

UKD 622.332: 622.1:550.8: 622.332.552: 66.014

Zróźnicowanie bazy zasobowej węgla brunatnego w Polsce dla produkcji gazu metodą naziemnego i podziemnego zgazowania

Diversification of lignite resource base in Poland for the production of gas using both surface and underground gasification



*Doc. dr inż. Kazimierz Matl**



*Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kasztelewicz**



*Dr Jacek Kasiński**



Dr inż. Barbara Bielowicz)*



Dr inż. Grzegorz Galiniak)*

Treść: Przedstawiono analizę charakterystyki utworów węglonośnych trzeciorzędu (paleogen i neogen) tworzących formację węglonośną miękkiego węgla brunatnego na Niżu Polsko-Niemieckim. Analiza obejmuje ocenę litologiczną skał w profilu, jakości węgla (budowa petrograficzna, parametry technologiczne, złoża i zasoby), zmienności jakości węgla, która polepsza się ku zachodowi w rejonach na zachód od Poznania aż do granicy polsko-niemieckiej. Złoża koncentrują się w niektórych rejonach, co uwarunkowane jest wpływem: budowy tektonicznej podłoża i tendencją do ruchów subsydencyjnych, morfologii podłoża, często wywołanej tektoniką, niekiedy obecności struktur salinarnych w podłożu, przebiegu paleodolin rzecznych, obecności tektoniki glacialnej. Wpływa to na ekstremalny nieraz wzrost wielkości zasobów w złożach i rozmieszczenie złóż o charakterze przemysłowym. Węgiel brunatny miękki (ortolignit C) jest przydatny dla energetyki, ale stanowi także znakomity surowiec chemiczny do przetwórstwa w zakładach chemicznych, m.in. do otrzymywania gazu syntezowego i wielu produktów ubocznych. Przewiduje się także możliwość jego zgazowania podziemnego (otworowego) po usunięciu nadmiernej wilgotności złoża. Węgiel musi wtedy spełniać szereg kryteriów decydujących o jego przydatności do przetwórstwa.

Abstract: This paper presents the characteristics of Paleogene and Neogene coal-bearing formations and focuses on their economic importance, quality, technological and petrographic properties. A particular attention has been paid to both the possibility and conditions of gasification of coal in fluidized bed reactor and underground coal gasification. The individual deposits were evaluated on the basis of the adopted criteria. It has been shown that Polish lignite is suitable for surface gasification, while the possibility of underground gasification process is limited and requires the development of appropriate technology to remove the excess moisture.

*) AGH w Krakowie, **) Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy Warszawa

Słowa kluczowe:

trzeciorzęd, węgiel brunatny miękki (ortolignit), rozmieszczenie złóż, petrografia węgla, zgazowanie, produkty chemiczne

Key words:

tertiary, lignite C, petrological and technological characteristics, coal beds, gasification

1. Wprowadzenie

Formacja produktywna węgla brunatnego polskiego trzeciorzędu jest równie ważna lub nawet ważniejsza dla gospodarki narodowej niż formacja węgla kamiennego górnego karbonu eksploatowanego w Górnośląskim i Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Obydwie formacje węglonośne różnią się warunkami geologiczno-górnictwymi, jakością węgla, wielkością zasobów, ich dostępnością, liczbą i miąższością pokładów węgla a także stopniem rozpoznania geologicznego oraz liczbą złóż rozpoznanych, udokumentowanych i perspektywicznych. Istotna różnica polega też na wieku osadów, głębokości występowania pokładów węgla, a co za tym idzie dostępności kopaliny i technice eksploatacji, a także wielkości powierzchni złóż.

Węgiel brunatny w polskich warunkach wydobywany jest odkrywkowo i przy stosunkowo niskich kosztach, a następnie przetwarzany na energię elektryczną i ciepłą w sąsiadujących z kopalniami kombinatach energetycznych.

Produkcja energii elektrycznej i ciepła to obecnie jedyny kierunek wykorzystania węgla brunatnego w Polsce. Pomijane są natomiast inne możliwości użytkowania tego surowca związane z jakością, rodzajem jego składników genetycznych i własnościami technologicznymi.

Właściwości polskiego węgla brunatnego były analizowane już pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku w zespole Prof. J. Bednarczyka [2]. Wtedy też wzorem Kombinatu Chemicznego Schwarze Pumpe (dawn.NRD) analizowano możliwości uzyskiwania m.in. gazu syntezowego i opałowego z polskiego węgla ze złóż przyległych do granicy niemieckiej, które rozciągały się również na teren Niemiec. Węgiel brunatny można utwardzić (łatwy transport takiego węgla), brykietować, przetwarzać na koks, paliwa napędowe i produkty chemiczne. Próbkę polskiego węgla z KWB Bełchatów i Turów były pod tym kątem badane w Brennstoffinstitut Freiberg, na Węgrzech w Varpalota i w Austrii (Voest Alpine) z bardzo pozytywnym skutkiem [2].

Tematyka zgazowania węgla brunatnego została podjęta aktualnie w znacznie nowocześniejszy sposób w ramach projektu NCBR nr 23.23.100.8498/R34 realizowanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie jako koordynatora w ramach konsorcjum badawczego z udziałem GIG Katowice, IChPW Zabrze, Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz jednostek przemysłowych: TAURON, KGHM oraz Grupę Azoty „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”.

W artykule przedstawiona została problematyka jakości polskiego węgla brunatnego, wielkości jego zasobów, warunków geologiczno-górnictwowych oraz możliwości jego zgazowania metodą otworową (podziemnie) oraz powierzchniową (naziemnie) w zakładach przetwórczych.

2. Charakterystyka formacji produktywniej miocenu

W profilu trzeciorzędu węglonośnego znajduje się 10 wiązek pokładów węgla brunatnego (0-VII), z czego nr 0-IV znajdują się w utworach miocenu, a V-VII w profilu paleogenu (Rys.1). Najważniejsze gospodarczo pokłady (nr I-IV)

znajdują się w miocenie. Są one najlepiej udokumentowane (kat. B-C₂) a trzy górne pokłady (nr I-III) są eksploatowane górnictwem w istniejących kopalniach odkrywkowych i stanowią zarazem bogatą bazę do dalszej rozbudowy przemysłu wydobywczego. Mogą one również być podstawą zagospodarowania w kierunku gazyfikacji zarówno w metodzie podziemnej, jak i naziemnej. Umożliwia to jakość węgla, a zwłaszcza budowa petrograficzna pokładów i jego parametry chemiczno-technologiczne.

Złóża węgla znajdują się stosunkowo blisko powierzchni terenu, są łatwo dostępne i zbudowane ze skał luźnych lub słabo zwięzłych. Jakość węgla rośnie wraz z głębokością zalegania pokładów oraz w kierunku zachodnim w rejonach na zachód od Poznania aż do granicy państwowej polsko-niemieckiej (rys. 2). Pokłady kontynuują się dalej na obszarze wschodnich Niemiec.

Podstawowe parametry technologiczne węgla w pokładach kształtują się następująco (tabl.1)

Tablica 1. Podstawowe parametry węgla brunatnego w Polsce [3]
Table 1. Basic parameters of Polish lignite [3]

Nazwa głównych pokładów węgla (numery)	Parametry (średnio)		
	Wartość opałowa Q _r , kJ/kg	Zawartość popiołu A ^d , %	Całkowita zawartość siarki S ^d , %
środkowopolski (I)	7 976	27,53	1,25
łużycki (II)	8 989	20,73	1,31
ścianawski (III)	9 169	21,09	2,40
dąbrowski (IV)	9 613	17,85	2,91
czempiński (V)	9 132	20,69	3,07
tanowski (VI)	8 288	21,14	5,12
odrzański (VII)	10 500	8,30	1,10

Największe obszary w Polsce zajmują pokłady środkowopolski (70 000 km²), łużycki (61 000 km²), a następnie ścinawski (30 000 km²), dąbrowski (7 000 km²) i czempiński (7 700 km²).

Złóża koncentrują się w niektórych rejonach (Rys.2), co uwarunkowane jest wpływem:

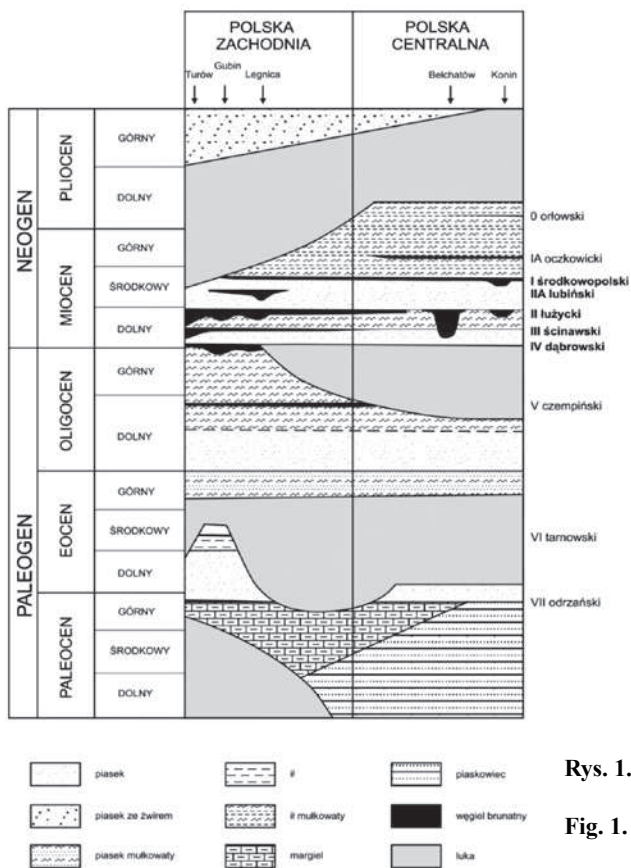
- budowy tektonicznej podłoża i istniejącą tendencją do obniżających ruchów subsydencyjnych;
- morfologii podłoża trzeciorzędu, często wywołanej tektoniką;
- obecności niekiedy struktur salinarnych w podłożu;
- struktur i przebiegiem w podłożu paleodolin rzecznych;
- obecności tektoniki glacialnej.

Zależności te mają istotny wpływ na budowę strukturalno-morfologiczną złóż i ekstremalny niekiedy wzrost wielkości zasobów w złożach.

Czynniki te równocześnie wpłynęły na rozmieszczenie w obszarze Niżu Polskiego złóż o charakterze przemysłowym.

Zbigniew Kasztelewicz [8] wyróżnia w przyjętym przez siebie „wariancie optymistycznym” rozwoju górnictwa węgla brunatnego, perspektywiczne rejony górnictwa:

- lubuski (m.in. złoża Gubin-Zasieki-Mosty-Brody-Cybinka-Torzym-Rzepin-Sieniawa);
- legnicki (złoża Legnica E, W, N; Ruja, Ścinawa, Ścinawa-Głogów);
- centralnej Polski (Poniec-Krobica, Oczkowice, Głowaczów);



oraz rejony istniejącej aktualnie eksploatacji węgla brunatnego:

- zagłębie adamowskie;
- zagłębie bełchatowskie;
- zagłębie konińskie;
- zagłębie turoszowskie

gdzie koncentrują się czynne kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego. Ponadto w rejonie Ziemi Lubuskiej, gdzie istniał dawniej okręg górniczy podziemnej eksploatacji, działa jeszcze mała odkrywka KWB Sieniawa.

Obecność węgla brunatnego w Polsce notowana jest, poza trzeciorzędem na Niżu Polskim, także w niewielkich ilościach w innych obszarach zwłaszcza w rejonie karpackim i w mezozoiku (jura dolna i środkowa) Jury Krakowsko-Częstochowskiej i mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (tabl. 2).

3. Własności miękkiego węgla brunatnego (ortolignitu) i jego parametry chemiczno-technologiczne

Węgiel brunatny miękki odznacza się wielorakimi walorami użytkowymi, które poza wykorzystaniem w polskiej energetyce jako typ węgla wyłącznie energetyczny, ma także walory surowca do uzyskiwania m.in. produkcji gazu. Cechuje

Rys. 1. Przeglądowe zestawienie profilu trzeciorzędu i rozmieszczenie wiązek węglowych 0 – VII wg J. Kasińskiego [4]
 Fig. 1. Overview of the tertiary profile and distribution of the 0-VII groups of lignite seams according to J. Kasiński [4]



Rys. 2 Rozmieszczenie złóż węgla brunatnego trzeciorzędowego w Polsce [7]
 Fig. 2. Distribution of the tertiary lignite deposits in Poland [7]

Tablica 2. Węgiel brunatny w Polsce wg K. Matla [14]

Table 2. Lignite in Poland according to K. Matl [14]

Rodzaj węgla	Wiek	Rejon	Lokalizacja i wydobywanie
węgiel brunatny miękki (ortolignit C)	trzeciorzęd (miocen i paleogen)	Niż Polski	aktualnie trwa eksploatacja w 10 odkrywkach
twardy węgiel brunatny matowy (metalignit B)	trzeciorzęd (baden)	rejon karpacki	Grudna Dolna (dorywcza dawna eksploatacja głębinowa)
węgiel brunatny miękki (ortolignit C)	trzeciorzęd (baden)	rejon karpacki (niecka sądecka, niecka orawska)	Niskowa (dorywcza dawna eksploatacja podziemna)
węgiel brunatny twardy matowy (metalignit B)	mezozoik górna kreda (santon)	Niecka Północno-Sudecka	dawna lokalna eksploatacja w rejonie bolesławieckim (Zebrzydowa, Lwówek Śląski)
węgiel brunatny twardy błyszczący (subbitumiczny A)	mezozoik dolna jura (lias)	Jura Krakowsko-Częstochowska obrzeżenie mezozoiczne Gór Świętokrzyskich Pomorze	dawne wydobywanie przez 150 lat koło Zawiercia i Siewierza Końskie, rzeka Kamienna (lokalna dawna eksploatacja) głębokie otwory wiertnicze

się, jak to określa J. Bednarczyk [2]: *dużą reaktywnością i przepuszczalnością. Do korzystnych właściwości tego węgla należy jego niespiekliwość łącząca się z gazoprzepuszczalnością oraz stosunkowo niska ilość tworzącego się żużla, ograniczająca straty węgla odprowadzane z popiołem.* Istotne znaczenie ma przede wszystkim budowa petrograficzna węgla, która do niedawna była mało docenianym elementem jego budowy strukturalnej. Badania petrograficzne pozwalają na określenie budowy wewnętrznej węgla. Obejmują one szczegółowe obserwacje megaskopowe (litotypy) i analizę mikroskopową (mikrolitotypy i macerały), która pozwala na ocenę składników pobocznych, homogenizację, barwę, jasność, konfigurację i strukturę powierzchni macerałów oraz ich formę skupienia.

Istotny jest udział w budowie węgla brunatnego trzech grup macerałów (składników mikroskopowych):

- grupy huminitu;
- grupy liptynitów;
- grupy inertynitów.

Różnią się one zawartością uwęglonych szczątków tkankowych roślin (huminit), wytworów ciała roślin (liptynit) oraz elementów bezstrukturalnych (inertynit). Najwyższą reaktywnością cechują się macerały grupy huminitu, a następnie liptynitów. Najmniej reaktywne są macerały z grupy inertynitów. Składniki tkankowe są istotnie pożądane w procesie zgazowania. Niepożądane są natomiast składniki zżelifikowane, zhomogenizowane, spękane oraz składniki obojętne (inertne). W przypadku spalania w kotłach elektrowni nie ma większego znaczenia skład petrograficzny węgla.

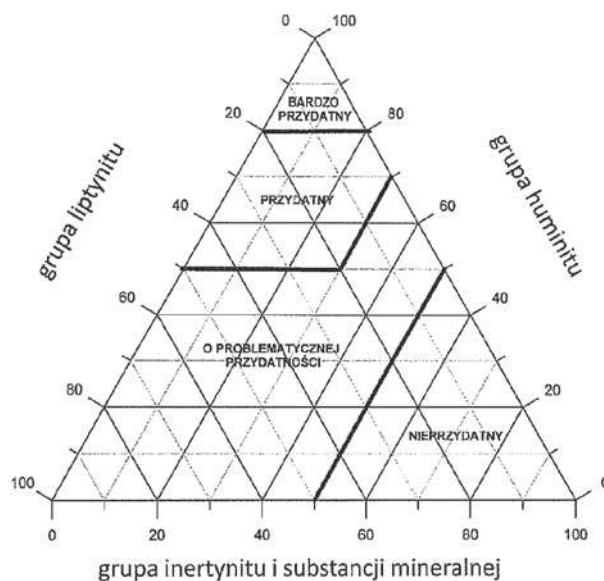
Zmienność budowy petrograficznej krajowych złóż miękkiego węgla brunatnego [9,10,11,16,17] wskazuje na dominujący udział grupy huminitu. W wyniku licznych badań petrograficznych węgla brunatnego polskich złóż rysuje się bardzo pozytywny obraz jego charakterystyki użytkowej. Zawartość grupy huminitu dochodzi do 100 %, a średnia dla wszystkich złóż mieści się na poziomie około 80 %. Już w 1982 r. ustalono, że węgiel przeznaczony do zgazowania ciśnieniowego powinien zawierać w składzie maceralnym (Rys.3):

- do 20 % sumy żelocystytu, inertynitów, bituminitu i substancji mineralnej (grupa liptynitów i inertynitów);

- powyżej 30 % sumy eutekstytu, tekstodetrytu i eudetrytu (grupa huminitu);
- powyżej 50 % sumy mediotekstytu i żelodetrytu (grupa huminitu).

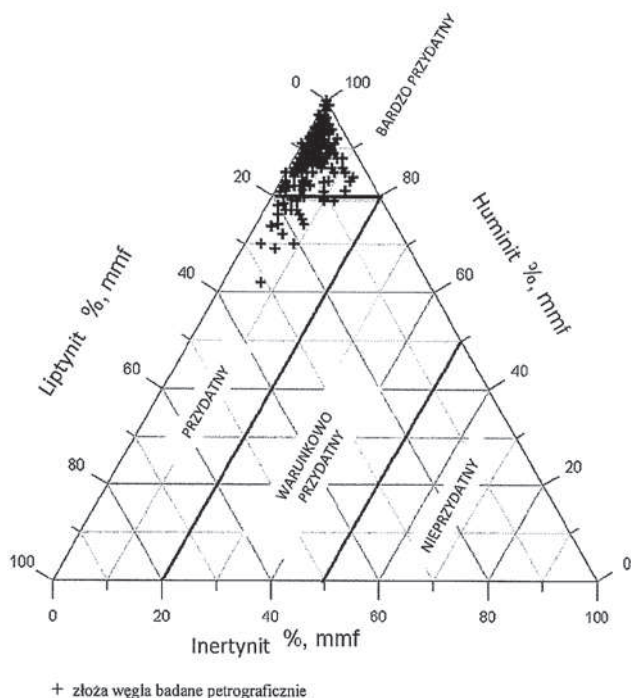
Poszczególne grupy maceralne różnią się także temperaturami spalania, a efektywność spalania jest odwrotnie proporcjonalna do udziału inertynitów. Można więc przyjąć, że węgiel brunatny przydatny do zgazowania musi mieć poniżej 20 % zawartości macerałów grupy inertynitów, w stanie bezmineralnym, a ma przydatność problematyczną gdy zawartość grupy inertynitów wynosi 20–50 %.

Węgiel brunatny miękki przydatny do zgazowania fluidalnego powinien mieć w swoim składzie co najmniej 80 % macerałów grupy huminitu i mniej niż 20 % macerałów grupy inertynitów i substancji mineralnej (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Rola budowy petrograficznej w możliwości wykorzystania węgla do zgazowania [3]

Fig. 3. Role of petrographic composition in the possibility of the use of coal for gasification [3]



Rys. 4. Udział grup macerałów w złożach węgla brunatnego w Polsce [3,14]

Fig. 4. Share of maceral groups in lignite deposits in Poland [3, 14]

4. Pozycja polskiego węgla brunatnego w klasyfikacji międzynarodowej

Węgiel brunatny miękki eksploatowany w Polsce na Niżu, należy do odmian węgla o bardzo niskim stopniu uwęglania. W klasyfikacji międzynarodowej mieści się na początku podziału jako odmiana najsłabiej uwęglona (nisko uwęglona), która należy do przedziału węgla niskouwęglonych (*low-rank*) u jego początku jako lignit C czyli ortolignit (rys. 5).

Jego pozycję określają trzy charakterystyczne parametry:

- stopień uwęglania ($R^0 < 0,3$ %);
- skład petrograficzny (maceralny);
- ilość zanieczyszczeń mineralnych.

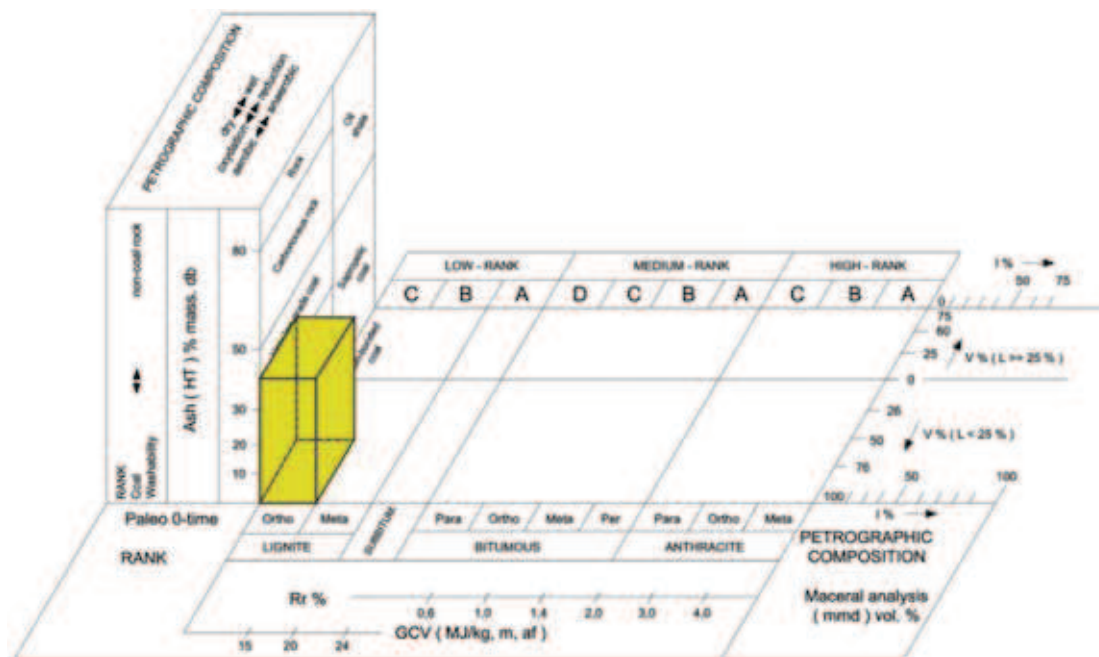
Skład petrograficzny pozwala wyróżnić grupę węgla humusowych i węgla sapropelowych, a zawartość części mineralnych gatunki: niskopopiołowy, średniopopiołowy, wysokopopiołowy i bardzo zapopielony.

Klasyfikacja międzynarodowa węgla brunatnego została zaakceptowana w Polsce i wprowadzona do polskiej normy PN-ISO 11760/2007. Pozycja ta doskonale oddaje walory fizyczne i chemiczno-technologiczne węgla i jego przydatność do celów użytkowych, a średnia refleksyjność (R^0) jest odzwierciedleniem tych walorów.

Węgiel brunatny miękki (ortolignit C) w Polsce odznacza się:

- wartością $R^0 < 0,3$ %;
- zawartością wilgoci naturalnej powyżej 50 %;
- wysoką zawartością części lotnych powyżej 50 %;
- średnią zawartością C nieco powyżej 50 %;
- stosunkowo niską wartością opałową i ciepłem spalania
- zawartością prasmoły
- zawartością bituminów.

Odzwierciedleniem tych parametrów są cechy fizyczne węgla: barwa (różne odcienie barwy brunatnej, zależne m.in. także od składu maceralnego), kruchość, zwięzłość, połysk (na ogół brak) itp. Parametry te, łącznie ze składem maceralnym (budowa petrograficzna), będą decydować o możliwości i kierunkach wykorzystania węgla brunatnego. Nie ograniczają one, poza wysoką mineralizacją, kierunku energetycznego zastosowania węgla do celów produkcji energii elektrycznej i ciepła. Muszą być natomiast brane pod uwagę, w przypadku innych zastosowań, a więc do zgazowania naziemnego w zakładach chemicznych i do podziemnego (otworowego) zgazowania. W tym drugim przypadku istotny problem techniczny musi stanowić wysoka zawartość wilgoci złożowej (>50 % wag.) wobec stosunkowo niskiej wartości opałowej węgla.



Rys. 5. Klasyfikacja międzynarodowa węgla w pokładzie (żółtą barwą zaznaczono pozycję węgla brunatnego w Polsce) [3,14]

Fig. 5. International Classification of In-Seam Coals (yellow color denotes lignite in Poland) [3, 14]

5. Stan bazy zasobowej węgla brunatnego (ortolignitu) w Polsce

Wśród znacznej liczby zarejestrowanych w Polsce 166 złóż węgla brunatnego (kat. B – C₂, D i zasoby prognostyczne), tylko niewielka ich część ma opracowane i zatwierdzone dokumentacje geologiczne w górnych kategoriach rozpoznania (B – C₁ i C₂). Dla tych złóż dostępne są dokładne dane o budowie geologicznej, jakości kopaliny i wielkości zasobów. Do lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku prowadzono także szczegółowe badania węgla w złożu, co odbywało się według wymagań Instytutu Geologicznego. Wykonywano więc m.in. analizy budowy petrograficznej węgla oraz dokładne analizy chemiczno-technologiczne popiołu. W dokumentacjach wyodrębniono także odmiany technologiczne węgla np. udział i zasoby węgla brykietowego, wytłelnego, ekstrakcyjnego i koksowego. Był to czas, kiedy brano pod uwagę, poza spalaniem, także możliwość zgazowania węgla na cele użytkowe. Stopniowo, w następnym okresie, rezygnowano z tych czasochłonnych i żmudnych nieraz oznaczeń, a węgiel w całości dokumentowano na cele wyłącznie energetyczne do uzyskiwania energii elektrycznej i ciepłej. Dlatego też we współczesnych dokumentacjach brak jest wielu danych dla oceny przydatności węgla brunatnego miękkiego (ortolignitu), np. do zgazowania naziemnego, a także otworowego (podziemnie). Dużą część wniosków ujętych w artykule oparto więc o starsze dokumentacje i wyniki obserwacji naukowych [3,12,13,18,19,20].

Aktualny stan zasobów węgla brunatnego w Polsce [1,3,4,5,13] przedstawia tablica 3.

Tylko niewielka część zasobów jest aktualnie zagospodarowana. Eksploatowane obecnie złoża nie zaspokajają dalszego rozwoju energetyki opartej na węglu brunatnym. Wiąże się z tym także możliwość zgazowania części zasobów, co znakomicie uzasadnił Kasztelewicz w swojej pracy [8].

6. Możliwości zgazowania węgla brunatnego w instalacjach powierzchniowych i podziemnie (otworowo)

Przyjęty w programie NCBR cel strategiczny nt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii w tym technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”, skierował badania na

rozwiązanie problemów procesu zgazowania węgla brunatnego występującego w dużych ilościach w Polsce. Z dużymi szansami na realizację przewidziano kierunek badania zgazowania węgla metodą przetwórstwa powierzchniowego w powiązaniu z produkcją energii elektrycznej w nowych kombinatach produkcyjnych.

Szczegółowe analizy budowy petrograficznej węgla stanowią istotne wsparcie tego kierunku badań. Przyjęte kryteria dzielą się na grupy kluczowych oraz istotnych parametrów węgla do zgazowania (tabl.4) i są w dużym stopniu odzwierciedleniem stopnia uwęglenia (a więc przeobrażenia osadu roślinnego), który determinuje wszystkie cechy chemiczno-technologiczne węgla.

Tablica 4. Parametry kluczowe węgla brunatnego do zgazowania naziemnego wg IChPW Zabrze [15]

Table 4. Key parameters for surface lignite gasification according to IChPW in Zabrze [15]

Parametr/ Jednostka	Norma/ procedura	Reaktor ze złożem fluidalnym	Reaktor z przepływem strumieniowym
			PDP*
Wartość opałowa Q _{ir} , kJ/kg	PN-81/G-04513	>8 000	>8 000
Zawartość wilgoci W _{tr}	PN-80/G-4512 PN-G-05460	<50	<50
Zawartość popiołu (popielność) A _d , %	PN-80/G-4512 PN-G-05460 PN-ISO 1171	<20	<25
Zawartość alkaliów (suma Na ₂ O, K ₂ O)	Metoda fotometrii płomieniowej	<0,45	<0,45
Temp. topnienia popiołu w atmosferze półredukcyjnej, °C	PN-82/G-04535	>1100	<1350
Zawartość siarki całkowitej, Str, %	PN-04584:2001	<2,5	<2,5
Reaktywność karbonizatu : względem CO ₂	Metoda IChPW	<50	<50
węgla względem H ₂ O	Metoda AGH	<20	<20
Zawartość prasmały	PN-75/G-04540	<15	<10

Tablica 3. Zasoby węgla brunatnego trzeciorzędowego w Polsce [6]

Table 3. Tertiary lignite deposits in Poland [6]

Wyszczególnienie	Liczba złóż	Zasoby geologiczne bilansowe			Zasoby pozbilansowe
		Razem	A+B+C ₁	C ₂ +D	
		Tg	Tg	Tg	
1	2	3	4	5	6
Zasoby udokumentowane	90	22 583,83	4 926,33	17 647,50	3 574,64
w tym – zasoby złóż zagospodarowanych łącznie	12	1 590,76	1 573,65	17,11	108,80
- złoża kopalń czynnych	10	1 589,09	1 567,98	17,11	87,06
- złoża eksploatowane okresowo	2	5,67	5,67	-	21,74
w tym – zasoby złóż niezagospodarowanych łącznie	72	20 983,80	3 354,05	17 929,75	3 434,57
- złoża rozpoznane szczegółowo (A+B+C ₁)	30	4 043,01	3 354,05	688,96	786,09
- złoża rozpoznane wstępnie (C ₂ +D)	42	16 940,79	-	16 840,79	2 648,48
w tym – złoża, w których eksploatacji zaniechano łącznie	6	9,28	8,64	0,64	4,27
Zasoby perspektywiczne o cechach bilansowych	60	22 606,03	-	-	-
ZASOBY OGÓLEM:	150	45 189,86	4 926,33	17 647,50	3 574,64

(w tym zasoby złóż na obszarze rowu poznańskiego w ilości 3690 Tg)

Wartość kryteriów, zwłaszcza kluczowych, eliminuje część zasobów węgla do procesu zgazowania. Restrykcyjny poziom wyznacza: zawartość wilgoci (>50%), zawartość popiołu w węglu i jego skład mineralogiczny oraz wartość opałowa. Przyjęte kryterium, np. zawartości popiołu <25 %, ogranicza liczbę złóż możliwych do zgazowania do poziomu tylko 30, co oznacza bardzo istotne zawężenie szans. Jeżeliby zwiększyć wymagania do 20 % to do wyboru pozostałoby tylko około 10 złóż.

Kryteria grają istotną rolę kwalifikacyjną dla przemysłowych użytkowników. Wymagania te w szczególności zaostrażają dodatkowo kryteria istotne (Tab.5).

Inny rodzaj kryteriów określa warunki zgazowania podziemnego (otworowego) węgla (Tab.6). W kryteriach uwzględniono uwarunkowania określające charakter powierzchni terenu, na którym może być zlokalizowana instalacja pilotowa. Do tej grupy zaliczono uwarunkowania infrastrukturalne, socjologiczne (ochrona przyrody), obecność

Tablica 5. Parametry istotne dla węgla brunatnego do zgazowania naziemnego wg IChPW Zabrze [15]

Table 5. Important parameters for surface lignite gasification according to IChPW Zabrze [15]

Parametr /Jednostka	Norma /Procedura	Reaktor ze złożem fluidalnym	Reaktor z przepływem strumieniowym	
			PDP	ZDP
Zawartość części lotnych, V ^a , %	PN-G-04516:1998 PN-G-04560:1998	>30	>30	>30
Zawartość węgla pierwiastkowego, C _t ^a , %	PN-G-04571:1998	>45	>45	>45
Zawartość wodoru, H ₁ ^a , %	PN-G-04571:1998	3,0 - 5,5	3,0 - 5,5	3,0 - 5,5
Zawartość azotu, N ^a , %	PN-G-04571:1998	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Stabilność statyczna zawiesiny wodnej	Procedura własna IChPW	nie dotyczy	nie dotyczy	powyżej 10 dni
SiO ₂	Metoda XRF/lub ICP	25 - 45	25 - 45	25 - 45
Al ₂ O ₃	Metoda XRF/lub ICP	8-30	8-30	8-30
Fe ₂ O ₃	Metoda XRF/lub ICP	2,5 - 20	2,5 - 20	2,5 - 20
CaO	Metoda XRF/lub ICP	3 - 25	3 - 25	3 - 25
MgO	Metoda XRF/lub ICP	1,5 -4,5	1,5 -4,5	1,5 -4,5

Tablica 6. Kryteria dopuszczające złoża do eksploatacji podziemnej [3, 14]

Table 6. Criteria for deposit's suitability for underground exploitation [3, 14]

Lp.	Kryterium	Zakres zmienności
1	Typ węgla i właściwości fizykochemiczne: a – wartość opałowa b – zawartość części lotnych c – zawartość popiołu d – wilgotność naturalna e – zawartość siarki	wartość minimalna-nie określona (od 6,5 MJ/kg) poniżej 50 % poniżej 20 % ewentualnie 25 % poniżej 55 % poniżej 4,0 %
2	Mięższość pokładu: a – minimalna b – maksymalna	2 m, 4 m optymalna uzależniona od warunków izolacyjności hydraulicznej oraz konieczności jej ochrony oraz od ochrony konstrukcji otworów (sterowanie osiadaniem nadkładu)
3	Głębokość zalegania: a – minimalna	powyżej 150 m* – poniżej wymyć erozyjnych i rynien glacictektonicznych w złożach pozbawionych glacictektoniki głębokość może być mniejsza
4	Rodzaj złoża: a – jednopokładowe b – wielopokładowe	preferowane możliwe przy zawansowanej technologii (np. z podsadzaniem) odległość między pokładami >20 m
5	Wskaźnik nadkładu N:W:	> 12 (10) przy zaleganiu stropu złoża do głębokości 350 m**
6	Kąt nachylenia pokładu	poziome lub lekko nachylone
7	Warunki izolacyjności pokładu od skał otoczenia	skały stropowe pokładu w postaci bardzo słabo przepuszczalnych utworów typu iły, mułki (k<9·10 ⁻⁸ m/s) o miąższości ≥10÷20 m; 2,8 miąższości pokładu)**
8	Warunki hydrogeologiczne: a – usytuowanie względem poziomów wodonośnych b – wielkość dopływu wody do pokładu	poniżej użytkowych poziomów wodonośnych i poza GZWP, minimalna odległość 40m. poniżej 2 m ³ / Mg węgla bez dodatkowych zabiegów odwadniania
9	Tektonika	brak szczelin i uskoków, Niewskazana obecność istotnych zaburzeń tektonicznych w obrębie pól eksploatacyjnych
10	Porowatość skał otaczających	skały w stropie i spągu powinny mieć mniejszą gazoprzepuszczalność niż pokład węgla, miąższość słaboprzepuszczalnych skał otaczających pokład węgla powinna wynosić 1÷2 m dla 2 m pokładu węgla lub miąższość 2÷4 m dla 3-10 m pokładu węgla **
11	Wielkość zasobów	dla instalacji pilotowej wymagane zasoby to 75÷450 tys. Mg, przy komercjalizacji projektu należy zapewnić minimalne zasoby na poziomie 3,5 Mt**
12	Własności filtracyjne ośrodka skalnego	Stosunek porowatości pokładu węgla do porowatości otaczających go skał nie powinien być mniejszy niż mD 18:20**
Lokalizacyjne		
13	Powierzchnia terenu pod instalację PZW	minimalna powierzchnia dla instalacji pilotowej to 50÷100 ha (0,5÷1 km ²), dla instalacji komercyjnej powyżej 100 ha**
	Warunki bezpieczeństwa	minimalna odległość od: terenów zamieszkałych (1÷3 km), rzek i jezior (1÷3 km), obszarów chronionych (5 km), pracujących kopalń/terenów eksploatacji górniczej (5 km), nieczynnych kopalń/wyrobisk (3 km), przewodów przesyłowych i linii kolejowych (1÷3 km)**

* w szczególnych przypadkach braku glacictektoniki warunki mogą być mniej restrykcyjne

** kryteria według Cuprum

* in specific cases of the lack of glacial tectonics the conditions may be less restrictive

** criteria according to Cuprum

w pobliżu zasiedleń, linii komunikacyjnych, rodzaj użytkowania terenu. Węgiel do zgazowania musi być chroniony skałami izolującymi od powierzchni terenu, izolującymi od zbiorników wód podziemnych, musi być ograniczona drożność horyzontalna górotworu, aby zapobiec niekontrolowanej wędrowce gazów. Istotnym utrudnieniem technicznym jest wilgoć naturalna złożowa węgla, która wynosi ponad 50 % wag.

Na podstawie opracowanych wcześniej kryteriów waloryzacyjnych, wytypowano grupy 20 nieeksploatowanych dotąd złóż o najkorzystniejszych parametrach. Największe zasoby węgla przydatne do zgazowania wiążą się z grupą złóż perspektywicznych (tabl. 7).

Tablica 7. Złóża węgla brunatnego przydatne do zgazowania podziemnego w rozbiu na kategorie rozpoznania [4]
Table 7. Lignite deposits suitable for underground gasification divided into categories of identification [4]

Złoże	Rejon	Zasoby tys. Mg
1	2	3
Kategoria B+C₁		
Turów*	zachodni	50 000
Lubstów*	koniński	15 000
Sieniawa*	zachodni	?
Razem kategoria B+C₁		65 000
Kategoria C₁		
Oczkowice**	wielkopolski	400 000**
Razem kategoria C₁		400 000
Kategoria C₂		
Radomierzyce – pole Łomnica	zachodni	5 290
Radomierzyce – pole Kunów	zachodni	9 640
Legnica Północ	legnicki	1 723 049
Torzym	zachodni	843 879
Krzywiń	wielkopolski	666 507
Radomierzyce – pole Osiek	zachodni	318 231
Czempin	wielkopolski	1 034 578
Kamieńsk	bełchatowski	132 424
Razem kategoria C₂		4 733 598
Kategoria D		
Więcbork	północno-zachodni	509 113
Naramowice	wielkopolski	296 324
Razem kategoria D		805 437
ZŁOŻA PROGNOSTYCZNE		
Węglewice	bełchatowski	49 983
Huby	bełchatowski	2 900
Ścinawa-Głogów pole 5	legnicki	799 027
Ścinawa-Głogów pole 4	legnicki	2 376 000
Ścinawa-Głogów pole 6	legnicki	5 955 682
Ścinawa-Głogów pole 9	legnicki	213 734
Ścinawa-Głogów pole 10	legnicki	114 240
Ścinawa-Głogów pole 11	legnicki	116 964
Ścinawa-Głogów pole 7	legnicki	14 448
Ścinawa-Głogów pole 8	legnicki	6 451
Razem złoża prognostyczne		9 649 429
OGÓLEM:		15 653 464

* złoża kopalń czynnych nie poddane waloryzacji

** złożo Oczkowice w świetle nowej, przygotowywanej właśnie dokumentacji geologicznej, zostało poszerzone o znaczną część złoża Poniec-Krobica non-enriched deposits in productive mines

* Oczkowice deposit in the light of newly prepared geological documentation was extended by a significant part of Poniec-Krobica deposit

** Oczkowice deposit in the light of newly prepared geological documentation was extended by a significant part of Poniec-Krobica deposit

Jak łatwo zauważyć, zdecydowana większość tych złóż mieści się w obszarze zachodnim głównie obniżenia środkowej Odry oraz w rowie tektonicznym Wielkopolski okolic Poznania (Naramowice, Krzywin, Czempin). W praktyce jednak nie istnieją w Polsce złoża węgla brunatnego, które w pełni i bez reszty – wypełniają wszystkie kryteria przydatności do zgazowania podziemnego i dlatego zachodziła konieczność dopuszczenia pewnych ustępstw. Podstawowym problemem utrudniającym, od strony technicznej, wykorzystania złóż jest zawodnienie, a także brak kompletu danych dla większości waloryzowanych złóż. Jednak bez większego ryzyka pomyłki można przyjąć, że we wszystkich złożach dopływ wody przekroczy założone wielkości. Wydaje się więc, że podziemne zgazowania będzie możliwe tylko przy zastosowaniu górnictwa odwodnienia.

W niektórych przypadkach (Lubstów, Radomierzyce, Turów) ze względu na dobre własności izolacyjne zwałowiska lub nadkładu odstąpiono od kryterium minimalnej głębokości 150 m.

Przyjęte kryteria i wytypowane złoża muszą zapewniać bezpieczeństwo dla powierzchni terenu, bezpieczeństwo dla zbiorników podziemnych wód pitnych, ścisłą izolację gazogeneratora przed niekontrolowaną ucieczką gazu wzdłuż horyzontalnych poziomów i ścieżek migracji. Stąd jest potrzebne dobre rozpoznanie budowy geologicznej złóż.

7. Podsumowanie i wnioski

Polska dysponuje dużą bazą złóż węgla brunatnego miękkiego (ortolignitu C) o korzystnej budowie geologicznej, położonych stosunkowo blisko powierzchni terenu i sprzyjającej jakości kopaliny, która umożliwi wykorzystanie węgla w kierunku energetycznym, ale także dla zgazowania i uzyskiwania produktów ubocznych.

Wielkość zasobów gwarantuje wydobycie węgla na zadanym poziomie przez bardzo długi okres czasu. Większość złóż może być eksploatowana sposobem odkrywkowym, przy minimalnych stratach surowca i stosunkowo niskich kosztach.

Skład petrograficzny węgla i budowa pokładów sprzyja organizowaniu wydobycia na dużą skalę. Jakość węgla (przewaga wysokoreaktywnej grupy huminitu) umożliwia zgazowanie węgla w gazoreaktorach o fluidalnym podłożu. Produkcja gazu będzie wymagała pilnego uruchomienia wydobycia węgla na nowych złożach w szczególności w zachodniej części kraju (rejon Lubuski, złożo Gubin-Brody i Cybinka) oraz w przewidywanej perspektywie w rejonie legnickim, co zapewni zatrudnienie załogom górniczym odchodzącym z przemysłu miedziowego (spodziewać się należy w przyszłości spadku wydobycia rud miedzi).

Węgiel w tych rejonach posiada bardzo dobrą jakość, która sprzyja także jego zgazowaniu otworowo i w zakładach powierzchniowych.

Zgazowanie podziemne węgla brunatnego miękkiego (ortolignitu) wymaga nowych rozwiązań technologicznych ze względu na jego bardzo wysoką zawartość wilgoci i silne zawodnienie złóż.

Praca została wykonana w ramach Zadania Badawczego nr 3 pt. „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoelektrycznej produkcji paliw i energii elektrycznej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”.

Literatura

1. Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.2012, PIG Warszawa
2. *Bednarczyk J.*: Stan obecny oraz perspektywy przeróbki chemicznej węgla brunatnego. PAN – Komitet Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Mat. konf. Nauk.-Techn. nt. Zagadnień surowców energetycznych w gospodarce krajowej, s. 355÷384, Kraków 1979
3. *Bielowicz B.*: Charakterystyka odmian technologicznych węgla brunatnego do zgazowania naziemnego w reaktorze fluidalnym. Przegląd Górniczy Nr 04 (1085) Tom 69 (CIX) 2013
4. *Kasiński J.R.*: Raport merytoryczny z przeprowadzonych badań i prac technicznych za okres 1.07.2010-31.10.2012. Zał. do Sprawozdania Końcowego do części Tematu Badawczego 1.4.1, AGH Kraków 2012
5. *Kasiński J.R.*: Węgiel brunatny In: Wołkowicz S., Smakowski T., Speczik S. - Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2009, PIG Warszawa 2011
6. *Kasiński J.R., Matl K., Stachowiak A.*: Przydatność węgla brunatnego w Polsce do procesu zgazowania podziemnego (UCG) - problem kryteriów bilansowości. Biul. PIG, 44, s.169÷182, Warszawa 2012
7. *Kasiński J., Mazurek S., Piwocki M.*: Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, t. 187, Warszawa 2006
8. *Kaszelewicz Z.*: Analiza strategii rozwoju górnictwa węgla brunatnego w kontekście podziemnego zgazowania węgla brunatnego oraz ocena ekonomiczna procesów górnictwowych i skutków środowiskowych zgazowania tego węgla. Raport merytoryczny z przeprowadzonych badań i prac technicznych w okresie 1.07.2010-31.05.2012. Założenia do Sprawozdania Końcowego, Mat. Arch. AGH
9. *Kruszewski T.*: Założenia klasyfikacji petrograficznej polskich złóż węgla brunatnych. Przegląd Geologiczny 3. 1967
10. *Kwiecińska B., Wagner M.*: Classification of qualitative features of brown coal from Polish deposits according to petrographical, chemical and technological criteria. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN Kraków 1997
11. *Kwiecińska B., Wagner M.*: Możliwość zastosowania refleksyjności jako metody badawczej w klasyfikowaniu i technologicznej ocenie jakości węgla brunatnego. Kraków 2001
12. *Kwiecińska B., Wagner M.*: Typizacja cech jakościowych węgla brunatnego z krajowych złóż według kryteriów petrograficznych i chemiczno-technologicznych do celów dokumentacji geologicznej złóż oraz obsługi kopalń. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN Kraków 1997
13. *Matl K., Twardowski K.*: Rozkład własności fizykochemicznych i technologicznych węgla brunatnego z uwzględnieniem domieszek szkodliwych dla środowiska w południowo-zachodniej części Niżu Polskiego (pokład lużycki II). Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1996
14. *Matl K.*: Raport merytoryczny z badań w 2012r., Mat. Arch. KGO AGH Kraków 2012
15. *Sokołowski A., Chmielniak T., Topolnicka T., Świeca G.*: Charakterystyka polskich węgli w aspekcie ich przydatności do procesu zgazowania fluidalnego. Przegl. Górniczy, t.69, nr 2, s. 174÷183, Katowice 2013
16. *Szufflicki M., Malon A., Tymiański M.*: Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.2012, PIG Warszawa 2013
17. *Szwed-Lorenz J.*: Petrological variations in the second lower miocene coal seam in Poland Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej No. 63 Monogr. No. 29, Wrocław 1991
18. *Szwed-Lorenz J.*: Petrologiczna ocena polskich miękkich węgli brunatnych jako surowca do wielokierunkowego użytkowania. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 63 Monogr. Nr 29, Wrocław 1991
19. *Szwed-Lorenz J.*: Studium zmienności petrologicznej II dolnomiocenckiego pokładu węglowego w Polsce. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 94 Monogr. Nr 36, Wrocław 2001
20. *Wagner M.*: Brunatny węgiel bitumiczny ze złóż Turów i Belchatów w świetle badań petrograficzno-chemicznych i sedymentologicznych. Prace Geol. Kom. Nauk Geol. PAN nr 143, Kraków 1996

