

Kazimierz Czopek, Beata Trzaskuś-Żak**

ENERGETYCZNA PERSPEKTYWA WĘGLA BRUNATNEGO W KONTEKŚCIE EUROPEJSKIEGO SYSTEMU HANDLU EMISJAMI (ETS)**

1. Wprowadzenie

Energia elektryczna produkowana w Polsce z węgla brunatnego jest w chwili obecnej najtańsza. W 2009 roku techniczny koszt wytworzenia 1 MWh z tego paliwa wyniósł 120,3 zł, natomiast z węgla kamiennego — 179,5 zł [4, 15]. Podstawowe wskaźniki energetyki na węglu brunatnym w latach 2008–2009 zestawiono w tabeli 1.

Wprowadzenie systemu ETS spowodowało jednak obniżenie dotychczasowej pozytywnej oceny węgla brunatnego jako źródła produkcji energii elektrycznej w przyszłości, głównie za przyczyną w miarę dużej ilości emisji CO₂ w porównaniu z innymi paliwami [8].

Na przykład według CEZ Polska i Vattenfall Polska, emisja CO₂ w Polsce w elektrowniach w zależności od źródła przedstawia się następująco [11]:

- węgiel kamienny — 0,95 Mg CO₂/MWh,
- węgiel brunatny — 1,22 Mg CO₂/MWh,
- gaz ziemny — 0,37 Mg CO₂/MWh,
- energia atomowa — 0,02 Mg CO₂/MWh.

W przypadku węgla brunatnego jest to wartość zawyżona bowiem w rzeczywistości elektrownie korzystający z tego paliwa emitują średnio 1,07 Mg CO₂/MWh [3].

Na niekorzystny obraz węgla brunatnego ma również wpływ opracowany przez Unię Europejską „czarny ranking” największych emitatorów CO₂ w Europie. W rankingu tym, nazywanym również „brudną 30”, niechlubne, pierwsze miejsce w 2009 roku zajęła Elektrownia Bełchatów — emisja 29,5 mln Mg CO₂, jedenaste miejsce Elektrownia Turów — emisja 11,6 mln Mg CO₂, 28 miejsce elektrownie PAK — emisja 6,1 mln Mg CO₂ [5].

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych Akademii Górniczo-Hutniczej w roku 2011

TABELA 1

Podstawowe wskaźniki energetyki na węglu brunatnym w latach 2008–2009 [1–3, 15]

Wyszczególnienie	Węgiel brunatny	
	2008	2009
Dostawy węgla do elektrowni, mln Mg	58,443	56,09
Produkcja energii elektrycznej, GWh	52 700	50 363
Koszt produkcji energii, zł/MWh	107,1	120,3
Koszt zużytego węgla, zł/MWh	69,9	78,0
Cena sprzedaży energii z węgla brunatnego, zł/MWh	145,49	183,38
Ceny węgla do elektrowni, zł/Mg	55,35	61,58
Koszt jednostkowy wydobycia węgla, zł/Mg	49,86	57,79
Wartość opałowia węgla, GJ,Mg	8,88	8,81
Zużycie węgla przy produkcji energii, GJ/MWh	9,848	9,814
Średnia sprawność netto elektrowni, %	36,68	37,39

Nie oznacza to oczywiście, że węgiel brunatny w przyszłości nie będzie dalej paliwem atrakcyjnym ekonomicznie. Potwierdza to chociażby rządowy program energetyki [13], w którym stwierdzono, że bezpieczeństwo energetyczne kraju zapewni nam wykorzystanie węgla kamiennego i brunatnego. Aby temu sprostać, energetyka na węglu brunatnym musi spełnić w przyszłości dwa podstawowe warunki. Po pierwsze musi dalej być konkurencyjna ekonomicznie, po drugie spełnić podstawowe wymagania ekologiczne, w tym szczególności uporać się z problemem obniżenia emisji CO₂.

Należy równocześnie wymienić kilka istotnych aspektów, przemawiających za węglem brunatnym również w przyszłości. Chociażby to, że Polska posiada bardzo znaczne zasoby tego paliwa. Ponadto energetyka na węglu brunatnym to przemysł o dużych już osiągnięciach nie tylko techniczno-produkcyjnych ale również w zakresie ochrony środowiska, w tym pilotowa technologia CCS instalowana w PGE Elektrownia Bełchatów.

Warto także przytoczyć opinię uznanych ekspertów [10], według których możliwy przecież wzrost aktywności gospodarczej może wywołać w Polsce poważny kryzys energetyczny. Wykorzystanie węgla brunatnego byłoby wówczas bardzo konieczne.

Zagospodarowanie złóż perspektywicznych węgla brunatnego jest możliwe z równoczesnym warunkiem ograniczenia emisji CO₂ oraz ekonomicznie opłacalnej produkcji energii elektrycznej, nawet w przypadku konieczności zakupu limitów emisji CO₂. Jest zatem możliwe ograniczenie CO₂ o 20–30%, bo takie wymogi stawia Unia Europejska elektrowniom po roku 2020 [1]. Będzie to możliwe głównie dlatego, że perspektywiczne elektrow-

nie będą pracować przy znacznie większych sprawnościach niż obecnie, tym samym mniejsze będzie jednostkowe zużycie paliwa, a także mniejsza emisja CO₂. Ponadto złoża perspektywiczne, zwłaszcza analizowane w niniejszej pracy, charakteryzują się wysoką kalorycznością, która również powoduje pozytywne skutki wymienione wyżej. Spowoduje to w efekcie utrzymanie konkurencyjnego kosztu produkowanej energii z węgla brunatnego.

2. Złóża węgla brunatnego uwzględnione w prognozie

W artykule przedstawiono prognozowane koszty produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego ze złoża Legnica Zachód i Gubin. Należy zatem mieć świadomość tego, że cykl budowy kopalni na tych złożach o planowanym wydobyciu 24 mln Mg węgla rocznie wynosi dla złoża Legnica Zachód — 12 lat, dla złoża Gubin — 13 lat [3, 6]. Oznacza to, że prognoza dotyczy okresu po roku 2020, kiedy system ETS zobowiązuje producentów energii elektrycznej do zakupu praw do emisji CO₂ na wolnym rynku w pełnym wymiarze.

Bardzo korzystnym czynnikiem, który wzięto pod uwagę przy rozważaniach prognostycznych wykorzystania węgla brunatnego z tych złóż, są znaczne ilości zasobów tego paliwa w złożach udokumentowanych i perspektywicznych rejonu. Są to złoża dobrze rozpoznane geologicznie a także co do których wykonano już wiele opracowań analitycznych i projektowych, zwłaszcza w ramach projektu „Foresight” [2, 6]. Podstawowe dane geologiczno-górnictwe tych złóż zestawiono w tabeli 2.

Nie wyklucza to oczywiście, jeżeli zajdzie taka potrzeba, zagospodarowania innych złóż węgla brunatnego. Wymienione dwa złoża zagwarantują natomiast nie tylko utrzymanie dotychczasowego wydobycia i produkcji energii elektrycznej ale także uzupełnią braki mocy po nieuniknionej likwidacji przestarzałych bloków [7].

Za wymienionymi złożami przemawiają ponadto następujące korzystne czynniki. Złóża Legnica-Zachód oraz Gubin są fragmentami dużych kompleksów złożowych, zatem w przypadku konieczności powiększenia wydobycia w tych rejonach, można byłoby uruchamiać kolejne ich fragmenty. Jak wspomniano, zainteresowanie tymi złożami istnieje od wielu lat. W przypadku złoża Legnica-Zachód od kilku lat funkcjonuje na przykład Społeczny Komitet Zagospodarowania Złóż Legnickich im. Prof. A.S. Trembeckiego, któremu przewodniczy Rektor AGH, prof. dr hab. inż. A. Tajduś. Mimo społecznego charakteru Komitetu, jego działalność zmierza do prawnej ochrony złóż przed ich zabudową inwestycjami infrastrukturalnymi, a także powołania jednostki prawnej, potencjalnego inwestora w formie spółki celowej, który przyjąłby praktyczną realizację udostępnienia tego złoża. Przykładem takiego rozwiązania było utworzenie przez KWB „Konin” S.A. potencjalnego inwestora złoża Gubin poprzez powołanie spółki PWE Gubin Sp. z o.o. zarejestrowanej w KRS 13.11.2008 roku. Ostatecznie w dniu 18.06.2010 roku PGE Polska Grupa Energetyczna S.A. nabyła od KWB „Konin” S.A. 100% udziałów w spółce PWE Gubin Sp. z o.o. z myślą o strategicznym bezpieczeństwie grupy PGE w oparciu o węgiel brunatny, w tym przypadku w rejonie Gubina.

TABELA 2
Średnie parametry jakościowe złóż gubińskich i legnickich [9]

Parametr	Złoże										
	Gubin							Legnica			
	Pole Mielno-Brzozów	Pole Sadzarzewice	Pole Strzegów	Pole Węgliny	Złoże Gubin-Zasieki-Brody	Złoże Lubsko	Średnio w kompleksie	Północ	Wschód	Zachód	
Wartość opałowa, Q^d , GJ/Mg	9,195	9,380	8,770	9,180	9,536	9,572	9,392	9,267	9,168	9,936	
Zawartość popiołu, A^d , %	15,99	13,76	21,26	17,10	16,22	15,56	16,59	17,85	18,58	14,87	
Zawartość siarki całkowitej, S^d , %	1,92	1,50	1,08	1,62	2,66	2,14	2,22	1,53	1,13	0,96	
Średni wskaźnik N:W, m ³ /Mg								6,7			6,6

Co prawda zasoby obu złóż umożliwiałyby budowę kopalni o większym wydobyciu węgla, niemniej dla niniejszych rozważań przyjęto, że wydobycie na złożu Legnica Zachód i Gubin będzie identyczne i wyniesie 24,0 mln Mg w ciągu roku. Jak wspomniano, zagospodarowanie tych złóż może nastąpić po 2020 roku. Dotyczy to również budowy skojarzonych z tymi złożami elektrowni, z 4 blokami o mocy 1150 MW każdy i sprawności brutto 50% [2].

Analiza opłacalności budowy kopalni na obu złożach wykazała, że [1, 2, 6]:

- koszt jednostkowy wydobycia węgla wyniesie odpowiednio; na złożu Legnica Zachód 48,54 zł/Mg, na złożu Gubin 54,14 zł/Mg;
- opłacalna cena sprzedaży węgla do elektrowni; ze złoża Legnica Zachód 70,00 zł/Mg, ze złoża Gubin 89,0 zł/Mg;
- zdyskontowane przepływy netto; na złożu Legnica Zachód $NPV = 83,492$ mln zł, na złożu Gubin 12,033 mln zł, czyli inwestycje byłyby opłacalne.

3. Koszt wytworzenia 1 MWh w planowanych elektrowniach

Jednostkowe zużycie węgla w elektrowni możemy wyrazić na dwa sposoby. W pierwszym przypadku ustalamy ile Mg węgla z danego złoża należy spalić w elektrowni, aby wyprodukować 1 MWh. Drugi sposób, bardziej ogólny, określa ile energii chemicznej zawartej w węglu należy zużyć, aby wyprodukować 1 MWh, czyli jednostkowe zużycie węgla określamy wówczas w wymiarze GJ/MWh. W obu przypadkach jednostkowe zużycie węgla będzie zależać głównie od dwu czynników; sprawności elektrowni i kaloryczności węgla. Wpływ sprawności elektrowni możemy określić wykorzystując podstawowe pojęcie energetyki. Wiadomo, że 1 MWh oznacza pracę wykonaną w czasie 1 godziny, przy wykorzystaniu mocy 1MW. Możemy zatem napisać, że:

$$1 \text{ MWh} = 1 \text{ MW} \cdot 3600 \text{ s}$$

Równocześnie 1MW oznacza moc, przy której praca wykonana w czasie jednej sekundy jest równa jednemu megadžulowi (MJ). W związku z tym powyższy wzór możemy zapisać następująco:

$$1 \text{ MWh} = \frac{1 \text{ MJ}}{1 \text{ s}} \cdot 3600 \text{ s},$$

a po przekształceniu:

$$1 \text{ MWh} = 3,6 \text{ GJ}$$

Interpretując ostatni wzór z punktu widzenia praktycznego możemy powiedzieć, że w idealnych warunkach, czyli przy sprawności bloku równej 100%, na wyprodukowanie 1 MWh należałoby zużyć 3,6 GJ energii chemicznej węgla. Ponieważ jest to nierealne, wobec tego do ostatniego wzoru należy wkomponować wspomnianą sprawność, wówczas jednostkowe zużycie energii chemicznej węgla na wyprodukowanie 1 MWh energii elektrycznej przyjmie poniższą postać:

$$\text{GJ/MWh} = \frac{1}{\eta \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{3,6 \text{ GJ}}}$$

gdzie η oznacza sprawność bloku.

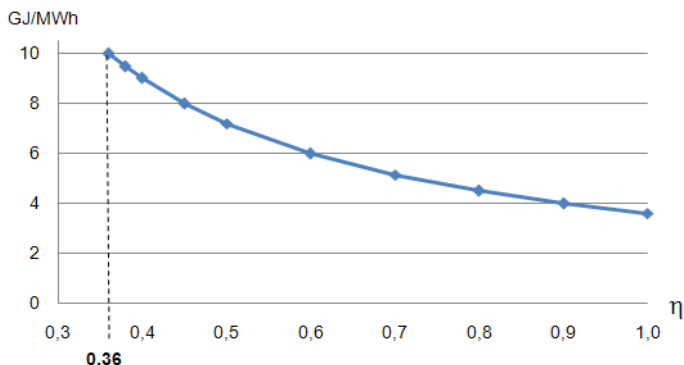
Zależność jednostkowego zużycia węgla (GJ/MWh) od sprawności bloku (η), w zakresie średniej sprawności osiąganey obecnie (ok. 0,38) do wartości teoretycznej (1,00), możemy przedstawić jak w tabeli 3 lub na rysunku 1.

TABELA 3
Zależność jednostkowego zużycia węgla od sprawności bloku

Sprawność bloku, η	Zużycie energii chemicznej węgla, GJ/MWh
1,00	3,600
0,90	4,000
0,80	4,500
0,70	5,143
0,60	6,000
0,50	7,200
0,45	8,000
0,40	9,000
0,38	9,474
0,36	10,000

Źródło: Opracowanie własne

Przy przyjętym wcześniej założeniu, że pracujące bloki w elektrowni w przypadku obu złóż (Legnica Zachód i Gubina) będą miały sprawność 50%, wówczas jednostkowe zużycie węgla wyniesie — 7,200 GJ/MWh.



Rys. 1. Zależność jednostkowego zużycia węgla od sprawności bloku
Źródło: Opracowanie własne

Jednostkowe zużycie węgla surowego na wyprodukowanie 1 MWh będzie również zależęć od kaloryczności węgla, która wynosi odpowiednio:

— dla złoża Gubin

9,392 GJ/Mg;

— dla złoża Legnica Zachód

9,936 GJ/Mg.

Uwzględniając wcześniej ustalone jednostkowe zużycie energii chemicznej (GJ/MWh), zużycie surowego węgla na wyprodukowanie 1 MWh wyniosłoby:

— dla złoża Gubin

$$\frac{7,200 \text{ GJ/MWh}}{9,392 \text{ GJ/Mg}} = 0,767 \text{ Mg/MWh};$$

— dla złoża Legnica Zachód

$$\frac{7,200 \text{ GJ/MWh}}{9,936 \text{ GJ/Mg}} = 0,725 \text{ Mg/MWh}.$$

Jeżeli uwzględnimy podane wcześniej ceny sprzedaży węgla do elektrowni; 70,0 zł/Mg ze złoża Legnica Zachód; 89,0 zł/Mg ze złoża Gubin, wówczas koszt spalonego węgla przy produkcji 1 MWh wyniosłoby:

— ze złoża Gubin:

$$0,767 \text{ Mg/MWh} \cdot 89,0 \text{ zł/Mg} = 68,263 \text{ zł/MWh};$$

TABELA 4
Koszt paliwa w elektrowniach na węglu brunatnym [4, 15]

Koszty	Rok									
	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Techniczny koszt wytworzenia, zł/MWh	84,3	91,3	95,6	97,1	94,7	98,6	102,5	107,1	120,3	
Koszt paliwa produkcyjnego, zł/MWh	48,8	56,7	56,3	55,3	54,8	55,9	58,4	63,9	71,2	
Koszt paliwa, %	57,89	62,10	58,89	56,95	57,86	56,69	56,97	59,66	59,18	

— ze złoża Legnica Zachód:

$$0,725 \text{ Mg/MWh} \cdot 70,0 \text{ zł/Mg} = 50,750 \text{ zł/MWh}.$$

Jeżeli porównamy otrzymane wartości z faktycznymi kosztami zużywanego węgla w ostatnich 10 latach (tab. 4) stwierdzimy, że w planowanych elektrowniach koszty zużywanego węgla byłyby mniejsze niż ma to miejsce aktualnie. W przypadku elektrowni Gubin byłby to koszt mniejszy (w 2009 r.) o 2,94 zł/MWh, natomiast w elektrowni Legnica Zachód aż o 20,45 zł/MWh.

Małe zmniejszenie kosztu zużywanego węgla w przypadku Gubina to skutek wysokiej ceny sprzedaży węgla do elektrowni (89,0 zł/Mg). Gdyby jednak rozważyć inny wariant zagospodarowania tego złoża, przy mniejszych nakładach inwestycyjnych, wówczas opłacalność tej inwestycji byłaby możliwa przy mniejszej cenie sprzedaży węgla. Przyjmując jednak otrzymane wyniki jak również osiągany obecnie udział procentowy węgla w technicznym koszcie wytworzenia 1 MWh (59,18% w 2009 roku), koszt wytworzenia 1 MWh wynosiłby:

— w elektrowni na złożu Gubin:

$$(120,3 - 71,2) + 68,26 = 117,36 \text{ zł/MWh}$$

— w elektrowni na złożu Legnica Zachód:

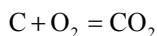
$$(120,3 - 71,2) + 50,75 = 99,85 \text{ zł/MWh}$$

Warto dodać, że w 2010 roku około 60% energii elektrycznej sprzedawano poprzez Towarową Giełdę Energii a stosowana cena na TGE wynosiła około 200 zł/MWh.

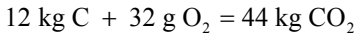
Widać zatem, że byłaby to dalej energia bardzo tania, zwłaszcza ze złoża Legnica Zachód.

4. Koszt energii elektrycznej z uwzględnieniem konieczności zakupu limitów emisji CO₂

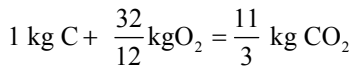
W surowym węglu brunatnym określone są procentowe udziały masowe takich pierwiastków i związków jak: pierwiastka węgla — C, wodoru — H, siarki — S, tlenu — O₂, azotu — N₂, wilgoci — H₂O, popiołu — A. Można zatem określić ile powstanie dwutlenku węgla CO₂ przy spalaniu 1 Mg węgla brunatnego. Korzystamy wówczas z reakcji zupełnego spalania węgla wyrażonej wzorem:



Znając skład molowy pierwiastków powyższej reakcji, czyli 1 kmol C = 12 kg, 1 kmol O₂ = 32 kg możemy stwierdzić, że przy spalaniu 12 kg pierwiastka węgla C powstaje 44 kg CO₂, ponieważ:



Oznacza to, że w wyniku spalania 1 kg pierwiastka węgla C powstaje $\frac{11}{3}$ kg CO₂ [12, 14]:



Analiza dokumentowanych złóż legnickich i gubińskich wykazała [2, 9], że w 1 Mg węgla surowego ze złoża:

- Legnica Zachód znajduje się 24,99% pierwiastka węgla C, czyli 249,9 kg,
- Gubin, znajduje się 23,31% pierwiastka węgla, czyli 233,1 kg.

Wobec powyższego przy spalaniu 1 Mg surowego węgla z wymienionych złóż, ilość dwutlenku węgla będzie wynosić:

- ze złoża Legnica Zachód:

$$\frac{11}{3} \cdot 249,9 = 916,3 \text{ kg CO}_2;$$

- ze złoża Gubin:

$$\frac{11}{3} \cdot 233,1 = 854,7 \text{ kg CO}_2.$$

Wobec powyższego, emisja dwutlenku węgla w przeliczeniu na 1 MWh energii produkowanej z węgla wyniesie:

- ze złoża Legnica Zachód:

$$0,725 \text{ Mg/MWh} \cdot 0,9163 \text{ Mg CO}_2 / \text{Mg} = 0,664 \text{ Mg CO}_2/\text{MWh};$$

- ze złoża Gubin:

$$0,767 \text{ Mg/MWh} \cdot 0,8547 \text{ Mg CO}_2 / \text{Mg} = 0,656 \text{ Mg CO}_2/\text{MWh}.$$

Porównując otrzymane wyniki planowanej emisji CO₂ z faktycznie realizowanymi, można stwierdzić, że w porównaniu do średnich wartości ze wszystkich elektrowni na węglu brunatnym, emisja w elektrowni na złożu Legnica Zachód byłaby mniejsza o 36,15% zaś na złożu Gubin o 36,92%. Wyniki te są dużo lepsze od wyznaczonych limitów przez Unię Europejską dla elektrowni planowanych po roku 2020. Pozostaje do wyjaśnienia w jakim zakresie system ETS wpłynie na koszt produkcji energii elektrycznej w przypadku konieczności zakupu limitów emisji CO₂ na wolnym rynku. W chwili obecnej ceny te oscylują pomiędzy 10 a 20 euro za 1 Mg CO₂. Panuje dosyć powszechna opinia, że w przypadku zaniku po roku 2020 darmowych limitów emisji CO₂, ceny ich wzrosną. W chwili obecnej nie ma jednolitej prognozy jak się będą kształtować te ceny.

Przykładowo dziennik Rzeczpospolita z dnia 25 i 28 stycznia 2011 roku podał następujące prognozy cen pozwoleń na emisję CO₂:

- aktualna rynkowa — 15 Euro/1 Mg CO₂;
- według Komisji Europejskiej — 39 Euro/1 Mg CO₂;
- według JP Morgan — 33 Euro/1 Mg CO₂;
- według Deutsche Bank — 48 Euro/1 Mg CO₂.

Poniżej przedstawiono o ile wzrósłby koszt produkcji 1 MWh w elektrowniach na obu złożach, przyjmując bardzo znaczny zakres cen limitów od 10 Euro/1 Mg CO₂ do 100 Euro /1 Mg CO₂ (tab. 5), a kurs euro liczony w czasie pisania pracy wynosił 3,951 zł/Euro.

Gdyby zatem ceny emisji CO₂ nie przekroczyły podanych prognoz, energia elektryczna z węgla brunatnego z nowych złóż byłaby dalej atrakcyjna ekonomicznie. Uwzględniając ponadto dosyć powszechne prognozy o wzroście cen energii elektrycznej w niedalekiej przyszłości nawet ponad 400 zł/MWh, należy bardzo poważnie brać pod uwagę konieczność udostępnienia nowych złóż węgla brunatnego.

TABELA 5

Koszt zakupu limitów emisji CO₂, zł/MWh

Koszt zakupu limitu, Euro/1 Mg CO ₂	Złoże Legnica Zachód	Złoże Gubin
	0,664 Mg CO ₂ /MWh	0,656 Mg CO ₂ /MWh
10	26,23	25,92
20	52,47	51,84
30	78,70	77,75
40	104,94	103,67
50	131,17	129,59

Źródło: Opracowanie własne

TABELA 6

Koszt produkcji 1 MWh z uwzględnieniem zakupu limitów emisji CO₂

Koszt zakupu limitu, Euro/Mg CO ₂	Koszt 1 MWh z uwzględnieniem zakupu limitów CO ₂ , zł/MWh	
	złoże	
	Legnica Zachód	Gubin
10	126,08	143,28
20	152,32	169,20
30	178,55	195,11
40	204,79	221,03
50	231,02	246,95

Źródło: Opracowanie własne

5. Podsumowanie i wnioski

Istnieje wiele przesłanek i faktów przemawiających za tym, że węgiel brunatny powinien odgrywać znaczącą rolę w polskiej elektroenergetyce również w przyszłości. Będzie to możliwe w przypadku zagospodarowania nowych złóż perspektywicznych węgla brunatnego, w tym w pierwszej kolejności złoża Legnica Zachód i Gubin. W artykule przedstawiono zatem prognozę kosztu jednostkowego energii produkowanej z węgla z tych złóż. Z przedstawionych obliczeń wynika, że przy realnej możliwości zainstalowania bloków o sprawności 50% i wysokiej kaloryczności węgla z tych złóż, zmniejszy się wyraźnie zużycie węgla przy produkcji energii elektrycznej, tym samym koszt produkcji 1 MWh będzie niższy. Należy także podkreślić, że jest możliwe znaczne obniżenie emitowanego dwutlenku węgla o ponad 36%. W efekcie koszt energii elektrycznej z tych złóż, uwzględniając konieczność zakupu limitów emisji CO₂, będzie dalej ekonomicznie konkurencyjny z innymi rodzajami paliwa.

LITERATURA

- [1] *Bednarczyk J.*: Perspektywiczne strategie technologii wykorzystania energetycznego węgla brunatnego w warunkach dużego ograniczenia emisji dwutlenku węgla. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 5–6 z 2007 IGO Poltegor, Wrocław 2007
- [2] *Bednarczyk J.*: Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobywania i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną. *Węgiel Brunatny* nr 4 z 2008 roku, PPWB Turów 2008
- [3] *Bednarczyk J., Nowak A.*: Strategie i scenariusze perspektywicznego rozwoju produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego w świetle występujących uwarunkowań. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Z. 4 z 2010 r., WN AGH, Kraków 2010
- [4] *Bednarczyk J.*: Dynamika produkcji i kosztów energii elektrycznej z węgla brunatnego i kamiennego, *Przeгляд Górnictwa* 9/2010, SITG, Katowice 2010
- [5] *Brudna 30*. Komisja Europejska, Bruksela 2010

- [6] *Czopek K.*: Studia wykonalności dla opracowanych technologii udostępnienia i eksploatacji dodatkowych zasobów i złóż perspektywicznych. Projekt „Foresight”, AGH Kraków 2008
- [7] *Czopek K., Trzaskuś-Zak B.*: Stan obecny i perspektywa węgla brunatnego w Polsce. Polskie Elektrownie 2010, AKNET, Kraków 2010
- [8] Europejski System Handlu Emisjami (ETS). Wspólnoty Europejskie, Luksemburg 2009
- [9] *Kasiński J.R.*: Potencjał zasobowy węgla brunatnego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem kompleksów złóż gubińskich i legnickich. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- [10] *Kleiber M., Steinhoff J., Żmijewski K.*: Plan Marshalla potrzebny energetyce. Rzeczpospolita z dn. 8.10.2010 r.
- [11] *Kogut K.*: Ekologiczne i wysokosprawne moce. Polskie elektrownie 2010. AKNET, Kraków 2010
- [12] *Kozaczka J.*: Procesy spalania. Inżynierskie metody obliczeń. Wydawnictwa AGH, Kraków 1993
- [13] Polityka energetyczna Polski do 2030. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009
- [14] *Stawski P.*: Wytwarzanie energii elektrycznej – uwarunkowania emisji CO₂, www.ogrzewnictwo.pl
- [15] Sytuacja techniczno-ekonomiczna sektora elektroenergetycznego. ARE, Warszawa 2009–2010