

Wdrażanie CCS a energetyka odnawialna

Adam Wójcicki¹



Implementing CCS and the renewables. Prz. Geol, 61: 182–186.

Abstract. Though so-called full-chain of CCS is a novelty, large scale CO₂ injection into geological formations has been carried out for decades, mainly in the US and Canada. Research on various CCS aspects has been carried out for a period of decade in Poland. The use of CCS technology on industrial scale is proposed in EU as one of the means of achieving the goals of CO₂ emission reduction policy, after full chain of the whole process is evaluated on a sufficiently large scale in a number of installations. Just like in case of any new technology there are opposing views against CCS. However, these views seem to be based mostly on the case of limnic eruption on the volcano in Cameroon which has nothing in common with CO₂ man-made storage sites. It seems there is a strong competition between renewables and CCS in Europe on acquiring public/EU funding in the background.

Paradoxically there are opposing views against the use of renewables: wind turbines, hydropower and geothermal among environmental NGOs and local inhabitants as well. Actually in case of wind turbines human and animal fatalities are known. In Poland where over 90% of electricity generation comes from coal combustion, major changes of the energy mix are not likely and feasible in not too distant future, so CCS might be a solution in a (very likely) case that EU policy on CO₂ reductions is maintained and strengthened.

Keywords: climate package, energy, CCS, renewables

Celem artykułu jest przedstawienie genezy i celowości stosowania CCS (ang. *Carbon Capture and Storage*) w naszym kraju, w odniesieniu do sytuacji w Europie i na świecie, oraz innych metod redukcji emisji CO₂ i produkcji „czystej” energii.

CCS to wychwytywanie i geologiczne składowanie dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych. Wychwytywanie CO₂ wykorzystuje technologie stosowane w przemyśle naftowym i chemicznym, natomiast transport CO₂ prowadzi się najczęściej rurociągami wysokociśnieniowymi. Składowanie odbywa się w głęboko położonych formacjach geologicznych, gwarantujących bezpieczne i stabilne składowanie na długi czas.

Historia CCS w Polsce obejmuje eksperymenty zatłaczania CO₂ na niewielką skalę (Lubaś, 2007) do złoża gazu (od 1995 r. – Borzęcin) i złóż węgla (2004–2005 – Kaniów) oraz opracowania naukowe i badawczo-rozwojowe, realizowane w ramach projektów krajowych i międzynarodowych od 2002 r. (np. Tarkowski & Uliasz-Misiak, 2002; Scholtz i in., 2006; Tarkowski, 2008; Vangkilde-Pedersen i in., 2009; Wójcicki, 2012). Prace te nabrały tempa po akcesji naszego kraju do Unii Europejskiej w 2004 r., a następnie po ogłoszeniu przez UE w 2007 r. tzw. Programu Flagowego, proponującego uruchomienie do 2015 r. 10–12 instalacji energetycznych CCS o charakterze przedkomercyjnym (demonstracyjnym), celem przetestowania wszystkich elementów technologii CCS w skali zbliżonej do przemysłowej. Nie było wtedy jeszcze wiadomo jaki będzie mechanizm dofinansowania projektów demonstracyjnych CCS. Takie informacje i możliwości pojawiły się w roku 2008 i wtedy złożono wstępne aplikacje dla dwóch projektów – Bełchatów i Kędzierzyn, wspierane przez rząd RP. Pierwszym z takich unijnych mechanizmów finansowych był program EEPR (europejski program energetyczny na rzecz naprawy gospodarczej – finansowanie projektów zwiększających bezpieczeństwo energetyczne UE oraz

redukujących emisję gazów cieplarnianych), z którego uzyskało dofinansowanie PGE (Bełchatów). Następnym to program NER300 (dochody z 300 mln uprawnień z rezerwy dla nowych instalacji, o której mowa w art. 10a ust. 8 dyrektywy 2003/87/WE, zmienionej dyrektywą 2009/29/EC – finansowanie projektów CCS i OZE). Obydwa programy nie dotyczą jedynie projektów CCS, ale także energetyki odnawialnej.

Od 2008 r. jest realizowany projekt „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania” (Wójcicki, 2012), zamówiony przez Ministerstwo Środowiska i finansowany przez NFOŚiGW, realizowany przez sześć jednostek badawczo-rozwojowych (PIG-PIB – lider, AGH, GIG, INiG, IGSMiE PAN oraz PBG), którego cele obejmują przygotowanie danych niezbędnych do podejmowania w przyszłości decyzji koncesyjnych dotyczących bezpiecznego geologicznego składowania CO₂, a także wsparcie krajowych projektów demonstracyjnych CCS (szczegółowe analizy potencjalnych składowisk).

DLACZEGO JEST NAM POTRZEBNE CCS?

Podobnie jak w przypadku innych uznanych teorii naukowych, twierdzenia dotyczące wpływu działalności człowieka na klimat czy też sposobów eliminacji negatywnych skutków tych działań i ich celowości są poddawane w wątpliwość, zarówno przez niektórych specjalistów legitymujących się dorobkiem naukowym na tych polach, jak też przez inne osoby posiadające tytuły naukowe i dorobek, ale z zupełnie innych dziedzin, bądź przez osoby utrzymujące że takowe posiadają.

Jednak polityka Unii Europejskiej, która jest zasadniczo wynikiem uzgodnień pomiędzy państwami członkowskimi, oparta jest raczej na twierdzeniach naukowców głównego nurtu i łatwo nie zmienia raz przyjętego kierun-

¹Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; adam.wojcicki@pgi.gov.pl.

ku. Stąd w dniach 11–12 grudnia 2008 r. przedstawiciele państw członkowskich zasiadający w Radzie Europejskiej (gdzie przedstawicielem Polski jest premier) uzgodnili przyjęcie tzw. pakietu klimatycznego, zobowiązującego je do roku 2020 do redukcji przemysłowych emisji dwutlenku węgla o minimum 20% w stosunku do emisji z 1990 r., podniesienie efektywności energetycznej oraz udziału OZE o 20%. Uzgodnienia opublikowano jako Konkluzje Prezydencji Francuskiej 1721/08/1 z dnia 13 lutego 2009 r., zatwierdzone 17 grudnia 2008 r. przez Parlament Europejski. Wymieniono w nich następujące sposoby osiągnięcia tego celu: podniesienie efektywności energetycznej o 20%, podniesienie udziału OZE w bilansie energii do 20% oraz CCS. Zagadnienia CCS reguluje stosowna dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej (2009/31/EC z dnia 23.04.2009), wdrażana przez państwa członkowskie, będąca również częścią wspomnianego pakietu, z tym że wpływ jej wdrożenia na redukcję emisji byłby odczuwalny dopiero w perspektywie roku 2030. Uzgodniono wtedy także finansowanie projektów CCS i OZE w ramach programu EEPR, a Parlament Europejski przyjął modyfikacje Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (ETS), polegającą na stopniowej likwidacji darmowych uprawnień do emisji, począwszy od 2013 r.

Zagadnienia te są bardzo ważne dla gospodarki Polski, gdzie ponad 90% produkcji energii elektrycznej pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego. Oznacza to, że nasz kraj jest jednym z niewielu państw UE mogących pochwalić się posiadaniem bezpieczeństwa energetycznego (jeśli chodzi o produkcję energii elektrycznej). To, co proponuje pakiet klimatyczny, jest dopiero preludium do dalszych i poważniejszych redukcji CO₂, będących przedmiotem negocjacji pomiędzy Komisją Europejską a państwami członkowskimi, które dotyczą nie tylko dalszych, coraz bardziej drastycznych cięć emisji w perspektywie 2030 czy 2050 r., ale nawet zaostżenia w najbliższych latach prognozy uzgodnionej przez przyjęcie pakietu klimatycznego.

Realizacja tych ustaleń w Polsce w oparciu o samą poprawę efektywności energetycznej i oszczędności energii, a zwłaszcza wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, bez CCS jako technologii przejściowej, wydaje się nierealna i oznaczać będzie zahamowanie rozwoju energetyki węglowej (bo emituje zbyt wiele CO₂ na jednostkę produkcji energii) i stopniową likwidację całych gałęzi przemysłu w perspektywie najbliższych dziesięcioleci. Sytuacji tej nie zmieni znacząco budowa 1–2 elektrowni jądrowych w perspektywie roku 2030, ani nawet budowa elektrowni gazowych. Należy zaznaczyć, że emisja CO₂ ze spalania gazu na jednostkę produkcji energii jest niższa niż ze spalania węgla, zwłaszcza brunatnego, a także koszt budowy elektrowni gazowej jest niższy od węglowej (Risto & Aija, 2008), ale za to koszty eksploatacji (w tym zwłaszcza paliwa), stąd i ceny energii, mogą być wyższe. Oczywiście, jeśli polskie elektrownie węglowe będą musiały za parę lat kupować uprawnienia do emisji na aukcji, a elektrownie gazowe (jeszcze) nie, to relacje te ulegną odwróceniu, ale pewnie okaże się nagle, że nasz gaz nie jest tak „czysty” jak rosyjski i stąd trzeba go też natychmiast obłożyć ETS. Jeśli nawet w Polsce w najbliższych latach zostaną odkryte i zagospodarowane duże złoża rela-

tywnie taniego gazu to mało prawdopodobne i wykonalne jest zastąpienie w ciągu kilku lub kilkunastu lat istotnej części elektrowni węglowych – elektrowniami gazowymi.

STANOWISKO EKOLOGÓW I „EKOLOGÓW”

Wśród organizacji ekologicznych w naszym kraju poparciem cieszy się oczywiście energetyka odnawialna, przeciwstawiona paliwom kopalnym, ponieważ jest „przyjazna” dla środowiska. Paradoksalnie, nie oznacza to zawsze poparcia dla budowy instalacji produkujących „zieloną” energię (patrz niżej).

Jeśli chodzi o ponadnarodowe organizacje ekologiczne, to ich stanowisko nie jest jednoznaczne. Greenpeace jest zwolennikiem jak najszybszej likwidacji energetyki opartej na paliwach kopalnych, a przynajmniej na węglu. Dała temu wyraz broszura „Płonna nadzieja” (Rochon, 2008), której autorzy m.in. straszą konsekwencjami stosowania CCS na przykładzie erupcji w jeziorze wulkanicznym Nyos w Kamerunie w 1986 r., przy tym nie posuwają się do nierzetelności, ale jedynie do niedomówienia, najprawdopodobniej zakładając, że przeciętny czytelnik na ogół i tak nie ma zielonego pojęcia o geologii. Informacje te są dalej wykorzystywane i wyolbrzymiane przez innych, w tym naszych „ekologów”, do celów propagandowych, jako podstawowy argument przeciwko CCS, choć nie ma żadnego związku pomiędzy budowanym przez człowieka składowiskiem CO₂ a wulkanem (GHG R&D Programme, 2005). Zapewne też niektóre osoby czerpią te informacje z „drugiej” albo „trzeciej” ręki, a nie z lektury samej broszury, bo np. utrzymują, że na jeziorze wulkanicznym Nyos było testowane składowisko CO₂ (Polska Dziennik Łódzki 25.02.2010) albo przynajmniej, że ze składowiska PGE Bełchatów robi się wulkan/erupcja limniczna (Polska Dziennik Łódzki 9.03.2012).

Jednak największe zagrożenie ze strony technologii CCS Greenpeace widziało chyba w fakcie, że zostaną na to przeznaczone środki, które można by wykorzystać do dotowania energetyki odnawialnej, najprawdopodobniej farm wiatrowych przedstawionych na ostatniej stronie wspomnianej broszurki. Co ciekawe, data jej wydania odpowiada okresowi, gdy przygotowywane były z inicjatywy Komisji Europejskiej założenia dla wykorzystania programu EEPR do finansowania projektów demonstracyjnych i ewentualnie OZE. Z chwilą, jak ruszył kolejny mechanizm finansowy dla wsparcia CCS i OZE – NER300 (2010/2011), widmo jeziora na wulkanie i wspomnianej broszury znów zaczęło krążyć po Europie.

Fundacja Bellona prezentuje inny punkt widzenia, propagując CCS jako technologię pomostową, niezbędną do wprowadzenia na okres kilkudziesięciu lat, do momentu gdy technologie produkcji energii ze źródeł odnawialnych i alternatywnych (a może jeszcze innych, któż to wie?) będą bardziej opłacalne, tańsze i dojrzałe, a dominacja paliw kopalnych zakończy się definitywnie (Corless i in., 2011). Fundacja ta opracowała mapę drogową dla polskiej energetyki w perspektywie do 2050 r., uwzględniającą zastosowanie CCS zarówno w energetyce węglowej, jak i gazowej (przyjęto realistyczne założenia, że w najbliższych dziesięcioleciach gaz może zastąpić do 1/3 udziału węgla kamiennego i brunatnego). W mapie podkreślono, że krytyczny

dla energetyki polskiej wykorzystującej paliwa kopalne będzie okres 2020–2030 – wtedy skutek zniesienia darmowych uprawnień do emisji CO₂ dla elektrowni konwencjonalnych i kar za nadmierne emisje, przy braku stosowania CCS, ceny energii z paliw kopalnych mogą osiągnąć nawet wartość pięciokrotnie większą od obecnej i dalej rosnąć w równie szybkim tempie (w modelu, bo elektrownie na paliwa kopalne w Polsce zbankrutują, jeśli będzie dostępny tańszy prąd z innych krajów). Zastosowanie CCS pozwoliłoby więc na ustabilizowanie i odwrócenie tej tendencji w drugiej połowie lat 20. obecnego wieku. Mapa drogowa Fundacji Bellona spotkała się z umiarkowanym zainteresowaniem ze strony polskich polityków, prawdopodobnie dlatego, że rozpatruje zbyt szeroki i odległy (dla nich) horyzont czasowy, natomiast znacznie większym jeśli chodzi o operatorów elektrowni.

ENERGETYKA ODNAWIALNA W POLSCE

Spśród OZE największy udział w produkcji energii elektrycznej w Polsce mają elektrownie wodne i wiatrowe. Współspalanie biomasy w elektrowniach węglowych, mające niemały udział w produkcji energii w tych instalacjach, trudno rozpatrywać jako typowe OZE.

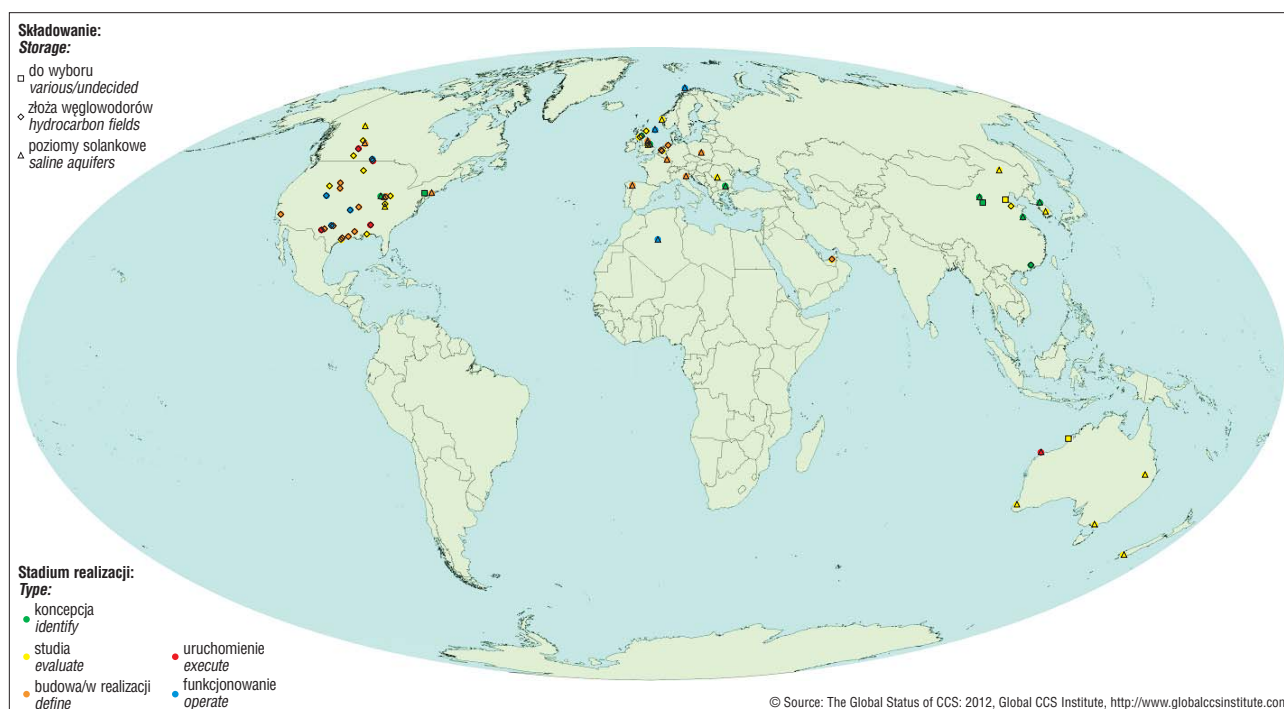
Elektrownie wodne mają udział 7,3% w mocy zainstalowanej w krajowym systemie energetycznym, ale ich udział w produkcji energii elektrycznej jest rzędu 2% (GUS – Berent-Kowalska i in., 2010). Największe z nich to elektrownie szczytowo-pompowe oraz zaporowe – pięć elektrowni ma moc zainstalowaną około 1,8 GW, czyli tyle ile elektrownia węgla średniej wielkości, ale jak wspomniano wcześniej ich stosunek średniej produkcji do możliwości jest niski. Uważa się, że energetyka wodna ma przed sobą duże perspektywy, zwłaszcza jeśli chodzi o nieduże instalacje. Jednak budowa dużych hydroelektrowni wpływa na warunki przyrodnicze i ekosystemy w powstałym zbiorniku wodnym i jego otoczeniu, a także wiąże się z przesiedlaniem mieszkańców. Ponadto duże zbiorniki zaporowe mogą być również źródłem innego gazu cieplarnianego – metanu (Trojanowska i in., 2009). Powyższe uwagi nie dotyczą małych elektrowni wodnych, tzn. o mocy zainstalowanej do 5 MW.

Według GUS udział siłowni wiatrowych w produkcji energii elektrycznej w Polsce wyniósł w 2010 r. nieco ponad 1% (Berent-Kowalska i in., 2010, Wikipedia) przy mocy zainstalowanej nieco większej niż w przypadku elektrowni wodnych, co pokazuje jak niski współczynnik wydajności charakteryzuje energetykę wiatrową. Pojedyncza turbina/siłownia wiatrowa posiada moc zainstalowaną rzędu paru MW, stąd stosuje się zespoły turbin – farmy wiatrowe o mocy do kilkudziesięciu MW – czyli produkujące tyle energii, co nieduża elektrownia wodna. Ponadto energetyka wiatrowa wymaga dotacji zarówno w przypadku nakładów inwestycyjnych, jak i kosztów eksploatacji (tzw. zielone certyfikaty). Działanie siłowni wiatrowych jest silnie uzależnione od warunków pogodowych, a w największe upały i mrozy, gdy praktycznie nie ma wiatru, nie dostarczają one wcale energii, nie mogą też oddawać prądu do krajowej sieci energetycznej, gdy wiatr jest zbyt intensywny. Paradoksalnie, funkcjonowanie energetyki wiatrowej wymaga wspomnienia przez spalanie paliw kopalnych,

tzn. uruchomienia elektrowni węglowej albo gazowej (to ostatnie jest bardziej preferowane, z uwagi na większą elastyczność jeśli chodzi o uruchomienie i zatrzymanie produkcji energii) w momencie, gdy siłownia przestaje dostarczać energię do sieci. Budowa siłowni wiatrowych spotyka się czasami z protestami społeczności lokalnych (mieszkańcom przeszkadza hałas, wibracje/infradźwięki, emisja elektromagnetyczna, efekt stroboskopowy turbiny – np. w gminie Wodzierady w 2008 r. – Protokół nr XIII/2008 z sesji Rady Gminy Wodzierady z dnia 20 marca 2008 r.). W „przemysłe wiatrakowym” zanotowano na świecie w okresie ostatnich 40 lat, wg Caithness Windfarm Information Forum, 1208 wypadków, związanych z eksploatacją, budową i transportem komponentów turbin wiatrowych, z czego śmierć poniosły 102 osoby. Np. w Australii nie wolno stawiać turbin bliżej niż 2 km od zabudowań, a w Szkocji zaleca się taki odstęp. Negatywny wpływ „wiatraków” na środowisko przyrodnicze podnoszony był od lat przez ekologów na całym świecie (<http://www.caithnesswindfarms.co.uk/>) – wibracje płoszą ptaki w ich miejscach lęgowych, ptaki giną też na łopatach „wiatraków”, jeśli akurat przebiega tam trasa migracji. Na samej farmie wiatrowej Altamond Pass w Kalifornii zginęło w ciągu 20 lat ponad 12 tysięcy ptaków chronionych, zanim podjęto działania zapobiegawcze.

Jeśli chodzi o elektrownie słoneczne, to w Polsce funkcjonuje jedna farma fotowoltaiczna o mocy 1 MW i parę mniejszych instalacji eksperymentalnych (Wikipedia).

Energia geotermalna jest popularna w naszym kraju, ale nie mamy jeszcze ani jednej elektrowni geotermalnej. W Polsce funkcjonuje kilka instalacji do produkcji ciepła, a wody termalne wykorzystuje się też do celów rekreacyjnych, leczniczych i gospodarczych (<http://www.pga.org.pl>). W zasadzie wszystkie powstały dzięki dotacjom ze środków publicznych (Odpowiedź MŚ na interpelację nr 4752 Sejmu VI kadencji z dnia 15.09.2008). Nie mamy w Polsce gejzerów jak na Islandii, a temperatury niezbędne do produkcji energii elektrycznej w oparciu o wody termalne lub ciepło suchych skał (HDR) występują dopiero na głębokości 3–4 km (Górecki, 2006a, b). Jeśli na tych głębokościach występują wody termalne, to zawierają one tyle soli, ile wody Morza Martwego, co stanowi poważny problem techniczny w odbiorze ciepła. Jeśli chodzi o wykorzystanie ciepła suchych skał, czy w ogóle niekonwencjonalnych systemów geotermicznych (chodzi o szczelinowanie górotworu, do którego zatłacza się wodę lub inny fluid), to również bywa z tym problem z uwagi na pojedynczy przypadek projektu geotermalnego w Bazylei (Huenges & Ledru, 2010). Zlokalizowano tam otwory w strefie aktywnej tektonicznie i doszło do wstrząsów o intensywności 0,7–3,4 w skali Richtera (pospolitych np. u nas na Górnym Śląsku czy w Zagłębiu Miedziowym). W rezultacie projekt zamknięto w 2009 r. Dla warunków geologicznych w zachodniej Polsce, zbliżonych do tych w Niemczech, gdzie funkcjonują lub są rozwijane instalacje dla niekonwencjonalnych systemów geotermicznych (Huenges & Ledru, 2010), realistyczne byłoby wybudowanie instalacji dającej 1 MW energii elektrycznej i 10 MW (albo odrobinę więcej) energii cieplnej. Wymagałoby to jednak pokrycia istotnej części nakładów inwestycyjnych ze środków publicznych



Ryc. 1. Duże projekty CCS na świecie (na podstawie danych Global CCS Institute)

(np. funduszy unijnych) i pewnie też ugłaskania „ekologów”, któż to wie.

W celu porównania – wg CIRE moc zainstalowana w elektrowniach spalających paliwa kopalne w Polsce (węgiel kamienny, brunatny, w minimalnym stopniu gaz) wynosi ponad 30 000 MW elektryczności.

GEOLOGICZNE SKŁADOWANIE CO₂ W EUROPIE I NA ŚWIECIE

Technologia, na której opiera się geologiczne składowanie CO₂, została po raz pierwszy zastosowana w 1974 r. w USA do wspomaganie wydobywania ropy naftowej (Lake & Walsh, 2008). Stosuje się ją obecnie rutynowo w wielu krajach, co przynosi znaczne korzyści. Podobnie stosuje się CO₂ do wspomaganie wydobywania gazu ziemnego i metanu z pokładów węgla kamiennego. Prosty rozszerzeniem tej technologii było zatłaczanie CO₂ pochodzącego z oczyszczania gazu ziemnego do warstw skalnych nie zawierających gazu czy ropy, ale tylko wody złożowe/solanki (lata 90. ubiegłego wieku).

CCS, czyli wychwytywanie i geologiczne składowanie dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, jest oparte na wykorzystaniu istniejących technologii – składowania/zatłaczania CO₂, jak omówiono powyżej, oraz transportu przy pomocy gazociągów wysokociśnieniowych i statków. Największym wyzwaniem technologicznym nie jest składowanie czy transport lecz opracowanie tanich technologii wychwyty CO₂ na dużą skalę, gdyż koszty tej części „łańcucha” CCS sięgają 80% nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji (IPCC, 2005).

Na całym świecie (wg Global CCS Institute, maj 2012) zidentyfikowano 72 projekty CCS na dużą skalę (chodzi o zatłaczanie rzędu 1 mln ton CO₂ rocznie, jak u nas projekt CCS Bełchatów), będące w różnych fazach realizacji (ryc. 1).

Najwięcej jest ich w Ameryce Północnej, gdzie stosowano zatłaczanie CO₂ do szczypanych złóż ropy od lat 70. XX w., na dużą skalę od lat 80. XX w., a obecnie realizuje się także projekty związane z zatłaczaniem do szczypanych złóż gazu i poziomów solankowych.

W Europie lista ta jest krótsza – pomijając projekty badawczo-pilotażowe w małej skali – mamy tu dwa duże projekty komercyjne, pozostałe to projekty demonstracyjne programu EEPF znajdujące się w fazie rozruchu (Bełchatów i parę innych) oraz inne projekty, będące w fazie przygotowań.

ZAKOŃCZENIE

W naszym kraju wiedza na temat CCS wśród szerokiego społeczeństwa jest zdecydowanie niedostateczna. Fakt ten, a zwłaszcza działalność niektórych organizacji „ekologicznych” i samozwańczych „autorytetów” jest często przyczyną negatywnego przedstawiania CCS w mediach zarówno w Polsce, jak i w szeregu krajach Europy. Argumenty odnośnie rzekomego zagrożenia dla życia, zdrowia i środowiska przez CCS oparte są zasadniczo na fakcie erupcji limnicznej w jeziorze na wulkanie Nyos w Kamerunie i mają raczej charakter emocjonalny niż merytoryczny. Z drugiej strony można stwierdzić, że prawie każdy sposób produkcji energii (czy jakkolwiek inwestycja z tym związana) spotyka się w naszym kraju czy też innych krajach UE z oporem społeczeństwa lub organizacji pozarządowych.

Wydaje się, że w tle tych działań zachodzi walka o dotacje ze środków publicznych pomiędzy podmiotami rozwijającymi technologie CCS a tymi co rozwijają energetykę odnawialną, np. wiatrową.

Podstawowym wnioskiem jest fakt, że w Polsce w najbliższej przyszłości przemysł energetyczny nie uniknie

stosowania technologii CCS. Alternatywą będzie totalna zmiana „miksi energetycznego” przy drastycznym zmniejszeniu produkcji energii w kraju, czyli zamykanie elektrowni węglowych, z których pewną część być może zastąpią inne źródła energii.

Artykuł powstał w związku z realizacją tematu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania”, zamówionego przez Ministerstwo Środowiska i finansowanego ze środków NFOŚiGW oraz projektu unijnego 7PR CGS Europe.

LITERATURA

- BERENT-KOWALSKA G., KACPROWSKA J., GOGACZ I., JURGAŚ A. & KACPERCZYK G. 2010 – Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 roku. Główny Urząd Statystyczny. Informacje i Opracowania Statystyczne.
- CORLESS V., FJÄSNA E., HAVLIK J., HELSETH J., HOFF E., KNUDSEN T., TAYLOR D., TJETLAND G. & ZABOROWSKI M. – Polisa na niezależność energetyczną, Mapa drogowa CCS dla Polski. Fundacja Bellona, Kraków, Polska, 2011.
- Dyrektywa** 2009/31/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca Dyrektywy Rady 85/337/EWG, 96/61/WE, Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE i Rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 oraz Accompanying document to the proposal for a directive of the european parliament and of the council on the geological storage of carbon dioxide Impact Assessment.
- GHG R&D Programme 2005** – A review of natural CO₂ occurrences and releases and their relevance to CO₂ storage. Report Number 2005/8.
- GÓRECKI W. (red.) 2006a – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków, s. 484.
- GÓRECKI W. (red.) 2006b – Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków, s. 484.
- HUENGES E. & LEDRU P. 2010 – Geothermal Energy Systems: Exploration, Development, and Utilization. Wiley-VCH.
- IPCC 2005** – IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (red.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 442.
- LAKE L.W. & WALSH M.P. 2008 – Enhanced Oil Recovery (EOR) Field Data Literature Search. Technical Report for Danish North Sea Partner, Danish Energy Agency, Mårsk Olie og Gas AS.
- LUBAŚ J. 2007 – Spotkanie konsultacyjne w sprawie udziału Polski w międzynarodowym programie sekwestracji CO₂ Wrocław i Borzęcin, 13–14.06.2007. Prz. Geol., 55 (8): 647–649.
- RISTO T. & AIJA K. 2008 – Comparison of electricity generation costs. Raport EN-A 56. Lappeenranta University of Technology Faculty of Technology. Department of Energy and Environmental Technology.
- ROCHON E. (red.) 2008 – False Hope – why carbon capture and climate won't save the climate. Greenpeace International.
- TARKOWSKI R. 2008 – CO₂ storage capacity of geological structures located within Polish Lowlands' Mesozoic formations. Gosp. Sur. Miner., 24: 101–112.
- TARKOWSKI R. & ULIASZ-MISIAK B. 2002 – Możliwości podziemnego składowania CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Prz. Górn., 12: 25–29.
- TROJANOWSKA A., KURASIEWICZ M., PLEŚNIAK Ł., JĘDRYSEK M.O. 2009 – Emission of methane from sediments of selected Polish Dam Reservoirs. Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. – OL PAN, 6: 368–373.
- SCHOLTZ P., FALUS G., GEORGIEV G., SAFTIC B., GORICNIK B., HLADIK V., LARSEN M., CHRISTENSEN N. P., BENTHAM M., SMITH N., WÓJCICKI A., SAVA C. S., KUCHARIC L. & CAR M. 2006 – Integration of CO₂ emission and geological storage data from Eastern Europe – CASTOR WP1.2: Konferencja GHGT-8 [8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies], Trondheim, 19–22 czerwca 2006.
- VANGKILDE-PEDERSEN T., ANTHONSEN K. L., SMITH N., KIRK K., NEELE F., VAN DER MEER B., LE GALLO Y., BOSSIE-CODREANU D., WOJCICKI A., LE NINDRE Y.-M., HENDRIKS C., DALHOFF F. & PETER CHRISTENSEN N.P. 2009 – GHGT-9 Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide - the EU GeoCapacity project: Elsevier – Energy Procedia, 1: 2663–2670.
- WÓJCICKI A. 2012 – Postępy realizacji Krajowego Programu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania”. Biul. PiG, 442: 9–16.

Praca wpłynęła do redakcji 3.09.2012 r.
Po recenzji akceptowano do druku 30.10.2012 r.