

ANDRZEJ T. SZABLEWSKI

**Katedra Ekonomii
Politechniki Łódzkiej**

SZANSE, ZAGROŻENIA I BARIERY TECHNOLOGII CCS

Opiniodawca: **prof. dr hab. Eugeniusz Wojciechowski**

Przedmiot artykułu dotyczy najbardziej perspektywicznej technologii wytwarzania energii elektrycznej z paliw kopalnych (węgla i gazu), za jaką uważana jest technologia wychwytywania i magazynowania CO₂, powszechnie określana jako CCS. Jego celem jest uporządkowanie podstawowej wiedzy o szansach, ale i zagrożeniach i ryzykach związanych ze stosowaniem tej technologii. Punktem wyjścia jest zaprezentowanie technologii CCS w szerszym kontekście szybko rozwijającej się dyskusji wokół niskoemisyjnej elektroenergetyki i znaczenia tej technologii dla modernizacji polskiej elektroenergetyki. W dalszej części wskazano na czynniki, które przemawiają za jej stosowaniem. Zasadnicza część artykułu poświęcona jest omówieniu podstawowych problemów, na jakie natrafiać będzie jej wprowadzenie do praktyki. Dotyczą one zarówno technicznych, jak i społecznych (przezyczenie na jej stosowanie) i ekonomicznych aspektów tej technologii. Niewątpliwie ze względu na trwające od lat procesy liberalizacji elektroenergetyki ten ostatni aspekt zyskiwać będzie na znaczeniu zarówno w odniesieniu do fazy projektów demonstracyjnych, jak i fazy, kiedy technologia ta stanie się standardową praktyką.

1. Uwagi wstępne

Elektroenergetyka w krajach rozwiniętych, w tym także i w Polsce, stoi u progu nowego cyklu inwestycyjnego. Na skutek różnych przyczyn, w ciągu ostatnich dwóch dekad w sposób bardzo poważny spowolnione zostały procesy budowy nowych mocy wytwórczych, zwłaszcza w elektroenergetyce węglowej i atomowej, co sprawiło, że w najbliższych latach będzie lawinowo rosła liczba elektrowni, które zostaną wyłączone. W szczególnie silnym stopniu proces ten dotknie krajową elektroenergetykę, która – co ma kluczowe znaczenie dla tematu

tego opracowania – w stopniu niespotykanym na świecie opiera się elektrowniach węglowych, stanowiących ponad 95% potencjału wytwórczego. Struktura wiekowa polskich elektrowni wskazuje, że aż 40% krajowego potencjału to elektrownie działające ponad 30 lat, a dalsze 34% to elektrownie, których wiek kształtuje się w przedziale 20-30 lat [por. Mielczarski, 2006, s. 37]. A zatem jeśli przyjąć, że przeciętny okres eksploatacji elektrowni węglowych wynosi 40 lat, oznacza to, że w najbliższych latach krajowy potencjał wytwórczy będzie się bardzo szybko kurczył, a zatem sprostanie szybko narastającemu popytowi na energię elektryczną wymagać będzie podjęcia potężnych inwestycji w nowe moce wytwórcze. Należy podkreślić, że dotyczy to również elektrowni węglowych w całej Europie, których udział w produkcji energii wynosi obecnie około 30%. Według szacunków w ciągu najbliższych 10-15 lat ponad 1/3 całkowitej mocy tego rodzaju elektrowni w UE osiągnie kres okresu eksploatacji [Malko, 2007].

Problem, jaki tu powstaje nie dotyczy tylko znalezienia odpowiednich źródeł i mechanizmów sfinansowania tak dużego programu inwestycyjnego, ale także, a w naszych warunkach przede wszystkim, budowy takich źródeł wytwarzania energii elektrycznej, które spełniać będą coraz ostrzejsze wymagania w zakresie redukcji emisji CO₂. Skala tego wyzwania polega na tym, że elektroenergetyka węglowa jest największym emitentem tego gazu. Jej udział w całkowitej emisji CO₂ pochodzącej z europejskiego sektora elektroenergetycznego kształtuje się na poziomie 70%, co odpowiada 24% globalnej emisji tego gazu z terenu UE [Commission Communication... 2006, s. 1]. Jeśli zatem polska elektroenergetyka chce nadal opierać się na węglu – co z punktu widzenia zachowania bezpieczeństwa dostaw wydaje się opcją najbardziej właściwą w naszych warunkach, ze względu na duże, własne zasoby węgla kamiennego i brunatnego – to warunkiem koniecznym jest wejście na drogę jej zasadniczej modernizacji. Najpoważniejszym obecnie kierunkiem, zorientowanej na zasadniczą redukcję CO, modernizacji elektroenergetyki węglowej jest technologia wychwytu i geologicznego magazynowania tego gazu określana jako technologia CCS (*Carbon capture and storage*).

Polska elektroenergetyka uczyniła już pierwszy krok w kierunku stosowania tej technologii. Stało się to możliwe dzięki podjętej w ostatnich miesiącach decyzji Komisji Europejskiej o przyznaniu Polsce finansowego wsparcia w wysokości 180 mln euro dla realizowanego w Elektrowni Bełchatów tzw. demonstracyjnego projektu instalacji wychwytu i magazynowania geologicznego CO₂ pochodzącego z budowanego obecnie tam bloku 858 MW. Decyzja ta wymaga nieco szerszego komentarza, który pokazałby znaczenie tego projektu w kontekście perspektyw rozwoju elektroenergetyki światowej i rysujących się w związku z tym wyzwań dla polityki energetycznej kraju. Jeśli nie liczyć periodyków branżowych, ciągle jeszcze bardzo rzadko w krajowej literaturze ekonomicznej podejmowane są kwestie kierunków rozwoju elektroenergetyki i powstające w związku z tym wyzwania i dylematy, których implikacje mają nie tylko charakter ekonomiczny, ale i społeczny, biorąc pod uwagę fakt, że zastosowanie niskoemisyjnych technologii znacząco zwiększy koszty wytwarzania, a więc i ceny energii elektrycznej.

Spróbujmy zatem nieco uporządkować podstawową wiedzę o szansach, ale i zagrożeniach oraz ryzykach związanych z tą technologią, które dotąd postrzegane są jako bariery utrudniające jej zastosowanie w szerokiej skali w sektorze elektroenergetycznym. Dotyczą one zarówno technicznych, jak i społecznych (przyzwolenie na jej stosowanie) oraz ekonomicznych aspektów tej technologii.

2. Kontekst problemu

Postulat niskoemisyjnej elektroenergetyki po latach dyskusji staje się podstawowym wyznacznikiem rozwoju elektroenergetyki. U podstaw tego postulatu leży przekonanie, że po pierwsze, od pewnego czasu następuje w coraz szybszym tempie ocieplanie się klimatu, którego negatywne skutki już się ujawniają, zaś w przypadku, jeśli tego rodzaju zmiany klimatyczne będą się pogłębiać grozi to nieodwracalnymi, katastrofalnymi skutkami dla świata oraz po drugie, główną przyczyną tych zmian jest gwałtownie rosnąca – na skutek rozwoju gospodarczego – emisja gazów cieplarnianych, w tym zwłaszcza CO₂. Odnotujmy zatem tylko dla porządku, że obecnie już tylko na obrzeżach głównego nurtu dyskusji o klimatycznych implikacjach emisji CO₂ funkcjonują również w obiegu naukowym poglądy, które w sposób zasadniczy kwestionują potrzebę radykalnej i bardzo kosztownej redukcji CO₂, wskazując na dwa rodzaje argumentów. Po pierwsze, że faza ocieplania klimatu niedawno się zakończyła i obecna rozpoczyna się faza oziębienia klimatu oraz po drugie, że główne przyczyny zmian klimatycznych należy lokować w zjawiskach całkowicie niezależnych od działalności gospodarczej; są one bowiem wynikiem cyklicznych zmian aktywności słońca oraz promieniowania kosmicznego. Tego rodzaju stanowisko zostało przedstawione w podpisanym przez 100 wybitnych naukowców liście do sekretarza generalnego ONZ. Szerzej o tym stanowisku w dwóch tekstach autorstwa polskich profesorów [Jaworski, 2008 oraz P. Mastalerz 2009].

Niezależnie jednak od tego, czy i w jakim stopniu jesteśmy sceptykami tego rodzaju interpretacji zmian klimatycznych, uważa się, że czas dyskusji, jeśli chodzi o pytania o kierunek i przyczyny zmian klimatycznych oraz związane z tym implikacje dla elektroenergetyki, już się zakończył [Sioshansi, 2009, s. 64]. Wpłynęły na to trzy czynniki. Po pierwsze, niezwykle aktywność zwolenników poglądu, że przyczyną niekorzystnych zmian klimatu jest stale rosnąca – wskutek rozwoju gospodarczego – emisja gazów cieplarnianych¹. Po drugie, publikacja dwóch ważnych raportów [IPCC, 2005, Stern, 2006], które w oparciu o wszechstronną analizę przyczyn i skutków zmian klimatycznych w sposób niezwykle sugestywny przedstawiły katastrofalne konsekwencje braku działań na rzecz radykalnej redukcji emisji CO₂, wskazując jednocześnie, że najważniejszym kierunkiem działań jest stworzenie niskoemisyjnej elektroenergetyki. Po trzecie, wybór nowego prezydenta USA oznacza zasadniczą zmianę, jeśli chodzi o polityczne poparcie dla programu

¹ Wiodącą rolę odegrały tu zwłaszcza publikacje R. Socolowa [por. np. Socolow i Pacala, 2006].

działań na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Dotąd bowiem Stany Zjednoczone, sprzeciwiały się wszelkim tego rodzaju inicjatywom, podejmowanym zwłaszcza przez Komisję Europejską. Jeśli więc uwzględnić fakt, że USA są odpowiedzialne za 25% światowej emisji, ich opór uniemożliwiał skuteczną realizację każdego programu ograniczania emisji.

W kategoriach ekonomicznych realizacja postulatu niskoemisyjnej elektroenergetyki oznacza, że koszty emisji CO₂ będą stałym już elementem rachunku ekonomicznego, który determinować będzie wybór kierunków inwestowania w źródła wytwarzania. W tym zakresie wybór sprowadza się do czterech zasadniczych opcji. Są nimi: a) wprowadzenie na szeroką skalę do energetyki węglowej technologii separacji i składowania CO₂ (tzw. CCS – *Carbon Capture and Storage*), b) rozwój energetyki atomowej, c) postawienie na rozwój energetyki odnawialnej i wreszcie d) osiągnięcie zasadniczej poprawy efektywności energetycznej w fazie pozyskiwania, przetwarzania i zużycia energii elektrycznej. Nie wchodząc w szczegóły [patrz: Ch.W. Frei, 2008] trwającej właśnie dyskusji, który z tych kierunków winien mieć charakter priorytetowy, spór najogólniej rzecz ujmując toczy się między zwolennikami energetyki opartej na dużych źródłach energii a zwolennikami energetyki rozproszonej. W pierwszym przypadku technologiami wiodącymi są technologia CCS oraz energetyka atomowa, w drugim zaś technologie zorientowane na odnawialne źródła energii oraz podnoszenie efektywności energetycznej².

Z polskiej perspektywy najważniejsze – ze względu na strukturę zasobów surowców energetycznych – znaczenie jako kierunek rozwoju i modernizacji podsektora wytwarzania i energii elektrycznej ma technologia CCS³. Co więcej, fakt, że przyznane przez KE środki na realizację projektu demonstracyjnego w zakresie technologii CCS dotyczą produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego ma tutaj szczególnie istotne znaczenie. Decydują o tym dwie okoliczności. Po pierwsze, biorąc pod uwagę obiektywnie wysokie, w stosunku do innych krajów, koszty wydobycia węgla kamiennego w Polsce, energia elektryczna z węgla brunatnego jest znacznie tańszą alternatywą. Po drugie, mamy jeszcze ogromne zasoby łatwo dostępnego węgla brunatnego, których eksploatacja mogłaby stanowić podstawę naszego bezpieczeństwa energetycznego w zakresie dostaw energii elektrycznej, pod jednym wszakże warunkiem, że uda się w sposób zasadniczy rozwiązać problem emisyjności tego sposobu jej pozyskiwania. Trzeba jednak mocno podkreślić, że wdrożenie tego projektu będzie dopiero pierwszym krokiem na bardzo trudnej, i obciążonej bardzo różnymi rodzajami ryzyka, drodze do zastosowania tej technologii w elektroenergetyce węglowej w skali umożliwiającej na tyle istotne zmniejszenie

² Argumentację za tą drugą opcją, a przeciwko pierwszej przedstawiają np.: [A. Verbruggen, 2008 i *Energy Technologies*, 2006].

³ Technologia ta przez wielu polityków, ekspertów i środowisk uważana jest za najważniejszą technologię, która pogodzić może racje bezpieczeństwa dostaw i redukcji CO₂. Stanowisko takie reprezentowane jest m.in. przez autorów przygotowanego dla Światowej Rady Energetycznej (*World Energy Council*) opracowania pt. *Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050*. Streszczenie głównych tez tego opracowania przedstawia np. H-W Schiffer [2008].

CO₂, aby sprostać już przyjętym lub zapowiadanym w przyszłości rygorystycznym regulacjom w tym zakresie.

3. Obecny status technologii CCS

Technologia CCS opiera się na zdawałoby się prostym pomysśle, aby w toku spalania węgla oddzielać CO₂, a następnie transportować go do miejsc, gdzie byłby magazynowany w sposób trwały. Uważa się, że technologia ta może pozwolić na wychwycenie i zmagazynowanie około 90% CO₂ powstającego w procesie spalania węgla. Mimo tego, że technologia ta jest już od dłuższego czasu stosowana przez firmy wydobywające ropę naftową i gaz, o czym dalej, to jak dotąd nie została ona jeszcze wykorzystana w żadnej dużej elektrowni na świecie. Poważne zainteresowanie możliwością zastosowania CCS w elektroenergetyce datuje się bowiem dopiero od początku tej dekady. Znalazło to wyraz nie tylko w narastającej liczbie publikacji na temat potencjalnych korzyści, związanych z takim jej zastosowaniem, ale także w umacniającym się wśród ekspertów związanych z sektorem energetycznym przekonaniu, że jest to jedna z najbardziej obiecujących, energetycznych technologii nieodległej przyszłości. Świadczy o tym chociażby przygotowany dla Światowej Rady Energetycznej (*World Energy Council*) raport pt. *Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050*, którego główne tezy streszcza [Schiffer, 2009].

Innym, ważnym faktem było opublikowanie, sygnowanego przez wspomniany już IPPC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* – uważany za najbardziej wpływową i autorytatywną instytucję w obszarze walki z ociepleniem klimatu, specjalnego raportu [Special Report..., 2005]. W Raporcie tym dokonano obszernego przeglądu i analizy najważniejszych aspektów związanych z technologią CCS. W konkluzjach tego raportu znalazło się stwierdzenie, że technologia ta ma na tyle duży potencjał w zakresie redukcji emisji CO₂, aby sądzić, że jej zastosowanie może do 2050 roku umożliwić zmagazynowanie około 50% całkowitej emisji tego gazu [*Scoping Paper...*, 2004, s.1]. Wreszcie technologia ta zyskuje poparcie w najwyższych kręgach politycznych. Wskazują na to wnioski z odbytego w roku 2005 spotkania przywódców największych krajów (tzw. G-8), w których podkreśla się, że wdrożenie tej technologii ma krytyczne znaczenie dla zahamowania niekorzystnych zmian klimatycznych. Co więcej, w niektórych krajach przygotowano już szereg szczegółowych raportów dotyczących różnych aspektów jej stosowania.

Z naszego punktu widzenia zasadnicze znaczenie ma fakt, że Komisja Europejska traktuje technologię CSS jako jeden z najważniejszych warunków realizacji, ogłoszonej w marcu 2006 roku, tzw. *Zielonej Księgi – europejskiej strategii zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii*, która wraz z dwoma innymi dokumentami [*Commission Communication...*, 2007 oraz *EC Directorate...*, 2007]

wchodzącymi w skład tzw. Pakietu energetycznego (*Energy Package*), wytyczyła nową politykę energetyczną dla UE.

Polityka ta streszcza się w używanej potocznie formule *3x20*, za którą kryją się cele, które mają być osiągnięte do roku 2020. Są nimi: zwiększenie o 20% efektywności energetycznej (w stosunku do jej poziomu w 1990 roku) i udziału energii odnawialnej w łącznym bilansie energetycznym oraz zredukowanie o 20% emisji CO₂ (również w stosunku do 1990 roku), możliwością jej zwiększenia do 30%, jeśli pozwolą na to uwarunkowania zewnętrzne.

Ten nacisk na wdrożenie technologii CSS wynika z kilku powodów.

Po pierwsze, staje się jasne, że spełnienie bardzo wyśrubowanych celów w zakresie obniżenia emisji nie będzie możliwe tylko poprzez – jak chciałoby wiele środowisk broniących środowiska naturalnego – rozwój energetyki odnawialnej i działania na rzecz zwiększania efektywności energetycznej.

Po drugie, dynamiczny w ostatnich latach rozwój elektroenergetyki opartej na gazie naturalnym – która charakteryzuje się dwukrotnie niższą emisją CO₂, natrafia na bariery związane nie tylko z rosnącymi w ostatnich latach cenami gazu, ale przede wszystkim z rosnącymi obawami o bezpieczeństwo dostaw, które wynikają nie tyle z braku odpowiednich zasobów gazu, ale przede wszystkim z faktu lokalizacji głównych zasobów gazu w krajach, które nie gwarantują oparcia polityki dostaw gazu wyłącznie na przesłankach ekonomicznych.

Po trzecie, węgiel charakteryzuje się wieloma zaletami, w tym zwłaszcza wielkością, rozmieszczeniem i dostępnością do zasobów. O ile możliwy okres dalszej eksploatacji zasobów ropy i gazu mierzy się w dekadach, o tyle w przypadku węgla są to setki lat. Zasoby węgla są ponadto znacznie bardziej równomiernie rozłożone w sensie geograficznym i w sposób, który nie rodzi obaw o bezpieczeństwo jego dostaw. Wreszcie dostęp do bardzo znaczącej części zasobów węgla nie będzie wiązać się z żadnymi szczególnymi problemami technicznymi, w przeciwieństwie do ropy i gazu, których wydobycie będzie się stopniowo przesuwając do złóż wymagających rozwiązywania coraz trudniejszych problemów technicznych i angażowania ogromnych nakładów kapitałowych.

Po czwarte, trudno sobie wyobrazić, aby można było zahamować niezwykle szybko postępujący rozwój elektroenergetyki węglowej w krajach rozwijających się, w tym zwłaszcza w tak dużych krajach, jak Indie i przede wszystkim Chiny, gdzie co tydzień uruchamiana jest duża elektrownia węglowa. Utrzymywanie się tak wysokiego tempa jej rozwoju, bez zastosowania tam technologii CCS, oznaczać będzie gwałtowny wzrost tempa całkowitej emisji CO₂ do atmosfery ziemskiej. Wzrostu tego nie będą bowiem w stanie zahamować nawet najbardziej drastyczne programy redukcji emisji, podejmowane w krajach rozwiniętych. Problem, jaki zdaniem obrońców klimatu pojawia się polega na tym, że istnieje granica dopuszczalnej zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze ziemskiej, której przekroczenie oznaczać będzie nieodwracalne zmiany klimatu, wraz ze wszystkimi negatywnymi, czy wręcz katastrofalnymi, skutkami dla gospodarki i społeczności światowej.

Po piąte, zwolennicy technologii CCS podkreślają, że wszystkie podstawowe elementy tej technologii, a więc oddzielania CO₂, jego transport i składowanie są już od pewnego czasu stosowane, a zatem główny problem polega na tym, aby doświadczenia tam zdobyte wykorzystać w skali odpowiadającej rozmiarowi emisji CO₂ przez elektroenergetykę węglową.

Po szóste, zwolennicy tej technologii uważają, że po pokonaniu fazy projektów demonstracyjnych, których sfinansowanie wymagać będzie wsparcia środkami ze źródeł publicznych, przejście do fazy stosowania tej technologii w skali przemysłowej będzie możliwe na warunkach komercyjnych.

Po siódme wreszcie, uważa się, że technologia ta może natrafić na mniejszy opór opinii publicznej, niż w przypadku energetyki atomowej, której rozwój od lat w wielu krajach blokowany jest właśnie przez ten właśnie czynnik.

Mimo tych wielu potencjalnych zalet zastosowanie technologii CCS w elektroenergetyce – poza jednym wyjątkiem, a mianowicie uruchomioną we wrześniu w Niemczech przez Wattenfall instalacją CCS przy bloku o mocy 30 MW⁴ – technologia ta ciągle jeszcze w zasadzie znajduje się w fazie deklarowania zamiaru rozpoczęcia projektów demonstracyjnych. Oblicza się, że w takiej fazie znajduje około 20 projektów na świecie [Gibbins, Chalmers, 2008]. Jak dotąd liderem w tym zakresie jest Unia Europejska. Zgodnie z warunkami towarzyszącymi przyznaniu 12 projektom – w tym również wspomnianemu już na wstępie projektowi w Belchatowie – środków (o łącznej wartości 1.25 mld. \$) na częściowe współfinansowanie ich realizacji, projekty te muszą być sfinalizowane do końca 2015 roku. Co więcej, zgodnie z już przyjętymi przez Parlament Europejski wymaganiami, każda uruchamiana po 2015 roku duża elektrownia węglowa będzie musiała mieć instalację CCS. Krajem bardzo zaawansowanym w działaniach na rzecz zastosowania tej technologii w szerszej skali jest Wielka Brytania. W 2008 roku rząd brytyjski ogłosił przetarg na budowę bloku 300-400 MW wraz z instalacją CCS. Idea tego przetargu polega na tym, że rząd sfinansuje dodatkowe koszty związane z instalacją CCS.

Ten optymistyczny obraz nie może jednak przesłaniać problemów, od rozwiązania których zależeć będzie przyszłość tej technologii. Chodzi tu zarówno o kwestie technologiczne, ale i ekonomiczne, instytucjonalne, prawne i wreszcie związane z pozyskiwaniem społecznego poparcia dla tej technologii.

4. Aspekty techniczne

Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że biorąc pod uwagę fakt, że wszystkie trzy podstawowe elementy tej technologii – czyli sekwestracja, transport oraz magazynowanie podziemne – od pewnego czasu stosowane są już w sektorze wydobywania ropy gazu oraz przemyśle chemicznym, w sensie czysto technicznym

⁴ Pierwsze doświadczenia związane z funkcjonowaniem tego projektu są bardzo zachęcające [Trouble in..., s. 64].

zastosowanie tej technologii nie powinno rodzić jakiś szczególnych przeszkód, a tym bardziej być traktowane w kategoriach przełomu technologicznego.

Jak dotąd, najdłuższe doświadczenia związane z oddzielaniem, transportowaniem i magazynowaniem mają firmy wydobywające ropę i gaz. Na przykład Exxon Mobil na największą na świecie skalę oddziela CO₂ od wydobywanego gazu, a następnie transportuje go do miejsc wydobywania ropy, gdzie CO₂ jest wtłaczany do złóż, które ze względu na ograniczenia obecnej technologii wydobywania nie mogły być już dalej eksploatowane. Wtłaczany do tych złóż CO₂ pozwala bowiem wypchnąć zalegające w nich jeszcze pokaźne zasoby ropy. W USA już w tej chwili technologia ta – zwana jako EOR (*enhanced oil recovery*) – uznawana jest, ze względu na skalę jej stosowania – łączna ilość szybów do których wtłaczany jest CO₂ wynosi 86, zaś łączna długość sieci rurociągów transportujących CO₂ osiągnęła już około 5000 km – za technologię dojrzałą (*mature*) [por. np. Cohen i inni, 2009, s. 31].

Jak się wydaje najmniejszy problem od strony technicznej przedstawia pierwszy element tej technologii, tj. wychwytywanie CO₂. Największa tego typu instalacja działa już od 1978 roku w jednej z amerykańskich fabryk chemicznych, wykorzystujących wychwytywany ze spalania węgla CO₂ do produkcji węgla sodu niezbędnego, jako półprodukt, w dalszych procesach produkcyjnych. Instalacja ta pozwala uzyskiwać na dobę 900 ton CO₂, co odpowiada ilości tego gazu emitowanego przez elektrownię węglową o mocy 35 MW [Coen i inni, 2009]. Obecnie znane są trzy podstawowe metody sekwestracji CO₂, które nadają się do zastosowania w elektrowniach węglowych lub gazowych. Każda z nich prezentuje na tyle zbliżone parametry techniczne i ekonomiczne, aby przynajmniej obecnie traktować je jako konkurencyjne. Jedyną istotną różnicą dotyczy tego, że tylko jedna z tych trzech metod może być również stosowana w formie dobudowanej do istniejących już elektrowni węglowej lub gazowej, instalacji separacji CO₂. Tego typu elektrownie określane są jako tzw. *Nowgen*, w przeciwieństwie do elektrowni typu *Futuregen*, które będą budowane wraz z instalacją CSS.

Nie ma również większych problemów z drugim elementem tej technologii, bowiem wszystko wskazuje na to, że można tu będzie korzystać z bogatych już doświadczeń związanych z budową i eksploatacją rurociągów gazowych. Znacznie większe natomiast problemy wiążą się z ostatnim elementem tej technologii, a mianowicie magazynowaniem CO₂. Dotyczą one zwłaszcza dwóch kwestii. Pierwsza z nich dotyczy miejsca składowania, druga zaś bezpieczeństwa, szczególnie w związku z możliwością nieszczelności miejsc składowania. W pierwszym przypadku rozważa się dwa możliwe rozwiązania. Pierwsze z nich zakłada wtłaczanie CO₂ pod powierzchnię ziemi na głębokość co najmniej 1 km, drugie, znacznie mniej prawdopodobne, składowanie gazu na dnie oceanów. W tym drugim przypadku głównym źródłem ryzyka jest możliwość zniszczenia życia biologicznego w wodach oceanów.

W przypadku podziemnego magazynowania CO₂ naturalnymi, możliwymi do szybkiego zagospodarowania lokalizacjami są wyeksploatowane szyby naftowe oraz gazowe. Oczywiście tego rodzaju rozwiązanie możliwe jest tylko w przypadku

krajów, gdzie kończy się eksploatacja złóż gazu i ropy i, co więcej, w krajach tych magazynowanie CO₂ byłoby stosowane razem z metodą EOR, co w sposób znaczący poprawiałoby jego ekonomikę. Typowym przykładem jest tutaj Wielka Brytania, której złoża ropy i gazu na Morzu Północnym znajdują się już w końcowej fazie eksploatacji. Z natury rzeczy pojemność takich miejsc do składowania CO₂ jest ograniczona. W przypadku brytyjskim ocenia się, że wykorzystanie tej możliwości do składowania wystarczyłoby na 40 lat, zakładając obecną wielkość emisji CO₂ w tym kraju [Reiner, 2008, s. 427-429, Cohen i inni, 2009, s. 31-32, Gibbins, s. 4317-4320]. Znacznie większe możliwości pod tym względem wiąże się z magazynowaniem CO₂ w półprzepuszczalnych formacjach solnych zlokalizowanych na głębokości 1 km i głębiej. Po zatłoczeniu, CO₂ rozpuszczałby się w zasolonej wodzie, a następnie wypełniałby porowatą skałę bądź ulegał mineralizacji. Ze względu na fakt, że tego rodzaju formacje geologiczne występują bardzo często i ich pojemność jest ogromna – ocenia się, że mogą one pomieścić całą światową emisję CO₂ na okres nawet więcej niż 1000 lat – stąd też to rozwiązanie traktuje się jako docelowe [Cohen i inni, 2009, s. 31].

Należy podkreślić, że poważne badania nad zastosowaniem technologii CCS w skali możliwej do radykalnego ograniczenia emisji CO₂, w tym zwłaszcza kwestii związanych z jego magazynowaniem, dopiero się zaczynają. Jedną z nowych możliwości w tym zakresie wiąże się z występowaniem szczególnego typu skał, zalegających poniżej 20 km, które odznaczają się zdolnością do pochłaniania ogromnych ilości CO₂; zdolność tę można wielokrotnie zwiększyć poprzez działania prowadzące do rozdrobnienia tego rodzaju skał [Eating..., 2008]. W kategoriach praktycznych, kwestia miejsca magazynowania CO₂ jest typowym przypadkiem kwestii, która może być analizowana na konkretnym przykładzie, w oparciu o szczegółowe badania geologiczne. Muszą one nie tylko odpowiedzieć na pytanie o najbardziej korzystne – w stosunku do miejsc, w których CO₂ będzie oddzielany – lokalizacje, ale także określić możliwą pojemność poszczególnych lokalizacji oraz ich właściwości pod względem stopnia, w jakim będzie można zminimalizować ryzyko niekontrolowanego wydobywania się CO₂, a także ryzyko, jakie wynikałoby stąd dla środowiska naturalnego, ludzi i gospodarki.

Kwestia szczelności miejsc składowania należy niewątpliwie do najbardziej kontrowersyjnych, zarówno jeśli chodzi o jej aspekt techniczny, jak i niezmiernie tu ważny – jak pokazują doświadczenia związane z energetyką atomową – wymóg uzyskania społecznego przyzwolenia, zwłaszcza społeczności lokalnych. W kwestii szczelności zwolennicy CCS prezentują daleko idący optymizm, oparty w dużym stopniu na doświadczeniach związanych z eksploatacją złóż gazu naturalnego. Zakładają oni bowiem, że zarówno w przypadku metody EOR, jak i magazynowania CO₂ w pokładach solnych, w ciągu 1000 lat tylko mniej niż 1% zatłoczonego tam gazu wydostałoby się na powierzchnię [Cohen, 2009, s. 31]. Istnieje w tej mierze niewiele dowodów na faktyczną szczelność tego typu składowisk. Znane dotąd badania zdają się potwierdzać optymizm zwolenników, jednak istotną ich słabością jest to, że z oczywistych powodów dotyczą one bardzo krótkiego

okresu. W jednym z dwóch znanych przypadków tego rodzaju badania okres ten wynosił 13 lat. Chodzi tutaj o najdłużej wykorzystywany do celów EOR sposób magazynowania CO₂ w szybach z ropą naftową. Podjęte tam w ostatnich latach przez norweską firmę Statoil badania szczelności wykazały, że wbrew wyrażanym przez sceptyków i przeciwników tej technologii obawom, nie ma żadnych dowodów na wydobywanie się CO₂ na powierzchnię [*Trouble in...*, s. 64].

Jednak – jak dowodzą krytycy tej metody – kwestię tę należy rozpatrywać w dwóch aspektach. Po pierwsze, chodzi o możliwość stosunkowo niewielkiej nieszczelności, która w długim okresie wystarczy, aby w dużym stopniu zniweczyć zakładany przez orędowników tej technologii efekt w zakresie radykalnego ograniczenia emisji. I tak wystarczy, żeby roczne tempo uwalniania się CO₂ z miejsc jego składowania wynosiło zaledwie 1%, aby po 100 latach aż 67% zmagazynowanego gazu ulotniło się do atmosfery [*Trouble in...*, s. 65].

Drugi aspekt wiąże się z istnieniem ryzyka gwałtownego – na skutek np. trzęsienia ziemi – wydobywania się na powierzchnię ziemi dużej ilości zmagazynowanego CO₂. Skutki takiej gwałtownej erupcji tego gazu byłyby katastrofalne, nie tylko ze względu na jego trujące właściwości, ale także fakt, że przekroczenie określonego poziomu zawartości CO₂ w powietrzu mogłoby spowodować w ciągu od 30 do 60 min masowe zgony na skutek uduszenia. Środowiska, związane zwłaszcza z Greenpeace, podkreślają w związku z tym, że ze względu na właściwości CO₂ – jest cięższy od powietrza – część gwałtownie uwolnionego gazu mogłaby nie ulec rozproszeniu, ale osiąść w naturalnych zagłębieniach na powierzchni ziemi lub zalec w budynkach, w których przebywają ludzie. Co więcej, tego rodzaju zagrożenia dla znacznej liczby ludzi istnieją nawet przy znacznie wolniejszym tempie uwalniania się tego gazu [*Energy Technologies*, s. 70.] Przeciwnicy powołują się tutaj na tragiczne w skutkach uwolnienie się dużej ilości CO₂, spowodowane erupcją wulkanu. Wypadek ten zdarzył się w 1986 roku w Kamerunie, pociągając za sobą śmierć ponad 1700 osób. Inny przypadek to spowodowana nagłym wzrostem zawartości CO₂ w powietrzu śmierć 10 osób w jednej z miejscowości włoskich. Oprócz tych tragicznych przypadków, przeciwnicy tej metody wskazują również na wiele przypadków nieszczelności magazynów gazu ziemnego, które pociągały za sobą konieczność ewakuacji ludzi.

5. Aspekt społecznego przyzwolenia

Rzecz jasna, że nagłościanie możliwości wystąpienia tego rodzaju niebezpieczeństw będzie towarzyszyło każdej, rozważanej lokalizacji składowania CO₂. Stąd też niezwykle ważnym elementem przygotowań do wdrożenia tej technologii będzie uzyskanie społecznej akceptacji jej stosowania. Przeprowadzono już w tej mierze wiele badań i analiz dotyczących zarówno poziomu wiedzy o tej technologii w różnych krajach, jak również stopnia akceptacji jej stosowania. Wszystkie te badania wskazują, że po pierwsze, nadal społeczna percepcja tej technologii jest na raczej niskim, a w wielu krajach na bardzo niskim poziomie oraz po drugie, nawet

jeśli poszczególni respondenci słyszeli już o tej technologii, to nie zawsze potrafili prawidłowo określić, jaki jest cel jej stosowania [Reiner i inni, 2006, s. 2].

W przeprowadzonych ostatnio w jednym z regionów Szwecji badaniach opinii publicznej na temat polityki energetycznej, w związku z jej implikacjami w zakresie zmian klimatu oraz stopnia znajomości technologii CCS w porównaniu z innymi technologiami zorientowanymi na emisje szkodliwe dla klimatu okazało się, że o technologii tej słyszało lub czytało 15% respondentów, co jest znacząco mniej w stosunku do wiedzy o innych technologiach pozyskiwania energii, takich jak wykorzystanie reakcji jądrowej (89%), słońca (72%), wiatru (83%), czy biomasy (55). Na kolejne pytanie, czy technologia CCS sprzyja obniżeniu redukcji CO₂, 58% respondentów, wśród których byli również i ci, którzy przyznali, że o terminie tym słyszeli, odpowiedziało prawidłowo, zaś 30 % technologię tę kojarzyło z ograniczaniem kwaśnych deszczów, smogu czy zanieczyszczenia wody [Public and ..., 2007, s. 28-29].

Kiedy wyniki te odniesiono do analogicznych badań przeprowadzonych w wybranych regionach Japonii, Wielkiej Brytanii i USA okazało się, że w porównaniu ze Szwecją, stopień percepcji tej technologii jest wyższy w Japonii, zaś znacznie niższy w Wielkiej Brytanii i USA. I tak w odniesieniu do pierwszego pytania, prawidłową odpowiedź udzieliło odpowiednio 22%, 4% i 5% respondentów. Z kolei na drugie pytanie prawidłową odpowiedź w tych trzech krajach udzieliło odpowiednio: 82%, 42% i 23% respondentów [An international..., 2007, s. 4]. W kontekście tych badań opinii publicznej warto jednak odnotować raczej wolny – jak dotąd – wzrost stopnia znajomości tej technologii, przynajmniej w USA. Z badań tych wynikało bowiem, że w 2003 roku już około 3% respondentów zetknęło się z terminem CCS, ale tylko nieliczne osoby (6 respondentów na 1205 objętych badaniem, czyli mniej około 0.5%) potrafiło w sposób prawidłowy określić znaczenie tego terminu [Curry i inni, 2004, s. 3 i 6].

Wyraźne lepsze rezultaty odnotowano w Australii, gdzie „tylko” 70% respondentów nie potrafiło określić, czym jest CCS [Reiner, 2006, s. 2]. W Kanadzie, gdzie również stwierdzono niski – choć, jak podkreślono, wyższy niż w USA – stopień znajomości tej technologii, odnotowano ponadto, że wśród tych którzy słyszeli o tej technologii, większość uważała, że w zakresie redukcji emisji CO₂, ma ona przewagę nad innymi, alternatywnymi sposobami, choć jednocześnie uznawano, że zagrożenia związane z jej stosowaniem przeważają nad korzyściami. Do głównych zagrożeń zaliczono tam nie tylko zidentyfikowane ryzyka związane z możliwością zatrucia podziemnych wód czy wystąpienia nieszczelności, ale także inne jeszcze, nie znane dotąd, negatywne skutki związane z magazynowaniem CO₂, które wystąpić mogą w przyszłości [Sharp, 2005, s. v].

Ciekawe wyniki dotyczące poparcia dla tej technologii dostarczają badania przeprowadzone w Holandii na 112 osobowej próbie mieszkańców. Przeprowadzono je bowiem na terenie, na którym znajdują się eksploatowane od dawna złoża gazu naturalnego i na którym w ostatnim okresie zanotowano dwa niewielkie trzęsienia ziemi [Reiner, 2006, s. 2]. Badanie to wykazało, że co prawda niewielka większość respondentów wykazała poparcie dla CCS, ale poparcie to spadło znacząco,

w przypadku gdyby miejsce podziemnego składowania CO₂ znajdowało się w pobliżu ich miejsca zamieszkania. Podobną sugestią sformułowano również w cytowanych już badaniach w USA. Według badaczy wraz z intensyfikacją dyskusji wokół CCS rosnąć będzie stopień społecznej percepcji i można założyć, że z jednej strony poparcie dla tej technologii będzie rosło, z drugiej zaś wystąpi efekt typu „tylko nie pod moim podwórkiem” (*not-under-my-backyard*).

Większość badań wskazuje, że nawet jeśli występuje pewne poparcie dla tej technologii, to jest ono zdecydowanie słabsze niż dla energetyki odnawialnej opartej na takich źródłach, jak wiatr czy energia słoneczna oraz działań na rzecz efektywności energetycznej. Z drugiej jednak strony – co warto odnotować – w wielu badaniach technologia CCS zyskiwała wyraźnie większe poparcie w stosunku do energetyki atomowej.

Jeśli więc technologia ta ma odegrać w najbliższej przyszłości wiodącą rolę w działaniach na rzecz stworzenia elektroenergetyki niskoemisyjnej, przed odpowiednimi agendami rządowymi, jak i organizacjami pozarządowymi rysują się poważne zadania w zakresie prowadzenia przemyślanej kampanii informacyjnej. W wielu krajach takie działania już się podejmuje. Niewątpliwie liderem jest tu Wielka Brytania, gdzie istnieją już w tym zakresie projekty odpowiednich działań obliczonych na pozyskanie przychylności opinii publicznej. Określa się w nich [por. np. *Public Perception of...*] podstawowe źródła obaw związanych z tą technologią oraz rodzaj działań, jakie – nie tylko w zakresie komunikacji społecznej – powinny być podjęte, aby zminimalizować opór opinii społecznej wobec tego rodzaju inwestycji. Wreszcie ogromną rolę w tym zakresie odegra stopień powodzenia pierwszych projektów [Reiner i inni, 2008, s. 430]. Ich powodzenie będzie niewątpliwie ułatwiać prowadzenie skutecznej kampanii na rzecz kształtowania pozytywnego wizerunku CCS.

6. Aspekty ekonomiczne

Kwestie ekonomiki tej technologii rozpatrywać można na dwóch płaszczyznach. Przykładem pierwszej jest rozumowanie reprezentowane przez środowiska aktywnie zaangażowane w działania na rzecz zahamowania emisji CO₂. W tej płaszczyźnie przesądającym argumentem za stosowaniem wszelkich dostępnych w tym zakresie rozwiązań, w tym również i CCS, jest konfrontacja całkowitych, rocznych kosztów będących rezultatem braku działań na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu z kosztami, jakie zostałyby poniesione w celu radykalnego obniżenia w skali całego globu emisji CO₂. W tym pierwszym przypadku koszty te szacuje się tu na poziomie 5% PKB, przy czym ich udział może znacząco wzrosnąć do 20% (czy nawet więcej), jeśli uwzględnić szersze spectrum ryzyk i skutków wywołanych zmianami klimatu. W przypadku natomiast drugiej kategorii kosztów – kształtowałyby się one na poziomie około 1% PKB. Według tego Raportu poważny, jeśli chodzi o skutki zmian klimatu, wydzźwięk tych liczb staje się bardziej dramatyczny, jeśli uwzględnić, że przekroczenie pewnego poziomu degradacji zasobów środowiska

oznaczać będzie – o czym wspomniano już wcześniej – nieodwracalne, negatywne zmiany, których konsekwencje trudne są do oszacowania [Stern, 2007, s. 3].

Druga płaszczyzna analizy ekonomiki stosowania tej technologii ma charakter mikroekonomiczny, to jest rozważa się tu koszty jej stosowania z punktu widzenia opłacalności, co dla podmiotu kierującego się przesłankami komercyjnymi ma znaczenie zasadnicze. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że elektroenergetyka w krajach rozwiniętych już od blisko dwóch dekad znajduje się w procesie rynkowej transformacji, nie ulega wątpliwości, że z punktu widzenia pytania, czy technologia ta znajdzie w najbliższych latach szersze zastosowanie, tego rodzaju płaszczyzna analizy ma kluczowe znaczenie. Z braku miejsca problemy związane z ekonomiką tej technologii zastaną tu tylko zasygnalizowane.

O tym, że ważną dzisiaj barierą dla tej technologii są koszty związane z jej stosowaniem świadczy fakt, że w 2008 roku rząd amerykański wycofał się ze współfinansowania pierwszego, realizowanego tam projektu budowy elektrowni z instalacją CCS po tym, jak koszty jej budowy wzrosły do 1.8 mld \$ [*Trouble in...* s. 65]. Z przeprowadzonych już dotąd wielu analiz wynika bardzo zróżnicowany obraz kosztów budowy i eksploatacji instalacji CCS zarówno w przypadku elektrowni węglowych, jak i gazowych [Reiner, 2008, s. 423]. Przedział możliwego wzrostu kosztów wytworzenia 1 KWh wahałby się bowiem – przy obecnym poziomie tej technologii – w przedziale od 1 do 5 centów amerykańskich. Ogromny wpływ na poziom tych kosztów mieć będą takie czynniki, jak rodzaj paliwa (węgiel, gaz), zastosowany rodzaj technologii separacji, odległość miejsc składowania CO₂ i wreszcie warunki jego składowania. Niewątpliwie czynnikiem podnoszącym opłacalności stosowania tej technologii będzie stosowanie jej w wersji EOR, co mogłoby znacząco obniżyć rozmiar wzrostu kosztów jednostkowych.

Nie ulega wątpliwości, że nawet uwzględniając założenie – które czyni się zresztą we wszystkich szacunkach kosztów stosowania technologii CCS – że wraz z jej upowszechnieniem ulegną znacznemu obniżeniu koszty wychwytywania i składowania CO₂, opłacalność stosowania tej technologii wymagać będzie istnienia mechanizmu, który kompensować będzie te koszty. Pozostawiając na boku, niezmiernie ważne dla tworzenia warunków opłacalności stosowania tej technologii, zagadnienie kształtu tego mechanizmu – czy będzie to podatek węglowy, czy kształtowana przez rynek opłata za emisję 1 tony CO₂, czy też inne rozwiązanie – warto już teraz odnotować, że szacowany poziom tego rodzaju kosztów waha się w szerokim przedziale. Jeśli chodzi o poziom tych kosztów w pierwszej fazie wprowadzania tej technologii (projekty demonstracyjne), to według niektórych szacunków będą się one kształtować w przedziale od 60 do 90 euro za tonę, zaś w około 2030 roku spadną do poziomu 30-45 euro [*Carbon & ...*, 2008, s. 6].

Jeśli szacunki te odniesiemy do poziomu opłat za prawo emisji CO₂ ustalanych na europejskim rynku tych praw, to mimo dużej zmienności tych opłat – w 2008 roku spadły one nawet do poziomu 10 euro za tonę – nawet najwyższy ich poziom kształtował się znacznie poniżej kosztów separacji i magazynowania CO₂

w projektach demonstracyjnych. Oznacza to, że w obecnych warunkach zastosowanie tej technologii wymaga wsparcia w postaci publicznych środków finansowych.

7. Uwagi końcowe

Nasilający się nacisk na podejmowanie, motywowanych dążeniem do zahamowania procesu ocieplania klimatu, działań na rzecz radykalnego zmniejszenia emisji CO₂ wymuszać będzie zasadnicze zmiany w sposobie wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej. Mimo apeli środowisk proekologicznych, aby zmiany te szły w kierunku zastąpienia – dotąd dominującej elektroenergetyki opartej na węglu, a w ostatnich latach w coraz większym stopniu na gazie – technologiami wykorzystującymi odnawialne źródła energii oraz przynoszącymi wzrost efektywności energetycznej, wśród ekspertów i analityków przeważa pogląd, że spełnienie, niezbędnych do zatrzymania zmian klimatycznych, wymagań w zakresie redukcji emisji przy jednoczesnym zapewnieniu niezbędnego poziomu produkcji energii elektrycznej nie będzie możliwe bez udziału, zwłaszcza energetyki węglowej. Implikuje to konieczność rozwoju technologii czystego węgla, wśród których technologia CCS postrzegana jest jako priorytetowa.

Jej zastosowanie napotyka jednak na istotne bariery tak o charakterze technicznym i społecznym, jak i ekonomicznym. Z uwagi na fakt, że elektroenergetyka znajduje się już od dwóch dekad w procesie transformacji rynkowej, szczególnie istotne wydają się tutaj bariery ekonomiczne związane z niekonkurencyjnością kosztową tej technologii w stosunku do innych sposobów wytwarzania energii elektrycznej. Pojawia się tutaj istotny problem, wokół którego z coraz większą intensywnością będą toczyć się dyskusje zarówno w płaszczyźnie teoretycznej, jak i praktycznej. Chodzi o wybór mechanizmu wsparcia dla rozwoju technologii CCS, które spełniałby nie tylko kryterium skuteczności, ale także kryterium efektywności ekonomicznej. Istnieją już w tej dziedzinie pierwsze doświadczenia, ale i także formułowane są istotne argumenty wskazujące na zalety i słabości poszczególnych rozwiązań, zwłaszcza w związku z pytaniem, w jaki sposób wkomponować tego rodzaju mechanizm w reguły funkcjonowania zliberalizowanej elektroenergetyki.

Z pewnością kwestie będą w najbliższych latach w centrum uwagi zarówno tych, którzy na procesy przekształceń elektroenergetyki patrzą z szerszej perspektywy tradycyjnego w ekonomii pytania o relacje między mechanizmami interwencjonizmu a siłami rynkowymi, jak również tych, którzy poszukują takich rozwiązań, które stworzą warunki do przyciągania kapitałów niezbędnych do sfinansowania kosztownych inwestycji w wychwytywanie, transportowanie i magazynowanie CO₂.

Literatura

- [1] *Carbon Capture & Storage: Assessing the Economics*, McKinsey & Company, Septmeber 2008.
- [2] **Coen A., Fowler M., Waltzer K.:** “NowGen”: *Getting Real about Coal Carbon Capture and Sequestration*, The Electricity Journal, Issue 4, May, 2009.
- [3] **Curry T., Reiner D., Ansolabehere S., Herzog H.:** *How Aware Is the Public of carbon Capture and Storage*, opracowanie dostępne w internecie, 2004.
- [4] *Eating Carbon*, The Economist, November 15, 2008, s. 87-88.
- [5] *Energy Technologies*, 2006, Global Energy Revolution. A Sustainable World Energy Outlook.
- [6] **Gibbins J., Chalmers H.:** *Carbon Capture and Storage*, Energy Policy, Nr 36, 2008.
- [7] IEA, *World Energy Outlook*, International Energy Agency, Paris, 2006.
- [8] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [9] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change – Contribution to Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [10] *Commission Communication of 10 January 2007 „Sustainable Power generation from fossil fuels: aiming near-zero emission from coal after 2020”*, 2007, COM 843 final.
- [11] **Jaworski Z.:** *Idzie zimno*, Polityka, nr 15, 2008.
- [12] **Malko J., Wojciechowski, H.:** *Przechwytywanie i magazynowanie CO₂ – technologie CCS*, Wokół Energetyki, nr 3, 2007.
- [13] **Mastalerz P.:** *To słońce, nie emisja ociepla klimat*, Dziennik, Dodatek The Wall Street Journal, 26.01.2009.
- [14] **Mielczarski W.:** *Kryzys na własną prośbę*, Wokół Energetyki, nr 4, 2006.
- [15] *Public and stakeholder attitudes towards energy, environment and CCS*, AGS Pathways report: E2, Göteborg 2007.
- [16] *Public Perception of Carbon Dioxide Capture and Storage: Prioritised Assessment of Issues and Concerns, Summary for Policy-Makers*, Commissioned by: International Energy Agency, Working Party on Fossil Fuels, Funded by: UK Department of Trade and Industry.
- [17] *Proposed EU Energy Policy Targets and Objectives*, EC Directorate-General for Energy and Transport, Brussels, January 2007.
- [18] **Reiner D., Gibbins J., Holloway S.:** *Bridging technologies: can carbon capture and storage offer a bridge to a sustainable energy future in the UK?* (2008), [w:] Grubb M., Jamasb T., Pollitt M.G., (eds.), *Delivering a Low-Carbon Electricity System. Technologies, Economics and Policy*, Cambridge University Press, 2008.
- [19] **Reiner D., Curry, T., Figueiredo M., Herzog H., Ansolabehere S., Kenshi, I., Akai, Johnsson F., Odenberger M.:** *An international comparison of public attitudes towards carbon capture and storage technologies*, 2006, opracowanie dostępne w internecie.
- [20] **Sharp J.:** *Public Attitudes toward Geological Disposal of Carbon Dioxide in Canada*, Simon Frazer University, Report No. 38, 2005, Fall.
- [21] **Schiffer H-W.:** *WEC Energy Policy Scenarios to 2050*, Energy Policy, No. 36, 2008.

- [22] **Sioshansi F.:** *Carbon Constrained: The Future of Electricity Generation*, The Electricity Journal, Issue 5, June 2009.
- [23] **Socolow R.H, Pacala S.W.:** *A Plan to Keep Carbon in Check*, Scientific American, September 2006.
- [24] **Stern N.:** *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [25] **Verbruggen A.:** *Renewable and nuclear power: A common future?* Energy Policy, No. 36, 2008.

OPPORTUNITIES, THREATS AND BARRIERS OF CCS TECHNOLOGY

Summary

The subject of this paper refers to CCS (Carbon Capture and Storage) that is considered to be the most promising technology of producing electricity in fossil-fuelled power plants. Its goal is to review basic knowledge on opportunities, threats and challenges that face deployment of this technology in the power sector. The starting point is a presentation of the CCS technology in a broader context of developing discussion on low carbon power sector and role of this technology in modernization of domestic power sector. The paper then sets out the factors that justify its deployment. The substantial part of the paper focuses on the basic problems that may hinder deployment of CCS. These are technical, social (acceptability) and economic aspects of CCS. Undoubtedly, due to long-lasting process of power sector liberalization growing importance will be attached to the latter aspect of its CCS deployment both in the phase of demonstration projects and the mature stage.