

*Jolanta Marciniak-Kowalska**

ROLA PRZERÓBKII MECHANICZNEJ W PROCESIE ZGAZOWANIA WĘGLI

Postęp cywilizacyjny i rozwój wielu gałęzi przemysłu sprawia, że wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną, przy jednoczesnym braku wzrostu produkcji energii, ze względu na fakt tradycyjnego sposobu jej otrzymywania w elektrowniach. Przewiduje się, że zapotrzebowanie w świecie na energię elektryczną będzie wzrastać do 2030 roku w tempie 1,8% rocznie a produkcja energii elektrycznej będzie do 2030 roku bazowała na paliwach kopalnych i podstawowym źródłem energii w 34% będzie ropa naftowa, która wyprzedzi paliwa węglowe — 28%. Rosnący światowy popyt na energię elektryczną i jej wytworzenie, będzie powiązany z zagospodarowaniem powstałych produktów odpadowych i wzrostem kosztów ochrony środowiska. Tempo wzrostu oraz pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych nie zakłóci tych tendencji. Obecnie w Polsce około 95% energii wytwarzane jest z węgla w tym 55% energii elektrycznej pochodzi z węgla kamiennego. Polskie zasoby zarówno węgla kamiennego jak i brunatnego są dla kraju gwarantem stabilności systemu energetycznego. Polska jest liczącym się w świecie i Europie producentem węgla kamiennego. Zależność energetyczna od dostaw węgla wybranych krajów UE przedstawia się następująco: Wielka Brytania 13,0%, Polska 18,4%, Czechy 37,6%, Szwecja 45,0%, Francja 54,5%, Niemcy 65,1%, Węgry 65,3%, Belgia 80,7%, Hiszpania 85,1%, Włochy 86,8%, Portugalia 99,4%. Z powyższego zestawienia wynika, że polskie górnictwo może odgrywać istotną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego UE. Nowoczesne technologie spalania paliwa węglowego wpływają na ograniczenie emisji szkodliwych związków do atmosfery [1–4].

Od lipca 2005 roku powołano organizację pod nazwą „Innowacyjny Śląski Klaster Czystych Technologii Węglowych”. Najważniejszym zadaniem tej instytucji jest rozwój i wdrażanie innowacyjnych technologii dotyczących wydobywania, wzbogacania, wykorzystania i przetwarzania węgla, ze szczególnym uwzględnieniem promowania tej kopaliny jako surowca czystego, bezpiecznego i konkurencyjnego nośnika energii [3].

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Przygotowanie ultra czystych węgla dla celów energetyki stanowi duże wyzwanie dla zakładów przeróbki węgla kamiennego. Urobek węglowy poza naturalnymi substancjami mineralnymi posiada zanieczyszczenia pochodzące ze skał spągu i stropu. Wiek węgla (stopień uwęglenia) w pokładach, skład petrograficzny, czystość wybierania pokładów oraz stopień wzbogacania w zakładach przerobczych stanowią o jakości węgla. Zróżnicowaną jakość mają miały energetyczne wykorzystywane w energetyce, ciepłowniach i w przemyśle. W perspektywie do roku 2030 zakłady przeróbki i wzbogacania węgla powinny obniżyć koszty produkcji węgla handlowych oraz poprawić jakość węgla energetycznych. Bardzo istotny jest wpływ parametrów jakościowych węgla na ich efektywność zastosowania w energetyce.

Podstawowe parametry jakościowe węgla związane z jego wartością użytkową to: wartość opałowa (Q'_i), zawartość popiołu (A'), zawartość siarki (S'_i), stopień uwęglenia, zawartość macerałów, wilgoć, która obniża wartość opałową węgla a w paleniskach pyłowych poza obniżeniem ich sprawności wywołuje awaryjność w pracy, zawartość części palnych i lotnych ma z kolei wpływ na długość płomienia i czas zapłonu węgla. Uziarnienie a więc skład ziarnowy węgla przeznaczonego do spalania jest zależny od typu paleniska kotłów lub pieców, w których przebiega proces spalania [5–9].

Zasoby przemysłowe: węgla kamiennego w Polsce według stanu na 31.12.2007 rok wynoszą 4209 mln Mg a węgla brunatnego — 1 414,4 mln Mg. Jednym z priorytetów opracowanych przez Ministerstwo Gospodarki jest wykorzystanie węgla do produkcji paliw płynnych i gazowych [10].

Wymagania jakościowe jakie powinny spełniać węgle energetyczne można ująć w trzech grupach: uwarunkowania techniczne związane z procesem spalania, analizą petrograficzną i składem elementarnym (C, H, N, S, O), a w konsekwencji zawartości wpływające na zanieczyszczenia środowiska: części lotne, obecność siarki, chloru, pierwiastków śladowych, naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Zawartość chloru w węglu powinna być niższa niż 0,10–0,16%, krajowe węgle o najniższej zawartości chloru to węgle niskokaloryczne. Wprowadzone na początku ubiegłego wieku badania geochemiczne węgla, są prowadzone obecnie przez PIG, GIG i wiele innych ośrodków. Opracowano mapy występowania w węglach zarówno pierwiastków podrzędnych jak i śladowych co jest rzeczą niezmiernie ważną ponieważ węgle w zasadniczej części wydobycia stosowane są jako paliwo — węgle energetyczne. Główne pierwiastki śladowe występujące w węglu to: arsen, srebro, bor, baryt, beryl, kadm, kobalt, chrom, miedź, gal, hafn, rtęć, lit, mangan, molibden, nikiel, ołów, rubid, antymon, cyna, stront, selen, wanad, cynk. Przyjmuje się, że 11 z nich (Be, Cr, Mn, Co, Ni, As, Se, Cd, Sb, Pb, Hg) to „*hazardous air pollutants*” — czyli są one niebezpiecznym źródłem zanieczyszczenia atmosfery a tym samym są szkodliwe dla środowiska. Do mikroelementów zaliczane są również pierwiastki promieniotwórcze z szeregu uranu U^{238} , toru Th^{232} , potasu K^{40} , Ra²²⁶, izotopy K^{40} , Br, J, F. W procesach spalania pierwiastki szkodliwe przechodzą zarówno do odpadów paleniskowych (żuźle) a jeżeli są lotne to ulegają sublimacji i powodują skażenie powietrza (arsen, ołów, bor, beryl, cynk, kadm, rtęć, lit), lub rozpuszczają się w wodzie. Część z wyżej wymienionych pierwiastków (wanad, chrom, nikiel, kobalt) wykazuje niski wskaźnik mobilności, i brak wyraźnych stref wzbogacania

w odróżnieniu od manganu i berylu, które pomimo niskiego wskaźnika zróżnicowania koncentracji, łatwo ulegają wzbogaceniu. W węglach górnośląskich koncentracja ołowiu, miedzi, baru, berylu jest zróżnicowana. Natomiast koncentracja manganu (119 g/Mg) jest wyższa od średniej zawartości w światowych węglach (95 g/Mg), to samo dotyczy zawartości chromu, niklu i kobaltu. [11–16, 26, 29].

W trakcie procesu spalania węgla zachodzi: odparowanie wilgoci, odgazowanie wstępne — pierwotna piroliza (powyżej 523 K), wtórna piroliza powyżej 773 K, spalanie heterogeniczne lub homogeniczne produktów termolizy. Kierunki przetwórstwa węgla to przede wszystkim wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w elektrowniach i elektrociepłowniach. Przetwórstwo energochemicznego węgla to obecnie w głównej mierze użytkowe procesy odgazowania wysokotemperaturowego węgla (do 1273 K) i otrzymanie wysokowęglonego karbonizatu jakim jest półkoks lub koks. W zakładach przeróbki węgla koksującego JSW, poza konwencjonalnym procesem (kruszenie, wielostadialne przesiewanie, wzbogacanie w osadzarkach), wzbogaca się i odzyskuje także na drodze flotacji, cenne ziarna najdrobniejsze poniżej 100 μm . Powstające ze specjalnie przygotowywanych mieszanek (węgiel wsadowy) w procesie odgazowania produkty to koks i surowy gaz koksowniczy. Procesom niskotemperaturowego (773–873 K) odgazowania, wylewaniu poddaje się węgle niższej jakości, produktami są półkoks, prasmała, gaz wylewny, smoła gazownicza. Zgazowanie polega na wytwarzaniu gazu dla syntez chemicznych w wyniku przetworzenia węgla w gaz, za pomocą innych gazów np. pary wodnej, ditlenku węgla, ich mieszanin, tlenu lub powietrza. Rozróżnia się hetero i homogeniczne reakcje zgazowania. Procesowi zgazowania może być poddany zarówno węgiel kamienny jak i brunatny. Z kolei proces zgazowania może odbywać się na powierzchni w specjalnie przygotowywanych instalacjach jak i *in situ* (zgazowanie podziemne). Technologiczne rozwiązania procesów zgazowania węgla są różne w zależności od czynnika zgazowującego i składają się z paliwa, bloku zgazowania odpowiednim czynnikiem — blok gazowo-parowy, syntezy chemicznej, metanizacji i blok Fischera-Tropscha, uzyskiwane media energetyczne [17–23].

W procesach hydrozgazowania węgla ma miejsce reakcja utleniania (spalania) z utworzeniem ditlenku węgla, reakcja Boudouard’a polegająca na redukcji węglem ditlenku węgla do tlenku węgla(II), reakcja tworzenia gazu syntezowego (tlenek węgla(II) i wodór) powstający w reakcji węgla z wodą oraz reakcja metanizacji, czyli tworzenia metanu w reakcji syntezy z węgla i wodoru. W procesie zgazowania reakcje te przebiegają równocześnie w zależności od powstawania lub odprowadzania tych czy innych reagentów i są to reakcje podstawowe z punktu widzenia teorii procesów zgazowania. Do najbardziej obiecujących sposobów przemian węgla na gaz węglowodorowy, który jest substytutem gazu ziemnego należy zaliczyć hydrozgazowanie a więc konwersję węgla w metan [18–23].

W latach 70. ubiegłego wieku prowadzono prace nad bezpośrednim uwodornianiem węgla i uwodorniano węgiel w doświadczalnej instalacji. Węgiel do procesu uwodornienia został specjalnie przygotowany, w postaci 40% mas. zawiesiny węgla w oleju zarobowym. Zawiesina po homogenizacji w młynie kulowym jest kierowana do reaktora rurowego do strefy reakcji.

TABELA 1

Procesy zgazowania węgla [17, 22]

Surowiec	Czynnik zgazowujący	Rodzaj gazu	Skład gazu po oczyszczeniu	Wykorzystanie gazu
Węgiel	para wodna i powietrze	gaz generatorowy (opałowy)	tlenek węgla(II), wodór, metan, azot	gaz opałowy (dla przemysłu)
	przy podwyższonym ciśnieniu — para wodna i powietrze	gaz generatorowy (opałowy)	tlenek węgla(II), wodór, metan, azot	gaz opałowy dla elektrowni i turbin gazowych
	tlen i para wodna	gaz syntezowy redukcyjny	tlenek węgla(II), wodór	synteza chemiczna (amoniaku, metanolu, Fischera-Tropscha, Oxo, produkcja wodoru, gaz redukcyjny)
	tlen i para wodna pod zwiększonym ciśnieniem	gaz miejski	wodór, metan, tlenek węgla(II)	gaz miejski
	para wodna i ciepło z wysokotemperaturowego reaktora jądrowego	substytut naturalnego gazu SNG	metan	dalgaz

Wydzielone produkty lekkie i ciężkie poddaje się destylacji przebiegającej pod ciśnieniem atmosferycznym i w próżni. Otrzymane w procesie oleje ciężkie zawracane są do etapu przygotowania zawiesiny węglowo-olejowej a pozostałe produkty frakcje do 473 K i do 593 K tworzą tzw. ropę węglową a odpady zawierające nie przereagowany węgiel i substancję mineralną mogą być poddawane procesowi karbonizacji lub zgazowania [19, 20]. W świecie w najbliższym latach planuje się uruchomić 55 obiektów technologii zgazowania umożliwiających produkcję zarówno energii elektrycznej jak i ciepła. Z gazu syntezowego planuje się otrzymywać amoniak, mocznik, metanol, wodór, paliwa ciekłe a także w niektórych sekwencjach ditlenek węgla. Bazę do procesów zgazowania niekoniecznie musi stanowić sam węgiel. Technologie zgazowania wykazują dużą elastyczność procesu w którym nadaje do procesu a więc węgiel może zostać uzupełniony biomasą, różnymi paliwami. Prowadzone zagraniczne doświadczenia wskazują, że bardzo istotny jest właściwy dobór reaktora zgazowującego. Nadawą — wsadem mogą być nie tylko konwencjonalne paliwa, ale także biomasa, odpady rafineryjne, z górnictwa węgla odpady węglowe, komunalne itp. Ponadto, wysokie temperatury umożliwiają degradację odpadów niebezpiecznych [17–23, 32–37].

Jakie parametry, właściwości powinien posiadać węgiel, paliwo węglowe przeznaczone do zgazowania?

Amerykański program Technologie Czystego Węgla (*Clean Coal Technology*) zakłada oczyszczanie węgla przed tradycyjnym spalaniem i przygotowywanie mieszanek paliwowych

tak, by w trakcie spalania zminimalizować emisję szkodliwych domieszek w trakcie spalania dzięki udoskonalaniu samego procesu spalania, oczyszczanie spalin i zastosowanie nowych technologii konwersji węgla. Realizację tych zadań można zapewnić stosując do tego celu metody właściwe/charakterystyczne dla przeróbki kopaliny. Klasyczne metody — jak dotąd najtańsze — kruszenia, przesiewania i wzbogacania węgla w cieczy ciężkiej, osadzarkach, separatorach zwojowych, flotacja mułów powodują usunięcie skały płonnej i przerostów o wysokiej zawartości popiołu. Usunięcie w jak najwyższym stopniu pirytu jest zależne od petrograficznego składu i od faktu w jaki sposób siarka pirytowa związana jest z węglem, czy tworzy zrosty z węglem, ze skałą płonną czy też występuje w postaci bardzo drobnych wolnych ziaren. W kolejnym etapie CCT wykorzystuje się uśrednianie jakościowe węgla, selektywne mielenie i rozdrabnianie — wykorzystując fakt, że piryt nie ulega przemieleniu, bo w skali twardości Mohsa ma wyższy wskaźnik — operacja ta pozwala usunąć nawet do 90% siarki pirytowej z węgla. Z oczyszczonego węgla można stworzyć mieszanki paliwowe. Tworzenie mieszanek o różnej zawartości siarki jest konieczne w przypadku spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach. Komponenty mieszanek są tak dobrane, by dotrzymane były warunki zapewniające nie przekraczalność dopuszczalnych emisji SO₂ do atmosfery. Zmiana sposobu spalania mieszanek na kotły fluidalne z ruchomym złożem i dodatkiem wapieni dolomitowych powoduje zmniejszenie zawartości siarki o ok. 90%. Przy spalaniu węgla poza siarką groźne dla biosfery w węglach są występujące izotopy promieniotwórcze, pierwiastki śladowe, rtęć, chlor [24–28, 30–37].

Większość pierwiastków śladowych związana jest z mineralną substancją zawartą w węglu. W procesach przetwórstwa węgla zawartość, rodzaj i skład substancji mineralnej jest bardzo ważny. I tak występujące w węglu metale ciężkie są „luźno” związane z zewnętrzną substancją mineralną, która może w 40–60% być usunięta tradycyjnymi metodami wzbogacania węgla. W organicznej substancji węglowej pierwiastki śladowe mogą występować w postaci związków kompleksowych i wraz ze wzrostem stopnia uwęglenia ich zawartość w węglu maleje. Podczas spalania część substancji niepalnych przechodzi do żużla, część do popiołu lotnego, a część jest emitowana do atmosfery. W strumieniu zanieczyszczeń opuszczających komorę spalania znajdują się arsen, antymon, ołów, nikiel, selen, rtęć i cynk. Proces spalania węgla powoduje wprowadzanie do atmosfery pierwiastków śladowych w postaci par, zaadsorbowanych na pyłach a stężenie ich jest większe w porównaniu z węglem surowym, żużlem i popiołem. W strumieniu spalin w postaci par są obecne w ok. 90% fluor i jod, bor, brom i rtęć średnio w 50% a selen w 15% [25–29].

Zawartość chloru w węglach jest w granicach 0,08–0,3% i zależy od stopnia mineralizacji wód podziemnych i od zasolenia górotworu. Procesy przerobcze wzbogacania węgla odbywają się w ośrodku wodnym, następuje więc wymywanie chloru a ilość wymytego chloru zależy od stopnia rozdrobnienia węgla, czasu kontaktu substancji wymywanej z wodą. Ilość chloru w koncentraty węglowych jest sumą pozostałej ilości chloru we wzbogaczanych węglach oraz ilości chloru znajdującego się na powierzchni odwodnionych produktów, którą wyraża się liczbowo jako wilgotność przemijająca. Usunięcie chloru następuje poprzez głębokie odwadnianie i usunięcie wody z powierzchni produktów wzbogacania,

w przypadku mułów węglowych zastosowanie wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych usunie z porów osadu wodę i zawarty w niej chlor [23, 25, 26, 44]

Szczególnie niebezpieczna jest rtęć, która w 90% rozprzestrzenia się w formie gazowej jako czysty gaz a jedynie w 10% w połączeniu z cząsteczkami pyłu. Komisja Europejska opracowała „Wspólnotową strategię w sprawie rtęci”, w styczniu 2008 r. została znove-lizowana dyrektywa IVU, oraz powstał projekt dyrektywy dotyczącej emisji przemysłowych. Przykładem takich działań są przyjęte przed kilkoma laty dyrektywy IPPC, LCP oraz NEC. Wymieniona dyrektywa, dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (IPPC), stanowi podstawowe narzędzie Wspólnoty Europejskiej wpływające na redukcję emisji rtęci oraz innych substancji zanieczyszczających środowisko. Największe stężenie metali ciężkich występuje nad obszarami uprzemysłowionymi, a więc w pobliżu elektrowni węglowych. Tabela 2 zawiera dane o emisje rtęci przy spalaniu węgla.

W procesie spalania węgla pod wpływem wysokiej temperatury ponad 1473 K rtęć ulega odparowaniu. Na formę w jakiej występuje rtęć — specjacja rtęci zależy od parametrów procesu spalania, ilości doprowadzonego powietrza, rodzaju urządzeń komory spalania, a także od ilości innych pierwiastków — chloru, siarki wapnia. Przy schładzaniu gazów spalinowych, odlotowych część rtęci przereagowuje tworząc HgCl_2 , HgSO_4 , HgO , które adsorbują się na pyłach i są usuwane w systemie odpylaczy. Na formę w jakiej występuje rtęć w spalinach ma wpływ typ i właściwości spalanego węgla. Węgiel koksujący ma wysokie koncentracje Hg^{2+} w instalacji oczyszczania spalin a energetyczny i brunatny niskie ale wysokie zawartości Hg_p . Różny stopień emisji rtęci może wynikać z rodzaju paleniska (kocioł pyłowy, fluidalny, rusztowy) oraz wyposażenia kotła w instalacje ochronne — instalacje odpylania (elektrofiltr, filtr workowy) i instalacje odsiarczania zabudowane w ciągu spalin [38–42].

Kolejnym problemem przy spalaniu węgla jest obecność w nich naturalnych izotopów związanych z substancją mineralną węgla. Podczas spalania, utlenianiu ulega substancja organiczna a w produktach spalania pozostają znacznie wzbogacone zanieczyszczenia, co wpływa z kolei na możliwości wykorzystania odpadów. w zależności od budowy chemicznej, petrograficznej węgla oraz składu mineralnego występuje zróżnicowanie izotopów. Sortymenty miałowe wykazują większe stężenia naturalnych radionuklidów, ponieważ w miałach jest więcej popiołu niż sortymentach średnich. W ramach jednej kopalni a nawet jednego pokładu zmienna jest „matryca” jak i występujące pierwiastki śladowe. Jeżeli występujące w węglu pierwiastki śladowe związane są z substancją mineralną to można je usunąć w procesach przeróbki mechanicznej. I tak w węglach młodszych pierwiastki te są silniej związane z substancją węglową a więc trudno jest je usunąć metodami tradycyjnymi. Wzrost stopnia uwęglenia powoduje, że substancje te związane są z substancją mineralną i łatwiej je można wydzielić [38, 46].

Na proces zgazowania węgla mają wpływ następujące ich właściwości fizykochemiczne: reaktywność czyli zdolność do przemian termochemicznych a to związane jest ze stopniem uwęglenia, zawartością macerałów, zawartością i składem chemicznym fazy mineralnej.

TABELA 2
Emisja rtęci przy spalaniu węgla [41]

Obiekt	Badany materiał	Zawartość popiołu w stanie suchym, [%]	Zawartość części palnych w stanie suchym, [%]	Zawartość rtęci			Emisja rtęci, [ppb]	Procent rtęci ulegającej emisji, [%]
				w stanie roboczym, [ppb]	w stanie suchym, [ppb]	w stanie roboczym, [µg/kg węgla]		
1	węgiel popiół	6,4	–	226,5	–	–	204,21	90,16
	żużel	–	0,34 52,85	–	452,0 45,0	21,07 0,59		
2	węgiel popiół	19,7	–	90,0	–	–	34,10	37,89
	żużel	–	2,47 2,52	–	378,0 30,0	55,13 0,77		
3	węgiel popiół	11,3	–	64,0	–	–	50,36	78,69
	żużel	–	1,35 2,84	–	162,0 16,0	13,4 0,24		
4	węgiel popiół	12,2	–	47,0	–	–	20,47	43,55
	żużel	–	0,96 3,96	–	297,0 6,0	26,43 0,10		
5	węgiel popiół	18,0	–	183,0	–	–	105,33	57,55
	żużel	–	3,59 14,00	–	574,0 14,0	77,30 0,37		

W zależności od układu zgazowania, struktury przepływu paliwa (reaktory ze złożem zwartym przesuwным, ze złożem fluidalnym, reaktory dyspersyjne) stosowane są węgle o różnej reaktywności. Jeżeli proces zgazowania zachodzi w reaktorze ze złożem zwartym przesuwным to długi czas przebywania paliwa z czynnikiem zgazowującym pozwala na stosowanie paliwa o niższej reaktywności. W reaktorach ze złożem fluidalnym i reaktorach dyspersyjnych węgle muszą posiadać dużą reaktywność ponieważ czas kontaktu jest krótki. Uziarnienie zgazowywanego węgla jest związane z zastosowaniem typu reaktora. Z rozdrobieniem węgla związana jest poddatność przemiałowa a ta ma powiązanie z budową i wielkością węgla, stopniem metamorfizmu i składem petrograficznym. Właściwości koksotwórcze węgla a więc zdolność spiekania i wskaźnik wolnego wydymania są istotne, ze względu na eksploatację generatorów gazu. Kolejnym bardzo istotnym parametrem jest zawartość popiołu i temperatura topnienia popiołu. W procesach zgazowania niskopopiołowe węgle są preferowane ze względu na odbiór z reaktora produktów odpadowych jakim jest popiół. Temperatura, w której następuje topnienie popiołu, jego lepkość wpływają na wybór typu reaktora. Ciekły żużel może być odbierany w reaktorach ze złożem zwartym, w reaktorach ze złożem fluidalnym odpad stanowi część złoża fluidalnego i nie można dopuścić do zaburzenia pracy złoża i zmian reologicznych zawiesin. Zawartość chloru i siarki, pierwiastków śladowych, wody, części lotnych i węgla związanego w zgazowywanym węglu będzie wpływać na termiczne procesy zgazowania, ekonomikę procesu, właściwości reologiczne zawiesin i korozyjność urządzeń. Do procesu zgazowania nadaje się zarówno węgiel kamienny jak i brunatny. Uzyskanie odpowiednich parametrów procesu zgazowania preferuje węgle niskopopiołowe o wartości opałowej ok. 22 MJ/kg. Teoretycznie zawartość siarki w węglu nie jest parametrem ograniczającym zgazowanie, bo jest ona usuwana w trakcie oczyszczania gazu procesowego, jednakże pierwiastki śladowe, chlor, rtęć, naturalne nuklidy promieniotwórcze, które ulegają kumulacji w produktach odpadowych mogą wpływać na zmiany antropogeniczne środowiska naturalnego. Sposób zgazowania węgla powinien być najefektywniejszy przy jak najmniejszej inwazyjności dla środowiska.

Jak wynika z powyższego opracowania potrzeby energetyczne spowodują konieczność głębokiego wzbogacania węgla. Mogą być do tego celu zastosowane metody znane w przeróbce kopaliny. Ich zastosowanie w procesie — przykładowo — zgazowania węgla i otrzymanie najczystszej kopaliny będzie sprzyjać wzrostowi produkcji energii bez zbędnego zanieczyszczenia środowiska i wzrostu emisji CO₂ a więc zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

LITERATURA

- [1] *Malko P.*: Globalna i europejska scena energetyczna — Polityka energetyczna t. 10, z. sp. 1, str. 9–22, wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2007
- [2] *Klank M.*: Węgiel kamienny jako gwarant bezpieczeństwa energetycznego Polski i jego szanse w Europie — Polityka energetyczna t. 10, z. sp. 1, str. 23–47, wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2007
- [3] *Białas M., Paszcza H.*: Znaczenie tradycyjnych nośników energii dla polityki energetycznej UE w kontekście zapobiegania zmianom klimatycznym — Polityka energetyczna t. 10, z. sp. 1, str. 117–133, wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2007

- [4] *Sobczyk E.J.*: Zasoby węgla kamiennego w Polsce a możliwość zaspokojenia potrzeb energetyki — Polityka energetyczna t. 11, z. 1, str. 431–449, wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2008
- [5] *Nycz R.*: Aktualny stan przeróbki węgla kamiennego w Polsce — Inżynieria Mineralna, z. 2, Kraków, 2000
- [6] *Mokrzycki E.*: Perspektywy wykorzystania węgla kamiennego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, z.3/1, 2006
- [7] *Kasztelewicz Z., Polak K., Zajączkowski M.*: Metody wydobycia i przetworstwa węgla brunatnego w I połowie XXI wieku. *Węgiel brunatny*, nr 4, 2008
- [8] *Nycz R., Majka-Myrcha B.*: Stan obecny i perspektywy wzbogacania węgla kamiennego w Polsce. *Inżynieria Mineralna*, z. sp. 3 (10), Kraków, 2003
- [9] *Blaschke W.*: Przeróbka węgla kamiennego — wzbogacanie grawitacyjne. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2009
- [10] *Blaschke W. Lorenz U., Ozga-Blaschke U.*: Krajowa baza surowcowa dla przemysłu eneochemicznego przetwórstwa węgla. *KARBO*, nr 4, 2009
- [11] www.kashue.pl — Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do emisji
- [12] *Hanak B.*: Zróżnicowanie petrograficzne i chemiczno-technologiczne węgla płomiennego typu 31 z warstw łaziskich i libiąskich Górniośląskiego Zagłębia Węglowego i jego znaczenie praktyczne. *Górnictwo*, z. 212, Gliwice, 1993
- [13] *Gabzdyl W., Hanak B.*: Charakterystyka petrograficzna węgla z pokładów KWK „Janina”. *Górnictwo*, z. 125, Gliwice, 1984
- [14] *Parzenny H.*: Charakterystyka składu maceralnego i mineralnego węgla z pokładu 620 w rejonie Wojnic w Górniośląskim Zagłębiu Węglowym. *Przegląd Górniczy*, nr 1, 1990
- [15] *Parzenny H.*: Rola substancji mineralnej w kształtowaniu zawartości cynku, ołowiu i kadmu w węglu ze wschodniej części Górniośląskiego zagłębia Węglowego. *Przegląd Górniczy*, nr 2, 1990
- [16] *Kozioł J.*: Wybrane zagadnienia z zakresu analizy pierwiastków — Węgłokoks S.A., *Biuletyn Kwartalny*, nr 4, 1997
- [17] *Hycnar J.J.*: Kierunki rozwoju procesów zgazowania paliw. *KARBO*, nr 1, 2008
- [18] *Kasztelewicz Z., Polak K., Zajączkowski M.*: Szanse i zagrożenia zgazowania węgla w złożu. *Przegląd Górniczy*, nr 1-2, 2009
- [19] *Karcz A., Porada St.*: możliwości konwersji węgla na metan w świetle wyników badań kinetycznych procesów pirolizy i hydrozgazowania. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 11, z. 2, 1995
- [20] *Matula W., Świądrowski J.*: Doświadczenia ruchowe z pracy doświadczalnych instalacji bezpośredniego uwodorniania węgla. *Przegląd Górniczy*, nr 2, 1989
- [21] *Zahaczewski R., Bednarczyk B., Worsztynowicz A.*: Przetwórstwo węgla — Problemy inżynierii procesowej w technologii upłynniania węgla. *Przegląd Górniczy*, nr 7–8, 1981
- [22] *Taniewski M.*: Technologia chemiczna-surowce. Wyd. Pol. Gliwicka, Gliwice, 2000
- [23] *Ściążko M., Zieliński H.*: Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy. ICHPW i IGSMiE Zabrze–Kraków, 2003
- [24] *Kidawa H., Jasieńko S.*: Właściwości i struktura węgla z kopalni „Janina”, Nadwiślańskiego Okręgu węglowego. *Koks, Smoła, Gaz*, nr 11–12, 1989
- [25] *Drogoń W.*: Metody bilansowania końcowej produkcji zakładów przerobczych węgla koksowego. *Przegląd Górniczy*, nr 4, 1990
- [26] *Widawska-Kuśnierska J.*: Występowanie pierwiastków śladowych w polskich węglach kamiennych. *Przegląd Górniczy*, nr 7–8, 1981
- [27] *Różkowska A., Ptak B.*: Pierwiastki podrzędne i śladowe w górniośląskich węglach kamiennych. *Przegląd Górniczy*, nr 6, 1995
- [28] *Święch F., Kwiecińska B.*: Maevy metal concentrations in bituminous coal from the „Janina” coal mine, Libiąż, USCB, Poland – *Mineralogia Polonica*, vol. 34, No 1, 2003
- [29] *Staisz J., Pasoń-Konieczynska A., Konieczynski J.*: Wstępna ocena emisji pierwiastków śladowych w wyniku spalania węgla kamiennego. *Archiwum Ochrony Środowiska*, vol. 26, No 1, 2000
- [30] *Róg L., Michalik B., Wysocka M.*: Wpływ składu chemicznego popiołu na stężenie izotopów promieniotwórczych w węglu. *Przegląd Górniczy*, nr 1–2, 2009
- [31] *Średniawa J.*: Odsiarczanie węgla metodami przeróbki mechanicznej na tle innych technologii zmniejszania emisji dwutlenku siarki do atmosfery. *Przegląd Górniczy*, nr 7–8, 1990
- [32] *Śmiejek Z.*: Rola przesiewaczy w procesach wzbogacania węgla kamiennego w osadzarkach. *Polityka energetyczna*, t. 7, z. sp. 2004

- [33] *Blaschke W.*: Technologie Czystego Węgla rozpoczynają się od jego wzbogacania. *Polityka energetyczna*, t. 11, z. 2, 2008
- [34] *Borowiecki T., Kijeński J., Machnikowski J.*: Czysta energia, produkty chemiczne i paliwa z węgla — ocena potencjału rozwojowego. IPCHW, Zabrze, 2008
- [35] *Hycnar J.J., Górski M.*: Uwarunkowania współspalania węgla i biomasy. *Polityka energetyczna*, t. 6, z. sp. 2003
- [36] *Klank M.*: Możliwości i prognozy produkcji niskosiarkowych miałów energetycznych w aspekcie zaspokojenia zapotrzebowania krajowej energetyki. *Polityka energetyczna*, t. 8, z. sp. 2005
- [37] *Ściążko M., Tramer A.*: Zintegrowana karbo–energo–chemia. *Polityka energetyczna*, t. 8, z. sp. 2005
- [38] *Kapała J.*: Podstawy technologii bezodpadowych na przykładzie górnictwa węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy*, nr 5, 1990
- [39] *Olkuski T.*: Zawartość uranu i toru w węglach polskich i amerykańskich. Wyd. Instytutu GSMiE PA. *Polityka Energetyczna*, tom 11, z. 1. N, Kraków 2008
- [40] *Wojnar K., Wisz J.*: Rtęć w polskiej energetyce. *Energetyka*, z. 4, 2006
- [41] *Wichliński M.*: Zawartość i sposoby usuwania rtęci z polskich węgli energetycznych — <http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/36.pdf>
- [42] *Glodek A., Kubica K., Pacyna J.M.*: Wybrane zagadnienia emisji rtęci z procesów spalania paliw stałych. *Ochrona Powietrza w teorii i praktyce*. IPIŚ PAN, Vol. 1/2, Zabrze 2006, p. 27–35, 5th International Scientific Conference — *Air Protection in Theory and Applications*, Zakopane, October 19–21, 2006
- [43] *Millat J.*: Projekt dla elektrowni opartej na węglu kamiennym w Grefswaldzie. Możliwe oddziaływania na środowisko naturalne będące skutkiem emisji rtęci i jej związków, 2008
- [44] *Aleksa H., Dyduch F., Wierchowski K.*: Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej. *Górnictwo i Geoinżynieria*, z. 3/1, 2007
- [45] *Pałasz J.*: Uwarunkowania jakościowe przy eksporcie węgla energetycznego — Węglkokoks S.A., *Biuletyn Kwartalny*, nr 4, 1997