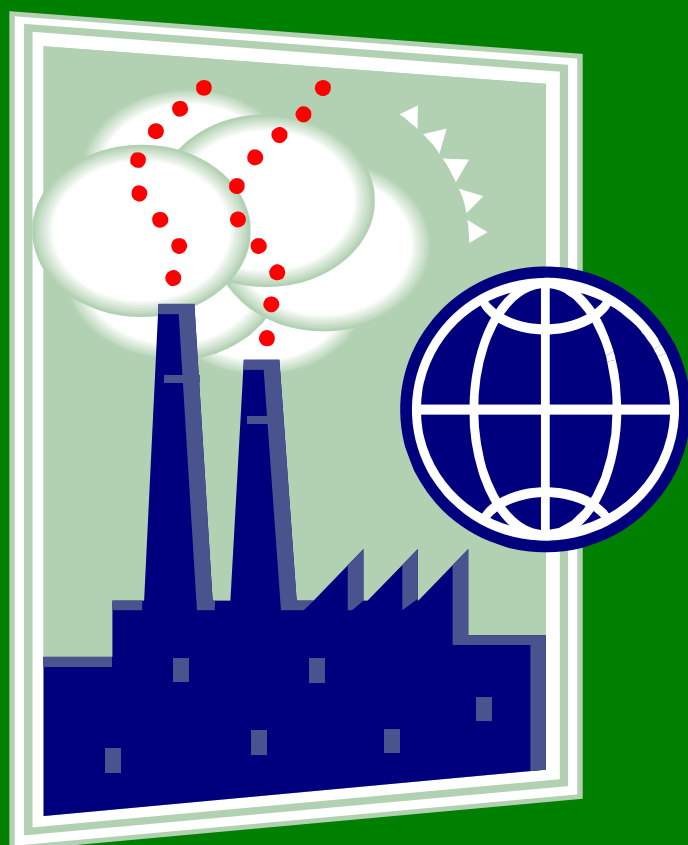


Czy można bezpiecznie składować CO₂ pod ziemią?



- Jakie są główne możliwości składowania dwutlenku węgla?
- Jakie ryzyko powiązane jest z geologicznym składowaniem CO₂?
 - Jak bezpieczne jest podziemne składowanie CO₂?
 - Jakie są geologiczne kryteria dla bezpiecznego miejsca składowania?
- Jakie są potencjalne, negatywne skutki podziemnego składowania CO₂?
- Jak minimalizować zagrożenia – monitoring!
 - Sposoby prowadzenia monitoringu

STOSOWANIE CCS

Technologie wychwytywania i składowania CO₂ (CCS) stanowią rozwiązanie problemu redukcji emisji gazów cieplarnianych ze źródeł przemysłowych, poprzez składowanie dwutlenku węgla w głębokich formacjach geologicznych.

JAKIE SĄ GŁÓWNE MOŻLIWOŚCI SKŁADOWANIA DWUTLENKU WĘGLA

Szczerpane złoża gazu są rozpatrywane jako bardzo obiecująca opcja dla składowania CO₂, ponieważ z natury dowodzą możliwości bezpiecznego magazynowania gazów przez miliony lat. Co więcej, geologia eksploatacyjnych złóż gazu jest znana bardzo dobrze i występuje możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury. Inną korzyścią i ekonomiczną zachętą jest możliwość poprawy wydobywania gazu (EGR) z pól bliskich wyczerpania poprzez wtłoczenie CO₂.

Szczerpane złoża ropy są kolejną dostępną opcją składowania (z podobnych do powyższych przyczyn). Tym niemniej ich potencjał składowania CO₂ na terenie Europy jest minimalny w kontekście potrzeb ilościowych.

Ze względu na duży zasięg obszarowy, **głębokie poziomy solankowe** mają największy potencjał dla składowania CO₂. Natomiast ze względu na głębokości i poziom zasolenia, nie mogą stanowić one źródła wody pitnej.

RYZYKO POWIĄZANE Z GEOLOGICZNYM SKŁADOWANIEM CO₂

Potencjalne ryzyko związane ze składowaniem CO₂ obejmuje:

- Wycieki CO₂ i/lub CH₄ ze zbiorników do atmosfery.
- Mikro-sejsmiki – powstała na skutek zmian ciśnienia zachodzących w zbiornikach - powodującą nieznaczne wstrząsy.
- Przesunięcia gruntu, obsuwanie się gleby lub wypiętrzenia na skutek zmian ciśnienia zachodzących w zbiornikach.
- Wypieranie solanek z otwartych zbiorników do innych formacji, również tych, które mogą zawierać wodę pitną.

JAK BEZPIECZNE JEST PODZIEMNE SKŁADOWANIE CO₂

Można stwierdzić, że składowanie CO₂ w głębokich pokładach ma tylko małe, „wykonalne” ryzyko. Bezpieczne składowanie wiąże ze sobą dwie fazy: **fazę operacyjną** podczas zatłaczania i (monitoring) **długookresowego bezpieczeństwa** po zamknięciu miejsca składowania.

Podczas **fazy operacyjnej**, najbardziej istotnym czynnikiem jest bezpieczeństwo technologiczne związane jak wiadomo z „najlepszymi praktykami” wynikającymi z procedur rozwijanych od dekad w produkcji ropy i gazu, a także działań podejmowanych w miejscach składowania gazu. W porównaniu do naturalnego gazu (metanu), CO₂ jest daleko mniej niebezpieczne (nie jest wybuchowe/zapalne).

Z drugiej strony, **długookresowe bezpieczeństwo** jest regulowane przez warunki geologiczne miejsca składowania i jego są-

siedztwo. By zapewnić pożądaną wpływ na klimat i zatrzymać składowane CO₂ z daleka od biosfery, musi ono pozostać pod ziemią przez co najmniej 10 tysięcy lat. Na podstawie analizy naturalnych złóż gazu, wiadomo, że niektóre geologiczne warstwy są zdolne do zatrzymania gazu w określonym miejscu przez miliony lat. To znajduje właśnie zastosowanie w geologicznym składowaniu CO₂. Jest jasne, że projekty składowania CO₂ mogą być zaaprobowane, jeżeli zbiorniki są bezpiecznie pokryte przez szczelne formacje skalne. Podstawą jest zatem staranna selekcja miejsc składowania z dobrymi geologicznymi barierami. Kolejnym bardzo ważnym czynnikiem bezpieczeństwa jest szczelność otworów – warunek braku ucieczki CO₂.

Każde miejsce składowania musi być monitorowane w trakcie i po fazie operacyjnej. Monitoring musi obejmować powierzchnię, wody gruntowe i głębokie badania geofizyczne.

Trzy projekty składowania na skalę przemysłową – w których zatłacza się ponad 2 miliony ton CO₂ rocznie do głębokich poziomów solankowych – działają od wielu lat, równoległe z innymi mniejszymi projektami wychwytywania i składowania CO₂.

Te doświadczenia na skalę przemysłową są uzupełniane przez cały szereg projektów badawczych CCS prowadzonych w partnerstwie międzynarodowym i z udziałem przemysłu, programów badawczych i sieci współpracy. W żadnym z tego typu projektów nie udokumentowano występowania efektów geologicznego składowania CO₂ zagrażających bezpieczeństwu, zdrowiu i środowisku.

SKĄD WIEMY ŻE TO DZIAŁA?

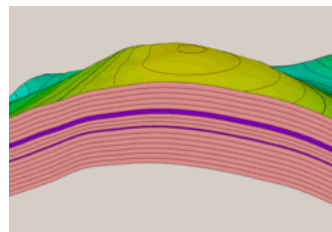
Mamy dekady doświadczeń działań operacyjnych z projektów, które są bardzo zbliżone do CCS, włączając w to podziemne zatłaczanie CO₂ dla wspomaganie wydobywania ropy (EOR). W projektach tych wykorzystano również szereg technologii analogicznych do tych stosowanych w ramach CCS np. w celu składowania gazu naturalnego.

Przemysł ropy naftowej i gazu naturalnego, ma ponad 40 lat doświadczeń we zatłaczaniu CO₂ do „zbiorników” geologicznych w celu wspomaganie wydobywania ropy. Ten proces jest rodzajem EOR i wykorzystuje właściwości CO₂ w połączeniu z ropą dla poprawy efektywności jej wydobywania ze złóż. W większości operacji, CO₂ jest odzyskiwane i będzie ponownie zatłaczane, aż do zakończenia eksploatacji pól naftowych. W szeregu miejscach prowadzono bezpieczne zatłaczanie wielu milionów ton CO₂ do złóż na dekady. Sukces tych projektów i wzrastająca liczba badań demonstracyjnych wzmacnia pewność w potencjał składowania znacznych wielkości CO₂ pod ziemią – bezpiecznie, pewnie i na długi czas.

JAKIE SĄ GEOLOGICZNE KRYTERIA DLA MIEJSC BEZPIECZNEGO SKŁADOWANIA CO₂?

Geologiczne kryteria dla miejsc bezpiecznego składowania są podobne do tych jakie odnoszą się do naturalnych zbiorników ropy i gazu. Dla „zbiornika” składowania, wymagana

jest dobra porowatość i spełnienie kryteriów odnośnie przepuszczalności, dla utrzymania wymaganych przepływów CO₂. Zbiornik wymaga jednej lub kilku warstw skał nadległych, które są nieprzepuszczalne dla gazów i roztworów. Zamknięta struktura ma wtedy niezbędne zalety pozwalające na prostą kalkulację pojemności i bezpieczne przewidywanie rozprywu CO₂. Rozwiązaniem idealnym jest sytuacja, gdy nadległa warstwa nie jest przecinana żadnymi uskokiemi, a jeśli takie występują, to muszą mieć dowiedzioną szczelność.



Model 3D warstw geologicznych na głębokości około 3500 metrów, składających się w zamkniętą strukturę. Fioletowe warstwy – skały zbiornikowe (piaskowiec), różowe warstwy – skały nieprzepuszczalne (iłowce/lupki). Źródło: BGR

JAKI WPŁYW MA PODZIEMNE SKŁADOWANIE CO₂ NA WODY PODZIEMNE I SKAŁY

Słodka woda podziemna, wykorzystywana jako woda pitna, zupełnie nie jest narażona na jakikolwiek wpływ ze strony geologicznego składowania CO₂. Dwutlenek węgla będzie zatłaczany znacznie głębiej, a roztwory solne wody powstrzymane będą przez warstwy skał. Zbiorniki w głębokich poziomach solankowych są odseparowane od zbiorników wody słodkiej leżących powyżej przez kilka nieprzepuszczalnych, masywnych warstw skał, które będą zatrzymywać zarówno roztwory solne, jak i CO₂.

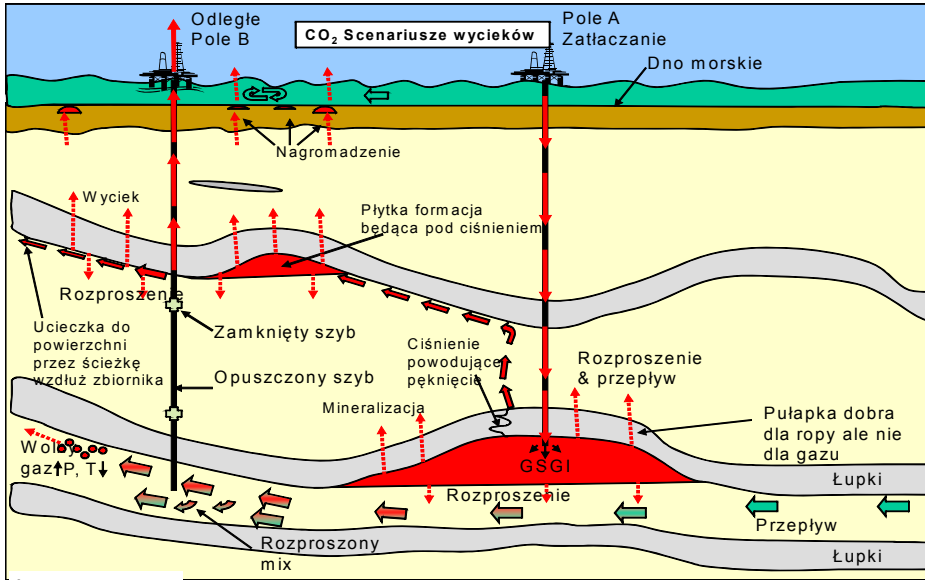
Czyste CO₂ jest lżejsze od wody i utrzymuje się w górnej części zbiornika, wypierając roztwór ku dnie. Powoli CO₂ rozpuszcza się w roztworze, podnosząc poziom jego pH. Dwutlenek węgla, co niezmiernie korzystne, idealnie wchodzi w reakcję z jonami wapnia i wiąże się. Niestety z drugiej strony, kwas węglowy jest korrozyjny i może uszkadzać cement otworów wiertniczych, szczególnie jeśli są one stare i wadliwie wypełnione. Wymaga to dodatkowych nakładów na zapewnienie szczelności otworów, co musi być zapewnione w okresie istnienia składowiska.

Prowadzona jest znaczna liczba projektów badawczych dotyczących interakcji pomiędzy CO₂, formacjami wodonośnymi i skałami. Ich rezultaty są wykorzystywane w praktycznych testach technologii CCS.

WYCIEKI CO₂ I CH₄

W zależności od grubości i układu formacji skalnych, a także mechanizmów uwięzienia, wycieki CO₂ mogą nastąpić na skutek:

- Niezdolności skał nadkładu do zapobieżenia migracji do góry, z powodu:
 - Zbyt wysokiej przepuszczalności (możliwość przenikania CO₂).
 - Rozpuszczania skał nadkładu uszczelniającego przez reakcję z CO₂.



Źródło: CO₂Net

- Uszkodzenia nadkładu uszczelniającego (spękania lub uskoki na skutek zbyt dużego ciśnienia w zbiorniku).
- Wyciek/ucieczka poprzez (stare) otwory (szyby) na skutek:
 - Niewłaściwego zabezpieczenia zamknięcia otworu.
 - Przypadkowego uszkodzenia cementu i/lub metalu.
- Rozpuszczania CO₂ w migrujących wodach podziemnych.

CO DZIEJE SIĘ JEŚLI CO₂ WYCIĘKNIĘ Z MIEJSCA SKŁADOWANIA?

Jeśli gaz CO₂ – pomimo wszelkich środków bezpieczeństwa – wycieka z miejsca składowania i dociera do powierzchni, jest relatywnie mało szkodliwy w porównaniu do innych gazów, np. metanu. Nie jest również zapalny, czy wybuchowy. Trujący jest jedynie przy wysokim stężeniu, które nie utrzymuje się w powietrzu na otwartej przestrzeni. Jak inne gazy, może powodować problemy dla ludzkiego zdrowia w wysokiej koncentracji. Jednakże, co wiemy z naturalnych ekshalacji CO₂ w regionie Eifel (Niemcy), wydobywające się CO₂ miesza się szybko z powietrzem i szybko rozcieńcza do poziomu koncentracji pozwalającej na swobodne oddychanie.



Gejzer zimnej wody w Andernach – naturalny wysięk CO₂.
Źródło: BGR

LOKALNE I GLOBALNE EFEKTY WYCIĘKU CO₂

- Lokalne: Efekty zdrowotne przy podniesionej koncentracji CO₂ (akumulacja CO₂ może wystąpić tylko na terenach zamkniętych (ograniczonych)).
- Lokalne: Zmniejszenie poziomu pH gleby i wody, związane z:
 - rozpuszczaniem węglanów,
 - wzrostem ciężaru właściwego wody,
 - uwolnieniem śladowych pierwiastków metalicznych.
- Globalne: Wyciek zmniejsza opcje redukcji CO₂, efekty zależą od stabilizacji koncentracji gazów cieplarnianych.
 - cele stabilizacyjne.
 - zakres i czas składowania CO₂ (modele symulacyjne).

Podczas zatłaczania CO₂ do zbiorników geologicznych, jednym z kluczowych czynników jest kontrola ciśnienia. Proces zatłaczania musi podlegać stałemu monitorowaniu i kontroli, tak by pokłady skał uszczelniających nie uległy spękaniu.

PRZYKŁADY TECHNIK MONITOROWANIA

Grupa monitorowania	Technologie monitoringu	Przedziały (obszary)
Inżynierska	Ciśnienie, temperatura, testy otworów	Otwory
Geofizyczna	Sejsmika (3D), mikro-sejsmika, grawimetria, elektromagnetyka, potencjał własny, monitorowanie fizyczne otworu	Zbiornik i system podziemny, otwory
Geochemiczna	Produkcja wody i analiza gazów, skład płynów, bezpośrednie pomiary	Zbiornik i system powierzchniowy
Geodetyczna	Geodetyczne, pomiary wychyleń, interferometria satelitarna, sensory lotnicze	System powierzchniowy
Biologiczna	Mikrobiologiczne, zmiany roślinności	System powierzchniowy i podziemny

PRZYCZYNY PROWADZENIA MONITORINGU

- W celu zapewnienia zdrowia publicznego i bezpieczeństwa środowiska lokalnego.
- W celu weryfikacji wielkości składowanego CO₂.

- W celu śledzenia dróg rozprzysku składowanego CO₂ (modele symulacyjne).
- W celu potwierdzenia niezawodności mechanizmów wiążących (zatrzymujących) CO₂.
- W celu zapewnienia wczesnego ostrzeżenia o jakiegokolwiek nieprawidłowości w miejscu składowania.

KRYTERIA OPISU I OCENY SKŁADOWISK (ZAŁĄCZNIK I, DYREKTYWA CCS)

Opisu i oceny składowisk będzie dokonywać się w czterech etapach, zgodnie z określonymi kryteriami. Zezwala się na odstępstwa od jednego lub więcej wskazanych kryteriów, jeśli tylko nie wpływają one na zdolność do opisu i oceny zapewniającej potwierdzenia zgodnie z art. 4.

Etap 1: Zebranie danych.

Etap 2: Komputerowa symulacja kompleksu składowania CO₂.

Etap 3: Opis bezpieczeństwa, wrażliwości i zagrożeń.

Etap 4: Ocena ryzyka.

Ocena ryzyka powinna uwzględniać szereg scenariuszy opracowanych w ramach opisu zagrożeń w czasie etapu 3 i powinna obejmować, co następuje:

- ocenę narażenia,
- ocenę skutków,
- opis ryzyka.

W JAKI SPOSÓB MOŻNA MONITOROWAC MIEJSCA SKŁADOWANIA CO₂?

Monitorowanie miejsc składowania CO₂ zawiera dwie fazy: fazę operacyjną podczas zatłaczania oraz fazę (monitorowania) bezpieczeństwa długookresowego po zamknięciu składowiska.

Podczas fazy operacyjnej, regularny monitoring powinien rejestrować ciśnienie CO₂ podczas zatłaczania oraz jego dalsze zmiany. Jest to konieczne by osiągnąć pewność, że ciśnienie w zbiorniku nie wzrośnie ponad tolerowane limity i że CO₂ nie ucieknie z

zaplanowanego miejsca składowania. Te działania mogą być prowadzone przy wykorzystaniu metod geofizycznych/otworowych, zarówno podczas fazy zatłaczania, jak i później.

Na powierzchni, monitoring emanacji gazów glebowych powinien skupić się na wszystkich otworach oraz znanych strefach uskoków/spękań. W celu odróżnienia natural-

nej emanacji gazów ziemnych od wycieków (ucieczki) CO₂, formacje zbiornikowe CO₂ muszą być rozpoznane a priori przed rozpoczęciem składowania. Naturalne emanacje CO₂ zmieniają się wraz z roślinnością, sezonami i pogodą. Również dynamika płynów i geochemia powierzchni powinna być, obok wód gruntowych, monitorowana regularnie.

CZY TECHNOLOGIA CCS BYŁA STOSOWANA Z SUKCESEM?

Przez wiele lat, praktyczne doświadczenia zatłaczania CO₂ w formacje geologiczne zostały zdobyte podczas produkcji gazu ziemnego. Wiele naturalnych złóż gazu zawiera domieszkę CO₂, która obniża wartość paliwa i musi ulec odseparowaniu przed sprzedażą. Na Norweskim złożu gazu Sleipner, od 1996 roku mniej więcej 1 milion ton CO₂ jest wtłaczany rocznie do formacji Utsira, powyżej poziomu gazonośnego. Aktualnie w In-Salah w Algierii, CO₂ jest zatłaczane z powrotem do zbiornika przy wykorzystaniu od dwóch do trzech otworów, zwiększając poziom produkcji użytkowego gazu ziemnego.

Niemcy są największym operatorem podziemnych magazynów gazu w Unii Europejskiej i czwartym na świecie po USA, Rosji i Ukrainie. Gaz naturalny jest magazynowany podziemnie od wielu lat w celu uniknięcia niedoborów dostaw oraz dostosowania się do sezonowych zmian zapotrzebowania. Obecne miejsca magazynowania gazów naturalnych mogą być podzielone na dwie podkategorie: kawerny (sztuczne "pieczary" w skałach solnych) i zbiorniki porowe (skały naturalnie porowate). Magazynowanie gazu w zbiornikach porowych, jest analogiczne do przypadku sekwestracji CO₂, i z sukcesem stosowane od dekad. Również transport CO₂ będzie odbywać się przede wszystkim tą samą drogą jak gazu ziemnego (rurociągi).



Wykonano w ramach prac konsorcjum (PIG-PIB - lider, AGH, GIG, INiG, IGSMiE PAN i PBG) realizującego Krajowy Program "Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania", na zlecenie Ministerstwa Środowiska, finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Opracowano na podstawie informacji:
CO₂Net, BGR, Global CCS Institute.

Redakcja: Joanna Martyka



Korekta: Adam Wójcicki

