

Jerzy BEDNARCZYK*

Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobycia i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną

STRESZCZENIE. Przedstawiono wystarczalność zasobów węgla brunatnego w złożach eksploatowanych w zagłębiach czynnych dla produkcji energii elektrycznej w elektrowniach, które w nich funkcjonują. Wskazano na możliwości zwiększenia tych zasobów przez podjęcie eksploatacji złóż satelitarnych, zalegających w tych zagłębiach i mocy wytwórczych elektrowni. Zestawiono parametry głównych złóż dla perspektyw rozwojowych przemysłu węgla brunatnego. Przedstawiono ocenę ekonomiczną udostępnienia największych złóż węgla brunatnego Legnicy i Gubina w nawiązaniu do występujących warunków geologiczno-górnictwowych i opracowanych scenariuszy technologicznych. Podano przewidywaną cenę wytwarzania energii elektrycznej z węgla brunatnego ze złoża Legnica i Gubin w elektrowniach konwencjonalnej i spalaniu węgla w tlenie.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo odkrywkowe, energetyka

Ekonomiczny rozwój lub utrzymanie dotychczasowego poziomu wydobycia węgla brunatnego łączy się w Polsce głównie z wytwarzaniem energii elektrycznej, konkurencyjnej w stosunku do produkowanej z innych paliw.

Prof. dr hab. inż. – „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław.

Istotne znaczenie dla strategii rozwojowej węgla brunatnego mają dwa problemowe uwarunkowania:

- ✧ udokumentowane bilansowe zasoby węgla brunatnego, zalegające głównie poza terenami chronionymi oraz technologia ekonomicznego ich udostępnienia i eksploatacji,
- ✧ technologia ekonomicznego przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną przy minimalnej (zerowej) emisji zanieczyszczeń do atmosfery, zwłaszcza gazów cieplarnianych.

Opracowany w latach 2006–2008 Foresight [1] określający scenariusze rozwoju przemysłu węgla brunatnego wskazuje, że istnieją udokumentowane zasoby i technologie wydobywania umożliwiające w okresie najbliższych 30 lat utrzymanie wydobywania na aktualnym poziomie 60 mln Mg, a nawet znaczne jego zwiększenie.

1. Perspektywy wydobywania węgla brunatnego w zagłębiach czynnych z uwzględnieniem włączenia do eksploatacji złóż satelitarnych

Plany rozwoju wydobywania węgla brunatnego mają długą historię. W pierwszym dziesięcioleciu po drugiej wojnie światowej ograniczały się do znanych zagłębi: konińskiego, turowskiego i zielonogórskiego. Wówczas wielkość wydobywania określono na około 10 mln Mg rocznie, które osiągnięto w 1961 roku.

Po udokumentowaniu nowych zasobów w zagłębiach eksploatowanych, plany rozwoju wydobywania i eksploatację zwiększono do 40 mln Mg rocznie w latach siedemdziesiątych. Po udokumentowaniu złoża Bełchatów–Szczerców i określeniu docelowego wydobywania ze złoża Bełchatów na 38,5 mln Mg rocznie w planach rozwojowych odnotowano wydobywanie na poziomie 75 mln Mg. W 1988 roku osiągnięto maksymalne wydobywanie w wysokości 73,5 mln Mg. W tym okresie zakładano, że wydobywanie węgla brunatnego zakończy się w roku 2020, a w Zagłębiu Konin w 2010.

W międzyczasie udokumentowano nowe zasoby w Zagłębiu Konin w złożu Lubstów, w Zagłębiu Dolnośląskim – złożu Legnica, a w Zagłębiu Łódzkim – złoża Rogózno i Złoczew. Zrezygnowano z równoległej eksploatacji złoża Bełchatów i Szczerców na szeregową oraz z budowy elektrowni Bełchatów II i zmniejszono wydobywanie ze złoża Turów, rezygnując z budowy elektrowni Zatonie.

Od roku 1989 stopniowo ograniczano wykorzystanie zdolności produkcyjnej poprzez ograniczanie sprzedaży węgla dla celów komunalnych i w mniejszym stopniu realizowano zapotrzebowanie na węgiel przez elektrownie. W rezultacie wydobywanie węgla brunatnego zbliżyło się do 60 mln Mg rocznie w dwutysięcznym roku, przy wydłużającym się okresie eksploatacyjnym złóż w zagłębiach czynnych.

Prowadzone prace poszukiwawcze w rejonie Konińskim doprowadziły do udokumentowania nowych zasobów węgla w szczególności złóż Drzewce, Piaski, Tomisławice, Ościslowo, Mąkoszyn-Grochowiska, Dęby Szlacheckie oraz w złoża Koźmin w pobliżu Turka. Pozwalają one na wydłużenie okresu eksploatacji pod warunkiem, że uda się pokonać przeszkody związane z ochroną środowiska i występujący opór zamieszkałej na tym obszarze części ludności.

Zestawione w tabeli 1 dane wskazują następujące okresy eksploatacji złóż w zagłębiach czynnych:

TABELA 1. Wystarczalność zasobów złóż eksploatowanych i przewidywanych do udostępnienia w zagłębiach czynnych według danych za rok 2006 [1, 2, 3, 4]

TABLE 1. Sufficiency of brown coal resources in exploited deposits and perspective deposits presumed for opening in working mines by situation of 2007 [1, 2, 3, 4]

Kopalnia	Zasoby		Średnie wydobywanie roczne [mln Mg]	Wystarczalność [lat/do roku]
	przemysłowe [mln Mg]	operatywne [mln Mg]		
1. PGE KWB Bełchatów	1 300	1 160	33	35/2042
✦ zasoby w złożu Bełchatów i Szczerców	898	800		24/2031
✦ zasoby złoża Złoczew przewidywanym do udostępnienia	402	360		11
2. PGE KWB Turów	515	453	12	38/2045
✦ zasoby w złożu eksploatowanym Turów	415 ¹	373		31/2038
✦ zasoby złoża Radomierzyce przewidywanego do udostępnienia	100	80		7
3. KWB Konin	336	300	10	30/20317
✦ zasoby w złożach eksploatowanych	101	90		9/2016
✦ zasoby złóż przewidywanych do udostępnienia ²	235	210		21
4. KWB Adamów	163	144	4,6	31/2038
✦ zasoby w złożach eksploatowanych	62	60		13/2020
✦ zasoby w złożach przewidywanych do eksploatacji ³	11+90=101	90		20
5. Zasoby złóż eksploatowanych ogółem	1 476	1 323	60	22/2029
6. Zasoby złóż satelitarnych przewidywane do udostępnienia ogółem	838	740	60	12
7. Zasoby złóż występujące w zagłębiach czynnych ogółem	2 314	2 057	60	34/2041

¹ Istnieją możliwości zwiększenia zasobów przez włączenie obszarów poza obecnym okotowaniem.

² Tomisławice 48,5 mln Mg, Morzyczyn 23,7 mln Mg, Ościslowo 37,2 mln Mg, Mąkoszyn-Grochowiska 39,8 mln Mg, Dęby Szlacheckie 85,5 mln Mg.

³ Władysławów II – 11 mln Mg, Piaski 90 mln Mg.

- ✧ w Zagłębiu Bełchatów ze złóż Bełchatów i Szczerców do 2031 roku przy wydobyciu rocznym 33 mln Mg, a po udostępnieniu złoża Złoczew do 2042 roku,
- ✧ w Zagłębiu Turosszów ze złoża Turów do 2038 roku przy wydobyciu rocznym 12 mln Mg, a po udostępnieniu złoża Radomierzyce do 2045 roku,
- ✧ w Zagłębiu Konińskim ze złóż eksploatowanych do 2016 roku z wydobyciem rocznym 10 mln Mg, a po udostępnieniu nowych złóż do 2037 roku,
- ✧ w Zagłębiu Turek ze złóż eksploatowanych do 2020 roku z wydobyciem rocznym 4,6 mln Mg, a po udostępnieniu nowych złóż w tym głównie Piasków do 2038 roku.

Przedstawione powyżej wielkości świadczą, że tylko w Turowie istnieją w eksploatowanym złożu zasoby do prowadzenia wydobycia węgla do 2038 roku przy aktualnej wielkości wydobycia. W pozostałych zagłębiach utrzymanie aktualnej wielkości wydobycia wiąże się z udostępnieniem nowych złóż o znacznie gorszych parametrach geologiczno-górnictwowych.

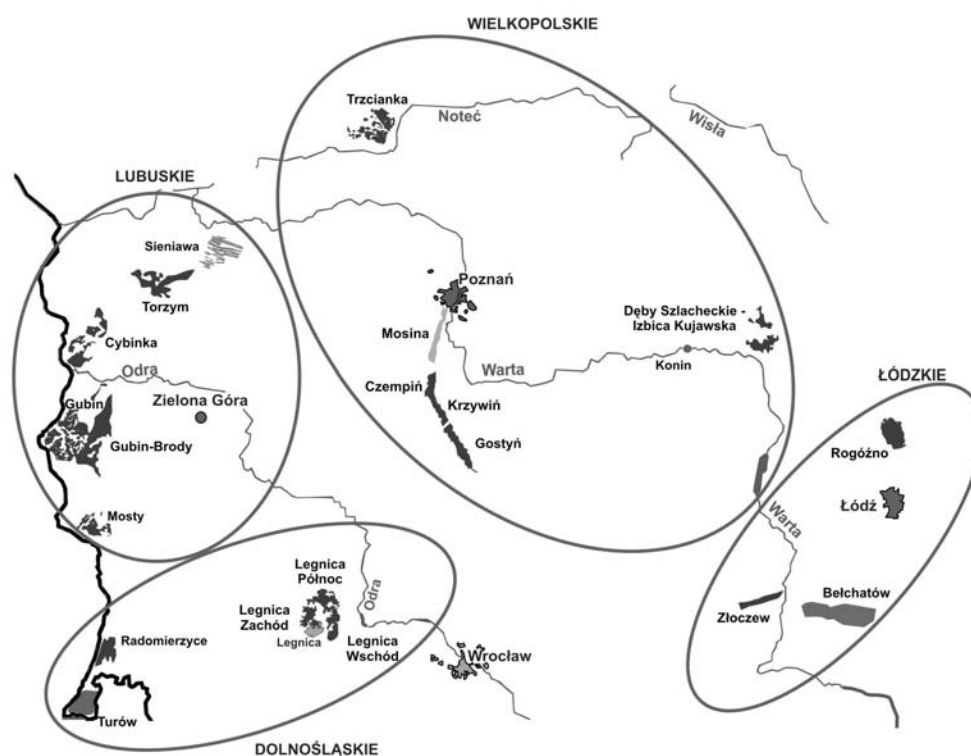
Istotne trudności, obok rozwoju wydobycia, związane są z mocą współpracujących elektrowni przetwarzających węgiel na energię elektryczną.

Przeprowadzone przez zespół elektrowni PAK oraz w Foresight analizy wskazują na konieczność realizacji następujących przedsięwzięć:

- ✧ w Elektrowni Turów zastąpienie 3 bloków o mocy zainstalowanej 3×200 MWe, jednym nowoczesnym blokiem fluidalnym CFB 500 MWe lub CFB 800 MWe przystosowanym do spalania węgla brunatnego w tlenie;
- ✧ w Elektrowni Pątnów, obok oddanego do eksploatacji bloku 464 MWe, modernizacja 4 bloków o mocy 4×200 MWe ze zwiększeniem ich mocy do 907 MW i sprawności brutto z 33,7 do 38,3%. Można rozważyć alternatywnie zamiast modernizacji bloków 200 MW budowę dwóch nowych bloków po 464 MW z niewielkim wzrostem nakładów około 15% i osiągnąć sprawność netto do 43,5%, a przy podsuszaniu węgla jeszcze wyższe. Razem z Elektrownią Konin o mocy 193 MW sumaryczna moc docelowa elektrowni Pątnów–Konin wyniosłaby 1564 lub 1585 MWe przy 2800 MWe mocy pierwotnej;
- ✧ w Elektrowni Adamów o mocy 600 MWe 5×120 MW, która jest w końcowej fazie eksploatacji występują zagrożenia związane z nadmierną emisją SO_2 i trudno będzie utrzymać ją w ruchu do 2021 roku. Aby wykorzystać dogodną lokalizację zaproponowano w miejsce dotychczasowej elektrowni wybudować nowy blok o mocy 464 MW i dostarczać węgiel ze złoża Piaski. Łatwiej będzie go dowieźć do elektrowni Adamów niż do elektrowni Pątnów;
- ✧ w Elektrowni Bełchatów budowany jest nowy blok o mocy 858 MWe i sprawności netto 41,7% z terminem oddania do eksploatacji 2010 rok. Razem z pozostałymi 10 blokami (dwa zostaną wycofane) elektrownia dysponować będzie mocą zainstalowaną 4500 MWe, o 100 MW większą niż dotychczas. Udostępnienie złoża Złoczew powinno umożliwić odpowiednie wykorzystanie tej mocy.

2. Perspektywiczne złoża węgla brunatnego i ich podstawowe parametry geologiczno-górnictwe

Perspektywiczne złoża węgla brunatnego zalegają głównie w czterech Regionach rozmieszczonych na rysunku 1.



Rys. 1. Główne perspektywiczne Regiony wydobywania węgla brunatnego

Fig. 1. The main perspective Regions of brown coal output

- ✧ W Regionie Zachodnim zalegają największe zasoby węgla brunatnego w Polsce na obszarze Legnica–Ścinawa–Głogów. Zasoby udokumentowane według obliczeń wykonanych przez PIG i „Poltegor-Institut” wynoszą: w złożach Legnica–Ścinawa około 4,722 mld Mg, w tym 3,154 mld Mg w złożu Legnica i 1,568 mld Mg w złożu Ścinawa. Zasoby prognostyczne, spełniające warunki bilansowe, występujące na obszarze Ścinawa – Głogów PIG określił na około 10 mld Mg. Poniżej południowego okonturowania Pola Legnicy Wschód, w kierunku wschodnim zalega złożo Ruja o zasobach szacunkowych 332 mln Mg.

- ✧ W Regionie Lubuskim występuje szereg złóż, w tym dwa złoża Gubin i Gubin-Brody. Złoże Gubin o udokumentowanych geologicznych zasobach bilansowych 952 mln Mg z czterema polami: Strzegów – 130 mln Mg, Mielno–Brzozów – 193 mln Mg, Węgliny – 344 mln Mg, Sadzarzewice – 283 mln Mg. Przylega do wymienionych złóż – złoże Gubin-Brody o zasobach prognostycznych w Polu Zasieki – Brody w ilości 2,6 mld Mg. W Regionie Lubuskim zalega kilka innych złóż udokumentowanych o geologicznych zasobach bilansowych od 199 do 900 mln Mg, ale uwarunkowania ekologiczne i infrastrukturalne w znacznym stopniu ograniczają ich wykorzystanie.
- ✧ W Regionie Wielkopolskim występują trzy połączone szeregowo złoża w Rowie Poznańskim o udokumentowanych geologicznych zasobach 3674 mln Mg, w tym Czempin z zasobami 1190 mln Mg, Krzywiń – 1085 mln Mg i Gostyń z zasobami 1399,0 mln Mg. Wyłączono z możliwości eksploatacji największe, zalegające w wymienionym Rowie złoże Mosina o zasobach 1967 mln Mg, z uwagi na położenie na obszarze chronionym. W Regionie Wielkopolskim występują inne mniejsze złoża, w szczególności Trzcianka o zasobach przemysłowych około 204 mln Mg. Zalegający węgiel w złożu Trzcianka ma stosunkowo niską wartość kaloryczną 7,9 MJ/kg. Występujące wymycia podkładu i przechodząca przez złoże linią kolejową Krzyż–Trzcianka–Piła komplikują udostępnienie zasobów.
- ✧ W Regionie Łódzkim występują dwa złoża o udokumentowanych geologicznych zasobach bilansowych 1046 mln Mg. Złoże Złoczew o geologicznych zasobach bilansowych 485 mln Mg oraz złoże Rogóźno o geologicznych zasobach bilansowych 561 mln Mg i zasobach geologicznych o podwyższonej zawartości alkaliów i siarki w dolnym pokładzie w ilości 291 mln Mg.

Zestawione w tabeli 2 dane wskazują, że w perspektywie nie będzie brakowało zasobów węgla brunatnego do odkrywkowej eksploatacji. Wskazują na to możliwości wybrania zweryfikowanych przemysłowych zasobów węgla z wyłączeniem obszarów chronionych i zabudowanych ważną infrastrukturą w czterech omawianych głównych Regionach.

Zasoby przemysłowe, które można udostępnić z dużych złóż perspektywicznych wynoszą:

- ✧ zasoby bilansowe – 10 685 mln Mg
- ✧ zasoby przemysłowe – 8 732 mln Mg

Zasoby przemysłowe węgla w złożach eksploatowanych i aktualnie udostępnianych wynoszą około 1 476 mln Mg ze średnim wskaźnikiem N:W = 5:1.

Łączne zasoby przemysłowe dużych udokumentowanych złóż perspektywicznych oraz złóż aktualnie eksploatowanych i udostępnianych w ilości 10 250 mln Mg pozwalają na docelowe wydobycie węgla w ilości 100 mln Mg rocznie w okresie około 100 lat.

Trudniejsze warunki eksploatacji złóż perspektywicznych z wyższym wskaźnikiem nadkładu węgla będzie można pokonać zastosowaniem układów KTZ o większej wydajności i zautomatyzowanym sterowaniem systemem procesów technologicznych, wykorzystując doświadczenie krajowego przemysłu oraz jednostek badawczo-rozwojowych.

TABELA 2. Parametry geologiczno-górnice głównych udokumentowanych złóż perspektywicznych w Regionach Zachodnim, Lubuskim, Wielkopolskim i Łódzkim z uwzględnieniem danych z Bilansu oraz z koncepcji udostępniania opracowanych w Foresight [1, 2]

TABLE 2. The geological and mining parameters of main perspective deposits in Zachodni, Lubuski, Wielkopolski and Łódzki Region, in consideration of data from: Bilans Zasobów and Foresight conceptions [1, 2]

Regiony Główne złoża udokumentowane	Zasoby		Średni stosunek nadkładu węgla		Średnia głębokość spagu węgla [m]	Średnia wartość opałowa węgla [MJ/kg]
	geologiczne [mln Mg]	przemysłowe [mln Mg]	geologiczny [m/m]	przemysłowy [m ³ /Mg]		
1. Region Zachodni	4 722 ¹	3 737,0 ¹	8,03:1	8,74:1	187,3	9,61
1.1. Złoże Legnica	3 154 ¹	2 483,0 ¹	7,55:1	8,31:1	173,6	9,44
w tym:						
Pole Zachód	864	547,8	6,6:1	7,25:1	158,8	10,11
Pole Wschód	839	652,4	7,6:1	8,07:1	136,3	9,03
Pole Północ	1 451 ¹	1 325,4 ¹	8,1:1	8,60:1	193,2	9,05
1.2. Złoże Sieniawa	1 568 ¹	1 254,0 ¹	9,0:1	9,6:1(s)	214,6	9,96
2. Region Lubuski	952	771,0	8,88:1	9,5:1	90,0	9,11
2.1. Złoże Gubin	952	771,0	8,88:1	9,5:1	90,0	9,11
w tym:						
Pole Strzegów	130	106,0	7,76:1	8,67:1	81,6	8,94
Pole Mielno-Brzozów	193	177,1	10,00:1	9,82:1	94,4	9,23
Pole Węgliny	344	288,4	8,07:1	7,65:1	88,1	9,16
Pole Sadzarzewice	283	199,5	9,63:1	10,29:1	95,3	9,5
3. Region Wielkopolski	3 674	3 122	6,49:1	8,28:1	252,7	9,99
3.1. Złoże Czempień	1 190	1 011	5,81:1	7,1:1	237	9,92
3.2. Złoże Krzywiń	1 085	922	6,81:1	8,78:1	267	10,20
3.3. Złoże Gostyń	1 399	1 189	6,81:1	8,89:1	255	9,88
4. Region Łódzki	1 337	1 102	4,37:1	6,22:1	199,7	9,19
4.1. Złoże Złoczew	485	402	4,5:1	7,65:1	259	8,45
4.2. Złoże Rogóżno	852 ²	700	4,3:1	5,4:1	140	9,60
Pokład górny	408	406	5,9:1	6,3:1	104,8	9,1
Pokład dolny	399	294	4,7:1	5,4:1	188,5	10,3
5. Razem	10 685	8 732	4,37:1 do 8,88:1	8,32:1	203,6	9,64

¹ Zasoby obliczone przez Poltegor-Institut i PIG większe od podanych w Bilansie.

² Razem z zasobami o podwyższonej zawartości alkalii.

3. Uwarunkowania geologiczno-górnice dla wyboru priorytetu udostępnienia zasobów węgla brunatnego dużych kompleksów złożowych Legnicy i Gubina

Przeprowadzone analizy perspektywicznych złóż węgla brunatnego doprowadziły do wyłonienia trzech największych kompleksów złożowych zalegających w Regionach: Dolnośląskim, Lubuskim i Wielkopolskim. Są to złoża Legnicy, złoża Gubina i złoża Rowu Poznańskiego, których parametry geologiczno-górnice umożliwią budowę dużych zespołów górniczo-energetycznych stanowiących podstawowe źródła energii krajowego systemu elektroenergetycznego. Wymienione kompleksy cechują się zbliżonymi parametrami geologiczno-górnicyzmi.

Z uwagi na podjętą jeszcze w latach siedemdziesiątych Uchwałę Sejmu zakazującą udostępniania złóż zalegających w Rowie Poznańskim, w najbliższej perspektywie predysponowane są do eksploatacji dwa kompleksy złożowe legnicki i gubiński. Istotne będzie nadanie priorytetu udostępnienia jednemu z wymienionych dwóch kompleksów. W tym aspekcie zestawiono geologiczno-górnice parametry przynależne każdemu kompleksowi, wynikające z dokumentacji złożowej i technologicznych badań modelowych (tab. 3). Dla obu kompleksów opracowano w Foresight wielowariantowe scenariusze udostępnienia zasobów przy zbliżonym docelowym wydobyciu 24 mln Mg rocznie.

Ich porównanie ograniczono tylko do scenariuszy najlepszych pod względem ekonomicznym i korzystnych z punktu widzenia ochrony środowiska, w szczególności:

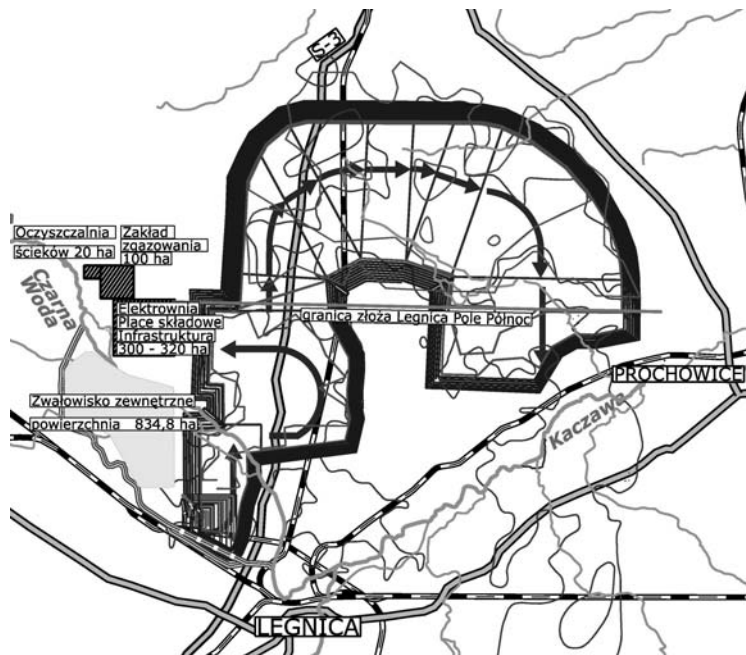
- ✧ udostępnienie złoża Legnica od Pola Zachód przedstawiono w Scenariuszu I (rys. 2), który charakteryzuje najmniejsza objętość wkopu otwierającego, najwyższa wartość opałowa węgla i najmniejsze bariery środowiskowe w stosunku do pozostałych czterech Scenariuszy udostępnienia wykonanych w Polach Wschodnim i Północnym;
- ✧ udostępnienie złoża Gubin dwoma wkopami od południowego-zachodu i północy według Scenariusza I (rys. 3), w celu zwiększenia pewności wydobycia węgla w stosunkowo dużej ilości w rozczłonkowanym i przedzielonym obszarami bezwęglowymi złożu oraz przejściem do eksploatacji przyległego do złoża Gubin złoża Gubin-Brody bez budowy nowego wkopu otwarcia.

Zestawione w tabeli 3 wskaźniki obrazują złożowe warunki zalegania węgla, zarówno w złożu Legnica, jak Gubin. Należą do nich:

- ✧ stosunkowo wysoki stosunek nadkładu do węgla, wyższy w złożu Gubin,
- ✧ rozczłonkowanie pokładów węgla, większe w złożu Gubin,
- ✧ duża głębokość zalegania spągu węgla, znacznie większa w złożu Legnica,
- ✧ częste i rozległe wymycia węgla w obszarze zalegania złoża Gubin.

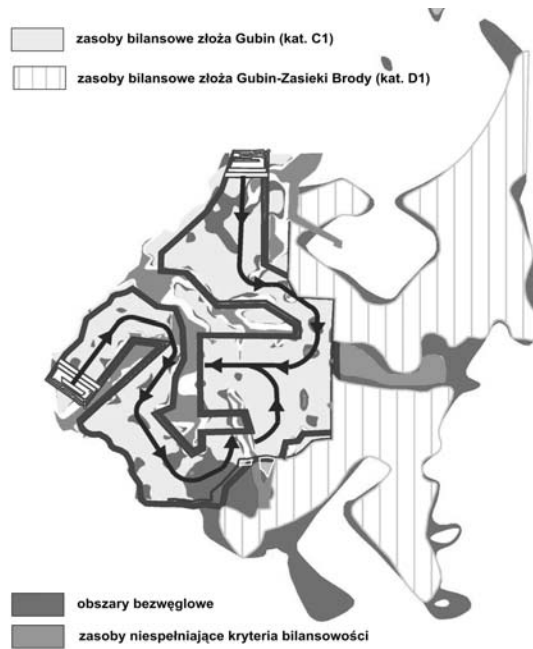
Do korzystnych cech złóż Legnicy i Gubina można wymienić następujące:

- ✧ duże zasoby węgla brunatnego zalegające w polach przyległych, możliwe do udostępnienia,



Rys. 2. Udostępnienie złoża węgla brunatnego Legnica od Pola Zachodniego

Fig. 2. Legnica deposits opening out from Pole Zachód



Rys. 3. Udostępnienie złoża Gubin

Fig. 3. Gubin deposits opening out

TABELA 3. Zestawienie parametrów geologicznych i górniczych udostępnienia złoża Legnica i złoża Gubin

TABLE 3. Geological and mining parameters Legnica and Gubin opening out

Lp.	Parametry	Jednostka	Złoże Legnica	Złoże Gubin	Złoże Zasieki-Brody rozpoznane w D1 przyległe do złoża Gubin
1.	Zasoby przemysłowe węgla udostępnione	mln Mg	2102	771	Około 2000 mln Mg obliczone na modelu
2.	Stosunek N:W dla zasobów przemysłowych ✧ średni ✧ przedział	m ³ /Mg	8,31 7,25–8,6	9,5 7,65–10,29	Pokłady: ✧ górny około 900 mln Mg ✧ dolny około 1000 mln Mg
3.	Miąższość węgla ✧ średnia ✧ przedział	m	22 23–20	8,79 7,7–10,0	16,31 m pokład górny około 7,3 m pokład dolny około 9,0 m
4.	Wartość opałowa ✧ średnia ✧ przedział	MJ/kg	9,44 10,11–9,03	9,11 8,94–9,50	9,5 MJ/kg pokład górny 9,3 MJ/kg pokład dolny 9,8 MJ/kg
5.	Zawartość siarki całkowitej S_t^d ✧ średnia	%	1,23	1,4	2,7% pokład górny 1,56% pokład dolny 4,09%
6.	Głębokość zalegania spagu węgla ✧ średnia ✧ przedział	m	173 136–193	90 81,6–95,3	160 m głębokość spagu węgla
7.	Objętość wkopu udostępniającego	tys. m ³	186,3	dwa wkopy 87+110=197	
8.	Cykl budowy wkopu ✧ do pierwszego węgla ✧ do docelowego wydobycia	lat	4 8	3 10	
9.	✧ Docelowe roczne wydobycie węgla	mln/Mg	24	24	
10.	✧ Średnioroczne zbieranie nadkładu	mln/m ³	176	192	
11.	Objętość zwałowiska zewnętrznego	mln/m ³	940	640	
12.	✧ Prognozowany drenaż wód podziemnych	m ³ /min	40	150	

- ✧ stosunkowo wysoka wartość opałowa węgla i niewielkie zawartości siarki, z wyjątkiem dolnego pokładu złoża Gubin – Brody,
- ✧ stosunkowo płytkie zaleganie węgla w złożu Gubin, umożliwiające budowę wkopu otwierającego w cyklu trzyletnim i mniejszą kubaturę zwałowiska zewnętrznego,
- ✧ niewielki prognozowany dopływ wód wglębnych przy eksploatacji złoża Legnica.

4. Ocena ekonomiczna wytwarzania energii elektrycznej z węgla brunatnego ze złóż Legnicy i Gubina

Ekonomiczna opłacalność zagospodarowania złoża stanowi najważniejsze kryterium oceny inwestycji. Do jej sporządzenia w Foresight wykorzystano program COMFAR III Expert i jego wyniki w tej publikacji przedstawiono w skrótej formie. Do obliczeń przyjęto następujące założenia: udział kapitału obcego poniżej 50%, stopa oprocentowania kapitału obcego – 6%, rentowność kapitału własnego – 11%, inflacja (przyjęta na podstawie celu inflacyjnego NBP) – 2,5%, stopa dyskonta (uwzględniająca inflację) – 11%, okres spłaty kredytu (od roku osiągnięcia poziomu pełnej eksploatacji) – 15 lat, analizowany okres przedsięwzięcia (w tym 5 lat prac przygotowawczych) – 45 lat.

Opracowane koncepcje i badania modelowe udostępnienia złóż i ich eksploatacji umożliwiły zestawienie niezbędnych nakładów inwestycyjnych, które zestawiono w tabeli 4, z wyodrębnieniem trzech faz budowy kopalni, obejmują one: prace przygotowawcze, budowę wkopów i rozwój do wydobycia docelowego.

TABELA 4. Zestawienie nakładów inwestycyjnych dla poszczególnych Scenariuszy Technologicznych udostępnienia złoża Legnicy i Gubina

TABLE 4. Investments expenditure for Technological Scenarios of Legnica and Gubin opening out

Złoża i Scenariusze	Prace przygotowawcze		Budowa wkopu		Rozwój wydobycia docelowego		Razem	
	lata	nakłady [tys. zł]	lata	nakłady [tys. zł]	lata	nakłady [tys. zł]	lata	nakłady [tys. zł]
Legnica Scenariusz I	-5 do -1	1 268 750	1 do 4	3 016 465	5 do 7	3 193 891	-5 do 7	7 479 106
Gubin Scenariusz I	-5 do -1	1 709 332	1 do 3	1 524 850	4 do 10	7 016 300	-5 do 10	10 250 482

Zróżnicowane wielkości nakładów inwestycyjnych w poszczególnych fazach budowy obydwu kopalń oraz różne przedziały czasowe ich wydatkowania wiążą się z zaleganiem złóż i dostosowaną do nich technologią udostępniania węgla.

Dla udostępnienia złoża Legnica znacznie większe nakłady w stosunku do udostępnienia złoża Gubin występują:

- ✧ w pracach przygotowawczych większe około 40,6%, związane z konieczną koncentracją tych prac oraz większym zakresem przebudowy infrastruktury,
- ✧ w budowie wkopu udostępniającego Legnicy nakłady inwestycyjne są większe o 71%, gdyż w złożu Gubin wkopy mają mniejszą kubaturę i są płytsze.

W udostępnieniu złoża Gubin znacznie większe nakłady inwestycyjne niż w złożu Legnicy występują w fazie rozwoju wydobywania do wielkości docelowej i przekraczają 2,44 razy przewidziane dla tej fazy dla złoża Legnica. Łączy się to z wydłużeniem czasowym tej fazy budowy w złożu Gubin do 7 lat podczas, gdy dla złoża Legnica obejmowała ona okres 3 lat.

Do oceny Scenariuszy przyjęto metodę zdyskontowanych przepływów pieniężnych ze względu na długi horyzont czasowy oraz zmieniające się wielkości wydobywania. Dla oceny przedsięwzięcia podstawowe znaczenie mają dwa wskaźniki NPV i IRR.

- ✧ NPV – zaktualizowana wartość netto kapitału inwestycyjnego, jest obliczona przez zdyskontowanie stałą stopą dyskontową, oddzielnie dla każdego roku różnic między wpływami i wydatkami pieniężnymi powstającymi podczas trwania przedsięwzięcia. Projekt z dodatnią stopą procentową posiada cechę realizacyjną.
- ✧ IRR – zwane wewnętrzną stopą zwrotu, interpretuje się jako roczną pieniężną stopę zwrotu netto zainwestowanego kapitału albo jako najwyższą stopę oprocentowania kredytów po opodatkowaniu.

W tabeli 5 i 6 zestawiono wskaźniki przyjęte do obliczeń ekonomicznych oraz ich wyniki. Odzwierciedlają one warunki eksploatacji złóż Legnicy i Gubina.

TABELA 5. Wskaźniki przyjęte do obliczeń ekonomicznych

TABLE 5. Indexes for economic calculations

Lp.	Wyszczególnienie	Złoże Legnica	Złoże Gubin
1.	Wydobycie węgla do 40 roku od początku budowy wkopu [mln Mg]	886,7	810,6
2.	Wydobycie średnie roczne węgla od początku budowy wkopu [mln Mg]	22,2	21,3
3.	Zbierany nadkład od 1 do 40 roku [mln m ³]	7 068,8	7 293,6
4.	Średnioroczne zbieranie nadkładu [mln m ³]	176,72	191,9

Najniższe ceny węgla, które zapewniają stopę zwrotu zestawionych nakładów inwestycyjnych wynoszą:

- ✧ 70 zł/Mg dla złoża Legnica,
- ✧ 89 zł/Mg dla złoża Gubin.

Dla obu udostępnionych złóż Legnicy i Gubina wewnętrzna stopa zwrotu jest większa od stopy dyskonta wynoszącej 11%. Okres zwrotu w latach odpowiada odzyskowi wydatków inwestycyjnych w postaci zwrotu skumulowanych sald pieniężnych netto niezdykontowanych (prosty) i zdyskontowanych (dynamiczny).

W Foresight przeanalizowano możliwości budowy elektrowni zapewniającej najlepsze wykorzystanie węgla brunatnego ze złóż perspektywicznych.

Dla wydobywania docelowego węgla w ilości 24 mln Mg ze złoża Legnicy i Gubina przeanalizowano następujące technologie przetwarzania węgla:

- ✧ technologia konwencjonalna ze spalaniem pyłów węgla w powietrzu (PC),
- ✧ technologiczne spalanie węgla w powietrzu (Oxy-fuel),
- ✧ technologia fluidalna spalania węgla w powietrzu i tlenie.

TABELA 6. Wyniki analizy ekonomicznej budowy i eksploatacji kopalni na złożach Legnica i Gubin

TABLE 6. Results of economic analysis for Legnica and Gubin mining

Lp.	Wskaźniki	Kopalnie	
		Legnica	Gubin
1.	Nakłady inwestycyjne [mln zł]	7 479	10 250
2.	Wysokość kredytu i wielkość kapitału własnego [mln zł]	3 550	3 185
3.	Zaktualizowanie wartości netto NPV [mln zł]	83,492	12,033
4.	Wewnętrzna stopa zwrotu IRR [%]	11,20	11,02
5.	Okres zwrotu w latach		
	✧ prosty ✧ dynamiczny	18 43	18 45
6.	Cena węgla [zł/Mg]	70	89
7.	Roczne koszty wydobycia węgla [mln zł]	1 165,06	1 299,30
8.	Koszty wydobycia węgla ogółem [mln zł]	43 749,50	49 373,50
9.	Wartość roczna sprzedaży węgla [mln zł]	1 677,5	1 898,5
10.	Wartość sprzedaży węgla ogółem [mln zł]	62 067,6	72 143,4

W technologii pyłowej stwierdzono możliwość zabudowy zespołów energetycznych o mocy zainstalowanej 1150 MW zarówno dla spalania węgla w powietrzu jak i w tlenie. W technologii fluidalnej w jej obecnym i najbliższym rozwoju moce zainstalowanych zespołów energetycznych określono na 800 MW zarówno dla spalania węgla w powietrzu, jak i w tlenie. Dla przetwarzania węgla brunatnego na energię elektryczną lub gaz korzystniejsza jest technologia fluidalna. Wskazuje na to praktyka fluidalnego spalania węgla w Elektrowni Turów oraz opracowana przez RWE fluidalna ciśnieniowa technologia zgazowania węgla brunatnego HTW Winklera.

Po przeprowadzonej analizie przyjęto budowę elektrowni z 4 blokami o mocy zainstalowanej 4x1150 MW w technologii konwencjonalnej spalania węgla w powietrzu i w tlenie.

Wyniki analizy ekonomicznej zestawiono w tabeli 7 i 8. Przedstawiono je z dwóch różniących się opracowań wykonywanych w Poltegor-Instytut i IASE

Nakłady inwestycyjne na budowę elektrowni spalającej węgiel brunatny w tlenie wraz z sekwestracją CO₂ i lokowaniem podziemnym wznoszą w stosunku do elektrowni konwencjonalnej o około 30% [7]. Jednostkowy koszt produkcji energii w spalaniu tlenowym węgla wznoszą od 46 do 83% [3, 5, 6, 7].

Nakłady na budowę elektrowni przyjęto według danych z roku 2006 [5] aktualne są znacznie wyższe.

TABELA 7. Założenia przyjęte do obliczeń [3, 5, 6]

TABLE 7. Assumption for economic calculations [3, 5, 6]

Lp.	Wyszczególnienie	Elektrownia konwencjonalna		Elektrownia Oxy-fuel z sekwestracją i lokowaniem CO ₂ pod ziemią	
		w Legnicy	w Gubinie	w Legnicy	w Gubinie
1.	Moc bloku [MW]	1150		1150	
2.	Paliwo – węgiel brunatny o wartości opałowej [MJ/kg]	9,4–9,1		9,4–9,1	
3.	Zużycie węgla brunatnego [Mg/h]	886,7	810,6	886,6	810,6
4.	Cena węgla [zł/Mg]	70	89	70	89
5.	Sprawność netto [%]	48,5		39,0	
6.	Nakłady inwestycyjne [mln zł]	18 216,0		23 680,80	
7.	Okres budowy bloku [lat]	3 do 4			
8.	Dyspozycyjność w roku [h]	7500			
9.	Stopa dyskonta [%]	11			
10.	Emisja CO ₂ [Mg CO ₂ /Mg węgla]	0,7/1,0			

TABELA 8. Wyniki obliczeń ekonomicznych

TABLE 8. Results of economic calculations

Lp.	Wyszczególnienie	Elektrownia konwencjonalna		Elektrownia Oxy-fuel z sekwestracją i lokowaniem CO ₂ podziemnym	
		w Legnicy	w Gubinie	w Legnicy	w Gubinie
1.	Wysokość kredytu [mln zł]	10 410		13 551	
2.	Zaktualizowana wartość netto kapitału NPV [mln zł]	72,52		91,81	
3.	Wewnętrzna stopa zwrotu inwestycji IRR [%]	11,06		11,06	
4.	Prosty okres zwrotu [lata]	17		17	
5.	Cena energii elektrycznej w elektrowni [zł/MW·h]	160	183	według Poltegoru	
				234	265
				według IASE	
		293	314		
6.	Roczna produkcja energii elektrycznej średnio [TW·h/rok]	32	30	25,7	24,1

Podsumowanie

1. Zasoby węgla brunatnego w złożach eksploatowanych, satelitarnych w zagłębiach czynnych i w złożach perspektywicznych w Regionach Dolnośląskim, Łódzkim i Lubuskim pozwalają na utrzymanie i zwiększenie dotychczasowego poziomu wydobycia i produkcji energii elektrycznej.
2. Analiza porównawcza ekonomicznego udostępnienia węgla brunatnego i produkcji energii elektrycznej z największych złóż Legnicy i Gubina wykazała lepsze wskaźniki ekonomiczne dla zagospodarowania złoża Legnica. Złoże Gubin powinno być zagospodarowywane w warunkach etapowego rozwoju i mniejszego wydobycia docelowego niż w Legnicy.
3. Koszty wydobycia węgla brunatnego będą stopniowo wzrastać w związku z pogarszaniem się warunków geologiczno-górnictwowych złóż, ale w znacząco niższym stopniu niż węgla kamiennego. Zahamowanie wzrostu kosztów spowoduje koncentracja wydobycia węgla i produkcji energii z zastosowaniem układów wydobywczych o dużej wydajności.
4. Do wytwarzania energii elektrycznej z węgla brunatnego z zerową emisją CO₂ najlepszą technologią będzie spalanie węgla w tlenie Oxy-fuel, z sekwestracją CO₂ i podziemnym jego składowaniem CCS. Złóża węgla brunatnego zalegają w pobliżu głębokich struktur geologicznych z wodami solankowymi oraz w rejonach, w których są zbiorniki po wydobyciu gazu ziemnego na Niziu Polskim, do których można będzie wprowadzać CO₂.
5. W perspektywie 2020 roku przewiduje się możliwość budowy dużych bloków energoelektrycznych o mocy 1000 MW i więcej w technologii Oxy-fuel. Wcześniej budowane bloki konwencjonalne powinny cechować się wysoką sprawnością netto powyżej 46,5% oraz możliwością dostosowania do technologii spalania węgla w tlenie. Wymaga to zabudowy podsuszania węgla brunatnego, które pozwalają nie tylko zwiększyć sprawność przetwarzania, ale także ograniczyć emisję CO₂ o około 20%.
6. Wytwarzanie energii elektrycznej z węgla brunatnego w technologii gazowo-parowej IGCC jest procesem złożonym realizowanym w rozbudowanych ciągach technologicznych zgazowania węgla, oczyszczania gazu i w złożonych układach prądotwórczych z turbinami gazowymi i parowymi. Złożoność tej technologii nie zapewnia wysokiego poziomu dyspozycyjności prowadzenia produkcji.
7. Od ponad dwudziestu lat zaprzestano prac poszukiwawczych i dokumentacyjnych za węglem brunatnym i opracowywania planów rozwoju przemysłu węgla brunatnego oraz technologii przetwarzania chemicznego węgla. Rozwiązano i zmniejszono do minimum zespoły zajmujące się tematyką badawczą i pracami rozwojowymi w PIG, Instytutach PAN i Przemysłowych, Uczelniach i Przedsiębiorstwach Usługowych. Zarysowujące się ekonomiczne perspektywy wykorzystania węgla brunatnego do produkcji wodoru, gazu syntezowego i ropy węglowej wymagają intensyfikacji badań w tej problematyce.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa, 2008 – Scenariusze Rozwoju Technologicznego Przemysłu Wydobycia i Przetwórstwa Węgla Brunatnego. Projekt celowy – Foresight. Raport i Sprawozdanie Końcowe z Realizacji Projektu – opracowany przez Poltegor-Instytut.
- [2] PIG, 2007 – Bilans Zasobów Kopalni i Wód Podziemnych w Polsce.
- [3] BEDNARCZYK J., 2007 – Perspektywiczne strategie technologii wykorzystania energetycznego węgla brunatnego w warunkach dużego ograniczenia emisji dwutlenku węgla. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 5–6.
- [4] KASZTELEWICZ Z., 2007 – Węgiel brunatny optymalna oferta dla Polski. Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”.
- [5] The European Technology Platform for Zero Emission Fossil Power Plants (ZEP). 13 October 2006: Final Raport from Working Group I, Power Plant and Carbon Dioxide Capture.
- [6] RAKOWSKI J., 2006 – Czy elektrownie węglowe będą w stanie ograniczyć emisję CO₂. *Energetyka* nr 3.
- [7] DILLON D.J. et al., 2004 – Oxycombustion Process in Pulverised Coal – Fired Boilers; a Promising Technology for CO₂. The 29th International Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Cleanwater Fl (USA).

Jerzy BEDNARCZYK

Prospective scenarios of brown coal mining and processing into energy

Abstract

Sufficiency of brown coal reserves in deposits mined in active brown coal basins for energy production in working power plants has been presented. Possibility of enlarging these reserves by undertaking mining of satellite beds in these basins and enlarging productive capacity in power plants has been shown. Parameters of main brown coal beds for development prospects of brown coal industry have been presented. Economic assessment of opening out of largest brown coal deposits Legnica and Gubin referring to geological-mining conditions and elaborated Technological Scenarios has been shown. Expected price of energy production with brown coal from Legnica and Gubin deposits in conventional and oxyfuel power plants.

KEY WORDS: opencast mining, energetics