

ZŁOŻA WĘGLA BRUNATNEGO W REJONIE LEGNICY-ŚCINAWY I TECHNOLOGIE ICH ZAGOSPODAROWANIA

The lignite deposits in the Legnica-Ścinawa area the methods of their exploitation

Stachowiak A.¹, Nowak J.², Sztromwasser E.¹

¹ Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie,

² KGHM CUPRUM sp. z o.o. – Centrum Badawczo-Rozwojowe

Słowa kluczowe: budowa geologiczna, zasoby złoża, eksploatacja odkrywkowa, gazyfikacja
Keywords: *geological structure, resources, deposits, pit operation, gasification*

Streszczenie Artykuł jest syntezą stanu wiedzy na temat budowy geologicznej kompleksu złóż węgla brunatnego w rejonie Legnicy-Ścinawy, obejmującego złoża: Legnica-Pole Zachodnie, Legnica-Pole Wschodnie, Legnica- Pole Północne, Ścinawa i Ruja (**fig. 1**). Przedstawiono w nim aktualny stan zasobów bilansowych wymienionych złóż oraz podstawowe parametry geologiczno-górnictwa i jakościowe. Ze względu na wielkość zasobów bilansowych złoża te stanowią ważne zaplecze surowcowe polskiej energetyki. Obecnie trwają w Polsce dyskusje i przygotowania zmierzające do wypracowania optymalnego sposobu zagospodarowania zasobów. Brane są pod uwagę zarówno metody tradycyjne, tzn. eksploatacja odkrywkowa i eksploatacja podziemna, jak również nowe metody dotychczas nie stosowane w polskim górnictwie węgla brunatnego, takie jak gazyfikacja i biogazyfikacja w złożu. Wśród omawianych w artykule technologii zagospodarowania zasobów szczególną uwagę poświęcono metodom podziemnej gazyfikacji i biogazyfikacji węgla.

Abstract The paper deals with the current knowledge of the geological structure of the lignite deposits complex in the Legnica-Ścinawa area, which includes 5 deposits: Legnica-Pole Zachodnie, Legnica-Pole Wschodnie, Legnica- Pole Północne, Ścinawa and Ruja (**fig. 1**). It presents the current mineral resources of the lignite and the most important geological, mining and qualitative parameters of the mentioned deposits. These deposits are the important basis for the Polish power industry because of the magnitude of their total mineral resources. The optimal ways of their exploitation are currently discussed and projected in Poland. The traditional methods i.e. open cast mining and underground exploitation as well as new technologies in Polish mining industry like gasification and biogasification are taken into account. The paper presents short information of all these methods but the particular note has been devoted underground methods of gasification and biogasification.

WSTĘP

Znaczne obszary Dolnego Śląska przykrywa kompleks osadów kenozoicznych, na który składają się głównie serie osadowe paleogenu oraz neogenu z występującymi w jego obrębie pokładami węgla brunatnego o znaczeniu przemysłowym. Jednym z najważniejszych złożowo obszarów jest re-

jon Legnicy-Ścinawy, gdzie udokumentowano dotychczas pięć złóż węgla brunatnego: Legnica-Pole Zachodnie, Legnica-Pole Wschodnie, Legnica-Pole Północne, Ścinawa i Ruja, o łącznych zasobach bilansowych ponad 5,5 mld Mg. Wielkość zasobów plasuje ten obszar wśród największych europejskich zagłębi węgla brunatnego. Wykzystanie tych niezwykle cennych złóż, stano-

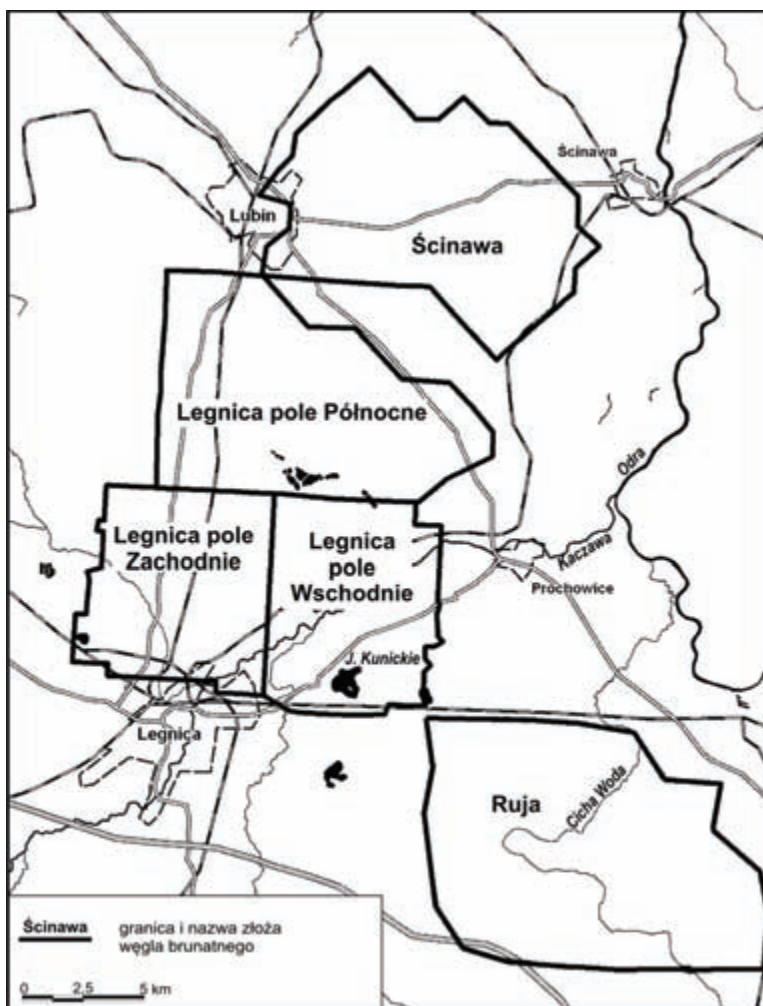


Fig. 1. Lokalizacja złóż węgla brunatnego rejonu legnicy-Ścinawy

Fig. 1. Location of the lignite deposits in the Legnica-Ścinawa area

wiących istotną bazę rozwoju polskiej energetyki (Kasiński, 2009) w perspektywie najbliższych dziesięcioleci, wydaje się oczywiste. Od wielu jednak lat toczą się dyskusje w środowiskach naukowych na temat możliwości i technologii ich wykorzystania. Brane są pod uwagę różne metody, głównie metoda eksploatacji odkrywkowej, najlepiej rozpracowana i mająca zdecydowanie najwięcej zwolenników. Rozważane są jednak także metoda eksploatacji podziemnej oraz technologie perspektywiczne - zgazowania i biozgazowania węgla w złożu. Zagospodarowanie omawianych złóż wydaje się nieuchronne w świetle przewidywanej

w najbliższych 20-30 latach wielkości wydobycia i wyczerpywania się zasobów aktualnie eksploatowanych złóż węgla brunatnego (Libicki, Tarasiewicz, 2005). Znaczący i stały od wielu lat udział węgla brunatnego w bilansie źródeł energii elektrycznej w Polsce, na poziomie 33-35%, będzie trudno zastąpić innymi nośnikami.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Złoże węgla brunatnego w rejonie Legnicy-Ścinawy występują na terenie dwóch dużych jednostek strukturalnych: bloku przedsudeckiego

(Legnica-Pola: Zachodnie, Wschodnie i Północne) i monokliny przedsudeckiej (Ścinawa i częściowo Legnica-Pole Północne). Obie jednostki rozdziela strefa dyslokacyjna środkowej Odry, która na tym odcinku przebiega od okolic Krzeczyna Wielkiego na północnym-zachodzie po okolice Pieszkowa i Miłoradziec na południowym-wschodzie.

Najstarsze utwory bloku przedsudeckiego na tym obszarze rozpoznane w wyniku wykonanych wierceń za miedzią i węglem brunatnym to głównie staropaleozoiczne fyllity, łupki serycytowe, talkowe, chlorytowe, łyszczykowe i krzemionkowe oraz szarogłazy. W północnej i północno-wschodniej części obszaru złożowego, na monoklinie przedsudeckiej, na utworach starszego paleozoiku zalegają piaskowce i zlepieńce czerwonego spągowca, łupki cechsztyńskie, piaskowce dolnego i środkowego pstrego piaskowca oraz osady marglisto-wapniste retu. Wymienione serie utworów paleozoicznych przykrywa na całym omawianym obszarze kompleks osadów paleogeńsko-neogeńskich od oligocenu do pliocenu. Stanowią go utwory klastyczne: piaszczyste, zwirowe, ilaste i mułkowe oraz organiczne o miąższości dochodzącej do około 400 m. Z paleogenem są związane zwietrzeliny skał paleozoicznych (regolity), często o miąższości do kilkudziesięciu metrów. W paleogenie górnym i miocenie miały miejsce liczne wylewy bazaltów. Tworzą one płaskie pokrywy lub kopuły. Bazalty i ich zwietrzeliny oraz tufy wulkaniczne stwierdzono w szeregu otworów wiertniczych, głównie w części zachodniej i południowej złoża Legnica. Kompleks osadów neogeńskich reprezentują głównie osady facji rzecznych, jeziornych i bagiennych. Te ostatnie, powstające w czasie etapów wzmoczonej subsydencji przy sprzyjających, bardziej wilgotnych warunkach klimatycznych, zaznaczyły się występowaniem pokładów węgla brunatnych. Podobnie jak na obszarze całej zachodniej części Nizy Polskiego stanowią one poziomy reperowe, które wykorzystywano przy podziale osadów paleogeńsko-neogeńskich (m.in. Ciuk, 1970; Dyjor, 1974; Piwocki, Olszewska, 1966; Piwocki *et al.*, 2004; Piwocki, Badura, Przybylski, 2004). W omawianym rejonie występują cztery grupy pokładów węgla wieku neogeńskiego.

Najniższą część kompleksu węglonośnego w rejonie Legnicy-Ścinawy stanowi ogniwo dąbrowskie (z najstarszą, czwartą grupą pokładów węgla), reprezentujące dolną część formacji rawickiej, wydzielanej w Polsce środkowej i zachodniej (Piwocki, Ziemiańska-Tworzydło, 1995,

1997). Zostało ono wydzielone na podstawie wierceń w okolicy Ścinawy. Pierwotnie (m.in. w pierwszej dokumentacji geologicznej złoża Ścinawa: Ciuk, 1961) korelowane było z najwyższym górnym oligocenem Łuzyc i Brandenburgii, w którym występuje czwarty lużycki pokład węgla brunatnego, zwany też pokładem biterfeldzkim. W wyniku późniejszych badań stratygraficznych i porównań korelacyjnych pokład ten został w niemieckim schemacie litostratygraficznym przesunięty do miocenu dolnego (Piwocki *et al.*, 2004). Na tej podstawie w schemacie polskim umieszczono go również w dolnym miocenie (Piwocki, Ziemiańska-Tworzydło, 1995, 1997; Piwocki, 1998). Ogniwo dąbrowskie jest wykształcone w postaci szarobrzązowych i brunatnych piasków kwarcowych, mułków i mułowców oraz węgla brunatnych. Związana z tym ogniwem czwarta grupa pokładów na omawianym terenie ma ograniczony zasięg, występuje jedynie w północnej części złoża Ścinawa, przypuszczalnie w tektonicznych obniżeniach podłoża podkenozoicznego. Wykształcona jest w postaci jednego pokładu (Fig. 2), czasem z cienkim przerostem ilastym, występującego na głębokości od około 270 m do około 390 m, kilkadziesiąt (do 100) metrów poniżej pokładów III. grupy. Miąższość tego pokładu dochodzi do ok. 12 m. Ze względu na znaczną głębokość zalegania, jak również ze względu na wyższe niż w pokładach wyżejległych zawartości siarki, nie jest on uwzględniany w obliczeniach zasobów bilansowych. Wartość opałowa węgla IV. pokładu, mieszcząca się w granicach 7-10 MJ/kg, jest zbliżona do stwierdzonej w pozostałych pokładach.

Powyżej utworów grupy dąbrowskiej lub bezpośrednio na podłożu podkenozoicznym zalega seria osadów dolnomiocenowych, reprezentowana na omawianym terenie przez utwory ilaste (w spągu serii są to często ility kaolinowe), ilasto-piaszczyste i mułki z wkładkami węgla oraz ilów i łupków węglistych. Tworzą one tzw. serię żarską ze ścinawską, III. grupą pokładów węgla brunatnego (Dyjor, 1978). Seria ta wykazuje dużą zmienność w wykształceniu litologicznym a węgle brunatne tego poziomu często przechodzą w ility i mułki węglone lub zawierające detrytus roślinny. Węgla brunatne tego poziomu zwykle nie tworzą ciągłego horyzontu. Warstwy węglowe na ogół są niewielkiej miąższości, poniżej 3 m. W niektórych partiach, np. w zachodniej i południowo-zachodniej części złoża Ścinawa osiągają większą miąższość, do 8,8 m.

Podstawowe znaczenie złożowe posiadają węgle drugiej grupy pokładów (II. pokład węgla) (Fig. 3). Występują one w obrębie dolno/środko-miocenów osadów serii śląsko-lużyckiej, od-

powiadających formacji ścinawskiej w ujęciu Piwockiego i Ziemińskiej-Tworzydło (1997). Pokład ten jest znany na obszarze wszystkich złóż kompleksu Legnica-Ścinawa, a jego miąższość jest

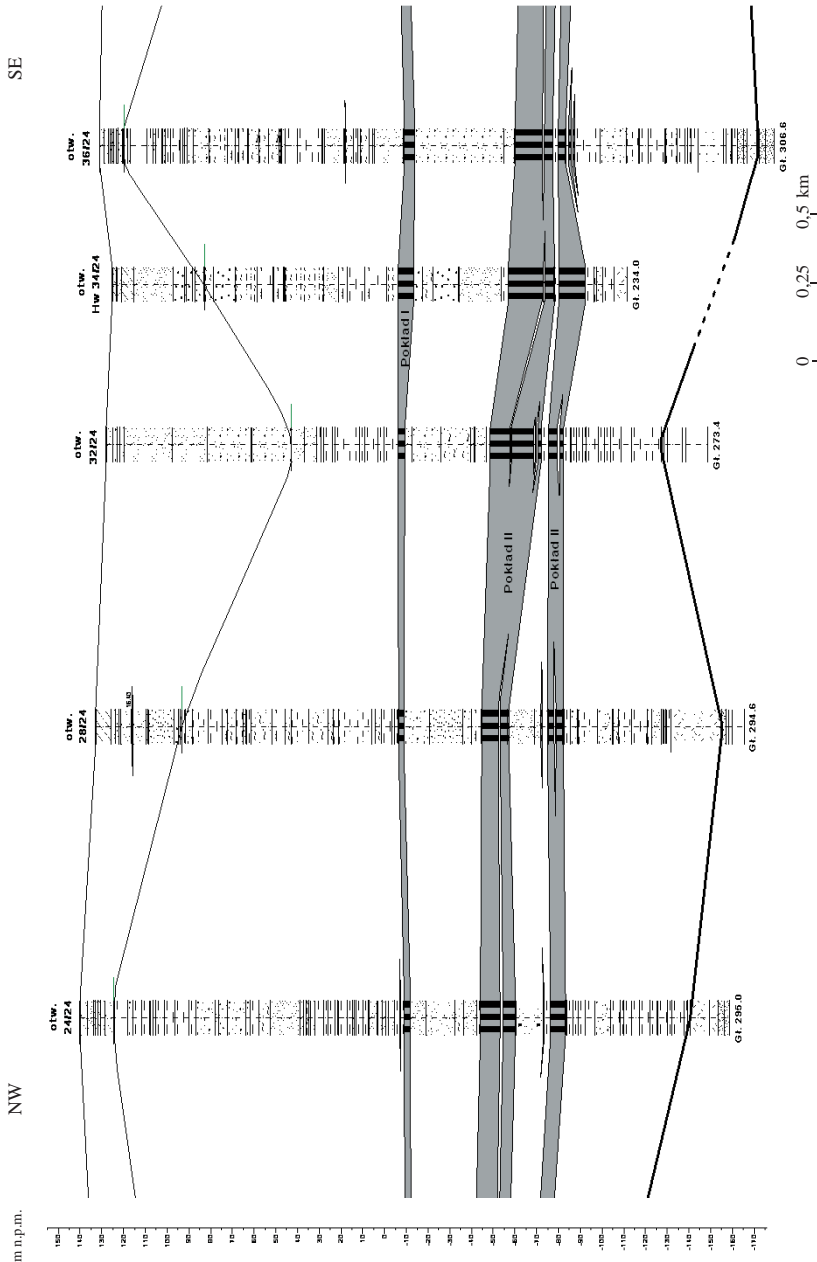


Fig. 3. Schematyczny przekrój geologiczny przez złożo węgla brunatnego Legnica-Pole N (wg Sztromwasser 2010a)
 Fig. 3. Schematic geological cross-section through the Legnica - Pole N lignite deposits (by Sztromwasser 2010a)

znaczna, choć zmienna, w złożu Legnica-Wschód sięga nawet 40 m. W północnej części omawianego obszaru (np. w złożu Ścinawa) miąższość II. pokładu jest wprawdzie bardziej stała (do około 20

m), ale pokład ten dzieli się tam na dwie ławy, górną i dolną, rozdzielone przerostem płonnym, zwykle o miąższości 6-8 m, który tworzą łupki i iłolupki węgliste, cienko przewarstwione smugami py-

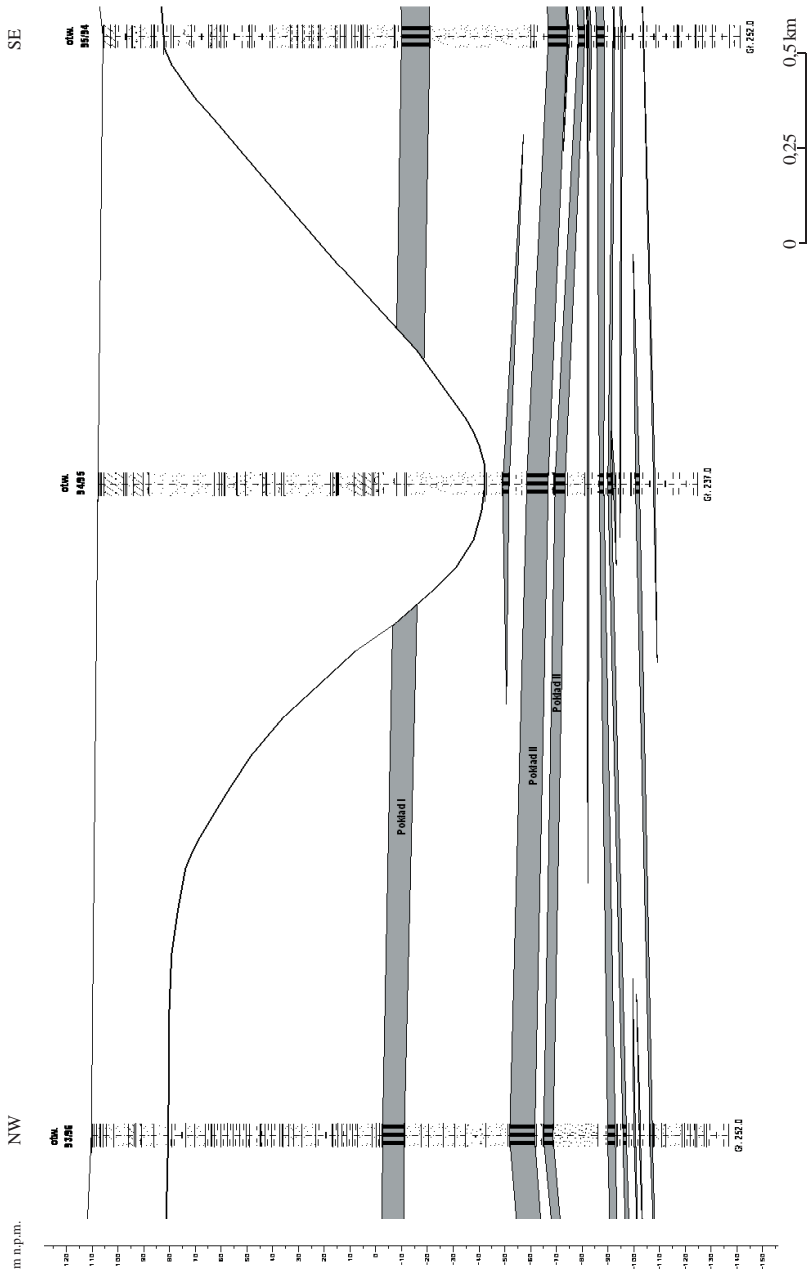


Fig. 4. Schematyczny przekrój geologiczny przez E część złoże węgla brunatnego Ścinawa (wg Stachowiak, 2010)

Fig. 4. Schematic geological cross-section through the E part of the Ścinawa lignite deposits (by Stachowiak, 2010)

lasto-piaszczystymi z dużą ilością łyszczyków. Na obszarze złoża Ścinawa grubość dolnej ławy węglowej waha się w granicach 1-6 m, a ławy górnej 3-15 m. Ku południowi, w złożu Legnica-Pole Północne, węgiel brunatny II. grupy pokładów tworzy już zazwyczaj jeden pokład, który ku południowi wyklinowuje się lub łączy z III. grupą pokładów.

Powyżej II. pokładu zalega seria utworów piaszczystych, miejscami mułkowatych i ilastych, miąższości kilkudziesięciu metrów, stanowiących główny paleogeńsko-neogeński horyzont wodonośny tego rejonu. Ponad tą serią piaszczysto-mułkową występuje I. pokład (I. grupa pokładów). Jest to I. pokład środkowopolski, należący w ujęciu Piwockiego i Ziemińskiej-Tworzydło (1997), do formacji poznańskiej. Pokład ten występuje we wszystkich złożach na omawianym obszarze, ma jednak nieznaczną miąższość i nieciągły charakter. Miąższość pokładu jest zmienna, np. w granicach złoża Ścinawa od 0 do 12 m (średnio ok. 5,5 m) przy głębokości zalegania od 87,6 do 207,3 m. Badania pyłkowe wykonane w 1961 r. potwierdziły, że nie jest on młodszy niż środkowy miocen (Ciuk, 1961). W południowo-wschodniej części złoża Ścinawa, w obrębie czwartorzędowej ryny erozyjnej o głębokości przekraczającej miejscami 150 m, pokład I. uległ rozmyciu (fig. 4).

Ponad I pokładem węgla brunatnego występuje seria utworów ilastych z wkładkami i soczewkami piasków i mułków, o miąższości przekraczającej 100 m, ze sporadycznymi soczewkowatymi przewarstwieniami węgla o niewielkiej miąższości. Według starszych opracowań (Ciuk, 1961) seria ta reprezentuje górny miocen-pliocen. Aktualnie bardziej uzasadnione wydaje się zaliczenie tej serii do formacji poznańskiej (miocen środkowy-miocen górny).

Na kompleksie utworów paleogeńsko-neogeńskich zalega pokrywa utworów czwartorzędowych zbudowana z piasków, żwirów, mułków i glin zwałowych. Jej miąższość na ogół nie przekracza 20-30 m, za wyjątkiem kilku stref rozcięć erozyjnych o kierunku SW-NE, m.in. w południowo-wschodniej części złoża Ścinawa, gdzie występuje głębokie rozcięcie, identyfikowane w starszych pracach jako rozcięcie pradolinne, stanowiące odnogę dopływu do pradoliny Odry. Według nowszych poglądów (Przybylski, 2009) struktura ta wykazuje cechy typowe raczej dla rynien subglacialnych, związanych w omawianym rejonie ze zlodowaceniem południowopolskim. Najmłodszymi osadami na omawianym obszarze są holocenckie mady, piaski rzeczne oraz torfy, występujące w dolinach rzek.

ZASOBY WĘGLA BRUNATNEGO

W rejonie Legnicy-Ścinawy udokumentowano pięć złóż węgla brunatnego: Legnica-Pole Wschodnie, Legnica-Pole Zachodnie, Legnica-Pole Północne, Ścinawa i Ruja. Stan rozpoznania poszczególnych złóż jest zróżnicowany. Złoża Legnica-Pole Wschodnie i Legnica-Pole Zachodnie zostały udokumentowane w kat. B+C₁ (Różycki, 1978; Wałachowska, 1990). Legnica-Pole Północne w kat. C₂ (Sztromwasser, 2010a) Ścinawa w kat. C₂ i D (Stachowiak, 2010), Ruja w kat. D (Sztromwasser 2010b). W polach rozpoznanych w kat. B otwory wiertnicze były wykonane w siatce 250 x 250 m, w kat. C₁ - 500 x 500 m, w kat. C₂ - 1 x 1 km i w kat. D ≥ 1 x 1 km. Aktualne kryteria bilansowości dla złóż węgla brunatnego a także stan zasobów, oraz główne parametry geologiczno-górnictwa i jakościowe złóż w rejonie Legnicy-Ścinawy prezentują **tabele 1 i 2**.

Tab. 1.
Kryteria bilansowości dla złóż węgla brunatnego wg Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20.06. 2005 r.

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
1.	Maksymalna głębokość spągu złoża	m	350
2.	Minimalna miąższość węgla brunatnego w pokładzie	m	3
3.	Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	-	12
4.	Minimalna średnia ważona wartość opałowa węgla brunatnego w pokładzie wraz z przerostami, przy wilgotności węgla 50%	MJ/kg	6,5
5.	Maksymalna średnia ważona zawartość siarki całkowitej pokładu węgla brunatnego wraz z przerostami, przy wilgotności węgla 50%	%	2(>2)*

* Wartości brzeżne ujęte w nawiasy dotyczą zasobów pozabilansowych.

Tab. 2.
Zasoby bilansowe oraz główne parametry geologiczno-górniczne i jakościowe złóż węgla brunatnego w rejonie Legnica-Ścinawy.

Parametr	Legnica-Pole W*	Legnica-Pole E*	Legnica-Pole N**	Ścinawa***	Ruja****
Kategoria rozpoznania	B+C ₁ +C ₂	B+C ₁ +C ₂	C ₁	C ₂ +D	D
Powierzchnia bilansowej części złoża w km ²	37,33	38,14	68,38	81,4	17,68
Zasoby bilansowe w mln Mg	864	839	1 723	1 767	345
Mięższość węgla w m	21,0	18,1	21,9	20,2	16,8
Grubość nadkładu w m	138	137	185	186	124
Współczynnik N/W	6,6:1	7,6:1	8,7:1	8,9:1	8,0:1
Zawartość siarki całkowitej S _t w %	0,98	0,99	1,42	0,33	0,71
Wartość opałowa w MJ/kg	9 936	9 168	9 186	9 527	9 363
Popielność A ^d w %	14,87	18,58	18,72	12,88	18,57
Zawartość bituminów B ^d w %	5,03	4,27	4,22	4,33	nb

Wartości wg: *Piwocki, Kasiński (2006); **Sztromwasser (2010a), ***Sztromwasser (2010b), ****Stachowiak (2010), nb - nie badano

Kryteria bilansowości spełniają pokład pierwszy, drugi i trzeci, przy czym większość zasobów bilansowych koncentruje się w pokładzie II. Pokład IV. (dąbrowski) nie był uwzględniany w obliczeniach zasobów bilansowych, głównie ze względu na znaczną głębokość zalegania.

TECHNOLOGIE ZAGOSPODAROWANIA ZASOBÓW

Obecnie ośrodki naukowe i badawcze na świecie rozważają różne technologie zagospodarowania zasobów węgla brunatnego. Wśród nich, jako potencjalnie możliwe do zastosowania w odniesieniu do złóż rejonu Legnica-Ścinawy, wymienić należy tradycyjne techniki górnicze, takie jak:

- wydobycie metodą odkrywkową,
- wydobycie metodą podziemną, a także nowe, intensywnie rozwijające się technologie, takie jak:
 - zgazowanie podziemne i
 - biozgazowanie podziemne.

Te ostatnie technologie wraz z metodą hydro-otworową, także analizowaną w przeszłości w odniesieniu do złóż legnickich, tworzą grupę tzw. metod otworowych. Zostały one przedstawione w wielu pracach (Nowak, 2007a,b; Kudełko, Nowak, 2007, 2009, 2010; Nowak, Kudełko, 2008; Kozłowski, 2008).

Polityka energetyczna Polski do roku 2030 określona Uchwałą Rady Ministrów nr 202/2009 z dnia 10.XI. 2009 r. zakłada dalsze wykorzystanie krajowych zasobów węgla brunatnego, w tym ze złoża Legnica, jednak dotychczas nie zapadły jeszcze żadne decyzje odnośnie jego zagospodarowania.

Eksploatacja odkrywkowa

Najpowszechniej stosowaną metodą zagospodarowania zasobów węgla brunatnego na świecie i w Polsce jest metoda odkrywkowa. Także w przypadku złóż rejonu Legnica-Ścinawy jest ona najbardziej oczywista, a projekty wykorzystania zasobów tą metodą są najbardziej zaawansowane. Od kilkunastu lat wykonywane są przez różne ośrod-

ki naukowo-badawcze analizy techniczno-ekonomiczne i środowiskowe kompleksu złóż legnicko-ścianawskich oraz założenia projektowe przyszłej kopalni odkrywkowej. Wyniki niektórych z tych prac były przedmiotem publikacji i dyskusji naukowych. Wariant kopalni zaproponowany przez Poltegor-projekt Sp. z o.o. (Libicki, Tarasiewicz, 2005) zakładał lokalizację wkopu udostępniającego w północno-wschodniej części złoża Legnica-Pole Północne i lokalizację zwałowiska zewnętrznego w rejonie wsi Redlice i Parszowice, w południowo-wschodniej części złoża Ścinawa. Docelowa zdolność wydobywcza kopalni - 30 mln Mg/rok - zostałaby osiągnięta po 16-letnim cyklu budowy kopalni i elektrowni. Przy obecnym stanie rozwoju energetyki dla uzyskania tej samej ilości energii w przedstawianym wariantcie, projektowane wydobyć mogłoby być niższe. Najnowsze warianty udostępnienia złoża Legnica były analizowane w projekcie Foresight „Scenariusze Rozwoju Technologicznego Przemysłu Wydobywania i Przetwórstwa Węgla Brunatnego”, zrealizowanym w 2008 r. przez konsorcjum kierowanym przez IGO Poltegor-Instytut (Bednarczyk, 2008; IGO Poltegor-Instytut, 2008; Modrzejewski, 2010). Przeanalizowano w nim cztery scenariusze zagospodarowania złóż legnickich:

scenariusz I. - udostępnienie od południowej granicy złoża Legnica-Zachód, przejście przez Legnicę-Północ do miejscowości Miłogostowice na złożu Legnica-Wschód,

scenariusz II. - udostępnienie od złoża Legnica-Pole Zachodnie, od miejscowości Rzeszotary, przejście przez Legnicę-Północ, do miejscowości Miłogostowice na złożu Legnica-Pole Wschodnie,

scenariusz III. - udostępnienie od południowego okonturowania złoża Legnica-Pole Wschodnie, przejście przez Legnicę-Pole Północ do miejscowości Rzeszotary na złożu Legnica-Pole Zachodnie,

scenariusz IV. - udostępnienie od złoża Legnica-Pole Wschodnie, od miejscowości Miłogostowice, przejście przez Legnicę-Pole Północne do miejscowości Rzeszotary na złożu Legnica-Pole Zachodnie.

Wszystkie cztery scenariusze zakładają osiągnięcie docelowego wydobywania węgla na poziomie około 28-30 mln ton rocznie po okresie około 20 lat od jego uruchomienia oraz funkcjonowanie kopalni przez około 70-80 lat. Z czterech powyższych scenariuszy zagospodarowania złóż legnickich, nieco lepsze wskaźniki ekonomiczne i ekologiczne charakteryzują otwarcia od złoża Legnica-Pole Zachodnie. Budowa kopalni odkrywkowej zawsze powo-

duje ingerencję w środowisko naturalne. Zminimalizowanie i zrekomensowanie jej skutków do poziomu akceptowalnego przez społeczeństwo i władze samorządowe zadecyduje, czy i kiedy ta najbardziej oczywista metoda zagospodarowania złóż legnicko-ścianawskich znajdzie zastosowanie.

Eksploatacja podziemna

Eksploatacja podziemna węgla brunatnego była stosowana powszechnie w całej Europie poczynając od początku XIX wieku. Dziś metoda ta stosowana jest na świecie bardzo rzadko (Kasztelewicz et al., 2008). W Polsce przez kilkanaście lat po II wojnie światowej metodą podziemną wydobywano węgiel brunatny w kopalniach: „Henryk” („Przyjaźń Narodów”), „Kaławsk”, „Lubań”, „Sieniawa” i „Zapomniana”, a w okresie przed drugą wojną światową także w wielu małych kopalniach na obszarze przedsuddeckim. Ostatnia podziemna kopalnia „Sieniawa” została ostatecznie zlikwidowana w 2002 r. i obecnie prowadzone w niej jest wydobywanie metodą odkrywkową. W odniesieniu do zagospodarowania złóż legnickich zastosowanie metody podziemnej eksploatacji ścianowej, z jednoczesnym zastosowaniem podsadzki samozestawiającej na bazie odpadów flotacyjnych KGHM, było rozważane (Szymański, 2006; Kudelko, Nowak 2007b; Kurzydło, Kienig, 2010). Mimo, że eksploatacja podziemna prowadzona tą metodą pozwala na pozyskiwanie znacznych ilości węgla (potencjalna zdolność produkcyjna kopalni „Legnica” była szacowana na około 30 mln Mg rocznie), to jednak koszt węgla brunatnego pozyskiwanego w wyniku eksploatacji podziemnej wielokrotnie przewyższa koszt wydobywania tego surowca metodą eksploatacji odkrywkowej (Kozłowski, 2008).

Metoda hydrootworowa

Jej wykorzystanie do zagospodarowania złóż legnickich analizowane było w 1997 roku. Z uwagi na brak postępów w rozwoju tej metody, konieczność wybrania wyłącznie pokładów o znacznej miąższości (15-20 m), problemy z podsadzeniem wyrobisk, znaczne straty złożowe oraz wysokie koszty, prace nad jej wykorzystaniem zostały zaniechane (Kozłowski, 2008). Metoda ta nie znalazła również zastosowania do zagospodarowania innych złóż węgla brunatnego w Polsce.

Metoda eksploatacji hydrootworowej polega na wierceniu otworu wielkośrednicowego (550-650 mm), zarzucanego w warstwie nadkładowej i spągowej. Następnie zapuszcza się do otwo-

ru urządzenie urabiająco-wydobywcze składające się z kolumny rurowej i obrotowej głowicy. Głowica zasilana jest wodą, która pod wysokim ciśnieniem urabia warstwy węglowe. Urabianie prowadzone jest od spągu ku górze. Powstaje tym sposobem cylindryczne wyrobisko z osadzonym w dolnej części urobionym węglem. Następnie urobek wnoszony jest na powierzchnię tzw. airliftem, tj. hydro-podnośnikiem powietrznym. System oparty jest na transmisji mediów (woda pod ciśnieniem, sprężone powietrze) i urobku systemem współruchomych rurociągów.

Do nieopracowanych wcześniej zagadnień należy technika utrzymania stropu nad wybraną kawerną. Takie zabezpieczenie jest konieczne przed podsadzaniem stropu. Opracowania wymaga również technika podsadzania, szczególnie z wykorzystaniem odpadów flotacyjnych.

Metoda biozgazowania

Metoda biozgazowania z punktu widzenia technologicznego jest zaklasyfikowana, jako metoda otworowa. Wymaga ona interwencji w górotwór i złoże poprzez penetrację wiertniczą oraz zabudowę kolumn eksploatacyjnych w postaci odpowiednich konstrukcji rurowych. Zatem należy do grupy metod obejmujących również podziemne zgazowanie termiczne oraz metodę hydrootworową. Charakterystyczną cechą metody jest wykorzystanie mikroorganizmów w procesie eksploatacji złoza.

W wyniku jej zastosowania uzyskuje się biogaz, który jest produktem biologicznego rozkładu substancji organicznych przeprowadzanego przez bakterie, najczęściej beztlenowe (tzw. bakterie anaerobowe). Metoda biozgazowania węgla brunatnego wykorzystuje proces tzw. fermentacji metanowej, bądź fermentacji anaerobowej i jest zbliżona do stosowanej w tradycyjnych biogazowniach, gdzie do wytwarzania biogazu są wykorzystane odpady rolnicze, np. odchody zwierzęce czy gnojownica, jak również odpady komunalne, przemysłowo-spożywcze, a także biomasa. Głównym składnikiem biogazu rolniczego oraz pochodzącego z biokonwersji węgla jest metan, a więc gaz energetyczny, który zaliczany jest jednocześnie do grupy gazów cieplarnianych (podobnie jak dwutlenek węgla). Jego wytwarzanie wiąże się zatem z koniecznością zapewnienia odpowiednich warunków szczelności nadkładu. Dotychczasowe wyniki badań wskazują na to, że węgle mniej dojrzałe, o mniejszym stopniu uwęglenia materii organicznej, są korzystniejszym środowiskiem dla rozwoju mikroorganizmów. Stąd

wynika, że ta grupa węgla będzie bardziej efektywna w konwersji na gaz energetyczny.

Instalacja podziemnego biozgazowania węgla brunatnego jest złożona z kilku elementów modułowych, które mogą być stosowane opcjonalnie w zależności od skali przedsięwzięcia.

Zasadniczymi jej elementami są:

1. moduł hodowli mikroorganizmów i przygotowania pożywki,
2. instalacja przygotowania bioreaktorów (złóża),
3. instalacja podawania mikroorganizmów i pożywki,
4. instalacja monitoringu procesu konwersji,
5. instalacja monitoringu środowiska,
6. instalacja wyprowadzenia syngazu z bioreaktora,
7. instalacja retencji i transportu biogazu.

Niektóre z modułów mogą być wykorzystywane komplementarnie lub opcjonalnie. Zależy to od wielkości instalacji, skali produkcji, stopnia zautomatyzowania obiektu. Instalacja biozgazowania została schematycznie przedstawiona na **fig. 5**.

Metoda ta nie była dotychczas stosowana w skali technicznej w odniesieniu do złóż węgla brunatnego. Obecnie trwają badania (głównie w USA) nad doбором szczepów bakterii zapewniających maksymalną wydajność procesu biokonwersji. Prace nad określeniem parametrów progowych zapewniających opłacalność ekonomiczną stosowania tej metody w warunkach krajowych złóż węgla brunatnych są prowadzone w KGHM CUPRUM – CBR.

Metoda ta może być szczególnie przydatna w przypadku złóż lokalnych, resztkowych, płytko zalegających. Pozytywne wyniki badań nad rozwojem tej metody mogą uzupełnić możliwości zagospodarowania zasobów węgla na Dolnym Śląsku, szczególnie tych, w których nie można będzie stosować metod inwazyjnych dla środowiska.

Podziemne zgazowanie węgla (PZW)

Technologia zgazowania podziemnego jest znana od kilkudziesięciu lat jako UCG (Underground Coal Gasification). Z uwagi na szereg jej niezwyklej zalet zainteresowanie nią wzrosło w ostatnim dziesięcioleciu. Podziemna gazyfikacja jest procesem prowadzonym w pokładach węgla przy użyciu systemu odwiertów zasilających oraz produkcyjnych i polega na przemianie paliwa stałego w palny gaz, tzw. syngaz. Może być on wykorzystany do wytwarzania ciepła, energii elektrycznej, wo-

dorę, lub poprzez procesy syntezy chemicznej do produkcji innych nośników energii, np. paliw płynnych (Nowak J., Kudelko J., 2008). Syngaz składa się z: metanu, dwutlenku węgla, tlenku węgla i wodoru. Jego skład oraz wartość energetyczna zależą od warunków i przebiegu procesu zgazowania. PZW nie jest technologią nową. Próby i badania nad nią trwały od kilkudziesięciu lat, a jej początki miały miejsce już w XIX wieku. Rozwój tej metody nastąpił dzięki postępowi technicznemu w wielu innych dziedzinach nauki, takich jak: karbochemia, nowe materiały, informatyka, automatyzacja, energetyka a także wiertnictwo.

Metodę PZW od konwencjonalnej gazyfikacji odróżnia to że (Kozłowski, 2008):

- węgiel nie jest wydobywany na powierzchnię, wszystkie procesy chemiczne mają miej-

sce w pokładzie węgla, z wyjątkiem jego dalszego oczyszczania i wykorzystania,

- dostawę utleniacza zapewniają odwierty prowadzące od powierzchni do samego pokładu węgla (odwierty zasilające), innymi zaś odwiertami odprowadzane są produkty gazyfikacji na powierzchnię (odwierty produkcyjne),
- woda zużywana w trakcie podziemnego zgazowywania zazwyczaj jest zawarta w pokładach węglowych, bądź w otaczających je skałach, jej dopływ jest stale kontrolowany,
- proces podziemnego zgazowania węgla jest procesem zamkniętym, nie może dojść do wycieku lub ulatniania się produktu, a także skażenia środowiska wód podziemnych; sieć hydrauliczna działająca pod ziemią pełni rolę gazyfikatora i jest kluczowym elementem instalacji.

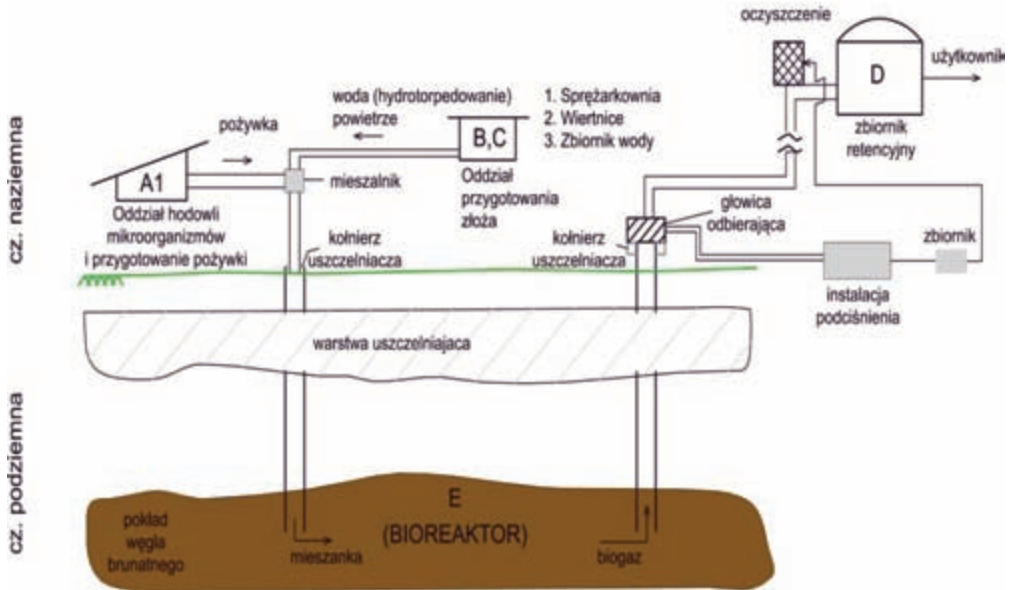


Fig. 5. Uproszczony schemat technologiczny zakładu biozgazowania

A1 – oddział hodowli mikroorganizmów i przygotowania pożywki; B,C – Oddział przygotowania złoża (sprężarkownia, wiertnice, zbiornik na wodę, instalacje sterowania, rurociągi); D – zbiornik retencyjny; E – bioreaktor.

Fig. 5. Simplified technological scheme of biogasification facility

A1 – biomassculture and nutrients preparation module; B,C – site preparation module (compressor room, drills, water pond, control instalation, pipelines); D – storage tank; E – bioreactor.

Tab. 3.
Wstępne wymagania geologiczno-złożowe oraz kryteria kwalifikacyjne dla podziemnego zgazowania węgla brunatnego.

Lp.	Parametry	Wg zaleceń do możliwości prowadzenia procesu – wymagania minimalne	Z uwzględnieniem opłacalności procesu
1	2	3	4
2.	Miąższość pokładu węgla	> 0,5 m miąszości – najlepsze wyniki powyżej 1,5 m	4 m – preferowana krotność tej wartości
3.	Głębokość pokładu	12 m – preferowane głębiej niż 150 m	150 m
4.	Warunki hydrogeologiczne	pokład węgla musi być poniżej poziomu wód gruntowych, poziom wodonośny nie powinien być źródłem lokalnych zasobów wody pitnej	preferowane pokłady zlokalizowane poniżej użytkowych poziomów wodonośnych (przyjmuje się minimalną odległość 40 m), brak głównych zbiorników wód podziemnych w sąsiedztwie potencjalnej inwestycji
5.	Skład wody	najlepiej jeśli nie jest to woda pitna TDS > 1,000 ppm	bz
6.	Litologia skał nadkładu	-	preferowane utwory słabo przepuszczalne (iły, mułki, gliny) – warstwy szczelne na poziomie o niskich wpływach oddziaływania termicznego reaktora
7.	Właściwości fizykochemiczne węgla istotne dla procesu zgazowania	-	preferowany węgiel o zawartości popiołu poniżej 20%, niskiej zawartości siarki
8.	Tektonika górotworu i najbliższego otoczenia	-	preferowany brak szczelin i znaczących zaburzeń tektonicznych (uskoków)
9.	Wstępne warunki bezpieczeństwa	-	preferowany brak w sąsiedztwie zabudowy powierzchniowej, rzek, jezior, obszarów chronionych

* kolumna 3 wg Kozłowski Z., (2008)

* kolumna 4 wg opracowania KGHM CUPRUM

Do zalet instalacji bazującej na podziemnym zgazowywaniu węgla można zaliczyć:

- praktycznie nieograniczone zasoby węgla, nadające się do komercyjnego wykorzystania, brak konieczności dostaw wody i węgla,
- technologia UCG umożliwia wykorzystanie zasobów węgla, zapewniając jednocześnie regularne dostawy gazu,
- podziemne generowanie gazu w większości przypadków odbywa się systemem kilku osobnych reaktorów, gaz pochodzący z poszczególnych reaktorów jest mieszany, co przekłada się na stabilną jego jakość,
- popioły, żużle i produkty odpadowe pozostają w podziemnych wyrobiskach,
- wody podziemne docierające do generatora gazu tworzą swoisty płaszcz parowy, redukując straty ciepła do akceptowalnego poziomu,

- proces gazyfikacji prowadzony jest w sposób w pełni kontrolowany, zredukowana jest tym samym aktywność chemiczna składowanych odpadów, co wpływa na obniżenie poziomu zanieczyszczeń.

W przypadku zastosowania tej technologii przewiduje się wykorzystanie zasobów z zastosowaniem w maksymalnym stopniu podsadzania pustek poreałnych mieszaną samozestalającą na bazie odpadów flotacyjnych. Wymagać to może konieczności budowy dodatkowych instalacji, ale pozwoli na pełniejsze wykorzystanie zasobów węgla energetycznego. Wstępne kryteria kwalifikacyjne dla złóż węgla brunatnego pod kątem eksploatacji metodą podziemnego zgazowania prezentuje tabela 3.

Schemat przygotowania georeaktora instalacji podziemnego zgazowania węgla brunatnego pokazano na **fig. 6**.

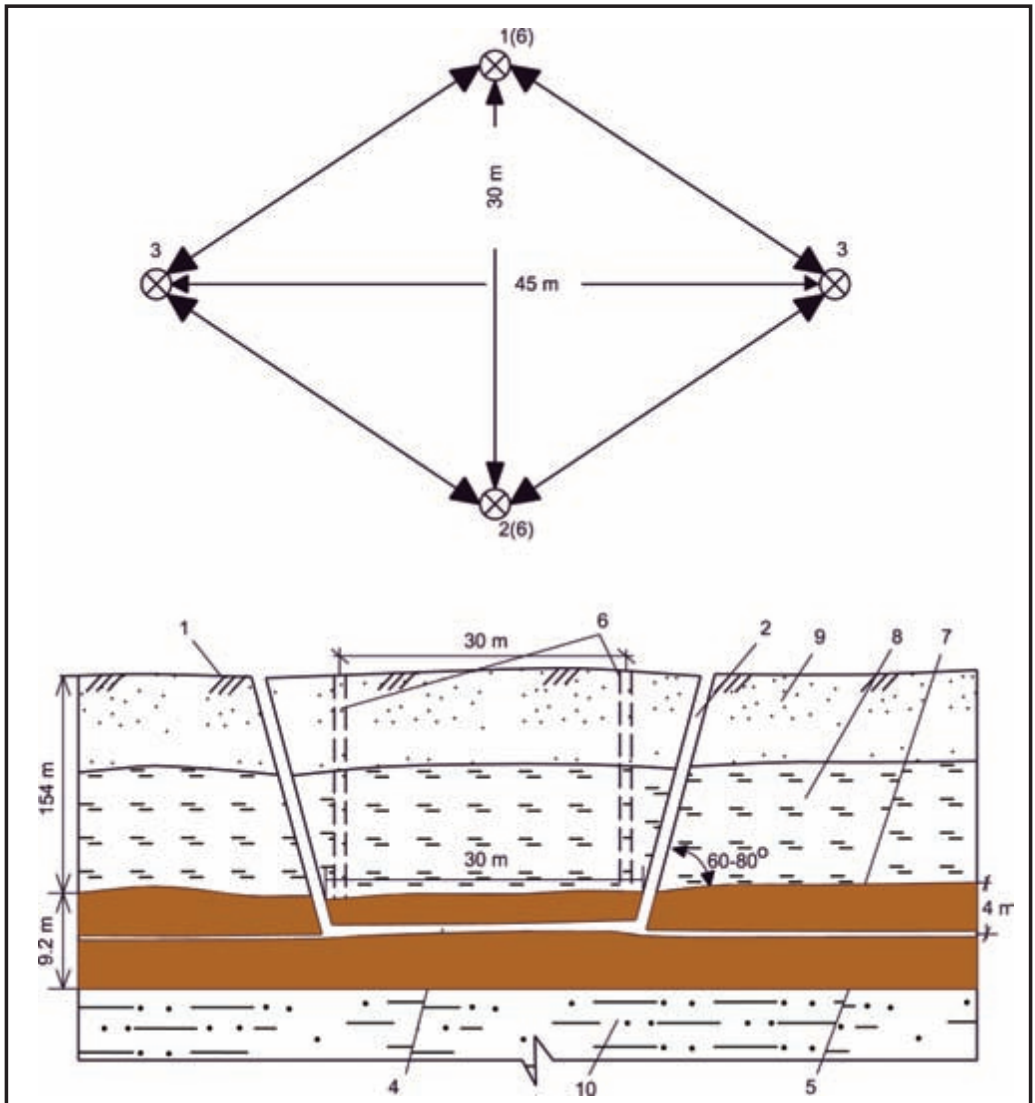


Fig. 6. Schemat otwarcia i przygotowania podziemnego gazogeneratora instalacji pilotowej PZW

1 – nachylony otwór nadmuchowy; 2 – nachylony otwór produkcyjny; 3 – otwory kontrolno-odwadniające; 4 – kanał reakcyjny gazogeneratora; 5 – pokład węgla brunatnego; 6 – sytuacja przy otwarciu gazogeneratora za pomocą otworów pionowych; 7 – gazyfikowana sekcja pokładu węgla; 8 – nadkład; 9 – gleba; 10 – utwory podwęglowe.

Fig. 6. Opening and preparation scheme of the pilot UCG installation

1 – inclined injection well; 2 – inclined production well; 3 – controlling and drainage wells; 4 – gas generators reaction channel; 5 – brown coal layer; 6 – situation when gas generator is opened with vertical wells; 7 – gasified section of brown coal layer; 8 – overburden; 9 – soil; 10 – undercoal layer.

PODSUMOWANIE

1. W rejonie Legnicy-Ścinawy udokumentowano 5 złóż węgla brunatnego (Legnica-Pole Wschodnie, Legnica-Pole Zachodnie, Legnica-pole Północne, Ścinawa i Ruja) o łącznych zasobach bilansowych w kat. C₁, C₂, i D w wysokości 5 538 mln Mg. Wielkość zasobów oraz dobre parametry jakościowe węgla stawiają zagłębienie legnicko-ścinańskie wśród najważniejszych zagłębi węgla brunatnego w Europie.

2. W złożach węgla brunatnego w rejonie Legnicy-Ścinawy występują cztery pokłady (cztery grupy pokładów) węgla wieku od dolnego do środkowego miocenu. Pokład I. najmłodszy, występuje we wszystkich złożach na omawianym obszarze, ma jednak nieznaczną miąższość, np. w granicach złoza Ścinawa od 0 do 12 m (średnio ok. 5,5 m), i nieciągły charakter. Podstawowe znaczenie złożowe ma pokład II. występujący na obszarze wszystkich złóż kompleksu Legnica-Ścinawa. Jego miąższość jest znaczna (do ok. 40 m w złożu Legnica-Pole Wschodnie), ale zmienna. W północnej części omawianego obszaru, np. w złożu Ścinawa, pokład ten dzieli się na dwie ławy, rozdzielone przerostem ilów. Pokład III. występuje w sposób nieciągły, przede wszystkim w północnej części omawianego rejonu i maksymalne miąższości, do około 12 m, osiąga na terenie złoza Ścinawa. Najstarszy pokład IV. występuje jedynie w północnej części złoza Ścinawa, na znacznych głębokościach, często poniżej granicznej, bilansowej głębokości 350 m, przypuszczalnie w tektonicznych obniżeniach podłoża podkenozoicznego.

3. Bogate zasoby węgla brunatnego są nadzieją na poprawę sytuacji energetycznej kraju oraz sytuacji materialnej wielu ludzi, ale również obaw mieszkańców wyrażanych wielokrotnie w licznych protestach, głównie skierowanych przeciwko planowanej od wielu lat koncepcji eksploatacji węgla metodą odkrywkową. W tej sytuacji szczególnego znaczenia nabierają badania rozwijające nowe, dotychczas w Polsce nie stosowane technologie zagospodarowania zasobów węgla brunatnego, w szczególności podziemnej gazyfikacji i biogazyfikacji. Każda z tych technologii jest obecnie w różnych fazach rozwoju, charakteryzuje się innymi parametrami technologicznymi oraz skalą oddziaływania na środowisko.

4. Rozwój nowych technologii zagospodarowania zasobów węgla brunatnego powinien iść w parze z rozpoznaniem skali faktycznych oddziaływań tych technologii na środowisko naturalne oraz pełniejszym rozpoznaniem warunków geologicznych, w szczególności parametrów geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych utworów międzywęglowych i skał nadkładu. Dotychczasowe rozpoznanie złóż węgla brunatnego opiera się na badaniach wykonanych w latach 50-tych i 60-tych ubiegłego wieku, dostosowanych wyłącznie dla potrzeb górnictwa odkrywkowego.

5. Toczące się dyskusje wokół uruchomienia kopalni odkrywkowej w centralnej części kompleksu złóż legnicko-ścinańskich nie powinny hamować przygotowań do uruchomienia pilotażowych instalacji metodami podziemnej gazyfikacji, ewentualnie biogazyfikacji, w brzeżnych partiach tego kompleksu (złoza Ścinawa i Ruja), które nie są przewidziane w żadnym z dotychczasowych scenariuszy eksploatacji odkrywkowej.

6. Wydaje się, iż dalszy rozwój badań w kierunku uruchomienia pilotażowych instalacji podziemnej gazyfikacji i biogazyfikacji, w połączeniu z opracowaniem kompleksowej strategii zagospodarowania złóż legnicko-ścinańskich, uwzględniającej zarówno metodę odkrywkową jak i nowe metody, stworzy szansę znalezienia rozwiązań akceptowalnych zarówno przez władze jak i mieszkańców.

LITERATURA

- Bednarczyk, J., 2008.** Perspektywiczne scenariusze rozwoju wydobycia i przetworzenia węgla brunatnego na energię elektryczną. *Węgiel brunatny*, 4, 65, 20-27.
- Ciuk, E., 1961.** Dokumentacja geologiczna złoza węgla brunatnego Ścinawa w kat. C₂. Inst. Geol. Warszawa, CAG PIG-PIB Warszawa.
- Ciuk, E., 1970.** Schematy litostratygraficzne trzeciorzędu Niżu Polskiego. *Kwart. Geol.*, 14, 4, 754-771, Warszawa.
- Dyjur, S., 1974.** Oligocen niżowej części Dolnego Śląska i Ziemi Lubuskiej. *Biul. Inst. Geol.*, 281, 119-132, Warszawa.
- Dyjur, S., 1978.** Wykształcenie i stratygrafia utworów trzeciorzędowych na obszarze legnicko-głogowskiego okręgu miedziowego. *Przewodnik L Zjazdu PTG, Zielona Góra*, Wyd. Geol. Warszawa, pp. 210-214.

- IGO Poltegor- Instytut, 2008.** Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania węgla brunatnego. http://www.nauka.gov.pl/fileadmin/user_upload/Finansowanie/fundusze_europejskie/SPO-WKP/20100825_PRZGNOZY_ROZWOJU_WYDOBYCIA_I_PRZETWORSTWA_WEGLA_BRUNATNEGO.pdf.
- Libicki, J., Tarasewicz, Z., 2005.** Projektowanie i budowa kopalni węgla brunatnego „Legnica”. *Węgiel brunatny*, 3, 52.
- Kasiński, J., R., 2009.** Potencjał zasobowy węgla brunatnego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem kompleksów złóż gubińskich i legnickich http://geoportal.pgi.gov.pl/css/powiaty/publikacje/wegiel_brunatny/Kasinski_potencjal_wegla_brunatnego.pdf
- Kasztelewicz, Z., Polak, K., Zajączkowski M., 2008.** Metody wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego w I połowie XXI wieku. *Węgiel brunatny*, 4, 65, 13-19.
- Kozłowski, Z., 2008, (red.).** Techniczno-ekonomiczny ranking zagospodarowania złóż węgla brunatnego w aspekcie założeń polityki energetycznej Polski, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Kudelko, J., Nowak, J., 2007.** Geosozjologiczne uwarunkowania dla strategii i wyboru technologii zagospodarowania złóż węgla brunatnego rejonu legnickiego. *CUPRUM*, Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, 1, 67–86.
- Kudelko, J., Nowak, J., 2009.** Wielokryterialna ocena możliwości zagospodarowania złóż węgla brunatnego regionu Dolny Śląsk przez ich podziemne zgazowanie. *XIX Konf. Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi*, Rytyro, 4-6 listopada 2009, PAN IGSMiE, Kraków.
- Kudelko, J., Nowak, J., 2010.** Conditions for safe underground gasification of lignite In Poland. *New Techniques and Technologies In Mining*, Taylor&Francis Group, London.
- Kurzydło, H., Kienig, E., 2010.** Projekt wykorzystania szybów kopalń rud miedzi dla dalszej eksploatacji złoża węgla brunatnego. http://www.mg.gov.pl/files/upload/10072/Projekt_wykorzystania_szybow.pdf.
- Modrzejewski, Sz., 2010.** Fakty i mity możliwości eksploatacji złóż węgla brunatnego w rejonie Legnicy. http://www.mg.gov.pl/files/upload/10072/Modrzejewski_Poltegor1.pps
- Nowak, J., 2007a.** Legnica lignite deposit management strategy including underground coal gasification. Wyd. Narodowego Uniwersytetu Górniczego, Dniepropietrowsk, pp. 225–231.
- Nowak, J., 2007b.** Strategiczne kierunki rozwoju technologii górniczych węgla brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Wyd. AGH Kraków, 2, 489–500.
- Nowak, J., Kudelko, J., 2008.** Zagospodarowanie złóż węgla brunatnego w aspekcie zastosowania technologii wytwarzania innych nośników energii, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2008, 24, 4/4.
- Piwocki, M., 1998.** Charakterystyka dolnomioceńskiej IV dąbrowskiej grupy pokładów węgla brunatnego w Polsce. *Prz. Geol.*, 46, 1, 55-61.
- Piwocki, M., Badura, J., Przybylski, B., 2004.** Neogen. W: Peryt, T., Piwocki M., (red.) *Budowa Geologiczna Polski T.I, Stratygrafia, część 3a Kenozoik, Paleogen, Neogen*. Warszawa, pp. 71-133.
- Piwocki, M., Kasiński, J.R., 2006.** Baza surowcowa węgla brunatnego zabezpieczającego budowę Kopalni „Legnica”. W: Trembecka, J., (red.): *Budowa Legnickiego Zagłębia Górniczo-Energetycznego węgla brunatnego szansą likwidacji strukturalnego bezrobocia*, Wyższa Szkoła Menedżerska, Legnica, pp. 80-99.
- Piwocki, M., Olszewska, B., 1966.** Korelacja litostratigraficzna paleogenu Polski z krajami sąsiednimi. W: Malinowska, L., Piwocki, M., (red.) *Budowa geologiczna Polski. T. III, Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, cz. 3a, Kenozoik, Trzecioryząd, Paleogen*, Warszawa, pp. 37-44.
- Piwocki, M., Ziemińska-Tworzydło, M., 1995.** Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 43, 11, 916-927.
- Piwocki, M., Ziemińska-Tworzydło, M., 1997.** Neogene of the Polish Lowlands - lithostratigraphy and pollen-spore zones. *Kwart. Geol.*, 41, 1, 21-40.
- Przybylski, B., 2009.** Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Lubin (687) Reambulacja, CAG PIG-PIB Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalni Dz. U. Nr 116, poz. 978 z dnia 29 czerwca 2005 r.**
- Różycki, Z., 1978** - Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Legnica” w kat. C₁+B Pole Zachodnie (część złożowa), CAG PIG-PIB OD Wrocław.
- Stachowiak, A., 2010.** Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego „Ścinawa” w kat. C₂, CAG PIG-PIB, Warszawa.
- Sztromwasser E., 2010a.** Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Legnica pole Północne” w kat. C₂, CAG PIG-PIB Warszawa.
- Sztromwasser E., 2010b.** Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Ruja” w kat. D, CAG PIG-PIB Warszawa.
- Szymański, J., 2006.** Koncepcja systemu bezpiecznej eksploatacji podziemnej złoża węgla brunatnego Legnica. *Mat. Konf. Naukowo-Szkoleniowej w Legnicy „Lasy nad złożem węgla „Legnica” – stan aktualny-zagrozenia-przyszłość*”, Legnica.
- Wałachowska, K., 1990.** Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Legnica” pole Wschodnie w kat. C₁+B, CAG PIG-PIB Warszawa.