ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: GÓRNICTWO z. 268 Nr kol. 1696

Krystyna KRUSZEWSKA*, Jarosława SZWED-LORENZ**
*Uniwersytet Śląski, Sosnowiec; **Politechnika Wrocławska, Wrocław

PETROLOGICZNE PODSTAWY ZRÓŻNICOWANIA JAKOŚCI WĘGLA W ZŁOŻU

Streszczenie. W pracy wykazano przydatność badań petrologicznych do oceny jakości węgli brunatnych i kamiennych. Przedstawiono zróżnicowanie makro- i mikropetrograficzne głównych litotypów oraz wpływ ich budowy petrograficznej na własności technologiczne.

PETROGRAPHIC BASIS OF THE VARIABILITY OF COAL QUALITY IN DEPOSIT

Summary. In this paper suitability of petrographic research in lignite and hard coal quality assessment is presented. Micro- and macropetrographic variability of main lithotypes and influence of their petrography on the coal technological properties was shown.

1. Wstęp

Czynniki, które wpłynęły na powstanie węgla oraz jego obecne ukształtowanie i właściwości technologiczne, są zróżnicowane i złożone. Zaczynając od roślinnego materiału wyjściowego i miejsca jego sedymentacji poprzez stopnie rozkładu materii organicznej, diagenezę, czynniki metamorfozy, tj. ciśnienia i temperatury, po procesy wietrzenia i niekiedy dezintegracji.

Niewątpliwie bardzo istotny jest rodzaj roślinności związany z klimatem i środowiskiem ekologicznym. Nie mniej istotne są zjawiska fizykochemiczne zachodzące w basenie sedymentacyjnym w procesie torfienia. Sam proces rozkładu materii organicznej jest bardzo skomplikowany, zależny od składu chemicznego materiału wyjściowego i środowiskowych warunków biochemicznych. Składają się na to: dostęp tlenu, pH torfowiska, udział wody i związków organicznych, działalność bakterii aerobowych

i anaerobowych, enzymów, grzybów, temperatura, stężenie roztworów powstających w trakcie powolnego rozkładu. Nie sposób wymienić wszystkich czynników, gdyż szereg procesów, takich jak: pęcznienie, hydroliza, polimeryzacja, wydzielanie produktów gazowych, tworzenie nowych związków typu kwasów huminowych, koagulacja koloidów – wzajemnie się nakłada i oddziałuje na siebie. Nie przeceniając jednak tych zjawisk, trzeba stwierdzić, że petrologiczne badania węgli dają wyraźne wskazówki o ich fitogenezie oraz prowadzą do stwierdzeń natury technologicznej, co przedstawimy na przykładzie węgli brunatnych
i kamiennych.

2. Petrologiczne zróżnicowanie węgli brunatnych

Bardzo duże petrograficzne zróżnicowanie miękkich i twardych węgli brunatnych skłania do odrębnego ich potraktowania. W tej pracy omówimy tylko węgiel brunatny miękki, który w Polsce i Niemczech jest eksploatowany na wielką skalę. Węgiel ten klasyfikujemy do rzędu nisko uwęglonych C (ortholignite), a jego granica między torfem z jednej strony a węglem twardym z drugiej zmienia się w zależności od przyjętych kryteriów.

Najczęściej stosowanym kryterium jest zdolność odbicia światła R_o (Kruszewska, Dybova-Jachowicz, 1997; Taylor et al.,1998), która waha się od 0,25 do 0,45 %. Jest to bardzo mały zakres i różnicowanie miękkich węgli brunatnych między sobą na tej podstawie jest bardzo trudne, chociaż czasami przydatne (Wagner, 1993).

Niska pozycja w szeregu uwęglenia powoduje, że węgiel brunatny jako skała dzieli się na wiele litotypów o charakterystycznych cechach makro- i mikropetrograficznych. Istnieje wiele narodowych i międzynarodowych klasyfikacji węgla brunatnego a ogólna tendencja w ich tworzeniu zmierza do pewnej unifikacji na wzór klasyfikacji węgli kamiennych (Taylor et al., 1998).

Litotypy węgla brunatnego odzwierciedlają zmiany facjalne w środowisku depozycji materii organicznej, co makroskopowo przejawia się w zróżnicowaniu ich barwy, warstwowania, zawartości i rozmieszczeniu w złożu ksylitów, stopnia żelifikacji, zawartości substancji nieorganicznej. Wszystkie wymienione cechy makroskopowe węgli brunatnych dają nam wskazówki o ich predyspozycji technologicznej.

Barwa węgli brunatnych uzależniona jest od rodzaju masy podstawowej, a więc stopnia rozłożenia i homogenizacji detritusu, zawartości bituminów, rodzaju i stopnia żelifikacji

i ulega szybkim zmianom zależnym od stopnia utlenienia i zawartości wody. Barwy żółte i szarożółte mają węgle bitumiczne i półbitumiczne, które winny być wykorzystywane jako surowiec do ekstrakcji lub wytlewania. Barwą czarną wyróżniają się węgle zżelifikowane. Żelifikacja wpływa zdecydowanie niekorzystnie na własności i możliwości utylizacji węgla brunatnego, tak że głównym jego przeznaczeniem jest energetyka. Podstawową barwą miękkich węgli brunatnych jest barwa brązowa i w zależności od ich odmiany można je stosować jako surowiec do wielokierunkowego użytkowania (Szwed-Lorenz, 1991)

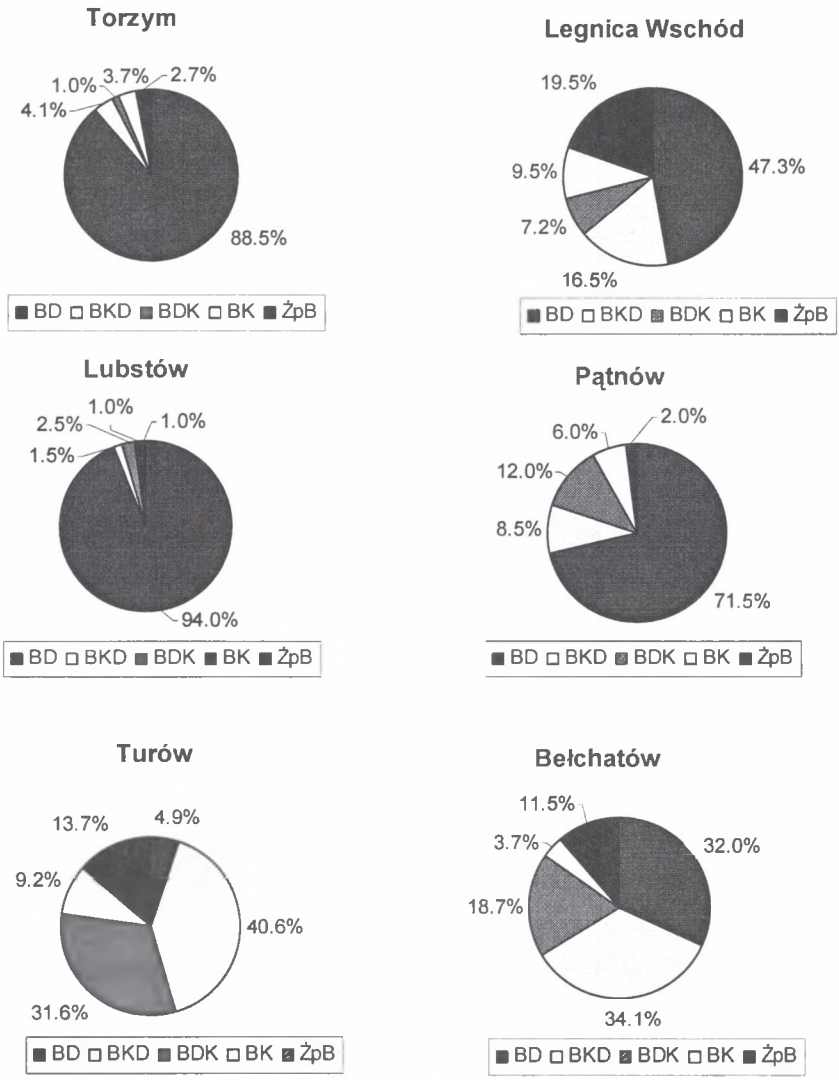
Warstwowanie wiąże się najczęściej z zawartością w węglu drobnych szczątków roślinnych. Węgle warstwowane, jak również zawierające ksylity niezżelifikowane są bardzo dobrym surowcem do brykietowania (Szwed-Lorenz, 1994)

Dominującym litotypem w polskich złożach pokładowych rozmieszczonych wzdłuż południowej granicy Polski oraz w złożach rejonu Konina i Adamowa jest węgiel detrytowy (matrix coal wg ICCP) brązowy, na ogół niewarstwowany. Jego zawartość wynosi w tych złożach od sześćdziesięciu do osiemdziesięciu kilku procent. Odbiega od tego obrazu złoże Legnica z uwagi na występujący w nim węgiel bitumiczny i półbitumiczny. Polskie złoża tektoniczne Bełchatów i Turów zbudowane są z pełnej gamy litotypów węgla brunatnego z dużym udziałem węgli ksylitowych oraz węgli bitumicznych (rys. 1).

Mikropetrograficzna budowa litotypów koresponduje z ich charakterystyką magaskopową. Skład mikrokomponentów węgli brunatnych zmienia się w szerokich granicach udziału macerałów, podgrup i grup macerałów (Szwed-Lorenz, 1991 i 2001).

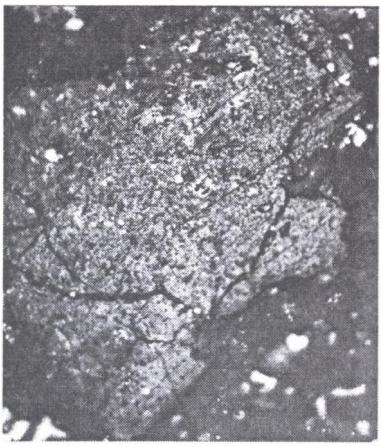
W węglach detrytowych dominującym macerałem jest atrynit a przy postępującym uwęgleniu densynit. Atrynit i densynit stanowią tło (masę podstawową) dla innych mikrokomponentów z podgrupy humotelinitu i humokolinitu oraz grupy liptynitu i inertynitu. Atrynit odznacza się bardzo dobrymi własnościami technologicznymi i bardzo dobrą brykietowalnością.

W węglach z ksylitami (xylite-rich coal) zwiększa się udział tekstynitu i ulminitu. Te dwa macerały są głównymi składnikami węgli ksylitowych. W węglach słabo zżelifikowanych (brązowych) lub zżelifikowanych (czarnych) w składzie mikropetrograficznym zwiększa się udział składników z grupy humokolinitu, tj. żelinitu i korpohuminitu, i zdecydowanie pogarszają się własności technologiczne.

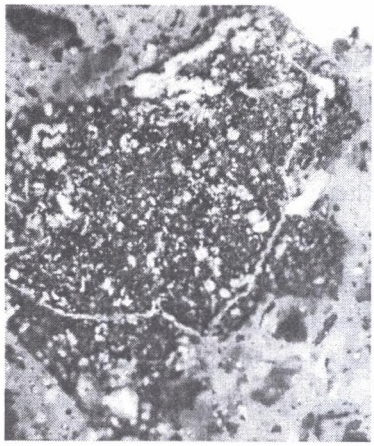


Rys. 1. Diagramy kołowe litotypów węgla brunatnego w wybranych złożach;
BD – węgiel detrytowy, warstwowany i niewarstwowany, BKD – węgiel detrytowy z ksylitami <10 %, BDK – węgiel detrytowy z ksylitami >10 %, BK – węgiel ksylitowy, ŻpB – węgiel żółty (bitumiczny i półbitumiczny)

Fig. 1. Circular diagrams of lithotypes in lignite from selected deposits;
BD – matrix coal, stratified and unstratified, BKD – xylite rich coal <10 %, BDK – xylite rich coal >10 %, BK – xylite, ŻpB – yellow coal (bituminous and subbituminous)

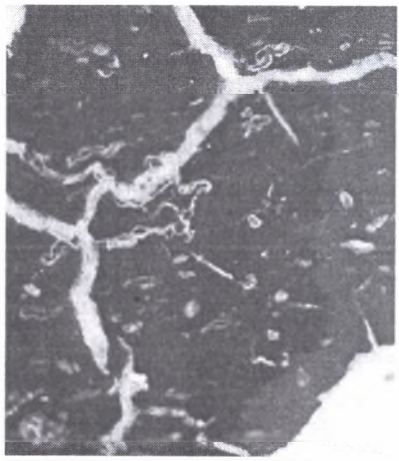


Fot. 1. Porowaty densynit z węgla detrytowego złoża Pątnów IV – światło białe, odbite
Phot. 1. Porous densinite in matrix coal from Pątnów IV deposit – white light, reflected



Fot. 2. Jak Fot. 1. – obfity liptodetrynit w densynicie) – światło fluorescencyjne odbite
Phot. 2. The same as phot. 1. – abundant liptodetrinite in densinite – reflected light, fluorescence

Fot. 3. Densynit z ciałkami rezynitu w węglu detrytowym złoża Legnica Wschód – światło białe, odbite
Phot. 3. Densinite with resinite bodies in matrix coal from Legnica Wschód deposit – white light, reflected



Fot. 4. Jak Fot. 3. – Fluoryzuje sporynit i liptodetrynit – światło fluorescencyjne odbite
Phot. 4. The same as phot. 3. sporinite and liptodetrinite fluoresce – reflected light, fluorescence

Wszystkie mikrofotografie wykonano na zgładach polerowanych, imersja olejowa, pow. 500×
All photomicrographs taken on polished surfaces under oil immersion, 500×

W polskich miękkich węglach brunatnych udział grupy inertynitu jest tak mały (0,0–5,0 %), że nie wpływa na procesy technologiczne. Dużo liczniej reprezentowana jest grupa liptynitu, której ilość w węglach półbitumicznych może dochodzić nawet do 25 %, co

już może mieć wpływ na temperaturę zapłonu w elektrowniach. Przy badaniach mikropetrograficznych w świetle białym macerały grupy liptynitu a szczególnie sporynit, kutynit, alginit i bituminit są słabo rozpoznawalne i często pomijane w analizie ilościowej. Dlatego konieczne są równoległe badania w świetle fluorescencyjnym, które ujawniają i pozwalają rozpoznać wszystkie składniki. Załączone fotografie ilustrują ten problem (fot. 1–4).

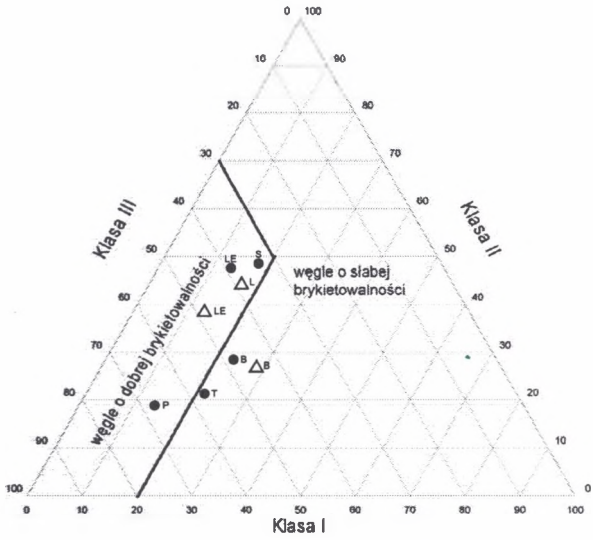
Ilościowa analiza macerałów pozwala ocenić badany węgiel np. jako surowiec do brykietowania. Macerały pogrupowane w klasy nanosi się na diagram opracowany przez Kunstnera i Schneidera w 1986 roku (rys. 2). W węglu brykietowym pożądany jest ponad 30 % udział macerałów o własnościach korzystnych dla brykietowania, tj. atrynitu i tekstynitu, nie więcej jak 50 % macerałów średnio korzystnych, do których zaliczamy tekstoulminit i densynit oraz mniej jak 20 % macerałów uznanych jako składniki niekorzystne, a są to humokolinit, inertynit, euulminit i substancja mineralna. W oparciu o załączony diagram możemy stwierdzić, że najlepszą brykietowalnością odznaczają się węgle detrytowe, niezżelifikowane z ksylitami, niewielką zawartością substancji mineralnej (A^d <15 % i Q_i^r >8,4 MJ/kg), o odpowiednim udziale mikroskładników. I tak węgle ze złóż rejonu Konina są zbudowane z litotypów podatnych na brykietowanie. Węgiel ze złoża Lubstów należy oceniać poziomami. Detrytowe niezżelifikowane brązowe litotypy są dobrym surowcem dla tej technologii, zaś czarne zżelifikowane węgle z dolnych partii złoża nie nadają się do brykietowania.

Złoże Bełchatów z racji swojej budowy geologicznej, odznacza się dużą zmiennością charakteru petrograficznego i litotypów węglowych (rys. 3), co powoduje trudności w jego ocenie. Węgle detrytowe mają własności korzystne do brykietowania a próby uśrednione zdecydowanie nie, gdyż mają zbyt silnie zżelifikowaną masę podstawową i za dużo ksylitów zżelifikowanych. Badane węgle detrytowe i detrytowe z ksylitami ze złoża Legnica Wschód znajdują się w polu węgli przydatnych do brykietowania.

Analiza mikrolitotypów może również posłużyć do scharakteryzowania węgla brunatnego i jego zmienności w pokładzie. Analiza mikrolitotypów dla węgla brunatnego nie ma tak dużego znaczenia i zastosowania praktycznego, jak dla węgla kamiennego, niemniej w analizie statystycznej daje dobre wyniki. W złożach w których mamy duże pakiety węgli detrytowych, a więc najlepszych z technologicznego punktu widzenia, rozkład litotypów (węgle warstwowane, niewarstwowane, zżelifikowane, z ksylitami) może wyglądać tak, jak to pokazano w tablicy 1. Wyniki, na podstawie których wykonano analizę statystyczną i diagram, pochodzą z mikropetrograficznych analiz ilościowych (QMA) próbek węgli z Turowa, Bełchatowa, złóż rejonu Konina, Sieniawy i Legnicy Wschód. Z badań tych

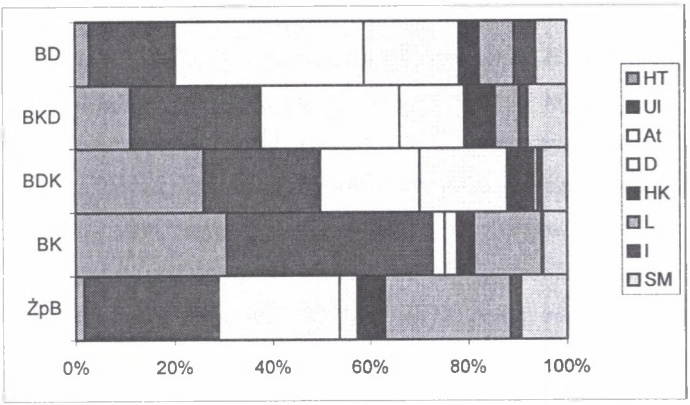
wynika, że większość mikrolitotypów detrytowych węgli brunatnych charakteryzuje się dużą zmiennością (współczynnik zmienności v waha się w granicach 40–100 %). Duża zmienność składu mikrolitotypowego, a więc i maceralnego, litotypów wskazuje na niski stopień homogenizacji i uwęglenia materiału roślinnego miękkich węgli brunatnych, co świadczy o różnorodności środowisk i warunków powstawania tych węgli,

Tak więc, cechy petrograficzne i skład węgli brunatnych mają istotny wpływ na ich jakość, na ich własności technologiczne. Na fakt ten zwracało uwagę wielu autorów, że wymienimy tylko niektóre prace (Majewski, 1981; Rasher i Seifert, 1980; Szwed-Lorenz, 1991 i 2001; Wagner, 1996). W pracach tych analizowano nie tylko litotypy, lecz również macerały i ich własności utylitarne. Określenie litotypów w pokładach węgli brunatnych i ich składu mikropetrograficznego, daje nam szansę wstępnej oceny jakości tego węgla, co umożliwia ograniczenie kosztownych badań chemiczno-technologicznych.



Rys. 2. Diagram przydatności węgla brunatnego do brykietowania wg klas macerałów; Klasa I: humokolinit + euulminit + inertynit + substancja mineralna; Klasa II: tekstoulminit + densynit; Klasa III: tekstynit + atrynit (liptynit)
– węgiel detrytowy, • – węgiel detrytowy z ksylitami; złoża: L – Lubstów, LE – Legnica Wschód, B – Bełchatów, P – Pątnów, T – Turów, S – Sieniawa

Fig. 2. Trangle diagram showing lignite suitability for briquetting according to maceral classes; Class I: humocollinite + euulminite + inertinite + mineral substance; Class II: textoulminite + densinite; Class III: textinite + attrinite (liptynite)
– matrix coal, • – xylite rich coal; deposits: L – Lubstów, LE – Legnica Wschód, B – Bełchatów, P – Pątnów, T – Turów, S – Sieniawa



Rys. 3. Diagram procentowego składu maceralnego litotypów węgla złoża Bełchatów: HT – humotelinit, Ul – ulminit, A – atrynit, D – densynit, HK – humokolinit, L – liptynit, I – inertynit, SM – substancja mineralna. Skrócone nazwy litotypów jak na rys. 1

Fig. 3. Proportional diagram of maceral composition of coal lithotypes from Bełchatów deposit: HT – humotelinite, Ul – ulminite, At – attrinite, D – densinite, HK – humocollinite, L – liptynite, I – inertinite, SM – mineral substance. Lithotype names abbreviations as in fig. 1

Węgiel brunatny posiada potencjalne możliwości wielokierunkowego użytkowania: spalanie, wytlewanie, koksowanie, ekstrakcja, uwodornianie (Szwed-Lorenz, 1991).

Zgodnie z polityką gospodarczą państwa, preferującą od dawna kierunek energetyczny wykorzystania węgla brunatnego, prawie 100 % wyeksploatowanego węgla brunatnego przeznacza się do spalania w elektrowniach zawodowych. Taka polityka wynika ze struktury zasobów źródeł pierwotnych paliw w Polsce. Z braku liczących się zasobów ropy i gazu przemysł energetyczny musi opierać się zarówno na węglu kamiennym, jak i brunatnym.

Zapleczem surowcowym dla przemysłu energetycznego są zasoby udostępnianego obecnie pola Szczerców (zachodnia część złoża Bełchatów) oraz złoże Legnica.

Przydatność węgli brunatnych do spalania limituje wartość opałowa Q_i^r nie mniejsza niż 6,7 MJ/kg w przeliczeniu na stan roboczy (przy 50 % wilgoci W_t^t) oraz zawartość popiołu w stanie suchym A^d mniejsza lub co najwyżej równa 40 %. Są to według normy PN-91/G-97051/01 parametry podstawowe. Wymienione w normie parametry uzupełniające (zawartość siarki całkowitej S_t^d, zawartość piasku P^r, zawartość ksylitu włóknistego k_w i temperatura topnienia t_B) nie mają określonych wartości. Z petrograficznego punktu widzenia wszystkie litotypy węgli brunatnych, a szczególnie węgle detrytowe i detroksylitowe, które nie zawierają więcej jak 5 % ksylitu włóknistego nadają się do spalania – są to węgle energetyczne.

Jednakowoż od lat prowadzone są badania nad wykorzystaniem węgla brunatnego w rolnictwie, ogrodnictwie i ochronie środowiska (Kalembas i Tengler, 1992; Nowosielski,

1995; Maciejewska, 1996; Augustyn et al.,1997). Półbitumiczny węgiel ze złoża Kaławsk może być surowcem do otrzymywania wosków montanowych (Kaczmarska, Zin, Karabon, 1989; Volkmann i Szwed-Lorenz, 2002), a zmodyfikowany węgiel detrytowy może być dobrym absorbentem np. do odsiarczania gazów (Więckowska, 1994).

3. Petrologiczne zróżnicowanie węgli kamiennych

W odróżnieniu od węgli brunatnych, makroskopowa budowa węgli kamiennych ma mniejsze znaczenie dla oceny węgli w złożu i stanowi przede wszystkim wstępną ocenę do szczegółowych badań chemicznych i mikroskopowych. Tym nie mniej dostarcza ona nieraz cennych informacji o węglu *in situ*, pozwalających na określenie ich charakterystycznych cech. I tak, często spotykana w węglach górnośląskich dominacja węgla półbłyszczącego i stowarzyszonego z nim warstewkami węgla błyszczącego, pozwala wstępnie domniemywać, ze jest to węgiel aktywny technologicznie. Charakterystyczne dla górnośląskiej serii piaskowcowej, w tym szczególnie dla warstw siodłowych, grube nieraz warstwy węgla matowego w pokładzie, powodują dzięki swej twardości problemy z ich mechanicznym urabianiem. Widoczne gołym okiem w węglach krakowskiej serii piaskowcowej soczewki żywiczne i ławice makrospor, związane są z ich niskim stopniem uwęglenia. Warstwy sapropelu towarzyszące humusowym pokładom węgla świadczą o zmianach facjalnych zachodzących w trakcie formowania się tych pokładów. Są one również dobrymi horyzontami korelacyjnymi, podobnie jak znane z warstw łaziskich przerosty tonsteinów .Dlatego w miejscu pobrania próbki węgla do analiz chemicznych bądź petrograficznych, powinny być wykonane dokładne profile makroskopowe pokładu, w miarę możliwości od stropu do spągu.

Obserwacje makroskopowe stanowią punkt wyjścia do badań laboratoryjnych, zarówno fizykochemicznych, jak i petrograficznych. Należy podkreślić, że tylko kompleksowe badania chemiczne (obejmujące analizy techniczną i elementarną) i mikropetrograficzne, w miarę możliwości uzupełnione badaniami geochemicznymi i palinologicznymi, mogą przybliżyć pełny obraz rozwoju facjalnego i procesu uwęglania osadu organicznego jakim jest węgiel w pokładzie.

Współczesne klasyfikacje, w tym międzynarodowa Europejskiej Komisji Gospodarczej NZ (ECE, 1995) i przemysłowa kodyfikacja tejże Komisji, opierają się na parametrach petrograficznych, gdzie typ jest reprezentowany przez grupy macerałów, bądź zawartość

inertynitu, a głównym parametrem uwęglenia (rank) jest zdolność odbicia światła witrynitu (R_r).

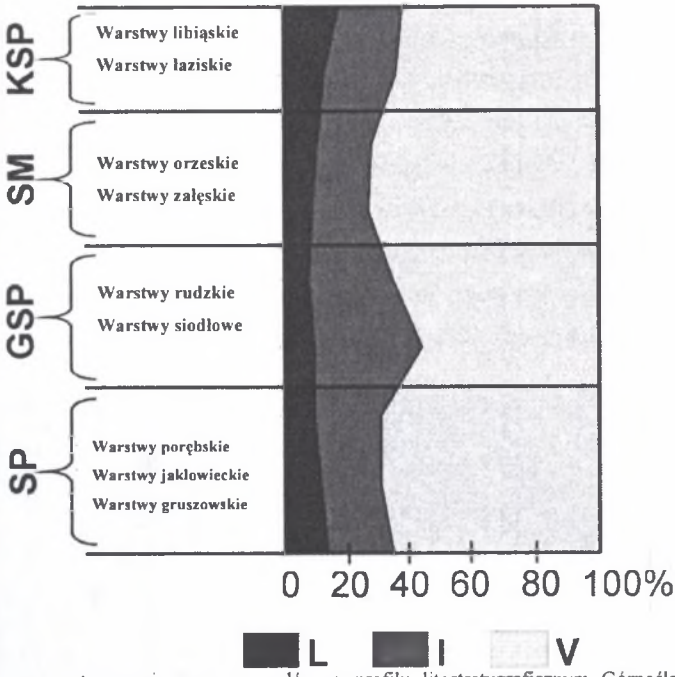
Aby jednak dokładniej określić cechy genetyczne badanego węgla i trafnie przewidzieć jego zachowanie się w określonych procesach technologicznych trzeba przeprowadzić szczegółowe analizy macerałowe w świetle białym i fluorescencji, poparte analizą mikrolitotypów. Pracochłonna, ale dostarczająca cennych informacji jest analiza kombinowana (Taylor et al, 1998).

3.1. Charakterystyka macerałów

Każda z grup składa się z macerałów o zbliżonych cechach fizykochemicznych, ale różniących się między sobą w sposób, który może wpłynąć na jakość konkretnego węgla. Charakterystyczne cechy poszczególnych macerałów w grupach przedstawiają się następująco:

Grupa witrynitu w nowym ujęciu systematycznym podzielona jest na trzy podgrupy: telowitrynit, składający się z macerałów telinitu i kolotelinitu (fot. 5), detrowitrynit (fot. 6), na który składają się witrodetrynit i kolodetrynit i w końcu żelowitrynit, w skład którego wchodzą korpożelinit i żelinit. Witrynit ma decydujące znaczenie dla jakości węgli z uwagi na ilościową dominację w przeważającej większości węgli karbońskich (rys. 4) występujących w polskich zagłębiach węglowych.

Pochodzi z rozłożonej tkanki pni, liści i korzeni zawierających ligninę i celulozę roślin zielnych i wielkich bylin karbońskich. Jest to najsilniej zżelifikowana grupa spośród wszystkich trzech grup macerałów i może występować w postaci czystego żelu (żelowitrynit), cechować się budową tkankową lub kryptotkankową (telowitrynit) lub występować w mniej lub bardziej zżelifikowanej formie detrytycznej (detrowitrynit). Zachowuje się reaktywnie we wszystkich procesach technologicznych. W stadium odpowiadającym drugiemu skokowi uwęglenia (0,9–1,3 % R_r) wykazuje zdolność przechodzenia w stan mezofazy, a następnie spiekania i formowania mozaiki koksowej, zwanej koksem metalurgicznym. W procesach spalania w różnych proporcjach może przechodzić do popiołów i żużli w formie koksików o kształtach cenosfer lub koronek, (Misz 2002) czy submikronowej ziarnistej masy. W procesach uwodorniania może przechodzić do residuum w postaci tzw. witroplastów, tj. uplastycznionych, porowatych ziaren, lub pojedynczych, albo wielokrotnych cenosfer, wreszcie bezpostaciowej ziarnistej masy.



Rys. 4. Ilościowe występowanie grup macerałów w profilu litostratygraficznym Górnośląskiego Zagłębia Węglowego: L – liptynit; I – inertynit; V – witrynit; SP – Seria Paraliczna; GSP – Górnośląska Seria Piaskowcowa; SM – Seria Mułowcowa; KSP – Krakowska Seria Piaskowcowa

Fig. 4. The quontitative distribution of maceral groups throughout the lithostratigraphic profile of the Upper Silesian coal measures: L – liptinite; I – inertinite; V – vitrinite; SP – Paralic Series; GSP – Upper Silesian Sandstone Series; SM – Mudstone Series; KSP – Krakow Sandstone Series

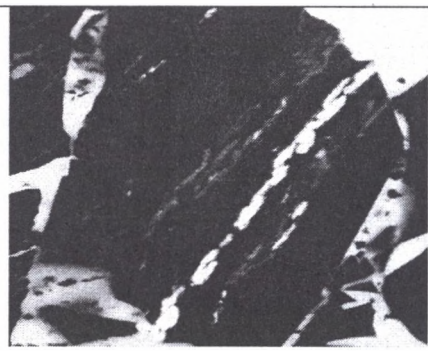
Obok macerałów znane są również formy występowania witrynitów związane z warunkami redukcyjnymi w środowisku ich powstawania (tzw. ciemny witrynit), bądź z warunkami utleniającymi w osadzie organicznym (pseudowitrynit).

Ciemny witrynit, charakteryzujący się ciemniejszą barwą i niższą refleksyjnością w porównaniu z typowymi macerałami tej grupy w tym samym pokładzie, jest głównym składnikiem węgli sapropelowych.

Pseudowitrynit pochodzi z tego samego materiału roślinnego jak witrynit. Najczęściej spotykany jest w postaci przypominającej kolotelinit, różni się jednak od niego występowaniem kontrakcyjnych szczelinek, świadczących o wysuszaniu materiału i wyższą refleksyjnością od kolotelinitu w tym samym pokładzie. W procesach spalania charakteryzuje się podwyższoną temperaturą zapłonu w stosunku do witrynitu. W koksowaniu, w zależności od intensywności refleksyjności, może zachowywać się reaktywnie, jednak jego reakcje na temperaturę są opóźnione w stosunku do typowego witrynitu, lub całkowicie inertny pozostając w koksie w stanie nie zmienionym.

Osobny problem stanowią węgle utlenione, w złożu, na składowiskach, lub w czasie transportu. Witrynity w tych węglach stają się semiinertne, a nawet inertne i tracą zdolność koksowania, a w warunkach spalania mają znacznie podwyższony stopień zapłonu. W zaawansowanym stadium w preparatach mikroskopowych występują formy zmylonityzowane i otoczki oksydacyjne. Wykrycie wczesnych stadiów utlenienia jest bardzo trudne. Jednymi z najczulszych metod okazały się analiza fluorescencyjna i pomiary mikroelastyczności witrynitu, za pomocą których można wykryć początki oksydacji już po upływie doby (Diessel, Mchugh, 1986, Kruszewska, du Cann,1996).

Fot. 5. Klaryt: liptodetrynit i fluorynit w kolodetrynicie. LZW,w. kumowskie, światło białe, pow. 500×
Phot. 5. Clarite:liptodetrinite and fluorinite in colodetrinite. Lublin Coel Basin, kumowskie member, magn. 500×



Fot. 6. Ten sam obraz we fluorescencji
Phot. 6. The same in fluorescence light

3.2. Grupa liptynitu

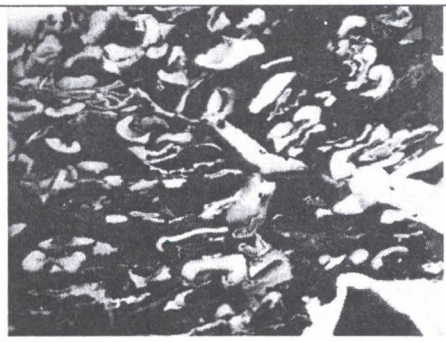
Liptynit jest drugą obok witrynitu grupą, reaktywną w procesach technologicznych. Spośród trzech grup macerałów ma najwyższą zawartość części lotnych i najwyższe ciepło spalania. Jest mniej licznie od witrynitu reprezentowany, tym nie mniej z uwagi na masową produkcję sporomorf przez rośliny karbońskie, udział tej grupy w węglach humusowych może dochodzić nawet do nawet do 18 %. Przeciętna zawartość liptynitu w profilu węgli górnośląskich wynosi 12 % (Kruszewska, Dybova,1997). Dominującym ilościowo macerałem w tej grupie jest sporynit (głównie mikrosporynit, fot. 7 i liptodetrynit), przy czym właściwa ocena ilościowego występowania tego ostatniego możliwa jest przy użyciu fluorescencji (fot. 8).Oba macerały rozproszone w klarycie, trimacerycie, także w durycie wzmagają reaktywność tych mikrolitotypów, podnosząc kaloryczność i wpływając na własności plastyczne oraz porowatość koksu. Cała grupa liptynitu zanika pod koniec drugiego skoku

uwęglenia, mniej więcej na poziomie 1,3–1,35 % R_r. W tym okresie traci wiązania alifatyczne, strukturalnie upodabnia się do witrynitu i staje się niewidoczna pod mikroskopem. Zjawisko to związane jest z gwałtowną redukcją części lotnych.

Pozostałe macerały (kutynit, rezynit, bituminit) w węglach humusowych występują najczęściej podrzędnie lub śladowo (eksudatynit, fluorynit). Bituminit w znacznych ilościach spotykany jest w węglach sapropelowych. Alginit masowo występuje w bogheadach, a kennelach i węglach humusowych spotykamy jest sporadycznie.

Należy w tym miejscu podkreślić znaczenie liptynitu jako czynnika wpływającego na wysokość ciepła spalania węgla. Przykładowo stosunkowo wysokie wartości ciepła spalania w nisko uwęglonych węglach z rejonu Jaworzna o refleksyjności witrynitu poniżej 0,5 % R_r, można tłumaczyć wyższą od przeciętnej zawartością liptynitu. Ma on duże znaczenie w koksowaniu z uwagi na ich wysoką plastyczność. Są głównym czynnikiem powodującym powstawanie por w masie koksowej. W sapropelach alginit i bituminit są bogatym źródłem najwyższej jakości węglowodorów płynnych, natomiast liptynit pochodzenia lądowego jest źródłem złóż gazu (kerogen III).

Fot. 7. Krassisporynit w durycie. LZW, w. komarowskie, światło białe, pow.500×
Phot. 7. Crassisporinite, in durite. Lublin Coal Basin, komarowskie member, white light, magn. 500×



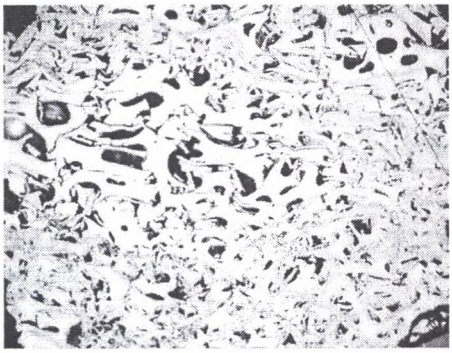
Fot. 8. To samo we fluorescencji
Phot. 8. The same in fluorescent light

3.3. Grupa inertynitu

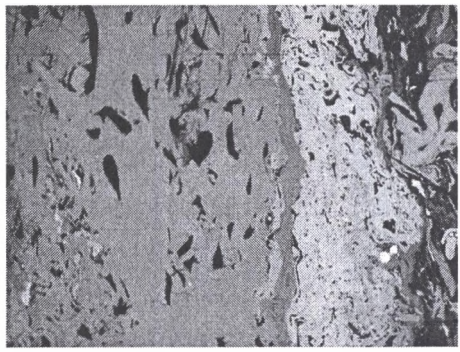
Grupa macerałów inertynitu należy ogólnie rzecz biorąc do negatywnych składników węgla, z punktu widzenia jego zachowania w procesach technologicznych. Problem jest jednak bardziej złożony i zależy od różnorodnych czynników wpływających się na powstawanie i przeobrażanie osadu organicznego w pokład węgla współcześnie eksploatowany. Z definicji, wszystkie macerały tej grupy mają wyższą refleksyjność,

jaśniejszą barwę i relief od pozostałych grup macerałów, natomiast ich zdolność fluorescencji jest najniższa lub zerowa. Charakterystyka poszczególnych macerałów z uwagi na ich aktywność w procesach przetwórstwa węgla przedstawia się następująco:

Najbardziej inertnym spośród wszystkich macerałów jest fuzynit regularnie występujący w pokładach węgla w ilości rzadko przekraczającej 2 % warunki tak ekstremalne. Fuzynit nie poddaje się koksowaniu i w stanie nie zmienionym przechodzi do koksu, nie poddaje się procesom spalania, uwodorniania, a także jest niepożądanym składnikiem antracytów stanowiących surowiec do produkcji elektrod (informacja własna). Semifuzynit (fot. 9) jest najliczniej reprezentowanym macerałem inertynitowym w węglach humusowych i w związku z tym może mieć duży wpływ na zachowanie się węgla w procesach technologicznych, szczególnie w przypadkach, gdy w grę wchodzi węgiel bogaty w inertynit. Jego charakterystyczną cechą jest szeroki zakres intensywności oksydacji różnorodnych jego form w tym samym węglu. W latach osiemdziesiątych, udowodniono że część semifuzynitu o niższej refleksyjności, ulega skoksowaniu i w końcowym efekcie współtworzy z witrynitem koks metalurgiczny (Diessel,1982, 1983 1986, Diessel, McHugh,1986, Diessel, Wolff-Fischer,1986, Kruszewska, 1989, 1990 i inni), lub występuje w formie odkształconych (uplastycznionych) ziaren, zwykle anizotropowych, o rozpoznawalnej strukturze komórkowej. Funginit i sekretynit występują zwykle akcesorycznie, a makrynit znaczniejszy udział osiąga w węglach bogatych w duryty. Mikrynit jest macerałem należącym wprawdzie do grupy inertynitu, ale jego geneza związana jest z macerałami liptynitowymi jak bituminit, a także materiałem lipidowym pochodzenia bakteryjnego (Taylor et al., 1998). W odróżnieniu od pozostałych macerałów grupy inertynitu, ulega on całkowitemu spalaniu, bierze też czynny udział w koksowaniu i uwodornianiu. Inertodetrynit składa się z detrytycznych fragmentów różnych macerałów inertynitu, w znacznej mierze z pokruszonego pustokomórkowego fuzynitu i semifuzynitu. W związku z tym poszczególne jego fragmenty mogą mieć niską do bardzo wysokiej refleksyjność. Fragmenty o niższej refleksyjności ulegają procesom koksowania, spalania i uwodorniania, natomiast te o refleksyjności wysokiej przechodzą w stanie nie zmienionym do produktów (koks), lub odpadów po tych procesach (popioły i żużle).W popiołach i żużlach okruchy inertne mogą wejść w skład ścianek cenosfer (Smołka-Danielowska, Misz 2002), lub plastrów miodu, lub występować indywidualnie. W koksach zostają otoczone mozaiką koksową tworząc formy przypominające strukturę betonu i wpływając dodatnio na twardość koksu. Spełniają więc pozytywną rolę w procesach formowania się koksu.



Fot. 9. Inertny semifuzynit w fuzycie. LZW, w. kumowskie, światło białe, pow. 500×
Phot. 9. Inert semifusinite in fusite. Lublin Coal Basin, Kumowskie member, wihte light, magn. 500×



Fot. 10. Reaktywny semifuzynit w fuzycie. LZW, w.kumowskie, światło białe, pow. 500×
Phot. 10. Reactive semifusinite i fusite. Lublin Coal Basin, White light, magn. 500×

3.4. Mikrolitotypy

Macerały grupują się mikrolitotypach mono-, bi- i trimaceralnych i w zależności od składu maceralnego mikrolitotypu zależy jego zdolność reagowania na działanie ciśnienia, lub temperatury, czy czynników chemicznych w procesach przemysłowych.

Spośród mikrolitotypów monomaceralnych najważniejsze są: występujący zwykle w znaczących ilościach, reaktywny witryt (fot. 5) , najczęściej w postaci kolotelinitu, oraz inertyt (fot. 7), na który składają się przede wszystkim masywne soczewki i warstewki semifuzynitu.. Liptyt występuje na ogół w ilościach śladowych, w postaci masywnych megaspor, sporangiów lub soczewek rezynitu. Mikrolitotypy bimaceralne to przede wszystkim najbardziej reaktywny składnik mikroskopowy węgla – klaryt, czyli połączenie detrokolinitu z tkwiącymi w nim ziarnami macerałów liptynitowych. Występuje regularnie w węglach błyszczących i półbłyszczących. Duryty (fot.7) mają zróżnicowaną reaktywność z uwagi na ich pochodzenie. Szare duryty zawierają niewielkie ilości liptynitu, najczęściej tenuisporynitu i własnościami są zbliżone do inertytu, natomiast ciemne duryty zawierają zwykle masowo występujące crassispory, co łagodzi ich inertne własności. W żużlach i popiołach elektrownianych występują w postaci plastrów miodu, a w koksach metalurgicznych charakteryzują się obecnością niewielkiej wielkości por. Witrynertyty mogą zawierać występujące w masie kolodetrynitowej mikrynitowe smużki lub wypełnienia komórek lub rozsiane ziarna inertodetrynitu. Wraz z mikrynitem stanowią formę reaktywną, a w połączeniu z inertodetrynitem wpływają dodatnio na twardość koksu. Trimaceryt może występować jako klaroduryt, duroklaryt, rzadko jako witrynertoliptyt. Duroklaryt i witrynertoliptyt mają charakter odpowiednio reaktywny i bardzo reaktywny w koksowaniu

i spalaniu, natomiast klaroduryt zawierający inertodetrynit może oddziaływać pozytywnie na twardość koksu.

Reasumując, uszeregowanie znaczących ilościowo mikrolitotypów z uwagi na ich przydatność w koksowaniu oraz innych procesach przetwórczych przedstawia się następująco:

Klaryt – witryt – duroklaryt – klaroduryt – witrynertyt – duryt – inertyt.

Liptyt i witrynertoliptyt występują najczęściej w ilościach śladowych, w związku z czym nie zostały uwzględnione.

3.5. Materia mineralna i karbomineryt

Materia mineralna w węglu zachowuje się w większości wypadków inertnie i w związku z tym uważana jest za niepożądaną. Najczęściej występujące grupy minerałów syn- i epigenetycze w węglu to iły, siarczki, węglany i kwarc. Iły z których najczęściej spotykane są kaolinity, illity i montmorillonity stanowią 60–80 % całej materii organicznej w węglu i w znacznej mierze są syngenetyczne, co utrudnia ich oddzielenie w procesach wzbogacania. Najpospolitszym siarczkiem w węglach jest piryt. Piryt epigenetyczny jest stosunkowo łatwy do usunięcia mechanicznie, lub metodami grawitacyjnymi z węgla, natomiast piryt syngenetyczny, który jest integralnie związany z materią organiczną, nastręcza wiele trudności przy separacji. Powoduje on korozję ścian kotłów energetycznych, wchodząc w związki z ziemiami alkalicznymi, a powstały w wyniku jego rozkładu dwutlenek siarki przechodząc do atmosfery zanieczyszcza środowisko. Ma on natomiast pozytywne znaczenie w procesach uwodorniania węgla, w których pełni rolę katalizatora. Węglany występują nieco rzadziej niż poprzednio wspomniane minerały, często w postaci epigenetycznych wypełnień kalcytem lub ankerytem szczelin i spękań w pokładzie (tzw. strzałki kalcytowe). W wyniku działania temperatury węglany ulatniają się i stanowią nieorganiczną frakcję uwolnionych trakcie spalania części lotnych z węgla. Tlenek krzemu występuje często w postaci klastycznego kwarcu, który dostał się do osadu w fazie biochemicznej, lub epigenetycznej formie drobno- lub kryptokrystalicznej powstałej na skutek wytrącania się roztworów krążących w pokładzie. Jego udział w pyle kopalnianym może powodować pylicę. Syngenetyczne formy wyżej wspomnianych minerałów występują w mikrolitotypach tworząc karbomineryt, karbargilitu, (bez pirytu) lub w ilości 5–20 % jako karbankerytu, karbosilicytu i karbopoliminerytu i karbopirytu.

4. Podsumowanie i wnioski

Jak z powyższej dyskusji wynika, petrograficzne cechy węgli, wynikające z ich genezy i stopnia uwęglenia, a także utleniania *in situ* i na powierzchni, są ogromnie zróżnicowane, znacznie bardziej niż by to wynikało, z konieczności uproszczonych parametrów klasyfikacyjnych. Obok parametrów podstawowych, jak refleksyjność witrynitu i zawartość inertynitu, mamy następujące cechy istotne zarówno z punktu widzenia problematyki naukowej jak i czysto utylitarnej:

- makroskopowe cechy (litotypy) węgli: a. brunatnych – dostarczają informacji ważnych dla spalania i brykietowania; b. kamiennych – dostarczają informacji o urabialności węgli bogatych w duryny
- mikrolitotypy mają uzupełniające zastosowanie w ocenie reaktywności węgla w procesach technologicznych
- reaktywność części inertynitu w węglach kamiennych ma znaczenie w koksowaniu, i uwodornianiu, w mniejszym stopniu w spalaniu
- podział liptynitu na: gazonośny – a. terrygeniczny: sporynit, kutynit, fluorynit, rezynit suberynit, liptodetrynit i – b. roponośny: podwodny (lipidowy) alginit, bituminit, liptodetrynit i pochodzący z nich exsudatynit
- symptomy świadczące o utlenieniu (zwietrzeniu) węgla w badanej próbce, jak mylonityzacja ziaren węglowych i obecność pierścieni oksydacyjnych w obrazie mikroskopowym, świadczą o zaawansowanym stopniu zwietrzenia węgla. Pierwsze symptomy zwietrzenia wykrywalne są za pomocą pomiarów fluorescencji i elastyczności witrynitów.
- macerały detrytyczne: atrynit i densynit w węglach brunatnych mają doskonałe parametry spalania i uwodorniania, także podnoszą zdolność brykietowania, mogą być również dobrym absorbentem w procesach odsiarczania gazów; w węglach kamiennych witrodetrynit, kolodetrynit, liptodetrynit, inertodetrynit, mają pozytywny wpływ na procesy koksowania, także spalania i uwodorniania.

Praktyczne zastosowanie petrologii węgli brunatnych ma jak dotychczas stosunkowo ograniczony zakres, jednak potencjał gospodarczy tego surowca wychodzi zdecydowanie poza tradycyjne ramy energetyki i należy przypuszczać ze w niedalekiej przyszłości okażą się również przydatne w zastosowaniu tych węgli, w takich dziedzinach, jak rolnictwo, ogrodnictwo, czy ochrona środowiska.

Zastosowanie petrologii węgli kamiennych tradycyjnie jest największe w przemyśle koksowniczym, także elektrodowym, przeróbce mechanicznej, górnictwie, uwodornianiu, w mniejszym stopniu w energetyce. Współcześnie coraz większe znaczenie dla mają badania petrograficzne produktów (koks) i odpadów po przemysłowych jak hałdy przy kopalniach, popioły uchwycone w filtrach elektrowni, także popioły lotne, żużle z kotłów energetycznych itp.

Dla pełnego wykorzystania zasobów węgla, a także do właściwego wykorzystania ich odpadów, wymienione obszary powinny uwzględniać w programach dyskutowane powyżej cechy węgli i nowoczesną metodykę badawczą pozwalającą na optymalne rozwiązywanie związanych z węglem problemów.

LITERATURA

1. Augustyn D., Poznański W., Drozdowska B.: Własności trzeciorzędowych węgli brunatnych w aspekcie ich wykorzystania dla celów rolniczych i ochrony środowiska. Mat.II Konf. Technologii Chemicznej. Polit. Wr. 1997.
2. Diessel C. F. K.,: On the reactivity on inertinite macerals in coal during carbonization. Univ. of Newcastle Dep. Geol. Res. Rep. No.1,1982.
3. Diessel C. F. K.: Carbonization reactions of inertinite macerals in Australian coals. Fuel, 52, 883 – 892, 1983.
4. Diessel C. F. K.: Fusible and non-fusible components of coal. Proc.Australian Coal Science Conference, 2 , Newcastle , 1, 327 – 332.1986a.
5. Diessel C. F. K., McHugh E. A.: Fluoreszensintensität und Reflexionsvermögen von Vitriniten und Inertiniten zur Kennenzeichnung des Verkokungsverhaltens. Glückauf Forsch.-H., 47, 60 –70, 1986b.
6. Diessel C. F. K., Wolff – Fischer E.: Vergleichsuntersuchungen an Kohlen und Koksen zur Frage der Inertinitreaktivität. Glückauf Forsch.-H, 47, 203 – 211, 1986c.
7. Kaczmarska H., Zin A., Karabon B.: Badania przydatności węgla brunatnego ze złoża Kaławsk do otrzymywania wosku montanowego o odpowiednim składzie. Koks, Smoła, nr 3. 1989.
8. Kalembasa S., Tengler S.: Wykorzystanie węgla brunatnego w nawożeniu. Wyd. WSPR. Monografia nr 21, Siedlce, 1992.
9. Kruszewska K. J.: The use of reflectance to determine maceral composition and the reactive – inert ratio of coal components., Fuel, 68, 753 – 757, 1989.
10. Kruszewska K. J., du Cann V. M.: Detection of the incipient oxidation of coal by petrographic techniques., Fuel, 75, 769 – 774, 1996.
11. Kruszewska K., Dybova-Jachowicz S.: Zarys petrologii węgla. Wyd. Uniwersytetu Śl. 1997.
12. Maciejewska A.: Analiza przydatności i kierunki wykorzystania węgla brunatnego w rolnictwie i ochronie środowiska. Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wr.. nr 79, Konferencje nr 19.

13. Majewski S.: Praktyczne aspekty budowy petrograficznej węgla brunatnego na przykładzie wybranych złóż Polski. Kwart. AGH, Geologia, t.7, z.2, 1981.
14. Misz M.: Morfological forms of chars in slag and fly ash from the Będzin Power Station, Upper Siesia, Poland. Proc. of the IV European Coal Conference; Polish Geological Institute Special Papers, 7, 189 – 198, 2002
15. Rasher J., Seifert A.: Makropetrographische Untersuchungen an Weichbraunkohlen und ihre Bedeutung für die Praxis. Z. angew. Geol.,26 (12), 1980.
16. Szwed-Lorenz J.: Petrologiczna ocena polskich miękkich węgli brunatnych jako surowca do wielokierunkowego wykorzystania. Pr. Nauk. Inst.Górn. Polit. Wr., nr 63, Monografie nr 29.
17. Szwed-Lorenz J.: Węgiel brykietowy w świetle badań petrograficznych. I Międzynarod. Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego, Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wr. Nr 74, Konf. Nr 16, 1994.
18. Szwed-Lorenz J.: Studium zmienności petrologicznej II dolomioceńskiego pokładu węglowego w Polsce. Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wr. Nr 94, Seria Monografie nr 36, 2001.
19. Smołka-Danielowska D., Misz M.: Composition and morphology of organic and mineral matter in fly ash derived from bituminous coal combusted in the Będzin Power Station (Poland). Proc. of the IV European Coal Conf.; Poland Geological Institue Special Papers, 7, 237 – 244. 2002.
20. Taylor G. H.,Teichmüller M., Davis A., Diesel C. K. F., Littke R., Robert P.: Organic Petrology. Gebr.Borntraeger. Berlin, Stuttgart, 1998.
21. Wagner M.: Średnia zdolność refleksyjna i jej zastosowanie w niektórych zagadnieniach oceny stopnia uwęglenia. XVI Sympozjum Geologia formacji węglonośnych Polski, AGH. Kraków 1993.
22. Wagner M., : Brunatny węgiel bitumiczny ze złóż Turów i Bełchatów w świetle badań petrograficzno-chemicznych i sedymentologicznych. Wyd. Centrum PPGSMiE, Kraków 1996.
23. Więckowska J.: Katalityczno-adsorbcyjne odsiarczanie gazów. Wyd. Polit. Wr. 1994.
24. Volkmann N., Szwed-Lorenz J.: Zur petrologischen und rohstofflischen Charakteristik der miozönen Weichbraunkohlen von Kalawsk in Südwestpolen. Glückauf Forsch.-H nr 3 (2002).

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl