

Jan J. HYCENAR*

Pozycja węgla w bilansach paliwowo-energetycznych

STRESZCZENIE. W ostatnich latach w wyniku znacznych zmian politycznych i ekonomicznych, a w szczególności wystąpienia światowego kryzysu gospodarczego, dotychczasowe prognozy w zakresie rozwoju bazy paliwowo-energetycznej wymagają ponownych analiz i aktualizacji. Konieczność obniżenia emisji CO₂ do atmosfery wpływa na rozwój źródeł energii pierwotnej. Węgiel kamienny i brunatny należą do paliw emitujących największe ilości zanieczyszczeń do atmosfery. Do najbardziej ekologicznych rozwiązań należą źródła odnawialne i energia jądrowa. Jednak ich upowszechnienie zależeć będzie nie tylko od rozwoju technologii i techniki oraz ekonomicznej ich konkurencyjności i dostępności, ale w coraz większym stopniu od prowadzonej polityki energetycznej danego kraju.

Dotychczas udział paliw węglowych w bilansach paliwowych prognozowany był na niezmiennym poziomie, z tendencją wzrostu udziału węgla po 2030 roku. Udział węgla w 2006 roku wynosił w bilansie energii pierwotnej 25% a w produkcji energii elektrycznej 40%. Wyeliminowanie węgla ze źródeł energii elektrycznej i ciepłej oraz jako surowca chemicznego jest mało prawdopodobne.

Dalsze stosowanie węgla wymaga szeregu przedsięwzięć, między innymi modernizacji istniejących obiektów energetycznych i budowy nowych bloków energetycznych opartych o technikę fluidalnego spalania paliw, o spalanie paliw w atmosferze tlenu oraz o zgazowanie węgla zintegrowanego z układami gazowo-parowymi.

SŁOWA KLUCZOWE: źródła energii, perspektywy węgla, niskoemisyjne spalanie węgla

* Dr inż. — ECOCOAL Consulting Center, Katowice; e-mail: ecocoal@neostrada.pl

Wprowadzenie

Szereg dotychczasowych prognoz w zakresie bilansów paliwowo-energetycznych sprzed trzech lat, dzisiaj w okresie światowego kryzysu i dużych znaczących zmian politycznych w szeregu krajach, wymagają ponownych analiz i przystosowania ich do istniejących nowych warunków.

Jednocześnie z procesami dywersyfikacji dostawców źródeł energii obserwujemy procesy odwrotne tworzenia trwałych, wieloletnich, powiązań pomiędzy poszczególnymi krajami (Nord Stream).

Dzisiaj także kraje i firmy paliwowe dysponujące źródłami energii utrwalają swój rozwój nie tylko w oparciu o własne tradycyjne źródła ale również poprzez przyspieszenie wdrażania odnawialnych źródeł energii (np. BP 8 mld \$ na okres 10 lat rozwoju energii słonecznej wiatru, wodoru i biopaliw). Tworzenie dużych źródeł energii odnawialnej staje się przedmiotem nie tylko działań poszczególnych krajów ale ponadto działaniem międzynarodowych konsorcjów (np. dwanaście koncernów zainicjowało spółkę DII, kosztem 400 mld € w 2050 roku pokrycie 15% europejskiego zaopatrzenia). W wielu krajach walka z kryzysem to przede wszystkim zwiększanie nakładów na rozwój odnawialnych źródeł energii. Prezydent USA Barack Obama widzi w rozwoju odnawialnych źródeł energii sposób na zwiększenie wzrostu amerykańskiej gospodarki i przyrost miejsc pracy.

Na rozwój poszczególnych form energii ma duży wpływ polityka i zobowiązania ograniczenia emisji CO₂ do środowiska. Z jednej strony obserwujemy dużą aktywność krajów Unii Europejskiej (obniżenie emisji o 13% względem emisji z 2005 roku) i Japonii (obniżenie emisji o 15% względem emisji z 2005 roku), przy braku jednoznaczności zobowiązań USA i Chin oraz jednoznacznego stanowiska Indii na Szczycie G8 stwierdzającego, że „walka z emisją gazów cieplarnianych to wewnętrzna sprawa Indii, a Delhi nie będzie się stosować do ustaleń szczytu” i że „emisję powinny zmniejszyć przede wszystkim Stany Zjednoczone oraz Europa, w największym stopniu odpowiedzialne w tej sprawie”. Gdy natomiast, ustalenia G8 zmierzają do redukcji emisji CO₂ o 80% w 2050 roku. Działania Chin na rzecz rozwoju energetyki ze źródeł odnawialnych wynikają głównie z realizacji polityki uniezależniania się od importu paliw węglowodorowych.

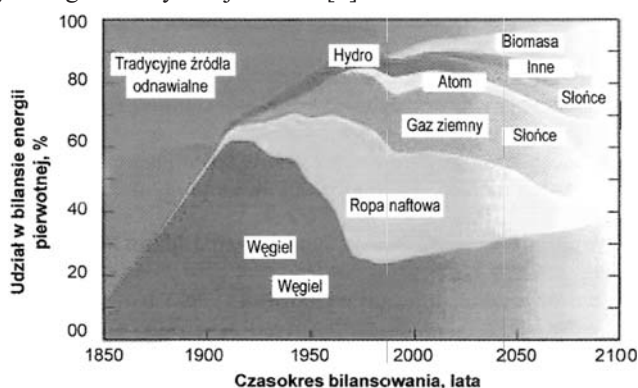
W tym samym czasie znaczenie niektórych krajów wzrasta z tytułu dysponowania dużymi zasobami paliw niskoemisyjnych. Umacnia się między innymi pozycja Rosji na światowych rynkach surowców energetycznych jako „*petrostate*”. W 2005 roku Prezydent Federacji Rosyjskiej stwierdził między innymi, że „Energetyka stanowi najważniejszą siłę napędową światowego rozwoju gospodarczego. Tak było zawsze i jeszcze długo tak pozostanie”.

Rozwiązywanie tych sprzecznych problemów wyzwala nowe możliwości zwiększania wykorzystania źródeł energii odnawialnej i doskonalenia dotychczasowych procesów wytwarzania energii ze źródeł tradycyjnych oraz potrzebę oszczędzania energii. Niestety, w większości przypadków oznacza to wzrost kosztów użytkowania energii i promowania nowych sprzeczności, jak na przykład pogodzenia upowszechniania biopaliw i zapewnienia dostępu do taniej żywności (Oxfam).

1. Pozycja węgla w bilansach źródeł energii

Analiza udziału węgla¹ w bilansach energii pierwotnej w minionym wieku wykazuje tendencję systematycznego spadku przy równoczesnym wzroście ilościowym wydobycia i zużycia węgla. Większość prognoz na XXI wiek wskazuje na utrzymanie dotychczasowego udziału węgla w bilansach, co praktycznie oznacza 2,5% roczny przyrost zużycia węgla.

Można także spotkać prognozy, szczególnie na lata dalsze od 2030 roku, znacznego wzrostu udziału węgla w rozwiązywaniu problemów energetycznych naszych następców, co ilustruje rysunek 1. Przy ogólnym udziale w 2006 roku węgla w bilansie energii pierwotnej w wysokości 25% i w produkcji energii elektrycznej aż 40% [1].



Rys. 1. Stan i perspektywy udziału poszczególnych rodzajów energii w bilansach energii pierwotnej [2]

Fig. 1. The conditions and perspectives of participation of particular kinds of energy in the primary energy balances of [2]

W zależności od dostępności do źródeł energii pierwotnej i rozwoju technologii spalania, udział węgla w bilansach energii pierwotnej w poszczególnych krajach znacznie się różni i w 2000 roku wynosił we Francji zaledwie 5,4% i we Włoszech tylko 7,1%, ale już w Wielkiej Brytanii 16,7%, w Hiszpanii 17,1% i w Niemczech 25,1%. Udział węgla w produkcji energii elektrycznej jest znacznie wyższy i w 2006 roku wynosił 93% w RPA, 80% w Australii, 78% w Chinach, 71% w Izraelu, 70% w Kazachstanie, 69% w Indiach i w Maroku, 59% w Czechach, 58% w Grecji, 50% w USA i 47% w Niemczech [1]. W Polsce natomiast udział węgla należy do najwyższych i wynosi 64,9% w bilansie energii pierwotnej i 93% w bilansie wytwarzania energii elektrycznej.

Pogodzenie problemów zabezpieczenia potrzeb w energię z ochroną środowiska, przy równoczesnej konieczności zapewnienia cywilizacyjnego rozwoju społeczeństw staje się coraz trudniejsze. Od wielu lat jesteśmy „bombardowani” wiadomościami o wyczerpywaniu się złóż ropy naftowej i w niedalekiej przyszłości gazu ziemnego oraz nieograniczonych bogactwach węgla.

Najnowsze dane także wskazują na krótkookresowe rezerwy ropy naftowej (41 lat) i gazu ziemnego (64 lata) przy znacznie dłuższej żywotności złóż węgla (251 lat) (tab. 1). „Ela-

¹ W niniejszym referacie pod pojęciem węgiel należy rozumieć węgiel kamienny i brunatny

TABELA 1. Rezerwy i zasoby różnych źródeł energii pierwotnej według stanu na 2004 rok [3]

TABLE 1. Reserves and resources of different primary energy sources as of 2004 [3]

Źródło energii	Rezerwy udokumentowane			Zasoby szacunkowe	
	Gt _{oe}	lata ¹	BP	lata ¹	lata ²
Paliwa kopalne	778	–		–	–
↔ ropa naftowa	143	41	42,0	~200	125
↔ gaz ziemny	138	64	60,4	~400	210
↔ węgiel	506	251	122,0	~700	360
Energia jądrowa	55	82		~300	>10 000

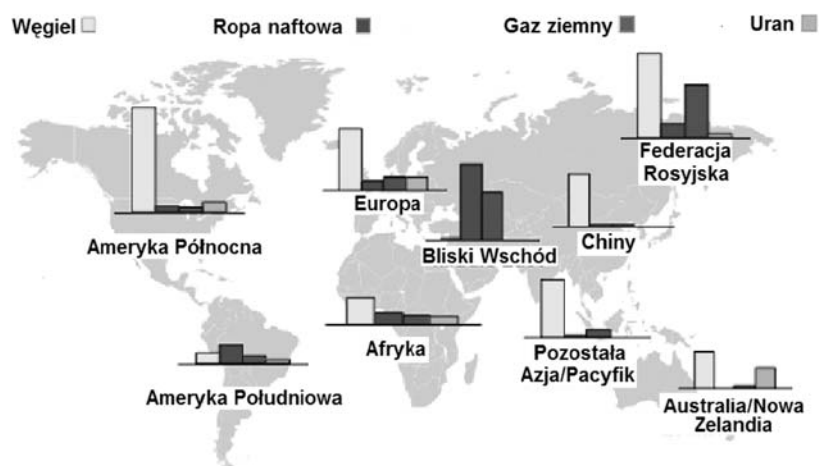
¹ Przy obecnym zużyciu;

² Przy uwzględnieniu wzrostu zużycia.

tyczność” podawanych czasowych rezerw paliw, wynika podstawowo z rejestracji ilości udostępnianych złóż w ramach znacznie bogatych zasobów szacowanych. Zasoby szacowane węgla natomiast są zbliżone do sumy zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego.

Jedną z najistotniejszych cech rezerw węgla jest praktycznie jego powszechność występowania na świecie (rys. 2), a przez to duża jego dostępność i mniejsze możliwości wszelkiego rodzaju spekulacji. Gdy natomiast 68% rezerw ropy i 67% gazu znajduje się na terenach Bliskiego Wschodu i Rosji [4].

Największe przyrosty wykorzystania węgla w ekonomicznym rozwoju krajów rejestruje się w Chinach (wzrost produkcji energii elektrycznej na węglu z 30 EJ w 2000 r. do 70–85 EJ w 2050 r.) [5], w Indiach (wzrost zużycia węgla na produkcję energii elektrycznej z 310 mln ton w 2005/2006 r. do 1.659 mln ton w 2031/2032 r.) [6] i USA (2006/2030 r. wzrost o 20%, ale także –5% i +36%) [7].



Rys. 2. Światowe rezerwy energii stan w 2005 roku [4]

Fig. 2. World energy reserves [4]

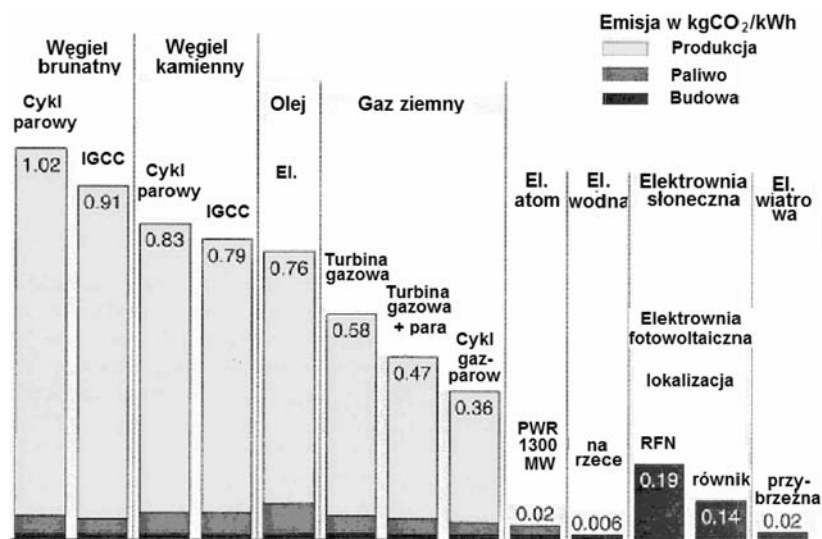
Natomiast, w większości krajów Unii Europejskiej, jeszcze dominuje tendencja eliminowania węgla jako źródła energii pierwotnej i ograniczania jego w produkcji energii elektrycznej [8]. A sytuacja jest poważna, gdyż udział węgla w produkcji energii elektrycznej w 2000 roku w krajach EU-25 wynosił 31% przy potrzebie odbudowy 50% zainstalowanej mocy i zapewnienia 40% wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną do 2030 roku [9].

2. Uwarunkowania stosowania węgla

Konieczność obniżenia emisji CO₂ do atmosfery w poważnym stopniu będzie rzutowała na rozwój źródeł energii pierwotnej. W tym rankingu, węgiel kamienny i brunatny należą do paliw emitujących największe ilości zanieczyszczeń do atmosfery. Do najbardziej ekologicznych rozwiązań należą procesy pozyskiwania energii ze źródeł naturalnych (energia słońca, wody, wiatru, geo- itp.) oraz z energii jądrowej (rys. 3).

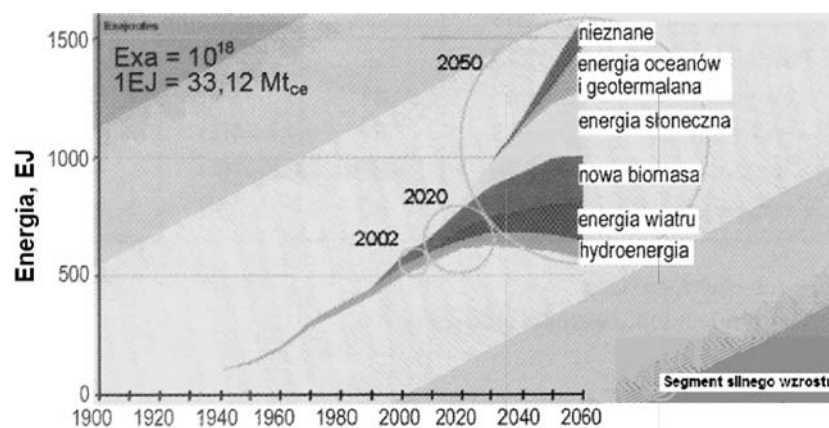
Zakres wdrożeń technologii niskoemisyjnych CO₂ zależeć będzie od rozwoju technologii i techniki oraz ekonomicznej ich konkurencyjności i dostępności. Znaczące wdrożenia z zakresu technologii energii odnawialnej prognozowane są na lata 2050 i następne, co powinno obniżyć znacząco zużycie paliw kopalnych nawet poniżej 50% potrzeb energetycznych (rys. 4).

Duże znaczenie w rozwoju poszczególnych źródeł energii odnawialnej i niskoemisyjnej wywierają koszty wytwarzania energii elektrycznej. Z analizy kosztów ponoszonych w USA i krajach Unii Europejskiej wynika, że najdroższą energią elektryczną jest prąd uzyskiwany z ogniwoltaicznych i farm wiatrowych, najtańszą energią elektryczną natomiast gwarantuje węgiel i energetyka jądrowa.(tab. 2).



Rys. 3. Wielkość emisji CO₂ w procesach wytwarzania energii elektrycznej w zależności od rodzaju paliwa i technologii generacji [10]

Fig. 3. The volume of CO₂ emission in the processes of electric energy production depending on the fuel, technology, and generation [10]



Rys. 4. Prognozy upowszechnienia źródeł energii odnawialnej [11]

Fig. 4. Forecast for popularization of renewable energy sources [11]

TABELA 2. Porównanie kosztów wytwarzania energii elektrycznej w krajach UE i w USA [11,12]

TABLE 2. Compared electric energy production costs in the EU and in the USA [11,12]

Źródło energii elektrycznej	Kraje UE [€/MWh]		USA [c\$/kWh]
	2005 r.	2030 r.	
Biomasa	25–85	25–75	5–15
Energia wiatru	35–175	28–170	5–13
Słoneczne ogniwa voltaiczne	140–430	55–260	25–125
Słoneczne ogniwa termiczne	–	–	3–20
Hydroenergetyka duża	25–95	25–90	2–8
Hydroenergetyka mała	45–90	40–80	4–10
Hydroenergetyka micro	–	–	4,2
Źródła geotermalne	–	–	2–10
Energia morza	–	–	8–20
Węgiel elektrownie z IOS	30–40	45–60	3,2–3,9
Węgiel fluid	35–45	50–65	–
Węgiel IGCC	40–50	55–70	3,6–4,2
Gaz ziemny	45–70	55–85	–
Gaz ziemny CC	35–45	40–55	3,1–3,4
Gaz ziemny CCC	–	–	2,0
Silniki spalinowe	70–80	80–95	6,9
Energia jądrowa	40–45	40–45	–

W tej sytuacji wyeliminowanie węgla ze źródeł energii elektrycznej i ciepłej oraz jako surowca chemicznego jest mało prawdopodobne między innymi z następujących powodów [13–17]:

- ✧ największych zasobów wśród paliw kopalnych i stosunkowo powszechnym występowaniu węgla,
- ✧ dużej dostępności węgla kamiennego na rynku międzynarodowym,
- ✧ ekonomicznej konkurencyjności „kalorii węglowych”,
- ✧ mniejszej wrażliwości na zmiany ekonomiczne i polityczne sytuacji kryzysowych,
- ✧ postępu w technologiach energetycznego wykorzystania węgla,
- ✧ znaczącego udziału w istniejących źródłach energii,
- ✧ tradycji.

Pogodzenie wymogów ochrony środowiska z utrzymaniem i dalszym upowszechnieniem stosowania węgla wymaga szeregu przedsięwzięć, a wśród nich:

- ✧ zwiększenia sprawności procesów spalania węgla i przetwarzania energii chemicznej w ciepłą, mechaniczną i elektryczną,
- ✧ kontynuowania procesów oczyszczania spalin od SO₂, NO_x i pyłu oraz Hg,
- ✧ wdrożenia technologii wydzielania i sekwestracji CO₂,
- ✧ wdrażania nowych technologii wysokoefektywnego spalania węgla, łączenia procesów wytwarzania energii z procesami technologicznymi oraz zastosowania energii jądrowej do zgazowania węgla i wytwarzania gazu syntezowego i wodoru,
- ✧ wytwarzanie „czystego” węgla z dostępnych paliw.

Z tych to powodów obserwujemy intensywny wzrost sprawności i mocy modernizowanych i nowobudowanych bloków energetycznych między innymi w oparciu o:

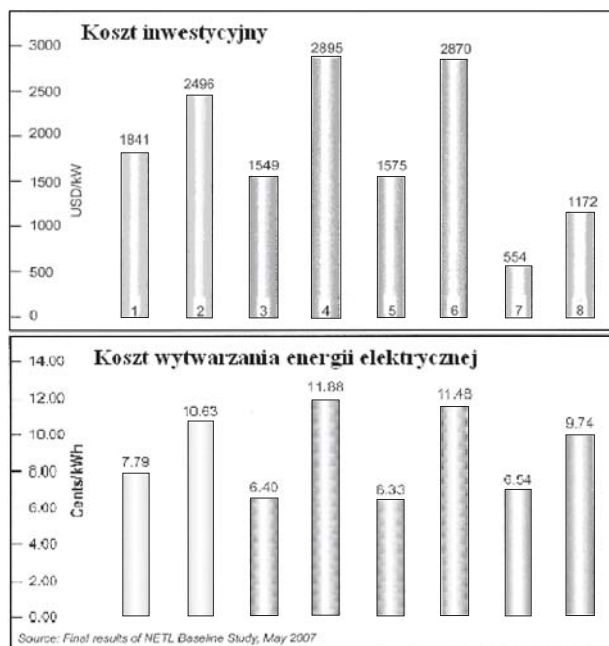
- ✧ wzrost parametrów termodynamicznych pary [18],
- ✧ technikę fluidalnego spalania paliw [19],
- ✧ spalanie paliw w atmosferze wzbogaconej w tlen i w tlenie (oxyfuel) [20];
- ✧ zgazowanie węgla zintegrowane z układem gazowo-parowym (IGCC) [21].

Wybór rozwiązania wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o spalanie węgla kamiennego i brunatnego, uwzględniające wymogi ochrony środowiska, w dużym stopniu zależy będzie od kosztów poszczególnych technologii i dostępności do środków inwestycyjnych (rys. 5). Z przytoczonego porównania wynika, że najniższe koszty inwestycyjne i wytwarzania energii elektrycznej ze spalania węgla gwarantują bloki pracujące na parametrach nad i super-nadkrytycznych. Jeżeli jednak zachodzi potrzeba wydzielania i sekwestracji CO₂ to najlepsze efekty ekonomiczne gwarantują bloki gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla. Ponadto, zgazowanie węgla może być równocześnie źródłem gazu syntezowego (metanol, metan, paliwa płynne itp.) i wodoru.

Wdrażanie nowych technologii spalania węgla i podwyższanie sprawności procesów wytwarzania energii elektrycznej wymaga jednak dalszego rozwiązywania wielu problemów technologicznych i technicznych, o różnym ryzyku, wymagających nie tylko środków finansowych ale także czasu co dobrze ilustruje rysunek 6.

Analizy rozwoju źródeł energii wskazują, że udział węgla w bilansach energii pierwotnej i wytwarzania energii elektrycznej pozostanie na dotychczasowym poziomie. Oznacza to jednak wzrost zużycia węgla kamiennego z 5 370 do 10 560 mln ton w latach 2006–2030.

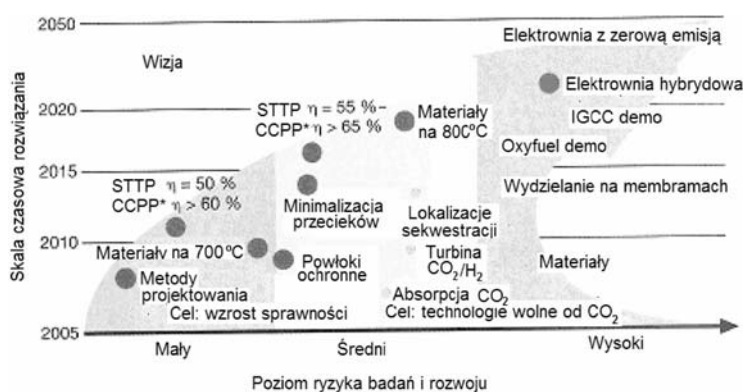
Szczególnie duży rozwój jest prognozowany w zakresie zgazowania węgla. O ile do 2002 roku pracowało około 500 instalacji zgazowania (w tym 22 IGCC) to do 2015 roku tylko na potrzeby



Rys. 5. Porównanie kosztów inwestycyjnych budowy bloków energetycznych opalanych węglem kamiennym i gazem ziemnym oraz kosztów wytwarzania energii elektrycznej (dla ceny węgla 1,34 a gazu 7,46 USD/MMBtu, przy USD styczeń 2007 r.) [22]

Fig. 5. Investment costs of building power units fueled with hard coal and natural gas vs. electric energy production costs – a comparison (for coal price of 1.34 and gas price 7.46 USD/MMBtu – according to January 2007 USD exchange rate) [22]

Układ IGCC bez wydzielania CO₂ (1) i z wydzielaniem CO₂ (2);
 Blok pyłowy nadkrytyczny bez wydzielania CO₂ (3) i z wydzielaniem CO₂ (4);
 Blok pyłowy supernadkrytyczny bez wydzielania CO₂ (5) i z wydzielaniem CO₂ (6);
 Blok gazowo-parowy bez wydzielania CO₂ (7) i z wydzielaniem CO₂ (8).



Rys. 6. Perspektywy rozwiązywania problemów rozwoju nowych technologii spalania węgla [23]
 *CCPP – elektrownie z kombinowanym cyklem

Fig. 6. Problem solution prospects for development of new coal combustion technologies [23]

produkcji energii elektrycznej planowane jest uruchomienie około 70 obiektów tego typu. Natomiast na potrzeby produkcji chemikalii i paliw, tylko w latach 2004–2010, moc gazogeneratorów wzrosło z 45 do 73 tys. MW_t. Chińskie prognozy na 2050 rok, zakładają aż 85% udział procesów zgazowania w bilansie spalane go węgla. Większość tych obiektów jest oparta o stosowanie gazogeneratorów z ciekłym odprowadzaniem części mineralnej zgazowanego paliwa.

Wnioski

Wiek XXI charakteryzować się będzie wzrostem produkcji i zużycia energii, wytwarzanej w oparciu o dotychczasowe źródła i doskonalone metody produkcji, przy równoczesnym rozwoju nowych odnawialnych źródeł energii.

W bilansach paliwowo-energetycznych na najbliższe dziesiątki lat udział węgla prognozowany jest na dotychczasowym poziomie, to znaczy 25% w bilansach energii pierwotnej i do 40% w bilansach produkcji energii elektrycznej. Oznacza to podwojenie zużycia ilości węgla w ciągu 30 lat.

Ostre wymagania ochrony środowiska spowodowały rozwój szeregu bezpiecznych technologii spalania węgla, gwarantujących produkcję czystej energii.

Współczesny rozwój źródeł i metod spalania paliw stałych i ciekłych oraz paliw alternatywnych i odpadów pozwala na produkcję czystej energii, konkurencyjnej do wytwarzanej z gazu ziemnego i źródeł

Literatura

- [1] Coal Facts 2007. World Coal Institute (WCI).
- [2] Coal Power for Progress, WCI 2000.
- [3] World Energy Assessment – Overview 2004 Update UN Development Programme. World Energy Council.
- [4] Statistical Review 2005. BP.
- [5] Transforming coal for sustainability: a strategy for China. Energy for Sustainable Development. Volume VII no 4. December 2003.
- [6] SACHDEV R.K., 2007 – Clean coal technologies – present scenario in India. Clean Coal Day in Japan 2007.
- [7] Annual Energy Outlook 2008 with Projections to 2030. EIA. Report #:DOE/EIA-0383(2008).
- [8] Energy in Europe. European Union Energy Outlook to 2020 ECC November 1999.
- [9] DOLBEN G., TOTH G., 2007 – EU Energy Review – State of Plans and EURELECTRIC's views. VGB PowerTech, nr 6.
- [10] JÄGER G., THEIS K.A., 2001 – Increase of power plant efficiency. VGB Power Tech., nr 11.
- [11] WÖRGETTER M., 2007 – From fossil fuel to sustainable transport systems. Contribution to the Royal Society Biofuels Event «International Biofuels Opportunities». 23–24 April 2007 Royal Society, London.
- [12] An Energy Policy for Europe. [SEC(2007)12]. Brussels, 10.1.2007.COM(2007)1 final.
- [13] HYNAR J.J., BLASCHKE W., 2002 – Ekologiczne, ekonomiczne i techniczne czynniki decydujące o roli węgla w bilansach paliwowo-energetycznych. Polityka Energetyczna t. 5, z. 1.

- [14] KOTOWSKI W., 2002 – Przyszłościowa pozycja węgla w wytwórczości energii elektrycznej. Karbo, nr 4.
- [15] BLASCHKE W., HYCENAR J.J., 2003 – Conditions strenthening the role of coal in fuel-energy balance. Polityka Energetyczna t. 6, z. spec.
- [16] HYCENAR J.J., 2007 – Ekologiczne problemy spalania węgla. Karbo, nr 2.
- [17] HYCENAR J.J., FOLTYN R.L., 2009 – Perspektywy energetyki opartej na spalaniu węgla. Przegląd Górniczy, nr 3–4.
- [18] POULES H.H., 2005 – Advantages of ultra super critical technology in power generation. International Conference on Clean Coal Technologies for our Future CCT 2005. May 10–12 2005, Sardinia, Italy.
- [19] HYCENAR J.J., FOLTYN R.L., 2005 – Przegląd rozwoju techniki fluidalnego spalania paliw. Karbo, nr 3.
- [20] JORDAN K., ANHEDEN M., YAN J., STRÖMBERG L. – Oxyfuel combustion for coal-fired power generation with CO₂ capture – opportunities and challenges. Vattenfall Utveckling AB 162 87 Stockholm, Sweden.
- [21] HYCENAR J.J., 2008 – Kierunki rozwoju procesów zgazowania paliw. Karbo, nr 1.
- [22] JAEGER H., 2007 – DOE study confirms IGCC as the lowest cost coal-power alternative. Gas Turbine World, nr 4.
- [23] BOHN D., 2008 – Future developments for CO₂ –free power plant technologies with integrated gas turbines. VGB PowerTech, nr 7.

Jan J. HYCENAR

Coal rank in fuel-energy balances

Abstract

In recent years, as a consequence of significant political and economic changes, and, especially, due to world economic crisis, the former forecasts on development of fuel energy resources press for renewed analyses and up-dating. The necessity of CO₂ emission reduction influences the development of primary energy sources. Hard and brown coals belong to fuels emitting the biggest quantities of air pollutants. Renewable sources and nuclear energy belong to the most ecological solutions. However, their popularization /dissemination will depend not only on development of technology and engineering, their competitiveness and availability, but also, more and more, on energy policy in a given country. So far the participation of coal fuels in fuel balances has been forecast on unchanged level with a tendency towards coal share increase after 2030. In 2006, coal share in primary energy balance amounted to 25% and in electric energy production to 40%. Elimination of coal from electric and thermal energy sources and as a chemical raw material is hardly likely.

Further use of coal requires a number of undertakings such as, for instance, modernization of existing power installations and building new power units based on fluidal fuels combustion, fuels combustion in oxygen atmosphere and IGCC.

KEY WORDS: energy sources, coal prospects, low-emission coal combustion