



Zbigniew MIRKOWSKI\*, Iwona JELONEK\*,  
Barbara BIERUT\*\*

### ***Analiza porównawcza ekogroszków węglowych z KWK Kazimierz–Juliusz i ZP Juliusz w świetle wyników badań fizykochemicznych i petrograficznych***

Streszczenie: Węglowe paliwo kwalifikowane czyli ekogroszek to stosunkowo nowy produkt skierowany głównie do odbiorców indywidualnych, a jego pojawienie się jest związane z wprowadzeniem kotłów niskoemisyjnych z paleniskiem retortowym.

Porównując najważniejsze cechy jakościowe ekogroszków można stwierdzić, iż w zakresie zawartości popiołu i siarki nieco lepiej prezentuje się produkt z kopalni Kazimierz–Juliusz. Natomiast pod względem kaloryczności lepsze parametry ma Ekoret z ZP Juliusz, który jednocześnie odznacza się większą spiekalnością, co może pogarszać efektywność spalania ekogroszku w palenisku retortowym.

Wyniki badań petrograficznych potwierdzają znaczne zróżnicowanie opisywanych węgla. W groszku EcoKazimierz w równych proporcjach występują macerały grupy wityrnytu i inertynitu, przy stosunkowo wysokim udziale liptynitu. Wysoki udział macerałów reaktywnych (wityrnytu i liptynitu) korzystnie wpływa na proces spalania. W Ekorecie natomiast spotykamy się z zaskakująco wysoką (pow. 51%) zawartością inertynitu. Tak wysoka zawartość macerałów inertnych negatywnie wpływa na proces spalania obniżając sprawność kotłów.

Słowa kluczowe: macerały węgla, niespalona materia organiczna, palenisko retortowe, efektywność spalania

### ***Comparative analysis of qualified steam coal from Kazimierz–Juliusz Coal Mine and Juliusz Plant on the basis of physicochemical and petrographic studies***

Abstract: Qualified steam coal called 'ekogroszek' is relatively a new product targeted mainly to residential customers. Its marketability was connected with the increase in the sales of low-emission stoker boilers.

The comparison of the most important quantitative features of 'ekogroszek' shows that the product from Kazimierz–Juliusz Coal Mine is slightly better in terms of ash and sulphur contents, whereas 'Ekoret' from

\* Dr, \*\* Mgr, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski.

Juliusz Plant is better in respect of the calorific value. However, 'Ekoret' has higher coking properties and this may worsen the combustion efficiency in a stoker boiler.

The results of petrographic studies confirm the significant differentiation between the two products. 'EcoKazimierz groszek' includes macerals of vitrinite and inertinite at the relatively high participation of liptinite. However the participation of reactive macerals such as vitrinite and liptinite has a positive influence on the combustion process, whereas 'Ekoret', which shows surprisingly high (over 51%) content of inertinite, can have a negative effect on the thermal efficiency of boilers during the combustion.

Key words: macerals of coal, unburnt organic materials, stocker boiler, efficiency of combustion

## **Wprowadzenie**

Polska należy do krajów, gdzie wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej związane jest głównie z wykorzystaniem węgla kamiennego, a dotyczy to nie tylko energetyki zawodowej, ale także gospodarstw domowych. Odbiorcy indywidualni do celów grzewczych zużywają rocznie ponad 8 mln t węgla kamiennego, który w większości spalany jest w tradycyjnych rusztowych kotłach. Jednak w trakcie ostatniej dekady na rynku ogrzewania dokonana się swoista rewolucja, polegająca na pojawieniu się i dynamicznym rozwoju nowych, wydajnych technologii spalania węgla. Oprócz znaczącej poprawy sprawności cieplnej kotłów (powyżej 80%) technologie te umożliwiają również ograniczenie wielkości emisji (Matuszek 2006), a także automatyczną i prawie bezobsługową pracę urządzeń.

Jedną z najlepiej rozwijających się w Polsce technologii jest spalanie węgla w palenisku retortowym. Stosowanie tych urządzeń wymaga niestety zastosowania specjalnie wyselekcjonowanego paliwa o określonych parametrach – tzw. ekogroszku. Jak sama nazwa wskazuje paliwo to musi mieć ściśle określoną granulację oraz odznaczać się niską zawartością popiołu i siarki. Sektor górnictwa węgla kamiennego, skupiający się do tej pory wyłącznie na odbiorcach masowych, dostrzegł pojawienie się nowego rynku zbytu i dostosował technologicznie zakłady przerobcze do możliwości produkcji ekogroszków. Pomimo, iż ekogroszek stanowi pod względem ilościowym niejednokrotnie znikomą część produkcji kopalni, to jest to rekompensowane wysoką ceną wytworzonego produktu. Obecnie ekogroszek jest zdecydowanie najdroższym i najbardziej poszukiwanym sortymentem energetycznego węgla kamiennego na rynku polskim.

### **1. Charakterystyka rynku węglowych paliw kwalifikowanych**

Wraz z pojawieniem się w Polsce niskoemisyjnych kotłów z paleniskiem retortowym otworzył się rynek dla nowych wyselekcjonowanych produktów węglowych ukierunkowanych na klienta indywidualnego. Jednymi z prekursorów produkcji ekogroszku byli: Katowicki Węgiel Sp. z o.o. oraz Kopalnia Kazimierz–Juliusz. Spółka Katowicki Węgiel, związana z Katowickim Holdingiem Węglowym S.A., wytwarza w Zakładzie Produkcyjnym Julisz paliwa kwalifikowane o nazwie Ekoret i Ekofins (Gajos i in. 2009). Ekoret powstaje jako mieszanka węgla dostarczanych z kopalń KHW S.A. oraz węgla innych producentów. Natomiast Ekofins jest produktem drobnoziarnistym, powstającym z odsiewki przy produkcji Ekoretu, a przeznaczonym do kotłów miałowych. Kopalnia Kazimierz–Juliusz wytwarza natomiast na bazie własnego, dobrego jakościowo węgla, produkt o nazwie groszek

EcoKazimierz. Obecnie głównym producentem ekogroszku jest Kompania Węglowa S.A. (KW S.A.), która wytwarza pięć certyfikowanych paliw węglowych. W aktualnej ofercie KW S.A. znajduje się ekogroszek o nazwie Pieklorz wytwarzany przez ZG Piekary, KWK Bobrek–Centrum i KWK Chwałowice, ekogroszek Retopal wytwarzany w KWK Piast oraz ekogroszek Boruta z KWK Jankowice (Miśka i in. 2007). Boruta stanowi specyficzne paliwo o wysokiej kaloryczności i niestety również wysokiej spiekalności, a w związku z tym nie nadaje się do typowych kotłów retortowych, lecz stosowane może być wyłącznie w kotłach nowej generacji umożliwiających spalanie węgla wysokowęglonych (Huzarewicz 2008). Rozwój oferty paliw kwalifikowanych KW S.A. oraz wzrost ich produkcji przypadł na okres dynamicznego rozwoju rynku kotłów retortowych w Polsce. Szczyt popytu na ekogroszek zanotowano w sezonie grzewczym 2006/07, kiedy to po raz pierwszy wystąpiły niedobory kwalifikowanych paliw na rynku. Efektem tej krótkiej paniki na rynku był spadek sprzedaży kotłów retortowych w kolejnych latach i pojawienie się nieco gorszych pod względem emisji i sprawności kotłów przeznaczonych do spalania miałów węglowych. Ten okresowo wzmożony popyt na ekogroszek wpłynął również na pojawienie się nowych producentów paliw kwalifikowanych. W ostatnim okresie Południowy Koncern Węglowy S.A. do swojej oferty handlowej włączył również paliwa kwalifikowane pod nazwą Jaret i Jaret Plus o podwyższonej kaloryczności ([www.pkwsa.pl](http://www.pkwsa.pl)). Jednak wytwarzanie tych ekogroszków odbywa się w autoryzowanych składach węglowych na bazie wyselekcjonowanego węgla z kopalń PKW S.A., a w przypadku produktu Jaret Plus – z domieszką wysokokalorycznego węgla od innych producentów. Ten sposób produkcji stosuje obecnie wielu wytwórców, którzy na własnych składach węglowych tworzą mieszanki z dostępnych groszków. Niestety, zdarza się, iż parametry uzyskanych w ten sposób paliw odbiegają jakościowo od zalecanych przez producentów kotłów. Problem ten wynika częściowo z braku obowiązujących norm dla ekogroszków. W nielicznych przypadkach producenci stosują nieco bardziej zaawansowaną technologię polegającą na kruszeniu i sortowaniu węgla, a następnie komponowaniu mieszanki groszków dla uzyskania zalecanych parametrów jakościowych końcowego produktu. Uzyskane ekogroszki niejednokrotnie posiadają zastrzeżoną nazwę handlową oraz posiadają stosowne certyfikaty ([www.resover.eu](http://www.resover.eu)). Niedobory niespiekających się węgla o małej zawartości siarki i popiołu na polskim rynku sprawiły, że wytwórcy ekogroszków na składach węglowych powszechnie wykorzystują jako komponent mieszanki węgiel importowany z Rosji. Dla wygody odbiorców większość producentów ekogroszku oprócz dystrybucji węgla luzem stosuje również sprzedaż w poręcznych workach po 20 lub 25 kg. Według szacunków roczna produkcja ekogroszku w Polsce przekracza 1 mln Mg.

## **2. Technologia produkcji groszku EcoKazimierz i Ekoretu**

Kopalnia Kazimierz–Juliusz obecnie eksploatuje tylko jeden pokład węgla kamiennego (pokład 510), charakteryzujący się znaczną miąższością oraz bardzo dobrymi parametrami jakościowymi (Mirkowski 2005). Urobek wydobyty z szybu K-II kierowany jest bezpośrednio na przenośniki taśmowe, a następnie na przesiewacz, gdzie zostaje wstępnie rozdzielony na dwie klasy ziarnowe. Klasa powyżej 200 mm kierowana jest na taśmę przebiegającą w celu oddzielenia ciał obcych od urobku. Natomiast klasa ziarnowa poniżej 200 mm ulega pokruszeniu w kruszarkach szczękowych. Po połączeniu obu klas ziarno-

wych, cały urobek kierowany jest ponownie na przesiewacze, gdzie następuje oddzielenie klasy miałowej, która kierowana jest do zbiornika miałowego lub bezpośrednio na zwał węgla. Reszta urobku kierowana są do wzbogacalnika DISA, gdzie następuje grawitacyjne rozdzielanie ziarn węgla i skały płonnej na zasadzie różnicy prędkości opadania w cieczy ciężkiej z użyciem zawiesziny magnetytu. Uzyskany koncentrat zostaje odwodniony na przesiewaczach odwadniających (sita średnicy 14–200 mm). W dalszej kolejności następuje rozklasyfikowanie na sortymenty handlowe na przesiewaczu rezonansowym typu CDR. Następnie zsuwami węgiel trafia do właściwych zbiorników koncentratu, na zwał lub od razu jest ładowany na środki transportu. Wielkość ziaren uzyskanego groszku EcoKazimierz zawiera się w przedziale od 8 do 24 mm.

Odwodnione odpady powstające w procesie wzbogacania są wywożone na hałdy i wykorzystywane do rekultywacji. Natomiast zanieczyszczona woda z procesu wzbogacania kierowana jest do rząpi i odmulnika promieniowego Dorr'a, gdzie następuje jej sklarowanie. Oczyszczona woda ponownie wykorzystywana jest do procesów technologicznych w kopalni.

Całkowicie odmienny proces technologiczny stosowany jest przy produkcji Ekoretu, który powstaje jako mieszanka węgla pochodzących od różnych dostawców. Zakład Produkcyjny Juliusz do niedawna wykorzystywał prawie wyłącznie węgle pochodzące z kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego S.A., jednak niedobory węgla o odpowiednich parametrach spowodowały, że obecnie wykorzystuje węgle od innych producentów, w tym również z importu. ZP Juliusz nie prowadzi wzbogacania węgla, a zatem istotne jest, aby nabywany węgiel charakteryzował się stosunkowo dobrymi cechami jakościowymi. Jeżeli zakupiony węgiel zawiera się w klasie ziarnowej groszku, może zostać bezpośrednio użyty do produkcji ekogroszku. Jeżeli natomiast występuje w wyższych klasach ziarnowych poddawany jest kruszeniu i klasyfikacji w celu uzyskania odpowiedniej frakcji. Proces ten odbywa się głównie z użyciem mobilnych zestawów kruszarek i przesiewaczy.

W celu wyprodukowania zadanej partii Ekoretu należy dokonać kalkulacji parametrów jakościowych w programie komputerowym. Kalkulację wykonuje się na podstawie minimalnych wartości opałowych, maksymalnych zawartości popiołu, wilgoci całkowitej i siarki w stanie roboczym oraz spiekalności. Zwykle do komponowania mieszanki stosuje się węgle od 3–4 dostawców. Program oblicza potrzebną ilość poszczególnych węgla do uzyskania mieszanki o określonych parametrach jakościowych, uwzględniając jednocześnie część węgla, która zostanie oddzielona w postaci odsiewki. Niezwykle istotnym elementem w programie jest kalkulacja cenowa, która po uwzględnieniu kosztów zakupu poszczególnych węgla musi być odpowiednio niższa od ceny rynkowej finalnego produktu. W dalszej kolejności pobiera się z placu składowego zadane ilości węgla, który następnie jest mieszany i przesiewany do uzyskania wymaganej dla Ekoretu granulacji. Powstała jako produkt uboczny odsiewka jest mieszana w odpowiedniej proporcji z miałem węglowym i stanowi kwalifikowany produkt o nazwie Ekofins. Uzyskany Ekoret sprzedawany jest luzem lub w 25 kg workach.

### **3. Metodyka badań**

Próbki węgla do badań pobrano z wybranych partii ekogroszku, w przypadku Ekoretu z węgla workowanego, a w przypadku groszku EcoKazimierz z węgla dostarczonego luzem.

Następnie węgle zostały poddane spalaniu w atestowanym kotle Eco-Primus z paleniskiem retortowym. Kolejne próbki do badań w postaci koksiku (niedopalonego, wyprażonego węgla) zostały pobrane już w trakcie spalania z wierzchniej warstwy retorty. Popioły powstałe ze spalania ekogroszków pobrano tak, aby uzyskać wszystkie ich frakcje. Z popielnika poniżej paleniska pobrano popiół denny oraz żużel. Natomiast próbki popiołu lotnego zostały zebrane z elementów górnej części kotła. Próbki groszków węglowych, koksików i popiołów posłużyły następnie do wykonania preparatów na bazie żywicy epoksydowej. Po stwardnieniu preparaty poddano szlifowaniu, a następnie polerowaniu w celu uzyskania zglądów.

Analizę petrograficzną wykonano na mikroskopie AXIOPLAN 2 firmy ZEISS i dostawanym stoliku integracyjnym firmy SWIFT. Zastosowano metodę imersji olejowej i obiektyw imersyjny o powiększeniu 50x. Analizę składu macerałowego węgla przeprowadzono na wypolerowanej powierzchni przygotowanych zglądów ziarnowych, każdorazowo w 500 punktach wyznaczonych w miejscu przecięcia się nitek krzyża umieszczonego w okularze. Linie pomiarowe rozmieszczono równomiernie na całej powierzchni zglądu. Na zglądach zostały także wykonane pomiary zdolności odbicia światła na witrynicie. Analizę wykonywano w 100 punktach, stosując filtr interferencyjny o długości fali = 546 nm.

Do wykonania analizy niespalonej materii organicznej w koksikach i popiołach użyto również mikroskopu AXIOPLAN 2 firmy ZEISS. Analiza została wykonana każdorazowo w 500 punktach wyznaczonych poprzez przecięcie się krzyża nitek umieszczonego w okularze. W badanych próbkach określono ilość i rodzaj form morfologicznych niespalonej materii organicznej oraz ilość substancji mineralnej.

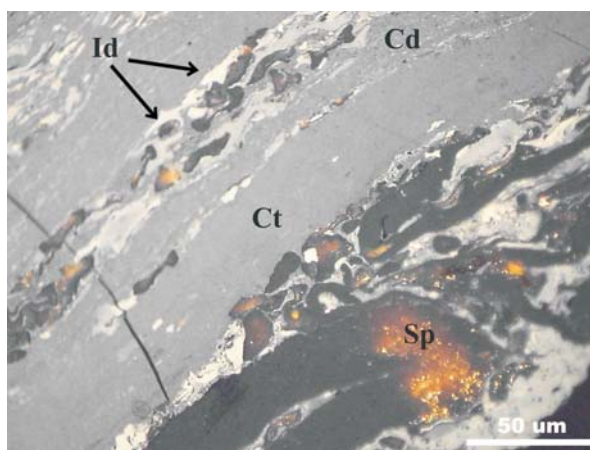
#### **4. Charakterystyka fizykochemiczna i petrograficzna ekogroszków**

Oznaczanie parametrów jakościowych badanych ekogroszków przeprowadzane jest na bieżąco w trakcie produkcji przy użyciu analizatorów Wilpo. Urządzenia te dają możliwość bardzo szybkiego uzyskania wyników, jednak oznaczenia dotyczą tylko kilku najważniejszych parametrów i nie są zbyt dokładne. W związku z tym zakłady okresowo zlecają wykonanie pełnych, dokładnych analiz certyfikowanym laboratoriom.

Zdecydowanie najważniejsze parametry jakościowe dla węgla energetycznego to wartość opałowa, zawartość popiołu i siarki oraz w nieco mniejszym stopniu zawartość wilgoci. Groszek EcoKazmierz jest wytwarzany z bardzo dobrego jakościowo węgla, który dodatkowo poddawany jest jeszcze wzbogacaniu, a zatem jego parametry w zakresie zawartości popiołu (śr. 3,5%) i siarki (0,4%) są bardzo dobre. Jest to jednak węgiel słabo uwęglony, a zatem ma nieco więcej wilgoci (ok. 16%) i niestety słabszą kaloryczność (wartość opałowa rzędu 24,5 MJ/kg). Ze względu na pochodzenie węgla z jednego pokładu parametry te są dość stałe, co również koryguje proces wzbogacania. W przypadku Ekoretu ZP Juliusz korzysta z węgla o zróżnicowanych parametrach jakościowych, a zatem również produkt końcowy może charakteryzować się wahaniami jakości. Proces produkcyjny jest jednak prowadzony tak, aby parametry jakości Ekoretu mieściły się w ramach zadeklarowanych wartości, czyli zawartości siarki poniżej 0,6%, zawartości popiołu w zakresie 4–9%, zawartości wilgoci około 12% oraz wartości opałowej co najmniej 26 MJ/kg. Wysoka wartość opałowa Ekoretu jest uzyskiwana poprzez dodatek węgla wysoko uwęglonego, co powoduje

jednocześnie wzrost spiekalności, która może osiągać wartość 10. Rola spiekalności w procesach spalania na ogół nie była uważana za zbyt istotną, natomiast w przypadku palenisk retortowych może w znaczący sposób wpływać na sprawność kotła (Zawistowski, Janiszewski 2010). Dlatego w tym ujęciu zdecydowanie korzystniej wygląda groszek EcoKazimierz, którego spiekalność na ogół wynosi 0, a jedynie sporadycznie dochodzić może do wartości 3.

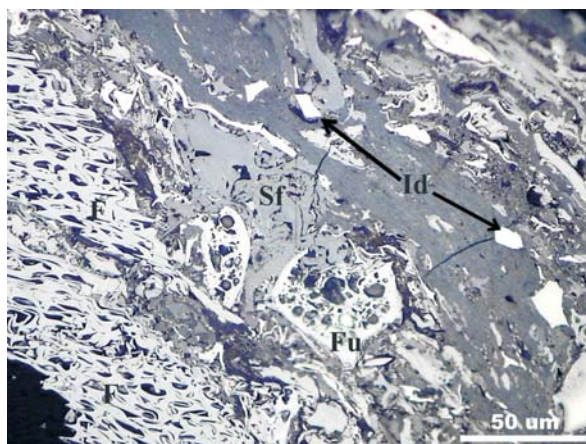
W próbce groszku EcoKazimierz (K1) zawartość procentowa poszczególnych grup macerałów rozkłada się dość proporcjonalnie (rys. 1). Zawartość macerałów grupy wityryny wynosi 38,6%, z dominującym udziałem kolodetrynytu i mniejszym udziałem kolotelinitu. Podobnie przedstawia się zawartość macerałów z grupy inertynitu – 38,4%, gdzie dominują inertodetrynit (16,6%) oraz semifuzynit (10,8%). Macerały z grupy liptynytu stanowią 22,8% zawartości, z wyraźną dominacją mikrosporynytu (16,6%). Ze względu na pochodzenie węgla do produkcji groszku EcoKazimierz z jednego pokładu (510), skład macerałowy poszczególnych partii węgla nie powinien wykazywać znaczących różnic. Pokład 510 ze względu na dużą miąższość jest wybierany na trzy warstwy, a w związku z tym mogą występować pewne różnice w zawartości grup macerałów w zależności od tego, z której warstwy pochodzi aktualnie wydobywany węgiel.



Rys. 1. Obraz mikroskopowy próbki groszku EcoKazimierz (K1) – macerały z grupy wityryny (Ct – kolotelinit, Cd – kolodetrynit), liptynytu (Sp – sporynit) i inertynitu (Id – inertodetrynit)

Fig. 1. The microscopic image of coal sample of “EcoKazimierz groszek” (K1) – macerals of vitrinite (Ct – collotelinite, Cd – collodetrinite), macerals of liptinite (Sp – sporinite) and macerals of inertinite (Id – inertodetrinite)

Bardziej zróżnicowanym rozkładem procentowej zawartości poszczególnych grup macerałów charakteryzuje się próbka Ekoretu (E1). W próbce tej zaznacza się wyraźną dominację (51,8%) macerałów z grupy inertynitu (rys. 2), na którą składają się głównie inertodetrynit (22,8%) i semifuzynit (21,4%). Zawartość macerałów grupy wityryny wynosi 30,8%. Najmniejszym udziałem procentowym w próbce charakteryzuje się grupa liptynytu (17,4%), w obrębie której wyraźnie dominuje mikrosporynit (14,2%). Zaskoczeniem jest tak wysoka zawartość inertynitu w próbce Ekoretu, znacząco odbiegająca od typowych wartości dla



Rys. 2. Obraz mikroskopowy próbki Ekoretu (E1) – macerały z grupy inertynitu (F – fuzynit, Fu – funginit, Sf – semifuzynit, Id – inertodetrynit)

Fig. 2. The microscopic image of coal sample of “Ekoret” (E1) – macerals of inertinite (F – fusinite, Fu – funginite, Sf – semifusinite, Id – inertodetrinite)

polskich węgla kamiennych, a charakterystyczna raczej dla węgla kamiennych pochodzących z Afryki i Azji. Trudno na obecnym etapie określić przyczynę tak znacznej zawartości inertynitu nie znając składu petrograficznego i źródła pochodzenia węgla użytych do produkcji Ekoretu. Najprawdopodobniej do mieszanki użyto zasobnego w inertynit węgla z importu. Ponadto stosowane w produkcji węgle z kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. pochodzą z pokładów warstw siodłowych, które lokalnie (szczególnie w przypadku wybierania grubych pokładów na warstwy) mogą odznaczać się podwyższoną zawartością macerałów grupy inertynitu. Skład macerałowy Ekoretu może wykazywać różnice w zależności od zastosowanych do mieszanki typów węgla, szczególnie w przypadku stosowania węgla z importu.

Analiza zdolności odbicia światła dla groszku EcoKazimierz wykazała refleksyjność wityrynu 0,5%, co pozwala węgiel ten zaliczyć do typu 31.2. Natomiast w przypadku Ekoretu refleksyjność wityrynu wyniosła 0,7%, co odpowiada węglom typu 32.2. Wartość ta jest jednak uśredniona, a złożony reflektogram dla Ekoretu wskazuje wyraźnie na udział co najmniej trzech odmian węgla.

## 5. Analiza form niespalonej materii organicznej

Formy niespalonej materii organicznej stanowią pozostałość po niepełnym spalaniu macerałów występujących w węglu, a ich zróżnicowanie związane jest z odmiennym zachowaniem się macerałów węgla w trakcie spalania. Formy morfologiczne niespalonej materii organicznej występujące w popiołach opisano za pomocą klasyfikacji M. Misz (1999). Owalne cienko- lub grubościennie formy wypełnione materią mineralną lub detrytusem określane są mianem cenosfer, które stanowią pozostałość procesu spalania głównie macerałów grupy wityrynu. Koronki, występujące również w odmianie cienko- lub grubo-

ściennej, to formy zbudowane z licznych owalnych porów. Powstanie koronek związane jest z przemianami termicznymi zespołów macerałów (mikrolitotypów węgla) grup wityritu i inertynitu. Formy zbudowane z wąskich, wydłużonych por równoległych do siebie to plastry miodu, których prawdopodobna geneza odnieszona jest do termicznych przeobrażeń semiinertnego, czyli poddającego się procesom spalania, inertynitu (Jelonek 2003). Natomiast inertynit odporny na termiczne przeobrażenia tworzy w popiołach dwie formy: inertynit zmieniony i inertynit niezmieniony. Różnica w wykształceniu tych dwóch form jest dość dobrze czytelna – ziarna inertynitu zmienionego są często zaokrąglone oraz zawierają drobne pory i pęknięcia, natomiast inertynit niezmieniony stanowią idealnie zachowane ziarna, bez śladów przemian termicznych. Niektóre ziarna niespalonej materii organicznej mają złożoną budowę, co przejawia się występowaniem w obrębie jednego ziarna fragmentów 2–3 form morfologicznych, a wówczas takie przypadki określa się jako formy mieszane. Drobne ziarna o wielkości poniżej 10 µm, powstałe z pokruszenia innych form nazywane są detrytusem.

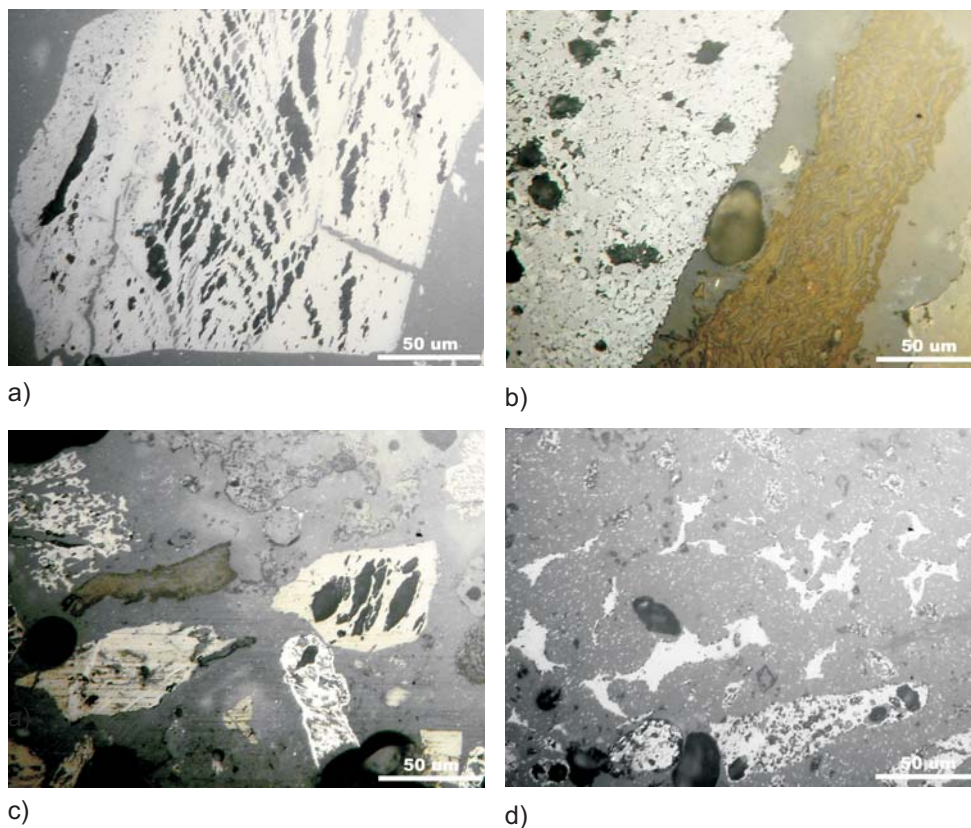
W próbkach koksików zebranych z paleniska retorty – zarówno w przypadku groszku EcoKazimierz (K2), jak i Ekoretu (E2) – dominuje inertynit zmieniony (ponad 70% objętości próbki), tworzący dość duże formy (rys. 3a). W mniejszych ilościach w próbce K2 występuje inertynit niezmieniony (14,4%), koronki (8,8%) oraz detrytus (5,2%). Natomiast w przypadku próbki E2 stwierdzono dość dużo detrytusu (16,2%) oraz mniejsze ilości inertynitu niezmienionego i koronek. Zawartości materii mineralnej nie zaobserwowano lub co najwyżej zanotowano jej śladowe ilości, co potwierdziły również wyniki analizy rentgenowskiej i skaningowej.

W przypadku żużła zanotowano już większe rozbieżności w wynikach analiz. Żużel powstały ze spalania groszku EcoKazimierz (K3) odznacza się bardzo słabym zróżnicowaniem form i zawiera wyłącznie inertynit zmieniony (29,6%) oraz detrytus (10,6%). Natomiast żużel powstały z Ekoretu (E3) odznacza się większym zróżnicowaniem form, chociaż tu również dominuje detrytus (32,6%) oraz inertynit zmieniony (25,4%). Cechą wspólną tych próbek jest wysoka zawartość materii mineralnej, sięgająca aż 59,4% dla próbki K3 (rys. 3b), a znacznie mniej (21,4%) w przypadku próbki E3. Wśród rozpoznawalnych ziaren materii mineralnej zaobserwowano głównie siarczki i węglany oraz prawdopodobnie stopioną, bezpostaciową krzemionkę.

W próbce popiołu dennego powstałego w wyniku spalania groszku EcoKazimierz (K4) wyraźnie dominuje inertynit zmieniony (48,6%), w dalszej kolejności pojawia się detrytus (11,8%) oraz koronki (6,6%). W popiele dennym wytworzonym ze spalania Ekoretu (E4) również występuje inertynit zmieniony (rys. 3c), lecz w znacznie mniejszej ilości (29,6%), a także pojawia się detrytus (24,8%) oraz koronki (5,8%). Oprócz wymienionych dominujących form w próbkach występują w ilościach śladowych prawie wszystkie rodzaje form niespalonej materii organicznej. W popiele dennym zawartości materii mineralnej są wyraźnie mniejsze niż w żużlach i kształtują się w zakresie od 21,8% (K4) do 33,6% (E4).

Charakterystyczną cechą popiołów lotnych jest silnie zaznaczająca się dominacja detrytycznych form (rys. 3d), szczególnie w próbce K5 (59%). Detrytus stanowią małe, pokruszone fragmenty pozostałych form występujących w próbce głównie inertynitu i koronek. Ponadto w obu próbkach dość mocno zaznacza się obecność inertynitu zmienionego, który występuje w ilości od 24,6% (K5) do 28,6% (E5). W przypadku obu próbek zauważalne jest także występowanie większości rodzajów form niespalonej materii orga-





Rys. 3. Obrazy mikroskopowe próbek produktów spalania groszku EcoKazimierz i Ekoretu:  
 a) koksik (K2) – inertynit zmieniony, b) żużel (K3) – inertynit zmieniony (z lewej) i materia mineralna (z prawej), c) popiół denny (E4) – inertynit zmieniony, detrytus i materia mineralna, d) popiół lotny (E5) – detrytus

Fig. 3. The microscopic image of burnt products of “EcoKazimierz groszek” and “Ekoret”:  
 a) char (K2) – thermally modified inertinite, b) slag (K3) – thermally modified inertinite (left) i mineral matter (right), c) bottom ash (E4) – thermally modified inertinite, detritus and mineral matter, d) fly ash (E5) – detritus

nicznej, przy czym w próbce E5 wiele z tych form pojawia się w ilościach rzędu kilku procent. Materia mineralna stanowi niewielką objętość próbek, zawierając się w zakresie od 4,2% (K5) do 7,8% (E5).

Jakościowa i ilościowa analiza form niespalonej materii organicznej ma istotne znaczenie poznawcze, pozwalające prześledzić przemiany termiczne macerałów węgla, ale przede wszystkim jest niezwykle ważna dla charakterystyki przebiegu procesu spalania oraz oceny efektywności spalania węgla (Iwanek i in. 2008). Na podstawie przeprowadzonej analizy można sformułować kilka wniosków. Zawartość materii mineralnej, świadcząca o efektywności spalania, jest największa w przypadku żużli, a nieco mniejsza w popiołach dennych, co jest typowe dla produktów spalania. Natomiast bardzo niska zawartość materii mineralnej w popiołach lotnych może wskazywać na pogorszenie efektywności spalania,

związane z szybkim wynoszeniem drobin węgla ze strefy żarzenia w wyniku zbyt silnego prądu powietrza dostarczanego do paleniska. Potwierdza to także duża różnorodność form niespalonej materii organicznej w popiele lotnym, w tym występowanie większej ilości cenosfer. Inną charakterystyczną i typową cechą jest zwiększenie udziału detrytusu w popiołach lotnych, co w sposób naturalny wynika z większej tendencji do wynoszenia przez gazy spalinowe najdrobniejszych elementów materii organicznej. Stosunkowo małe zróżnicowanie form niespalonej materii organicznej, z wyjątkiem popiołów lotnych, może świadczyć o dobrych parametrach procesu spalania. Wśród form praktycznie w każdym przypadku dominuje inertynit oraz w nieco mniejszych ilościach koronki, co związane jest ze stosunkowo dużą zawartością w węglu macerałów grupy inertynitu, które w naturalny sposób są bardziej odporne na przemiany termiczne. Należy jednak zauważyć, iż pomimo bardzo wysokiej zawartości inertynitu w Ekorecie, jego ilość w produktach spalania jest stosunkowo mała, co wskazuje na dominację inertynitu reaktywnego, poddającego się procesowi spalania. Warto jeszcze zwrócić uwagę na małą zawartość materii mineralnej w żużlu powstałym ze spalania Ekoretu, czemu towarzyszy oczywiście wzrost ilości niespalonej materii organicznej. Wynikać to może z wyraźnie większej spiekalności Ekoretu, co powoduje tendencję do tworzenia się spieków węglowych i węglowo-żużlowych pogarszających efektywność spalania.

### **Podsumowanie**

Przedstawienie i dyskusja zaprezentowanych w artykule wyników analiz groszków EcoKazimierz i Ekoret nieuchronnie skłania do porównania obu produktów pod względem istotnych cech dla efektywności procesu spalania, co może być szczególnie interesujące z punktu widzenia ewentualnego użytkownika węgla. Z pewnością jedną z ważniejszych dla nabywcy cech ekogroszku jest kaloryczność, która określa potencjalną ilość ciepła możliwą do uzyskania z danej ilości paliwa. W tym przypadku zdecydowanie korzystniejsze parametry ma Ekoret, który powstaje z węgla silniej uwęglonych, a zatem ma niższą zawartość wilgoci i wyższą wartość opałową. Niestety, produkt ten ma jednocześnie znacznie wyższą spiekalność niż groszek EcoKazimierz, co może powodować komplikacje w procesie spalania, polegające na tworzeniu się spieków pogarszających dopalanie ziaren węgla i straty paliwa w popiele i żużlu.

Wyniki analizy petrograficznej groszków pokazują, że Ekoret ze względu na bardzo wysoką zawartość inertynitu może nieco gorzej poddawać się procesowi spalania. Jednak badania niespalonej materii organicznej nie potwierdzają do końca tych zastrzeżeń, gdyż zawartości inertynitu w popiele powstałym z Ekoretu i groszku EcoKazimierz nie wykazują znaczących różnic. Potwierdzeniem negatywnego wpływu spiekalności na efektywność spalania Ekoretu mogą być natomiast podwyższone ilości materii organicznej w żużlu.

Na proces spalania w palenisku retortowym wpływ mają nie tylko cechy jakościowe i skład macerałowy węgla, ale także parametry pracy kotła. Potwierdzeniem tego są zanotowane w popiołach lotnych bardzo wysokie zawartości niespalonej materii organicznej wynoszonej z paleniska przez zbyt silny strumień powietrza. Zredukowanie ilości podawanego powietrza zmniejszy ilość materii organicznej w popiele lotnym, jednak może z kolei zwiększyć jej ilość w żużlu i popiele dennym.

## *Literatura*

- Gajos S., Klusek M., Kurczabiński L., 2009 – Podaż i jakość węgla produkowanych przez Katowicki Holding Węglowy S.A. w świetle przewidywanych zmian jakościowych na rynku odbiorców węgla energetycznych. Mat. Konf. Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Zakopane, 11–14.10.2009.
- Huzarewicz T., 2008 – Produkcja paliw kwalifikowanych w Kompanii Węglowej S.A. Wiad. Górnicze vol. 59, nr 12.
- Iwanek P., Jelonek I., Mirkowski Z., 2008 – Wstępne badania popiołów z kotła fluidalnego w aspekcie ich zagospodarowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 24, z. 4/4.
- Jelonek I., 2003 – The coal matter in fly ash from Katowice steelwork power station. Mineralogical Society of Poland. Special Papers vol. 22.
- Matuszek K., 2006 – Kotły c.o. małej mocy na paliwa stałe – zanieczyszczenie środowiska, rozwój konstrukcji, kryteria oceny. Karbo 4.
- Mirkowski Z., 2005 – Zmienność miąższości oraz jakości węgla z pokładu 510 w obszarze górniczym kopalni Kazimierz-Juliusz, Górnośląskie Zagłębie Węglowe. Mat. XXVIII Symp. Geologia formacji węglonośnych Polski, Kraków.
- Misz M., 1999 – Materia organiczna w żużlach i popiołach lotnych powstałych w procesach spalania węgla w Elektrociepłowni „Będzin” S.A. Praca doktorska. UŚ, Sosnowiec.
- Miśka K., Huzarewicz T., Włodarczyk K., 2007 – Paliwa dla energetyki w obecnej i przyszłej ofercie Kompanii Węglowej S.A. Polityka Energetyczna t. 10, z. 2.
- Zawistowski J., Janiszewski S., 2010 – Spiek w palniku. Magazyn Instalatora 1(137).

Strony internetowe:

[www.pkwsa.pl](http://www.pkwsa.pl)

[www.resover.eu](http://www.resover.eu)

