

Andrzej ŚLĄCZKA

PERSPEKTYWY I MOŻLIWOŚCI NIEKONWENCJONALNEGO
WZBOGACANIA WĘGLA

Streszczenie. Omówiono niektóre niekonwencjonalne metody wzbogacania węgla.

Wzbogacanie węgla nie jest już w obecnych czasach prowadzone głównie dla zmniejszenia ożużlowania kotłów oraz ilości odpadów popiołowych, ale staje się ważnym czynnikiem dla ochrony środowiska, głównie dla zminimalizowania emisji SO_2 przez kominy elektrowni.

Spośród klasycznych metod wzbogacania węgla wymienić należy wzbogacanie metodami grawitacyjnymi przy użyciu cieczy ciężkich, stołów koncentracyjnych oraz hydrocyklonów oraz metodami flotacyjnymi wykorzystującymi różnice we właściwościach powierzchni ziarn substancji węglowej i skały płonnej. Metody te zastosowane kompleksowo pozwalają wzbogacać węgiel o granulacji mieszczącej się we wszystkich klasach ziarnowych. Jakość uzyskanych tą drogą koncentratów, biorąc pod uwagę zawartość w nich siarki i popiołu, zależy w dużej mierze od rodzaju i pochodzenia wzbogacanego węgla. Dla węgla łatwo wzbogacalnych oraz niskosiarkowych otrzymać można koncentraty o zawartości popiołu rzędu kilku procent i siarki nawet poniżej 1%. Dla węgla trudno wzbogacalnych uzyskanie produktu o zawartości poniżej 10% popiołu jest bardzo trudne.

Należy zauważyć, że stosując metody konwencjonalne, usunięcie siarki następuje jedynie poprzez usunięcie pirytu zawartego w węglu, z pozostawieniem siarki związanej chemicznie z substancją bitumiczną.

Obecnie poszukuje się coraz szerzej metod wzbogacania węgla, opartych na zupełnie innych zasadach.

Spośród niekonwencjonalnych metod uszlachetniania węgla, wymienić można:

- zastosowanie flotacji pianowej wielostopniowej z międzyoperacyjnym domielaniem półproduktów,
- elektrostatyczne wzbogacanie na sucho,
- selektywną aglomerację połączoną z flotacją.

- oczyszczanie węgla z zastosowaniem różnych procesów chemicznych, takich jak na przykład: działanie stopionymi ługami sodowym i potasowym, działanie mrówczanami, działanie różnymi kwasami,
- zastosowanie mikroorganizmów w połączeniu flotacją.

Zupełnie odrębną grupę stanowią metody polegające na rozkładzie substancji węglowej z wytworzeniem produktów ciekłych czy gazowych. Należą tu procesy uwodornienia i zgazowania, podczas których substancja mineralna oraz siarka zawarta w węglu zostają całkowicie usunięte.

FLOTACJA PIANOWA

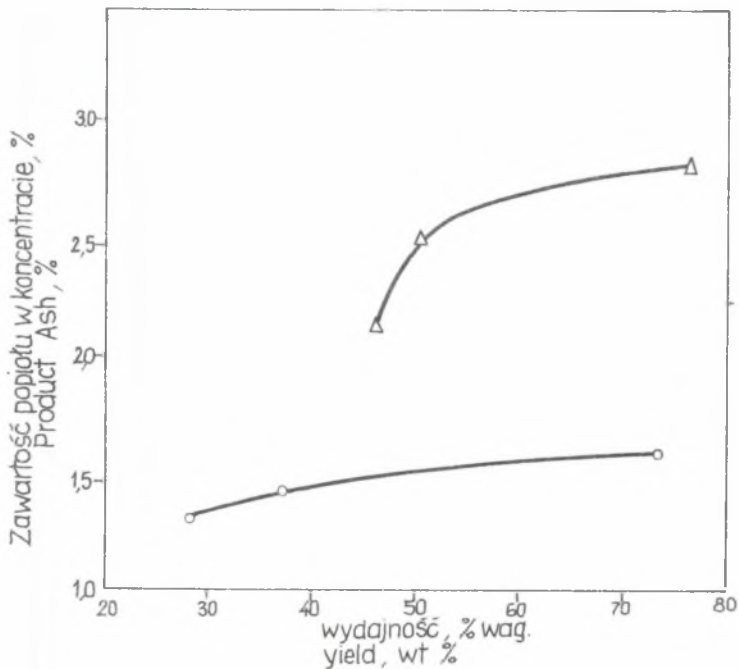
Flotacja pianowa jest powszechnie stosowana do wzbogacania głównie węgla koksujących w klasie ziarnowej do 1 mm. Ponieważ węgiel jest stosunkowo łatwo flotowalny, proces prowadzi się jednostopniowo, otrzymując koncentrat i odpady. Niemniej jednak wprysnięcia - zarówno skały płonnej, jak i ziarenek pirytu - mogą być bardzo drobne, dochodzące do setnych części milimetra, co nie gwarantuje ich oswobodzenia z ziarn substancji węglowej. Nie jest więc możliwe rozdzielenie tych substancji bez dodatkowego mielenia.

Pomimo tego, że flotacja węgla po raz pierwszy została zastosowana 50 lat temu, niewiele wysiłku zostało włożone przez przemysł węglowy od tego czasu, w celu ulepszenia tego procesu. Potencjalne korzyści, jakie daje dwu- lub trójstopniowa flotacja, względnie klasyfikacja nadawy przed flotacją, w celu prowadzenia flotacji dla różnych klas ziarnowych oddzielenie lub też prowadzenie odszlamowania nadawy przed flotacją, są rzadko stosowane w świecie, a w Polsce w ogóle się ich nie stosuje. To zaniedbanie w tej dziedzinie można częściowo wytłumaczyć tym, że początkowo flotacja używana była jedynie w celu zamknięcia obiegu wodnego a nie w celu wzbogacania węgla. Ponadto, dzięki wysokiej efektywności wzbogacania grawitacyjnego, używana była do odzyskania jedynie tych drobnych klas ziarnowych, które powstały przypadkowo podczas eksploatacji i transportu. Ilość ta wynosiła kiedyś około 15% wydobywania. Nie było więc silnej presji ekonomicznej do ulepszenia flotacji węgla.

W dziesiętszych czasach sytuacja zmieniła się diametralnie. Koszty wydobywania ogromnie wzrosły, a nowoczesne metody eksploatacji węgla i jego transportu dają bardzo dużą ilość klas drobnych, które stanowią cenny surowiec i należy je odzyskać i wzbogacić. Polepszenie efektywności i ekonomiki flotacji, oprócz oczywistych korzyści dla zakładu wydobywczego, posiada jeszcze aspekt nabierający obecnie coraz większego znaczenia dla ochrony środowiska. Głębokie wzbogacanie węgla mianowicie staje się jedyną drogą dla ograniczenia emisji trujących gazów oraz pyłów z kominów elektrowni i ciepłowni.

W Stanach Zjednoczonych A.P. na przykład głęboko wzbogaconymi węglami zastępuje się olej opałowy względnie gaz ziemny.

Miller i Wen [1] z sekcji przeróbki węgla Departamentu Energii USA podają interesujące wyniki badań wpływu głębokiego mielenia węgla na wyniki jego flotacji. Próbkę węgla zostały najpierw zmielone do uziarnienia poniżej 0,6 mm, a następnie domielone w młynku kulowym na sucho lub na mokro. Wyniki analizy sitowej produktów mielenia podano w tabelicy 1, a wyniki flotacji tych prób przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wyniki flotacji węgla w zależności od sposobu mielenia

o - mielony na mokro, Δ - mielony na sucho

Fig. 1. Flotation performance with

o - wet-ground coal, Δ - dry-ground coal

Tabela 1

Analiza sitowa prób węgla mielonych na sucho i na mokro [1]

Klasa ziarnowa [μm]	W y c h ó d [% wag]	
	na sucho	na mokro
- 27	89	96
- 19	77	91
- 13	68	75
- 10	53	53
- 7	37	32
- 5	22	16

Jak widać z przedstawionych wyników mielenie na mokro daje znacznie większe ilości klas drobnych oraz znacznie korzystniej wpływa na jakość koncentratów flotacyjnych.

Tablica 2 podaje wpływ czasu mielenia na mokro klasy węgla poniżej 0,6 mm na wychód klas drobnych oraz na stopień uwolnienia ziarn pirytu.

Tablica 2

Wpływ czasu mielenia na mokro klasy -0,6 mm na wychód klas ziarnowych i stopień uwolnienia pirytu

Czas mielenia [min.]	0	10	20	30
Wymiar ziarn [μm]	W y c h ó d [% wag.]			
Poniżej 125		100	100	100
88		99	100	100
62		91	96	100
44		84	94	100
31		69	85	94
22		56	73	84
16		44	60	71
11		32	46	57
5,5		15	23	30
3,9		9	13	18
2,8		3	6	8
Stopień uwolnienia				
% ziarn uwięzionych	42,8	10,7	7,7	5,0
% zrostów	34,61	42,7	29,7	32,7
% ziarn wolnych	100	100	100	100

Z tablicy 2 wynika, że ilość wolnych ziarn pirytu gwałtownie wzrasta w wyniku procesu mielenia. Wynika również, że pomimo zmielenia całego materiału do wymiarów ziarn poniżej 31 μm , jedynie 62,3% stanowią ziarna wolne. Chcąc zatem usunąć piryt z węgla, należy przeprowadzić głębokie jego mielenie.

Wykonanie flotacji tak zmielonej nadawy z trzykrotnym oczyszczeniem koncentratu pozwoliło otrzymać z nadawy, o zawartości 1,54% siarki, produkt o zawartości 0,64% S.

Trudności związane z flotacją ziarn bardzo drobnych są dobrze znane. Należałoby więc poświęcić więcej czasu na dokładne przebadanie procesu ich flotacji, a sam proces wzbogacania prowadzić w kilku stadiach.

Wymienieni badacze, prowadząc flotację z trzykrotnym oczyszczeniem koncentratu oraz domielaniem półproduktów, uzyskali nawet około 10-krotne zmniejszenie zawartości siarki. Z nadawy w klasie ziarnowej 0,6-0 mm o zawartości popiołu 25,2% i siarki pirytowej 0,86% uzyskali koncentrat o za-

wartości 5,7% popiołu i 0,20% S. Używając natomiast nadawy o uziarnieniu 0,038-0 mm i zawartości popiołu 59,6% oraz 2,5% siarki pirytowej można uzyskać koncentrat o zawartości 4,5% popiołu i 0,12% S.

Wyniki te wyraźnie świadczą o tym, że głównym czynnikiem dającym szansę usunięcia siarki i popiołu, jest odpowiednio głębokie zmielenie nadawy, powodujące uwolnienie ziarn węglowych ze zrostów.

W planowaniu badań flotacyjnego wzbogacania węgla należy więc więcej uwagi poświęcić flotacji ziarn bardzo drobnych. Należy również zwrócić uwagę na to, że tak drobno uziarnione koncentraty mogą być stosowane do przygotowania wodnych zawiesin węglowych (Coal Water Slurry), używanych jako paliwo w nowoczesnych paleniskach i nie wymagają odwodnienia czy suszenia.

ELEKTROSTATYCZNE WZBOGACANIE NA SUCHO

Ta metoda wzbogacania ma niewątpliwą zaletę, że otrzymane produkty nie wymagają odwodnienia. Podobnie tutaj wymagane jest jednak głębokie zmielenie nadawy, lecz otrzymany produkt może być bezpośrednio stosowany w paleniskach na pył węglowy.

Amerykańska firma Advanced Energy Dynamics [2] opracowała pierwszą w pełnej skali technicznej technologię elektrostatycznego wzbogacania węgla. Stosowana technologia obejmuje dwojakiego rodzaju procesy: tzw. Fine Coal oraz Ultra-Fine Coal. Metoda elektrostatycznego wzbogacania charakteryzuje się niższymi kosztami, w porównaniu z procesem flotacji [2]. Węgiel uzyskany tą metodą jest tańszy, aniżeli występujący w naturze węgiel niskosiarkowy. Pierwsza instalacja zbudowana w Ohio według metody Fine Coal, miała wydajność 4,5 t/godz. i umożliwiła usunięcie 40% zarówno popiołu, jak i siarki. Węgiel poddawany wzbogacaniu zawierał ziarna pirytu o wymiarach od 5 do 50 μm . Wzbogacanie prowadzono przy użyciu dobrze znanego elektrostatycznego separatora bębnowego.

Najodpowiedniejsze uziarnienie nadawy dla tego procesu było 250-37 μm .

W 1981 roku uruchomiono proces Ultra-Fine dla wzbogacania ziarn poniżej 37 μm . Proces ten opiera się na zjawisku polegającym na tym, że świeża powierzchnia, powstająca podczas przełomu, emituje ładunek elektryczny. Jeżeli mieszanina dwóch rodzajów ziarn zostanie wprowadzona do układu, w którym przynajmniej niektóre ziarna pękają, tworzą się różnoimienne ładunki elektryczne. Jedne ziarna ładują się dodatnio, a drugie ujemnie. W przypadku węgla dodatnio naładowane cząstki substancji organicznej są przyciągane przez ujemnie naładowane elektrody, umieszczone w separatorze. Proces jest prosty i niedrogi. Prowadzony być może wielostadialnie. Metodą tą można wzbogacać węgle o uziarnieniu 160-0 μm , obniżając w nich zawartość popiołu i siarki o około 50%.

CHEMICZNE METODY OCZYSZCZANIA WĘGLA

Niewatpliwie najlepsze usunięcie substancji mineralnej z węgla gwarantują metody chemiczne. Polegają one na traktowaniu węgla w podwyższonej temperaturze różnymi chemikaliami, a zwłaszcza stopionymi ługami sodowym i potasowym, mrówczanami lub kwasami. Metody te pomimo tego, że są stosunkowo kosztowne, choć nie tak bardzo, rodują nadzieję na ich przemysłowe zastosowanie w tych przypadkach, w których wymagane jest uzyskanie bardzo czystego węgla używanego nie tylko dla różnych celów specjalnych, ale również jako paliwo w warunkach rygorystycznych norm ochrony środowiska.

Jednym z takich procesów opracowanych w USA jest proces Gravimelt [3, 4]. Proces ten umożliwia prawie całkowite usunięcie popiołu i siarki z każdego węgla, eliminując tym samym konieczność stosowania oczyszczania spalin. Węgiel otrzymany tą metodą posiada porównywalną z olejem napędowym zawartość siarki i popiołu i może go zastąpić w wielu przypadkach.

Zasada procesu polega na traktowaniu węgla stopioną mieszaniną $\text{KOH}:\text{NaOH}$ w temperaturze $325\text{--}390^\circ\text{C}$. Stopione wodorotlenki ekstrahują siarkę organiczną i pirytową oraz substancję mineralną. Używając od 10 do 20 części wag. alkaliu na 1 część wag. węgla, powoduje wytworzenie płynnej masy, przez którą węgiel wypływając na powierzchnię pozbywa się substancji mineralnej. Czas trwania procesu wynosi około 1 godziny. Proces można prowadzić w reaktorach współ- jak i przeciwnoprądowych. W tych ostatnich, stosunek alkaliów do węgla wynosi, jak 4:1.

Po zakończeniu procesu ługowania węgiel oddzielany jest od stopionych alkaliu, przemywany wodą, rozcieńczonym kwasem i albo odwadniany, albo używany jako paliwo w postaci zawiesiny wodnej (Coal Water Slurry).

Alkalia są rozpuszczane w wodzie i po oddzieleniu substancji mineralnej zagęszczane w wyparkach i zwracane do procesu, Węgiel poddawany temu procesowi posiadał uziarnienie $1,18\text{ mm}$ do $150\text{ }\mu\text{m}$ oraz $150\text{ }\mu\text{m}$ - 0. Koszty tego procesu wraz z amortyzacją fabryki przy założeniu produkcji 10.000 ton/dobę, kształtują się w warunkach amerykańskich od 35 do 50 dolarów na tonę przerabianego węgla. Nie są więc aż tak wysokie, jakby to wyglądało na pierwszy rzut oka, biorąc pod uwagę złożoność procesu.

PODSUMOWANIE

Problem wzbogacania węgla, zwłaszcza energetycznego, nie miał do tej pory w Polsce wielu zwolenników. Spowodowane to było różnymi czynnikami, nie mającymi związku z warunkami technicznymi. Obecnie coraz większego znaczenia nabiera ekonomika spalania węgla oraz ochrona środowiska, z czym wiąże się nierozzerwalnie proces jego wzbogacania.

Należy więc badania tego procesu prowadzić szerokim frontem, obejmującym nie tylko metody klasyczne, takie jak wzbogacanie grawitacyjne czy

flotacja, ale też metody bardziej wyrafinowane, które w przyszłości mogą okazać się niezastąpione.

LITERATURA

- [1] Miller K.J., Wen W.W.: The Effect of Fine Grinding on the Production of Superclean Coal by Flotation. Proc. Pittsburg Coal Conference, s. 34, (1985).
- [2] Lipait P.F., Feldmann B.E.: Commercializing Electrostatic Dry Coal Cleaning - Proc. Pittsburg Coal Conference, s. 63, 1985.
- [3] Meyers R.A., Clamathan L.C., Hart W.D.: Development of the TRW Gravimelt Process. Proc. Pittsburg Coal Conference, s. 112, 1985.
- [4] Meyers R.A.: Gravimelt Process Application and Economics. Proc. of Pittsburg Coal Caonference, s. 381, 1984.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ НЕКОНВЕНЦИОНАЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

Р е з ю м е

Представлено некоторые неконвенциональные методы обогащения угля.

SOME UNCONVENTIONAL METHODS OF COAL BENEFICATION

S u m m a r y

Some unconventional methods of coal benefication have been reviewed.