

Józef DUBIŃSKI, Jan WACHOWICZ, Aleksandra KOTERAS
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

PODZIEMNE SKŁADOWANIE DWUTLENKU WĘGLA – MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA TECHNOLOGII CCS W POLSKICH UWARUNKOWANIACH

Streszczenie. Obserwowane zmiany klimatyczne na Ziemi, przypisywane głównie działalności człowieka, spowodowały znaczną intensyfikację badań nad technologiami mogącymi przynajmniej częściowo ograniczyć wzrost emisji antropogenicznych. Za jedną z takich technologii uważana jest technologia wychwytu i składowania dwutlenku węgla. W artykule przedstawiona została charakterystyka tej technologii wraz z możliwościami jej wykorzystania w polskich uwarunkowaniach.

UNDERGROUND STORAGE OF CARBON DIOXIDE – THE POSSIBILITIES FOR USING CCS TECHNOLOGY IN POLISH CONDITIONS

Summary. Observed climate changes in the world, which are mainly attributed by human activity, resulted in significant intensification of the research focused on the development of the technologies, which would enable partially reduce the increase of anthropogenic emissions. As one of such technologies is considered to carbon capture and storage technology. The paper presents the characteristics of this technology with the potential use in the Polish conditions.

1. Wprowadzenie

Obserwowane w ostatnich kilkunastu latach zmiany klimatu na Ziemi łączone są z coraz częstszym występowaniem zjawisk ekstremalnych w różnych miejscach globu. Zaliczamy do nich m.in. podnoszenie się poziomu mórz, pojawianie się ekstremalnych zjawisk pogodowych, regresję lodowców, a także zmiany w wydajności i jakości upraw oraz wiele innych. Powodują one zaniepokojenie społeczeństwa, wyrażane w środkach masowego

przekazu pod hasłem intensyfikacji globalnego ocieplenia Ziemi. Nagłe zmiany klimatu pojawiały się dość często podczas epoki lodowcowej, a ich skutkiem było rozprzestrzenianie się bądź kurczenie zasięgu lądolodu. Zmiany klimatu mogą zachodzić zarówno pod wpływem przyczyn naturalnych, jak też antropogenicznych, a ich przebieg jest trudny do przewidzenia. Wyciąganie wniosków opartych na obecnych trendach klimatycznych musi być bardzo ostrożne, ponieważ zmiany klimatu mogą przebiegać w sposób nieliniowy i powodować nieodwracalne zmiany w środowisku. Zdania na temat przyczyn zmian klimatu i ich przyszłego przebiegu są podzielone. Z jednej strony pojawia się opinia, że obserwowany w chwili obecnej okres cieplejszy jest kolejną fluktuacją klimatu, która w niedługim czasie, być może już po 2015 roku, ulegnie zakończeniu i rozpocznie się kolejny okres chłodniejszy w dziejach Ziemi, z drugiej strony znana jest opinia, którą podzielają badacze z IPCC, że w wyniku uwalniania się do atmosfery znacznej ilości gazów cieplarnianych obserwujemy stopniowy wzrost temperatury zarówno powietrza, jak i wody w oceanach, co prowadzi do tzw. globalnego ocieplenia, które obejmuje całą planetę i będzie się utrzymywało jeszcze przez dziesiątki lat. Według opinii IPCC opublikowanej w 2007 roku, w IV raporcie, z 90% prawdopodobieństwem możemy powiedzieć, że obserwowane już w tej chwili globalne ocieplenie ma charakter trwały, a jego główną przyczyną jest ingerencja człowieka w środowisko naturalne.

Główną przyczyną wzrostu emisji antropogenicznych jest dramatyczne zwiększenie zużycia paliw kopalnych, czyli węgla, ropy i gazu. Wzrasta również liczba ludności świata, podobnie jak konsumpcja na jednego mieszkańca, zwłaszcza w krajach rozwiniętych gospodarczo. Optymalizacja procesów spalania paliw kopalnych wykorzystywanych do produkcji energii oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii nie są w stanie temu przeciwdziałać i dlatego zmiany klimatu będą prawdopodobnie postępować w kolejnych dekadach.

Uważa się, że w rozwoju technologii ograniczających ilość emitowanego CO₂ dużą rolę będzie odgrywała technologia związana z jego wychwytem i składowaniem w odpowiednio wybranych formacjach geologicznych (CCS – CO₂ Capture and Storage). Proces powinien być bezpieczny dla środowiska geologicznego i dla środowiska naturalnego na powierzchni Ziemi, co z kolei będzie wymagało stosowania rozwiniętego monitorowania.

Postawione przez Unię Europejską ambitne cele dotyczące redukcji emisji dwutlenku węgla nabierają dla nas szczególnego znaczenia, gdyż węgiel jest w Polsce podstawowym surowcem energetycznym. Konieczność sprostania unijnym wymaganiom wymusza na nas podjęcie konkretnych działań nie tylko w zakresie poprawy efektywności energetycznej czy

też wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii, ale również rozwoju technologii wychwytywania i składowania CO₂.

2. Efekt cieplarniany

O zmianach klimatycznych decydują zjawiska zachodzące w atmosferze Ziemi. Efekt cieplarniany jest zjawiskiem spowodowanym zdolnością atmosfery okołozemskiej do przepuszczania promieniowania słonecznego i zatrzymywania promieniowania Ziemi. Dzięki tym zjawiskom powierzchnia Ziemi oraz dolne warstwy jej atmosfery są cieplejsze. Badania w tym zakresie wskazują, że gdyby Ziemia była pozbawiona atmosfery, to temperatura jej powierzchni utrzymywałaby się w pobliżu -18°C , podczas gdy obecnie średnia temperatura na Ziemi wynosi $+15^{\circ}\text{C}$. Tym samym bez powyższego efektu życie na Ziemi nie mogłoby powstać i rozwijać się. Zatem warstwa atmosfery tworzy strukturę na podobieństwo dachu szklarni, która przepuszcza światło widzialne, a pochłania wychodzącą energię w postaci promieniowania podczerwonego, zatrzymując w ten sposób ciepło w swoim wnętrzu (rys.1). Stąd efekt cieplarniany bywa nazywany także efektem szklarniowym. Istota problemu polega na tym, że tzw. gazy cieplarniane akumulowane w warstwie atmosfery okołozemskiej wzmacniają naturalny efekt cieplarniany, wskutek czego wzrasta temperatura Ziemi. Zalicza się do nich około 30 różnych gazów, z których do najważniejszych należą: dwutlenek węgla, metan, tlenki azotu, freony, ozon i także para wodna. Kopalne paliwa energetyczne – węgiel kamienny i brunatny, gaz ziemny i ropa naftowa – w procesie ich spalania emitują z różną intensywnością różne gazy, w tym szczególnie dwutlenek węgla. Emisja ta jest największa w przypadku spalania węgla brunatnego oraz kamiennego [1].



Rys. 1. Efekt cieplarniany
Fig. 1. Greenhouse effect

Jeśli porównać względny wpływ poszczególnych gazów cieplarnianych na efekt cieplarniany, okazuje się, że najsilniejsze jest działanie pary wodnej, na drugim miejscu plasuje się dwutlenek węgla, a na trzecim metan (tabela 1). Pozostałe gazy są relatywnie mniej istotne.

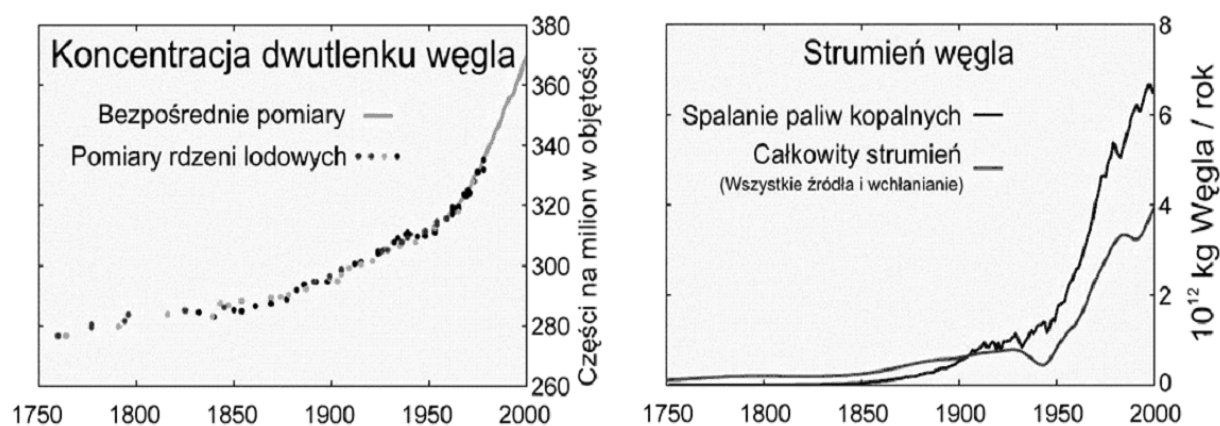
Tabela 1

Wpływ wybranych gazów na efekt cieplarniany [źródło: Wikimedia Commons]

GAZ	Szacowany procent odpowiedzialności
Para wodna	36 – 66%
Woda - chmury	60 – 85%
CO ₂	9 – 26%
O ₃	3 – 7%
CH ₄	4 – 9%

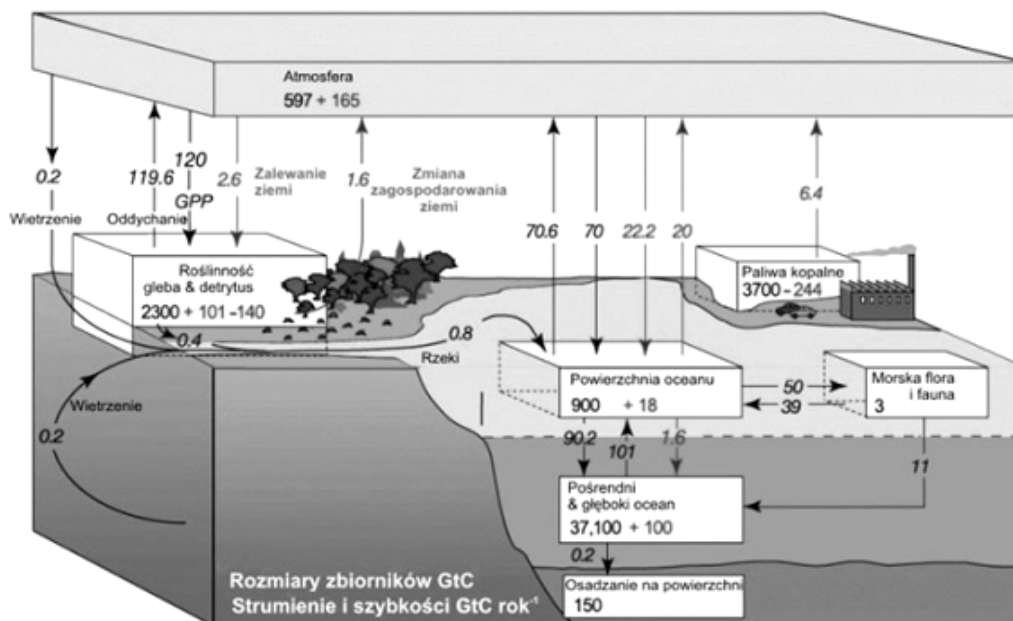
Należy podkreślić, że zwiększenie koncentracji innych gazów cieplarnianych w atmosferze spowoduje podniesienie się temperatury, zwiększenie parowania oraz wzrost zawartości pary wodnej w atmosferze. Dodatkowa para wodna w atmosferze to dodatkowy wzmacniacz efektu cieplarnianego. Tak więc emitując do atmosfery dwutlenek węgla, zwiększamy nie tylko efekt cieplarniany od tego gazu, ale również wtórnie od pary wodnej. Jest to przykład tak zwanego dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Emisja dwutlenku węgla związana z działalnością człowieka w 2008 roku wynosiła 35 miliardów ton. Największe źródła emisji to spalanie paliw kopalnych w elektrowniach, transport samochodowy i lotniczy oraz procesy związane z produkcją towarów przemysłowych. Zmiany stężenia dwutlenku węgla w atmosferze w przeciągu ostatnich 250 lat, czyli od początków epoki przemysłowej, przedstawia rys. 2. Stężenie dwutlenku węgla rośnie proporcjonalnie do ilości spalanych paliw kopalnych. Emisja CO₂ ze spalania paliw kopalnych jest o rząd wielkości mniejsza od ilości CO₂ emitowanych przez oceany lub rośliny (10 miliardów ton w porównaniu z 90 miliardami ton z oceanów, 60 miliardami z gleby czy 60 miliardami ton z roślin). Źródła naturalne równoważą się - 90.6 miliardom ton emisji z oceanów odpowiada pochłanianie przez oceany 92.2 miliardów ton, 119.6 miliardom ton emisji z roślin i gleby odpowiada pochłanianie 122.6 miliarda ton (rys. 3). Emisja, będąca wynikiem spalania paliw kopalnych, stanowi stałą nadwyżkę, gromadzącą się w atmosferze, co widać w danych pomiarowych wykazujących stały wzrost stężenia CO₂.



Rys. 2. Wykres lewy - stężenie CO₂ w atmosferze na podstawie bezpośrednich pomiarów spektrometrycznych oraz z rdzeni lodowych w okresie 1750-2000 (punkty z różnych rdzeni lodowych). Wykres prawy - emisja oraz strumień węgla pozostający w atmosferze po usunięciu części dwutlenku węgla przez oceany i lądy (źródło: Robert A. Rohde, Global Warming Art)

Fig. 2. Left chart - the CO₂ concentration in the atmosphere by Direct Measurements and Ice Core during the period 1750-2000 (the points from different ice cores). Right chart - emission and total flux of carbon remaining in the atmosphere after the removal of carbon dioxide by the oceans and land (source: Robert A. Rohde, Global Warming Art)



Rys. 3. Ilości węgla w poszczególnych "rezerwarach" oraz roczne przepływy są podane w gigatonach (czarnym kolorem oznaczone są przepływy, które istniały w 1750 roku, szarym kolorem oznaczone są przepływy, które zmieniły się w okresie 1750-1994) [źródło: Wikimedia Commons]

Fig. 3. Amount of carbon in various "reservoirs" and the annual flows are shown in gigatonnes (the flows that existed in 1750 are marked in black, the flows that have changed in the period 1750-1994 are marked in grey) [source: Wikimedia Commons]

3. Charakterystyka technologii wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS)

Obecnie rozważa się stosowanie kilku metod ograniczenia antropogenicznej emisji CO₂, np. poprawianie efektywności energetycznej i zmniejszanie zapotrzebowania na energię czy też wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (wiatru, energii słonecznej i geotermalnej) oraz sekwestrację CO₂. Przedstawione w Raporcie IPCC pt. „Energy Technology Perspectives” dane wskazują technologię CCS jako jedną z kluczowych w celu obniżenia emisji CO₂. Z przedstawionych w raporcie analiz wynika, iż technologia CCS przyczynić się może do ok. 20% redukcji emisji CO₂ przewidzianej do roku 2050 [5]. Wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla w głębokich formacjach geologicznych ma być jedynie technologią przejściową, stosowaną do chwili opracowania technologii, pozwalających na produkcję energii z paliw kopalnych z jednoczesną redukcją lub eliminacją emisji CO₂ lub technologii pozwalających na pozyskiwanie energii z paliw innych niż paliwa kopalne.

Przez wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (CCS) rozumie się oddzielanie i usuwanie CO₂ w procesach spalania paliw kopalnych, jego transporcie i zatłaczaniu do

wybranej struktury geologicznej. Istnieje kilka technologii pozwalających otrzymać skoncentrowany strumień CO₂:

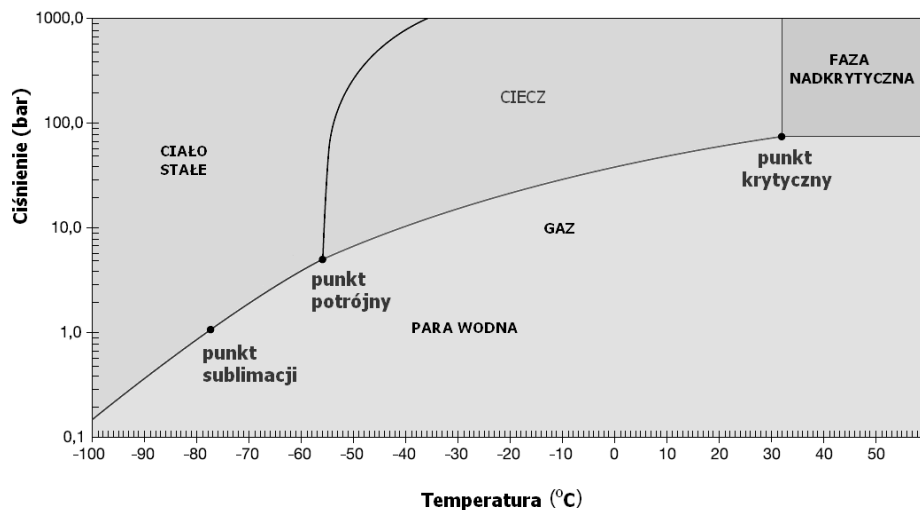
- wychwytywanie przed spalaniem (pre-combustion),
- wychwytywanie po spalaniu (post-combustion),
- tlenowe spalanie węgla (oxy-combustion).

Dwutlenek węgla przed zatłoczeniem pod ziemię należy oddzielić od innych gazów spalinowych i przemysłowych. Możliwe są tu następujące sposoby: absorpcja chemiczna (najczęściej stosowana) i fizyczna, adsorpcja fizyczna, frakcjonowanie kriogeniczne i separacja membranowa. Najczęściej wykorzystywaną metodą jest chemiczna metoda absorpcji dwutlenku węgla [7]. Separacja CO₂ jest jednym z najbardziej kosztownych elementów technologii CCS. Proces ten wiąże się z poborem energii, w wyniku czego wzrasta zużycie paliwa i spada sprawność wytwarzania energii elektrycznej, w porównaniu do elektrowni bez separacji dwutlenku węgla. Czynniki te, wraz z potrzebą zainstalowania dodatkowych urządzeń, zwiększają jednostkowe nakłady inwestycyjne na produkcję energii elektrycznej, a co za tym idzie zwiększają koszty wytwarzania energii. Zastosowanie technologii separacji CO₂ dla nowoczesnej elektrowni o wysokiej sprawności w porównaniu do elektrowni o mniejszej sprawności oznacza, że mniejsze ilości CO₂ muszą być usuwane. W konsekwencji prowadzić będzie to do mniejszych strat sprawności i mniejszych kosztów, bo wydzielają się mniejsze ilości CO₂ [8]. Wychwycony w procesie separacji dwutlenek węgla może być składowany w następujących formacjach geologicznych:

- szcerpane złoża ropy naftowej i gazu,
- geologiczne formacje wodonośne,
- nieeksploatowane pokłady węgla.

Geologiczne formacje wodonośne posiadają największą pojemność, dlatego też uważane są za najbardziej obiecujące w zakresie geologicznego składowania dwutlenku węgla. W każdym z przypadków proces składowania polega na wtłaczaniu sprężonego gazu do wybranej formacji geologicznej. Kluczowym elementem technologii jest wykorzystanie określonych własności fizycznych dwutlenku węgla, które zmieniają się w zależności od ciśnienia i temperatury. Punkt krytyczny przejścia do fazy nadkrytycznej osiągany jest przy temperaturze 31,1°C, ciśnieniu 73,9 bara. Powyżej tego punktu dwutlenek węgla ma gęstość cieczy, a jego lepkość i ściśliwość są charakterystyczne jak dla gazu, co jest bardzo ważnym czynnikiem w aspekcie jego geologicznego składowania (IPCC, 2005). Przyjmuje się, że głębokością krytyczną, czyli taką, poniżej której dwutlenek węgla przechodzi przez punkt

krytyczny do fazy nadkrytycznej, jest głębokość ok. 800 m. Głębokość ta jednocześnie staje się więc minimalną głębokością zalegania stropu warstw przeznaczonych do geologicznego składowania dwutlenku węgla (rys. 4).



Rys. 4. Obszary termodynamiczne dla dwutlenku węgla (na podstawie: IPCC, 2005; Rybicki Cz., Łaciak M., 2008)

Fig. 4. Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide (based on IPCC, 2005; Rybicki, Cz., Łaciak M., 2008)

Wyróżnia się cztery podstawowe mechanizmy, które zapewniają izolację CO₂ w głębokich formacjach geologicznych [9]:

- izolacja strukturalna, czyli obecność nieprzepuszczalnego nakładu skalnego, który uniemożliwia ucieczkę CO₂;
- izolacja resztkowego CO₂ polegająca na izolowaniu CO₂ przez siły kapilarne w szczelinach formacji skalnej. Formacja ta rozwija się przez ok. 10 lat po zatłoczeniu CO₂,
- izolacja roztworowa, polegająca na tym, że CO₂ rozpuszcza się w wodzie znajdującej się w formacji geologicznej i opada na dno, gdyż woda, w której rozpuszczony jest dwutlenek węgla, jest cięższa od zwykłej wody,
- izolacja mineralna, polegająca na tym, że rozpuszczone CO₂ chemicznie reaguje z formacją skalną, co powoduje tworzenie nowych związków mineralnych.

4. Uwarunkowania dla stosowania technologii CCS w Polsce

Uwarunkowania prawne

Światowe doświadczenia w zakresie podziemnego składowania dwutlenku węgla w formacjach geologicznych prowadzone są w różnych krajach i od wielu lat. Stąd ich realizacja spowodowała konieczność ustanowienia odpowiednich regulacji prawnych, które są głównymi wytycznymi dla podejmowanych inicjatyw począwszy od samego planowania, przez realizację technologii, a skończywszy na utrzymaniu składowiska CO₂ po zamknięciu. Ustanowiona przez Parlament Europejski i Radę Dyrektywa w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywy Rady 85/337/EWG, 96/61/WE, dyrektywy 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 (Dyrektywa CCS) ustanawia przede wszystkim zasady dotyczące samego składowania CO₂. Pozostałe etapy CCS uwzględnione są głównie w postaci propozycji zmian w istniejących regulacjach prawnych. Dotyczy to głównie koniecznych zmian w zakresie oddziaływania technologii CCS na środowisko (nowelizacja Dyrektywy 85/337/EWG), zagrożeń związanych z wychwytywaniem CO₂ (Dyrektywa 96/61/WE), odpowiedzialności za zniszczenie środowiska lokalnego (Dyrektywa 2004/35/WE) czy też kwestii dotyczących zmian klimatu (Dyrektywa 2003/87/WE ustanawiająca system handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych).

W ustawodawstwie polskim brak jest ciągle wytycznych dotyczących składowania dwutlenku węgla w formacjach geologicznych, tym niemniej podejmowane przedsięwzięcia muszą być jednak zgodne z innymi obowiązującymi aktami prawnymi pośrednio powiązаныmi z technologią składowania CO₂. Przykładem mogą być tutaj regulacje dotyczące ochrony środowiska naturalnego, obszarów Natura 2000, zgodnie z dyrektywami 79/409/EWG i 92/43/EWG, pitnej wody gruntowej, złóż węglowodorów i itp. W obowiązującym ustawodawstwie polskim przepisy obowiązującej ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku Prawo geologiczne i górnicze (DzU z 2005 r., Nr 228, poz.1947) dotyczą, między innymi, zagadnienia składowania odpadów oraz bezzbiornikowego magazynowania substancji w górotworze, w tym w podziemnych wyrobiskach górniczych, jednak nie regulują zagadnienia geologicznego składowania dwutlenku węgla [3]. W celu określenia możliwości realizacji przedsięwzięć związanych z technologiami CCS w Polsce oraz dostosowania przepisów prawa krajowego w zakresie regulowanym dyrektywą w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla Ministerstwo Środowiska przyjęło w 2008 roku program „Działania Ministerstwa Środowiska w celu rozpoznania struktur geologicznych dla

podziemnego składowania dwutlenku węgla”. Wynikiem prac było opracowanie zasad postępowania dla uzyskania pozwolenia na składowanie CO₂ dla celów badawczych i naukowych w ilości do 100 000 ton. W przypadku składowania dwutlenku węgla dla celów komercyjnych powyżej 100 tys. ton CO₂ niezbędne jest zharmonizowanie ustawodawstwa z wymaganiami Dyrektywy 2009/31/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla.

Uwarunkowania dla składowania CO₂ w warstwach geologicznych na terenie Polski

Rozpoznanie struktur geologicznych do podziemnego składowania dwutlenku węgla na terenie Polski realizowane było i jest w wielu projektach, badaniach i analizach. W trakcie prowadzonych przez IGSMiE PAN analiz dotyczących jakościowych możliwości geologicznego składowania CO₂ w głębokich poziomach wodonośnych-solankowych oraz złożach węglowodorów wytypowano 17 dużych struktur z poziomami wodonośnymi-solankowymi w obrębie basenu permomezozoicznego, 19 złóż gazu i 3 złoża ropy naftowej [4]. Aktualnie prowadzone są badania nad możliwością składowania CO₂ m.in. w ramach Krajowego Programu "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania", realizowanym przez konsorcjum złożone z kluczowych instytucji zajmujących się problematyką CCS w Polsce (AGH, GIG, INiG, IGSMiE PAN, PBG), a koordynowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny [10] oraz prowadzonego przez Główny Instytut Górnictwa w ramach Inicjatywy Technologicznej – I projektu „Studium bezpiecznego składowania CO₂ na przykładzie Aglomeracji Śląskiej”.

W ramach pierwszego z projektów przewiduje się wykonanie gruntownego rozpoznania potencjalnych składowisk CO₂ w poziomach wodonośnych solankowych dla ośmiu rejonów kraju, wybranych zarówno ze względu na potrzeby gospodarki narodowej (głównie energetyki), jak i znane w chwili obecnej możliwości geologicznego składowania (w tym także występowanie szcerpanych złóż węglowodorów). Drugi z wymienionych projektów ma na celu wytypowanie w rejonie aglomeracji Górnego Śląska potencjalnych miejsc do geologicznego składowania CO₂ oraz opracowanie rozwiązań dla optymalnej instalacji spełniającej wymagania wszelkich obowiązujących kryteriów.

Wybór struktury geologicznej

Wybór optymalnej struktury geologicznej do składowania CO₂ powinien zapewniać zarówno odpowiednią pojemność składowania, jak i jego bezpieczeństwo w odniesieniu do

środowiska geologicznego i środowiska naturalnego na powierzchni. Istotne są także aspekty ekonomiczne oraz prawne i społeczne. Z geologicznego punktu widzenia do podstawowych czynników, jakie muszą być analizowane, należą: warunki geologiczne, geotermiczne i hydrogeologiczne. Sama zaś struktura geologiczna musi spełniać wiele warunków, takich jak: głębokość, objętość, grubość izolującego nadkładu, szczelność zbiornika, przepuszczalność i porowatość skał determinujące jego pojemność magazynową dla CO₂, kontakty hydrogeologiczne i inne [2, 7].

Wyeksploatowane złoża gazu ziemnego i ropy naftowej jako wyjątkowo szczelne, naturalne pułapki geologiczne węglowodorów stwarzają najbezpieczniejsze i najdogodniejsze warunki dla geologicznej sekwestracji dwutlenku węgla. Jednak ich niewielka pojemność sprawia, że mogą być one wykorzystywane tylko na małą skalę.

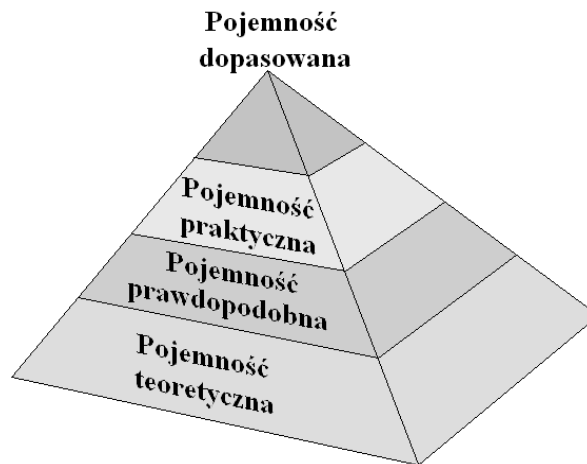
Rozpatrywane złoża gazu to głównie złoża gazu położone w strefie frontu nasunięcia Karpat i Zapadliska Przedkarpackiego (12 złóż, z tego złoża Przemyśl ma potencjał składowania ponad 200 mln ton) oraz w zachodniej części kraju na obszarze Monokliny Przesudeckiej (13 złóż, z tego dla trzech: Żuchłów, Załęcze-Wiewierz i Bogdaj-Uciechów określono potencjał składowania na ponad 50 mln ton). Spośród sześciu rozpatrywanych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego zlokalizowanych na obszarze Niżu Polskiego jedynie złożo BMB może mieć potencjał składowania rzędu 50 mln ton. Dwa złoża mają potencjał składowania po kilka mln ton (B3, Kamień Pomorski) [3].

Głębokie pokłady węgla kamiennego analizowano jedynie dla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego dla obszaru, gdzie występuje uszczelniający nadkład utworów miocenu i fliszu (południowa i częściowo centralna część Zagłębia). Zbadane złoża węgla kamiennego są w pewnym stopniu przydatne dla geologicznej sekwestracji dwutlenku węgla (projekt RECOPOL). Jednak aktualnie eksploatowane pokłady węgla kamiennego znajdują się na obszarze intensywnie prowadzonej działalności górniczej, co może wpływać negatywnie na bezpieczeństwo procesu składowania dwutlenku węgla.

Rozważając możliwości podziemnego składowania tego gazu w pokładach węgla kamiennego, należy także mieć na uwadze, iż rozwój technologii wykorzystywania tej kopaliny do produkcji energii lub innych celów w przyszłości może spowodować, że zasoby obecnie uznane za pozabilansowe będą mogły być wykorzystane gospodarczo. Natomiast rozpoczęcie zatłaczania dwutlenku węgla na dużą skalę uniemożliwi ich przyszłe zagospodarowanie ze względu na konieczność utrzymania stałej szczelności składowiska, która jest podyktowana priorytetowym warunkiem bezpieczeństwa całego przedsięwzięcia [3].

Możliwe do wykorzystania pojemności składowania

Strukturami najbardziej perspektywicznymi dla Polski dla geologicznego składowania dwutlenku węgla są głębokie formacje wodonośne z wodami o dużym zasoleniu. W szacowaniu pojemności struktur geologicznych przeznaczonych do składowania dwutlenku węgla stosuje się podejście etapowe. Ilustracją tego podejścia jest piramida potencjału/pojemności geologicznego składowania CO₂, która generalnie dotyczy poziomów wodonośnych-solankowych (rys. 5).



Rys. 5. Piramida potencjału/pojemności geologicznego składowania CO₂
Fig. 5. Pyramid of the potential / capacity of CO₂ geological storage

Praktyczna pojemność składowania jest częścią efektywnej pojemności, uzyskaną po uwzględnieniu ekonomicznych i prawnych ograniczeń geologicznego magazynowania oraz aspektów społecznych i środowiskowych lokalizacji miejsc składowania. Przy tym oszacowaniu dopasowuje się najlepsze i najbliższe miejsce składowania do dużych źródeł emisji, co daje możliwość oceny pojemności tego składowania w skali regionalnej (lokalnej). Pojemność dopasowaną otrzymuje się przez szczegółowe porównanie dużych źródeł emisji z miejscami geologicznego magazynowania przy jednoczesnym uwzględnieniu pojemności, chłonności i prędkości zatłaczania CO₂ [6]. Wstępny szacunkowy potencjał sekwestracji dwutlenku węgla w strukturach geologicznych Polski przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Wstępny szacunkowy potencjał sekwestracji CO₂ w strukturach geologicznych Polski (opracowany w ramach europejskich projektów CO2Net i GeoCapacity) [3]

Typ struktur	Liczba struktur	Potencjał składowania CO ₂ [Mt]
Głębokie poziomy wodonośne/solankowe	12	3752
<ul style="list-style-type: none"> • w ramach projektu CASTOR • w ramach EU GeoCapacity • z innych opracowań 	6	~ 2000
		1760
<i>Szacunkowa całkowita pojemność poziomów wodonośnych/solankowych mezozoiku</i>	-	90 000
Szczerpane złoża węglowodorów	31	764
Pokłady węgla		
<ul style="list-style-type: none"> • Nieeksploatowane metanowe pokłady węgla GZW • Dla LZW 	1	415
		14
<i>Szacunkowa całkowita pojemność pokładów węgla GZW</i>		1 254
Wstępny szacunkowy całkowity potencjał sekwestracji		~ 92 Gt
Suma struktur i formacji udokumentowanych		~ 9 Gt

5. Podsumowanie

Polska gospodarka paliwowo–energetyczna, bazująca w ponad 90% na paliwach kopalnych, stwarza w kontekście polityki redukcji globalnego wzrostu temperatury Ziemi, ujętej w unijnym pakiecie energetyczno-klimatycznym, niezwykle poważne problemy środowiskowe. Ich dalszą konsekwencją mogą być wysokie koszty produkcji energii w Polsce rzutujące na konkurencyjność naszej gospodarki.

Geologiczne składowanie CO₂ umożliwia unieszkodliwianie ogromnych ilości tego gazu (milionów ton) pochodzących z dużych, przemysłowych źródeł emisji. Największe jego ilości powstają w: elektrowniach i elektrociepłowniach, hutach żelaza i stali, cementowniach, zakładach chemicznych (rafineriach, zakładach produkcji amoniaku, tlenku etylenu, wodoru)

i innych. Wychwytywanie i składowanie CO₂ (CCS) stwarza potencjalną szansę redukcji emisji CO₂ do atmosfery, związaną z wykorzystaniem do celów energetycznych paliw kopalnych i ograniczeniem zmian klimatycznych.

Technologia CCS jest jedną z opcji ograniczenia emisji CO₂, w której kluczowym etapem jest składowanie CO₂ w odpowiednich formacjach geologicznych. Wymaga to jednak dobrego rozpoznania budowy geologicznej oraz określenia parametrów wytypowanych zbiorników, a także przeprowadzenia rzetelnej oceny ryzyka związanego ze składowaniem CO₂.

Wyeksploatowane złoża gazu ziemnego i ropy naftowej są szczególnie predysponowane do geologicznej sekwestracji dwutlenku węgla. Jednak w polskich warunkach możliwość ich wykorzystania jest niewielka, co sprawia, że mogą być one wykorzystywane tylko na małą skalę. Strukturami najbardziej perspektywicznymi dla geologicznego składowania dwutlenku węgla w przypadku Polski są głębokie formacje wodonośne.

BIBLIOGRAFIA

1. Dubiński J.: Geological and geophysical aspects of the underground CO₂ storage. The 6th International Conference on Mining Science & Technology, October, 2009, Xuzhou, China.
2. Dubiński J., Solik–Heliasz E.: Uwarunkowania geologiczne dla składowania dwutlenku węgla. [w]: „Uwarunkowania wdrożenia zeroemisyjnych technologii węglowych w energetyce”; Praca zbiorowa pod red. M. Ściążko. Wyd. IChPW, Zabrze 2007, s. 51 – 56.
3. Działania Ministerstwa Środowiska w celu rozpoznania struktur geologicznych dla podziemnego składowania dwutlenku węgla. Min. Środ., Warszawa, czerwiec 2008.
4. Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych) pod red. R. Tarkowski, IGSMiE PAN, Kraków 2005.
5. Raport IPCC „Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050”, ODCE, 2008.
6. Szczygieł L.: Uwięzić dwutlenek nieszczęścia. „Energetyka Ciepła i Zawodowa” – 2/2009.
7. Tarkowski R.: Geologiczna sekwestracja CO₂. Studia, Rozprawy, Monografie, IGSMiE PAN, Kraków 2005.
8. Technologia wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS) sposobem na złagodzenie zmian klimatu. Raport na zlecenie Polskiej Konfederacji Pracodawców Prywatnych Lewiatan przy wsparciu funduszu brytyjskiego Ministerstwa Spraw Zagranicznych, Warszawa, marzec 2009.
9. What does CO₂ geological storage really mean? CO₂ GeoNet European Network of Excellence, 2008.
10. Wójcicki A.: Krajowy Program Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich planami monitorowania. Geologia,

hydrogeologia i geofizyka w rozwiązywaniu problemów współczesnego górnictwa i energetyki, GIG, Katowice 2009, s. 249-25.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Palarski

Abstract

Carbon capture and storage technology (CCS) is considered as one of the most promising technologies to fight against global warming. The ambitious targets of European Union for reducing carbon emissions are special significance for us of reason of coal share in polish energy market. The need to meet the requirements of EU forcing us to take concrete steps not only to improve energy efficiency or increase the share of renewable energy sources, but also in intensification of the research focused on the development of the technologies which would enable CO₂ capture and its safe storage in the adequately selected geological formations. Selection of optimal geological structure for CO₂ storage must secure both: satisfactory storage capacity and its safety with reference to the geological environment underground and natural environment on the ground surface. The paper presents the characteristics of the CCS technology and pointed out the geological conditions for underground CO₂ storage and possibilities for its application in Poland.