



Dominik KRYZIA*, Lidia GAWLIK**, Monika PEPEŁOWSKA***

Uwarunkowania rozwoju czystych technologii wytwarzania energii z paliw kopalnych

STRESZCZENIE: Rozwój czystych technologii wytwarzania energii w Polsce zależy od wielu czynników.

Autorzy zidentyfikowali najważniejsze z nich i scharakteryzowali w niniejszej pracy. Jednym z takich czynników jest niekorzystna struktura wiekowa krajowych bloków energetycznych, która determinuje realizację nowych inwestycji. Rosnące wymagania dotyczące ochrony środowiska przyrodniczego i ograniczenia w zakresie emisji gazów cieplarnianych niejako wymuszają wprowadzanie czystych technologii wytwarzania energii. Biorąc pod uwagę fakt, że węgiel jest podstawowym źródłem energii w Polsce, dominującym kierunkiem rozwoju czystych technologii będą technologie węglowe. Istotnym ograniczeniem dla ich wprowadzenia mogą być jednak wysokie koszty wytwarzania energii w tych technologiach, wynikające ze znacznych nakładów inwestycyjnych oraz wysokich kosztów eksploatacji. Kolejną barierą może być malejąca baza zasobowa, której zwiększenie będzie wymagało realizacji nowych inwestycji w krajowym przemyśle wydobywczym, co wpłynie na wzrost kosztów wytwarzania energii w technologiach węglowych. Ponadto większość czystych technologii energetycznych nie jest na tyle dojrzała, aby wprowadzać je do komercyjnego użycia. Budzi to obawy społeczne, które mogą doprowadzić do zablokowania realizacji inwestycji oraz zwiększa ryzyko inwestycyjne, zniechęcając inwestorów do finansowania tego rodzaju inwestycji.

SŁOWA KLUCZOWE: elektroenergetyka, czyste technologie energetyczne, sekwestracja CO₂, CCS, gaz ziemny, węgiel, dekarbonizacja

* Dr inż., ** Dr hab. inż., *** Mgr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: kryzia@min-pan.krakow.pl, lidia.gawlik@min-pan.krakow.pl, monika@min-pan.krakow.pl

Wprowadzenie

Energia należy do najważniejszych materialnych potrzeb człowieka. Jej pozyskiwanie, przetwarzanie i wykorzystywanie pozwoliło osiągnąć dzisiejszy – wysoki poziom rozwoju cywilizacyjnego. Około 77% energii elektrycznej na świecie jest wytwarzane w procesie spalania paliw kopalnych (IEA/OECD 2015). Odnawialne źródła energii w ciągu trzech ostatnich dziesięcioleci wykazały znaczący wzrost w zakresie zaspokajania potrzeb energetycznych, ale nie jest możliwe, by same zapewniły wymagane ilości energii w sposób stabilny.

Polska posiada znaczne zasoby węgla i obecnie jest jednym z dziesięciu największych producentów węgla na świecie. Górnictwo węgla jest jednym z filarów rozwoju gospodarczego Polski, a węgiel odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju. Węgiel kamienny i brunatny zaspokajają około 52% zapotrzebowania na energię pierwotną w Polsce (GUS 2015). Jest to jedna z najwyższych wartości na świecie. Paliwa stałe są też najważniejszymi paliwami w krajowej elektroenergetyce. Z węgla kamiennego w 2015 roku energetyka zawodowa wytworzyła 54% energii elektrycznej, a z węgla brunatnego dalsze 32% (PSE 2016). Przewiduje się, że w najbliższej przyszłości nie dojdzie do istotnych zmian w strukturze surowców wykorzystywanych do produkcji energii w Polsce. Według Projektu Polityki energetycznej Polski do roku 2050, węgiel pozostanie głównym źródłem energii w kraju. Mimo to krajowa struktura źródeł energii będzie ulegać zmianie w przyszłości (Szymkiewicz i in. 2010; Burchart-Korol i in. 2014) ze względu na:

- ◆ wymogi związane z ochroną środowiska przyrodniczego,
- ◆ potrzebę dywersyfikacji zużycia paliw pierwotnych dla poprawy bezpieczeństwa energetycznego.

Ważnym zagadnieniem, jakie się pojawia w tym kontekście, jest wybór technologii, które będą powstawać w sektorze energetycznym. Powinny one być nowoczesne, co oznacza, że powinny charakteryzować się następującymi cechami (Rukes i Taud 2004):

- ◆ wysoką sprawnością przetwarzania energii,
- ◆ jak najmniejszym oddziaływaniem na środowisko (emisje szkodliwych gazów, pyłów, hałasu, zużycie wody i zrzut ścieków itp.), w tym niskimi kosztami cyklu życia,
- ◆ korzystnym poziomem wskaźników opłacalności ekonomicznej (krótkie czasy zwrotu nakładów inwestycyjnych, duży zysk),
- ◆ wysoką elastycznością operacyjną,
- ◆ elastycznością paliwową.

O rozwoju konkretnych technologii, oprócz wyżej wymienionych cech, decydować będą czynniki wewnętrzne oraz zewnętrzne, w tym ograniczenia techniczne, technologiczne, ekonomiczne, ekologiczne i społeczne (Kamrat 2009).

Potencjalnymi technologiami spełniającymi w większym lub mniejszym stopniu wymienione kryteria, które można zrealizować w skali przemysłowej są:

1. Technologie opalane węglem pracujące na parametrach nadkrytycznych.
2. Technologie gazowo-parowe ze zgazowaniem węgla.

3. Technologie opalane gazem ziemnym, w tym turbina gazowa i bloki parowo-gazowe.
4. Technologie jądrowe z reaktorami nowej generacji.
5. Technologie wykorzystujące energię wodną, przede wszystkim elektrownie szczytowo-pompowe i elektrownie bazujące na naturalnym przepływie wody.

Większość wymienionych wyżej technologii to technologie należące do grupy tzw. „czystych” technologii energetycznych, czyli takich, których celem jest wytwarzanie energii przy ograniczeniu szkodliwego oddziaływania procesu na środowisko, racjonalizacja wykorzystania paliw i surowców odnawialnych oraz zapobieganie powstawaniu odpadów poprodukcyjnych. Ich zastosowanie przyczyni się do ograniczenia zużycia paliw kopalnych, obniżenia emisji dwutlenku węgla oraz efektywnego gospodarowania energią (Duczkowska-Kądział i in. 2013).

Rozwój czystych technologii energetycznych wynika z szeregu uwarunkowań. W dalszej części niniejszej pracy skupiono się na najważniejszych czynnikach, od których w głównej mierze zależeć będzie tempo rozwoju czystych technologii energetycznych wykorzystujących paliwa kopalne w warunkach polskich.

1. Struktura wiekowa elektrowni

Jednym z najważniejszych obecnie problemów krajowego podsektora wytwarzania energii jest niekorzystna struktura wiekowa węglowych bloków energetycznych. W Krajowym Systemie Elektroenergetycznym wciąż pracują jednostki wytwórcze – elektrownie i elektrociepłownie o łącznej mocy ponad 10 GW – starsze niż 40-letnie, a przeszło 60% mocy wytwórczych ma więcej niż 30 lat, co powoduje, że pracują one ze sprawnością na poziomie około 32–36%. Średnia sprawność wszystkich krajowych bloków energetycznych wynosi około 37%. Nowo powstające w wielu krajach świata jednostki wytwórcze (źródła energii) osiągają sprawność nawet o 25% wyższą. W państwach Unii Europejskiej, w porównywalnych układach wytwórczych, średnia sprawność urządzeń generujących energię elektryczną przekroczyła poziom 44%. Ta siedmiopunktowa różnica świadczy o znacznej przewadze technologicznej państw Unii Europejskiej nad Polską. Przekłada się to na wyższe koszty wytwarzania energii w Polsce, a tym samym obniżenie konkurencyjności polskiej energetyki. Zawansowany wiek krajowych jednostek wytwórczych sprawia, że w najbliższych latach należy spodziewać się wycofywania znacznej ich liczby z ruchu lub odstawiania do modernizacji (Kaliski i in. 2009; Zaporowski 2009; Bil i in. 2010).

Do 2022 roku można się spodziewać odstawienia ogółem około 9–10 GW mocy zainstalowanych w elektrowniach systemowych. Należy zauważyć, że tego ubytku nie zrekompensują powstające nowe źródła odnawialne, tym bardziej, że ich rozwój również napotyka na szereg barier. Ze względu na szybko rosnący popyt oraz zdekapitalizowaną infrastrukturę do wytwarzania energii elektrycznej w następnych dziesięcioleciach niezbędne będą znaczne inwestycje w nowe moce wytwórcze. Polska w ciągu najbliższych 10–20 lat musi zastąpić istotną część

swoich starzejących się mocy wytwórczych, żeby pokryć zapotrzebowanie na energię. Wymagane tempo budowy nowych mocy szacuje się na około 1 GW nowej mocy wytwórczej rocznie. Decyzje inwestycyjne dotyczące wyboru technologii i rodzaju nowo budowanych źródeł będą kształtowały intensywność emisji gazów cieplarnianych przyszłej struktury źródeł energii (Bil i in. 2010; Fuss i Szolgayova 2010; Corless i in. 2011). Potrzeba inwestycji w nowe moce jest elementem sprzyjającym intensyfikacji rozwoju czystych technologii wytwarzania energii i z paliw kopalnych, zwłaszcza węgla.

2. Krajowe zasoby surowców

Pomimo wzrostu wymagań w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego sektor energetyczny nie chce odejść od węgla, z powodu jego wielkiej obfitości i niskich cen, a także faktu, że – w przeciwieństwie do zasobów ropy i gazu – wiele złóż znajduje się w politycznie stabilnych regionach świata. Dlatego – nie rezygnując z wykorzystania węgla – szereg krajów, w celu zmniejszenia emisji CO₂, stara się rozwijać wysoko sprawne technologie spalania węgla, technologie bazujące na zgazowaniu węgla oraz zwiększać efektywność procesów wychwytywania i składowania ditlenku węgla. Również Polska przygotowuje się do uruchomienia instalacji zgazowania węgla, jednak wątpliwe jest, żeby w bliskiej perspektywie zgazowanie węgla było w Polsce konkurencyjnym cenowo źródłem energii (Chen i Xu 2010; Frączek 2010).

Elementem, który nakierowuje myślenie na wykorzystanie węgla w sposób nie zagrażający środowisku są bardzo duże bilansowe zasoby węgla kamiennego i brunatnego, jak również wieloletnia tradycja wykorzystywania tych zasobów do celów energetycznych.

Z drugiej strony, obecna trudna sytuacja górnictwa skutkuje, między innymi, niewystarczającym przygotowaniem nowych złóż węgla kamiennego do eksploatacji. Powoduje to, że w przyszłości krajowe wydobycie węgla może się okazać niewystarczające do pokrycia zapotrzebowania na to paliwo. Niezbędne jest również poniesienie – w perspektywie 15–20 lat – znacznych nakładów inwestycyjnych na przygotowanie do eksploatacji nowych złóż węgla brunatnego. Przewiduje się, że obecnie eksploatowane złoża węgla brunatnego umożliwią pracę elektrowni zasilanych tym paliwem, co najmniej do 2025 roku. Nowe inwestycje w górnictwie, jakie będą niezbędne dla zapewnienia zaopatrzenia w węgiel rozwijającego się sektora energetycznego wymuszą znaczny wzrost kosztów wydobycia, związany z nakładami na przygotowanie nowych mocy wydobywczych do eksploatacji, wobec czego krajowy węgiel będzie coraz droższy. Skutkować to będzie wzrostem dostaw węgla kamiennego z importu, wiążąc krajowe ceny węgla z cenami międzynarodowymi (Frączek 2010; Jeżowski 2011).

3. Koszty

Czyste technologie energetyczne wykorzystujące paliwa kopalne charakteryzują się wysokimi nakładami inwestycyjnymi oraz wyższymi kosztami operacyjnymi w porównaniu do technologii stosowanych obecnie. Krajowe badania prowadzone w zakresie zgazowania węgla wskazują na brak konkurencyjności tych technologii względem konwencjonalnych technologii energetycznych. Kluczowe znaczenie mają koszty dotyczące instalacji wychwytu i sekwestracji ditlenku węgla (CCS – *Carbon Capture and Storage*). Szacuje się, że nakłady inwestycyjne elektrowni węglowych z instalacją CCS wzrosną o około 30–40% w porównaniu do nakładów na budowę elektrowni węglowej bez instalacji CCS, natomiast koszty produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wyposażonych w instalację CCS wzrosną nawet o 65%. Niektóre opracowania podają, że koszt technologii CCS wraz z przesyłem i zatłaczaniem CO₂ w warunkach polskich może skutkować przyrostem jednostkowego kosztu wytwarzania energii elektrycznej w granicach 90–170 zł/MWh. Byłby to bardzo poważny wzrost kosztów produkcji energii elektrycznej, przekreślający z góry konkurencyjność elektrowni wyposażonych w CCS. Szacuje się, że dopiero od 2040 roku elektrownie gazowe z instalacją CCS zaczną być ekonomicznie opłacalne, a od 2045 roku również elektrownie opalane węglem (Dreszer i in. 2008; Bil i in. 2010; Tzimas i Georgakaki 2010; Jeżowski 2011; Jacoby i in. 2012).

Problem wysokich kosztów wytwarzania energii w czystych technologiach energetycznych można rozwiązać poprzez dotacje rządowe, jednak utrzymanie takiego rozwiązania na dłuższą metę będzie trudne.

4. Regulacje prawne

Wybór konkretnej technologii wytwarzania energii będzie wynikał przede wszystkim z rachunku ekonomicznego. Biorąc jednak pod uwagę obecne założenia polityki energetycznej UE, ważną rolę przy podejmowaniu decyzji o wyborze technologii wytwarzania energii elektrycznej będą odgrywać również aspekty ekologiczne (Kamrat 2007; Kaliski i in. 2009).

Energetyczne wykorzystanie paliw kopalnych powoduje emisję gazów, takich jak ditlenek węgla i tlenki azotu, powstających w wysokich temperaturach spalania, oraz tlenki siarki, a także tlenki innych pierwiastków, stanowiących domieszki w paliwach kopalnych. Problem emisji pyłów, towarzyszący spalaniu paliw stałych w elektrowniach i elektrociepłowniach, został rozwiązany dzięki stosowaniu wysoko wydajnych elektrofiltrów, jednak w małych, lokalnych kotłowniach jest to nadal problem. Emisja gazów cieplarnianych, związanych z wytwarzaniem energii, a zwłaszcza ditlenku węgla, tlenków siarki i tlenków azotu uważana jest za jedno z głównych zagrożeń dla środowiska (Aspelund i Gundersen 2009; Hoffmann i Szkło 2011).

Wdrożenie zasad zrównoważonego rozwoju i polityki klimatycznej w elektroenergetyce jest wielkim wyzwaniem dla Polski. Krajowa elektroenergetyka musi ponieść ten wysiłek, aby sprostać wymogom, jakie narzuciły dyrektywy unijne oraz wypracowywana niedawno strategia gospodarki niskoemisyjnej do 2050 roku. Najnowsze, bardzo ambitne założenia polityki klimatycznej, ujęte w mapie drogowej 2050 (*A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*), stanowią dla sektora elektroenergetycznego nie lada wyzwanie (Jeżowski 2011; Komunikat... 2011).

Nowym wyzwaniem jest również realizacja wymagań dyrektywy 2001/80/WE (LCP – *Large Combustion Plant*) dotyczącej poziomów emisji SO₂, NO_x i pyłów. W szczególności trudna sytuacja występuje w zakresie redukcji emisji SO₂ i NO_x. Polskie elektrownie emitują obecnie od 500–550 mg NO_x/m³, podczas gdy zgodnie z normami unijnymi od 2016 roku emisja ta nie może przekraczać poziomu 200 mg NO_x/m³. Opóźnienia dotyczące modernizacji elektrowni w zakresie instalacji odsiarczania spalin powodują, że niektóre bloki są wyłączane z ruchu ze względu na przekroczenia emisji, z czego znaczna część ze względu na wiek nie nadaje się do modernizacji, lecz wymaga całkowitej wymiany (Dyrektywa... 2001; Jeżowski 2011).

Wprowadzenie handlu uprawnieniami do emisji CO₂ stało się bardzo ważnym elementem gry rynkowej. Koszty zakupu uprawnień do emisji CO₂, pomimo obecnie swych niskich wartości, istotnie wpływają na ostateczny bilans kosztów produkcji energii elektrycznej. Tym samym wpływ elektrowni na środowisko staje się jednym z kluczowych zagadnień w procesie podejmowania decyzji związanych z wyborem i budową jednostki wytwórczej (Grudziński 2012).

5. Dojrzałość technologiczna i uwarunkowania techniczne

Technologiczne aspekty redukcji emisji CO₂ są zdecydowanie trudniejsze niż redukcja emisji SO₂, NO_x i pyłów. Technologie redukcji emisji CO₂ są nowymi rozwiązaniami, dotychczas niepraktykowanymi na skalę przemysłową. Pomimo, że opracowano bardzo wiele rozwiązań technologicznych w zakresie wychwytu z gazów spalinowych oraz sekwestracji CO₂, to technologie te znajdują się w zasadzie w fazie badań i nie są jeszcze sprawdzone; tym samym nieznaną jest ich skuteczność. Technologie CCS stwarzają szereg trudności aplikacyjnych, mają wady eksploatacyjne i niosą różne ryzyka. Przede wszystkim jednak są one bardzo drogie w stosunku do innych sposobów obniżania emisji CO₂, takich jak np. poprawa efektywności energetycznej, substytucja paliwa wsiadowego i niektóre rodzaje OZE. Nie widać na razie perspektyw wyraźnej obniżki kosztów z tytułu nakładów na budowę instalacji CCS, tak jak ma to miejsce w zakresie OZE. Jednocześnie praktyczne wykorzystanie technologii CCS stwarza liczne problemy techniczne, ponieważ oprócz instalacji wychwytywania CO₂ wymagają one urządzeń do przesyłania, zatłaczania i składowania go w zbiornikach geologicznych. Składowanie CO₂ wiąże się z dostępnością przestrzenną i geologiczną oraz bezpieczeństwem magazynowania. Technologie CCS znacząco obniżają sprawność wytwarzania energii elektrycznej, średnio o 10 punktów pro-

centowych, co należy uznać za bardzo wysoką stratę, trudną do akceptacji w warunkach walki o efektywność energetyczną. Wysoka energochłonność przyczynia się do wzrostu zużycia paliw kopalnych, co może mieć wpływ na bezpieczeństwo dostaw paliwa, a więc jest sprzeczne z wymogami bezpieczeństwa energetycznego (Tzimas i Georgakaki 2010; Bartnik i in. 2011; Jeżowski 2011).

Należy spodziewać się, że instalacje CCS będą technicznie opanowane i komercyjnie dostępne nie wcześniej niż po 2020 roku. Bardziej sceptyczne źródła podają, że pełna komercjalizacja tej technologii nastąpi około 2050 roku. W Polsce budowa pełnoskalowych elektrowni IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*) z usuwaniem i magazynowaniem CO₂ będzie możliwa najwcześniej w horyzoncie lat 2025–2030, zaś wdrożenie technologii wykorzystujących oxyspalanie w krajowej energetyce będzie możliwe nie wcześniej niż w 2030 roku, a praktycznie po tym terminie. Unia Europejska dopiero wdraża program budowy kilkunastu instalacji demonstracyjnych (Dreszer i in. 2008; Bartnik i in. 2011; Hammonda i in. 2011).

Tempo rozwoju technologii CCS może być mocno ograniczone jeśli dostęp do gazu będzie łatwiejszy, na przykład jeśli znacząco wzrośnie jego wydobywanie. Gdyby nie nastąpił rozwój rynku gazu, zastosowanie instalacji CCS w elektrowniach węglowych miałyby miejsce około 2045 roku. Uwzględniając upowszechnienie wykorzystania gazu ziemnego przewiduje się, że takie instalacje zostaną uruchomione 10–15 lat później (Jacoby i in. 2012).

Niska dojrzałość czystych technologii energetycznych wiąże się z wysokim ryzykiem technologicznym, które utrudnia realizację nowych inwestycji, zwiększając koszty finansowania (World Bank... 2011).

6. Akceptacja społeczna

Akceptacja społeczna jest ważną kwestią, warunkującą proces powszechnego wdrażania i rozwoju czystych technologii energetycznych. Brak akceptacji społecznej sprawia, że niektóre projekty mogą zostać opóźnione lub zablokowane. Wynika to głównie z obawy przed potencjalnymi zagrożeniami, jakie niosą te technologie. Dla technologii podziemnego zgazowania węgla jest to w głównej mierze obawa przed wybuchem oraz wątpliwości związane z możliwością kontroli procesu zgazowania pod powierzchnią ziemi. Z kolei w przypadku podziemnej sekwestracji ditlenku węgla obawy te dotyczą potencjalnego ryzyka związanego z wyciekami składowanego gazu i jego skutków. Niepewności te są potęgowane brakiem wiedzy i zrozumienia procesów technologicznych, a także brakiem debat i konsultacji społecznych w trakcie procesów decyzyjnych i tworzenia aktów legislacyjnych w tym zakresie. Ponieważ większość społeczeństwa niewiele wie o czystych technologiach energetycznych, najważniejszym krokiem będzie zapewnienie mu dostępu do zrozumiałej, rzetelnej i aktualnej informacji na ich temat. Potrzebna jest również edukacja, pozwalająca na zrozumienie przekazywanych informacji (Radwanek-Bąk 2010; Jeżowski 2011; Hausner i Białecka 2012; Moula i in. 2013).

Poziom akceptacji społecznej ma charakter dynamiczny, dlatego też zdobywanie publicznej aprobaty dla czystych technologii energetycznych musi być prowadzone w sposób ciągły, co zapewni jej utrzymanie na wymaganym poziomie. Trudno jest oczekiwać, że wyłącznie odpowiedni poziom wiedzy obywateli zapewni pełną akceptację dla powyższych rozwiązań, tym niemniej wydaje się, że może on istotnie przyczynić się do obniżenia poziomu niepewności związanej z ich wprowadzaniem. Uświadamiając ludziom potrzebę zmian, zagrożenia wynikające z braku podejmowania działań w sektorze energetycznym oraz przedstawiając korzyści płynące z wprowadzania czystych technologii energetycznych, można wpłynąć na podniesienie akceptacji społeczeństwa. Pomaga w tym łączenie czystych technologii energetycznych z technologiami przynoszącymi korzyści ekonomiczne, szczególnie na poziomie lokalnej społeczności. Taką skojarzoną inwestycją może być instalacja zatłaczania CO₂ w głębokie pokłady solankowe, przy jednoczesnym pozyskiwaniu ciepła geotermalnego na lokalne potrzeby. Innym przykładem są technologie EOR (*Enhanced Oil Recovery*) i EGR (*Enhanced Gas Recovery*), które obok zatłaczania CO₂, pozwalają wykorzystać CO₂ do wypierania gazu ziemnego lub ropy naftowej, co przynosi wymierne korzyści ekonomiczne dla regionu (Majer 2008; Program... 2010; Radwanek-Bąk 2010; Jeżowski 2011).

Podsumowanie

- Przedstawioną w artykule dyskusję można podsumować w formie następujących spostrzeżeń:
- ◆ Starzejąca się flota jednostek wytwórczych w krajowej elektroenergetyce wymaga realizacji wielu nowych inwestycji, których celem jest odbudowa wycofywanych z użycia mocy wytwórczych. Daje to szansę na realizację projektów bazujących na czystych technologiach energetycznych, których wdrożenie do krajowej struktury jest nieuniknione ze względu na zaostrzające się wymagania w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego.
 - ◆ Biorąc pod uwagę fakt, że węgiel jest podstawowym źródłem energii w krajowej elektroenergetyce, głównym kierunkiem rozwoju czystych technologii energetycznych w Polsce będą technologie węglowe. Jednocześnie krajowe zasoby przemysłowe węgla są coraz mniejsze, a ich powiększenie wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych na udostępnienie nowych pokładów i uruchomienie ich eksploatacji w celu utrzymania produkcji surowca na poziomie przyszłego zapotrzebowania. Sytuacja ta może się przełożyć na wzrost cen węgla, prowadząc do wzrostu kosztów wytwarzania energii z jego wykorzystaniem, a w konsekwencji obniżenia konkurencyjności czystych technologii węglowych w porównaniu do innych rozwiązań, hamując ich rozwój.
 - ◆ Czynnikiem, który nie sprzyja upowszechnieniu czystych technologii energetycznych jest ich niska dojrzałość i związane z tym wysokie ryzyko technologiczne, którym trudno zarządzać. Przyczynia się ono do wzrostu kosztów finansowania inwestycji, co przekłada się na wzrost kosztów wytwarzania energii w tych technologiach.

- ◆ Niektóre rozwiązania technologiczne spotykają się z dezaprobatą społeczną, która wynika głównie z braku odpowiedniej wiedzy i implikowanych z tego powodu obaw o bezpieczeństwo związane z zastosowaniem czystych technologii energetycznych. Brak akceptacji społecznej dla podziemnego zgazowania węgla i sekwestracji ditlenku węgla może skutecznie opóźnić lub nawet wstrzymać potrzebne projekty inwestycyjne.
- ◆ Uwarunkowania ekonomiczne, techniczne, prawne i społeczne będą determinowały możliwość komercyjnego wykorzystania w przyszłości technologii CCS. Szacuje się, że dopiero od 2040 roku elektrownie z instalacją CCS będą przedsięwzięciem, których realizacja będzie zasadna i możliwa.

Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Literatura

- ASPELUND, A. i GUNDERSEN, T. 2009. A liquefied energy chain for transport and utilization of natural gas for power production with CO₂ capture and storage – Part 1. *Applied Energy*, No. 86, s. 781–792.
- BARTNIK i in. 2011 – BARTNIK, R., DUCZKOWSKA-KĄDZIEL, A. i SKRZYSZEWSKI, M. 2011. Pakiet klimatyczno-energetyczny a dwupaliwowe układy gazowo-parowe. *Energetyka* nr 1, s. 17–20.
- BIL i in. 2010 – BIL, J., GAŚSIOROWSKA, E., GRACZYK, W., GUZIK, R., MACIUK-GROCHOWSKA, A., MALEC, A. i SMOLEŃ P. 2010. *Analiza trendów rozwoju branży energetycznej: Raport*. Związek Pracodawców Prywatnych Energetyki, Warszawa.
- BURCHART-KOROL i in. 2014 – BURCHART-KOROL, D., KRAWCZYK, P., CZAPLICKA-KOLARZ, K., TUREK, M. i BORKOWSKI, W. 2014. Development of sustainability assessment method of coal mines. *Journal of Sustainable Mining* 13 (4), s. 5–11.
- CHEN, W. i XU, R. 2010. Clean coal technology development in China. *Energy Policy* Vol. 38, No. 5, s. 2123–2130.
- CORLESS i in. 2011 – CORLESS, V., FJØSNA, E., HAVLIK, J., HELSETH, J., HOFF, E., KNUDSEN, T., TAYLOR, D., TJETLAND, G. i ZABOROWSKI, M. 2011. *Polisa na niezależność energetyczną. Mapa drogowa CCS dla Polski*. Raport. Fundacja Bellona, Kraków.
- DRESZER i in. 2008 – DRESZER, K., ŚCIAŻKO, M., CHMIELNIAK, T. i ZUWAŁA, J. 2008. Scenariusz rozwoju technologii energetycznych. *Archiwum Energetyki* t. 38, nr 2, s. 71–81.
- DUCZKOWSKA-KĄDZIEL i in. 2013 – DUCZKOWSKA-KĄDZIEL, A., DUDA, J. i WASILEWSKI, M. 2013. *Innowacyjne czyste technologie szansą rozwoju przemysłu. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Opole, s. 641–651.
- Dyrektywa... 2001 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/80/WE z dnia 23 października 2001 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych źródeł spalania paliw.
- FRĄCZEK, P. 2010. Rola gazu ziemnego w polityce energetycznej Polski: stan obecny i perspektywy. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 13, z. 1, s. 43–64.
- FUSS, S. i SZOLGAYOVA, J. 2010. Fuel price and technological uncertainty in a real options model for electricity planning. *Applied Energy* 87, s. 2938–2944.
- GRUDZIŃSKI, Z. 2012. Metody oceny konkurencyjności krajowego węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej. *Studia, Rozprawy, Monografie* 180. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

- GUS 2015. Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2013 i 2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- HAMMONDA i in. 2011 – HAMMONDA, G.P., ONDO AKWEA, S.S. i WILLIAMS, S. 2011. Techno-economic appraisal of fossil-fuelled power generation systems with carbon dioxide capture and storage. *Energy* no 36, s. 975–984.
- HAUSNER, J. i BIAŁECKA, B. 2012. Założenia do budowy systemu wspierającego wdrażanie czystych technologii węglowych (CTW). *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji* 2 (2), s. 169–179.
- HOFFMANN, B.S. i SZKŁO, A. 2011. Integrated gasification combined cycle and carbon capture: A risky option to mitigate CO₂ emissions of coal-fired power plants. *Applied Energy* Vol. 88, Issue 11, s. 3917–3929.
- IEA/OECD 2015. Key Worlds Energy Statistics. International Energy Agency [Online] Dostępne w: www.iaea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf [Dostęp: 12.08.2016].
- JACOBY i in. 2012 – JACOBY, H.D., O’SULLIVAN, F.M. i PALTSEV, S. 2012. The Influence of Shale Gas on U.S. Energy and Environmental Policy. *Economics of Energy & Environmental Policy* Vol. 1, No. 1, s. 37–52.
- JEŻOWSKI, P. 2011. Koszty polityki klimatycznej UE dla polskich przedsiębiorstw energetycznych. Przedsiębiorstwa wobec zmian klimatu, 7–8 kwietnia 2011, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.
- KALISKI i in. 2009 – KALISKI, M., SIEMEK, J., SIKORA, A., STAŚKO, D., JANUSZ, P. i SZURLEJ, A. 2009. Wykorzystanie gazu ziemnego do wytwarzania energii elektrycznej w Polsce i UE – szanse i bariery. *Rynek Energii* 8, s. 2–7.
- KAMRAT, W. 2007. Paliwa gazowe dla energetyki – stagnacja czy rozwój. *Rynek Energii* nr 4, s. 15–19.
- KAMRAT, W. 2009. Elektrownie gazowe szansą poprawy bezpieczeństwa elektroenergetycznego Polski. *Rynek Energii* 8, s. 14–20.
- Komunikat... 2011 – Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów z dnia 8.03.2011 r. Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.
- MAJER, M. 2008. Poziom wiedzy i akceptacji społecznej dla nowych technologii w sektorze energetyki (na przykładzie mieszkańców Województwa Śląskiego). *Prace Naukowe Gig Górnictwo i Środowisko – Research Reports Mining and Environment* 4 (7), s. 17–34.
- MOULA i in. 2013 – MOULA, M.E., MAULA, J., HAMDY, M., FANG, T., JUNG, N. i LAHDELMA, R. 2013. Researching social acceptability of renewable energy technologies in Finland. *International Journal of Sustainable Built Environment* 2, s. 89–98.
- Program... 2010 – Załącznik nr 2 do Zielonej Księgi Narodowego Programu Redukcji Emisji Gazów Ciepłarnianych Czyste Technologie Węglowe. Grupa Robocza ds. Czystych Technologii Węglowych. Społeczna Rada Narodowego Programu Redukcji Emisji, Warszawa 2010.
- PSE 2016. Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA. Struktura produkcji energii elektrycznej w elektrowniach krajowych, wielkości wymiany energii elektrycznej z zagranicą i krajowe zużycie energii – wielkości miesięczne oraz od początku roku – wielkości brutto [Online]. Dostępne w: www.pse.pl/index.php?modul=8&y=2015&m=12&id_rap=212 [Dostęp: 11.05.2016].
- RADWANEK-BAK, B. 2010. Rozwój górnictwa zrównoważonego w Polsce. *Surowce i Maszyny Budowlane*, nr 3, s. 36–40.
- RUKES, B. i TAUD, R. 2004. Status and perspectives of fossil power generation. *Energy* Vol. 29, No. 12–15, s. 1853–1874.
- SZYMKIEWICZ i in. 2010 – SZYMKIEWICZ, A., FRAŚ, A. i PRZYSTAŚ, R. 2010. Zrównoważony rozwój górnictwa węgla kamiennego w Południowym Koncernie Węglowym S.A. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 6 (190), s. 3–14.
- TZIMAS, E. i GEORGAKAKI, A. 2010. A long-term view of fossil-fuelled power generation in Europe. *Energy Policy* Vol. 38, Issue 8, s. 4252–4264.

World Bank... 2011 – Promotion of New Clean Energy, Technologies and the World Bank Group, Background Paper for the World Bank Group Energy Sector Strategy, January 2011.
ZAPOROWSKI, B. 2009. Perspektywy rozwoju źródeł wytwórczych opalanych gazem ziemnym w polskiej elektroenergetyce. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 659–674.

Dominik KRYZIA, Lidia GAWLIK, Monika PEPEŁOWSKA

Conditions for development of clean technologies of energy generation from fossil fuels

Abstract

The development of clean energy technologies in Poland depends on many factors. The authors identified few most important ones and characterized them in this work. One of such factors is the unfavorable age structure of national power units which determines the development of new projects. The increasing requirements for environmental protection and restrictions on greenhouse gas emissions force the introduction of clean energy technologies. Considering the fact that coal is the primary source of energy in Poland, the dominant direction of clean technologies development will become the coal technologies. An important limitation to their introduction may be, however, the high cost of producing energy in these technologies resulting from substantial investment and high operating costs. Another barrier may be a declining resource base, increase of which will require new investments in the domestic mining industry that will have an impact on the cost of power generation in coal technologies. In addition, most of clean energy technologies are not mature enough for deployment and commercial use. This raises public concerns, which could lead to the retreat of the investment and increase the investment risk leading to discouraging investors to finance such investments.

KEYWORDS: clean energy technologies, CO₂ sequestration, CCS, natural gas, coal, decarbonization

