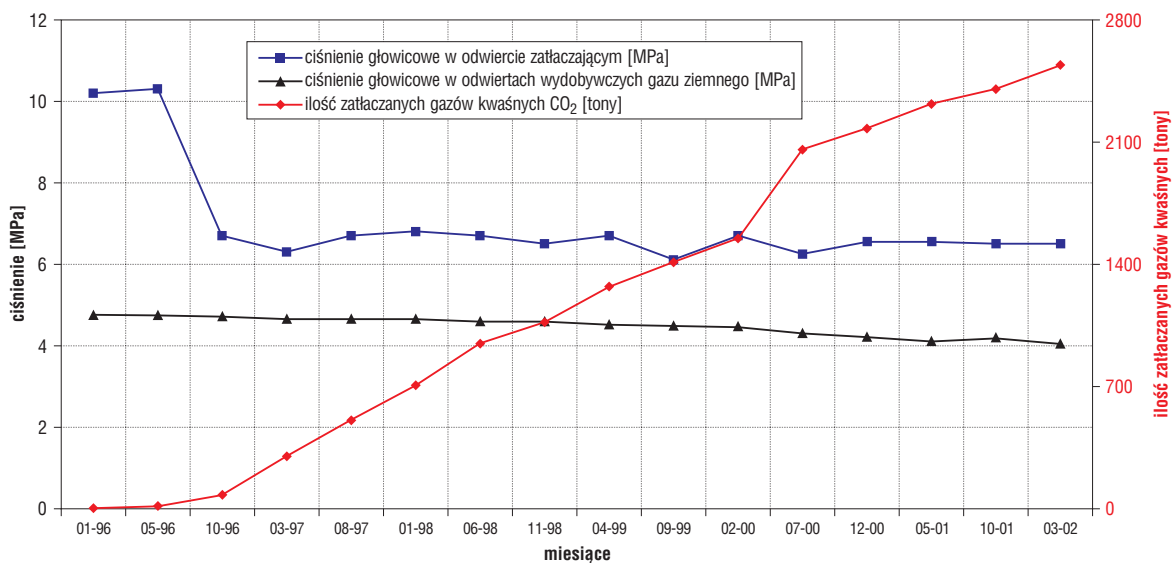
patrywanej instalacji zatłaczania gazów kwaśnych do strefy zawodnionej ciśnienie cząstkowe CO_2 wynosi ponad 3,6 MPa. Pomimo tego rzeczywista korozyjność w instalacji zatłaczania gazów kwaśnych jest zdecydowanie mniejsza od potencjalnej, co zostało ustalone na podstawie wyników przeprowadzonych badań.

W latach 1998 i 2002 sprawdzono grubość ścianek rur w napowierzchniowej części instalacji zatłaczania gazów kwaśnych, wykonanej ze stali węglowej niskostopowej. Dokonano również pomiaru stanu rur w odwiercie zatłaczającym B-28 aparaturą *Sondex Multi-Finger Memory*. Uzyskane wyniki wskazują na jedynie śladową postać korozji w całym układzie zatłaczania gazów kwaśnych. Analiza zachodzących zjawisk potwierdziła skuteczność zastosowanych inhibitorów korozji i hydratów. Wykazano, że pary monoetanolaminy dozowanej do instalacji zatłaczania gazów kwaśnych do strefy zawodnionej stanowią doskonały czynnik inhibitujący.

Pomimo niekorzystnego składu chemicznego zatłaczanych gazów, charakteryzujących się szczególnie silnym oddziaływaniem korozyjnym, zastosowane rozwiązania techniczne umożliwiły bezawaryjną eksploatację urządzeń. Dwunastoletni okres eksploatacji potwierdził pełną przydatność tego rozwiązania i jego atrakcyjność zarówno technologiczną, jak i ekonomiczną. W okresie tym Instytut Nafty i Gazu prowadził badania monitoringowe przebiegu procesu sekwestracji gazów kwaśnych w zakresie technologiczno-procesowym oraz zjawisk inżynierii złożowej.

Rozwiązanie zastosowane w Borzęcinie znalazło uznanie w innych krajach europejskich. Obiekt w Borzęcinie został wytypowany jako unikalny poligon doświadczalny, umożliwiając wykonanie dalszych, szczegółowych badań w ramach 7. Programu Ramowego UE.

W trakcie eksploatacji instalacji wglębnych i napowierzchniowych, jak również całej struktury geologicznej, zebrano dane o zjawiskach zachodzących we wglębnych, zasolonych poziomach zawodnionych, dane te będą przydatne do wyznaczania nowych, potencjalnych obiektów zbiornikowych do sekwestracji CO_2 .



Ryc. 6. Parametry procesu powrotnego zatłaczania gazów kwaśnych do zawodnionych stref złożowych Kopalni Gazu Ziarnego Borzęcin w latach 1996–2002