



Elżbieta Hycnar*, Tadeusz Ratajczak**, Waldemar Jończyk***, Marian Wagner****

Ekologiczne kryteria oceny jakości węgla brunatnego na przykładzie złoża Bełchatów

Streszczenie: W ostatnich latach narasta problem bezpieczeństwa energetycznego Polski, zapewnienia w najbliższych latach wystarczającej ilości energii, umożliwiającej podtrzymanie wzrostu gospodarczego kraju. W wielu opracowaniach dotyczących perspektyw rozwoju polskiej energetyki pod znakiem zapytania stawia się węgiel, zwłaszcza brunatny, jako paliwo strategiczne. Rozwój krajowej energetyki opartej na kopalnych paliwach stałych, w tym węgiel brunatny będzie możliwy pod warunkiem wdrożenia „technologii czystego węgla”. Rozwój tego typu technologii nie jest możliwy bez prowadzenia szczegółowych badań jakości węgla, uwzględnienia obecności zarówno składników mających wpływ na poziom emisji do atmosfery, nie tylko siarki, ale również metali ciężkich, wpływających na proces spalania węgla, jak i na skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne popiołów lotnych. Tego typu badania, z uwzględnieniem kryteriów ekologicznych oceny jakości węgla, od kilkunastu lat są prowadzone przez KWB Bełchatów. Opracowano i wdrożono metodykę badań jakości węgla brunatnego na podstawie nowoczesnych metod badawczych. Problematyka badań jakości węgla brunatnego wymaga jednak nowego spojrzenia na skład chemiczny węgla i uwzględnienia w badaniach jakości składników użytecznych chociażby tzw. pierwiastków krytycznych, czyli takich, które rzadko występują w przyrodzie.

Słowa kluczowe: metodyka badań jakości węgla brunatnego, składniki toksyczne w węglu, pierwiastki krytyczne

The ecological criteria for evaluation the quality lignite on the example of the Bełchatów deposit

Abstract: In the last years the question of Polish energy security arises, together with ensuring in the coming years enough energy, enabling sustain economic growth of the country. In numerous studies of the prospects for the development of the Polish energy sector, it puts a question of coal, particularly lignite, as a strategic fuel. Development of a national energy sector, based on solid fossil fuels, including lignite, will be possible provided the

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii, Kraków;
e-mail: hycnar@geol.agh.edu.pl

** Prof. dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

*** PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna, Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów.

**** Dr hab. inż., prof. AGH, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, GGIOŚ, Kraków.

"clean coal technology" application. The development of this type of technology is not possible without conducting detailed research of coal quality. The study should include components responsible for the toxic emissions to the atmosphere (especially sulfur and heavy metals), and components affecting the combustion process of coal and also responsible for the chemical composition and physical-chemical properties of fly ash. This type of study, taking into account the ecological criteria of the evaluation of coal quality, have been carried on by the Bełchatów lignite mine for several years. The methodology of lignite quality testing, based on modern research methods, was developed and implemented. The issue of lignite quality research requires a "fresh perspective" on the coal chemical composition and taking into account the useful components, even so-called "critical elements", which rarely occur in nature.

Keywords: methods of lignite quality research, toxic components in the coal, critical elements

Wprowadzenie

Siłą napędową rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego jest energia. Podstawowym surowcem do produkcji energii i ciepła, nie tylko w Polsce, ale i na świecie, są kopalne paliwa stałe – węgiel kamienny i brunatny. Udział węgla w światowych zasobach paliw kopalnych stanowi 62,4%. Na bazie węgla produkuje się rocznie 37% światowej energii. W Polsce udział węgla w bilansie energetycznym przekracza 90%. Wynika to zarówno z zasobności naszego kraju w ten surowiec, jak i braku innych, alternatywnych, a zarazem liczących się źródeł pozyskiwania energii. Należy zatem spodziewać się, że taki model produkcji energii i ciepła będzie w Polsce funkcjonował przez kolejne dziesięciolecia. Przewiduje się, że zwiększy się udział węgla brunatnego w bilansie energetycznym naszego kraju. Wynika to przede wszystkim z zasobności Polski w ten surowiec. Zasoby węgla brunatnego w naszym kraju należą do jednych z największych na świecie (Piwocki i in. 2004). Nie bez znaczenia pozostają korzystne warunki geologiczne i zaawansowane technologie wydobywania. Dzięki nim koszty produkcji energii z węgla brunatnego w naszym kraju są niższe w porównaniu z węglem kamiennym o około 25%, a w zestawieniu z ropą naftową, gazem ziemnym czy energetyką wiatrową o ponad połowę (Kasztelewicz 2008; Tajduś i in. 2011). Niestety, węgiel brunatny w porównaniu z ropą naftową, gazem ziemnym czy nawet węglem kamiennym jest surowcem energetycznym niższej jakości. Charakteryzuje go mniejsza wartość opałowa, zasiarczenie, wysoka zawartość popiołu. Odnacza się również wyższymi wskaźnikami emisji związków toksycznych powstającymi w trakcie spalania. Należy spodziewać się, że restrykcyjne przepisy Unii Europejskiej dotyczące emisji przemysłowych, dotkną głównie sektor energetyczny oparty na węglu brunatnym. Podstawowym celem realizowanej przez Unię Europejską polityki energetycznej jest wyeliminowanie negatywnego wpływu przetwórstwa energetycznego węgla na środowisko, poprzez sukcesywne wprowadzanie coraz bardziej rygorystycznych norm emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Polska jako członek UE jest zobowiązana do realizacji postanowień i przestrzegania tych przepisów (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2011). Aby sprostać tym wymaganiom i efektywnie ograniczyć negatywny wpływ przetwórstwa energetycznego węgla na środowisko przyrodnicze, próbuje się wdrażać tzw. technologie czystego węgla.

Negatywny wpływ przetwórstwa węgla na środowisko przyrodnicze wynika z samej natury tego surowca i związany jest z jego genezą powstawania. Charakteryzuje się on przede wszystkim złożonym składem chemicznym. Obok pierwiastków głównych takich jak: C, H, N, O i S zawiera w swoim składzie wiele innych, które ze względu na wielkość koncentracji

określa się mianem pobocznych (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si), rozproszonych (As, Cd, Cl, Co, Cu, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn, a także U i Th) oraz śladowych i rzadkich (Be, Ga, Ge, Li, a także pierwiastki ziem rzadkich (REE) takie jak La i Ce). Należy zwrócić uwagę, że niektóre spośród wymienionych (zwłaszcza REE) zaliczane są do intensywnie poszukiwanych w skałach skorupy ziemskiej i materii pozaziemskiej tzw. pierwiastków krytycznych. Z kolei inne, ze względu na swoje właściwości biochemiczne, m.in. podatność na bioakumulację, tworzenie połączeń sulfydrylowych z grupami białek czy uszkodzenie budowy łańcucha kwasów nukleinowych, określa się mianem toksycznych (Wagner 2001). W tym przypadku za szczególnie niebezpieczne uznawane są: Hg, Cd, Pb oraz Be. Ich działanie toksyczne jest niezależne od stężenia. Silne działanie trujące w większych dawkach wykazują też As, Cl, F, Se, Zn oraz S (Matl i Wagner 1995). Wymienione pierwiastki w węglu występują zarówno w postaci związków kompleksowych z substancją organiczną, jak i w formie faz mineralnych. Pomimo że ich ilości klarkowe są niewielkie i nie powinny stanowić zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, to procesy spalania węgla prowadzą do ich koncentracji, zarówno w stałych odpadach energetycznych, jak i w spalinach czy ekstraktach. Emitowane do atmosfery lub przedostające się do gleb i wód gruntowych w miejscu składowania popiołów, stają się zagrożeniem dla środowiska przyrodniczego. Za najbardziej newralgiczne uznawane są te, które w trakcie spalania przedostają się do atmosfery, zarówno w postaci związków lotnych, jak i najdrobniejszych cząstek stałych popiołu lotnego, sadzy czy koksików.

Pierwszym krokiem, prowadzącym do wdrożenia technologii czystego węgla, powinny być systematyczne badania jakości węgla. Jego skład chemiczny, a przede wszystkim obecność w nim pierwiastków toksycznych, należy rozpatrywać w kontekście energetycznego przetwórstwa tego paliwa. Spośród wymienionych, szczególną uwagę należy zwrócić na obecność w węglu S oraz Hg, Cd i Pb z uwagi na obowiązujące w kraju przepisy. W badaniach nie powinno się pomijać również obecności składników użytecznych, które rzadko występują w skałach skorupy ziemskiej, jak np. kobalt, nikiel, mangan, tytan czy nawet REE. Dynamiczny rozwój technologii pozyskiwania metali z odpadów przerobczych czy przetwórczych może w przyszłości pozwolić na traktowanie ich składowisk, w tym również popiołów lotnych, jako potencjalnych złóż antropogenicznych pierwiastków użytecznych.

1. Badania jakości węgla realizowane przez KWB Bełchatów

KWB Bełchatów, niekwestionowany krajowy lider produkcji węgla brunatnego, od kilkunastu lat prowadzi badania jakości eksploatowanego węgla. Obejmują one oznaczenie standardowych parametrów fizykochemicznych takich jak: wilgoć, popielność, wartość opałowa czy zawartości siarki całkowitej. Uwzględniają również badania nad zawartością metali ciężkich (Hg, Cd i Pb) oraz innych składników zanieczyszczających środowisko (Cl, F, K, Na). Badania są prowadzone z uwagi na negatywny wpływ niektórych składników węgla na przebieg procesu spalania, elementy grzewcze kotłów, instalacje oczyszczania spalin, czy energochłonność procesu mielenia węgla. W ramach badań jakości węgla prowadzone są również szczegółowe badania petrograficzne w zakresie oznaczania grup macerałów oraz substancji mineralnej, a także średniego współczynnika refleksyjności. Badania petrograficz-

ne są bardzo istotnym elementem metodyki badań węgla. Właściwości energetyczne kopalnych paliw stałych są bowiem ściśle związane z jego składem petrograficznym. W przypadku węgla brunatnego dowodzi tego duża zmienność parametrów technologicznych (przede wszystkim ciepła spalania, popielności i wilgotności), obserwowana w obrębie poszczególnych grup macerałów. Jest to związane ze zróżnicowanym stopniem uwęglenia. Najwyższy wykazywany jest w przypadku grupy inertynitu, najniższy dla grupy liptynitu. W metodyce badań uwzględniono również oznaczenia zawartości ksylitu wraz z jego odmianą włóknistą oraz piasku.

Szczegółowe badania jakości węgla z KWB Bełchatów są wykonywane w celu poznania właściwości kopaliny w złożu i tym samym prowadzenia prawidłowej gospodarki zasobami. Pozwalają ponadto określić zmienność parametrów badanego węgla w obrębie złoża. Przez to mogą stanowić podstawę do sporządzenia map zmienności jakości węgla w jego obrębie. Parametry technologiczno-chemiczne oraz petrograficzne wykorzystywane są ponadto w celach klasyfikacyjnych węgla. Dokonuje się tego na podstawie międzynarodowej „Klasyfikacji węgla w pokładzie” (ECE/ENERGY/50) i wzorowanej na niej „Klasyfikacji węgla” według PN-ISO 11760-2007 oraz międzynarodowej „Klasyfikacji kodowej węgla niskouwęglonego”. Celem tych klasyfikacji jest przedstawienie w możliwie prosty sposób zmienności głównych parametrów energetycznych dla oceny jakości dostaw węgla do elektrowni. Badania te są istotne z punktu widzenia wytwarzania energii, jak również dostosowania poziomów emisji do obowiązujących standardów a także prowadzenia prac projektowych i modernizacyjnych przez elektrownię.

2. Metodyka badań jakości węgla

Metodyka badań jakości węgla realizowana przez KWB Bełchatów obejmuje oznaczenia:

1. Siarki całkowitej i jej form mineralnych: pirytowej i siarczanowej oraz organicznej. W przypadku siarki pirytowej i siarczanowej badania są wykonywane zgodnie z Polskimi Normami (PN-G-04580:1997; PN-G-04582:1997). Z kolei zawartość siarki organicznej w węglu jest oznaczona w pozostałości po ekstrakcji siarki pirytowej i siarczanowej, według procedury opisanej w PN-G-04514-16:1990.

2. Zawartości metali ciężkich – Hg, Pb, Cd, alkalicznych – Na i K oraz fosforu (P). Spośród wymienionych metali najbardziej newralgiczna jest rtęć. Jest pierwiastkiem trudnym do analitycznego oznaczania ze względu na niewielką koncentrację w węglu, zróżnicowane formy występowania i właściwości geochemiczne jakimi są wysoki współczynnik lotności czy zdolność do adsorpcji. Z tych względów zrezygnowano z procedury oznaczania Hg zalecanej w PN-G-04562:1994. Badania nad zawartością rtęci są wykonywane metodą CV-AAS przy zastosowaniu atomowej spektroskopii absorpcyjnej z techniką zimnych par. Do badań wykorzystywany jest nowoczesny analizator, który pozwala na bezpośrednie oznaczanie zawartości rtęci w próbkach naturalnych węgla, z pominięciem etapu przygotowania próbki (Okońska i in. 2013). Rozkład próbki odbywa się wewnątrz analizatora, w układzie spalania bezpośrednio przed detekcją. Wydzielone pary rtęci przepuszczane są przez sorbent ze złota, gdzie następuje chemisorpcja i zateżenie rtęci. W następnym cyklu ogrzewa się amalgamat, podczas którego rtęć zostaje uwolniono-

na do kuwety pomiarowej, przez którą przepuszczane jest promieniowanie ultrafioletowe o długości fali 253,7 nm, odpowiedniej do absorpcji rtęci. Zastosowanie takiej metody oznaczania zmniejsza ryzyko zanieczyszczenia próbki oraz minimalizuje straty oznaczanego pierwiastka, jakie występują w procesie klasycznego rozkładu próbki (Klojzy-Kaczmarczyk i Mazurek 2013; Okońska i in. 2013). Zawartość ołowiu i kadmu oznaczana jest przy zastosowaniu Atomowej Spektroskopii Absorpcyjnej (ASA). Próbki węgla w stanie analitycznym są poddawane procesowi niskotemperaturowego utlenienia w atmosferze tlenu, następnie roztwarzane na gorąco w stężonych kwasach fluorowodorowym (HF) i nadchlorowym (HClO₄), odparowane do sucha, a pozostałość ponownie roztwarzana za pomocą stężonego kwasu solnego (HCl).

3. Zawartości F i Cl. W tym przypadku stosuje się metodę stapiania próbek węgla w mieszaninie z Na₂CO₃ i ZnO w stosunku wagowym 1:7:1. Oznaczenia zawartości pierwiastków wykonuje się przy zastosowaniu chromatografii jonowej. Metodę tę uznano za bardziej precyzyjną w stosunku do wytycznych zawartych w PN-G-04543:1982 i PN-G-04534:1999.

4. Obecności CaCO₃. Procedury oznaczania zawartości węglanów przedstawione w normach PN-G-04526:1974, PN-G-04526:1985, jak i PN-ISO 925:2002 są mało dokładne w przypadku ich niewielkich zawartości w węglu. Zastosowano więc metodę, która polegała na rozkładzie CaCO₃ rozcieńczonym kwasem solnym z dodatkiem jonu Na⁺ (w celu stabilizacji huminianów). Zawartość wapnia oznaczono przy pomocy ASA.

5. Zawartości pierwiastków głównych C, H i N. W tym przypadku do badań wykorzystuje się aparaturę do analizy elementarnej LECO.

W ramach badań jakości węgla prowadzone są również szczegółowe badania petrograficzne w zakresie oznaczania grup macerałów oraz substancji mineralnej, a także średniego współczynnika refleksyjności. Badania petrograficzne są bardzo istotnym elementem metodyki badań z tego powodu, że właściwości energetyczne węgla ściśle związane są z jego składem petrograficznym. Dowodzi tego duża zmienność parametrów technologicznych, obserwowana w obrębie poszczególnych grup macerałów (przede wszystkim ich ciepła spalania, także popielności i wilgotności). Jest to związane ze zróżnicowanym stopniem uwęglenia poszczególnych grup macerałów (najwyższy wykazywany jest w przypadku grupy inertynitu, najniższy dla grupy liptynitu).

W metodyce badań uwzględniono również oznaczenia zawartości ksylytu wraz z jego odmianą włóknistą oraz piasku. W tym przypadku badania prowadzone są zgodnie z wymogami Polskich Norm (PN-G-97051-13:1985 w przypadku piasku, PN-G97051-13:1976 w przypadku ksylytów).

3. Badania jakości węgla a przepisy prawne Unii Europejskiej

Obowiązek wdrażania technologii czystego węgla przez kraje UE nakłada Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (*Industrial Emission Directive* – IED). Jest ona jednocześnie podstawowym instrumentem prawnym na rzecz ograniczania emisji przemysłowych. Nie tylko nakazuje stosowanie tzw. Najlepszych Dostępnych Technik (*Best Available Techniques* – BAT), ale i zapowiada wprowadzenie od 2016 roku znacznie zaostrzonych standardów emisji dla dużych źródeł spalania paliw (o mocy większej niż 50 MW) w zakresie dwutlenku

siarki, tlenków azotu oraz pyłu. Będą one bardziej restrykcyjne w porównaniu do obowiązujących obecnie, a wynikających z dyrektywy LCP oraz polskiego porządku prawnego, czyli Rozporządzenia Ministra Środowiska z 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. Kolejnym instrumentem prawnym w rozwiązywaniu problemu emisji przemysłowych jest podpisane przez Polskę w 1998 roku porozumienie międzynarodowe, tzw. Protokół z Aarhus, w sprawie metali ciężkich. To z kolei porozumienie zobowiązuje do podjęcia działań mających na celu ograniczenie emisji Cd, Hg i Pb do 2020 roku. Zgodnie z postanowieniami Protokołu opracowano „Krajową strategię ograniczania emisji metali ciężkich” (2002), w której wyraźnie podkreślono rolę badań podstawowych nad zawartością tych pierwiastków w kopalnych paliwach stałych. Z kolei szczegółowe wytyczne UE dotyczące ograniczenia emisji rtęci są zawarte w tzw. Konwencji Rzęciowej. Zmniejszenie emisji Hg do środowiska zostanie osiągnięte poprzez wprowadzenie limitów zarówno dla nowych, jak i istniejących obiektów przemysłowych. Wprowadzone przez Environmental Protection Agency i obowiązujące w Stanach Zjednoczonych limity emisji zakładają redukcję rtęci o 70% do 2018 roku. Podobnych przepisów prawnych należy spodziewać się na terytorium UE (Okońska i in. 2013). Wymienione uwarunkowania prawne, zarówno krajowe, jak i międzynarodowe, dotyczące emisji powodują, że tzw. kryterium ekologiczne będzie odgrywać bardzo ważną rolę w badaniach jakości węgla.

Zarówno przepisy krajowe, jak i wytyczne UE, regulują tylko i wyłącznie poziomy emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Do tej pory nie opracowano norm określających graniczne czy dopuszczalne poziomy zawartości w węglu pierwiastków uznanych za toksyczne bądź niebezpieczne, w tym również tych, których poziomy emisji objęto restrykcyjnymi ograniczeniami, a jakie istnieją w przypadku wód czy gleb (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2004, 2002). Obowiązująca Instrukcja Ministra Gospodarki i Energetyki nr 3 z 1982 roku odnosi się do pierwiastków promieniotwórczych oraz siarki całkowitej. Określono w niej jedynie dopuszczalną aktywność promieniotwórczą gamma uranu i toru w węglu brunatnym oraz sklasyfikowano węgiel w zależności od zawartości siarki całkowitej na nisko, średnio i wysoko zasiarczony. Z kolei klasyfikacje węgla (PN-ISO 11760-2007, Międzynarodowa Klasyfikacja Węgla w Pokładzie (International... 1995, 2001) czy Międzynarodowy System Kodyfikacji Węgla (1988) opierają się przede wszystkim na parametrach technicznych węgla, takich jak: zawartość wilgoci, popielność, wartość opałowa, ciepło spalania oraz skład petrograficzny. W tym przypadku, przy ocenie jakości węgla można jedynie opierać się na porównywaniu oznaczonej zawartości pierwiastków toksycznych ze stężeniami klarkowymi czy dopuszczalnym poziomem zawartości w glebach (Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2002) lub w wodach (Rozporządzenie Ministra Środowiska 2004), bądź dopuszczalnymi dziennymi dawkami dla ludzi (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Wiąże się z tym kolejny problem, dotyczący stanu fizykochemicznego węgla względem którego należałoby przedstawiać wyniki badań: roboczym (r), analitycznym (a), suchym (d) oraz suchym i bezpopiołowym (daf). W przypadku węgla brunatnego, dla którego zawartość wilgoci w stanie roboczym przekracza 50% wag., zagadnienie to jest szczególnie istotne, ponieważ jest przyczyną znacznych różnic w zawartości składników pomiędzy poszczególnymi stanami przeliczeniowymi węgla.

4. Nowe wyzwania w badaniach jakości węgla

„Pierwiastki krytyczne” – to z jednej strony niezwykle rzadko występujące w przyrodzie pierwiastki, z drugiej surowce o znaczeniu strategicznym dla rozwoju nowoczesnych, wysokozawansowanych technologii. Poza pierwiastkami ziem rzadkich (REE) należą do nich m.in. kobalt, nikiel, mangan, molibden, talk, tantal, tellur, tytan, wanad czy wolfram (Christmann 2010; Galos i Smakowski 2008). Znajdują zastosowanie w nowoczesnych technologiach, przede wszystkim w elektronice, w przemyśle w szklarskim, stalowym, chemicznym do produkcji katalizatorów oraz przy produkcji źródeł energii odnawialnej oraz w wielu innych dziedzinach (Całus-Moszko i Białecka 2013). Prowadzone w ostatnich latach intensywne badania nad poszukiwaniem pierwiastków krytycznych, nowych źródeł ich pozyskiwania upatrują w popiołach lotnych po spalaniu kopalnych paliw stałych. Na świecie, co potwierdza literatura, prowadzi się wiele badań dotyczących zawartości pierwiastków krytycznych, w tym również metali ziem rzadkich w węglu. Istnieją dane na temat zawartości REE w złożach węgla z różnych rejonów świata. Np. Hower i inni (1999) sugerują, że odpowiedzialnym za obecność REE w pokładach węgla w Kentucky są tonsteiny. Autorzy dowiedli również, że pierwiastki REE są związane w węglu głównie z minerałami fosforu. Potwierdzają to badania prowadzone w przypadku krajowych złóż węgla kamiennego. Różkowska i Parzętyni (1990) udowodnili, że w polskim węglu kamiennym pierwiastki ziem rzadkich występują w formie minerałów fosforanowych, takich jak: ksenotym (Y)Y[PO₄], monacyt (Ce, La, Nd) [PO₄]₂). Obecność tego typu pierwiastków należy również wiązać z apatytem (Całus-Moszko i Białecka 2013). Należy sądzić, że również węgiel bełchatowski może okazać się źródłem „pierwiastków krytycznych” czy nawet REE. W obrębie serii węglowej złoża Bełchatów stwierdzono poziomy skał zasobnych w kaolinit, o typie genetycznym tonsteinów. W składzie substancji mineralnej węgla zidentyfikowano obecność apatyty (Stachura i Ratajczak 2005). W ramach prowadzonych kilkanaście lat temu systematycznych badań jakości węgla z pola Bełchatów, w kontekście określenia negatywnego wpływu przetwórstwa energetycznego węgla na środowisko, dodatkowo wykazano obecność innych pierwiastków z grupy krytycznych. W składzie fazowym substancji mineralnej węgla zidentyfikowano obecność anatazu (TiO₂), a zawartość tytanu w przeliczeniu na TiO₂ oceniono na ponad 5% wag. Na uwagę zasługuje również zawartość w węglu bełchatowskim niklu dochodząca w odmianie bitumicznej do 17 ppm, a w próbkach węgla detrytowego objętych procesem pirytyzacji nawet do 32 ppm. W tym przypadku nośnikiem zarówno niklu, jak i innych metali takich jak: Cd, Cu, Hg, Pb, są miocieńskie piryty. Nie można również wykluczyć występowania niklu w formie połączeń kompleksowych z substancją organiczną węgla (Stachura i Ratajczak 2005).

Prezentowane wyniki badań mają charakter wstępny. Nie były prowadzone w sposób systematyczny. Uzyskane wyniki badań mogą stać się przyczynkiem do ich kontynuowania w obrębie Pola Szczerców czy w przyszłości złoża Złoczew. Celowe wydaje się rozszerzenie badań jakości węgla prowadzonych przez KWB Bełchatów o inne – poza Cd, Hg, Pb – pierwiastki poboczne, śladowe czy rozproszone. Pozwoli to określić celowość i możliwości ich pozyskiwania z popiołów powstałych po spaleniu węgla. Niewątpliwie mogłoby się to w ten sposób przyczynić do zwiększenia możliwości wykorzystania popiołów lotnych z elektrowni węglowych. Stworzenie nowych możliwości wykorzystania tego typu odpadów jest jednym z najważniejszych kierunków strategicznych związanych z wdrażaniem tzw. dyrektywy

odpadowej Parlamentu Europejskiego. Stanowi również element tzw. czystych technologii węglowych, pozwalających na zmniejszenie ilości odpadów związanych z energetycznym przetwórstwem węgla.

Praca zrealizowana w ramach działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w roku 2015 (nr 11.11.140.319) oraz badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w 2015 roku.

Literatura

- Całus-Moszek, J. i Białecka, B. 2013. Analiza możliwości pozyskania pierwiastków ziem rzadkich z węgla kamiennych i popiołów lotnych z elektrowni. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 29, z. 1, s. 67–80.
- Christmann, P. 2010. Critical minerals to the EU economy: issues and potential. [W:] *Aachen International Mining Symposia*. Red. P.N. Martens. VGE Verlag. Essen.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych.
- Galos, K. i Smakowski, T. 2008. Nowa polityka surowcowa Unii Europejskiej w obszarze surowców nie-energetycznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 4/4, s. 75–90.
- Hower i in. 1999 – Hower, J.C., Ruppert, L.F. i Eble, C.F. 1999. Lanthanide, yttrium, and zirconium anomalies in the Fire Clay coal bed. Eastern Kentucky. *International Journal of Coal Geology* 39.
- International Classification Of Seam Coals, Final Version. Economic Commission For Europe, Committee On Energy, Working Party On Coal, Fifth session, 1995.
- International Codification System For Medium And High Rank Coals. Economic Commission For Europe, Committee On Energy, 1998, 2001.
- Kabata-Pendias, A. i Pendias, H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kasztelewicz, Z. 2008. Zasoby węgla brunatnego w Polsce i perspektywy ich wykorzystania. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 11, z. 1, s. 181–200.
- Klojzy-Kaczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2013. Badania zawartości rtęci w węglach przeznaczonych dla odbiorców indywidualnych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 4, s. 151–161.
- Krajowa strategia ograniczania emisji metali ciężkich. Ministerstwo Środowisko, Warszawa, 2002.
- Matl, K. i Wagner, M. 1995. Analiza występowania pierwiastków rzadkich, rozproszonych i śladowych w ważniejszych krajowych złożach węgla brunatnego. [W:] Stryżewski M. – *Eksploracja selektywna węgla brunatnego i kopalni towarzyszących wraz z uwarunkowaniami techniczno-ekonomicznymi i korzyściami ekologicznymi*. Wyd. Centrum PPGSMiE, Kraków, s. 30–44.
- Międzynarodowy System Kodyfikacji Węgla, 1988.
- Okońska i in. 2013 – Okońska, A., Uruski, Ł., Górecki, J. i Gołaś, J. 2013. Metodyka oznaczania zawartości rtęci całkowitej w węglach energetycznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 29, z. 2, s. 39–50.
- Piwocki i in. 2004 – Piwocki, M., Kasiński, J., Saternus, A., Dyląg, J., Gientka, M. i Walentek, I. 2004. *Aktualizacja bazy zasobów złóż węgla brunatnego w Polsce*. Państw. Inst. Geol., 98 s. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PN-G-04514-16:1990. Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości siarki całkowitej i popiołowej automatycznym analizatorem firmy LECO.
- PN-G-04526:1974. Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla w węglanach.
- PN-G-04526:1985. Węgiel kamienny i brunatny. Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla w węglanach metodą grawimetryczną.
- PN-G-04534:1999. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości chloru.
- PN-G-04543:1999. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości fluoru.
- PN-G-04562:1994. Węgiel kamienny i brunatny. Oznaczanie zawartości rtęci.
- PN-G-04580: 1997. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości siarki. Terminologia i symbole.
- PN-G-04582: 1997. Węgiel kamienny i brunatny. Oznaczanie zawartości siarki siarczanowej (VI) i pirytowej.

- PN-G97051-13:1976 . Węgiel brunatny. Oznaczanie zawartości ksylitu.
- PN-G-97051-13:1985. Węgiel brunatny. Oznaczanie zawartości piasku.
- PN-ISO 11760:2007. Klasyfikacja węgla.
- PN-ISO 925:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości węgla węglanowego. Metoda wagowa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. 2002, nr 165, poz. 1359.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. Dz. U. 2004, nr 32, poz. 284.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. Dz.U. 2011, nr 95, poz. 558.
- Rózkowska, A. i Parzętny, H. 1990. Zawartość fosforu w węglach kamiennych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Kwartalnik Geologiczny* t. 34, 4.
- Stachura, E. i Ratajczak, T. 2005. Substancja mineralna w węglu brunatnym ze złoża „Bełchatów”. *Prace Geologiczne* 153, 96 s.
- Tajduś i in. 2011 – Tajduś, A., Czaja, P. i Kasztelewicz, Z. 2011. Rola węgla w energetyce i strategia polskiego górnictwa węgla brunatnego w I połowie XXI wieku. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 35, Z. 3, Wyd. AGH, Kraków.
- Wagner, M. 2001. Oznaczanie pierwiastków toksycznych i szkodliwych w węglu i jego popiołach. [W:] Stryżewski M. – *Eksploracja selektywna węgla brunatnego jako metoda ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko pierwiastków obecnych w węglu i produktach jego spalania*. Wyd. AGH, Kraków.

