

Radosław Tarkowski

Geologiczna sekwestracja CO₂

Streszczenie

Monografia omawia podstawowe zagadnienia dotyczące geologicznej sekwestracji CO₂. Sekwestracja jest rozumiana jako wychwytywanie i bezpieczne składowanie tego gazu, który w innym przypadku byłby emitowany do atmosfery i w niej pozostał. Prezentowana problematyka koncentruje się na sposobach i możliwościach unieszkodliwiania CO₂ z dużych źródeł emisji (energetyka i zakłady przemysłowe), jego składowaniu w bezpiecznych podziemnych zbiornikach, jak również na przemysłowym wykorzystaniu tego gazu. Odpowiada to zagadnieniom wychwytywania i składowania CO₂ określanych w literaturze anglojęzycznej jako *Carbon Capture and Sequestration* (CCS). Ich celem jest umożliwienie wykorzystania paliw kopalnych przy jednoczesnej redukcji emisji CO₂ do atmosfery, a co za tym idzie ograniczenie zmian klimatycznych.

Praca składa się z dwóch zasadniczych części. W pierwszej omówiono problematykę dotyczącą sekwestracji CO₂, w drugiej przedstawiono szczegółowo zagadnienia dotyczące składowania CO₂ w głębokich strukturach geologicznych.

Przedstawiono definicję sekwestracji (sekwestracja CO₂, duże źródła emisji, wychwytywanie i składowanie CO₂) oraz jej cele (jakościowe i ilościowe). Omówiono miejsca wychwytywania (sektory przemysłowe), rozmieszczenie źródeł emisji na świecie, koncentrację CO₂ w strumieniu gazów spalinowych/przemysłowych. Uzupełniono je danymi o emisji CO₂ oraz o emitentach tego gazu w Polsce. Opisano technologie wychwytywania (wychwytywanie po spalaniu, wychwytywanie przed spalaniem, tlenowe spalanie węgla)

oraz metody oddzielania CO₂ (absorpcja, adsorpcja, separacja membranowa, frakcjonowanie kriogeniczne). Przedstawiono przemysłowe wykorzystanie tego gazu. Omówiono zagadnienia jego transportu (rurociągami, statkami, cysternami). Scharakteryzowano miejsca unieszkodliwiania CO₂: wiązanie w ekosystemach ziemskich, składowanie w oceanach, mineralną i geologiczną sekwestrację. Przedstawiono miejsca podziemnego składowania (złoża węglowodorów, głębokie poziomy wodonośne oraz głębokie, nie eksploatowane pokłady węgla); są one przedmiotem szczegółowej charakterystyki w drugim rozdziale.

W rozdziale dotyczącym składowania CO₂ w strukturach geologicznych opisano najważniejsze zagadnienia dotyczące tej problematyki. Przedstawiono geologiczne aspekty podziemnego składowania: właściwości CO₂, uwarunkowania geologiczne (głębokość zalęgania skał zbiornikowych, uwarunkowania geotermalne, rodzaj struktury geologicznej, szczelność geologiczną). Podkreślono, że zatłaczanie CO₂ do skał zbiornikowych jest praktyką stosowaną od kilkudziesięciu lat w celu intensyfikacji wydobycia ropy naftowej, a przemysł naftowy ma w tym zakresie duże doświadczenie. Scharakteryzowano składowanie CO₂ w złożach węglowodorów (w złożach ropy naftowej i gazu ziemnego, wykorzystanie CO₂ do intensyfikacji wydobycia ropy naftowej — EOR), podano przykłady zatłaczania CO₂ do złóż ropy naftowej. Opisano składowanie w głębokich poziomach wodonośnych i omówiono kilka projektów (Projekt SACS, Projekt Sleipner, Projekt Snøhvit, Projekt RITE R&D). Przedstawiono struktury geologiczne w Polsce odpowiednie do podziemnego składowania (w poziomach wodonośnych i w złożach węglowodorów). Opisano składowanie CO₂ w głębokich, nie eksploatowanych pokładach węgla, zatłaczanie CO₂ do złóż węgla w celu pozyskania metanu (ECBM) oraz przykładowe projekty (Projekt Coal-seq, ARC ECBM Recovery Project, Projekt RECOPOL). Omówiono potencjał podziemnego składowania (światowy oraz dla złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, poziomów wodonośnych i pokładów węgla), szacunki potencjału oraz możliwości jego wzrostu. W części dotyczącej weryfikacji i monitoringu podziemnego składowania CO₂ omówiono cele, metody monitoringu oraz przedstawiono przykłady monitoringu. Pokazano ekonomiczne aspekty podziemnego składowania (koszty sekwestracji CO₂, możliwości redukcji kosztów), jego bezpieczeństwo i społeczną akceptację. Scharakteryzowano aspekty prawne podziemnego składowania (międzynarodowe, tło prawne geologicznej sekwestracji, wybrane regulacje prawne). Monografię zakończono charakterystyką projektów badawczych dotyczących podziemnego składowania, realizowanych w ramach 6. PR UE. Omówiono tematykę projektów oraz programy badawcze (ENCAP, ISCC, CASTOR, CO2SINK, CO2GEONET).

Geological sequestration of CO₂

Summary

Monograph describes basic aspects connected with geological sequestration of CO₂. Here sequestration means capture and safe storage of this gas, which in other case would be emitted into atmosphere. Presented issues concentrate on methods and possibilities of CO₂ neutralization from large sources of emission (power engineering and industry works), its storage in safe underground reservoirs and industrial utilization of this gas. It is adequate to issues of Carbon Capture and Storage (CCS). The aim is to enable fossil fuel utilization together with CO₂ emission reduction resulting in climate change mitigation.

The paper consists of two basic parts. First discusses issues connected with CO₂ sequestration and second presents in detail CO₂ storage in deep geological structures.

Sequestration was defined (CO₂ sequestration, large emission sources, CO₂ capture and storage) as well as its objectives (qualitative and quantitative). Places of capture were discussed (industry sectors), emission sources location in the world, CO₂ concentration in combustion gas stream. These were complemented by data about CO₂ emission and sources of emission in Poland. Capture technologies (post-combustion capture, pre-combustion capture, carbon oxygen combustion) and CO₂ separation methods (absorption, adsorption, membrane separation, cryogenic fractionation) were described. Industrial utilization of this gas was presented. Problems connected with transport were described (pipelines, ships, tanks). Places for CO₂ neutralization were characterized: binding in terrestrial ecosystems, storage in oceans, mineral and geological sequestration. Places for underground storage were presented (hydrocarbon reservoirs, deep saline aquifers and unmineable coal seams); they are characterized in detail in second chapter.

Chapter about CO₂ storage in geological structures presents the most important issues concerning this matter are described. Geological aspects of underground storage are presented: CO₂ properties, geological conditions (depth of reservoir rocks, geothermal conditions, geological leakproofness). It is underlined that CO₂ injection into reservoir rocks is used for tens of years for EOR and petroleum industry is experienced in this matter. CO₂ storage in hydrocarbon reservoirs was characterized (in oil and gas reservoirs, using CO₂ for EOR), examples of CO₂ injection into oil reservoirs are shown and a few projects are described (SACS Project, Sleipner, Snøhvit, RITE R&D). There are presented geological structures for underground storage (aquifers and hydrocarbon reservoirs). CO₂ storage is

described in deep unmineable coal seams, CO₂ injection for ECBM and project examples (Coal-seq, ARC ECBM Recovery, RECOPOL).

Potential for underground storage is described (world-wide, oil and natural gas reservoirs, aquifers and coal seams), potential estimates and possibilities of its increase. In part concerning monitoring and verification of CO₂ underground storage there are discussed monitoring methods and monitoring examples are discussed. Economic aspects of underground storage (costs of CO₂ sequestration, possibilities of cost reduction), safety and public acceptance of underground storage are shown. Legal aspects of underground storage are characterized (international, legal background of geological sequestration, chosen legal regulations). Monograph is ended by characteristics of research projects concerning underground storage realized in frames of FP6 EU. Projects' range and research projects are described (ENCAP, ISCC, CASTOR, CO2SINK, CO2GEONET).