

Niechciana obfitość



Prof. Krzysztof Warmuziński, dyrektor Instytutu Inżynierii Chemicznej Polskiej Akademii Nauk, uczestniczy w licznych inicjatywach międzynarodowych, których celem jest ograniczenie emisji gazów wywołujących efekt cieplarniany. Jest współautorem specjalnego raportu IPCC na temat wychwytu i składowania dwutlenku węgla

KRZYSZTOF WARMUZIŃSKI
Instytut Inżynierii Chemicznej, Gliwice
Polska Akademia Nauk
kwarmuz@iich.gliwice.pl

Jedną z możliwości ograniczenia ilości uwalnianego do atmosfery dwutlenku węgla, w celu stabilizacji jego zawartości w atmosferze, jest wychwyt, a następnie składowanie tego gazu w formacjach geologicznych lub w oceanach

Współczesna działalność człowieka znacząco zmienia system klimatyczny, zwiększając stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze. Największy wkład wnoszą tu emisje dwutlenku węgla (CO₂). Gaz ten uwalniany jest do atmosfery w procesach spalania paliw kopalnych - węgla, ropy i gazu ziemnego, a także przy wypalaniu lasów w procesie uzyskiwania ziemi uprawnej, i w różnorodnych procesach przemysłowych oraz wydobywczych.

Kontynuacja obecnych tendencji spożytkowania energii i towarzyszącej im emisji nie wróży ograniczenia globalnej emisji gazów cieplarnianych poniżej stanu obecnego, ani nawet jej stabilizacji. W latach 1995-2001 średnia globalna emisja CO₂ wzrastała o 1,3% rocznie, szybciej niż wzrost zużycia energii pierwotnej, i znacznie szybciej niż w poprzednich 5 latach. Największy wkład do emisji, większy niż całkowita emisja z sektora przemysłu, wnoszą wytwarzanie energii elektrycznej. Najszybszy wzrost występuje w sektorze transportu. Większość scenariuszy bez wbudowanych działań łagodzących zmiany klimatyczne przewiduje znaczący wzrost globalnej emisji w porównaniu ze stanem obecnym.

Jedną z metod ograniczenia emisji CO₂ w celu ustabilizowania jego zawartości w atmosferze jest wychwyt tego gazu, a na-

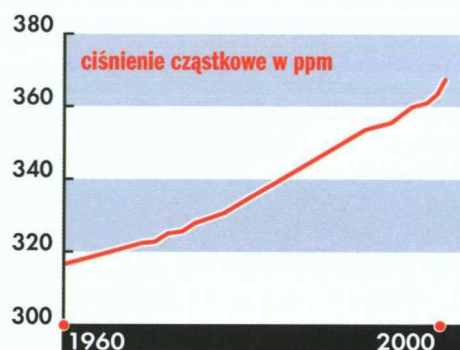
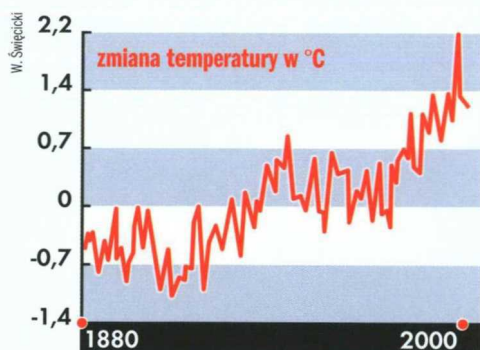
stępnie gromadzenie go w formacjach geologicznych lub w oceanach.

Źródła dwutlenku węgla

CO₂ emitowany jest z różnorodnych źródeł. Głównym z nich jest spalanie paliw kopalnych w elektrowniach, a także w sektorze przemysłowym, transporcie i gospodarstwach domowych. W elektrowniach i w przemyśle mamy do czynienia z wielkimi urządzeniami o ogromnej objętości emisji. To właśnie stanowi podatny grunt dla technologii wychwytu. Transport i potrzeby gospodarstw domowych również wytwarzają znaczne ilości dwutlenku węgla, ale ze względu na niewielkie rozmiary źródeł oraz ich ruchomość, technologie wychwytu mają tu mniejszy potencjał. Jednakże gdyby zastosować w transporcie elektryczność lub paliwo wodoro-

Zastosowanie pre-spalania CO₂ w instalacji gazyfikacji węgla w Północnej Dakocie w USA. Fabryka usuwa 3.3 miliony ton CO₂ rocznie





Globalna zmiana średniej temperatury i stężenie CO_2 na Biegunie Południowym (części na milion)

chwytu i składowania (CCS - carbon capture and storage).

Jak wychwycić CO_2 ?

Celem wychwyty CO_2 jest wytworzenie skoncentrowanego strumienia tego gazu w gęstym stanie nadkrytycznym, tak aby móc go łatwo transportować do składowiska. Dwutlenek węgla wydzielany jest we współczesnych wielkich fabrykach, przetwarzających ropę i produkujących amoniak. W fabrykach takich CO_2 oddzielany jest w procesach produkcyjnych, i brak tam urządzeń do jego składowania. Wyjątek stanowią tu pola naftowe Sleipner pod Morzem Północnym, gdzie cotygodniowo 20 tys. ton dwutlenku węgla zostaje wychwycone, a następnie wstrzykiwane w warstwę piaskowca, zamiast zostać wyemitowane do atmosfery.

W wychwycie CO_2 stosuje się trzy zasadnicze metody:

- systemy po-spalaniu, w których oddziela się CO_2 od gazów spalinowych, wytwarzanych w procesie spalania w powietrzu pierwotnych paliw kopalnych (węgla, ropy lub gazu), lub też biopaliw,
- systemy pre-spalania, w których pierwotne paliwo przetwarzane jest w reaktorze w obecności strumienia tlenu, z wytworzeniem osobnych strumieni CO, a dalej CO_2 do składowania, oraz wodoru, wykorzystywanego jako nośnik energii,
- systemy spalania tlenowego, w których proces ten przebiega w tlenie (a nie w powietrzu) i wytwarza gaz - głównie wodę i CO_2 , nadający się do składowania.

Istnieje wiele komercyjnie dostępnych technologii, które w zasadzie nadają się do wychwyty CO_2 z gazów po spalaniu. Badania porównawcze wykazują jednak, że najlepiej do wychwyty powstającego po

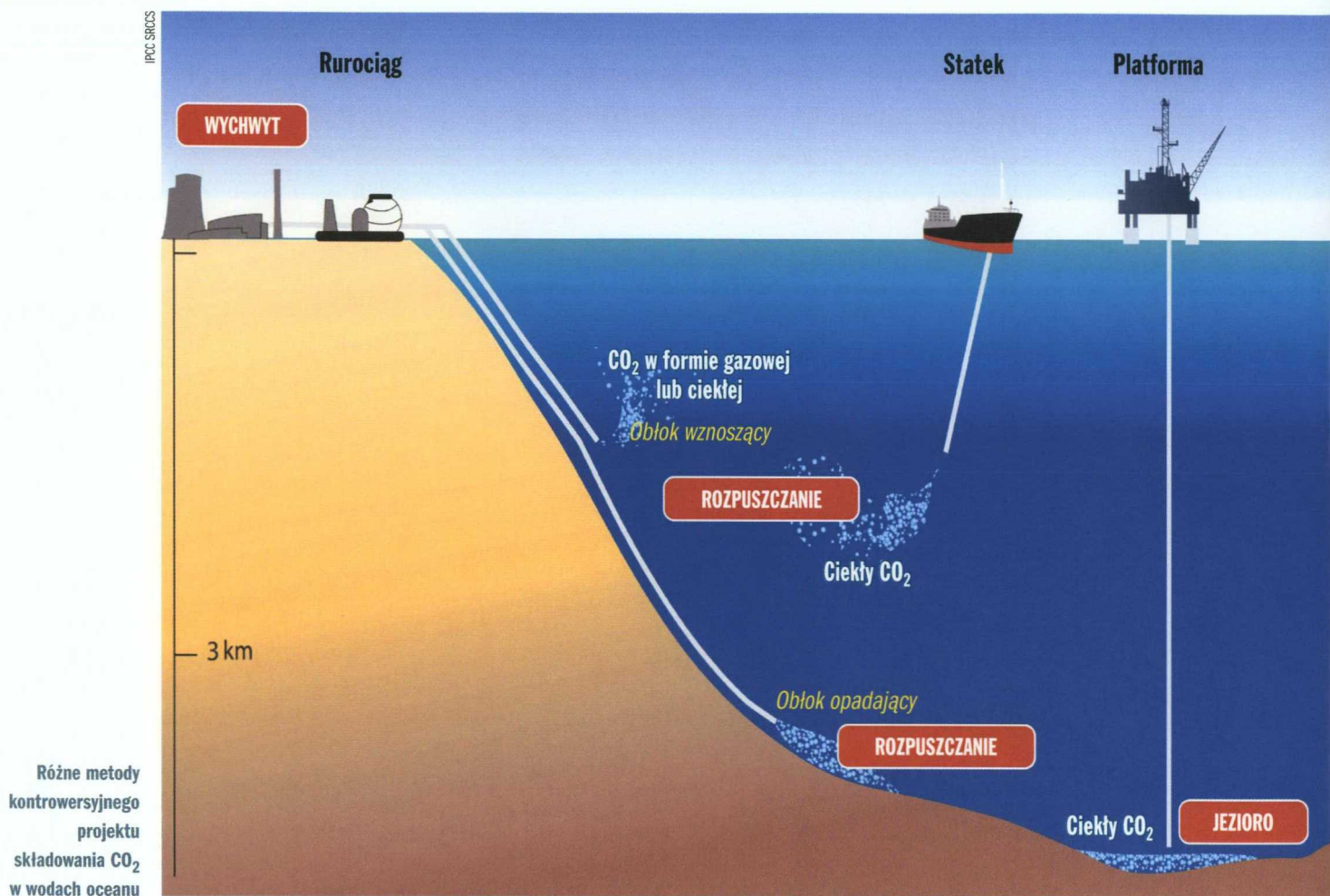
spalaniu CO_2 służą procesy absorpcji oparte o rozpuszczalniki chemiczne. Techniki te oferują dziś znaczną wydajność wychwyty, selektywność, najmniejsze zużycie energii i najniższy koszt liczony na tonę usuniętego CO_2 , w porównaniu z innymi procesami po spalaniu.

W procesach wychwyty przy prespalaniu pierwszym etapem jest produkcja mieszanki wodoru i tlenu węgla (zwanej syngazem) z paliwa pierwotnego. Dalej następuje alternatywa: wprowadzenie do paliwa pary (tzw steam reforming), albo też tlenu. Druga z tych metod to tak zwane częściowe utlenianie, stosowane do paliw gazowych i ciekłych, lub gazyfikacja - w przypadku paliwa stałego. Zasady obu metod są jednak identyczne. W dalszym etapie następuje reakcja powodująca konwersję CO w CO_2 poprzez dodawanie pary.

System spalania tlenowego eliminuje azot z gazów spalinowych, spalając węglowodory lub paliwo węglowe w czystym tlenie albo w mieszance czystego tlenu i gazu spalinowego wzbogaconego w CO_2 . Temperatura spalania zależy od proporcji tego wzbogaconego gazu, i waha się od 1300°C dla znacznej domieszki gazu, do powyżej 3500°C przy spalaniu w czystym tlenie. Spalanie tlenowe, w przeciwieństwie do systemów pre-spalania i po-spalania, jest wciąż jeszcze na etapie prób. Przeprowadzono je na skalę pilotową z użyciem wysokiej czystości tlenu zamiast powietrza. Pozwoliło to uzyskać znaczną koncentrację CO_2 (objętościowo ponad 80%), ale wymagało znacznego zużycia energii dla produkcji czystego tlenu.

Transport

Dwutlenek węgla można przesyłać przy pomocy rur, albo też przewozić specjalny-



Różne metody kontrowersyjnego projektu składowania CO₂ w wodach oceanu

mi wagonami lub statkami. W praktyce, ze względu na wielkie objętości, opłacalny okazuje się jedynie transport rurami lub statkami. Koszt w znacznym stopniu zależy od objętości, i w mniejszym - od odległości przesyłania. Ogólnie rzecz biorąc, koszty transportu są znacznie mniejsze od kosztów wychwytu. Wahają się one od 1 do 10 USD/t CO₂, gdy rurociągi transportują powyżej 1 Mt CO₂ rocznie na odległość poniżej 500 km. Koszt transportu CO₂ na jednostkę wagi jest znacznie mniejszy niż dla gazu ziemnego lub wodoru, ponieważ jest on transportowany w stanie ciekłym lub nadkrytycznym, o gęstości 10 do 100 razy większej od gęstości gazu. Tak więc pod względem kosztów na jednostkę wagi, transport CO₂ jest porównywalny z transportem ropy, i tańszy od przewozu gazu ziemnego lub wodoru. Obecnie działają już wysokociśnieniowe rurociągi do przesyłu CO₂ na odległość powyżej 2000 km.

Składowanie dwutlenku węgla

Długotrwałe przechowywanie dwutlenku węgla pod ziemią jest powszechnym zjawiskiem geologicznym. Naturalne zasoby CO₂ pozostają uwięzione pod ziemią przez miliony lat. Sugeruje to, że wprowadzanie tego gazu do głęboko położonych formacji geologicznych może również pozwolić na składowanie go przez miliony lat, jeżeli obszary składowania zostaną starannie dobrane, a ich stabilność nie zostanie zaburzona przez podziemną działalność człowieka lub inne czynniki zewnętrzne. Na głębokości poniżej 800 do 1000 m nadkrytyczny CO₂ charakteryzuje się gęstością zbliżoną do płynów, co stwarza możliwość efektywnego wykorzystania porowatych skał osadowych jako magazynów. Do składowania CO₂ można wykorzystać wyeksploatowane złoża ropy i gazu ziemnego, być może też układy węglowe, a zwłaszcza solne (głębokie porowate zbiorniki skalne wypełnione solanką).

CO₂ wtłoczony do odpowiednio dobranych zubożonych pokładów ropy może o 10 do 15% podwyższyć efektywność wydobycia. Jest to znana technika zwana CO₂-EOR (enhanced oil recovery). Takie dodatkowe wydobycie ropy może w pewnych warunkach z nadwyżką zwrócić koszty wychwytu i wstrzykiwania CO₂ w złoża. Metoda CO₂-EOR może też zastąpić inne stosowane dotychczas bardzo energochłonne techniki zwiększenia wydobycia ropy i dzięki temu przyczynić się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych.

Istnieje też wiele podziemnych warstw zawierających zbiorniki wodne, które można by wykorzystać do składowania dwutlenku węgla. Chodzi tu o zbiorniki wypełnione słoną wodą, nie nadającą się do użytku jako woda pitna. CO₂ częściowo rozpuszczałby się w wodzie takiego zbiornika. W niektórych formacjach geologicznych CO₂ może powoli reagować chemicznie z minerałami, tworząc węglany, co w ostateczności uwięziłoby go w sposób trwały. Odpowiednie zbiorniki wodne – w celu zminimalizowania przecieków – powinny być przykryte warstwą skał o małej przepuszczalności. Przy wstrzykiwaniu CO₂ do głębokich zbiorników słonej wody wykorzystano by techniki podobne do tych, których używa się w zubożonych pokładach ropy i gazu ziemnego.

Innym potencjalnym składowiskiem mogą się okazać nie nadające się do eksploatacji złoża węgla. Dwutlenek węgla można wprowadzać do odpowiednich pokładów węgla, gdzie pozostawałby trwale uwięziony – jeżeli nie eksploatowano by złoża. Co więcej, gaz ten wypierałby metan występujący w tych pokładach. Metan desorbuje się z pokładów węgla metodą dekompresji, ale w ten sposób odzyskuje się tylko około 50% gazu. Wstrzykiwanie CO₂ pozwala zwiększyć wydobycie metanu. Węgiel może adsorbować prawie dwukrotnie większą objętość CO₂ niż metanu. Jeżeli zatem wydobyty metan zostaje spalany, a powstający CO₂ wstrzyknięty z powrotem, złoża węglowe pozostaje netto zbiornikiem CO₂.

Wstrzykiwanie CO₂ do oceanów to zagadnienie kontrowersyjne. Zwolennicy składowania CO₂ w głębi oceanu argumentują, że CO₂ atmosferyczny nieustannie przenika do powierzchni oceanu, w mia-

rę jak powietrze i system oceaniczny dążą do równowagi chemicznej. Spowolnienie procesu wzrostu zawartości CO₂ w powietrzu doprowadzi do zmniejszenia jego ilości rozpuszczonej w wodzie powierzchniowej. Wobec tego wstrzykiwanie CO₂ na znaczną głębokość przesunie pewną ilość CO₂ z warstw powierzchniowych do głębszych, zmniejszając jego wpływ na środowisko przy powierzchni wód, gdzie koncentruje się życie morskie. Przeciwnicy tej metody powołują się na prawo międzynarodowe, chroniące oceany przed zastosowaniami przemysłowymi, a także podkreślają trudności monitorowania przemieszczania się dwutlenku węgla po wstrzyknięciu do wód. W wielu miejscach na świecie przeciwnicy tej metody znajdują oparcie w powszechnym w naszej kulturze przekonaniu, iż nie należy zakłócać życia ekosystemów oceanicznych.

Na zakończenie

Gdy oddychał jeszcze William Shakespeare, na każdy milion wdychanych cząsteczek do jego płuc przenikało 280 cząsteczek dwutlenku węgla. Gdy my oddychamy – wdychamy ich już 380. Z każdym rokiem proporcja ta rośnie o dwie cząsteczki. Nigdzie jednak nie jest powiedziane, że CO₂ musi być emitowany do atmosfery. Dotychczas atmosfera była naszym głównym zbiornikiem odpadów lotnych, bo najtaniej i najprościej było do niej wypuszczać dymy z pieców domowych, rur wydechowych pojazdów i kominów przemysłowych. Dobrą nowiną jest, że istnieją już technologie pozwalające na wychwytywanie i składowanie gazów cieplarnianych, a przeszkody na drodze do ich stosowania nie są przecież nie do przewyciężenia. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Metz B. et al. (red.) (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thomas D.C., Benson S.M. (red.) (2005). *Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geological Formations*. Oxford: Elsevier.
- Pacala S., Socolow R. (2004). Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. *Science* 305, 968–972.
- International Energy Agency (2004). *Prospects for CO₂ Capture and Storage*. Paris: OECD/IEA.
- IEA Greenhouse Gas R&D Programme:
www.ieagreen.org.uk