

## CCS JAKO JEDNA Z METOD REDUKCJI EMISJI CO<sub>2</sub>

### CCS AS ONE OF THE CO<sub>2</sub> EMISSION REDUCTION METHODS

TERESA ADAMCZAK-BIAŁY<sup>1</sup>, ADAM WÓJCICKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule zaprezentowano jeden ze sposobów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych odpowiedzialnych za wzrost temperatury i zmiany klimatu. Jest nim technologia wychwytu i podziemnego składowania CO<sub>2</sub> w strukturach geologicznych (Carbon Capture and Storage – CCS). Większość projektów CCS na dużą skalę (tzn. wychwytywanie i składowanie CO<sub>2</sub> rzędu 1 mln t/rok) funkcjonuje w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. Wiele z nich wiąże się z wykorzystywaniem CO<sub>2</sub> wychwyconego z procesów przemysłowych do wspomaganego wydobycia ropy naftowej (Enhanced Oil Recovery – EOR). Prezentowane przykłady projektów to: Boundary Dam Carbon Capture and Storage (Kanada), Great Plains Synfuels and Weyburn-Midale (Kanada) i Kemper County Energy Facility (Stany Zjednoczone). Aktualnie realizowane projekty CCS mają zasadnicze znaczenie, gdyż ukazują gotowość technologiczną do komercyjnego wdrożenia technologii wychwytu i geologicznego składowania CO<sub>2</sub>. W chwili obecnej mamy na świecie 15 działających dużych projektów CCS oraz 7 na końcowym etapie inwestycji.

**Słowa kluczowe:** emisja CO<sub>2</sub>, wychwytywanie CO<sub>2</sub>, projekty wychwytywania i podziemnego składowania CO<sub>2</sub> w strukturach geologicznych, wspomaganie wydobycia ropy naftowej, zmiany klimatyczne.

**Abstract.** Information presented in the article allows us to introduce one of the approaches to reducing anthropogenic greenhouse gas emissions responsible for the temperature increase and climate change. This is the technology of capture and underground storage of carbon dioxide in geologic structures (Carbon Capture and Storage – CCS). Most of the large-scale CCS projects (*i.e.* capture and storage of an order of magnitude of 1 million tonnes of CO<sub>2</sub> per year) operate in the United States and Canada. Many of them are associated with the use of CO<sub>2</sub> captured from the industrial processes for the enhanced oil recovery (EOR). The presented examples of projects are: Boundary Dam Carbon Capture and Storage (Canada), Great Plains Synfuels and Weyburn-Midale (Canada), and Kemper County Energy Facility (United States). Presently operating CCS projects are crucial for demonstrating the technological readiness for commercial implementation of capture and geological storage of CO<sub>2</sub>. As of today 15 large-scale CCS projects are operating around the world, and 7 projects are in the last stages of investment.

**Key words:** CO<sub>2</sub> emission, CO<sub>2</sub> capture, Carbon Capture and Storage/Sequestration (CCS), Enhanced Oil Recovery (EOR), climate changes.

### WSTĘP

Na świecie prowadzi się obecnie wiele dyskusji na temat przyczyn zmian klimatu. Analizuje się w jakim stopniu są one spowodowane działalnością człowieka. Zasadne jest zatem również pytanie, co zrobić aby zmiany klimatyczne na Ziemi nie były duże czy dotkliwe.

Prowadzone na świecie badania wskazują, że dotychczasowa emisja antropogenicznego CO<sub>2</sub> od początku ery przemysłowej stała się przyczyną wzrostu temperatury o ok. 1°C (IPCC<sup>2</sup>, 2014). W modelach wizualizujących scenariusze zmian klimatycznych, tworzonych na podstawie spektakularnych zdarzeń klimatycznych z przeszłości geologicznej (np. globalne ocieplenie w późnym triasie; Pieńkowski i in.,

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: teresa.adamczak@pgi.gov.pl; adam.wojcicki@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> IPCC – Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu, ma na celu ocenę naukowych, technicznych i socjoekonomicznych informacji związanych ze zrozumieniem zmian klimatycznych, potencjalnego wpływu tych zmian, a także możliwości dostosowania i złagodzenia ich skutków.

2014), przewiduje się, zależnie od wariantu, wzrost temperatury w ciągu najbliższego stulecia nawet o kilka stopni Celsjusza (IPCC, 2014).

Według informacji z marca 2015 r. Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) globalna emisja CO<sub>2</sub> z sektora energetycznego pozostała w 2014 r. na niezmiennym poziomie – 32,3 mld ton. Brak wzrostu wielkości emisji gazów cieplarnianych po raz pierwszy od 40 lat nie jest związany ze spowolnieniem gospodarczym. Zatrzymanie poziomu wzrostu emisji może świadczyć o skuteczności zabiegów dotyczących ograniczenia zmian klimatycznych spowodowanych działalnością człowieka. Obserwuje się zwiększenie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, a więc zmniejsza się spalanie węgla. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych osiąga się także dzięki realizacji projektów wychwytu i podziemnego składowania CO<sub>2</sub> w strukturach geologicznych (Carbon Capture and Storage – CCS). Dwutlenek węgla należy bowiem do gazów cieplarnianych, które zatrzymują część promieni słonecznych odbitych od powierzchni Ziemi, przyczyniając się do jej ocieplenia. Dlatego też celowe są wszelkie działania dążące do zatrzymania antropogenicznego wzrostu stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. Wobec ciągłego wzrostu zapotrzebowania na energię i ograniczonych źródeł „czystej” energii, stosowanie technologii CCS stwarza możliwość wykorzystywania konwencjonalnych źródeł energii w sposób przyjazny dla środowiska. Technologia CCS opiera się bowiem na wychwytywaniu CO<sub>2</sub> z elektrowni i zakładów przemysłowych, jego sprężaniu (do postaci gęstego płynu zajmującego znacznie mniej miejsca niż gaz) i transporcie rurociągami lub statkami do miejsca składowania oraz iniekcji przez specjalne otwory (tzw. pełny łańcuch CCS; fig. 1). Dwutlenek węgla może być zatłaczany do odpowiednich formacji geologicznych, tj.: głębokich poziomów wodonośnych (solankowych), wyeksploatowanych złóż gazu i ropy naftowej, głębokich, nieeksploatowanych pokładów węgla.

## PRZEGLĄD WYBRANYCH PROJEKTÓW CCS REALIZOWANYCH NA ŚWIECIE

Jednym z ustawowych zadań Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB, powierzonych przez Ministerstwo Środowiska, jest realizacja tematu pt. „Monitorowanie statusu projektów CCS w Europie i na świecie”. Dla każdego z projektów są zbierane informacje o instalacjach wchodzących w skład łańcucha CCS, wykonywana jest analiza warunków geologicznych składowania CO<sub>2</sub> oraz, na miarę udostępnianych przez inwestorów informacji, jest określane potencjalne ryzyko sekwestracji geologicznej.

Praca przy realizacji tematu pozwala stwierdzić, że największą liczbę projektów CCS na dużą skalę (tzn. wychwytywanie rzędu 1 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie) funkcjonuje w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie (fig. 2). Większość z nich jest związana z wykorzystywaniem CO<sub>2</sub> wychwyconego z procesów przemysłowych do wspomagania wydobycia ropy naftowej (Enhanced Oil Recovery – EOR).

Przykładami projektów CCS mogą być: Boundary Dam Carbon Capture and Storage (Saskatchewan, Kanada) (fig. 3), Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale (Saskatchewan, Kanada) oraz Kemper County Energy Facility (Mississippi, Stany Zjednoczone). Należy podkreślić, że elektrownie i inne instalacje przemysłowe na skalę komercyjną z CCS rozwijają się wolniej niż to wcześniej planowano, kilkanaście takich obiektów już jednak funkcjonuje lub rozpocznie działalność w najbliższych latach.

Aktualnie realizowane projekty CCS mają zasadnicze znaczenie, gdyż ukazują gotowość technologiczną do komercyjnego wdrożenia technologii wychwytu i geologicznego składowania CO<sub>2</sub>.

### PROJEKT: BOUNDARY DAM CARBON CAPTURE AND STORAGE

Boundary Dam Carbon Capture and Storage (w pobliżu miasta Estevan, Kanada) (fig. 3) rozpoczął się w 2014 r. Maksymalną zdolność wychwytu określa się na 1,3 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie (równowartość emisji pochodzącej od 300 tys. samochodów na drogach), a więc emisja CO<sub>2</sub> z elektrowni do atmosfery może zostać zredukowana o 90% ([http://www.saskpower.com/our-power-future/carbon-capture-and-storage/boundary-dam-carbon-capture-project/?linkid=MM\\_boundary\\_dam\\_carbon\\_capture\\_project](http://www.saskpower.com/our-power-future/carbon-capture-and-storage/boundary-dam-carbon-capture-project/?linkid=MM_boundary_dam_carbon_capture_project)).

Wychwycony w elektrowni CO<sub>2</sub> jest wykorzystywany przede wszystkim do wspomagania wydobycia ropy naftowej na polu Weyburn Oil Unit. Dwutlenek węgla jest zatłaczany do formacji roponośnej występującej na głębokości 1500 m. Pozyskane CO<sub>2</sub> będzie również transportowane przez gazociąg (330 km), żeby wesprzeć dostawę CO<sub>2</sub> w projekcie Great Plains Synfuel Plant and Weyburn-Midale. Dwutlenek węgla niewykorzystany do celów EOR będzie zatłaczany do głębokich formacji solankowych w ramach projektu Aquistore (<http://aquistore.ca/project>). Projekt ten jest zlokalizowany w Basenie Williston, w niewielkiej odległości (ok. 2 km) od obiektów Boundary Dam. Za poziomy odpowiednio do składowania CO<sub>2</sub> są uznawane w tym rejonie formacje Winnipeg (osady ordowiku) oraz Deadwood (osady od późnego kambry po wczesny ordowik). Formacje te są najgłębszymi poziomami osadowymi w Basenie Williston i są rozprzestrzenione na rozległym obszarze środkowo-zachodniej części Ameryki Północnej. Formacje Winnipeg i Deadwood to poziomy piaskowców, położone na głębokości poniżej 3000 m, wypełnione solanką. Skały tych formacji charakteryzują się wysoką porowatością i przepuszczalnością, a w ich nadkładzie występują kompleksy geologiczne o bardzo dobrych właściwościach uszczelniających. W celu realizacji projektu odwiercono 2 otwory, zlokalizowane od siebie w odległości ok. 150 m – zatłaczający (3396 m) i obserwacyjny (3400 m). Prowadzony w projekcie monitoring powierzchniowy i podziemny obejmuje m.in. pobór próbek wód gruntowych, powietrza glebowego oraz pomiary sejsmiczne.

W listopadzie 2017 r. opublikowano informację, że od rozpoczęcia działalności w październiku 2014 r. do końca

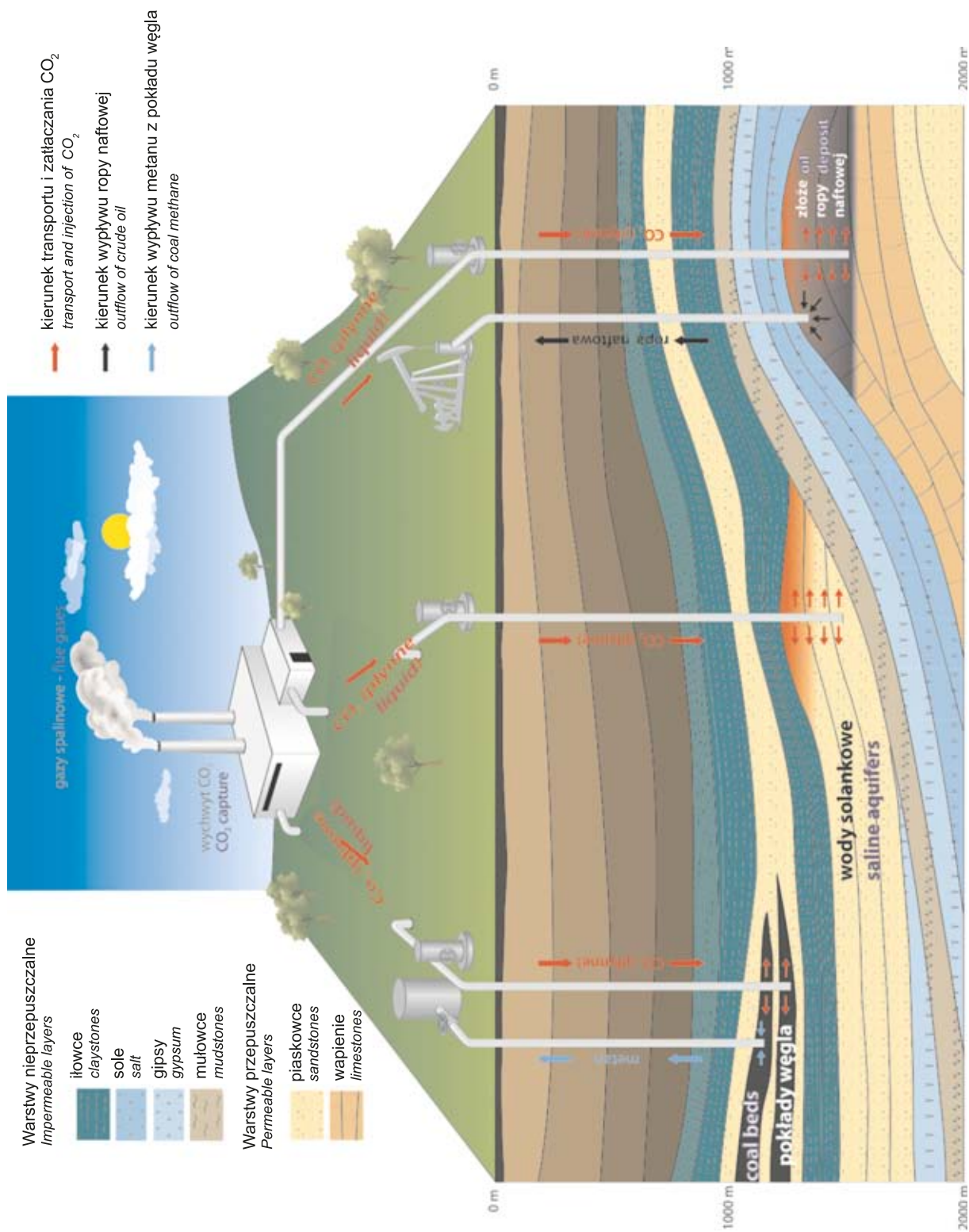
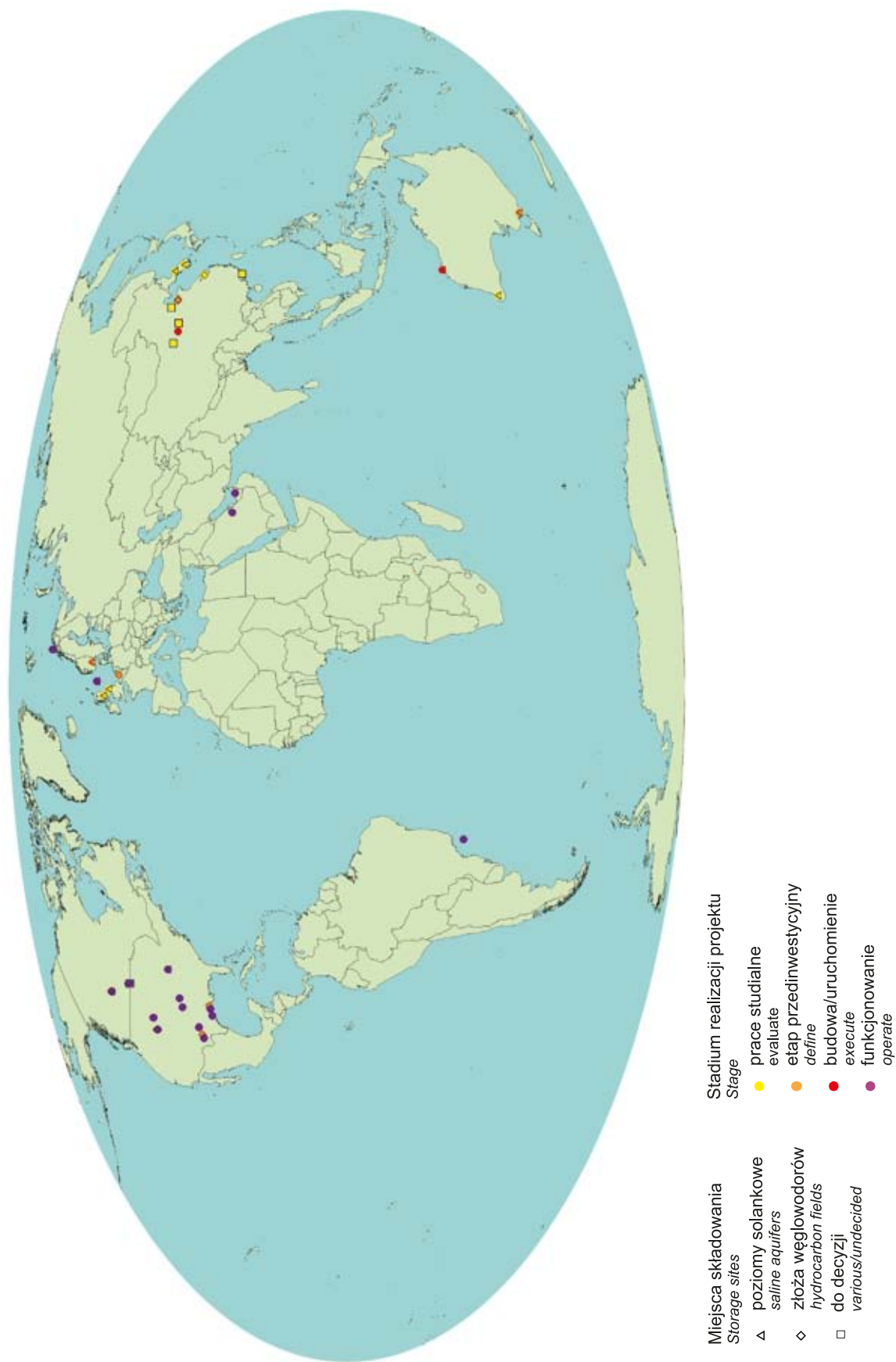


Fig. 1. Schemat geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub>, Wystawa „Klimat a węgiel”, PIC-PIB, 2009 r. (opracowanie: firma graficzna Bloor)

Scheme of geological sequestration of CO<sub>2</sub>, Exhibition "Climate and coal", PGI-NRI, 2009 (graphic by Bloor Company)



**Fig. 2. Status projektów CCS na świecie: 2015 r. (Global CCS Institute, <http://www.globalccsinstitute.com>)**

The global status of CCS projects for 2015 (Global CCS Institute, <http://www.globalccsinstitute.com>)

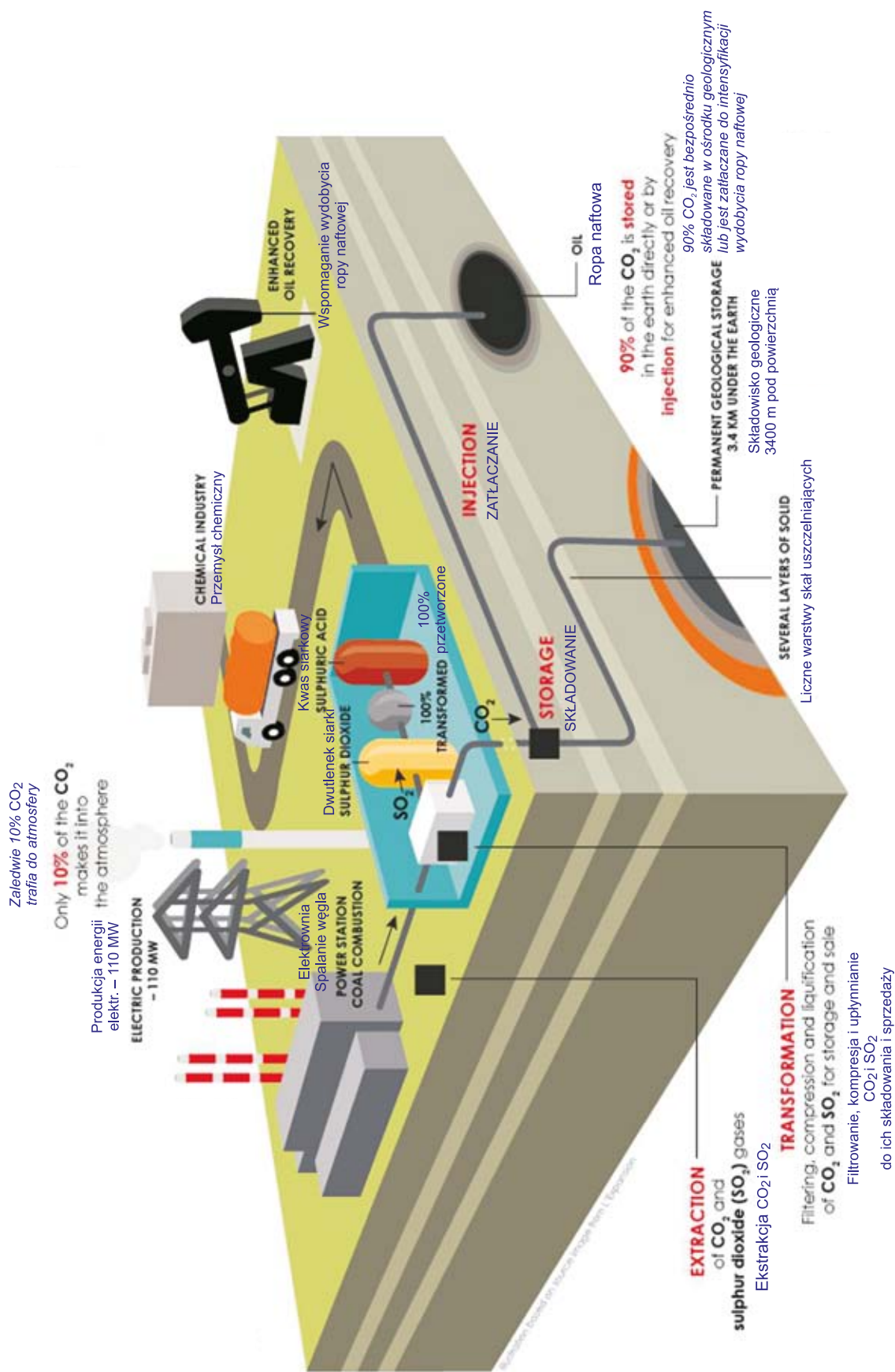


Fig. 3. Boundary Dam Power Station – schematyczny obraz wychwytu i składowania dwutlenku węgla (<https://www.flickr.com/photos/saskpower/20797776173>)

Boundary Dam Power Station – schematic image of carbon dioxide capture and storage (<https://www.flickr.com/photos/saskpower/20797776173>)

października 2017 r. w Boundary Dam Unit 3 wychwycono 1 748 850 ton CO<sub>2</sub> ([http://www.saskpower.com/wp-content/uploads/BD3\\_Oct\\_2017.jpg](http://www.saskpower.com/wp-content/uploads/BD3_Oct_2017.jpg)).

#### PROJEKT: GREAT PLAINS SYNFUELS PLANT AND WEYBURN-MIDALE

Znaczącym projektem ograniczającym emisję gazów cieplarnianych do atmosfery jest także Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale (Saskatchewan, Kanada). Od 2000 r. ok. 3 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie jest wychwytywane przy produkcji gazu syntetycznego (tzn. metanu z domieszkami) z węgla w instalacji Great Plains Synfuels w USA (w pobliżu Beulah, południowo-zachodnia Północna Dakota) (<http://www.globalccsinstitute.com/projects/great-plains-synfuel-plant-and-weyburn-midale-project>). Dzięki temu emisja CO<sub>2</sub> w elektrowni została zredukowana o 45%. Dziennie zakład przetwarza 18 tys. ton węgla brunatnego i produkuje ponad 4 tys. ton gazu syntetycznego.

Wychwycony CO<sub>2</sub> jest kompresowany i transportowany rurociągiem o długości 329 km do wykorzystania przy wydobyciu ropy na polach naftowych Weyburn i Midale (Kanada).

Na polu Weyburn zatłaczanie rozpoczęto w 2000 r. w ilości ok 2,4 mln ton rocznie. Na polu Midale CO<sub>2</sub> składa się od 2005 r. i jego ilość ocenia się na 0,6 mln ton rocznie. Szacuje się, że na obu polach zostanie zatłoczone ok. 40 mln ton dwutlenku węgla. Główne strefy iniekcji to węglany Missisippian (karbon), ok. 1500 m p.p.t.

Projekt jest realizowany w dwóch fazach. Pierwsza, trwająca w latach 2000–2004, obejmowała charakterystykę geologiczną, predykcję, monitoring oraz weryfikację przemieszczania się CO<sub>2</sub>, określenie pojemności zbiornika i predykcję rozprzestrzeniania się CO<sub>2</sub>, oszacowanie długoterminowego ryzyka istnienia składowiska CO<sub>2</sub> (<https://www.netl.doe.gov/publications/factsheets/project/Proj282.pdf>). Na podstawie m.in. badań sejsmiki 3D oceniono integralność dwóch poziomów uszczelniających – formacji Watrous (regionalne uszczelnienie) i poziomu uszczelniającego składającego się z ewaporatów Midale i warstw Ratcliffe. Zrealizowano program badań integralności otworów. Przeprowadzone testy obejmowały pomiary geofizyki wiertniczej w otworze zarurowanym, testy ciśnienia, pobieranie próbek cementu i testy szczelinowania. Wyniki wskazują na długotrwałą integralność cementów otworowych.

Faza druga projektu rozpoczęła się w 2005 r. Na polu Weyburn wykonano otwory iniekcyjne i realizuje się program monitoringu, w tym m.in. monitoringu geofizycznego, geochemicznego oraz płytkich wód podziemnych (WHITAKER, 2010).

#### PROJEKT: KEMPER COUNTY ENERGY FACILITY

W ramach projektu Kemper County Energy Facility, którego początek działalności komercyjnej planowano na 2016 r., założono wychwyt CO<sub>2</sub> na poziomie 3 mln ton. Tym samym składowane byłoby ok. 65% wytwarzanego dwutlen-

ku węgla. W elektrowni zlokalizowanej w Kemper County (Mississippi) miała być zastosowana technologia TRIG<sup>TM</sup> (Transport Integrated Gasification) uzyskiwania gazu syntezowego (mieszanina tlenków węgla i wodoru) z węgla brunatnego (<http://www.globalccsinstitute.com/insights/authors/pamelatomski/2013/10/17/large-scale-ccs-demonstrations-and-kemper-project>; <http://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2011/co2capture/25Aug11-Nelson-Kemper-Capture-at-Kemper-IGCC.pdf>). Gaz syntezowy miał być oczyszczany i stosowany jako paliwo do produkcji energii elektrycznej. Produkty uboczne procesu zgazowania, takie jak: CO<sub>2</sub>, amoniak i kwas siarkowy, byłyby sprzedawane. Wychwycony CO<sub>2</sub> miał być sprężany do płynu w stanie nadkrytycznym, a następnie transportowany rurociągami do pól naftowych Mississippi i zatłaczany do górotworu w celu intensyfikacji wydobycia ropy naftowej. Dwutlenek węgla odzyskany w projekcie Kemper zastąpiłoby obecne źródło CO<sub>2</sub> z naturalnego zbiornika Jackson Dome.

Technologia TRIG<sup>TM</sup> stosowana w projekcie Kemper była przez ponad 15 lat rozwijana w National Carbon Capture Center w Alabamie, gdzie z powodzeniem działa w skali pilotażowej. W projekcie w Kemper miała ona być po raz pierwszy zastosowana na skalę komercyjną. Z uwagi na problemy techniczne, na które napotkano podczas testowania instalacji do komercyjnej produkcji gazu syntezowego z węgla brunatnego oraz związane z tym opóźnienia w harmonogramie inwestycji i problemy finansowe, projekt zawieszono w czerwcu 2017 r. (<https://arstechnica.com/information-technology/2017/06/7-5-billion-kemper-power-plant-suspends-coal-gasification/>).

## PODSUMOWANIE

Spośród ponad 20 dużych projektów CCS, aktualnie funkcjonujących lub znajdujących się na końcowych etapach inwestycji (fig. 2), scharakteryzowano trzy przykładowe projekty zlokalizowane w Ameryce Północnej. Dwa z nich (Weyburn-Midale i Boundary Dam) funkcjonują już od pewnego czasu, natomiast finansowanie trzeciego projektu (Kemper County), po wybudowaniu instalacji wychwytu, jest aktualnie zawieszona.

Przegląd i analiza realizowanych, uruchamianych lub planowanych projektów CCS uświadamia, że z każdym z nich wiąże się wymierna ilość gazów cieplarnianych, które nie trafią do atmosfery. Tym samym stanowią one obiecującą drogę do ograniczenia nadmiernej emisji gazów spowodowanej działalnością człowieka i jej negatywnego oddziaływania na klimat, który wpływa również na nasze życie, ekonomię, pracę itp.

## LITERATURA

GLOBAL CCS INSTITUTE, 2015 – The Global Status of CCS: 2015, Summary Report. Melbourne, Australia. Dostępne: <http://hub-member.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/196843/global-status-ccs-2015-summary.pdf>

- IPCC, 2014 – Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland.
- PIENKOWSKI G., NIEDŹWIEDZKI G., BRAŃSKI P., 2014 – Special paper of the Geological Society of America – September 2014. Dostępne: [http://www.researchgate.net/publication/265368515\\_Climatic\\_reversals\\_related\\_to\\_the\\_Central\\_Atlantic\\_magmatic\\_province\\_caused\\_the\\_end-Triassic\\_biotic\\_crisis\\_Evidence\\_from\\_continental\\_strata\\_in\\_Poland](http://www.researchgate.net/publication/265368515_Climatic_reversals_related_to_the_Central_Atlantic_magmatic_province_caused_the_end-Triassic_biotic_crisis_Evidence_from_continental_strata_in_Poland).
- WHITTAKER S., 2010 – IEA GHG Weyburn-Midale CO<sub>2</sub> Storage & Monitoring. Internet: [http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/10/rcsp/presentations/Tues%20am/Karen%20Cohen/Whittaker.%20WMP\\_Regional%20Partnership.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/10/rcsp/presentations/Tues%20am/Karen%20Cohen/Whittaker.%20WMP_Regional%20Partnership.pdf).
- <http://aquistore.ca/project>
- <http://saskpowerccs.com/ccs-projects/boundary-dam-carbon-capture-project/>
- <http://www.globalccsinstitute.com/insights/authors/pamelatomski/2013/10/17/large-scale-ccs-demonstrations-and-kemper-project>
- <http://www.globalccsinstitute.com/projects/great-plains-synfuel-plant-and-weyburn-midale-project>
- <http://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2011/co2capture/25Aug11--Nelson-Kemper-Capture-at-Kemper-IGCC.pdf>
- <https://www.netl.doe.gov/publications/factsheets/project/Proj282.pdf>

## SUMMARY

Worldwide studies indicate that the total anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub> from the beginning of the industrial era might have caused a temperature rise of approx. 1°C. Therefore, it is also reasonable to ask what to do in order to make (the anthropogenic) climate change on Earth not big or severe?

The article presents one of approaches to reduction of CO<sub>2</sub> emissions – the implementation of Carbon Capture and Storage (CCS) projects. A number of examples of such projects is presented. The first presented project is Boundary Dam Carbon Capture and Storage (Saskatchewan, Canada). The maximum capture capacity is set at 1.3 million tons of CO<sub>2</sub> per year (the equivalent of emissions from 300,000 cars on roads per year). The CO<sub>2</sub> emissions from the power plant to the atmosphere can be reduced by 90%. In November 2017, information was published that from the start of operations in October 2014 to the end of October 2017 at Boundary Dam Unit3 1,748.850 tons of CO<sub>2</sub> were captured.

The second example of the project leading to the reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere is Great Plains Synfuels and Weyburn-Midale Project. About 3 million tons of CO<sub>2</sub> per year is captured in the

facility producing synthetic gas at the Great Plains power plant in the US (North Dakota) and transported for the use to increase oil production of the Weyburn and Midale oil fields in Canada (Saskatchewan). Since 2000, the CO<sub>2</sub> emission in the power plant has been reduced by 45%. The third one is a part of the Kemper County IGCC Project (Mississippi, the US), which was planned to start commercial operations in 2016, and CO<sub>2</sub> capture at the level of 3.5 million tonnes was forecasted. Hence, about 65% of the carbon dioxide produced by the power plant would be stored. The captured CO<sub>2</sub> was to be used in the oil fields located nearby and injected into the rock mass to intensify the extraction of oil. It would replace the current CO<sub>2</sub> source from the Jackson Dome natural reservoir. Unfortunately, due to technical problems during testing the installation for commercial production of syngas, and related delays in the investment schedule and financial problems, the project was suspended in June 2017.

Overview of CCS projects allows us to conclude that they might be a promising way to reduce emissions of greenhouse gases and their impact on the climate and human life.

