



**Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej.
Sympozja i Konferencje nr 64.**
Wyd. Instytutu GSMiE PAN ♦ Kraków ♦ s. 97-112
PL ISBN 83-89174-18-9

Urszula LORENZ

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, e-mail: ulalo@min-pan.krakow.pl

Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania

Słowa kluczowe

węgiel kamienny – spalanie – emisje – odpady – redukcja zanieczyszczeń

Streszczenie

Węgiel jest najobficiej występującym na świecie paliwem kopalnym. Jego udział w wytwarzaniu energii elektrycznej wynosi prawie 40%, jednakże spalanie węgla w energetyce powoduje powstawanie emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz wytwarzanie dużej ilości stałych produktów ubocznych. Technologie spalania są wciąż doskonałe. Ten fakt wraz z poprawą jakości węgla przed spalaniem oraz coraz powszechniej stosowanymi metodami oczyszczania spalin powodują, iż negatywne skutki spalania węgla są coraz mniej uciążliwe dla środowiska przyrodniczego. W referacie opisano skutki spalania węgla dla środowiska oraz stosowane metody ich ograniczania, a także światowe tendencje w rozwoju technologii spalania i redukcji zanieczyszczeń. Podano również informacje o działaniach podjętych w polskiej energetyce w tej dziedzinie.

1. Wprowadzenie

Energia jest podstawowym motorem ekonomicznego rozwoju i czynnikiem poprawiającym jakość życia. Niezawodny dostęp do energii jest kluczowym elementem rozwoju gospodarczego i społecznego. Węgiel zaspokaja dziś około 23,5% potrzeb energetycznych w skali globalnej, a wytwarzanie energii elektrycznej opiera się na węglu w 39% [Key world energy statistics].

Obecnie ponad jedna czwarta ludzi nie ma dostępu do energii elektrycznej, a dwie piąte do gotowania i ogrzewania używa różnego rodzaju odpadów (biomasy w tradycyjnym ujęciu: drewna, odpadów roślinnych, odchodów zwierzęcych itp.). W tym samym czasie, społeczeństwa – zwłaszcza w krajach rozwiniętych – domagają się czystszej energii i zmniejszenia zanieczyszczeń (powietrza, wód, powierzchni ziemi). Żądania niższych emisji prowadzą do niemal powszechnego – zwłaszcza w przekazach medialnych, kształtujących opinie społeczną – kwestionowania roli paliw kopalnych generalnie, a węgla w szczególności.

Tymczasem wszelkie prognozy energetyczne uwzględniają dominującą rolę paliw kopalnych w bilansie energetycznym świata, gdyż przy obecnym poziomie wiedzy oraz technologii nie jest możliwe ich zastąpienie przez żaden inny nośnik energii.

Przewiduje się (np. prognoza IEA [WCI 2003, 2004]), że zapotrzebowanie na energię w skali świata wzrośnie w ciągu najbliższych 30 lat o prawie 70%. Większość tego wzrostu wystąpi w krajach rozwijających

się, w tym 1/3 – w Chinach i Indiach. Nawet pomimo tego jednak w dalszym ciągu w roku 2030 około 1,4 mld ludzi będzie pozbawionych dostępu do energii elektrycznej. Aby sprostać temu zapotrzebowaniu nie można ignorować żadnego dostępnego źródła energii – zwłaszcza węgla, najbardziej zasobnego z paliw kopalnych.

Znaczenie węgla oraz innych paliw kopalnych zostało także docenione i podkreślone na Światowym Szczycie na temat Zrównoważonego Rozwoju w Johannesburgu w 2002 r., którego przesłanie: „Zróżnicowanie dostaw energii poprzez rozwój nowoczesnych, czystszych, sprawniejszych i efektywnych ekonomicznie technologii energetycznych z włączeniem technologii spalania paliw kopalnych” – wyraża zalecenie dla rządów przy kształtowaniu polityki energetycznej krajów świata. Podkreślono również, że „... same odnawialne źródła energii nie stanowią drogi do zrównoważonej przyszłości przy obecnej skali postrzegania tych zagadnień. Rozwój gospodarczy i wykorzenianie biedy zależą od bezpiecznego, pewnego zaopatrzenia w energię. (...) Paliwa kopalne, chociaż podlegają wyzwaniom ekologii, mogą spełnić kryteria bezpieczeństwa i pewności zaopatrzenia. Nauka i nowoczesne technologie oferują możliwe rozwiązania problemów środowiskowych – czyste technologie węglowe oraz technologie bezpiecznego wychwytywania i magazynowania CO₂”.

Wszystkie sposoby przetwarzania energii pierwotnej na bardziej uszlachetnione formy, a zwłaszcza na energię elektryczną, mają swoje strony pozytywne i negatywne, zarówno w aspekcie oddziaływania na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi, jak i bezpieczeństwo dostaw energii oraz wpływ na środowisko – nie ma metod całkowicie pozbawionych ryzyka. W tabeli 1.1 zestawiono pozytywne i negatywne cechy pierwotnych nośników energii w procesie ich przetwarzania na energię finalną.

Tabela 1.1. Pozytywne i negatywne strony przetwarzania energii nośników pierwotnych na energię końcową
Table 1.1. Positive and negative points in converting primary energy carriers into final form of energy

Nośnik energii	Cechy pozytywne	Cechy negatywne
Węgiel	obfitość zasobów, pewność, bezpieczeństwo łatwy w transporcie i magazynowaniu szeroko dostępny	najbardziej uwęglone paliwo do produkcji energii elektrycznej stwarza wyzwania dla ograniczania emisji CO ₂
Ropa	wygodna łatwa do transportu i magazynowania brak substytutu w wykorzystaniu w transporcie	powoduje emisję CO ₂ zmiennosc cen koncentracja zasobów podatność na niestabilność polityczną ryzyko transportowe
Gaz	wydajny i wygodny dla różnych sposobów użytkowania (np. ogrzewanie domów)	powoduje emisję CO ₂ drogi i ryzykowny w transporcie i magazynowaniu wymaga odpowiedniej infrastruktury podatny na zmiany cen koncentracja zasobów
Paliwo jądrowe	nie powoduje emisji ograniczone źródła	akceptacja społeczna problemy składowania odpadów kapitałochłonność – może być nieekonomiczny na niektórych rynkach
Odnawialne	niskie emisje na bazie cyklu życia zrównoważone	generalnie wciąż wysokie koszty nieciągle zasoby rozwój zabierze trochę czasu problemy lokalizacyjne

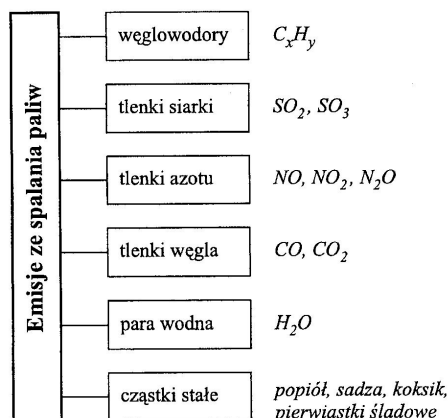
Źródło: [WCI 2003]

2. Produkty spalania węgla

Ze względu na chemiczną budowę związków występujących w węglu można wydzielić trzy grupy substancji: substancję organiczną, substancję nieorganiczną (mineralną) oraz wodę, natomiast ze względu na sposób zachowania się w procesie spalania przyjęło się umownie dzielić substancje tworzące węgiel na substancję palną oraz balast. Do balastu zalicza się wilgoć i części mineralne, z których powstaje popiół. Substancja palna węgla składa się z węglowodorów i związków organicznych, w których skład wchodzi pierwiastki: S, O i N. Nieznaczny udział w substancji palnej mają także niektóre siarczki nieorganiczne [Lorenz 1999].

Pośród pierwiastków budujących węgiel za palne uważa się tylko węgiel C, wodór H i siarkę S oraz azot N. Tak więc produktami zupełnego utlenienia pierwiastków palnych powinny być tlenki: CO₂, H₂O i SO₂, ewentualnie SO₃. Produkt utleniania azotu w spalinach kotłowych to przede wszystkim tlenek azotu NO (ok. 95%) – ze względu na jego trwałość w wysokich temperaturach. Zazwyczaj na skutek niedoskonałych warunków spalania, końcowe produkty spalania zawierają również substancje palne. Jest to zjawisko niepożądane, ponieważ zmniejsza efekt energetyczny procesu (ilość użytecznego ciepła).

Procesy spalania paliw (w tym węgla) są podstawowym źródłem skażenia atmosfery stałymi i gazowymi, toksycznymi i nietoksycznymi produktami spalania. Prawie wszystkie składniki spalin można uznać za zanieczyszczające środowisko przyrodnicze. Emisje ze spalania paliw schematycznie przedstawia rys. 2.1.



Rys. 2.1. Emisje ze spalania paliw [Lorenz 1999]
Fig. 2.1. Emissions from fuels combustion

Spalanie węgla powoduje również powstawanie stałych produktów spalania – popiołu i żużla, zwanych odpadami paleniskowymi. Ilość tych odpadów zależy od ilości zużytego węgla, jego jakości (zawartości popiołu), rodzaju i konstrukcji paleniska oraz od skuteczności zastosowanych urządzeń odpylających (rodzaj urządzeń odpylających ma również wpływ na skład granulometryczny popiołów).

W elektrowniach posiadających instalacje odsiarczania spalin (IOS) występuje dodatkowa grupa odpadów stałych z tych instalacji. Produktem mokrej IOS jest gips – aby mógł być on wykorzystany w budownictwie (jako substytut naturalnego kamienia gipsowego), musi spełniać odpowiednie wymagania jakościowe, w przeciwnym wypadku jest odpadem, wymagającym składowania. W przypadku stosowania technologii półsuchej odsiarczania spalin otrzymuje się – oprócz odpadów paleniskowych – suchy odpad z absorbera. Jest on mieszaniną, składającą się głównie z siarczynów (niekorzystnych dla środowiska) i siarczanów wapnia oraz popiołu. Produktem suchej metody odsiarczania jest – odbierany z popiołem lotnym w elektrofiltrze – suchy siarczan wapnia.

3. Węgiel a środowisko – czyste technologie węglowe

Rozwój technologii energetycznego wykorzystania węgla sprawił, że spalanie jest coraz bardziej efektywne i coraz mniej węgla zużywa się na wytworzenie jednostki energii elektrycznej. W ciągu XX wieku sprawność cieplna procesów poprawiła się 8-krotnie.

Dla osiągnięcia odpowiedniej sprawności przemian energetycznych oraz obniżenie negatywnego wpływu na środowisko zasadniczy wpływ ma fakt, w jaki sposób węgiel jest spalany, a nie samo paliwo.

Na poprawę efektywności energetycznej, ekonomicznej i ekologicznej procesów spalania węgla wpływa cały ciąg procesów: od poprawy jakości węgla, poprzez technologie spalania aż po urządzenia kontroli i redukcji emisji.

Mianem czystych technologii węglowych – lub technologii czystego węgla (*ang. Clean Coal Technologies – CCT*) określa się procesy i technologie, prowadzące do zmniejszenia negatywnego wpływu spalania węgla na trzech etapach: przed spalaniem, w trakcie spalania oraz po spalaniu.

3.1. Etap I – wzbogacanie węgla

Poprawa jakości węgla jest pierwszym z szeregu możliwych, a równocześnie jednym z najbardziej efektywnych procesów. Oczyszczanie węgla w prostych procesach przeróbki i wzbogacania ogranicza emisje SO_2 , zmniejsza ilość odpadów produkowanych przez elektrownię oraz poprawia sprawność termiczną procesu (przez co redukuje emisję CO_2). Oczyszczanie węgla jest standardem w wielu krajach, ale w krajach rozwijających się technologie wzbogacania węgla nie są jeszcze dostatecznie rozpowszechnione i wciąż pozostaje na tym polu bardzo dużo do zrobienia. Stosowanie węgla o niskiej zawartości popiołu ma również znaczącą korzyść dla środowiska.

Najnowsze technologie przeróbki węgla mogą produkować paliwo węglowe o zawartości popiołu poniżej 0,25% i bardzo niskiej zawartości siarki. To umożliwi spalanie pyłu węglowego z wysoką sprawnością (przynajmniej 55%) w turbinach gazowych o cyklu kombinowanym, dając w efekcie ultra-niskie emisje gazów cieplarnianych i inne korzyści ekologiczne, operacyjne i ekonomiczne.

3.2. Etap II – nowoczesne efektywne technologie spalania

Rozwój nowoczesnych technologii spalania nakierowany jest na poprawę sprawności najbardziej popularnych w świecie instalacji konwencjonalnego spalania pyłu węglowego, spalania w złożu fluidalnym oraz spalania węgla uprzednio zgazowanego. Wyższa sprawność skutkuje mniejszym zużyciem paliwa na jednostkę wytworzonej energii, przez co również zmniejsza się emisja substancji zanieczyszczających do powietrza.

Spalanie pyłu węglowego

We współczesnych konwencjonalnych elektrowniach węglowych węgiel jest spalany pod postacią pyłu. Technologia ta pozwala na spalanie szerokiego zakresu jakościowego węgla, chociaż jest mniej efektywna dla węgla o wysokim zapopieleniu.

Klasyczne technologie spalania węgla w elektrowniach znacznie poprawiły sprawność, przez co również zmniejszyły emisje. Typowe sprawności nowych instalacji pracujących przy podkrytycznych parametrach pary wynoszą 38-40%. Starsze elektrownie często mają sprawność rzędu 25%, co wcale nie jest rzadkością zwłaszcza w krajach rozwijających się. Proste zastąpienie starej technologii przez nową mogłoby znacząco zmniejszyć emisje, lecz przy wymianie powinno się wziąć pod uwagę ekonomiczny wiek instalacji. Konwencjonalne elektrownie wykorzystujące technologie nadkrytyczne lub ultra-nadkrytyczne, o bardzo wysokich ciśnieniach i temperaturach pary, osiągają sprawności powyżej 40%. Prowadzone są również prace (głównie w Niemczech) nad spalaniem węgla rozdrobionego do bardzo małych cząstek: uwolnione w tym procesie ciepło powoduje wysokie ciśnienie i wysoką temperaturę pary napędzającej turbinę; gazy spalinowe opuszczające kocioł mają wysokie ciśnienie, co jest wykorzystywane (po rozprężeniu w turbinie gazowej) do wytwarzania dodatkowej ilości energii elektrycznej oraz do napędu sprężarki turbiny.

Spalanie w złożu fluidalnym

Ta technologia spalania poprawia efektywność samego procesu spalania, wymianę ciepła oraz odzysk produktów odpadowych. Lepsza wymiana ciepła oraz stopień wymieszania węgla w złożu fluidalnym pozwala na obniżenie temperatury procesu w stosunku do konwencjonalnego spalania pyłu, co z kolei pozwala na obniżenie emisji tlenków azotu. Spalanie fluidalne obejmuje zarówno technologie operujące przy ciśnieniu atmosferycznym (w złożu pęcherzykowym – BFBC i cyrkulującym – CFBC), jak i pod zwiększonym ciśnieniem (PFBC oraz PCFBC).

Spalanie w cyklu kombinowanym ze zgazowaniem

W tej technologii (IGCC) węgiel nie jest spalany bezpośrednio, ale uprzednio reaguje z tlenem i parą wodną wytwarzając gaz syntezowy (składający się głównie z wodoru i tlenku węgla). Gaz ten jest oczyszczany a następnie spalany w turbinie gazowej wytwarzając energię elektryczną oraz parą wodną.

Stosowanie innowacyjnych technologii, takich jak zintegrowane zgazowanie w cyklu kombinowanym (IGCC), czy spalanie w ciśnieniowym złożu fluidalnym (PFBC), umożliwia osiągnięcie bardzo wysokich sprawności (do 50%) oraz bardzo wyraźnie obniża emisje tlenków azotu i siarki (95-99%).

W przyszłości za obiecującą opcję uważa się ogniwa paliwowe zintegrowane ze zgazowaniem, które pozwolą osiągnąć jeszcze wyższe sprawności.

Technologie nadkrytyczne i ultra-nadkrytyczne

Termin „nadkrytyczny” w termodynamice oznacza stan materii, w którym nie ma wyraźnej granicy pomiędzy fazą ciekłą i gazową – nie ma więc potrzeby oddzielania pary od wody. W tych technologiach elektrownie spalające pył węglowy pracują przy wyższych temperaturach i ciśnieniu pary (niż w instalacjach klasycznych), a obecnie osiągane sprawności sięgają 45%. Technologia jest już opanowana w stopniu komercyjnym, a koszty są tylko trochę wyższe od jednostek konwencjonalnych. Sprawności rzędu 50% są oczekiwane przy zastosowaniu ultra-nadkrytycznych parametrów pary.

3.3. Etap III – technologie redukcji emisji

Odpylanie

Do usuwania popiołu z gazów spalinowych stosuje się odpylacze mechaniczne, takie jak cyklony czy multicyklony, elektrofiltry oraz filtry workowe (tkaninowe). Na pracę elektrofiltrów znaczny wpływ wywierają właściwości popiołu (zwłaszcza jego opór właściwy). Zmiany w składzie substancji mineralnej, powodowane na przykład wzbogacaniem węgla, zmianą dostawcy lub zmianą technologii spalania skutkują niemożliwością przewidzenia zachowania się popiołu w elektrofiltrze. Filtry workowe są znacznie mniej wrażliwe na zmiany własności popiołu. W większości krajów w energetyce zawodowej stosuje się elektrofiltry lub/i filtry tkaninowe, co pozwala osiągnąć skuteczność odpylania powyżej 99,5%.

Aby usunąć z gazów spalinowych niebezpieczne dla zdrowia pierwiastki śladowe (np. rtęć) stosuje się wstrzykiwanie zawiesiny węgla aktywnego, który je adsorbuje i wraz z popiołami lotnymi jest usuwany w odpylaczach.

Odsiarczanie

Wśród technologii odsiarczania spalin wyróżnia się metody mokre, suche, półsuche oraz metody regeneracyjne. Najbardziej rozpowszechnione na świecie są instalacje mokrego odsiarczania spalin, które – pomimo iż są najdroższe – charakteryzują się najwyższą skutecznością, przekraczającą 90%. Ponad 80% pracujących instalacji odsiarczania spalin opiera się na metodzie mokrej.

Metoda mokrego odsiarczania gazów jest to proces, w którym absorbentem jest wodna zawiesina wapna (tzw. metoda wapieniowa) lub kamienia wapiennego (metoda wapienna), a produktem końcowym – siarczan wapnia. Skuteczność procesu zależy od stosunku stechiometrycznego Ca/S. Zastosowanie dodatkowego etapu utleniania powoduje, że produktem procesu jest czysty gips, będący produktem handlowym, co znakomicie poprawia efekt ekonomiczny procesu odsiarczania. W przeciwnym przypadku produkt stały z procesu jest odpadem, wymagającym zagospodarowania.

Istnieje wiele odmian procesów odsiarczania według metody mokrej, różniących się rodzajem zastosowanego absorbentu oraz wytwarzanych produktów ubocznych.

W metodzie suchej do komory spalania doprowadza się zmielony sorbent (kamień wapienny, kredę, dolomit, wapno palone lub hydratyzowane). Sorbent może być doprowadzany bezpośrednio z węglem, z powietrzem wtórnym lub systemem specjalnych dysz. Produktem procesu jest suchy siarczan wapnia, usuwany z gazów odlotowych z popiołem lotnym przez elektrofiltry. Skuteczność wynosi około 50%. Odmianą tej metody jest zastosowanie dodatkowej aktywacji sorbentu dzięki wtryskiwaniu do kanału odlotowego gazów spalinowych węglanu sodu (tzw. proces LIFAC).

W metodach półsuchych sorbentem jest przeważnie zawiesina wapieniowa. Najważniejszym elementem układu jest absorber z suszarką rozpyłową. Sorbent zostaje rozpylony w strumieniu spalin, co powoduje odparowanie wody i wytrącenie suchego produktu odsiarczania. Jako produkt odsiarczania otrzymuje się mieszaninę składającą się głównie siarczanu i siarczynu wapnia oraz nieprzereagowanego sorbentu. Zaletą metody półsuchej jest brak ścieków oraz niskie zużycie energii, natomiast wadą jest to, że produkt odsiarczania jest odpadem.

W powyższych procesach dwutlenek siarki zostaje trwale związany z sorbentem, tworzą nowe związki chemiczne: są one produktami handlowymi lub stanowią odpady, wymagające składowania bądź utylizacji.

W metodach regeneracyjnych odsiarczania gazów sorbent może być powtórnie wykorzystany po jego regeneracji. W trakcie regeneracji otrzymuje się ciekły dwutlenek siarki, kwas siarkowy lub czystą siarkę. Procesy regeneracyjne są bardziej skomplikowane od metod nieregeneracyjnych, a przez to droższe. Nie są też zbyt rozpowszechnione.

Redukcja emisji tlenków azotu

Emisja tlenków azotu zależy w sposób istotny od technologii spalania. Najczęściej stosowane sposoby zmniejszenia tej emisji polegają na obniżeniu temperatury spalania oraz kontrolowaniu procesu mieszania paliwa z powietrzem. Takie metody obniżania emisji określane są mianem metod pierwotnych i zalicza się do nich: stosowanie palników niskoemisyjnych, spalanie dwustrefowe (niestechiometryczne), recykulację spalin, zmniejszenie współczynnika nadmiaru powietrza. Metody te bywają stosowane równocześnie, co poprawia ich skuteczność (ubocznym efektem tych działań może być jednak zwiększona emisja CO).

Do metod wtórnych ograniczania emisji NO_x należą: selektywna redukcja katalityczna (SCR) oraz selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR), a także metody łącznego odsiarczania i odazotowania spalin.

Ograniczanie emisji CO₂

W ostatnich latach największa uwaga zarówno rządów – ze względu na obligacje wynikające z Protokołu Kioto, jak i środowisk przemysłowych i naukowych jest skierowana na emisję dwutlenku węgla i możliwość jej ograniczenia.

Zmniejszenie emisji CO₂ ze spalania węgla można osiągnąć w następujący sposób:

- redukcja do 5% – poprawa jakości węgla (wzbogacanie węgla, brykietowanie (szerokie zastosowanie na świecie),
- redukcja do 22% – poprawa sprawności istniejących elektrowni (w konwencjonalnych elektrowniach na parametrach podkrytycznych osiągalna sprawność to 38-40%; instalacje superperkrytyczne i ultrasuperperkrytyczne – nawet ponad 45%, takie instalacje pracują już w Japonii, USA, Europie, Rosji i Chinach),
- redukcja do 25% – zaawansowane technologie (zintegrowane zgazowanie w cyklu kombinowanym (IGCC), spalanie w ciśnieniowym złożu fluidalnym (PFBC) oraz przyszłościowo – zgazowanie zintegrowane z

ogniwami paliwowymi (IGFC); technologie IGCC i PFBC pracują w USA, Japonii i Europie, a IGFC znajduje się na etapie badań i rozwoju (R&D).

– redukcja do 99% – technologie zero-emisyjne.

Wychwytywanie i magazynowanie CO₂ (sekwestracja) jest przedmiotem intensywnych prac badawczych na świecie; w dalszym horyzoncie czasowym, emitowany dwutlenek węgla będzie mógł być wychwytywany i usuwany w taki sposób, aby nie przedostawał się do atmosfery.

W Stanach Zjednoczonych uruchomiono duży projekt badawczy pod nazwą „FutureGen”. Sercem projektu, którego budżet wynosi 1 mld USD, jest budowa demonstracyjnej instalacji IGCC połączonej z wychwytywaniem i magazynowaniem CO₂, zdolnej do wytwarzania energii elektrycznej po koszcie wyższym o co najwyżej 10% od kosztu wytwarzania w konwencjonalnej elektrowni stosującej najnowocześniejszą dostępną obecnie technikę.

Również inne rządy inicjują i finansują programy badawcze w zakresie wychwytywania CO₂ (np. projekt AD 700 w UE, CANMET w Kanadzie, COAL21 w Australii, EAGLE Project w Japonii, czy też wspólny projekt USA i Kanady ZECA). Pozytywne rezultaty tych badań mają doprowadzić do sytuacji, gdy sam fakt spalania węgla nie będzie tożsamy ze zwiększeniem emisji gazów cieplarnianych.

Projekt FutureGen oraz inne podobne projekty są szczególnie ważne dla pokazania i udowodnienia, iż niskoemisyjne (bliskie zeru) technologie wytwarzania energii z węgla nie są wizją dalekiej przyszłości, ale czymś możliwym do osiągnięcia w przewidywalnej przyszłości.

Tym niemniej podkreślić należy, że korzyści ze stosowania nowoczesnych technologii węgla można w najprostszy sposób osiągnąć poprzez szerokie rozpowszechnienie obecnych najlepszych praktyk i technologii: obliczono bowiem (WCI), że gdyby sprawność istniejących elektrowni węglowych na świecie osiągnęła taki poziom, jaki mają współcześnie eksploatowane elektrownie niemieckie, to spowodowane tym faktem zmniejszenie globalnej emisji CO₂ przekroczyłoby cele wyznaczone w Protokole Kioto. Jest więc ogromna potencjalna korzyść z transferu nowoczesnych technik spalania do krajów rozwijających się.

W tabeli 3.1 zestawiono możliwe do osiągnięcia we współczesnych technologiach stopnie redukcji emisji podstawowych zanieczyszczeń powstających podczas spalania węgla oraz ich rozpowszechnienie w światowej energetyce.

Tabela 3.1. Osiągalne redukcje zanieczyszczeń we współcześnie dostępnych technologiach
Table 3.1. Maximum emissions reductions in available technologies

Technologia	Max. redukcja emisji	Rozpowszechnienie w krajach:	
		rozwiniętych	rozwijających się
Konwencjonalne technologie spalania (sprawność do 40%)			
<u>Emisja pyłów</u>			
Filtry workowe	> 99%	++	w niewielu krajach
Elektrofiltry	> 99%	++	w niewielu krajach
<u>Tlenki siarki</u>			
Odsiarczanie spalin (IOS)	90–97%	++	w niewielu krajach
<u>Tlenki azotu</u>			
Palniki niskoemisyjne	70%	++	w niewielu krajach
SCR	80–90%	++	w niewielu krajach
Nowoczesne technologie spalania (sprawność do 60%)			
superkrytyczne/ultrasuperkrytyczne	*	++	w niewielu krajach
PFBC	*	+	w niewielu krajach
IGCC	*	+	w niewielu krajach
Technologie zero-emisyjne			
IGCC + sekwestracja CO ₂	prawie 100%	na etapie badań (R&D)	nie
* – redukcja emisji osiągana poprzez poprawę sprawności + – wskaźnik rozpowszechnienia komercyjnego			

Źródło: [WCI 2003]

Zwiększenie efektu synergii pomiędzy węglem a surowcami odnawialnymi

Równoczesne wykorzystywanie węgla i biomasy, oraz energii słonecznej może znacząco poprawić sprawność przetwarzania energii ze źródeł odnawialnych i może być najbardziej ekonomiczną drogą do zwiększenia ich wykorzystania.

Ekonomikę i sprawność wykorzystania biomasy jako paliwa odnawialnego można znacząco poprawić poprzez jej współspalanie z węglem. Obecnie można spalać ok. 10% (a nawet do 20%) biomasy z węglem w istniejących elektrowniach konwencjonalnych bez modyfikacji instalacji – to daje możliwość redukcji emisji CO₂ do 10% (Hycnar, Górski 2003).

Połączenie pary z ciepłej technologii słonecznej z cyklem parowym elektrowni węglowej daje potencjalną możliwość konwersji 40% energii słonecznej w energię elektryczną (w przypadku systemów fotowoltaicznych dużej skali – o znacznie wyższych kosztach kapitałowych – ten udział wynosi ok. 13%) [WCI 2003]. W przypadku elektrowni wiatrowych czy wodnych, energetyka węglowa może stanowić uzupełniające źródło zasilania, gdy energia ze źródeł odnawialnych nie jest czasowo dostępna.

3.4. Bariery wykorzystania technologii czystego węgla

Pomimo wymienionych wyżej korzyści – występują również bariery szerokiego wykorzystywania technologii czystego węgla, włączając w to sztuczne przeszkody stwarzane przez politykę rządów.

Te bariery to:

- dodatkowe koszty – generalnie nowe technologie wymagają wyższych kosztów, szczególnie kapitałowych, niż technologie konwencjonalne. Nie mogą sobie więc na nie pozwolić kraje o niskich dochodach lub na konkurencyjnych rynkach, chyba że (poprzez fundusze pomocowe) rozważy się i oceni korzyści, jakie to może przynieść.
- ryzyko techniczne – niektóre technologie są na tyle nowe, że nie są komercyjnie sprawdzone; są również często bardziej złożone niż instalacje konwencjonalne. Użytkownicy i instytucje dysponujące funduszami na rozpowszechnianie technologii mogą unikać wyższego ryzyka i nie wspierać takich rozwiązań.
- ryzyko regulacyjne – nawet jeśli technologie przynoszą korzyści dla środowiska, polityka rządowa nie zawsze wspiera ich rozpowszechnianie. Źle rozwiązane regulacje ekologiczne lub niepewność co do przyszłościowych trendów mogą zniechęcać do długoterminowych inwestycji w technologie oparte na węglu, nawet tam gdzie są one najbardziej efektywnymi i ekonomicznymi środkami redukcji emisji.

W tabeli 3.2 zestawiono omówione powyżej podstawowe informacje o metodach redukcji emisji ze spalania węgla.

Tabela 3.2. Rodzaje zanieczyszczeń ze spalania węgla oraz metody ich redukcji
Table 3.1. Types of pollutants from coal combustion and method of reduction

Rodzaj zanieczyszczenia i zagrożenia	Metoda/technologia redukcji	Stopień rozwoju i rozpowszechnienia technologii redukcji
Pyły		
Cząstki popiołu zawartego w węglu. Mogą oddziaływać na układ oddechowy człowieka; powodują zapylenie powietrza (np. ograniczenie widoczności)	Instalacje odpylania – głównie elektrofiltry i filtry tkaninowe. W obu metody osiągalna skuteczność powyżej 99%.	Technologie rozpowszechniona i dostępne we wszystkich krajach (rozwinętych i rozwijających się)
Pierwiastki śladowe		
Emisja wywołana zawartością tych pierwiastków w węglu; głównie rtęć, selen i arsen. Mogą powodować zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi	Usuwanie podczas odpylania. Spalanie fluidalne, wstrzykiwanie węgla aktywnego oraz odsiarczanie spalin znacząco redukują emisje pierwiastków śladowych.	Technologie rozwinięte w stopniu komercyjnym i szeroko dostępne w świecie we wszystkich krajach.
Tlenki azotu (NO_x)		
NO _x powstają podczas spalania zarówno z azotu zawartego w doprowadzonym powietrzu, jaki i z azotu zawartego w węglu. Przyczyniają się do powstawania smogu, kwaśnych deszczy i emisji gazów cieplarnianych	Emisje NO _x mogą być zmniejszone poprzez stosowanie palników niskoemisyjnych oraz technologii SCR i SNCR. Dostępne rozwiązania pozwalają na redukcję 90% emisji NO _x	Techniki redukcji NO _x i SO _x są bardziej rozpowszechnione w krajach rozwiniętych
Tlenki siarki (SO_x)		
Emisje tlenków siarki (głównie SO ₂) wynikają ze spalania siarki zawartej w węglu. Powodują kwaśne deszcze oraz tworzenie tzw. kwaśnych aerozoli (wpływających niekorzystnie na układ oddechowy).	Redukcja emisji poprzez zastosowanie rozpowszechnionych technologii odsiarczania spalin oraz nowoczesnych technologii spalania. Osiągalny stopień redukcji – ponad 90% (a nawet 95%)	
Odpady ze spalania węgla		
Składają się głównie z niepalnej substancji mineralnej i niewielkiej ilości niedopalonego węgla	Ilość odpadów może być przede wszystkim zmniejszona w wyniku procesów oczyszczania węgla przed spalaniem. Wzbogacanie węgla jest najbardziej efektywną kosztowo poprawy jakości węgla; ogranicza zarówno ilość odpadów jak i emisje, poprawiając równocześnie	Rozwój technologii nakierowany na efektywne wykorzystanie odpadów stałych z elektrowni jako materiałów budowlanych.

	efektywność termiczną procesu spalania. Również nowoczesne techniki spalania o wysokiej sprawności dają mniejsze ilości odpadów. Stosowanie IOS powoduje wzrost ilości odpadów stałych z elektrowni.	
Redukcja emisji CO ₂		
CO ₂ jest głównym produktem spalania wszystkich paliw zawierających pierwiastek C. CO ₂ jest zaliczany do podstawowych gazów cieplarnianych, oddziałujących na zmiany klimatu.	W horyzoncie krótko- i średnioterminowym, podstawową metodą ograniczania emisji CO ₂ ze spalania paliw w energetyce jest poprawa sprawności przetwarzania energii paliw na energię elektryczną (zwiększenie ilości energii produkowanej z tony węgla)	Pod koniec XX w. rozwój technologii spalania pyłu węglowego doprowadził do znacznego wzrostu sprawności; technologie te są wciąż doskonałe. Spalanie w fluidalnym złożu cyrkulującym daje porównywalne korzyści i może być skutecznie wykorzystywane do współspalania węgla z biomasą.
	W przyszłości - technologie „zero-emisyjne” pozwolą na wychwytywanie CO ₂ z gazów spalinowych oraz ich podziemne magazynowanie w strukturach geologicznych	Technologie wydzielania, wychwytywania i podziemnego magazynowania CO ₂ – obecnie jeszcze na etapie R&D – są intensywnie badane i rozwijane. Ich wdrażanie jest oczekiwane w następnej dekadzie.

Źródło: [WCI 2004]

4. Działania krajowej energetyki zawodowej w kierunku zmniejszenia negatywnych skutków spalania węgla dla środowiska

Polska należy do stosunkowo nielicznej grupy krajów, gdzie wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła bazuje niemal wyłącznie na stałych paliwach kopalnych – węglu kamiennym i brunatnym (prawie 97%). Stan ten wynika oczywiście z faktu zasobności naszego kraju w te paliwa i posiadanej infrastruktury wytwórczej oraz braku znaczących ilości innych nośników energii pierwotnej.

Sytuacja ta powoduje wzmożone występowanie wszystkich problemów związanych ze spalaniem węgla: konieczność ograniczania emisji, zagospodarowania dużych ilości stałych ubocznych produktów spalania, poprawy efektywności przetwarzania energii chemicznej węgla na energię finalną (elektryczność i ciepło) itp.

4.1. Redukcja emisji zanieczyszczeń

Przed 1989 rokiem sprawy ochrony środowiska w energetyce nie należały tak do priorytetowych, jak obecnie. Pierwsze normy emisji ze spalania paliw wprowadzono dopiero w 1990 roku. Do roku 1993 ograniczenia w emisji podstawowych zanieczyszczeń (SO₂, pyłów i NO_x) osiągnęły poprzez poprawę parametrów jakościowych spalane go węgla (skutek wdrożenia programu budowy zakładów wzbogacania w kopalniach). Od 1994 roku zaczęto realizować szeroki program modernizacji technologicznej i ekologicznej energetyki zawodowej. Finansowanie tych inwestycji było możliwe dzięki uruchomieniu procedur kontraktów długoterminowych na dostawę mocy i energii elektrycznej (KDT) pomiędzy największymi przedsiębiorstwami energetyki i PSE S.A. Programem objęto około 17 500 MW_e mocy zainstalowanej. Ocenia się, że w wyniku tego programu zrealizowano ok. 75% przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska oraz ponad 80% z zakresu modernizacji technologicznych (część modernizacji prowadzona była i jest również poza KDT) [Gajda i inni 2002].

Działania zmierzające do sprostania wymogom ochrony środowiska w zakresie emisji substancji zanieczyszczających do powietrza w istniejących źródłach emisji, można ogólnie podzielić na trzy rodzaje [Gajda i inni 1999]:

- wzbogacanie bądź konwersja paliw energetycznych na czystsze ekologicznie
 - górnicze zakłady wzbogacania i głębokiego odsiarczania węgla kamiennego
 - instalacje dwupaliwowe (węgiel, gaz), przejście na paliwa płynne niskosiarkowe bądź gaz (ziemny, koksowniczy),
- modernizacja urządzeń wytwórczych
 - przejście na skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła: poprawa sprawności wytwarzania energii z zachowaniem istniejącej technologii spalania w przypadku korzystania z paliw uszlachetnionych,

- modernizacja układu spalania i komory paleniskowej kotła (złoże fluidalne, zabudowa dysz OFA, palniki niskoemisyjne, technologia „zimnego wiru”, – wprowadzenie lub zwiększenie istniejącego współczynnika skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła,
- modernizacja, wymiana, bądź budowa urządzeń ochronnych (elektrofiltry, instalacje odsiarczania, wtórne metody odazotowania).

Zestaw podstawowych informacji o emisjach ze spalania węgla kamiennego w obiektach krajowej energetyki zawodowej, a także o jakości i ilości spalonego węgla na tle wielkości produkcji energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 4.1. Na ich podstawie można ocenić skalę redukcji emisji oraz poprawę sprawności wytwarzania. Dane dotyczą okresu ostatnich 5 lat (1999-2003) oraz – dla porównania – roku 1989.

Tabela 4.1. Podstawowe informacje o wytwarzaniu energii elektrycznej w sektorze energetyki zawodowej opartej na węglu kamiennym w Polsce

Table 4.1. Basic information on electricity generation in power industry – utility sector based on hard coal in Poland

Rok	1989	1999	2000	2001	2002	2003
Emisje ze spalania węgla kamiennego – energetyka zawodowa [tys. Mg/rok]						
popiół	555	55	46	40	38	37
SO ₂	1258	482	426	413	393	392
NO ₂		172	170	168	165	168
CO		18	20	21	19	18
CO ₂ [mln Mg/r]		85	86	82	85	91
Parametry jakościowe węgla kamiennego w dostawach do energetyki zawodowej						
Q [MJ/kg]	18,3	21,5	21,4	21,3	21,4	21,5
A [%]	28	20	21	20	20	20
S [%]	1,1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Dostawy węgla energetycznego do energetyki zawodowej						
[mln Mg/rok]	56,95	37,2	36,9	36,9	33,4	36,2
Produkcja energii elektrycznej – ogółem						
[TW·h/rok]	145,5	142,1	145,2	145,6	144,1	151,6
w tym na węglu kamiennym:						
[TW·h/rok]	79	78,4	83,7	82,3	81,3	84,2

Źródło: [Fakty: węgiel – energetyka w Polsce]

W energetyce krajowej zarysowały się dotychczas wyraźnie dwie tendencje w rozwiązywaniu problemu nadmiernej emisji SO₂: elektrownie systemowe budują instalacje odsiarczania spalin, natomiast elektrociepłownie przechodzą na paliwa o niższej zawartości siarki, pozwalającej na dotrzymanie ustalonych norm emisji (wyznacznikiem w obu grupach źródeł jest moc cieplna kotłów – tzw. źródeł emisji – we wprowadzonym do nich w określonej jednostce czasu paliwie). Tendencje te wynikają głównie z faktu, iż brak jest na rynku krajowym węgla o bardzo niskiej zawartości siarki, pozwalającej na dotrzymanie ostrych norm emisji SO₂ bez budowy instalacji odsiarczania spalin w dużych źródłach (o mocy cieplnej > 300 MW_t), występujących głównie w elektrowniach.

W ciepłowniach i elektrociepłowniach główny nacisk położono na wprowadzenie bądź wzrost współczynnika wykorzystania gospodarki skojarzonej, tj. jednoczesnego wytwarzania ciepła użytkowego i energii elektrycznej, ograniczającej zużycie paliw i globalne wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza. Jednocześnie preferencjami objęto technologie spalania fluidalnego i gazowe, charakteryzujące się znacznie mniejszymi emisjami zanieczyszczeń do powietrza [Gajda i inni 2002].

Polska, jako członek Unii Europejskiej, musi w pierwszym rzędzie dostosować standardy ekologiczne w sektorze wytwarzania energii do regulacji obowiązującej w UE. Tak więc przyszłość i kształt krajowego sektora elektroenergetycznego, rozwój rynku energii i wielkość kosztów wytwarzania, a co za tym idzie – jego konkurencyjność na europejskim rynku energii w coraz większym stopniu zależą od polityki ekologicznej UE i wynikających z niej coraz ostrzejszych wymagań, przenoszonych do polskiego prawa. Szczególnie ważne dla energetyki regulacje w zakresie ochrony powietrza zawarte są w następujących dokumentach:

- Traktat o Przystąpieniu do Unii Europejskiej (tzw. Traktat Akcesyjny – TA);

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/80/WE z 23 października 2001 r. w sprawie ograniczania emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych źródeł spalania (tzw. dyrektywa LCP);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji;
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/81/WE z 23 października 2001 r. w sprawie krajowych limitów emisji dla niektórych zanieczyszczeń powietrza (tzw. dyrektywa NEC).

Dokumenty te ustalają globalne krajowe lub sektorowe limity emisji i standardy emisji oraz terminy ich osiągnięcia. Równocześnie zawierają wskazania w zakresie konieczności stosowania najlepszych dostępnych technik (zgodnie z dyrektywą Rady nr 96/61/WE z 24 września 1996 w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń – tzw. dyrektywa IPPC) oraz dotrzymywania standardów jakości powietrza [Gajda 2004].

Ponadto Polska musi również uwzględniać postanowienia innych porozumień międzynarodowych, konwencji i protokołów w sprawie ograniczania emisji różnych zanieczyszczeń, do których Unia Europejska przystąpiła jako całość. Najważniejsze z nich to:

- Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości z 1979 r. oraz liczne protokoły do tej Konwencji;
- Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu z 1992 r. i protokół z Kioto z 1997 r.

Protokół z Kioto jest podstawowym dokumentem określającym zobowiązania Polski co do redukcji emisji gazów cieplarnianych – Polska jest stroną tego protokołu od 13 grudnia 2002 r. Polska winna w okresie 2008-2012 zmniejszyć emisję tych gazów o 6% w stosunku do emisji z roku 1988.

Jest to cel krótkoterminowy z punktu widzenia planowania strategicznego. Niepokojąca natomiast jest niepewność co do sytuacji po roku 2012. Dodatkową niewiadomą jest niejasna przyszłość Protokołu, który być może w ogóle nie wejdzie w życie (wymagana jest ratyfikacja przez Rosję), co dzieli świat na obszary gospodarcze, w których panować będą różne warunki, znacząco wpływając na konkurencyjność przedsiębiorstw i sektorów gospodarczych [Gajda 2004].

Polska dysponuje dziś znaczącą rezerwą emisji CO₂ (ok. 130 mln Mg/rok) w stosunku do poziomu, wynikającego ze zobowiązań i nawet wzrost emisji w kolejnych latach nie stanowi zagrożenia dla ich wypełnienia. Prognozy wskazują, że w okresie rozliczeniowym Protokołu z Kioto 2008-2012 rezerwa ta będzie wynosiła 60-100 mln Mg. W energetyce zawodowej sytuacja jest trudniejsza. W 2001 r. rezerwa ta wynosiła zaledwie 15 mln Mg.

Jednym ze sposobów, który może przynieść obniżenie emisji w energetyce, jest współspalanie węgla i biomasy. Wiele polskich elektrowni podjęło już takie działania. Choć ich głównym celem jest zwiększenie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, to przy odpowiednio dobranej ilości i rodzaju biomasy uzyskuje się również efekt obniżenia emisji (głównie SO₂ i paliwowych tlenków azotu). Natomiast stopień redukcji emisji CO₂ jest uzależniony od ilości substytuowanego pierwiastka C zawartego w węglu – stosuje się tu zasadę, że ilość CO₂ pochłaniana przez biomasę w trakcie jej wzrostu jest równa ilości CO₂ uwalnianego podczas spalania [Kubica i inni 2003].

4.2. Zagadnienie odpadów stałych z procesów spalania

Na koniec warto jeszcze powrócić do problemu utylizacji odpadów stałych z elektrowni (tzw. ubocznych produktów spalania – UPS).

Klasyczne odpady paleniskowe, takie jak żużel i popiół oraz ich mieszanki, składowane na mokro na docelowych składowiskach bądź magazynowane na składowiskach buforowych, wykorzystywane są tradycyjnie przede wszystkim do celów ogólnobudowlanych i rekultywacji terenów zdegradowanych.

Wraz z budową i eksploatacją IOS pojawiły się produkty poreakcyjne z tych instalacji oraz z kotłów fluidalnych, gdzie podstawowym sorbentem jest kamień wapienny (CaCO₃). Jedynie technologie mokrego odsiarczania zapewniają zachowanie niezmiennych ilości „czystego” żużla i popiołu w stosunku do okresu przed ich budową, zależnych jedynie od ilości i parametrów spalanego węgla. Powstającym w procesie odsiarczania produktem ubocznym jest gips syntetyczny – pełnowartościowy surowiec, zastępujący z powodzeniem gips naturalny we wszystkich dziedzinach jego zastosowania (w 2000 roku ilość wytworzonego gipsu syntetycznego przekroczyła 1 mln Mg). Wśród pozostałych rodzajów instalacji odsiarczania tylko niektóre rozwiązania przyjęte w półsuchych instalacjach (ze wstępnym odpylaniem) pozwalają na zachowanie praktycznie niezmiennych ilości „czystego” żużla i popiołu. Natomiast powstające w nich stosunkowo małe ilości produktu poreakcyjnego są aktywne chemicznie i przed ich gospodarczym wykorzystaniem muszą być poddane stabilizacji. W pozostałych rozwiązaniach produktami poreakcyjnymi zanieczyszczony jest również popiół. Tak więc znacząco wzrasta ilość trudnego do zagospodarowania produktu ubocznego. Najgorzej przedstawia się sytuacja w przypadku eksploatacji suchych instalacji odsiarczania i kotłów fluidalnych. W pierwszym przypadku „czystym” produktem pozostaje jedynie żużel, zaś w drugim przypadku pełny wypad żużla i popiołu zanieczyszczony jest produktami poreakcyjnymi. Gospodarcza przydatność tych produktów,

aktywnych chemicznie, których ilość będzie wzrastać, jest ciągle badana, a stopień ich wykorzystania mały. Zatem większość z nich jest obecnie składowana [Gajda i inni 2002].

5. Podsumowanie

Spalanie węgla w energetyce powoduje powstawanie dużych ilości emisji zanieczyszczeń gazowych oraz stałych ubocznych produktów spalania. Węgiel jest podstawowym nośnikiem energii pierwotnej wykorzystywanym w świecie do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

Prowadzone na świecie badania naukowe, finansowane zarówno przez rządy, jak i organizacje przemysłowe, doprowadziły do poważnego wzrostu sprawności klasycznych procesów spalania, rozwoju nowych technik i technologii oraz do znaczącego postępu w obniżaniu negatywnego wpływu spalania węgla na środowisko przyrodnicze.

Pierwszym i najbardziej efektywnym kosztowo sposobem obniżenia emisji pyłów i dwutlenku siarki oraz ilości odpadów stałych jest poprawa jakości węgla w procesach jego wzbogacania. Wyższa wartość opałowa węgla wzbogaconego powoduje, że do wytworzenia takiej samej ilości energii zużywa się mniej węgla; dodatkową korzyścią jest również oszczędność na kosztach transportu (zarówno węgla do elektrowni, jak i odpadów elektrownianych, lokowanych w wyrobiskach kopalń).

Poprawa sprawności przetwarzania energii węgla na energię finalną również wpływa na mniejsze zużycie paliwa podstawowego oraz na zmniejszenie emisji. Wysoka sprawność (rzędu 50%) jest możliwa do osiągnięcia w nowoczesnych technologiach spalania.

Oczyszczanie spalin jest ostatnią – w łańcuchu technologicznym – operacją, która ogranicza szkodliwy wpływ spalania na środowisko (zanieczyszczenie powietrza). Stosowanie odpylaczy o wysokiej skuteczności pozwala na niemal zupełną eliminację emisji pyłów, a procesy odsiarczania spalin (zwłaszcza metodą moką) również zdecydowanie redukują ilość emitowanych tlenków siarki. Jednakże technologie odsiarczania powodują wzrost ilości stałych produktów ubocznych spalania, z które nie wszystkie znajdują jeszcze zastosowanie bezpośrednie i wymagają dalszej obróbki lub składowania.

Redukcję tlenków azotu uzyskuje się poprzez zastosowanie metod pierwotnych bądź wtórnych, lub też spalanie fluidalne, przebiegające w niższej temperaturze.

Nowoczesne technologie, dzięki wysokiej sprawności, przyczyniają się również do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. W wielu krajach świata prowadzone są badania nad tzw. technologiami zero-emisyjnymi, dzięki którym możliwe będzie znaczne ograniczenie emisji CO₂ (poprzez jego wychwytywanie i magazynowanie podziemne). Technologie takie są spodziewane w ciągu najbliższych 10 lat.

Dzięki tym wszystkim procesom spalanie węgla staje się coraz mniej uciążliwe dla środowiska przyrodniczego. Jest to tym istotniejsze, że węgiel jest najbardziej powszechnie występującym paliwem kopalnym, o w miarę stabilnych i relatywnie niskich cenach, a jego obfite zasoby pozwolą na korzystanie z tego dobra przez jeszcze wiele lat.

Literatura

- [1] Gajda A. 2004: Energetyka zawodowa ma ograniczone możliwości redukcji emisji CO₂ w perspektywie do 2020 roku. *Biuletyn Miesięczny PSE SA Nr 7/8 (157/158)*, lipiec/sierpień 2004. Wyd. PSE S.A.
- [2] Gajda A., Barc W., Jaworski W. 1999: Przegląd krajowych rozwiązań instalacji odsiarczania i odazotowania spalin. *Biuletyn Miesięczny PSE SA Nr 12 (102)*, grudzień 1999. Wyd. PSE S.A.
- [3] Gajda A., Barc W., Jaworski W. 2002: Energetyka polska na tle energetyki europejskiej – dokonania w ochronie powietrza. *Biuletyn Miesięczny PSE SA Nr 12 (138)*, grudzień 2002, s. 2-9. Wyd. PSE S.A.
- [4] Gajda A., Jaworski W., Barc W. 2002: Prognoza wytwarzania ubocznych produktów spalania w energetyce zawodowej do 2015 roku. *Biuletyn Miesięczny PSE SA Nr 11 (137)*, listopad 2002, s. 2-14. Wyd. PSE S.A.
- [5] Hycnar J., Górski M. 2003: Uwarunkowania współspalania węgla i biomasy. *Polityka Energetyczna tom 6, z. specjalny*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 309-320
- [6] Kubica K., Ściążko M., Raińczak J. 2003: Współspalanie biomasy z węglem. *Polityka Energetyczna tom 6, z. specjalny*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 297-307
- [7] Lorenz U. 1999: Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego. *Studia, Rozprawy, Monografie nr 64*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN. Kraków 1999, 84 s.
- [8] Fakty: węgiel – energetyka w Polsce, http://www.min-pan.krakow.pl/zaklady/zrynek/cf_web.htm
- [9] Key world energy statistics 2004. Wyd. IEA, Paryż 2004, s. 75.
- [10] WCI 2003: The Role of Coal as an Energy Source. Wyd. World Coal Institute. 20 s. www.wci-coal.com
- [11] WCI 2004: Clean coal – Building a Future through Technology. Wyd. World Coal Institute. 20 s. www.wci-coal.com

Consequences of hard coal combustion for the environment and methods of their reduction

Abstract

Coal is the most abundant fossil fuels in the world. Its share in electricity generation amounts almost 40%, however, coal combustion in power industry results in emission of the air and produces large amount of solid wastes. The combustion technologies are constantly improved. This fact together with better quality of coal and more commonly used methods of flue gases cleaning cause, that unfavourable effects of coal combustion become less burdensome for the environment. Paper describes the consequences of coal combustion for the environment and the method of their diminishing, as well as tendencies in development of combustion technologies and emission reduction in the world. Information on activities undertaken in this field in Polish power sector is also given.

Recenzent: dr inż. Marek Drożdż