



Barbara BIELOWICZ*

Litotyp węgla jako jeden z wyznaczników przydatności węgla brunatnego w czystych technologiach węglowych

Streszczenie: W pracy przedstawiono wstępną analizę wpływu budowy petrograficznej węgla brunatnego, rozumianej jako wykształcenie litotypowe (określane makroskopowo), na jego parametry fizyczne, chemiczne oraz technologiczne. Celem badań makroskopowych jest wyróżnienie litotypów i ich odmian w profilu pokładu, jego fragmencie lub próbce produkcyjnej o dokładności dostosowanej do stopnia rozpoznania węgla. Charakter petrograficzny węgla brunatnego w profilu pokładu wstępnie informuje o zmienności jego cech technologicznych. Badania prezentują analizę parametrów istotnych w czystych technologiach węglowych, a w szczególności zgazowaniu w gazogeneratorach naziemnych. Do parametrów tych należy zaliczyć parametry energetyczne węgla takie jak wartość opałowa, wilgoć, popielność i reaktywność. Wstępne wyniki sugerują, że skład litotypowy węgla brunatnego ma znaczny wpływ na jego jakość. W analizie petrograficznej określono, że głównymi litotypami budującymi wybrane polskie pokłady węgla są: węgiel detrytowy, ksyloedetrytowy, detroksylitowy i ksylitowy. Udział poszczególnych litotypów jest różny w zależności od rejonu oraz grupy pokładów. W polskich złożach najczęściej występuje węgiel detrytowy. Węgiel bitumiczny w znacznej ilości występuje tylko w niewielu złożach np. Turów, Szczerców i Kaławk. W określaniu przydatności węgla do zgazowania ważne jest zwrócenie uwagi na ilość i rodzaj ksylitów. Ksylity w badanych złożach stanowią średnio 5,4%, przy czym tylko nieliczne próby zawierały ponad 10% ksylitów. Ksylity włókniste są niepożądanym składnikiem węgla do zgazowania. Ich średnia zawartość w polskim węglu wynosi 0,7%. Ksylity włókniste w ilościach kilku procent występują w części złóż i są głównie związane z I środkowopolską grupą pokładów w rejonie Konina i Radomia.

Słowa kluczowe: węgiel brunatny, zgazowanie, litotyp, ksylit

Lithotype coal as one of the indicators of the suitability of lignite for clean coal technologies

Abstract: The paper presents a preliminary analysis of the impact of the petrographic composition of coal, understood as lithotype composition (defined macroscopically), on its physical, chemical and technological parameters. The macroscopic studies are aimed at identifying lithotypes and their variations within the coal seam, its portion or production sample, with accuracy adapted to the level of exploration of a given coal deposit). Petrographic cha-

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: bbiel@agh.edu.pl

racteristics of the selected lignite seam provide preliminary information about the variability of its technological parameters. Special attention has been paid to the analysis of parameters crucial for clean coal technologies, with particular emphasis placed on the surface gasification of coal. The aforementioned parameters include such coal energy parameters as: net calorific value, moisture, ash content and the reactivity. The preliminary results suggest that the lithotype composition of lignite has a significant impact on its quality. The occurrence of bituminiferous (sapropelic) coal, xylites and mineral matter in deposits is of particular importance. Therefore, measuring stratigraphic sections containing coal seams and a lithological characterization are especially important during the exploration activities. The petrographic analysis allowed for a determination that the main lithotypes of the selected Polish coal seams are: detritic coal, xylo-detritic coal, detro-xylitic coal, and xylite. The share of individual lithotypes varies depending on the area and group of seams. Polish coal deposits are usually dominated by detritic coal. Significant amounts of sapropelic coal can be found in several deposits, including Turów, Szczerców and Kaławk. When determining the suitability of coal for the gasification process, it is crucial to pay attention to the amount and type of xylites. In the studied deposits, the average share of xylites amounts to 5.4%. Meanwhile, only a few samples contained more than 10% of xylites. Fibrous xylites are unfavorable for the gasification process. However, their average content in Polish coal is 0.7%. Fibrous xylites (not exceeding a few percent share) occur only in a part of the deposits and are mainly associated with the 1st Mid-Polish seam in the area of Konin and Radom.

Keywords: lignite, gasification, lithotype, xylite

Wprowadzenie

Węgiel brunatny jest jednym z najważniejszych surowców energetycznych na świecie. W kontekście podpisanych porozumień na Szczycie Klimatycznym w Paryżu potrzebne jest nowe spojrzenie na problem użytkowania węgla i płynących z tego konsekwencji dla środowiska. Wprowadzenie nowej polityki energetycznej i środowiskowej w Unii Europejskiej wymusiło postępy w nowatorskich i bardziej przyjaznych dla środowiska technologiach wykorzystujących węgiel (tzw. technologie czystego węgla – CCT). Gdyby udało się wdrożyć technologie czystego węgla, otworzyłyby to nowe możliwości użytkowania tego surowca, zwłaszcza w przypadku gdy węgiel pozostanie tańszy niż ropa i gaz. Jednak, aby móc myśleć o konkurencyjności względem ropy i gazu, już dziś muszą zostać podjęte wysiłki ukierunkowane na zwiększenie światowej bazy zasobów rezerwowych. Baza ta może zostać zwiększona poprzez opracowanie i wdrożenie udoskonalonych technologii poszukiwania oraz rozpoznawania złóż węgla, a także ulepszenie istniejącego podziemnego i odkrywkowego górnictwa węglowego z jednoczesnym przyspieszeniem badań nad technologiami czystego węgla. Jedną z ważniejszych technologii czystego węgla jest zgazowanie. Temat zgazowania jest aktualnie przedmiotem wielu projektów badawczych; trwają prace nad wprowadzeniem tej technologii w Polsce (Porada 2014).

W Polsce udokumentowano 90 złóż miękkiego węgla brunatnego (Piwocki i in. 2004), głównie w osadach paleogenu i neogenu na Niżu Polskim. Geologiczne zasoby bilansowe węgla brunatnych wynoszą 23 510,59 mln t, z czego większość stanowią węgle energetyczne – 23 509,95 mln t, pozostałe 0,64 mln t są to węgle bitumiczne. Około 16% (3690 mln t) bilansowych zasobów geologicznych złóż węgla brunatnego stanowią zasoby złóż w rowie poznańskim. Są to złoża: Czempin, Krzywina i Gostyń, których potencjalna eksploatacja – ze względu na ochronę środowiska i wysoką klasę bonitacyjną gruntów rolnych – może być niemożliwa.

Geologiczne zasoby bilansowe w złożach zagospodarowanych wynoszą 1 482,69 mln t, co stanowi 6,3% geologicznych zasobów bilansowych (Piwocki i in. 2004). Węgiel brunatny z tych złóż jest eksploatowany w 5 kopalniach: Bełchatów, Turów, Adamów, Konin i Sienia-

wa. Taki stan zasobów pozwala użytkować węgiel na podobnym poziomie do dzisiejszego jeszcze przez kilkadziesiąt lat.

Podążając za aktualnymi wymogami i kierunkami badań, właściwym rozwiązaniem dla charakterystyki jakości węgla brunatnego wydaje się zastosowanie badań petrograficznych, które, obok badań technologicznych, pozwalają wyznaczyć główne kierunki użytkowania wspomnianego surowca. Badania petrograficzne węgla są jedną z bardzo intensywnie rozwijających się dziedzin technologicznej oceny przydatności surowców. Ocena petrograficzna jest ważnym kryterium klasyfikującym w klasyfikacji ISO11760 (2007) i klasyfikacjach UN-ECE International Classification of Coal in Seam (1998), Low Rank Coal Utilization – International Codification System (2002).

Na zróżnicowanie charakteru petrograficznego litotypów węglowych złożyło się wiele czynników: od materiału wyjściowego, który wpłynął na obecny stopień uwęglenia litotypów, po czynniki geologiczne oddziałujące w różnych etapach tworzenia się złoża.

Zgazowanie węgla jest prowadzone w celu uzyskania gazu syntezowego, wykorzystywanego do spalania jako substytut gazu ziemnego oraz do syntez chemicznych. Na proces zgazowania węgla ma wpływ wiele czynników. Do podstawowych, oprócz parametrów samej instalacji zgazowującej, należą własności technologiczne, petrograficzne i chemiczne surowca poddawanego zgazowaniu. Próbę określenia kryteriów przydatności węgla do zgazowania podjęli między innymi Hajdus i in. (1981), Smoliński i in. (2006), oraz Higman i van der Burgt (2003, 2008), jako najważniejsze parametry charakteryzujące węgiel w procesie zgazowania wskazując rozmiary cząstek, powierzchnię wewnętrzną, strukturę (morfologię) węgla poddanego zgazowaniu oraz rodzaj gazogeneratora. Podobnie według van Heeka i Mühlena (1986) wydajność procesów zgazowania zależy od konstrukcji gazogeneratora i odmiany węgla, a w szczególności jego składu pierwiastkowego (substancji organicznej i nieorganicznej), wilgoci, właściwości fizycznych powierzchni, porowatości oraz reaktywności. Z tego względu wprowadzenie metody petrograficznej do oceny węgla już na etapie dokumentowania złoża jest bardzo ważne. Badania petrograficzne węgla prowadzone w trakcie wczesnego rozpoznania złoża węgla pozwalają wstępnie zaklasyfikować go do zgazowania.

Jak wynika z niektórych prac (Sligar 1998; Zhuo i in. 2000), skład petrograficzny i rozmiar cząstek wpływają na proces zgazowania. Zasadniczo przyjmuje się, że reaktywność węgla zmniejsza się wraz ze wzrostem stopnia uwęglenia, a reaktywność węgla niskouwęglonego może być znacznie zróżnicowana (Miura i in. 1989) ponieważ różne macerały charakteryzują się odmienną reaktywnością. Najwyższą reaktywnością cechują się macerały grupy wityrnytu/huminitu, a następnie liptynitu. Najmniej reaktywne są macerały z grupy inertynitu, ale ich zgazowanie rozpoczyna się w wyższych temperaturach, przez co wydłuża się czas tego procesu. Należy zaznaczyć, że litologia, określana makroskopowo, a co za tym idzie budowa wewnętrzna, mają decydujący wpływ na przebieg procesu zgazowania. W procesie zgazowania niepożądane są składniki żelifikowane, zhomogenizowane, ze skłonnością do występowania w nich spękań oraz macerały obojętne w tym procesie. Żelifikacja to proces towarzyszący uwęgleniu, mający główne znaczenie w kształtowaniu wyglądu odmian węgla brunatnego. Proces żelifikacji zaczyna zachodzić w stadium torfu, natomiast w stadium diagenetyzacji ulega on znacznemu nasileniu. Proces ten polega na silnym rozdrobnieniu cząstek organicznych do stanu koloidu i równolegle przebiegających przemianach chemicznych, których cechą jest wzrost zawartości C w węglu, pojawienie się czarnej barwy oraz połysku smołowego. Jednakże należy zauważyć, że w procesie zgazowania ważna jest jak najwyższa zawartość skład-

ników z dobrze zachowanymi tkankami roślinnymi oraz tych o gąbczasto porowatej masie podstawowej (Bielowicz 2012, 2013). Węgiel to mieszanina uwęglonej substancji organicznej reprezentowanej przez macerały i substancji mineralnej. Zawartość i skład popiołu ma znaczący wpływ na przebieg zgazowania, ponieważ niektóre minerały mogą działać jako katalizatory, a inne jako inhibitory, podczas gdy duża zawartość substancji mineralnej powoduje spadek sprawności tego procesu (van Dyk i in. 2001).

1. Metodyka badań

Jednym z elementów klasyfikacji węgla do zgazowania jest opis petrograficzny wykonywany w skali makro. Celem badań makroskopowych jest wyróżnienie litotypów i ich odmian w profilu pokładu, jego fragmencie lub próbce produkcyjnej o dokładności dostosowanej do stopnia rozpoznania węgla.

W węglu brunatnym wyróżniono litotypy, czyli jednorodne w sensie sedymentologicznym nagromadzenia węgla, które są oddzielone od innych mniej lub bardziej wyraźnymi granicami: stropową oraz spągową i wyróżnia się je na podstawie zespołu zewnętrznych cech fizycznych. Cechy te odzwierciedlają rodzaj materiału wyjściowego i stopień przeobrażenia w trakcie torfogenezy i diagenety (Kwiecińska i Wagner 1997). Wyróżnienie granic litotypu odbyło się na podstawie zaobserwowanych makroskopowo różnic w składzie petrograficznym, odmiennym zestawie struktur i tekstur węgla oraz przez wyróżnienie powierzchni nieciągłości osadu. W węglu brunatnym wyróżniono litotypy o grubości do 10 cm (Kwiecińska i Wagner 2001).

W trakcie badania profili pokładów węgla w odkrywkach i podczas wierceń został wstępnie ustalony ich charakter petrograficzny. Z dwudziestu polskich złóż węgla brunatnego pobrano 60 prób węgla. Litologię węgla w obrębie tych próbek opisano za pomocą schematu zaproponowanego przez Kwiecińską i Wagnera (1997). Wyróżniono węgiel ksylitowy, ksyloedetrytowy, detroksyliowy, detrytowy oraz fuzynowy. Węgiel bitumiczny opisano według schematu Wagnera (1996). Wyróżniono także węgiel z substancją mineralną np. zapiaszczony, zailony, czy z kredą jeziorną. Uzyskane wyniki uzupełniono o dane z literatury: Kruszewski (1967), Kwiecińska i Wagner (1997, 2001), Szwed-Lorenz (1991, 2001), Majewski (1981), dane z archiwów kopalni oraz dane z Państwowego Instytutu Geologicznego. Z wyników badań uzyskanych z analiz laboratoryjnych, oraz danych archiwalnych zebranych z literatury (Kruszewski 1967; Kwiecińska i Wagner 1997, 2001; Szwed-Lorenz 1991, 2001; Majewski 1981; Matl i Wagner 1991) oraz danych udostępnionych przez archiwa kopalń utworzono obszerną bazę danych, która pozwala na zastosowanie zaawansowanych narzędzi statystycznych.

2. Litotypy węgla brunatnego i ich wpływ na przydatność węgla do zgazowania

W opisie węgla wyróżniono trzy szeregi węglowe, które różnią się genezą. Szereg węglowy obejmuje odmiany, które powstały z podobnego materiału wyjściowego, złożonego podczas sedymentacji. Wyróżniono następujące szeregi węglowe:

- humusowy (obejmujący tzw. humolity), dla którego materiałem wyjściowym jest roślinność wyższa, czyli roślinność tkankowa (od grzybów po rośliny nasienne). W Polsce stanowi 95% treści rozpoznanych złóż węgla brunatnego (Kwiecińska i Wagner 2001),
- sapropelowy (sapropelity) powstały z nagromadzonych roślin niższych (głównie glonów) i niskozorganizowanych zwierząt (np. pierwotniaków), występujący głównie na dnie jezior,
- liptobiolitowy, złożony z wytworów roślinnych szczególnie odpornych na utlenianie, np. wosków, żywic, pyłków i zarodników, nabłonków liści i łodyg.

W obrębie szeregu humusowego wyróżnia się: węgiel ksylitowy, ksyloedetrytowy, detroksylitowy, detrytowy oraz fuzynowy. Węgiel ksylitowy, detrytowy i fuzynowy to litotypy jednorodne, a ksyloedetrytowy i detroksylitowy to litotypy złożone. Zasadnicze cechy omawianych odmian węgla brunatnego są podane w tabeli 1 (Kwiecińska i Wagner 1997, 2001).

TABELA 1. Cechy odmian węgla brunatnego (Kwiecińska i Wagner 1997, 2001)

TABLE 1. The characteristics of lignite types (Kwiecińska and Wagner, 1997, 2001)

Litotyp	Skład litologiczny	Barwa	Barwa rysy	Twardość	Tekstura	Struktura
Węgiel ksylitowy	ksylit > 90%, detryt < 10%	od jasnobrunatnej do brunatnoczarnej	brunatna	2–4	drzewiasta (fitogeniczna)	rozsypliwa, zbita, rozszczipialna
Węgiel detrytowy	ksylit < 10%, detryt > 90%	brunatna, brunatno- czarna	brunatna	1–3	detrytowa (grubo, drobno)	rozsypliwa, zbita bezlądna, kierunkowa (np. płaska)
Węgiel fuzynowy	zwęgliny materiału roślinnego	czarna, popielato- czarna	czarna	1–7	włóknista	rozsypliwa, zbita porowata
Węgiel ksyloedetrytowy	ksylit 10–50% detryt > 50%	zmienna, brunatna, brunatnoczarna	brunatna	jw.	zmienna (detrytowa)	zbita, bezlądna, kierunkowa
Węgiel detroksylitowy	ksylit > 50% detryt 10–50%	jw.	jw.	jw.	fitogeniczna	jw.

2.1. Węgiel ksylitowy (WK)

Węgłem ksylitowym nazywa się warstwowe lub soczewkowate skupienie ksylitów, które stanowią co najmniej 90% ich objętości. Składnikiem uzupełniającym może być detrytus humusowy, rozproszony materiał lipoidalny lub mineralny. Do ksylitów zalicza się wszelkie fragmenty o zachowanej morfologii drewna o średnicy co najmniej 1 cm. Fragmenty mniejsze zalicza się w skład detrytusu humusowego (Kwiecińska i Wagner 1997, 2001). Ksylity są składnikiem litotypów złożonych lub domieszką w węglu detrytowym. Ksylity występują w trzech odmianach strukturalnych: rozszczipialnej, kruchej i rozsypliwej. Obecność ksylitów w węglu brunatnym ma znaczenie w technice urabiania, rozdrabniania węgla oraz technologiach jego uszlachetniania. Wielkość ksylitów ma znaczenie w procesie mielenia węgla.

Sz szczególnie niekorzystne są tzw. karcze i pnie oraz deskowate formy ksyli tów rozszczepialnych, powodujące utrudnienia w urabianiu, transporcie, składowaniu i rozdrabnianiu węgla.

Zawartość ksyli tów drobnych (o grubości mniejszej od 0,1 m) w próbce węgla ma znaczenie w procesie rozdrabniania. Znaczenie ich w tych procesach zależy od odmiany petrograficznej. Prace doświadczalne dotyczące mielenia węgla wskazują, że zawartość w węglu ksyli tów, szczególnie rozszczepialnych, utrudnia ten proces. Dodatkowo ksyli ty niezłelifikowane utrudniają przesiewanie. Należy także zwrócić uwagę na częstą mineralizację ksyli tów, które mogą być impregnowane różnego rodzaju minerałami (m.in. pirytem), co utrudnia ich rozdrabnianie i zwiększa zawartość popiołu w węglu oraz siarki.

2.2. Węgiel detrytowy (WD)

Węgiel detrytowy jest zbudowany z drobnych cząstek humusowych (detrytusu), tworzących masę mniej lub bardziej jednorodną makroskopowo. W swoim składzie może zawierać do 10% obj. innych składników (np. ksyli tów, fuzynu, ziarnistych skupień rezynitu lub żelinitu, minerałów itp.). Węgiel detrytowy występuje w skupieniach warstwowych w postaci zwartej masy o różnej zwięzłości i o barwie od jasnobrunatnej do ciemnobrunatnej, a nawet czarnej (Kwiecińska i Wagner 1997, 2001). W grubszych warstwach węgiel detrytowy może zawierać domieszki różnych odmian ksyli tów o bardzo zróżnicowanej wielkości, grubszego detrytusu humusowego, fuzynu, ziaren żywicznych i mineralnych, np. ziaren piasku, kredy jeziornej.

2.3. Węgiel detroksyli towy (WDK) i ksylo detrytowy (WKD)

Węgiel detroksyli towy (WDK) i ksylo detrytowy (WKD) należą do litotypów złożonych (niejednorodnych), zbudowanych z ksyli tów i humusowego detrytusu. Litotypy te tworzą w pokładach węgla mięzsze warstwy, zindywidualizowane na podstawie składu petrograficznego i tekstualnego wykształcenia. W węglu detroksyli towym przewagę ilościową mają ksyli ty. W węglu ksylo detrytowym przewaga należy do humusowego detrytusu. Jako domieszki (do 10% obj.) wyróżnia się: detrytus lipoidalny, soczewkowate nagromadzenia tego materiału (głównie ziarna żywic, ksyli ty bitumiczne i soczewki materiału bitumicznego, nagromadzenia liści i fragmenty kory), fuzyny, detrytus zwęglonych roślin, soczewki żelów oraz skupienia minerałów.

Węgiel detroksyli towy i ksylo detrytowy wyróżniają się w pokładach węgla większą grubością warstw, która wynosi od 0,15 do 0,60 m (Majewski 1981).

2.4. Węgiel fuzynowy (WF)

Węgiel fuzynowy to zwęglony materiał organiczny, przykładowo: fragmenty ksyli tów, fitylały pochodzące z krzewów, krzewinek oraz torfu mszarno-trawiastego (Kwiecińska, Wagner 1997, 2001). Jako litotyp, węgiel fuzynowy występuje bardzo rzadko. Fuzyn jest natomiast częstą domieszką w innych litotypach jako składnik grubego detrytusu, rzadziej zwęglonych ksyli tów.

Węgiel fuzynowy jest warstwowym nagromadzeniem fuzynu o grubości co najmniej 3 cm i koncentracji tego składnika w warstwie w ilości co najmniej 50% obj. Ma on czarną barwę, połysk jedwabisty, niekiedy szklisto-jedwabisty (impregnowany żelami) i strzępiasty przełam. Cienkie laminy w węglu detrytowym są zbudowane głównie z pyłu fuzynowego, będącego pozostałością zwęglonego torfu mszarno-trawiastego.

Fuzyn jest produktem zwęglenia materiału organicznego, tj. niecałkowitego jego spalania, co mogło zachodzić na przesuszonych torfowiskach i ich obrzeżeniach w wyniku zjawisk atmosferycznych (wyładowania), geologicznych (wulkany) lub chemicznych związanych z poduszaniem torfu i jego zagrzewaniem w wyniku działania niektórych bakterii albo wskutek absorpcji tlenu przez niektóre składniki przesuszonego torfu (Kwiecińska i Wagner 1997, 2001).

2.5 Węgiel bitumiczny (WB)

Brunatny węgiel bitumiczny należy do węgla sapropelowego. Termin ten obejmuje swoim zasięgiem dwa litotypy: węgiel bitumiczny właściwy i węgiel półbitumiczny. Schemat litologicznej klasyfikacji bitumicznego węgla brunatnego wraz z charakterystyką litotypów został zaproponowany przez Wagnera (1996).

Węgiel bitumiczny właściwy (WB) wyróżnia się od otoczenia żółtym zabarwieniem. Występuje w formie soczew i warstw o miąższości do 0,4 m, średnio od kilku do około 25 cm, często w towarzystwie węgla półbitumicznego (Wagner 1996).

Występuje głównie w postaci detrytowej o nierozróżnialnej makroskopowo wielkości cząstek masy detrytycznej. Tekstura tego węgla pozwala na wyróżnienie następujących odmian: masywnej, rozwarstwialnej i oczkowatej (Wagner 1996).

Węgiel bitumiczny właściwy odznacza się w pokładzie niską wilgotnością (ok. 35–40% wag.) i niskim ciężarem oraz znaczną zawartością pierwiastka C i podniesioną zawartością H, szczególnie w odmianach masywnych (Wagner 1996). W obrębie węgla półbitumicznego wyróżniono dwie odmiany: detrytową i ksylodetrytową. Odmiana detrytowa stanowi ogniwo pośrednie między węglem bitumicznym właściwym a humusowym detrytowym, a jej zabarwienie jest najczęściej brunatnożółte lub też beżowożółte. Częstą odmianą tego węgla są utwory o teksturze oczkowatej, gdzie w brunatnożółtym tle ujawniają się żółte nodule materiału bitumicznego o średnicy do kilku milimetrów. Odmiana ksylodetrytowa odznacza się umiarkowaną zawartością ksyliłów, często wysyconych żółtym materiałem bitumicznym (Wagner 1996).

Nie jest do końca wyjaśniona rola węgla bitumicznego w procesie zgazowania. Podczas procesu zgazowania węgla bitumicznego, z uwagi na podwyższoną zawartość wodoru w tym węglu, obserwuje się także wyższe zawartości wodoru w gazie syntezowym. Z drugiej strony podczas jego zgazowania tworzą się smoły, które utrudniają konwersję węgla oraz niszczą instalację (Higman i van der Burgt 2008).

2.6 Substancja mineralna w węglu

Zawartość i skład popiołu mają znaczący wpływ na przebieg zgazowania, gdyż duża zawartość substancji mineralnej powoduje spadek sprawności instalacji (van Dyk 2001;

Keyser i in. 2006; Wall i in. 2002). Według badań Shirazi i in. (1995), ilość substancji mineralnej i jej skład chemiczny mogą w znaczący sposób obniżyć ilość uzyskanej energii poprzez konieczność zużycia części z niej na ogrzanie niepalnego balastu. Dopuszczalna zawartość substancji mineralnej w węglu uzależniona jest od technologii zgazowania. W tym kontekście szczególnie ważnymi parametrami dla określenia przydatności kopaliny do zgazowania są popielność oraz skład mineralny. W badaniach Czechowskiego i Kidawy (1991) oraz Sekine i in. (2006) stwierdzono, że zawartość Ca, K i Na wzmacnia szybkość reakcji zgazowania. Jak wynika z badań, zawartość krzemu i glinu powodują zwolnienie, a czasem stłumienie procesu zgazowania (Sekine i in. 2006).

Skodras i Sakalloropoulos (2002) skorelowali wskaźnik zasadowości/kwasowości – nazywany tu wskaźnikiem alkaliczności (*alkali index*), scharakteryzowany przez Sakawa i in. (1982) – z reaktywnością węgla z procesie zgazowania. W wyniku tych badań stwierdzili, że istnieje wyraźny związek między zawartością Ca a reaktywnością węgla brunatnego. Dodatkowo uznano, że tlenki, głównie: SiO₂, CaO oraz Fe_xO_y, mogą niekorzystnie wpływać na materiały ogniotrwałe reaktora powodując jego korozję (Collot 2006).

Według Uemiyi i in. (1997), Fe obecne w węglu jako Fe₂O₃ odgrywa kluczową rolę w tworzeniu aglomeratów w zgazowaniu fluidalnym. Holden i Hodges (1997) opracowali powstawanie klinkieru podczas zgazowania australijskiego węgla brunatnego w złożu fluidalnym. Ich wyniki wykazały, że tempo powstawania klinkieru jest zależne od ilości Na i Si w nadawie.

W procesie zgazowania niekorzystna jest wysoka zawartość siarki (Topolnicka 2012). Na jego przebieg może mieć także wpływ zawartość i forma pierwiastka siarki. Jeżeli występuje on w pirycie, to w czasie reakcji działa jako katalizator. Poza tym siarka organiczna spowalnia proces konwersji (Yarab i in. 1980), a z siarki organicznej w procesie spalania powstają siarczany i kwas siarkowy. Proces zgazowania jest jedną z najczystszych technologii wykorzystujących węgiel poprzez stosowanie filtrów wychwytyjących niebezpieczne substancje i pracę w obiegu zamkniętym (Suárez-Ruiz i Ward 2008).

3. Litotypy węgla w wybranych polskich złożach

W polskich złożach miękkiego węgla brunatnego występuje głównie węgiel humusowy reprezentowany przez węgiel detrytowy, ksylo-detrytowy, detroksylitowy oraz ksylytowy. Węgiel fuzynowy występuje w postaci cienkich wkładek w obrębie innych litotypów węgla o grubości do około 5 cm. Udział poszczególnych litotypów jest różny w zależności od rejonu oraz grupy pokładów. Węgla bitumiczny oraz półbitumiczny występują w mniejszych ilościach i nie są obecnie przedmiotem selektywnej eksploatacji.

Węgiel bitumiczny tworzy większe nagromadzenia (wkładki o miąższości do 30 cm) w obrębie badanych pokładów węgla humusowego w złożach Bełchatów, Szczerców, Turów, Gubin i Legnica. Według różnych badań udział węgla bitumicznego w krajowych złożach sięga do 20% w złożu Legnica Wschód (Szwed-Lorenz 2001), do 18,8% w złożu Turów i do 30,4% w złożu Bełchatów (Wagner 1996). Złożem węgla bitumicznego jest złożo Kaławsk, które nie jest aktualnie eksploatowane.

W rejonie zachodnim i Legnicy dominującym litotypem jest węgiel detrytowy, miejscami ksylo-detrytowy. Jednocześnie węgiel z II grupy pokładów charakteryzuje się małą ilością

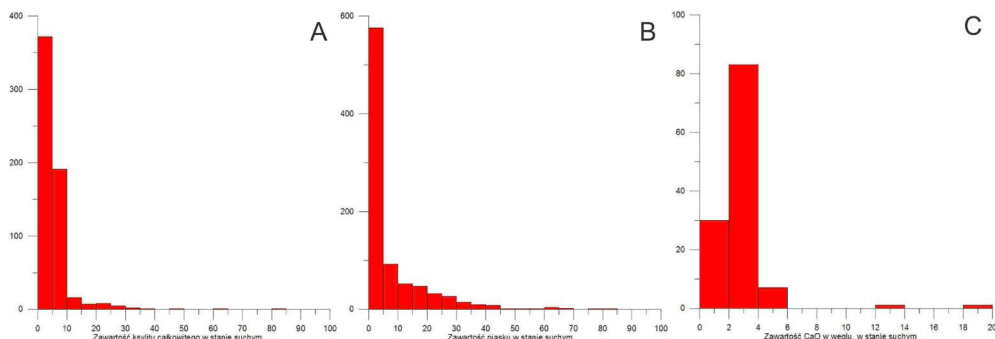
ksylitów włóknistych. Szwed-Lorenz (2001), wykazała, że głównym litotypem występującym w obrębie tego pokładu jest węgiel detrytowy (od 63,8 do 91%). Podobną budowę zaobserwowali także Majewski (1985) oraz Majewski, Godyń (1985) w złożu Legnica, gdzie dominuje węgiel detrytowy. Złoże Gubin nie było do tej pory przedmiotem szczegółowej analizy petrograficznej. Jedynie Szwed-Lorenz (2001) określiła węgiel z tego złoża jako detrytowy, a z kolei Wagner i in. (2009) określili go jako ksylo-detrytowy z niedużą (10–25%) zawartością ksyliłów. Dominacja węgla detrytowego wskazuje, że obszary torfowisk były okresowo zalewane, a dominującą roślinnością były krzewy. Dlatego turzyce i trzciny, jak i rośliny wodne powinny być traktowane jako materiał podstawowy dla detrytowego węgla brunatnego (Kolcon i Sachsenhofer 1999).

Jak wynika z obserwacji, złoża w zapadliskach tektonicznych charakteryzują się największym zróżnicowaniem składu litologicznego. W innych złożach miękkiego węgla brunatnego występuje głównie węgiel detrytowy, który w złożach Lubstów, Sieniawa i Turów stanowi ponad połowę badanych profili (Szwed-Lorenz 1991, 2001). W pracach Wagnera (1996) oraz Szwed-Lorenz (1991, 2001) dotyczących złoża Bełchatów ta odmiana litologiczna została oceniona jako najczęstsza. Węgiel detrytowy i ksylo-detrytowy dominuje w złożu Szczerców (m.in. Kwiecińska i Wagner 1997; Bielowicz 2012). W złożach rejonu Łódź-Bełchatów obserwuje się węgiel ksylo-detrytowy z małą zawartością ksyliłów włóknistych.

W rejonie konińskim, gdzie wykształcony jest I środkowopolski pokład węgla, występuje węgiel ksylo-detrytowy i detroksylitowy ze średnią zawartością ksyliłów włóknistych równą 3,8%. Najwyższe zawartości ksyliłów włóknistych są obserwowane w złożu Dęby Izbica Kujawska (do 32,2%). Pod tym względem węgiel z tego regionu jest trudny do rozdrabniania, co w znaczny sposób może obniżać jego przydatność do zgazowania fluidalnego. Zwiększony udział węgla ksyliłowego i detroksylitowego wskazują na facje *wet forest swamp* (torfowisko typu leśnego z wysokim poziomem wody zasiedlone przez zespół roślin o pokroju drzewiastym) oraz *dry forest swamp* (torfowisko typu leśnego z niskim poziomem wody, okresowo przesuszone, zasiedlone przez zespół roślin o pokroju drzewiastym) (Widera 2012). Lasy bagienne powstały na terenach o wysokim poziomie wód gruntowych. Środowisko to składało się głównie z drzew iglastych i liściastych, i nie było zróżnicowane florystycznie. W rejonie Konina rosły głównie drzewa iglaste z rodziny *Taxodiaceae* *Cupressaceae* (Grabowska 1956). Drzewa te są głównymi prekursorami ksyliłów włóknistych.

W wybranych polskich złożach węgla brunatnego obserwuje się węgiel, w którym zawartość ksylił w stanie suchym jest mniejsza niż 10% (rys. 1A). Tylko nieliczne próby, głównie węgla typowo ksyliłowego, charakteryzowały się dużym udziałem ksylił. Ksyliły w badanych złożach stanowią średnio 5,4%. Ksyliły włókniste są niepożądanym składnikiem węgla do zgazowania. Jednak należy podkreślić, że średnia ich zawartość w polskim węglu to 0,7%. Ksyliły włókniste w ilościach kilku procent występują tylko w części złóż i są głównie związane z I środkowopolską grupą pokładów w rejonie Konina i Radomia.

W ocenie przydatności węgla do zgazowania w gazogeneratorach istotne są litotypy węgla z substancją mineralną. Najbardziej niekorzystne w tym procesie są domieszki piasku i kredy jeziornej w paliwie. Piasek jest szkodliwym elementem substancji mineralnej w węglu wchodzącym w skład popiołu po spaleniu węgla. Piasek w stanie suchym w badanych złożach stanowi przeważnie do 5% (rys. 1B). Kilka prób zawierało znaczne domieszki



Rys. 1. Udział ksylicy w stanie suchym (A), piasku w stanie suchym (B) i CaO w stanie suchym (C) w wybranych złożach węgla brunatnego

Fig. 1. The share of xylite (A) sand (B) and CaO (C), calculated on a dry basis, in the selected lignite deposits

piasku. W większości zawartość piasku jest związana z warunkami sedymentacji złoża. Podwyższone zawartości piasku obserwuje się w węglu detrytowym.

Wapniistość węgla, wyrażona zawartością CaO, związana jest z substancją mineralną występującą w węglu, głównie kalcytem i częściowo aragonitem. Kalcyt, występujący w postaci kredy jeziornej w złożach, tworzy warstwy oraz skupienia kuliste. Średnia zawartość CaO w stanie suchym we wszystkich próbach wynosiła 2,5% (rys. 1C). Kreda jeziorna występuje głównie w złożach rejonu Bełchatowskiego, gdzie zawartość CaO w węglu może sięgać nawet 20%.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wstępną analizę wpływu budowy petrograficznej węgla brunatnego, rozumianej jako wykształcenie litotypowe (określane makroskopowo), na jego parametry fizyczne, chemiczne oraz technologiczne. Petrograficzny profil pokładu węgla brunatnego informuje o zmienności jego cech technologicznych. Skupiono się na analizie parametrów istotnych w czystych technologiach węglowych, a w szczególności zgazowaniu w gazogeneratorach naziemnych. Potwierdzono, że węgiel występujący w wybranych polskich złożach jest węglem humusowym, podczas gdy węgiel bitumiczny występuje jedynie w podrzędnych ilościach. W analizie petrograficznej określono, że głównymi litotypami budującymi wybrane polskie pokłady węgla są: węgiel detrytowy, ksyłodetrytowy, detroksylytowy i ksylytowy, a udział poszczególnych litotypów jest różny w zależności od rejonu oraz grupy pokładów. W określaniu przydatności węgla do zgazowania zwrócono szczególną uwagę na ilość i rodzaj ksylytów. Stwierdzono, że udział ksylytów badanych złożach jest niewielki, przez co składnik ten nie ma większego znaczenia dla potencjalnego procesu zgazowania. W badaniach zaobserwowano, że istnieją pokłady węgla z wyraźnym wzbogaceniem w ksylyty włókniste, a dysponując opisem petrograficznym można prowadzić eksploatację selektywną. Na proces zgazowania ma także wpływ stopień żelifikacji pokładów. Zaobserwowano, że żelifikacja jest tym większa, im wyższy jest stopień uwęglenia węgla. Istotnym parametrem ograniczającym możliwość wykorzystania węgla do zgazowania jest

jego zapiaszczenie oraz wapnistość. Zapiaszczenie jest parametrem bardzo zmiennym i uzależnionym od warunków sedymentacyjnych, podobnie jak występowanie kredy jeziornej. Z tego też względu podczas prac dokumentacyjnych konieczne jest profilowanie pokładów węgla z opisem litologicznym.

Praca wykonana w ramach projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2013/09/D/ST10/04045 i Badań Statutowych nr 11.11.140.320.

Literatura

- Bielowicz, B. 2012. A new technological classification of low-rank coal on the basis of Polish deposits. *Fuel* 96, s. 497–510.
- Bielowicz, B. 2013. Petrographic composition of Polish lignite and its possible use in a fluidized bed gasification process. *International Journal of Coal Geology* 116–117, s. 236–246.
- Collot, A.G. 2006. Matching gasification technologies to coal properties. *International Journal of Coal Geology* 65, s. 191–212.
- Czechowski, F. i Kidawa, H. 1991. Reactivity and susceptibility to porosity development of coal maceral chars on steam and carbon dioxide gasification. *Fuel Processing Technology* 29, s. 57–73.
- Grabowska, I. 1956. Index Lignites of Brown-coal from the Area of Konin. *Prace Instytutu Geologicznego* 15, s. 201–258.
- Hajdus i in. 1981 – Hajdus, D., Iwasyk, Z., Brożek, E. i Wielowieyska, B. 1981. Kompleksowe badania polskich węgla kamiennych przeznaczonych do zgazowania. *Koks, Smoła, Gaz* XXVI (7–8), s. 46–62.
- Higman, C. i van der Burgt, M. 2003. *Gasification*. Wyd. Elsevier Science, 391 s.
- Higman, C. i van der Burgt, M. 2008. *Gasification. Second edition*. Wyd. Elsevier, 456 s.
- Holden, J.L. i Hodges, S. 1997. Ash clinker formation during gasification of brown coals. *Australian Coal Conference – Conference Proceedings*. Australian Institute of Energy, Gipps-land Group, Morwell, Vic, Australia, s. 305–311.
- Keyser i in. 2006 – Keyser, M.J., Conradie, M., Coertzen, M. i van Dyk, J.C. 2006. Effect of coal particle size distribution on packed bed pressure drop and gas flow distribution. *Fuel* 85, s. 1439–1445.
- Kolcon, I. i Sachsenhofer, R.F. 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the Early Miocene Oberdorf lignite seam (Styrian Basin, Austria). *International Journal of Coal Geology* 41, s. 275–308.
- Kruszewski, T. 1967. Założenia klasyfikacji petrograficznej polskich złóż węgla brunatnych. *Przegląd Geologiczny* 3, s. 20–36.
- Kwiecińska, B. i Wagner, M. 1997. *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, s. 87.
- Kwiecińska, B. i Wagner, M. 2001. *Atlas petrograficzny węgla brunatnego – litotypy i macerały*. Wydawnictwo JAK Andrzej Choczewski, Kraków, s. 98.
- Majewski, S. 1981. Praktyczne aspekty budowy petrograficznej węgla brunatnego na przykładzie wybranych złóż Polski. *Kwartalnik AGH, Geologia* 7 (2), s. 5–17.
- Majewski, S. 1985. Budowa petrograficzna pokładów węgla brunatnego w polu zachodnim złoża Legnica. *Kwartalnik AGH, Geologia* 11 (1), s. 89–106.
- Majewski, S. i Godyń, S. 1985— Analiza porównawcza petrograficznej budowy pokładów węgla brunatnego w zachodnim i wschodnim polu złoża Legnica. *Kwartalnik AGH, Geologia* 11 (1), s. 107–125.
- Miura i in. 1989 – Miura, K., Hashimoto, K. i Silveston, P. 1989. Factors affecting the reactivity of coal chars during gasification and indices representing reactivity. *Fuel* 68, s.1461–1475.
- Piwocki i in. 2004 – Piwocki, M., Kasiński, J.R., Saternus, A., Dyląg, J.K., Gientka, M. i Walentek, I. 2004. *Aktualizacja bazy zasobów złóż węgla brunatnego w Polsce*. PiG, Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa, 98 s.
- Porada, S. 2014. *Evaluation of a possibility to convert Polish coals to gas based on results of kinetic examinations of pyrolysis and gasification processes: monograph*. Wydawnictwo MULTIGRAF s.c., Bydgoszcz, 197 s.

- Sakawa i in. 1982 – Sakawa, M., Sakurai, Y. i Hara, Y. 1982. Influence of coal characteristics on CO₂ gasification. *Fuel* 61, s. 717–720.
- Sekine i in. 2006 – Sekine, Y., Ishikawa, K., Kikuchi, E., Matsukata, M. i Akimoto, A. 2006. Reactivity and structural changes of coal char during steam gasification. *Fuel* 85, s. 122–126.
- Shirazi i in. 1995 – Shirazi, A.R., Börtina, O., Eklund, L. i Lindqvist, O. 1995. The impact of mineral matter in coal on its combustion, and a new approach to the determination of the calorific value of coal. *Fuel* 74, s. 247–251.
- Skodras, G. i Sakellariopoulos, G.P. 2002. Mineral matter effects in lignite gasification. *Fuel Processing Technology* 77–78, s. 151–158.
- Sligar J., 1998. *The Hardgrove Grindability Index*, ACARP Report I. No. 5, [Online] Dostępne w: www.acarp.com.au/Newsletters/hgi.html [Dostęp: 2.06.2016].
- Smoliński i in. 2006 – Smoliński, A., Howaniec, N. i Stańczyk, K. 2006. Metody badania reaktywności węgla w procesach spalania i zgazowania. *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i środowisko* 4, s. 77–92.
- Suárez-Ruiz, I. i Ward, C.R. 2008. Basic Factors Controlling Coal Quality and Technological Behavior of Coal, [W:] Isabel Suárez-Ruiz and John C. Crelling red. *Applied Coal Petrology the Role of Petrology in Coal Utilization*, Elsevier, s. 388.
- Szwed-Lorenz, J. 1991. Petrologiczna ocena polskich miękkich węgli brunatnych jako surowca do wielokierunkowego użytkowania. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* 63, Monogr. nr 29, Wrocław, s. 127.
- Szwed-Lorenz, J. 2001. Studium zmienności petrologicznej II dolnomioceńskiego pokładu węglowego w Polsce. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* 94, Monogr. nr 36, Wrocław, s. 130.
- Topolnicka, T. 2012. Development of coal gasification technology for high production of fuels and electricity. Final Raport Cz. T. B. I.1.1. AGH Arch. Kraków, 220 s.
- Uemiyi i in. 1997 – Uemiyi, S., Aoki, K., Luo, C.H. i Kojima, T. 1997. Reactivity and agglomeration behaviour of various coal chars in a jetting fluidised bed gasifier. *Ninth International Conference on Coal Science. DGMK, Hamburg 10-17 October*, s. 1327–1330.
- van Dyk i in. 2001 – van Dyk, J. C., Keyser, M. J. i van Zyl, J. W. 2001. Suitability of feedstocks for the Sasol-Lurgi fixed bed dry bottom gasification process. *Gasification Technologies Conference, Gasification Technologies Council, Arlington October 17–22*, s. 10–8.
- van Heek, K. H. i Muhlen, H.-J. 1986. Effect of coal and char properties on gasification. Moulijn J. A., Kapteijn F. red. *Proceedings of the First International Rolduc Symposium on Coal Science, Rolduc April 28 May 1*, s. 113–133.
- Wagner, M. 1996. Brunatny węgiel bitumiczny ze złóż Turów i Bełchatów w świetle badań petrograficzno-chemicznych i sedimentologicznych. *Prace Komisji Geologicznej Komitetu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk* 143, Kraków, s.106.
- Wagner i in. 2009 – Wagner, M., Misiak, J. i Bielowicz, B. 2009. *Złoże węgla brunatnego Gubin*. Prace statutowe KGZiG, Archiwum AGH. 45 s.
- Wall i in.2002 – Wall, T.F., Liu, G.S., Wu, H.W., Roberts, D.G., Benfell, K.E., Gupta, S., Lucas, J.A. i Harris, D.J. 2002. The effects of pressure on coal reactions during pulverized coal combustion and gasification, *Progress in Energy and Combustion Sciences* 28, s. 1963–1973.
- Widera, M. 2012. Macroscopic lithotype characterisation of the 1st Middle-Polish (1st Lusatian) Lignite Seam in the Miocene of central Poland. *Geologos* 18, s. 1–11.
- Yarzarb i in. 1980 – Yarzarb, R.F., Given, P.H., Spackman, W. i Davis, A. 1980. Dependence of coal liquefaction behaviour on coal characteristics. 4. Cluster analysis for characteristics of 104 coals. *Fuel* 59, s. 81–92.
- Zhuo i in. 2000 – Zhuo, Y., Messenbock, R., Collot, A.-G., Megaritis, A., Paterson, N., Dugwell, D.R. i Kandiyoti, R. 2000. Conversion of coal particles in pyrolysis and gasification – comparison of conversions in a pilot-scale gasifier and benchscale test equipment. *Fuel* 79, s. 793–802.