

STANISŁAW BŁASZCZYŃSKI

BADANIA NAD WZBOGACANIEM MUŁÓW WĘGLOWYCH
W HYDROCYKLONIE O POTRÓJNYM KĄCIE ZBIEŻNOŚCI STOŻKA

Streszczenie. W przedstawionej pracy badano wpływ ciśnienia, położenia wlotu dyszy przelewowej i zagęszczenia nadawy na efekt wzbogacania w hydrocyklonie o potrójnym kącie zbieżności stożka. Uzyskano dobre koncentraty o zawartości popiołu ok. 8% i odpady o zawartości popiołu ponad 70%.

1. Wstęp

W procesie wzbogacania węgla metodą osadzania najdrobniejsze ziarna poniżej 1 mm nie ulegają dostatecznie efektywnemu rozdzielaniu według ciężarów właściwych, na skutek małych prędkości opadania, wpływu sił lepkości obniżających jakościowe i ilościowe wskaźniki, a także na skutek dużych prędkości przepływu strug wody, które skracają czas procesu rozdziału nadawy wpływając niekorzystnie na sprawność osadzarki. Dotyczy to głównie najdrobniejszych ziarn charakteryzujących się małą siłą ciężkości i na odwrót dużą powierzchnią. Dla tych ziarn poza metodą flotacji - stosowaną do wzbogacania mułów węgla wyższych typów - można wykorzystać działanie sił odśrodkowych. Siły takie jak wiadomo występują (między innymi) w hydrocyklonach wywołane krążeniem zawiesiny w odpowiednio skonstruowanym nieruchomym naczyniu hydrocyklonu. Wskutek ruchu wirowego strumienia na cząstki mułu działa siła odśrodkowa, która w hydrocyklonie może osiągnąć wartość około 2000 razy większą niż siła ciężkości działająca na te same ziarna opadające pod jej wpływem.

Hydrocyklony wzbogacające zwane hydrocyklonami - separatorami - mogą pracować z cieczą ciężką zawiesinową przy wzbogacaniu ziarn o górnej granicy 10-25 mm lub z wodą dla ziarn do 3 mm.

W drugim przypadku tworzy się osrodek o ciężarze właściwym wyższym od 1 na skutek drobnych ciężkich ziarn w nadawie, które spełniają rolę obciążnika. Hydrocyklony - separatory - są proste w eksploatacji i nie wymagają dużych nakładów inwestycyjnych i ruchowych przy dość dużej efektywności wzbogacania mułów.

Doświadczenia nad wzbogacaniem drobnych węgla prowadzone m.in. w Związku Radzieckim w Instytucie A. Mkozczyńskiego 4 wykazały możliwość wzbogacania klasy 3 - 0 mm w hydrocyklonach w ośrodku wodnym. Przy odpowiednim reżimie technologicznym okazało się możliwe otrzymanie czystego koncentratu (o zawartości popiołu ok. 8%) i odpadów (w drugim stadium po ponownym wzbogacaniu wylewu) o zawartości popiołu ok. 65%.

Ciekawą i mało znaną konstrukcję stanowi hydrocyklon z potrójnie zmien-
nym kątem zbieżności stożka, którego pomysł powstał w Kanadzie [6]. Hydro-
cyklon ten przeznaczony jest do wzbogacania węgla w ośrodku wodnym, przy
czym w odróżnieniu od powszechnie znanych hydrocyklonów wzbogacających z
jednolitą częścią stożkową wzbogacanie zachodzi tu w trzech stadiach. We-
wnętrzna powierzchnia stożkowej części tego hydrocyklonu dzieli się na
trzy sekcje z różnymi kątami zbieżności stożka: górną o kącie 135° , środ-
kową o kącie 75° i dolną o kącie 20° .

Doświadczenia nad wzbogacaniem węgla w tym hydrocyklonie - w ramach
przedstawionej pracy - prowadzono pod kątem ustalenia roli niektórych czyn-
ników takich jak: ciśnienie nadawy, położenie wlotu dyszy przelewowej i
zagęszczenia nadawy.

2. Krótką charakterystyką mechanizmu rozdziału surowca w hydrocyklonie wzbogacającym

Rozdział cząstek węgla od skały płonej w hydrocyklonie związany jest
z różną prędkością przemieszczenia się ich w polu sił odśrodkowych. I tak
prędkość przesuwania się cząstek skały płonej po promieniu (od osi hydro-
cyklonu do jego płaszcza) jest ok. 7 razy większa niż cząstek węgla [4].
Występowanie tak znacznej różnicy w prędkościach przesuwania się cząstek
pozwala na stosunkowo szybkie oddzielenie ziarn węgla od ziarn skały pło-
nej.

W procesie wzbogacania węgla w ośrodku wodnym w hydrocyklonie tworzy
się naturalna zawieszinowa ciecz ciężka z cząstek wzbogacanego materiału.
Gęstość tej zawiesziny znacznie podnosi się w dolnej strefie stożka w po-
bliżu wylotu hydrocyklonu, gdzie następuje duża koncentracja zrąstów i
drobnych cząstek skały płonej. W ten sposób w dolnej części stożka tworzy
się tzw. neutralna "pościel", której opór muszą pokonywać ciężkie ziarna
opuszczające hydrocyklon przez otwór wylewowy. Grubość tej "pościeli" wy-
znaczona jest odległością między otworem wylotu i dolną granicą wznoszą-
cego strumienia cieczy w hydrocyklonie. Im większa długość stożkowej czę-
ści hydrocyklonu i odległość między otworem wylewowym a dolną granicą
wznoszącego strumienia cieczy, tym wyższy jest stopień rozluźnienia natu-
ralnej "pościeli". Rozluźnienie to przy stałych innych warunkach zmienia
się w zależności od kąta stożkowego hydrocyklonu. Przy zwiększeniu kąta
stożkowego zmniejsza się objętość, w której skoncentrowane są cząsteczki
"pościeli" w związku z czym podnosi się jej gęstość na skutek upakowania
cząstek. Dlatego dla wzbogacania węgla w ośrodku wodnym celowym jest sto-
sowanie hydrocyklonów o dużym kącie stożkowym wynoszącym 60° , 90° , a cza-
sami nawet 135° .

Tworzenie się naturalnej "pościeli" z cząstek krążących w dolnej stre-
fie stożkowej części hydrocyklonu zachodzi pod wpływem siły odśrodkowej,
wielkość której wyznaczona jest ciśnieniem u wlotu do hydrocyklonu. Przy
nieznacznym ciśnieniu cała zawieszina krążąca z małą prędkością schodzi

w dół hydrocyklonu i opuszcza go przez otwór wylewowy i wówczas nie tworzy się wznoszący strumień cieczy. Przy ciśnieniu wyższym od 0,1-0,2 at powstaje w hydrocyklonie wewnętrzny wznoszący strumień cieczy. Ze wzrostem ciśnienia długość tego strumienia zwiększa się, dolna jego granica zbliża się do otworu wylewu i większość cieczy z zewnętrznego strumienia przesuwa się do strumienia wznoszącego. W przypadku stosunkowo wysokich ciśnień (2-3 at) dolna granica wewnętrznego wznoszącego strumienia cieczy sięga otworu wylewowego i prawie cała ciecz uchodzi z hydrocyklonu przez przelew. Zatem podwyższenie ciśnienia na wlocie do hydrocyklonu z jednej strony zwiększa ilość ziarn mineralnych odrzuconych działaniem siły odśrodkowej w stronę płaszcza hydrocyklonu i wirujących w kierunku otworu wylewowego, z drugiej strony wydłuża wewnętrzny wznoszący strumień cieczy przybliżając jego dolną granicę do wylewu.

W związku z tym szybko podnosi się gęstość naturalnej "pościeli" i znaczna część wzrostu a także ziarn skały płonej, które tworzą "pościel" zostaje porwana przez wznoszący strumień i wyniesiona do przelewu podnosząc za popielenie koncentratu węglowego. W ten sposób można wytłumaczyć możliwość bardziej efektywnego wzbogacania węgla w ośrodku wodnym przy niskich ciśnieniach na wlocie do hydrocyklonu.

Najbardziej korzystny zakres ciśnień waha się w granicach 0,2-0,5 at. Efektywna głębokość wzbogacania mułów w hydrocyklonach separatorach jest najwyższa dla ziarn 0,3-0,2 mm, w niektórych przypadkach sięga ziarn 0,15 do 0,1 mm. Według doświadczeń przeprowadzonych w Indiach dolna granica efektywnego rozdzielania ziarn w hydrocyklonach w środowisku wodnym wynosi 0,066 mm [5].

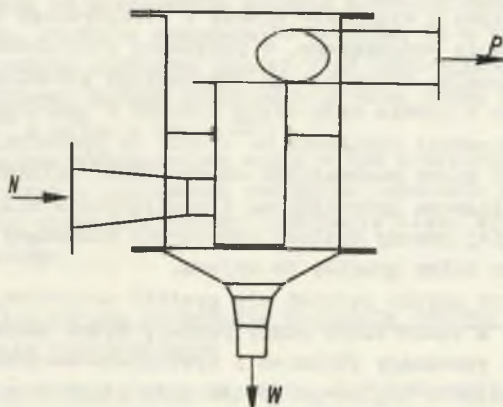
W hydrocyklonie o potrójnie zmiennym kącie zbieżności stożka mechanizm rozdzielania jest nieco bardziej złożony aniżeli w zwykłych hydrocyklonach separatorach. W górnej sekcji stożkowej części tego hydrocyklonu zachodzi rozdzielanie grubszych, lekkich ziarn, które wznoszącym się strumieniem wynoszone są do przelewu. Frakcja półproduktu przechodzi do środkowej sekcji, gdzie wydzielają się do przelewu lżejsze jej składniki, pozostały materiał zawierający grubsze ciężkie ziarna i część uwięzionych drobnych ziarn przechodzi do dolnej części stożka. W tej sekcji stożka mającej najmniejszy kąt "pościel" ciężkich ziarn ulega rozluźnieniu i rozdział zachodzi głównie według wielkości ziarn. Drobne ziarna unoszą się wznoszącym strumieniem do drugiej sekcji stożka do powtórnego wzbogacania [6].

3. Aparatura, materiały i warunki badań

Badania zostały przeprowadzone w hydrocyklonie o potrójnie zmiennym kącie zbieżności stożka, którego schemat wraz z podstawowymi wymiarami przedstawiono na rys. 1.

Hydrocyklon ten został włączony do instalacji półtechnicznej, która zapewniała regulację badanych parametrów, w założonym zakresie.

Surowcem do badań był węgiel gazowy typu 33 w klasie 3-0 mm, której szczegółowy skład ziarnowy i zawartości popiołu ujmuje tablica 1.



Rys. 1

Tablica 1

Skład ziarnowy i zawartość popiołu
w poszczególnych klasach ziarnowych nadawy

Klasa mm	Wychód γ %	Zawartość popiołu A ^a %
3-2	10,0	37,5
2-1	19,0	37,2
1-0,75	24,0	35,1
0,75-0,5	16,5	29,4
0,5-0,25	8,5	26,1
0,25-0,06	17,0	22,2
-0,06	5,0	22,3
	100,0	α = 28,01

Z wyników zestawionych w tej tablicy widzimy bardzo wysokie zapopielenie klas ziarnowych +0,25 mm przy dużym ich wychodzie. Znacznie niższe zapopielenie wykazują klasy -0,25 mm, przy średniej zawartości popiołu w nadawie ok. 28%.

Badania nad wzbogacaniem scharakteryzowanego wyżej węgla surowego przeprowadzono zmieniając:

- ciśnienie nadawy,
- położenie wlotu dyszy przelewowej,
- zagęszczenie nadawy.

Ciśnienie nadawy zmieniano w szerokim zakresie od 0,3-1,1 atmosfery cc 0,1 at.

Położenie wlotu dyszy przelewowej oznaczane w dalszej części pracy H_{mm} odnoszono do linii przejścia części cylindrycznej w stożkową. Przesunięcie wlotu powyżej tej linii oznaczano wartościami plus, a poniżej minus.

Wartość $H = 0$ oznacza położenie wlotu dyszy przelewowej w miejscu styku części cylindrycznej z częścią stożkową hydrocyklonu.

Ciężarowe zagęszczenia części stałych w nadawie wynosiło 20%, 25% i 30%.

4. Wyniki badań

W przedstawionej niżej interpretacji wyników badań przyjęto następujące symbole:

C, C_p, C_w - ciężarowe zagęszczenie części stałych w nadawie, przelewie i wylewie,

A^a, A_p^a, A_w^a - zawartość popiołu w częściach stałych nadawy, przelewu i wylewu,

Q_p, Q_w - natężenie przepływu przelewu i wylewu,

H - położenie wlotu dyszy przelewowej,

p - ciśnienie nadawy,

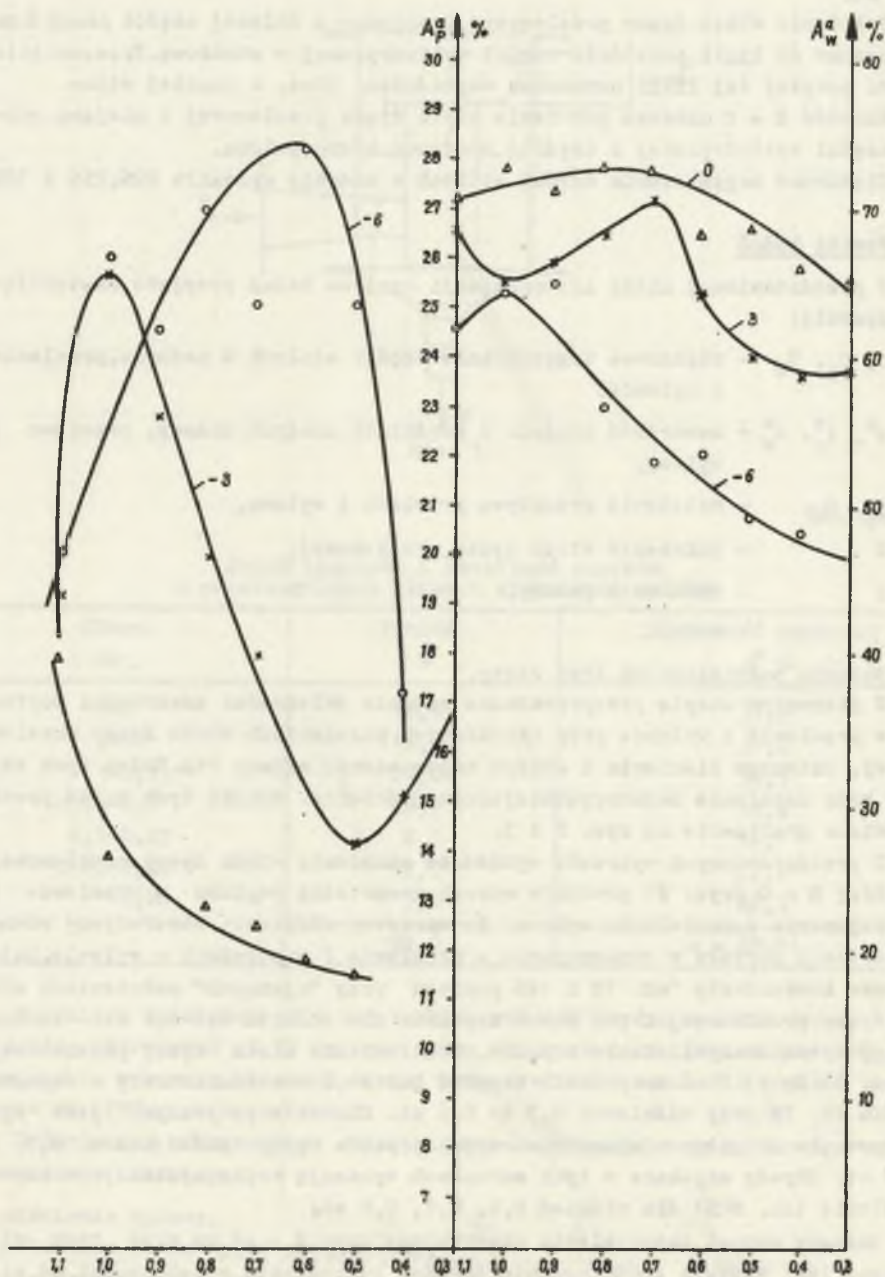
γ - wychód.

Badania podzielono na trzy etapy.

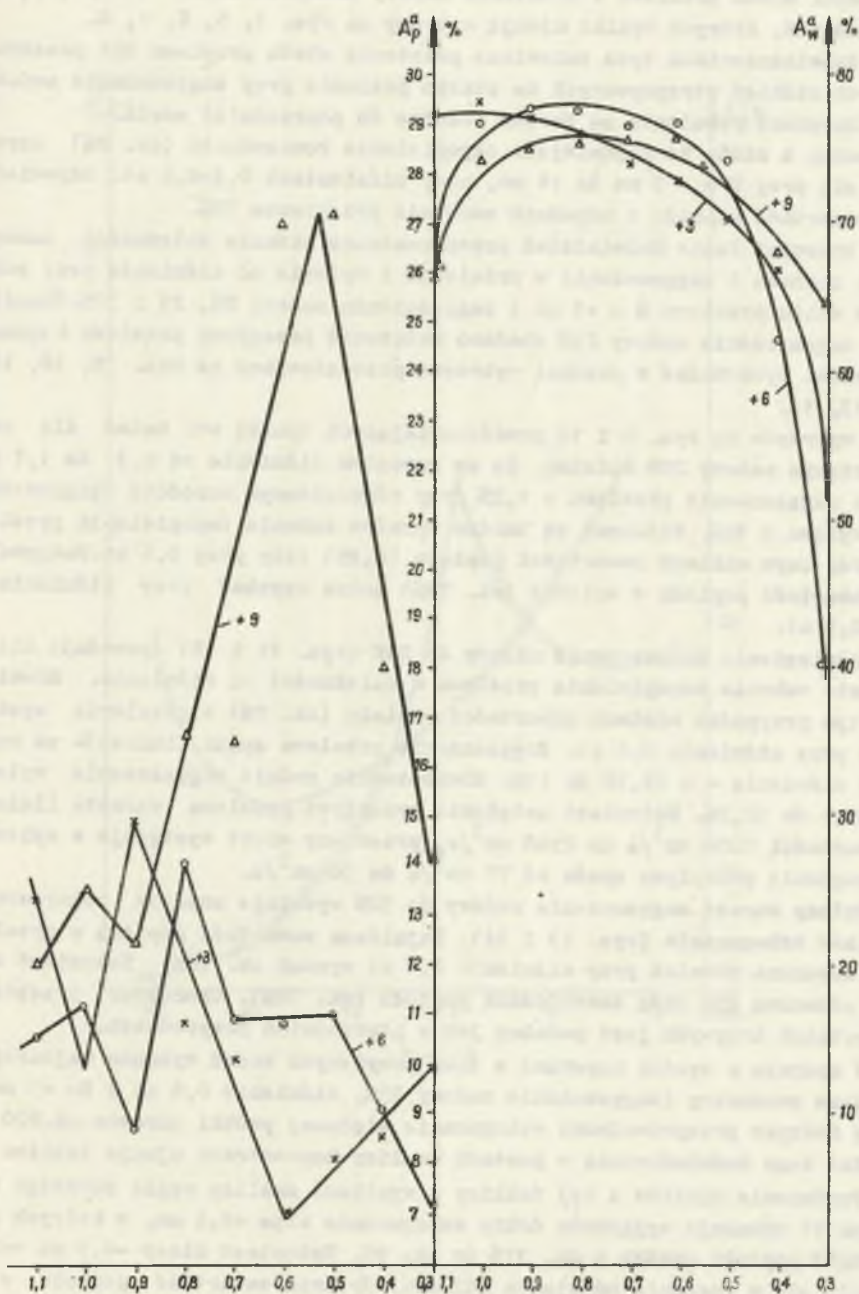
W pierwszym etapie przeprowadzono badania zależności zawartości popiołu w przelewie i wylewie przy określonych położeniach wlotu dyszy przelewowej, zmiennym ciśnieniu i stałym zagęszczeniu nadawy 25%. Celem tych badań było ustalenie najkorzystniejszego ciśnienia. Wyniki tych badań przedstawiono graficznie na rys. 2 i 3.

Z przedstawionych wykresów wynika, że obniżenie wlotu dyszy przelewowej poniżej $H = 0$ (rys. 2) powoduje wzrost zawartości popiołu w przelewie i zmniejszenie zapopielenia wylewu. Ze wzrostem ciśnienia obserwujemy wzrost zawartości popiołu w koncentracie - przelewie i w odpadach - wylewie. Najlepsze koncentraty "ok. 12 i 14% popiołu przy "ujemnych" położeniach wlotu dyszy przelewowej i gdy $H = 0$ uzyskano dla ciśnień 0,3-0,5 at. Zwraca uwagę wysokie zapopielenie odpadów. Podniesienie wlotu dyszy przelewowej (rys. 3) do +3 i +6 mm pozwala uzyskać bardzo dobre koncentraty o zapopieleniu ok. 7% przy ciśnieniu 0,3 do 0,6 at. Charakterystycznym jest występowanie drugiego minimum zawartości popiołu przy ciśnieniach 0,9 i 1,0 at. Odpady uzyskane w tych warunkach wykazują najkorzystniejsze zapopielenie (ok. 80%) dla ciśnień 0,6, 0,7, 0,8 at.

Znaczny wzrost zapopielenia obserwujemy przy $H = +9$ mm przy czym widoczne jest większe zróżnicowanie jakości koncentratu w zależności od ciśnienia wlotowego nadawy.



Rys. 2



Rys. 3

Dla potwierdzenia wyników tych badań i ustalenia najkorzystniejszego położenia wlotu przelewu i ciśnienia nadawy przeprowadzono kolejną serię doświadczeń, których wyniki ujmują wykresy na rys. 4, 5, 6, 7, 8.

W doświadczeniach tych zmieniono położenie wlotu przelewu dla poszczególnych ciśnień utrzymywanych na stałym poziomie przy zagęszczaniu nadawy 25%. Uzyskane rezultaty są bardzo podobne do poprzedniej serii.

Wynika z nich, że najmniejsze zapopielenie koncentratu (ok. 8%) uzyskuje się przy $H = +3$ mm do $+6$ mm, przy ciśnieniach 0,4-0,6 at. Odpowiednio zawartość popiołu w odpadach znacznie przekracza 70%.

W trzeciej fazie doświadczeń przeprowadzono badania zależności zawartości popiołu i zagęszczenia w przelewie i wylewie od ciśnienia przy położeniu wlotu przelewu $H = +3$ mm i zagęszczeniu nadawy 20, 25 i 30%. Ponadto przy zagęszczeniu nadawy 25% zbadano natężenie przepływu przelewu i wylewu.

Wyniki tych badań w postaci wykresów przedstawiono na rys. 9, 10, 11, 12, 13, 14.

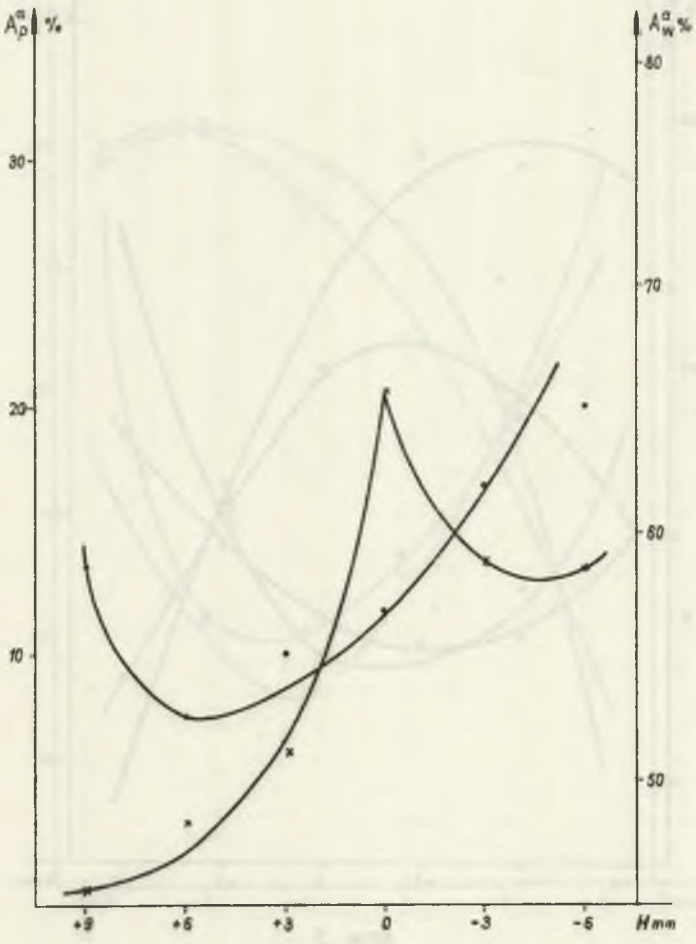
Z wykresów na rys. 9 i 10 przedstawiających wyniki ww. badań dla zagęszczenia nadawy 20% widzimy, że ze wzrostem ciśnienia od 0,3 do 1,1 at spada zagęszczenie przelewu o 1,2% przy równoczesnym wzroście zagęszczenia wylewu o 18%. Widoczne są bardzo wyraźne wahania zapopielenia przelewu przy czym minimum zawartości popiołu (8,2%) leży przy 0,6 at. Maksymalną zawartość popiołu w wylewie (ok. 75%) można uzyskać przy ciśnieniach 0,7-0,9 at.

Podniesienie zagęszczenia nadawy do 25% (rys. 11 i 12) powoduje nieco większe wahania zapopielenia przelewu w zależności od ciśnienia. Również i w tym przypadku minimum zawartości popiołu (ok. 9%) w przelewie występuje przy ciśnieniu 0,6 at. Zagęszczenie przelewu spada liniowo - ze wzrostem ciśnienia - z 22,5% do 19%. Równocześnie rośnie zagęszczenie wylewu od 39,5 do 52,5%. Natomiast natężenie przepływu przelewu wzrasta liniowo od wartości $2000 \text{ cm}^3/\text{s}$ do $2500 \text{ cm}^3/\text{s}$, przeciwny efekt występuje w wylewie - natężenie przepływu spada od $75 \text{ cm}^3/\text{s}$ do $30 \text{ cm}^3/\text{s}$.

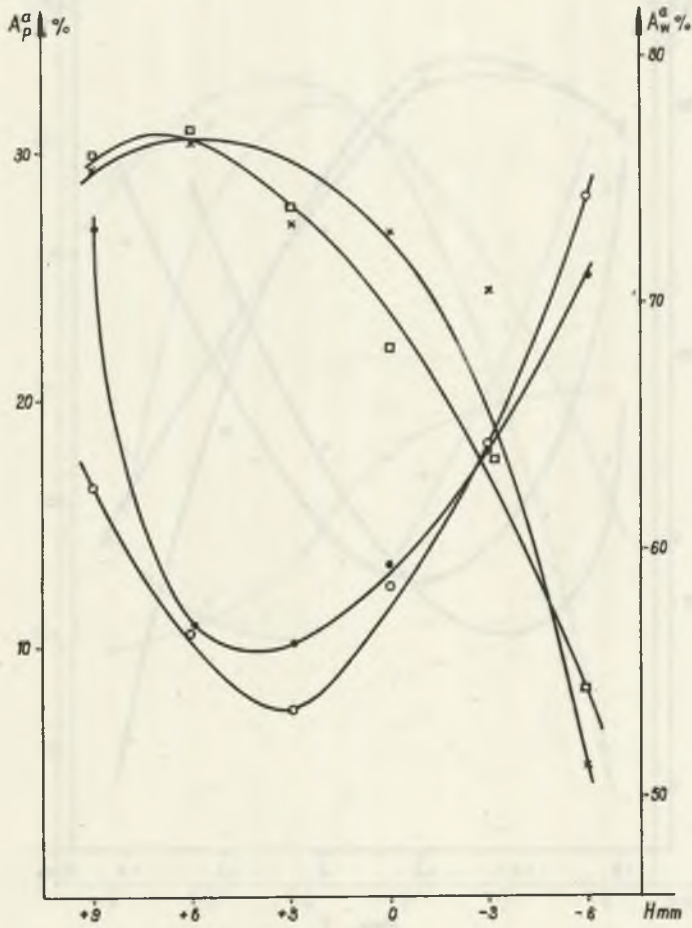
Dalszy wzrost zagęszczenia nadawy do 30% wywołuje znaczne pogorszenie wyników wzbogacania (rys. 13 i 14). Najniższa zawartość popiołu w przelewie uzyskana również przy ciśnieniu 0,6 at wynosi ok. 16%. Natomiast wylew odznacza się dużą zawartością popiołu (ok. 78%). Charakter przebiegu wszystkich krzywych jest podobny jak w poprzednich przypadkach.

W oparciu o wyniki uzyskane w toku powyższych badań wybrano najkorzystniejsze parametry (zagęszczenie nadawy 25%, ciśnienie 0,6 at i $H = +3$ mm), przy których przeprowadzono wzbogacanie większej próbki surowca ok. 200 kg. Wyniki tego doświadczenia w postaci analizy koncentratu ujemuje tablica 2.

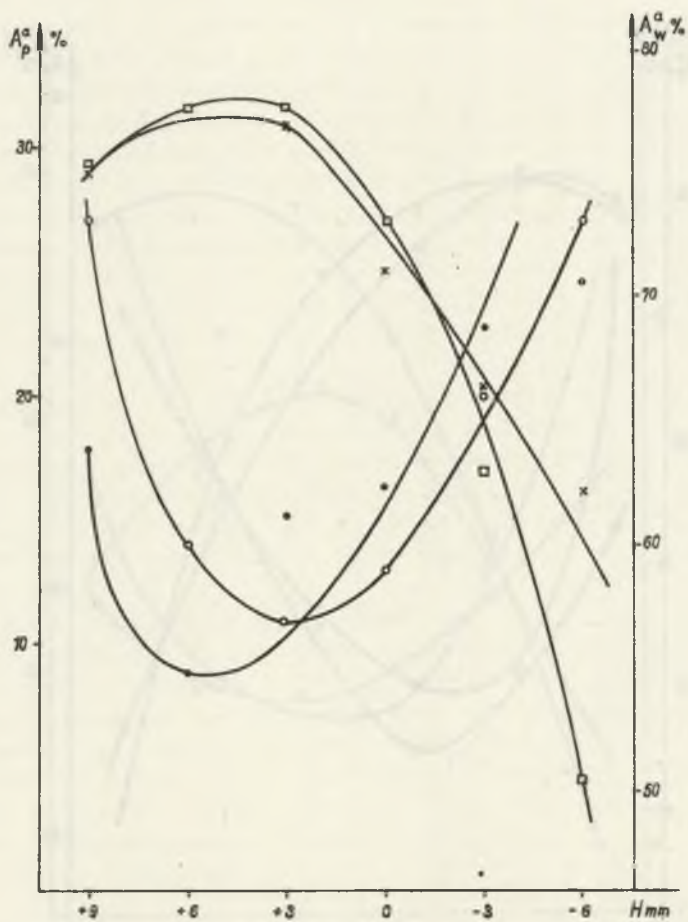
Porównanie wyników z tej tablicy z wynikami analizy węgla surowego (tablica 1) wykazuje wyjątkowo dobre wzbogacenie klas $+0,5$ mm, w których zawartość popiołu spadła z ok. 31% do ok. 5%. Natomiast klasy $-0,5$ mm wzbogaciły się w znacznie mniejszym stopniu. Średnia zawartość popiołu w uzyskanym koncentracie wynosi 8,9%. Odpady zawierały ok. 75% popiołu.



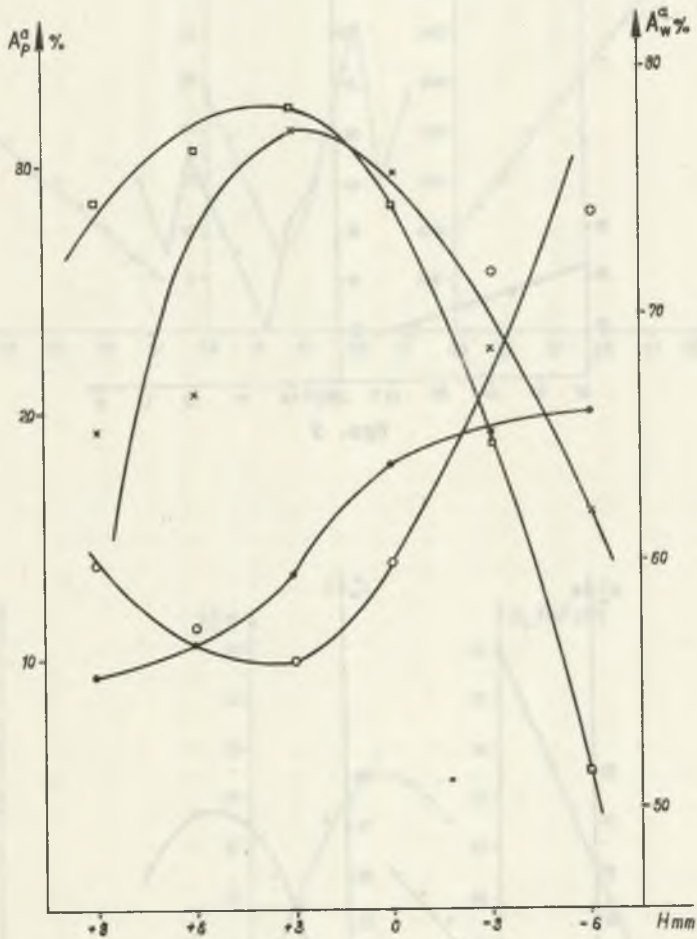
Rys. 4



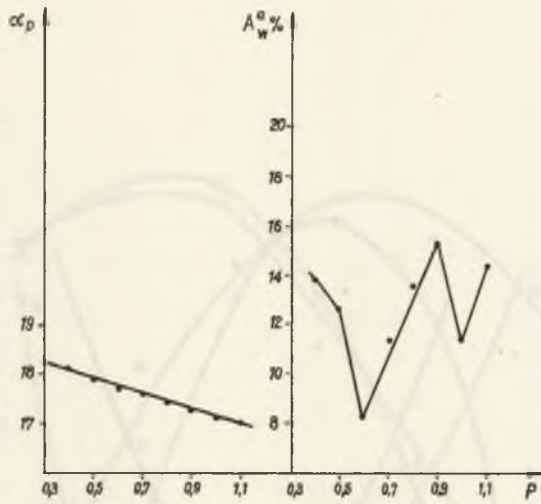
Rys. 6



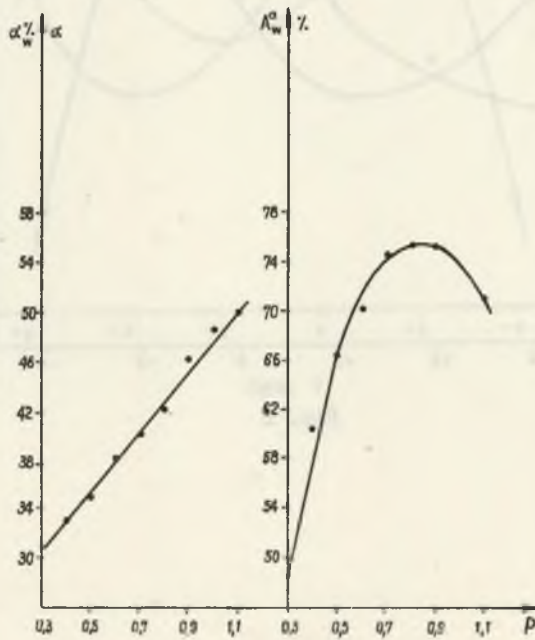
Rys. 7



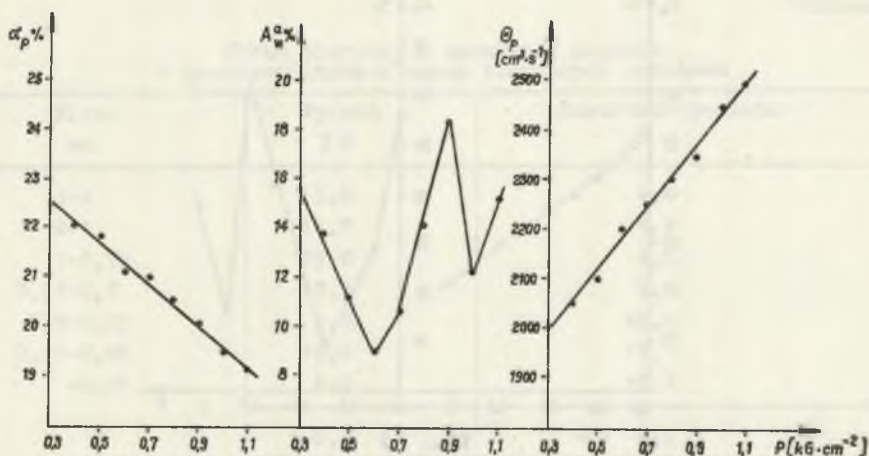
Ryż. 8



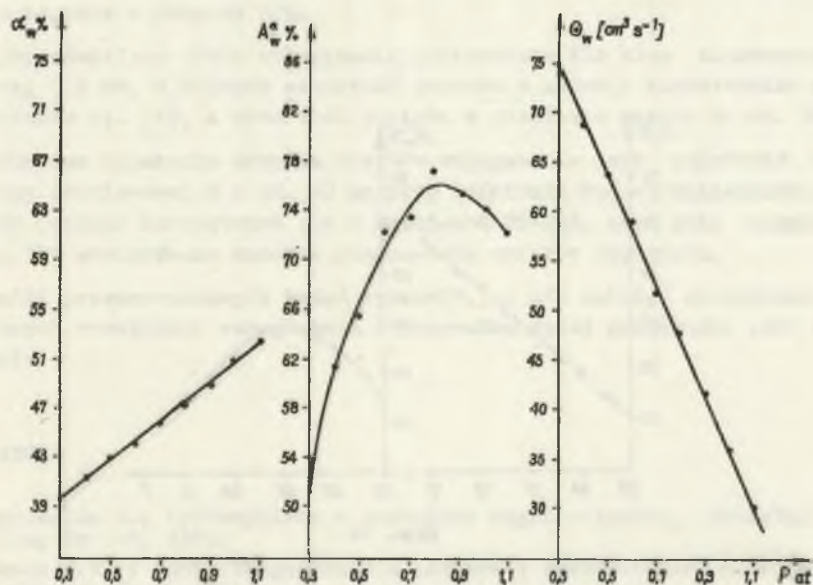
Rys. 9



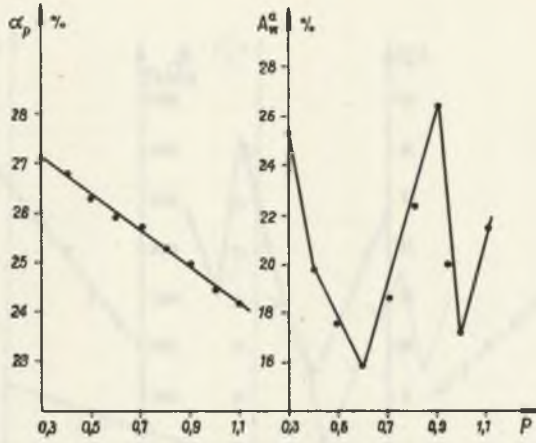
Rys. 10



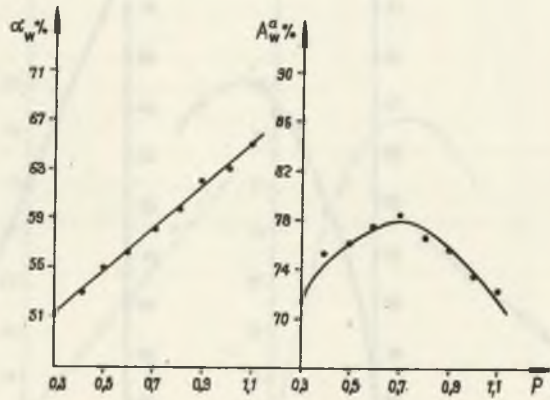
Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13



Rys. 14

Tablica 2

Skład ziarnowy i zawartość popiołu
w poszczególnych klasach ziarnowych przelewu

Klasa mm	Wychód γ %	Zawartość popiołu A ^a %
3-2	9,0	4,4
2-1	17,0	4,6
1-0,75	25,0	4,9
0,75-0,5	17,5	5,1
0,5-0,25	9,5	18,9
0,25-0,06	16,0	17,1
-0,06	6,0	19,2
	100,0	α = 8,9

5. Wnioski

- Przeprowadzone badania wykazały pełną przydatność hydrocyklonu o potrójnie zmiennym kącie zbieżności stożka do wzbogacania drobnych ziarn węgla w ośrodku wodnym. Stwierdzono możliwość uzyskania koncentratów o zawartości popiołu ok. 7% przy równocześnie bardzo wysokim zapopiehleniu odpadów - powyżej 70%.
- Najwyraźniejszy efekt wzbogacania stwierdzono dla klas ziarnowych powyżej 0,5 mm, w których zawartość popiołu w nadawie kształtowała się na poziomie ok. 31%, a zawartość popiołu w przelewie spadła do ok. 5%.
- Warunkiem uzyskania dobrych efektów wzbogacania jest położenie wlotu dyszy przelewowej H = ok. +3 mm przy ciśnieniu 0,6 at. Zagęszczenie nadawy powinno kształtować się w granicach 20-25%, gdyż przy zagęszczeniu 30% stwierdzono znaczne pogorszenie wyników rozdziału.
- Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że nie należy spodziewać się dobrych rezultatów wzbogacania w przypadku dużej zawartości łźów w nadawie.

LITERATURA

- [1] Battaglia A.: Hydrocyklony w przeróbce węgla polskich. Przegląd Górniczy Nr 7-8, 1955.
- [2] Lewin S.T. i inni: Obogaszczanie szłomow w centrobieżnym pole sgl.Koks i Chimija Nr 3, 1961.
- [3] Lewin S.T. i inni: K woprosu primienienija gidrociklonow dlja oboraszczenija ugotnyh szłomow w wodnoj srednie. Obogaszczanie poleznyh iskopajemyh Nr 5 Izdatielstwo "Technika" Kijew, 1969.

- [4] Akopow M.G.: Osnovy Obogaszczeniya uglej w gidrociklonach. Izdatiel'stvo "Niedra", 1967.
- [5] Basu D., Chakravarti A.K. i inni: Sortierung von Kohlenschlammern i Wasserzyklonen. Materiały w j. niemieckim z Kongresu w Harrogate, 1962.
- [6] Visman J.: Die Sortierung abriebempfindlicher Kohle im Hydrocyklon. Materiały w j. niemieckim z Kongresu w Harrogate. 1962.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ
В ГИДРОЦИКЛОНЕ С ТРОЙНЫМ УГЛОМ КОНВЕРГЕНЦИИ КОНУСА

Р е з ю м е

В представленной работе исследовано влияние давления, положения впускного отверстия приёмного сопла и уплотнения исходного материала на эффект обогащения в гидроциклоне с тройным углом конвергенции конуса.

Получены хорошие концентраты с содержанием золы около 8% хвосты с содержанием золы свыше 70%.

INVESTIGATIONS CONCERNING ENRICHMENT OF COAL MUDS
IN HYDROCYCLONE WITH A TRIPLE ANGLE OF CONE CONVERGENCE

S u m m a r y

In the paper the influence of pressure, position of inlet of transfer nozzle and condensation of crude coal on the result of enrichment in hydro cyclone with a triple angle of cone convergence. Good concentrates with an ash contents about 8% and refuses with an ash contents about 70% have been achieved.