

Jerzy NAWROCKI, Stanisław BŁASZCZYŃSKI

Aleksander OLAS

METODY PRZYGOTOWANIA KONCENTRATÓW WĘGLOWYCH DLA CELÓW SPECJALNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono znane metody wzbogacania węgla, w celu otrzymania niskopopiołowych koncentratów węglowych. W świetle dokonanego przeglądu literatury przedstawiono prace, prowadzone w tym zakresie przez Instytut Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Dokonano krótkiej analizy tych prac w stosunku do metod istniejących oraz pod kątem ich przydatności przemysłowej.

1. Węgiel jako surowiec dla przetwórstwa

Realizacja wzrostu udziału węgla w bilansie energetycznym napotyka na duże trudności, spowodowane ograniczoną możliwością przyrostu wydobycia. Dlatego też obecnym podstawowym problemem gospodarki paliwowo-energetycznej staje się racjonalne wykorzystanie węgla, co osiągnąć można jedynie przez szeroki rozwój jego przetwórstwa. Jednym z podstawowych problemów jest odpowiednie przygotowanie węgla zarówno pod kątem jego zapozielenia, jak i składu petrograficznego. W większości procesów przetwórczych wymagania stawiane koncentratom węglowym to: niskie ich zapozielenie i duże zawartości takich składników petrograficznych, jak wityrynit i egwynit. Rozdzielanie głównych składników petrograficznych węgla uważane było przez długi okres za raczej rzadko spotykany proces selektywnej przeróbki węgla. Dotąd techniczne zastosowanie tego procesu ograniczało się do wykonywania wzbogacania pod kątem wysoce specjalistycznych celów użytkowania. Najbardziej znanym zastosowaniem jest niewątpliwie rozdzielanie węgla błyszczącego i matowego z wybranych pokładów węglowych, a drugim ważnym zastosowaniem jest wzbogacenie węgla błyszczącego o niskiej zawartości popiołu. Istniejące procesy wskazują jednak na inne techniczne możliwości selektywnej przeróbki węgla. Istnieje wiele powodów, by sądzić, że w przyszłości znajdzie ona bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach w większości krajów wydobywających węgiel.

Jak już wspomniano, jedną z metod utylizacji węgla jest otrzymanie węgla ultra czystego do specjalnych celów użytkowania. Pod pojęciem "węgiel ultra czysty" należy rozumieć koncentrat węglowy, w którym zawartość popiołu jest mniejsza od 2%. W celu otrzymania tego rodzaju węgla należy wę-

giel surowy wzbogacić metodą selektywnej przeróbki, w celu koncentracji składników o niskiej zawartości popiołu.

W zależności od zawartości popiołu węgiel taki znajduje bardzo różne zastosowanie [34,35,43] w przemyśle: elektrotechnicznym, chemicznym, hutniczym, termojądrowym, maszynowym, lekkim, w technice raketowej, półprzewodników, w procesach filtracyjnych i sorpcyjnych, w farmacji itp.

W obecnym kryzysie paliwowym coraz większy nacisk kładzie się na proces uwodarniania, w którym to procesie oczywistą korzyść przynosi selekcja najodpowiedniejszego komponentu, gdyż różne składniki warstwowe wykazują odmienną wrażliwość na dodatek wodoru. Najodpowiedniejszym węglem wydaje się być węgiel gazowy, zawierający 35-40% substancji lotnych, poniżej 2% popiołu, poniżej 8-10% tlenu i poniżej 83% C. Takimi własnościami odznaczają się bliższe składniki stosunkowo nisko uwęglonych węgla [34, 35].

Zagadnienie otrzymywania węgla niskopopiołowych należy w jednoznaczny sposób połączyć z zagadnieniem otrzymywania koncentratów wityrynitowo-egzytnitowych. Wynika to z faktu, iż zarówno wityrynit, jak i egzytnit są najniższej zapopielenymi macerałami w węglu, a zawartość popiołu w wityrynie, który jest podstawowym macerałem węglowym, rzutuje w sposób zasadniczy na zawartość popiołu danej partii węgla i warunkuje możliwość uzyskania niskiego zapopielenia [1]. Zawartość popiołu w wityrynie jest zmienna i zależy od wielu czynników, a przede wszystkim od stopnia uwęglenia, a o to tym idzie i typu węgla, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Typ węgla	Macerale - zawartość popiołu A ^a %			
	Egzytnit	Wityrynit	Mikrytnit	Fuzytnit
31	1,20	1,12	3,0	7,24
32	0,92	1,36	2,20	13,12
33	0,98	1,48	3,18	4,64
34	0,80	3,88	4,20	-
35	1,00.	0,68	1,40	6,16

Węgiel kamienny, oprócz zasadniczych składników organicznych, stanowiących jego podstawową formę strukturalną, zawiera substancje mineralne i pewne ilości pierwiastków śladowych. W sumie czyni to całą strukturę węgla bardzo niejednorodną. Przeprowadzenie odpowiednich badań mineralogiczno-petrograficznych, poznanie własności chemicznych i fizycznych poszczególnych składników pozwalają dobrać odpowiednią metodę selektywnej przeróbki węgla. Wszystkie te czynniki powodowały, iż w dotychczas spotykanych metodach uzyskiwania węgla niskopopiołowych bardzo starannie dobierano odpowiednio do przeróbki pokłady węglowe, częstokroć selektywnie wybierane [27].

Intensywnie rozwijające się po drugiej stronie przetwórstwo spowodowało, iż obiektem zainteresowania stały się obecnie węgle gorszych typów, najniżej uwęglone, nie mogące znaleźć zastosowania w koksownictwie [32, 33].

2. Metody otrzymywania węgla niskopopiołowych

Stosowane obecnie metody selektywnej przeróbki mechanicznej stanowią zasadniczo modyfikację dobrze znanych procesów przeróbki węgla i podobnie jak zwykle metody wzbogacenia opierają się głównie na różnicach własności fizycznych składników. Technicznie wykorzystywanymi różnicami fizykochemicznymi są:

- własności powierzchniowe,
- własności pękania,
- gęstość,
- własności chemiczne.

2.1. Otrzymywanie węgla niskopopiołowych przy wykorzystaniu własności powierzchniowych

Wzbogacanie warstwowych składników o małych wymiarach może odbywać się przy wykorzystaniu różnic wielkości powierzchniowego ładunku elektrycznego. Witryt i klaryt są przeważnie złymi przewodnikami, natomiast duryt i fuzyt dobrymi dlatego, że zawierają dużo materiału mineralnego. Proces będzie więc polegał na selektywnym rozdzieleniu składników w całości materiału w polu elektrycznym, w oparciu o różnicę wielkości i znaku ładunków elektrycznych osztek. Dobre przewodniki elektryczne zostaną naładowane nabojami elektrycznymi szybko, a złe przewodniki otrzymają podczas przebywania w polu elektrycznym tylko nieznaczne ładunki. Wzbogacanie będzie więc polegać na różnicy w przewodnictwie elektrycznym poszczególnych składników [2, 3].

Procesem, który posiada o wiele większe możliwości selektywnego wzbogacania warstwowych składników, jest flotacja pianowa. Łatwość, z jaką można odzyskać osztek węgla za pomocą flotacji pianowej, ściśle wiąże się z kątem skrajnym, utworzonym przez pęcherzyk powietrzny z osztek węgla zanurzoną w wodzie.

Wykazano, że warstwowe składniki posiadają zróżnicowane własności kątów skrajnych. Przykładowo: kąt skrajny jednorodnej powierzchni witrytu w węglu koksującym wynosi około 57° , a przy powierzchni durytu 39° . Powierzchnie pokryte fuzytem nie dają kąta brzegowego, natomiast klaryt zajmuje pośrednią pozycję między witrytem a durytem [4, 12, 13].

Metoda otrzymywania niskopopiołowych węgla przy wykorzystaniu metody flotacji czystej oraz flotacji połączonej z separacją elektrostatyczną była szeroko stosowana w Niemczech i Wielkiej Brytanii już przed II wojną

i przez długi okres czasu po wojnie. Na rys. przedstawiono za [7] metodę niemiecką.

Kęsy ręcznie wzbogacone
12% popiołu, 12 t/godz.

Kruszarka

8,0 ÷ 0 mm

Przesiewacze

8,0 ÷ 1,0 mm

1,0 ÷ 0,1 mm
do wzbogacania
elektrostatycznego

Pluozka magnetyczna
Vogel

Koncentrat
15% popiołu, 9 t/godz.

Kruszarka

0,2 ÷ 0 mm

Flotacja pianowa

Ultra czysty węgiel
0,69% popiołu, 33 t/godz.

Rys. 1. Produkcja ultra czystego węgla w kopalni "Königin Elisabeth"
wg [7]

Ręcznie wzbogacony węgiel o zawartości popiołu 12%, kruszony i odpylony, stanowił nadawę do separatora strumieniowego (Vogel) z zawieszoną magnetytą. To stadium wzbogacania daje węgiel o zawartości 1,5% popiołu. Węgiel ten po skruszeniu do siarn poniżej 0,2 mm wzbogacono повторно do zawartości popiołu 0,5 do 0,7%. Wychód tak wzbogaconego koncentratu wynosił 27% nadawy. Doświadczalnie wzbogacono materiał o uziarnieniu 1-0,1 mm procesem elektrostatycznym. Węgiel spadał kaskadą nad szeregiem walców naładowanych elektrycznie wzdłuż elektrod o wysokim potencjale. Częstki o dużej zawartości popiołu były przysięgane przez elektrody, podczas gdy węgiel spadał w linii prostej w dół, od walca do walca. Wydajność urządzenia 2 t/godz.

W zakładzie Badesweiler [7] ręcznie wzbogacony węgiel o zawartości 4% popiołu po zmieleniu i pył o uziarnieniu poniżej 0,75 mm tworszy nadawę flotacji pianowej. Produkt flotacji był wzbogacony trzykrotnie, tak że w

ostatecznym wyniku uzyskiwano 12 t/godz. czystego węgla o zapopieleniu 0,9%, który poddawano ekstrakcji do uzyskania 0,5% popiołu. Następnie poddawano koksowaniu w temperaturze 1300°C w komorze koksowniczej. Sposobem tym uzyskiwano większą ilość czystego węgla aniżeli metodą wyłącznie mechaniczną.

W zakładzie Recklinghausen [7] węgiel o uziarnieniu 12,5 do 0,5 mm o zawartości 4% popiołu, otrzymywany z osadzarki (rys. 2), poddawane wtórnemu wzbogaceniu w innej osadzarce do zawartości popiołu 1,8%. Węgiel kruszono i flotowano, uzyskując produkt o zawartości 0,8% popiołu, który poddawano ekstrakcji. Produkt ostateczny zawierał 0,28% popiołu.

Nadawa 12,5 + 0 mm

Osadzarka
Siła odwadniająca

12,5 + 0,5 mm

Osadzarka

Koncentrat 18% popiołu

Kruszarki

93% ziarn poniżej 0,25 mm

Flotacja piana

Koncentrat

Centryfugi odwadniające

Czysty węgiel 0,8% popiołu

Zakład
Ekstrakcji
sody
kaustycznej

Ultra czysty węgiel
0,26% popiołu

Rys. 2. Schemat metody Recklinghausen wg [7]

Według metody brytyjskiej, stosowanej w Durham [7], węgiel kruszony poniżej 1,5 mm jest podawany do flotowników Denver Sub. A. Koncentraty i odpady kilkakrotnie płukane dają węgiel o zawartości 2,5-3% popiołu i około 40% czystego węgla o zawartości 0,7% popiołu. Zakład przerabiał

15 t/godz. węgla surowego. Produkty końcowe zawierały 18-20% wilgoci. Należy podkreślić, że podczas II wojny światowej Niemcy z węgla niskopopiołowego, uzyskanego metodą flotacji i separacji elektrostatycznej, uzyskali około 1 mln ton paliw płynnych do napędu autobusów w dużych miastach zamiast benzyny.

Proponowane obecnie schematy flotacji wg [9] można podzielić na trzy grupy.

Dla węgla, w którym głównymi składnikami petrograficznymi są wityryt i fuzyt, zaleca się zastosowanie we flotacji koloidów ochronnych typu dekstryny, taniny, albuminy i kazeiny w ośrodku obojętnym bądź alkalicznym, depresujących przy użyciu apolarnych zbieraczy fuzyt oraz skalę płoną.

Dla węgla zawierających w przeważającej ilości układ wityryt-duryt wykorzystuje się dużą różnicę w naturalnej hydrofobowości tych składników, stosując metodę flotacji solnej i uzyskując wityryt w koncentracji [11, 12].

Dla większego zróżnicowania własności powierzchniowych składników petrograficznych stosuje się proces powierzchniowego utlenienia, poprzedzający flotację. Utlenienie powierzchni węgla pociąga istotną zmianę własności flotacyjnych, pogarszając je w sposób wyraźny. Najłatwiej utlenia się wityryt, a najtrudniej fuzyt i duryt. W niektórych przypadkach nieznaczne utlenienie powierzchni może zaktywizować flotowalność składników petrograficznych przy stosowaniu zbieraczy apolarnych [13, 14].

Według [15] istnieje możliwość zastosowania flotacji kationowej, po uprzednim utlenieniu węgla do wydzielenia składników o różnym stopniu utlenienia.

Według [9] flotacyjne wzbogacanie materiału silnie rozdrobnionego przy użyciu tradycyjnych technologii jest kłopotliwe i można w tym miejscu zaproponować metodę aglomeracji sferycznej, za pomocą apolarnych olejów, w której poprzez odpowiednią modyfikację własności powierzchniowych składników petrograficznych węgla, przez stosowanie regulatorów bądź utlenianie lub redukcję powierzchni uzyska się dobrą selektywność procesu.

Prowadzone w kraju badania nad aglomeracją sferyczną [17] wykazały dużą przydatność tego procesu do wzbogacania drobnych węgli. Aglomeracji poddano węgle typu 31-33 o różnym zapopieleniu 23-51%. Jako ciecz mostkującą zastosowano naftę, olej antracenyowy uwodorniony, olej opałowy. Otrzymano koncentrat o zapopieleniu 3-8%, przy uzysku części palnych i lotnych rzędu 90% i więcej. Mankamentem tej metody jest dość duże zużycie cieczy mostkującej (około 15-20%), lecz w przypadku gdy tak wytworzone koncentraty węglowe będą stosowane w takich procesach, jak: upłynnienie, koksownictwo, czy nawet w energetyce w elektrowniach, w których stosuje się obok węgla mazut, to obecność cieczy mostkującej staje się zaletą. Zdaniem autorów metoda ta rokuje duże nadzieje i jest kierunkiem, który może rozwiązać sprawę otrzymywania węgla do celów specjalnych.

W Instytucie Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej, prowadzone są od 1976 roku badania nad otrzymywaniem niskopopiołowych koncentratów węglowych, wzbogaconych w wityrynit i egzynit [8]. W programie tym prowadzone są badania, między innymi nad optymalizacją procesu flotacji, aglomeracji sferycznej oraz nad wykorzystaniem separacji elektrostatycznej [3, 8].

W tym ostatnim przypadku badania prowadzono na węglach z KWK "Janina", "Jaworzno" i "Chwałowice", w separatorze elektrostatycznym bębnowym, wykorzystującym efekt wyładowania ulotowego. Uzyskane wyniki są w pełni zadowalające, a otrzymane koncentraty zapopieleniem i wychodem są zbliżone do wyników uzyskanych na drodze analizy densymetrycznej, np. z węgla KWK "Chwałowice" w najkorzystniejszych przypadkach uzyskano koncentraty o zapopieleniu 1,3 - 2% przy zawartości wityrynit i egzynitu 95%. Badania nad otrzymywaniem węgla niskopopiołowych metodą elektrostatyczną były prowadzone również w GIG-u oraz w Instytucie Nowych Konwersji Energii AGH [21].

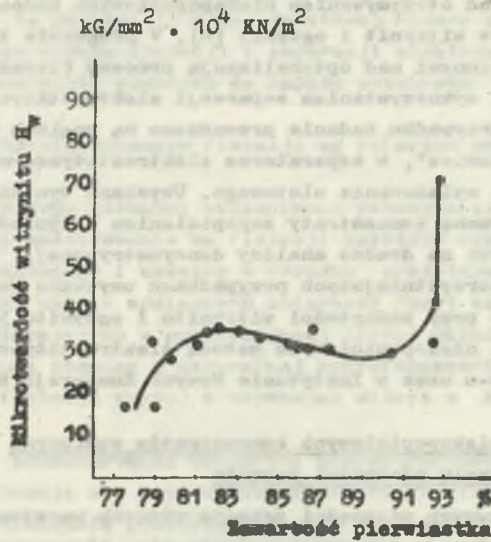
2.2. Otrzymywanie niskopopiołowych koncentratów węglowych przy wykorzystaniu własności pękania

Wobec przeciwnych własności pękania różnych warstwowych składników istnieje zawsze tendencja do koncentrowania się bliższych składników węgla w klasach drobniejszych, powodowana naturalnym pękaniem w czasie urabiania i późniejszego transportu [41]. W zależności od pokładu ulega zmianie stopień koncentracji, lecz w sprzyjających okolicznościach jest możliwość wytworzenia miążkich produktów węglowych, bogatych w składniki węgla bliższego, za pomocą prostego przesiewania. Wynika to, między innymi, z różnej twardości macerałów [16]. Twardość poszczególnych składników petrograficznych przedstawia się następująco:

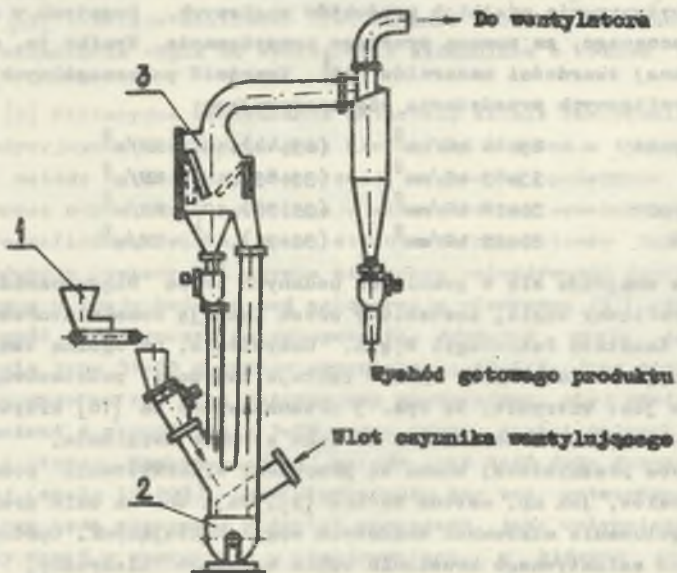
semifuzynit	-	23÷44 kG/mm ²	(23÷44) · 10 ⁴	KN/m ²
fuzynit	-	33÷83 kG/mm ²	(33÷83) · 10 ⁴	KN/m ²
sklerotynit	-	35÷58 kG/mm ²	(35÷58) · 10 ⁴	KN/m ²
mikrynit	-	35÷55 kG/mm ²	(35÷55) · 10 ⁴	KN/m ²

Wartości te znajdują się w granicach podanych przez Międzynarodowy Słownik Petrograficzny Węgla, zestawiony przez Komisję Nomenklaturową Międzynarodowego Komitetu Petrologii Węgla. Oczywiście, na ogólną twardość danego typu węgla w zasadniczo sposób rzutuje twardość podstawowego składnika, jakim jest wityrynit. Na rys. 3 przedstawiono za [16] krzywe zmiany twardości wityrynit, w zależności od jego stopnia uwęglania.

W praktyce przemysłowej znane są przykłady wykorzystania różnej twardości macerałów, jak np. metoda Savaco [2]. Mają one na celu przede wszystkim przygotowanie mieszanek wsadowych węgla koksujących. Oprócz istniejących metod selektywnego kruszenia węgla w sposób klasyczny, to znaczy z wykorzystaniem kruszarek różnego typu, istnieje opracowany w ZSRR sposób selektywnego kruszenia węgla w wentylacyjnym kruszącym obwodzie [18]. Układ technologiczny obejmuje wentylowaną kruszarkę młotkową i separator



Rys. 3. Krzywe zmiany twardości witrzynitu w zależności od jego stopnia uwęglenia wg [16]



Rys. 4. Schemat eksperymentalnego stanowiska do selektywnego kruszenia z pneumatyczną separacją

1 - podajnik materiału wyjściowego, 2 - wentylowana kruszarka młotkowa, 3 - separator wznoszący

powietrzno-wznoszący rozdzielający materiał z wykorzystaniem sił grawitacji - rys. 4.

Nitka technologiczna posiada minimalną liczbę maszyn i mechanizmów standardowych, co czyni przygotowanie materiału wg powyższego schematu bardzo perspektywicznym.

Selektywne kruszenie węgla z zastosowaniem pneumoseparacji, w odróżnieniu od znanych sposobów przygotowania materiału węglowego, cechuje się tym, że obok zwykłego rozdziału wg wielkości ziarna, w powietrznym strumieniu następuje rozdział materiału wg gęstości. Dlatego w gotowy produkt przechoǳą ziarna węgla, mające niską gęstość, tj. zawierające minimalną ilość mineralnych wtrąceń i matowych składników petrograficznych.

Badania prowadzone nad selektywnym kruszeniem wykazują, że w praktyce możliwe jest zastosowanie w tym procesie prawie wszystkich typów kruszarek, z tym jednak że efekt kruszenia zależy od fizycznych własności kruszonego materiału oraz wskaźników technicznych i ruchowych maszyny [44].

Naturalne skłonności węgla do pękania można przyspieszyć sposobem chemicznym. Proces chemicznego rozdrobnienia węgla opracowano w USA w latach 1972-74 na Uniwersytecie w Syrakuzach i znany jest on pod nazwą SURC (Syrakuz University Research Corporation [19, 20]. Patent SURC wymienia kilkanaście środków rozdrabniających, a mianowicie: ciekły amoniak, metanol, wodorotlenek sodu, bezwodny metanol, bezwodny etanol, bezwodny izopropanol, ledowaty kwas octowy, aceton, nadtlenuk wodoru łącznie z mieszaniną tych związków. Węgle pochłaniając pary tych związków bądź to pęcznieją, aby ulec potem rozkruszeniu, bądź też mięknieją i rozsypują się zupełnie. Bardzo dobrze dają się wtedy oddzielić odmiany petrograficzne danego węgla, a nawet zawarte w nim domieszki minerałów, takich jak: piryt, chalkopiryt itp.

W Instytucie Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej prowadzone są szerokie badania w kierunku otrzymania niskopopiołowych węgla wzbogaconych w wityrynit i egzynit na drodze selektywnego kruszenia i klasyfikacji po uprzednim przygotowaniu chemicznym węgla. Badaniami objęto szeroki wachlarz węgla energetycznych, a jako medium penetrujące zastosowano metanol. Wykazano, że istnieje praktycznie dla wszystkich węgla możliwość otrzymania koncentratów niskopopiołowych w wąskich klasach ziarnowych otrzymanych w wyniku selektywnego kruszenia w różnego rodzaju urządzeniach kruszących, a następnie klasyfikacji.

Jak wiadomo, działanie chemicznymi związkami, w celu pobudzenia węgla do samokruszenia się, jest procesem bardzo interesującym i należy przypuszczać, że znajdzie w przyszłości szersze zastosowanie przy selektywnym rozdrabnianiu węgla.

2.3. Rozdzielanie w zależności od gęstości

Jak już wielokrotnie wspomniano, węgiel stanowi mieszaninę złożoną z substancji organicznej i wtrąceń mineralnych oraz pewnych ilości różnych

pierwiałtków. Ponadto urobek węgla wydobyty z kopalni zawiera zawsze pewną ilość skały płonnej, towarzyszącej pokładowi węgla i piasku podsadzowego. Wynika z tego, że całość taka nie może być jednorodna pod względem ciężaru właściwego, występują bowiem znaczne różnice pomiędzy składnikami co do zmian wielkości tego parametru. Rozdział całości materiału tak zróżnicowanego może przebiegać procesami grawitacyjnymi w ośrodku ciekłym lub powietrzanym. O ile uchwycenie różnic w ciężarach właściwych pomiędzy substancją organiczną a wtroczeniami mineralnymi oraz towarzyszącą im skałą płonną jest w miarę łatwe i rozdzielanie ich nie sprawia specjalnych trudności, to w przypadku warstwowych składników węgla sprawa się nieco komplikuje.

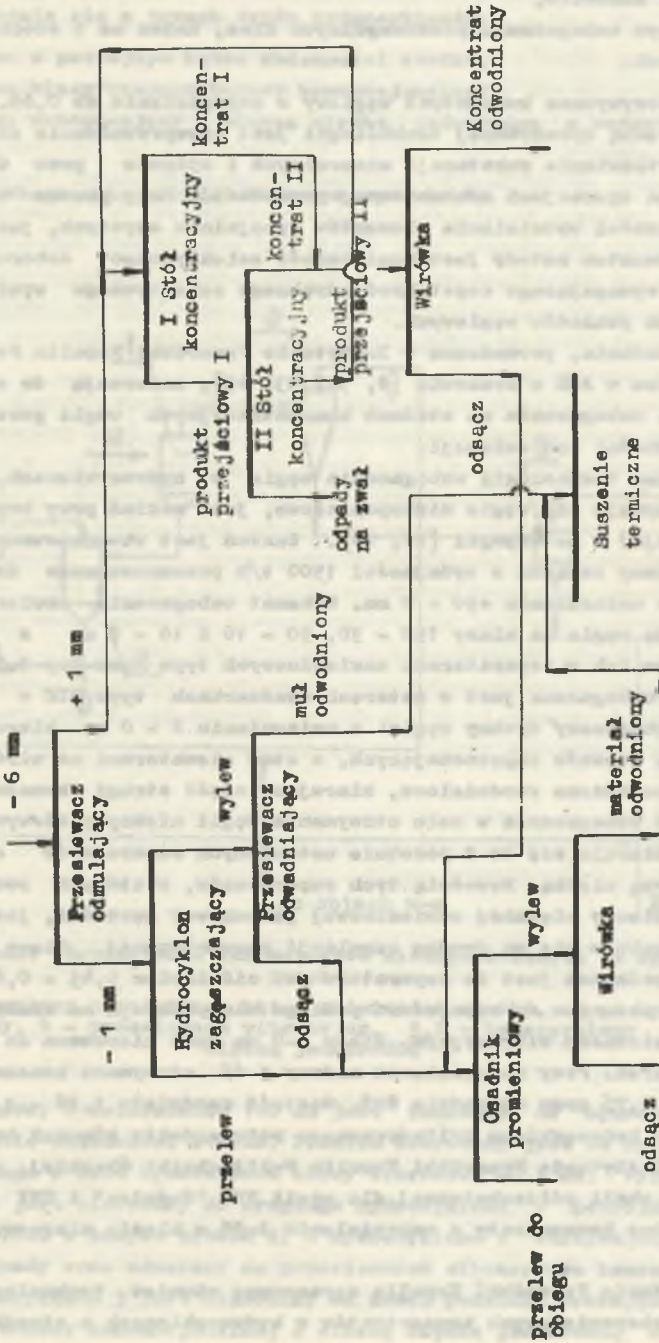
Ciężary właściwe macerałów węglowych nieznacznie różnią się między sobą i uchwycenie wyraźnej granicy pomiędzy nimi jest bardzo trudne, co sprawia, że wynikają duże trudności techniczne przy sporządzaniu odpowiedniego ośrodka wzbogacającego. Próby zdolności grawitacyjnego wzbogacania różnych węgla wykazały teoretyczną możliwość otrzymania odpowiedniego, a nawet doskonałego wzbogacania, pod warunkiem że węgiel będzie odpowiednio drobno skruszony. Do wzbogacania węgla drobnych najlepiej nadają się stoły koncentracyjne i hydrocyklony. Dlatego też właściwie tylko te dwa typy urządzeń znalazły przemysłowe zastosowanie do otrzymywania węgla niskopopiołowych. Wzbogacanie węgla na stołach koncentracyjnych prowadzi się dość szeroko w Związku Radzieckim i Stanach Zjednoczonych.

Przykładem schematu technologicznego wzbogacania węgla na stołach koncentracyjnych, w celu uzyskania koncentratów niskopopiołowych, jest schemat przedstawiony na rys. 5. Jest to schemat stosowany w zakładzie Kremiennaja nr 1 i Centralnej Fabryce Zjednoczenia "Torezantroyt". W zakładach tych, w wyniku wzbogacania dwustadialnego, udało się uzyskać koncentrat o zapopieleniu 2,5 - 3,5% [23].

Niskopopiołowy koncentrat dla przetwórstwa otrzymuje się również z węgla antracytowego o usiarnieniu 1-6 mm kopalń Nr 66 i Mołdawko-Komsomolskiej (Zjednoczenie Swierdłowogol) oraz z odsiewów węgla marki T kopalni Zapadnaja Nr 1 (Zjednoczenie Oktrjabugol), przy ogólnej wydajności 0,81 t/godz. i gęstości rozdziálu 1,67 i 2,13 g/cm³ przy dwustadialnym wzbogacaniu węgla o zapopieleniu 2-5%. Wzbogacanie prowadzi się na stole koncentracyjnym typu SK-1 przy częstotliwości drgań 325-300 na minutę i kącie pochylenia stołu I i II stadium 3° i 4°30' [22].

W USA stosowane są stoły koncentracyjne typu Diester [24]. Bardzo często stosowane są technologie kombinowane w układzie hydrocyklon - stół [26]. Z krajowych technologii na szczególную uwagę zasługuje technologia opracowana przez T. Laskowskiego [27], stosowana do niedawna w kopalni Beże Dary". Zakład składał się z sortowni i płuczki, a proces produkcji węgla specjalnie czystego polegał na ostreych operacjach:

- 1) kruszenie surowego urobku na siarną poniżej 3 mm w trzech stadiach, ze stałym odsiewem siarną drobniejszych,



Rys. 5. Schemat technologiczny otrzymywania niskopopiołowych koncentratów na stole koncentracyjnym, stosowany na Zakładzie "KremiennaJa"

- 2) klasyfikacji skruszonego surowca na 4 klasy siarowe,
- 3) edilieniu surowców,
- 4) oddzielnym wzbogacaniu poszczególnych klas, każda na 3 stołach koncentracyjnych.

W wyniku otrzymano koncentrat węglowy o zapozieleniu do 0,6%. Charakterystyczną cechą opracowanej technologii jest niewprowadzenie elementów chemicznego wytrawiania substancji mineralnych i oparcie praw wzbogacania wyłącznie na operacjach mechanicznej przeróbki. Cały proces wzbogacania, mimo subtelności wydzielania elementów specjalnie czysztych, jest prosty i tani. Mankamentem metody jest konieczność selektywnego doboru surowca węglowego, wymagającego oszczędności odrębnego selektywnego wybierania poszczególnych pokładów węglowych.

Obecnie badania, prowadzone w Instytucie Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej oraz w AGH w Krakowie [8, 32, 33, 43], zmierzają do opracowania technologii wzbogacania na stołach koncentracyjnych węgla gorszych typów bez konieczności ich selekcji.

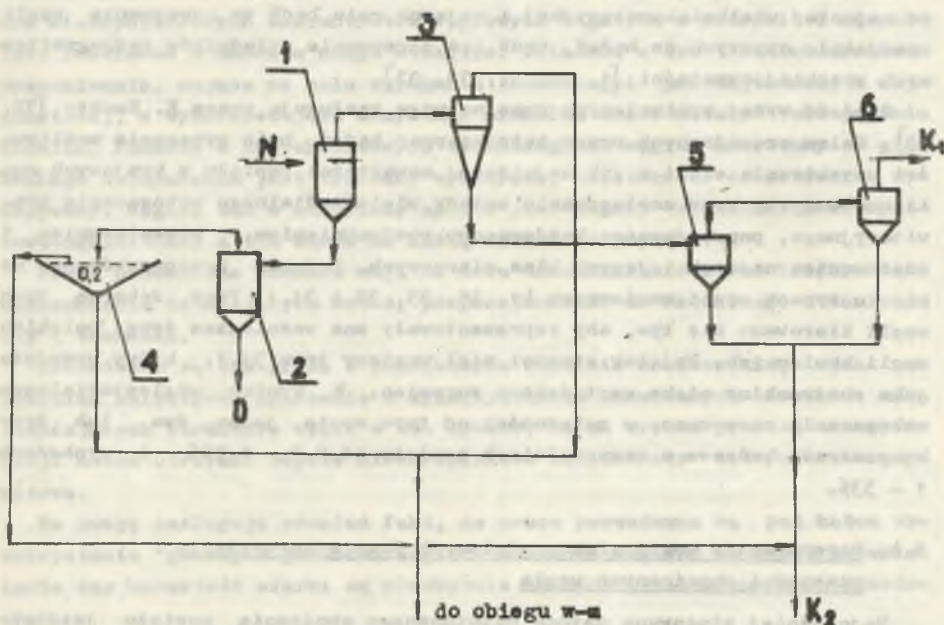
Przykładem technologii wzbogacania węgla w hydrocyklonach, w wyniku której otrzymuje się węgle niskopopiołowe, jest zakład przy kopalni Freyming (Francja) w Lotaryngii [28, 29]. Zakład jest wkomponowany w schemat technologiczny zakładu o wydajności 1500 t/h przeznaczony do wzbogacania węgla o uziarnieniu +50 - 0 mm. Schemat wzbogacania zawiera wstępną klasyfikację węgla na klasy 150 - 50, 50 - 18 i 18 - 8 mm z następnym wzbogacaniem ich w separatorach zawieszinowych typu Drew-Boy-Scheidern. Klasa 8-10 mm wzbogacana jest w osterech osadzarkach typu DIC o wydajności 150 t/h. Wzbogacony drobny węgiel o uziarnieniu 8 - 0 mm kierowany jest do osterech stożków zagęszczających, a stąd elewatorami na wirówki. Przed wirówkami ustawiono rozdzielacz, kierujący oszczęd strugi koncentratu do dodatkowego wzbogacania w celu otrzymania węgla niskopopiołowego. Oddzielną strugę kieruje się do 2 osobnie ustawionych separatorów cylindrycznych z cieczą ciężką. Nowością tych separatorów, w których rozdziel następuje z cieczą ciężką zawieszinowej jednakowej gęstości, jest fakt, że gęstość reguluje się na drodze regulacji pneumatycznej. Ciecz ciężka magnetytowa podawana jest do separatora pod ciśnieniem 0,45 - 0,6 bar. Nadawa przed podaniem do separatora podlega klasyfikacji na klasy 8-2 i 2-0 mm na przesiewaczu wibracyjnym. Klasa 2-0 mm jest kierowana do koncentratu z osadzarek. Przy zapozieleniu nadawy 5-6% otrzymano koncentrat o zapozieleniu 1,7% przy wychoście 82%. Gęstość rozdzielu 1,26 - 1,28 kg/dm³. Przydatność hydrocyklonu cylindrycznego potwierdziły również badania prowadzone w Instytucie Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej, gdzie w instalacji o skali półtechnicznej dla węgla KWK "Sołnica" i KWK "Chwałowice" otrzymano koncentraty o zapozieleniu 2-3% w klasie siarowej 3 - 0,5 mm [8].

W Instytucie Przeróbki Kopalni opracowano również technologię otrzymywania niskopopiołowych koncentratów w hydrocyklonach z ośrodkiem wodnym

oraz z cieczą ciężką jednorodną. Sprawdzona instalacja w skali półtechnicznej składała się z trzech typów hydrocyklonów:

- hydrocyklon z potrójnym kątem zbieżności stożka,
- hydrocyklon klasyfikujący budowy konwencjonalnej,
- hydrocyklon wzbogacający z cieczą ciężką jednorodną o budowie konwencjonalnej.

Schemat wzbogacania przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat otrzymywania koncentratów niskopopiołowych w hydrocyklonach

1,2 - hydrocyklony z potrójnym kątem zbieżności stożka, 3 - hydrocyklon klasyfikujący, 4 - przesiewacz vibracyjny, 5,6 - hydrocyklony z cieczą ciężką jednorodną

Węgiel surowy o usiarnieniu 1-0 mm jest podawany do hydrocyklonu o potrójnym kącie zbieżności stożka. Przelew kierowany jest do hydrocyklonu klasyfikującego w celu wydzielenia klasy siarowej -0,2 mm. Wylew z hydrocyklonu 1 jest kierowany do drugiego hydrocyklonu o potrójnym kącie zbieżności, lecz o innych kątach 2. Z hydrocyklonu 2 otrzymujemy wysokopopiołowe odpady oraz odsulony na przesiewaczu vibracyjnym koncentrat K_2 . Wylew z hydrocyklonu 3 jest kierowany do dwóch podobnie pracujących hydrocyklonów budowy konwencjonalnej z cieczą ciężką jednorodną o ciężarze

właściwym $1,21 - 1,23 \text{ g/cm}^3$. Przelew z hydrocyklonu 6 stanowi niskopopiołowy koncentrat K_1 . Wylew z hydrocyklonów 5 i 6 łączony z przelewem z hydrocyklonu 2 stanowi koncentrat K_2 . Zaletą tej metody jest fakt, że nadawę stanowi materiał odsiany z urebku surowego bez konieczności jego wtępnego wzbogacenia czy kruszenia. W tak pracującym schemacie otrzymano, w przypadku np. węgla z KWK "Chwałowice", koncentraty węglowe o zapopieleeniu $1,4\%$ nadawy 20% .

Inne znane metody otrzymywania węgla niskopopiołowych metodami grawitacyjnymi polegają na wielostadialnym wzbogacaniu w oieozach ciężkich jednorodnych. Wzbogacanie jest częstokroć przeplatane dokruszeniem węgla. Metody te, ze względu na swoją złożoność i koszt, ograniczone są do skali co najmniej wielkolaboratoryjnej i mają na celu bądź to otrzymanie węgla specjalnie czystych do badań, bądź też otrzymanie składników petrograficznych wysokiej czystości [1, 30, 31, 32, 33].

Spśród wyżej wymienionych prac uwagę zasługują prace K. Kuchty [32, 33]. Celem prowadzonych przez autorkę prac badań było wykazanie możliwości uzyskiwania węgla o jak najniższej zawartości popiołu z krajowych węgli kamiennych, przy zastosowaniu metody wielostadialnego wzbogacania grawitacyjnego, poprzedzonego każdorazowo rozdrabnianiem, przesiewaniem i odsiewaniem najdrobniejszych klas ziarnowych. Badania przeprowadzono na pięciu typach węgla kamiennych 41, 35, 33, 32 i 31.1. Przy doborze tych węgla kierowano się tym, aby reprezentowały one ważniejsze typy polskich węgla kamiennych. Wyjątek stanowi miał węglowy typu 31.1, który przyjęto jako ekstremalny nisko wartościowy surowiec. W wyniku wielostadialnego wzbogacania otrzymano, w zależności od typu węgla, jeden, dwa lub trzy koncentraty końcowe o zawartościach popiołu od $0,9 - 1,72\%$ i wychodach $1 - 33\%$.

2.4. Otrzymywanie węgla niskopopiołowych przy wykorzystaniu własności chemicznych węgla

Najczęściej stosowaną metodą ostatecznego obniżenia popiołu jest ekstrakcja. Przykładem przemysłowego zastosowania ekstrakcji jest metoda stosowana w zakładzie Badesweiler oraz Recklinghausen [7]. W zakładzie Badesweiler węgiel czysty poddawano ekstrakcji w temperaturze 100°C przez jedną godzinę roztworem składającym się z 5 części mieszanki kwasu solnego i fluorowego i 95 części wody w naczyniach z żelazobetonu, wyłożonych blokami substancji węglowej, uzyskanej z karbonizacji smoły węglowej w temperaturze 1500 do 2000°C . Kwasy usuwano następnie drogą filtrowania, płukania wodą i powtórnego filtrowania. Ostateczny produkt zawierał $0,5\%$ popiołu i 18% wilgoci. W zakładzie Recklinghausen koncentrat flotacyjny poddawano ekstrakcji w 3% roztworze sody kaustycznej przy 250°C ; $100 - 200$ at ciśnienia przez 20 min w zbiornikach z mieszadłami. Sodę usuwano wirówkami, a węgiel płukano kwasem solnym rozcieńczonym, powtórnie przepu-

szożono przez wirówki, płukano wodą i filtrowano w filtrach próżniowych. Produkt ostateczny zawierał 0,28% popiołu.

Z najnowszych prac w tym kierunku należy wymienić patent PRL Nr 93232, w którym autorzy proponują ługować węgiel mieszaniną kwasu fluorowodorowego i siarkowego w temperaturze około 100°C. Koncentrat węglowy poddaje się uprzednio dodatkowo utlenianiu w mieszaninie bromu i stężonego kwasu azotowego w stosunku 1:3 i ogrzewa przez okres około 1 godziny. Ostateczny koncentrat węglowy zawiera wręcz śladowe ilości popiołu.

Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionych danych literaturowych, problem uzyskiwania niskopopiołowych koncentratów węglowych bogatych w wityrnyty i egzynity jest problemem w dalszym ciągu otwartym. Świadczy o tym wielokierunkowe poszukiwania, mające na celu uzyskanie technologii jak najtańszej i najprostszej, a wykorzystujące wszystkie niemalże znane metody wzbogacania kopalin. Ponadto w dotychczasowych technologiach węgiel kierowany do głębokiego wzbogacania jest typowany wybiórczo, częstokroć selektywnie wydobywany. Węgiel ten w naturalny sposób jest bogaty w składniki wityrnytowo-egzynitowe, a tym samym ma niską zawartość popiołu.

Prace prowadzone obecnie mają na celu udoskonalenie i rozwinięcie bądź uproszczenie istniejących metod, proporcjonalnie do aktualnego stanu wiedzy i techniki.

Prowadzone są też prace o charakterze zupełnie nowatorskim, jak na przykład selektywne kruszenie z wykorzystaniem chemicznych środków rozluźniających strukturę węgla w ten sposób, że na drodze prostej klasyfikacji można otrzymać bogate niskopopiołowe koncentraty wityrnytowo-egzynitowe.

Na uwagę zasługuje również fakt, że prace prowadzone są pod kątem wykorzystania "gorszych gatunków węgla", które ze względu na swoje zapielenie czy zawartość siarki są niechętnie spalane w elektrowniach zawodowych.

Większość z proponowanych rozwiązań technologicznych została sprawdzona w skali ówier- i półtechnicznej, a zatem można śmiało zaproponować ich zastosowanie w przemyśle.

LITERATURA

- [1] Ziółkowski J.: Własności koksownicze macerałów węgla humusowych. Kom. GIG Nr 237, 1959.
- [2] Jowett A.: Selective preparation of coal. Colliery Guardian No 510, 1958.
- [3] Płaszożyński S., Kurzyca M., Bargiełła B.: Wykorzystanie separacji elektrostatycznej do uzyskania niskopopiołowych koncentratów węglowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górniczo, Nr 86/77.

- [4] Krukowisoki W.: Flotacja kopalini. PWN, Warszawa 1958.
- [5] Gaudin A.M.: Flotacja. Wyd. "Śląsk", Katowice 1963.
- [6] Klassen W.I.: Flotacja węgla. Wyd. "Śląsk", Katowice 1966.
- [7] Zyzak J.: Produkcja węgla o minimalnej zawartości popiołu. Przegląd Górniczy Nr 4, 1951.
- [8] Praca zbiorowa: Przygotowanie węgla do procesów przetwórczych. Prace Instytutu Przeróbki Kopalini, Wydz. Górniczy Pol. Śl. Sprawozdanie za lata 1976, 1977, 1978, 1980.
- [9] Sobieraj S., Majka-Myroha B.: Badania nad flotacyjnym wzbogacaniem węgla z KWK "Chwałowice". Prace Instytutu Przeróbki Kopalini Pol. Śl. Sprawozdanie za rok 1977, w temacie: Przygotowanie węgla do procesów przetwórczych.
- [10] Edser E., Williams P.T.: The cleaning of coal by froth flotation. Trans. Fuel Conf.-Word Power Conf. London 1928 No 1.
- [11] Dieminowa O.A.: K woprosu diffierencjonnogo ispolzowanija kamiennych uglej Kuzbassa. Gorno-Obogatielnyj Żurnal 9, 1957.
- [12] Laskowski J.: Coal flotation in solution with a raised concentration of inorganic salts. Colliery Guardian ZN, 1965.
- [13] Sun S.C.: Effect of oxidation of coals on their flotation properties. Trans. ADME 6, no 4.
- [14] Gayle J.B. i inni: Laboratory investigation of the effect of oxidation on coal flotation. U.S. Bureau of Mines. Rap. Inv. 6620, 1965.
- [15] Wen W.W., Sun S.C.: An electrokinetic study on the amine flotation of oxidized coal. Trans. ADME 262, no 2, 1977.
- [16] Ziółkowski J., Ówiakowska A.: Twardość polskich węgla kamiennych Kom. GIG Nr 384, 1965.
- [17] Sobel P.: Aglomeracja sferyczna węgla. Praca doktorska. Gliwice Pol. Śl. 1980.
- [18] Bielajew E.W., Lasowski J.M., Morozow O.S. i inni: O perspektiwie wnedrienija sposobe isbiratielnogo izmieszienija uglej z przimieszeniem piwieseparacji. Koks i Chimiya Nr 9, 1974.
- [19] Philip W., Howard W.: Chemical cominution shows promise for coal chemical. Engineering News, No 2, 1974.
- [20] Stefańska G., Czaplinski A.: Działanie par metanolu na węgle kamienne. Archiwum Górnicztwa, tom XX, Zeszyt 2, 1975.
- [21] Krajewski J.W., Herzseder S.: Wzbogacanie elektrostatische węgla. Prace GIG-u, Kom. 78, 1951.
- [22] Pierieniewski P.M., Samulin N.A., Bulaoh P.A., Kazimirov W.P.: Technologie polumienije malessolnogo koncentrata. Naucn. tr. Ukr. projektno-konstrukt. i n-i in-t. po obogassoz. i brikielitir. uglej Nr 5, 1958.
- [23] Błagow J.S.: Obogassozeniije uglej na koncentracionnych stolach "Nis-dra", Moskwa 1967.
- [24] Tiernon C.H.: Production of low-ash cooking coal by tabling with special references to U.S. practice. The Canadian Mining and Metallurgical, vol. 66, 1973.
- [25] Zimmerman R.E.: The cleaning of fine sizes of bituminous coal by concentrating tables. Mining Engineering, Transactions ADME, vol.187.
- [26] Lawson S., McGraw H.: Amherst now using hydrocyclones to produce metallurgical - grade coal. Coal Age No 5, 1973.
- [27] Laskowski T.: Otrzymywanie węgla specjalnie czystych. Gospedarka Górnicztwa Nr 9, 1952.
- [28] Kah M.: Aufbereitung von Feinkohlen mit geringem Aschegehalt. Aufbereitungstechnik Nr 5, 20, 1979.

- [29] Kah M.: Obogaczenie s celin poluzeniya niskocelnych mielkich uglej. VIII Międzynarodowy Kongres Wzbogacania Węgla, Donieck, 1979.
- [30] Pudło W., Kuchta K.: Badanie nad otrzymywaniem koncentratów niskopopielowych na drodze wielostadialnego wzbogacania grawitacyjnego. Zeszyty Naukowe AGH im. S. Stassica, Nr 462, s. Górnictwo, Z. 63, 1974
- [31] Jasieńska S., Kidawa H., Kowolik H.: Składniki petrograficzne węgla kamiennych, wydzielanie, własności, struktura. Cz. I. Składniki petrograficzne węgla płomiennego - Chemia Stosowana, seria 9, Zeszyt 4, tom XIII, 1968.
- [32] Kuchta K.: Analiza możliwości otrzymywania węgla niskopopielowych z nadawy średnio- i drobnociarnistej metodą wzbogacania grawitacyjnego. XIII Krakowska Konferencja Nauk.-Techm. Przeróbki Kopalni, Kraków 1979.
- [33] Kuchta K.: Badania nad otrzymywaniem niskopopielowych koncentratów węglowych metodą wzbogacania grawitacyjnego. Praca doktorska, Kraków 1979.
- [34] Lebidniejewski M., Szudek M.: Wyroby z węgla i grafitu. WNT, Warszawa 1970.
- [35] Nowak K., Szudek M.: Elektrody węglowe i inne wyroby z węgla uszlachetnionego. PWT, Warszawa 1956.
- [36] Pudło K., Konopka E., Kuchta K.: Sposób otrzymywania węgla niskopopielowych z koncentratów uzyskanych w wyniku grawitacyjnego wzbogacania węgla. Patent PRL Nr 93232.
- [37] Thomas C.M. Coal petrology and its application to coal preparation. Coal Preparation N° 2, 1968.
- [38] Roga B., Węglowska M.: Wpływ par cieczy organicznych na fizyczne i chemiczne własności węgla. Prace GIG, Kom. Nr 340, 1964.
- [39] Lehiri K.C., Moire A., Sarkow G.C., Lahiri A.: A petrographic approach to coal preparation. Cz. I., Cz. II. Coal preparation N° 1, 1969, 1970.
- [40] Van Krevelen D.W., Solmyer J.: Węgiel, chemia węgla i jego struktura. PWN, Warszawa 1959.
- [41] Stęfański M.: Kruszenie się węgla podczas transportu i przeróbki Wyd. "Śląsk", Katowice 1970.
- [42] Chen W.L.: Cyclones with plain water for fine coal cleaning. Coal Age N° 8, 1964.
- [43] Pudło W., Kuchta K.: Wyniki dotychczasowych badań nad otrzymywaniem niskopopielowych koncentratów węglowych na drodze wzbogacania grawitacyjnego i ługowania. Zbiór referatów z sympozjum na temat: Przeróbka i wykorzystanie stałych surowców energetycznych, Katowice 1980
- [44] Krüger C., Bade E.: Zachowanie się osadzek strukturalnych węgla przy jego selektywnym kruszeniu. "Blückauf", 1960.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk ZIELIŃSKI

Wpłynęło do redakcji w styczniu 1983 r.

МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ

Р е з ю м е

В работе представлены известные методы обогащения угля, с целью получения низкозольных угольных концентратов.

После просмотра литературы представлены работы, выполненные по этой теме, Институтом Переработки Ископаемых Силезского Политехнического Института в Гливицах. Дана краткий анализ этих работ с точки зрения применяемых методов, а также с точки зрения их промышленной пригодности.

METHODS OF PREPARING OF COAL CONCENTRATES FOR SPECIAL PURPOSES

S u m m a r y

Well-known techniques of coal cleaning for low-ash concentrates are presented. In the light of the literature survey the works done in the Institute of Minerals processing of Silesian Technical University has been presented. These works comparing to the existing methods have been shortly analyzed taking into account their industrial applicability.