ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 71 Górnictwo z.5 1962

STANISŁAW BŁASZCZYŃSKI

OBNIŻENIE ZAWARTOŚCI WĘGLA W ŻUŻLACH PALENISKOWYCH NA DRODZE PRZERÓBKI MECHANICZNEJ

Streszczenie: Na podstawie wyników rozdziału żużla surowego w cieczach ciężkich opracowano i wykreślono krzywe średniej zawartości substancji palnej, z których można określić w sposób prosty i szybki wychody poszczególnych produktów uszlachetniania oraz zawartości w nich substancji palnej.

Podjęto próbę znalezienia metody, która by umożliwiła obniżenie zawartości substancji palnej w żużlu paleniskowym przynajmniej do 20% przez co stałby się przydatnym do celów budowlanych.

Opracowano koncepcję schematu technologicznego zakładu przeróbczego opartego na technologii wydzielania klas powyżej 20 mm i mechanicznego wzbogacania klas drobniejszych w wodnych osadzarkach pulsacyjnych.

Przeprowadzono krótką analizę ekonomiczną.

1. WSTĘP

W miarę rozwoju budownictwa i zwiększenia w nim stosowalności elementów prefabrykowanych rośnie zapotrzebowanie na kruszywa lekkie do produkcji tych elementów.

Jednym z podstawowych kruszyw lekkich stosowanych do produkcji prefabrykatów jest żużel paleniskowy łatwo dostępny w dużych ilościach. Nie zawsze jednak może on być wykorzystany do celów budowlanych. W pełnym wykorzystaniu żużla paleniskowego do tych celów przeszkadza jego różnorodność pod względem własności fizycznych i składu chemicznego, a przede wszystkim zbyt wysoka zawartość szkodliwych składników. Najbardziej szkodliwymi składnikami żużla paleniskowego są: niespalony węgiel i siarka, które zmniejszają jego trwałość, mrozoodporność i wytrzymałość. Jako dopuszczalne zawartości tych składników zostały określone przez normy budowlane i wynoszą dla węgla 20%, dla siarki 3%.

W większości przypadków zawartość niespalonego węgla w świeżych żużlach paleniskowych przekracza podaną granicę i wynosi 25 - 50%. Żużel paleniskowy stanowi po odpadach z sortowni i płuczek węglowych drugi co do ilości masowy odpad przemysłowy. Według danych statystycznych roczna produkcja żużla paleniskowego w Polsce w roku 1957 wynosiła około 3.700.000 ton [7]. W statystyce tej pominięto zakłady dające poniżej 20 ton żużla na dobę. Zwałowanie takich ilości żużla wymaga przeznaczenia co roku dużej powierzchni ziemi użytkowej szczególnie cennej w okręgach przemysłowych.

Z naszkicowanej sytuacji wynika zadanie dla przeróbki mechanicznej polegające na opracowaniu metody, która umożliwiłaby wyeliminowanie lub przynajmniej obniżenie zawartości niespalonego węgla w żużlu paleniskowym, a tym samym uczyniłaby go przydatnym do produkcji prefabrykatów. Metoda ta powinna składać się z prostych a więc tanich operacji. Poza tym należy dążyć do wydzielenia niespalonego węgla w koncentracji umożliwiającej ponowne spalanie. Przyczyni się to do zwiększenia oszczędności paliwa, a tym samym dostarczy nowych wartości gospodarce narodowej.

2. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA ŻUŻLA PALENISKOWEGO

Surowym żużlem paleniskowym nazywamy pozostałość po spaleniu paliw stałych będącą zespołem cząstek mineralnych spieczonych lub stopionych w ziarna i bryły o wymiarach wynoszących kilkadziesiąt milimetrów i więcej (zwanych żużlem właściwym), oraz cząstek drobnych pylastych, przy przewadze składników pierwszej grupy. Ponadto w skład żużla surowego wchodzą w różnych ilościach cząstki niespalonego węgla w postaci oddzielnych ziarn lub stopione ze składnikami mineralnymi, oraz w pewnych przypadkach cząstki mineralne niespieczone.

Jedynym składnikiem żużla surowego użytecznym dla celów budowlanych jest żużel właściwy. Żużel właściwy odznacza się niskim ciężarem objętościowym i dobrą wytrzymałością mechaniczną, posiada zatem zalety kwalifikując go jako kruszywo do betonów lekkich. Żużle właściwe z zakładów spalających te same lub zbliżone gatunki węgla w paleniskach tego samego typu odznaczają się pewnymi cechami wspólnymi. Im większe są różnice między własnościami węgli tym wyraźniej różnice te występują między typami ich żużli.

3. BADANIA LABORATORYJNE

Do badań pobrano próbę żużla z bieżącej produkcji kotłowni kopalnianej.

1. Charakterystyka badanego żużla surowego pod względem chemicznym i petrograficznym - makroskopowym

Przeprowadzona analiza na zawartość zasadniczych składników chemicznych żużla dała następujące wyniki:

Wilgoć higroskopijna	- 1,70%	SiO_2	- 49,44%
Popiół	- 67,70%	Al_2O_3	- 27,86%
Zawartość C	- 28,67%	Fe_2O_3	- 9,89%
Zawartość H	- 0,44%	CaO	- 5,00%
Siarka całkowita	- 0,40%	MgO	- 4,09%
Siarka palna	- 0,05%	SO_3	- 3,12%
CO_2 węglanowe	- 0,37%		

Z powyższego wynika, że zawartość węgla przekracza granice dopuszczalne przez normy. Natomiast zawartość siarki odpowiada wymogom norm. Analiza makroskopowa badanej próby żużla surowego potwierdziła ogólnie przyjęty i podany wyżej skład żużli paleniskowych. I tak w całej masie żużla surowego stwierdzono:

a) ziarna żużla właściwego - tj. ziarna o różnej wielkości i równym stopniu spieczenia posiadające strukturę porowatą, a w związku z tym niski ciężar objętościowy,

b) popiół tj. przepalone lecz niespieczone cząstki substancji mineralnej o wielkości ziarn poniżej 0,5 mm,

c) małe ilości łupku częściowo tylko przepalonego o wielkości ziarn poniżej 10 mm i strukturze zwięzłej z nielicznymi spękaniami,

d) niespalony węgiel o różnym stopniu skoksowania (i co za tym idzie porowatości) występujący w postaci luźnych ziarn i to głównie w klasie poniżej 20 mm bądź też wtopiony w ziarna żużla (bardzo rzadko).

2. Analiza składu ziarnowego połączona z badaniem straty prażenia i analizą na zawartość siarki w poszczególnych klasach ziarnowych

Analizę składu ziarnowego przeprowadzono przy użyciu sit o następujących średnicach otworów: 20 mm, 10 mm, 5 mm - przy-

jętych wg. norm budowlanych. W każdej z otrzymanych klas ziarnowych (po odpowiednim przygotowaniu próbek) oznaczono stratę prażenia w sposób podobny jak oznacza się zawartość popiołu w węglu. Każdą z klas przeanalizowano również na zawartość siarki metodą Eschki.

Wyniki powyższych analiz zestawiono w tablicy nr 1.

Widzimy z niej, że zawartość części palnych w poszczególnych klasach ziarnowych (za wyjątkiem klasy powyżej 20 mm) przekracza granicę dopuszczalną przez normy. Natomiast zawartość siarki we wszystkich klasach odpowiada wymogom norm. Widzimy również koncentrację siarki w kolejnych klasach ziarnowych oraz części powyżej 10 mm. Na podstawie danych umieszczonych w tablicy nr 1 wykreślono krzywe: składu ziarnowego, zawartości popiołu i siarki w poszczególnych klasach ziarnowych i umieszczono je na rys. nr 1.

3. Analiza poszczególnych klas ziarnowych w cieczach ciężkich

Rozdział w cieczach ciężkich przeprowadzono w tych samych klasach ziarnowych, które zostały wydzielone drogą analizy sitowej. Do rozdziału użyto wodnych roztworów chlorku cynku o różnych ciężarach właściwych.

Ciężary właściwe użytych cieczy podaje tablica nr 2. Widzimy w niej że żużel paleniskowy jest surowcem trudno wzbogacalnym przy czym w naszym wypadku klasą najtrudniej wzbogacalną jest klasa 5 - 0,5 mm, a najłatwiej klasa 20 - 10 mm.

Należy nadmienić że rozdział tak specyficznego surowca jakim jest żużel paleniskowy ze względu na porowatość jego składników, przebiega nie według ciężarów właściwych, a głównie według ciężarów objętościowych. Potwierdza to analiza makroskopowa otrzymanych frakcji. Wykazała ona obok ziarn koksu (w tych samych frakcjach) ziarna żużla właściwego, którego ciężar właściwy jest znacznie większy od ciężaru właściwego węgla i koksu bo waha się w granicach 2,5 - 2,7 g/cm^3, natomiast ciężary objętościowe tych składników są niejednokrotnie równe lub bardzo zbliżone. Ten właśnie fakt czyni żużel paleniskowy trudno wzbogacalnym.

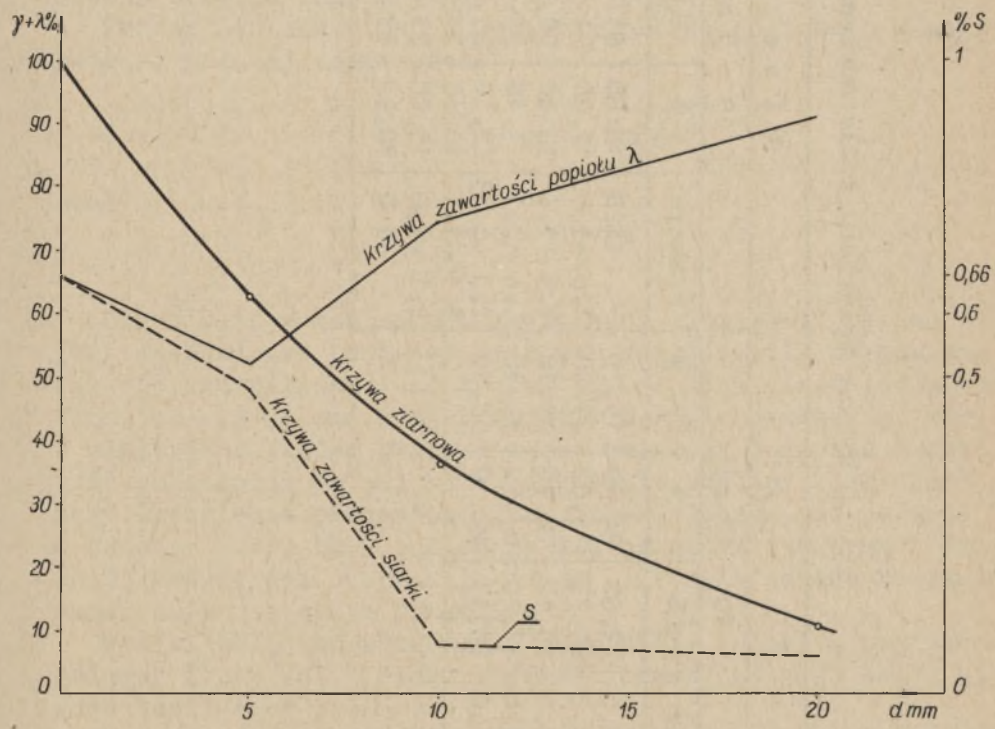
4. Przybliżona zawartość substancji palnej w poszczególnych frakcjach ciężaru objętościowego badanego żużla

Najogólniej można podzielić substancję wchodzącą w skład ziarna węglowego na palną i niepalną (mineralna + woda). Wydawałoby się, że procentowa zawartość substancji palnej w badanym węglu powinna być równa procentowej stracie pra-

Tablica 1

Zestawienie wyników analiz: składu ziarnowego, zawartości popiołu i siarki

Klasa d mm	Wychody poszczególnych klas γ %	Wychód sumaryczny $\sum\gamma$ %	Zawartość popiołu λ %	Strata prażenia S_{pr} %	Zawartość siarki S %
+20	10,8	10,8	91,90	8,10	0,06
20-10	25,8	36,6	75,00	25,00	0,08
10-5	27,00	63,6	52,50	47,50	0,49
5-0	36,4	100,0	65,80	34,20	0,66



Rys. 1. Krzywe - ziarnowa oraz zawartości popiołu i siarki w żużlu surowym

Tablica 2

Wyniki rozdziału żużla surowego w cieczach ciężkich

Klasa											
20 - 10 mm				10 - 5 mm				5 - 0 mm			
Frakcja	γ %	λ %	Spl %	Frakcja	γ %	λ %	Spl %	Frakcja	γ %	λ %	Spl %
+1,5	32,82	84,30	15,70	+1,8	18,80	83,70	16,30	+1,8	36,81	88,00	12,00
1,5 -1,3	20,78	73,00	27.00	1,8 -1,5	17,30	71.88	28,12	1,8 -1,7	5,55	78,70	21,30
1,3 -1,15	19,17	70,90	29,10	1,5 -1,4	12,40	50,50	49,50	1,7 -1,6	4,54	66,64	33,46
1,15-1,0	17,10	67,70	42,30	1,4 -1,3	7,10	35,00	64,70	1,6 -1,5	5,95	58,86	41,24
-1,0	10,13	46,10	53,90	1,3 -1,15	12,10	25,00	75,00	1,5 -1,4	7,90	48,90	51,10
				1,15-1,1	10,40	24,00	76,00	1,4 -1,3	6,25	44,36	55.74
				1,1 -1,0	11,60	21,46	78,54	1,3 -1,2	4,09	40,26	59,84
				-1,0	10,30	19,10	80,90	1,2 -1,15	4,09	34,50	65,50
								1,15-1,10	3,25	28,40	71,60
								1,1 -1,0	5,38	24,40	75,60
								- 1,0	16,20	22,14	77,86

żenia powstałej przy oznaczaniu zawartości popiołu. Jednak tak nie jest bowiem wiadomo, że analitycznie oznaczona średnia procentowa zawartość popiołu w badanej próbce jest różna (niższa) od procentowej zawartości w niej substancji mineralnych. Spowodowane to jest ulotnieniem się pewnych składników mineralnych podczas spalania. Według T.Mieleckiego różnica ta wynosi średnio 15,2% dla węgli górnośląskich tzn. dla określenia procentowej ciężarowej zawartości substancji mineralnych w badanej próbce węgla należy oznaczoną analitycznie procentową zawartość popiołu pomnożyć przez średni współczynnik SM = 1,152. W przypadku określenia zawartości substancji mineralnych w żużlu surowym należy przyjąć współczynnik mniejszy ponieważ jest on pozostałością po spalaniu w palenisku przemysłowym, a zatem podlegał już działaniu wysokiej temperatury i tylko na skutek niedoskonałości procesu spalania w warunkach przemysłowych część substancji palnej i mineralnej nie uległa rozkładowi. Dla oznaczenia zawartości substancji mineralnych w poszczególnych frakcjach ciężaru objętościowego badanego żużla zdecydowano przyjąć współczynnik SM = 1,04.

Procentową zawartość substancji palnej obliczono w następującej prostej zależności:

$$S_p + \lambda \cdot SM = 100\%$$

stąd

$$S_p = 100 - \lambda \cdot SM$$

Określenie w ten sposób zawartości substancji palnej jest niedokładne ponieważ przyjęty współczynnik SM posiada wartość przybliżoną. Jednak dokładność taka dla celów praktycznych wydaje się wystarczająca. O wiele dokładniej ale z większym nakładem pracy i czasu można by oznaczyć zawartość substancji palnej przez wykonanie analizy elementarnej. Określenie procentowej zawartości substancji palnej w badanym żużlu była konieczne dla określenia krzywych średniej zawartości substancji palnej, których zasada zostanie omówiona w następnym punkcie.

Wyniki obliczeń zawartości substancji palnej w poszczególnych frakcjach ciężaru objętościowego badanego żużla ujmuje tablica nr 3.

5. Krzywe średniej zawartości substancji palnej

Na podstawie wyników rozdziału żużla surowego w cieczach ciężkich opracowano krzywe średniej zawartości substancji palnej. Zasada tych krzywych jest podobna do zasady krzywych Majera z tą różnicą, że na osi odciętych naniesiono podziałkę zawartości części palnych.

Ilość części palnych w poszczególnych frakcjach obliczono w sposób uprzednio podany. Współrzędne poszczególnych punktów krzywej obliczono z następujących wzorów:

$$X_n = \frac{\sum_{o}^{n} \gamma_n \cdot S_p}{100}$$

$$Y_n = \sum_{o}^{n} \gamma_n$$

W celu skrócenia wykresu wprowadzono dla odczytu zawartości substancji palnej specjalną podziałkę na osi rzędnych, która jest przedłużeniem podziałki na osi odciętych. Sposób obliczenia tej podziałki podają podręczniki omawiające zasadę krzywych Majera [6].

Zawartość części palnych w poszczególnych produktach wzbogacania (uszlachetniania) wyznaczają kierunki wektorów wykreślonych z końcowych punktów krzywej i przechodzących przez punkty (na krzywej) odpowiadające wychodom danych produktów.

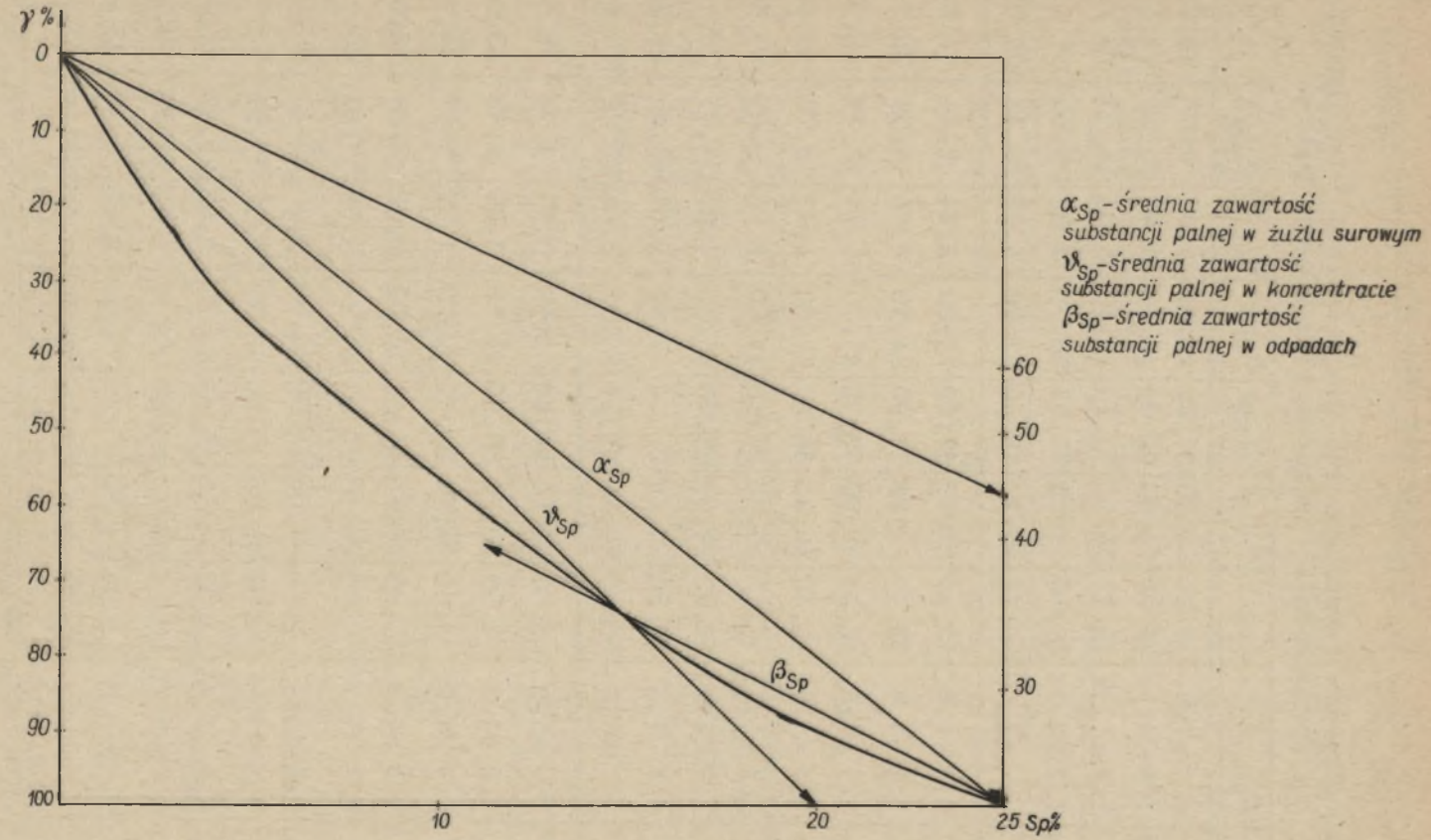
Dla dowolnej krzywej średniej zawartości substancji palnej każdy promień wyprowadzony z punktu zerowego na osi rzędnych a przecinający tę krzywą określa zawartość części palnych w całkowitej ilości żużla, którego charakterystykę stanowi odcinek krzywej pomiędzy punktem zerowym, a punktem przecięcia się. Wychód koncentratów dla tej zawartości substancji palnej odczytuje się na osi rzędnych prowadząc z punktu przecięcia się promienia z krzywą, prostą prostopadłą do osi rzędnych. Natomiast zawartość substancji palnej w odpadach wyznacza nam na podziałce pomocniczej promień wyprowadzony z punktu zerowego na osi rzędnych równoległy do promienia łączącego końcowy punkt krzywej na osi odciętych z punktem na krzywej odpowiadającym wychodowi odpadów.

Zawartość substancji palnej w produkcie pośrednim określa nam promień wyprowadzony z górnego końca krzywej równoległy do cięciwy krzywej przeprowadzonej przez punkty przecięcia się krzywej z prostymi ograniczającymi wychód produktu pośredniego.

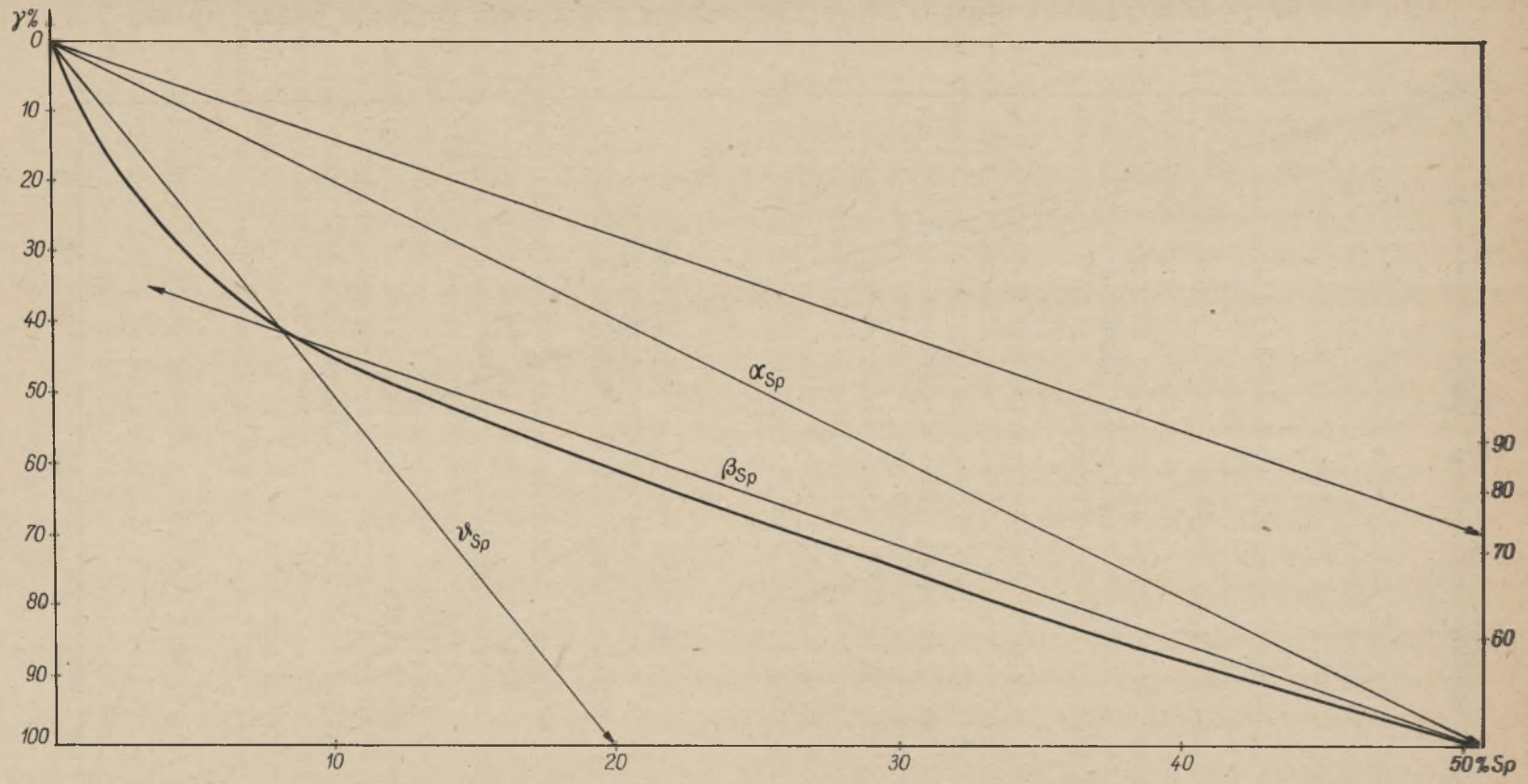
Tablica 3

Wyniki obliczeń zawartości substancji palnej i współrzędnych krzywych średniej zawartości substancji palnej

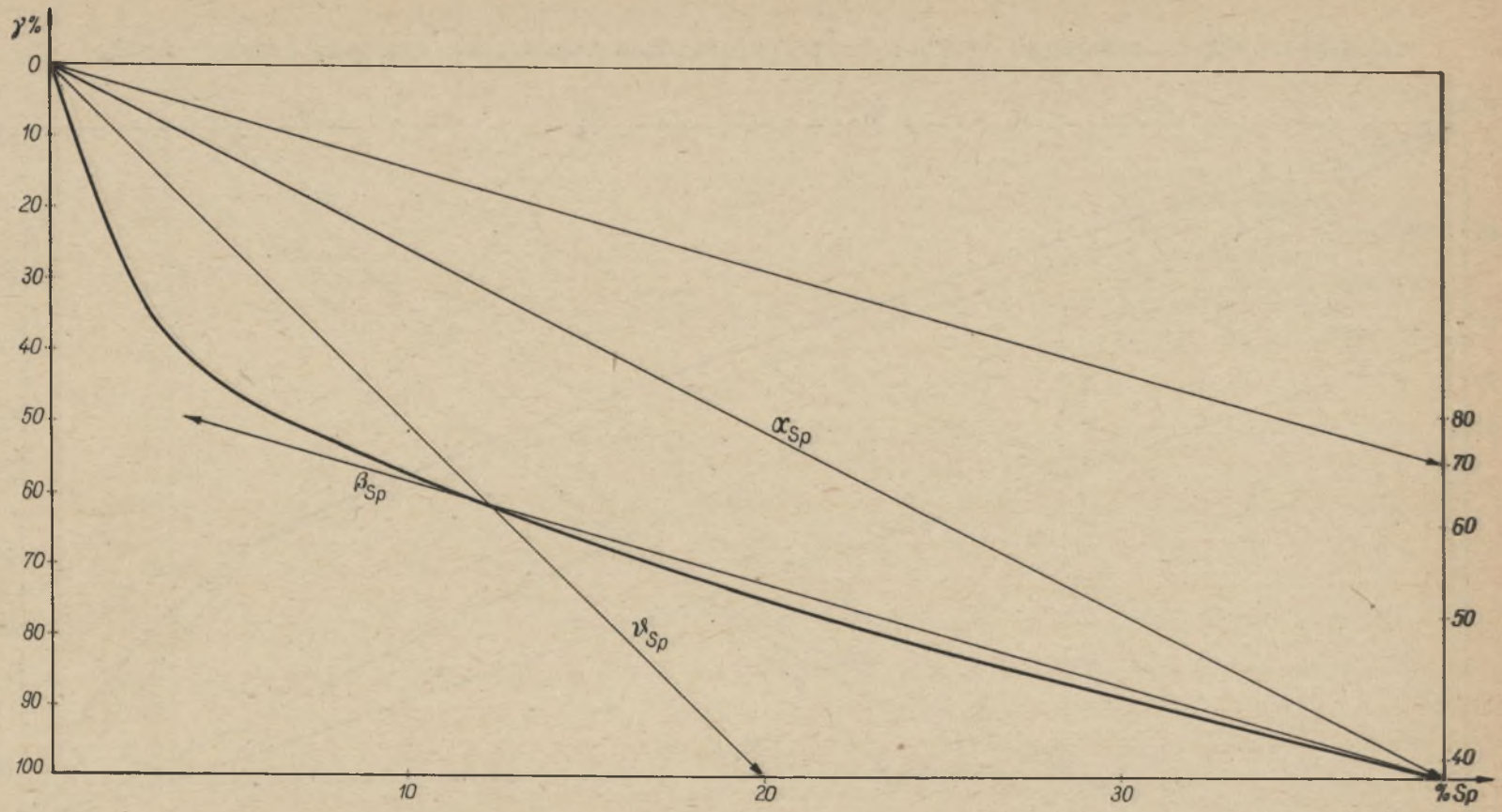
Klasa mm	Frakcja	γ %	λ %	λ SM	S_p %	$\frac{\Sigma\gamma \cdot S_p}{100}$	$\frac{\Sigma\gamma \cdot S_p}{100}$	$\Sigma\gamma$ %
	+1,5	32,82	84,30	87,60	12,40	4,07	4,07	32,82
20-10	1,5 -1,3	20,78	73,00	75,90	24,10	4,99	9,06	53,60
	1,3 -1,15	19,17	70,90	73,70	26,30	5,04	14,10	72,77
	1,15-1,0	17,10	67,70	70,04	29,06	4,96	20,06	89,87
	-1	10,13	46,10	48,00	52,00	5,26	25,32	100,00
	+1,8	18,80	83,70	87,00	13,00	2,44	2,44	18,80
	1,8 -1,5	17,30	71,88	75,90	24,10	4,15	6,59	36,10
	1,5 -1,4	12,40	50,50	52,50	47,70	5,64	12,23	48,50
10-5	1,4 -1,3	7,10	35,00	36,40	63,60	4,47	16,70	55,60
	1,3 -1,15	12,10	25,00	26,00	74,00	8,95	25,65	67,70
	1,15-1,1	10,40	24,00	25,00	75,00	7,80	33,45	78,10
	1,1 -1,0	11,60	21,46	22,30	77,70	9,01	42,46	89,70
	-1,0	10,30	19,10	19,85	80,15	8,26	50,72	100,00
	+1,8	36,81	88,00	91,50	8,50	3,13	3,13	36,81
	1,8 -1,7	5,55	78,70	81,90	18,10	1,05	4,18	42,36
	1,7 -1,6	4,54	66,64	69,30	30,70	1,39	5,57	46,90
	1,6 -1,5	5,95	58,86	61,10	38,90	2,32	7,89	52,85
5-0	1,5 -1,4	7,90	48,90	50,09	49,91	3,94	11,83	60,75
	1,4 -1,3	6,25	44,36	46,00	54,00	3,38	15,21	67,00
	1,3 -1,2	4,09	40,26	41,90	58,10	2,37	17,58	71,09
	1,2 -1,15	4,09	34,50	35,80	64,20	2,62	20,20	75,18
	1,15-1,10	3,24	28,44	29,60	70,40	2,28	22,48	78,42
	1,10-1,0	5,38	24,20	25,40	74,60	4,00	26,48	83,80
	-1,0	16,20	22,14	23,00	77,00	12,50	38,98	100,00



Rys.2. Krzywa średniej zawartości substancji palnej w żużlu peleniskowym-klasa 20-10 mm



Rys.3. Krzywa średniej zawartości substancji palnej w żużlu paleniskowym-klasa 10-5 mm



Rys.4. Krzywa średniej zawartości substancji palnej w żużlu paleniskowym-klasa 5-0,5 mm

Krzywa średniej zawartości substancji palnej pozwala nam również na określenie wychodu koncentratu półproduktu i odpadów przy z góry założonej zawartości substancji palnej w tych produktach.

Dane do obliczeń współrzędnej krzywej średniej zawartości substancji palnej oraz wyniki tych obliczeń dla poszczególnych klas ziarnowych i frakcji ciężaru objętościowego badanego żużla podane są w tablicy nr 3.

Na podstawie wyników obliczeń zawartych w tej tablicy wykreślono krzywe średniej zawartości substancji palnej (dla poszczególnych klas ziarnowych badanego żużla) umieszczone są na rys.2,3 i 4.

Na każdej krzywej zostały wyznaczone promienie (wg zasad podanych wyżej) określające zawartość substancji palnej w koncentracie i odpadach oraz wychody tych produktów. Widzimy z nich, że przez uszlachetnienie poszczególnych klas ziarnowych możemy otrzymać (przy dopuszczalnej zawartości części palnych w koncentracie równej 20%) w klasie 20÷10 mm - 74% koncentratu i 26% odpadów o zawartości części palnych 42%, a w klasach 10 ÷ 5 mm i 5÷ 0,5 kolejno 40%, 61% koncentratu i 60%, 39% odpadów o zawartości części palnych 75%, 69%.

4. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA METOD MECHANICZNEGO WZBOGACANIA KOPALIN DO USZLACHETNIANIA ŻUŻLI PALENISKOWYCH

Powyższe określenie "uszlachetnianie" przyjęto z terminologii budowlanej w której oznacza ono wstępną przeróbkę odpadów paleniskowych mającą na celu poprawę cech użytkowych tych odpadów jako surowca budowlanego.

Spośród znanych metod wzbogacania najbardziej przydatne do uszlachetniania żużli paleniskowych wydają się metody oparte na różnicy wielkości ziarn i ciężarów właściwych, a z tych ostatnich wzbogacanie w osadzarkach pulsacyjnych i hydrocyklonach. W celu dokładnego stwierdzenia możliwości zastosowania tych metod na skalę przemysłową przeprowadzono w ramach tej pracy odpowiednie próby laboratoryjne.

1. Wzbogacanie na podstawie wielkości ziarn

W przypadku żużla paleniskowego metoda ta daje czasami dobre rezultaty, gdyż uziarnienie niespalonego węgla odbiega w mniejszym lub w większym stopniu od uziarnienia żużla

właściwego. Obserwujemy wówczas pewną koncentrację siarki i niespalonego węgla w określonych klasach uziarnienia żużla surowego. Jeżeli koncentracja ta wystąpi w dużym stopniu to technologia uszlachetniania żużla paleniskowego może być oparta na odsianiu klasy zawierającej najwięcej niespalonego węgla. Koncentratem będzie wówczas klasa najuboższa w węgiel, a najbogatsza w żużel właściwy. W przypadku żużla użytego do badań w ramach tej pracy odsiew nie dał pożądanych wyników (jak widać to z tablicy 1), bo jedynie klasa powyżej 20 mm zawiera dopuszczalną ilość części palnych zaś pozostałe klasy muszą być poddane uszlachetnieniu inną metodą, gdy zawartość w nich części palnych przekracza granice dopuszczalne przez normy.

2. Wzbogacanie grawitacyjne

Podstawą grawitacyjnych metod wzbogacania są różnice ciężarów właściwych poszczególnych ziarn kopaliny. Wykorzystanie różnic ciężarów właściwych dla celów wzbogacania może być bezpośrednie lub pośrednie. Bezpośrednie wykorzystanie zachodzi przy wzbogacaniu w cieczach ciężkich w których ziarna cięższe toną, lżejsze pływają na powierzchni. Metody te ze względów ekonomicznych nie nadają się do uszlachetnienia żużli paleniskowych. W pozostałych metodach grawitacyjnych wzbogacanie zachodzi w środowisku lżejszym od poszczególnych składników kopaliny, a różnice ciężarów właściwych wyrażają się różnymi prędkościami opadania tych składników w danym środowisku. Niezbędne i celowe wydaje się rozpatrzenie możliwości zastosowania niektórych metod grawitacyjnych do uszlachetniania żużli paleniskowych. Przedtem jednak w odniesieniu do żużli należy omówić pojęcie ciężaru ziarn jako kryterium rozdziału.

Rozdzielane metodami grawitacyjnymi ziarna kopalin są ciałami zwięzłymi których ciężar objętościowy ziarn niewiele różni się od ich ciężaru właściwego substancji, można więc przyjąć, że jest wielkością stałą. Natomiast ziarna żużla paleniskowego są ciałami porowatymi (i to w różnym stopniu) cechuje je zatem niestałość ciężaru objętościowego.

Żużel właściwy, którego oddzielenie od niespalonego węgla jest głównym celem uszlachetnienia posiada ciężar właściwy 2,6 g/cm^3 podczas gdy ciężar objętościowy ziarn niektórych żużli spada poniżej 1 g/cm^3. Ciężar objętościowy ziarn żużla zależy głównie od stopnia spieczenia wpływającego na porowatość. Niespalony węgiel występuje w żużlu paleniskowym w postaci porowatych ziarn koksu (pozornie lżejszych od węgla)

Tablica 4

Ciężary objętościowe żużla właściwego i niespalonego węgla

Klasa	Żużel właściwy				Niespalony węgiel				Różnica ciężarów objętość żużla i węgla
	próbka			średnia	próbka			średnia	
	I	II	III		I	II	III		
20	1,25	1,20	1,31	1,25	-	-	-		
20-10	1,15	1,20	1,17	1,17	1,09	1,12	1,10	1,10	+0,07
10-5	1,16	1,20	1,19	1,18	1,05	1,09	1,15	1,09	+0,09
5-0,5	1,38	1,22	1,20	1,26	1,10	1,19	1,25	1,18	+0,08

Tablica 5

Wyniki prób uszlachetniania w wodnych osadzarkach pulsacyjnych

Klasa mm	Próba	Produkt	Wychód γ %	Popiół λ %	Str. prażenia Spr. %	Ciepło spal. cal.
20-10	1	koncentrat	50,20	83,00	17,00	-
		prod. pośredni	33,00	63,90	33,10	2982
		odpady	16,80	52,00	48,00	
20 - 10 skruszona do - 10 mm	1	koncentrat	73,97	83,50	16,50	-
		prod. pośredni	15,65	57,56	42,44	
		odpady	10,38	41,42	58,58	3578
	2	koncentrat	74,10	84,20	15,80	-
		prod. pośredni	15,95	56,00	44,00	
		odpady	9,95	40,50	59,50	3610
10 - 5	1	koncentrat	37,10	78,20	21,80	-
		prod. pośredni	42,80	38,20	61,80	4171
		odpady	20,10	20,10	79,90	5523
	2	koncentrat	38,50	76,00	24,00	-
		prod. pośredni	36,10	41,20	58,80	4650
		odpady	25,40	32,00	68,00	-
5 - 0	1	koncentrat	45,00	75,60	24,40	-
		prod. pośredni	22,80	54,50	45,50	3069
		odpady	33,20	31,20	68,80	4710
	2	koncentrat	36,90	76,80	23,20	-
		prod. pośredni	30,30	53,10	46,90	3133
		odpady	32,80	30,50	69,50	4796

Tablica 6

Wyniki uszlachetniania w stosunku do nadawy

Klasa	Żużel		Węgiel		Prod.pośr.	
	Wychód γ %	Popiół λ %	Wychód γ %	Popiół λ %	Wychód γ %	Popiół λ %
+20	10,80	91,90	-	-	-	-
20-10	19,00	83,50	-	-	6,7	50,9
10-5	10,03	78,20	5,44	20,1	11,6	38,2
5-0	16,14	75,60	11,75	31,2	8,15	54,5
Razem:	55,97	82,00	17,19	27,7	26,45	46,02

Tablica 7

Wyniki klasyfikacji hydraulicznej

Stożek	Wychód γ %	Popiół λ %	Strata praż.
1	82,50	57,66	42,34
2	3,22	60,68	39,32
3	2,00	55,30	46,70
4	1,78	48,82	51,18
przelew	10,50	18,34	79,66

Tablica 8

Wyniki uszlachetniania żużla na stole koncentracyjnym

Produkt	Wychód γ %	Popiół λ %	Strata praż.
Odpady	9,10	41,36	58,64
prod.pośr.	79,30	69,80	30,02
koncentrat	11,60	89,28	10,72

Tablica 9

Wyniki prób odzyskania węgla z żużla paleniskowego przy pomocy cyklonu laboratcryjnego

Próba	Produkt	γ %	λ %	ciepło spal. cal.
Próba 1	przelew	- 50,0%	27,0%	4996
	wylew	- 50,0	86,2	-
Próba 2	przelew	- 50,7	29,1	4850
	wylew	- 46,3	87,3	-
Próba 3	przelew	- 55,0	29,8	4880
	wylew	- 45,0	88,0	-

oraz ziarn węgla częściowo lub wcale nieskoksowanych. Ciężary objętościowe poszczególnych ziarn węgla różnią się więc od siebie podobnie jak ciężary ziarn żużla właściwego. Widzimy więc, że na zachowanie się ziarn żużla w ośrodku ciekłym będzie miał wpływ nie ciężar właściwy, a ciężar objętościowy jego składników. Należy podkreślić, że nie będzie to teoretyczny ciężar objętościowy wyrażający się wzorem $\gamma_{ob} = \frac{G}{V}$ (gdzie V - objętość ziarna wraz ze wszystkimi porami) a ciężar objętościowy w warunkach wzbogacania wyrażony wzorem $\gamma'_{ob} = \frac{G}{V}$ gdzie $V_1 < V$, gdyż część porów wypełni się cieczą. Nie będzie to jednak pełne nasycenie wszystkich dostępnych porów, gdyż do osiągnięcia tego stanu (przy normalnej temperaturze i ciśnieniu) potrzeba więcej czasu niż wynosi czas trwania procesu wzbogacania. To częściowe wypełnienie porów cieczą prowadzi do zwiększenia ciężaru objętościowego. W tabeli 4 umieszczono wyniki oznaczeń ciężaru objętościowego żużla właściwego i niespalonego węgla pochodzących z badanego żużla. Ciężar objętościowy obliczono z wzoru: $\gamma'_{ob} = \frac{G}{V_1}$

$$\gamma'_{ob} = \frac{G}{V_1}$$

G - ciężar próbki (20 g) żużla lub węgla suchego,
V_1 - objętość żużla zanurzonego przez 10 minut w wodzie określona z dokładnością $\pm$ 0,05 cm^3 jako różnica poziomów wody przed i po zanurzeniu żużla lub węgla.

3. Wzbogacanie w osadzarkach

Wzbogacanie tą metodą oparte jest na różnicy prędkości opadania w wodzie ziarn ciała stałego o różnym ciężarze właściwym. Dla prawidłowego przebiegu tego procesu koniecznym jest wyeliminowanie ziarn równo padających przez uprzednią klasyfikację na sitach. Skalę klasyfikacji wyznacza nam współczynnik równopadania, ponieważ warunkiem prawidłowego przebiegu procesu osadzania jest spełnienie nierówności $\frac{d_1}{d_2} \leq \varepsilon$ gdzie ε - współczynnik równopadania wyrażający się wzorem:

$$\varepsilon = \frac{\delta_2 - \vartheta}{\delta_1 - \vartheta}$$

δ_2 - ciężar właściwy minerału cięższego,

δ_1 - ciężar właściwy minerału lżejszego,

ν - ciężar właściwy ośrodka.

W przypadku żużla ciężary właściwe zostaną zastąpione ciężarami objętościowymi żużla właściwego i niespalonego węgla. Dla obliczenia przybliżonej (ze względu na zmienność ciężarów objętościowych) wartości współczynnika równopadania przyjęto z tablicy 4, średnie ciężary objętościowe.

Klasa 20 - 10 mm - ε = 1,7

" 10 - 5 mm - ε = 2,0

" 5 - 0,5 mm - ε = 1,4

Z powyższego obliczenia współczynnika równopadania wynika, że różnice w prędkości opadania ziarn żużla właściwego i niespalonego węgla są małe, a rozdział tych składników w osadzarce będzie niedokładny, bowiem zastosowanie w praktyce tak wąskiej skali klasyfikacji jest ze względów ekonomicznych niecelowe. W naszym przypadku doświadczenia nad wzbogacaniem w laboratoryjnej osadzarce pulsacyjnej zostały przeprowadzone przy rozbiciu żużla surowego na następujące klasy: 20 - 10 mm, 10 - 5 mm, czyli przy współczynniku skali klasyfikacji równym 2 oraz w klasie 5 - 0 mm.

Przeprowadzono po dwie próby uszlachetniania każdej z uprzednio podanych klas ziarnowych. Poza tym klasę 20 - 10mm skruszono do 10 mm i poddano uszlachetnianiu. Wyniki tych prób dla poszczególnych klas ziarnowych ujmuje tablica 5. Jak wynika z przytoczonych w niej danych przez uszlachetnianie klasy 20 - 10 mm, 10 - 5 mm i 5 - 0,5 mm otrzymujemy kolejno 50,2%, 37% i 36% żużla (koncentratu) o stracie prażenia 17%, 21,8% i 23,2%, równocześnie w klasie 10 - 5 mm otrzymujemy 20,1% węgla (odpadów) o zawartości popiołu 20,1% i 42,8% produktu pośredniego o zawartości popiołu 38,2% a w klasie 5 - 0,5 mm 32,2% odpadów o zawartości 31,2% popiołu i 22,8% produktu pośredniego o zawartości popiołu 54,5%.

W klasie 20 - 10 mm z połączenia produktu pośredniego i odpadów otrzymujemy 49,8% materiału o zawartości popiołu 59,7%, który należałoby skruszyć i poddaś ponownemu wzbogacaniu. Bardzo korzystny wpływ na wyniki wzbogacania klasy 20 - 10 mm wywarło uprzednie jej skruszenie do uziarnienia - 10 mm. Spowodowało to wzrost wychodu koncentratu o 23,6% przy równoczesnym spadku straty prażenia o 0,5%. Przez skru-

szenie została w pewnym stopniu zniszczona struktura porowata ziarn żużla będąca przyczyną niskiego ciężaru objętościowego i głównie temu zawdzięczamy poprawę wyników uszlachetniania. Można przypuszczać, że również w pozostałych przypadkach uprzednie skruszenie poprawiłoby wyniki uszlachetniania. Jednak prób takich nie przeprowadzono ponieważ normy budowlane jako przydatne do produkcji betonów określają następujące klasy ziarnowe żużla: 20 - 10 mm, 10 - 5 mm i 5 - 0 mm i to w odpowiednim stosunku.

Badania makroskopowe produktów uszlachetniania wykazały znaczne rozproszenie poszczególnych składników, którego przyczyną jest bardzo mała różnica ciężarów objętościowych.

W podsumowaniu uzyskanych wyników należy stwierdzić, że jedynie w klasie 5 - 0 mm nie zdołano wyraźnie obniżyć w koncentracie zawartości części palnych do granicy dopuszczalnej. W pozostałych przypadkach zawartość części palnych jest bardzo zbliżona lub odpowiada wymogom norm budowlanych. Poza tym uzyskano odpady, które posiadają również wartość użytkową, tzn. mogą być ponownie spalane. Produkty pośrednie z uwagi na stosunkowo dużą zawartość części palnych powinny być dalej przerabiane z nastawieniem na odzyskanie węgla, lub tam gdzie jest to możliwe mogą być tylko kruszone i stosowane jako dodatek do produkcji cegły.

W celu obliczenia wychodów i średniej zawartości popiołów w otrzymanych produktach dokonano przeliczenia wyników uszlachetniania w stosunku do nadawy. Wyniki tego przeliczenia ujmuje tablica 6 z której widzimy, że z procesu uszlachetniania w osadzarkach możemy otrzymać następujące ilości poszczególnych produktów:

55,97% koncentratu (żużla) o zawartości popiołu 82%,
26,45% produktu pośredniego o zawartości popiołu 46,02%,
17,9% odpadów (koksu) o zawartości popiołu 27,7%.

4. Uszlachetnianie na stole koncentracyjnym

Przeróbka na stołach koncentracyjnych daje tym lepsze wyniki im większy jest stosunek wielkości ziarn lżejszego i cięższego minerału, czyli im większy jest współczynnik równopadania. Jak widzieliśmy wyżej wielkość tego współczynnika zależy od ciężarów właściwych (objętościowych) obu minerałów. Im więcej różnią się ciężary właściwe rozdzielanych minerałów tym większy jest współczynnik równopadania i tym łatwiejsze jest ich wzbogacanie na stołach koncentracyjnych A więc w przypadku uszlachetniania żużla tą metodą nie można liczyć na zbyt dobre wyniki gdyż jak już niejednokrotnie pod-

kreślano różnice ciężarów objętościowych poszczególnych składników żużla są bardzo małe.

Stoły koncentracyjne dają najlepsze wyniki przy wzbogacaniu materiałów pochodzących z mokrej klasyfikacji. Kierując się tą zasadą przeprowadzono klasyfikację hydrauliczną klasy 5 - 0 mm w klasyfikatorze złożonym. Poszczególne produkty klasyfikacji hydraulicznej przeanalizowano na zawartość popiołu. Wyniki podaje tablica 7. Produkt klasyfikacji hydraulicznej z pierwszego stożka klasyfikatora poddano uszlachetnianiu na stole koncentracyjnym (tablica 8). Widzimy, że jedynie 11,6% produktów może być zużytkowane jako materiał budowlany, w pozostałych produktach zawartość części palnych przekracza dopuszczalne granice.

5. Próby odzyskania węgla zawartego w żużlu paleniskowym przy pomocy hydrocyklonu laboratoryjnego

Przeprowadzono je w celu zbadania możliwości odzyskania węgla z produktów pośrednich otrzymanych w osadzarce pulsacyjnej.

Doświadczenia przeprowadzono przy użyciu laboratoryjnego hydrocyklonu niskociśnieniowego (0,6 atm). Żużel przeznaczony do badań został skruszony do uziarnienia poniżej 1,5 mm. Średnia zawartość popiołu w nadawie wynosiła 55%. Przeprowadzono próby przy zagęszczaniu nadawy 150 g/l i uzyskano wyniki zestawione w tablicy 9.

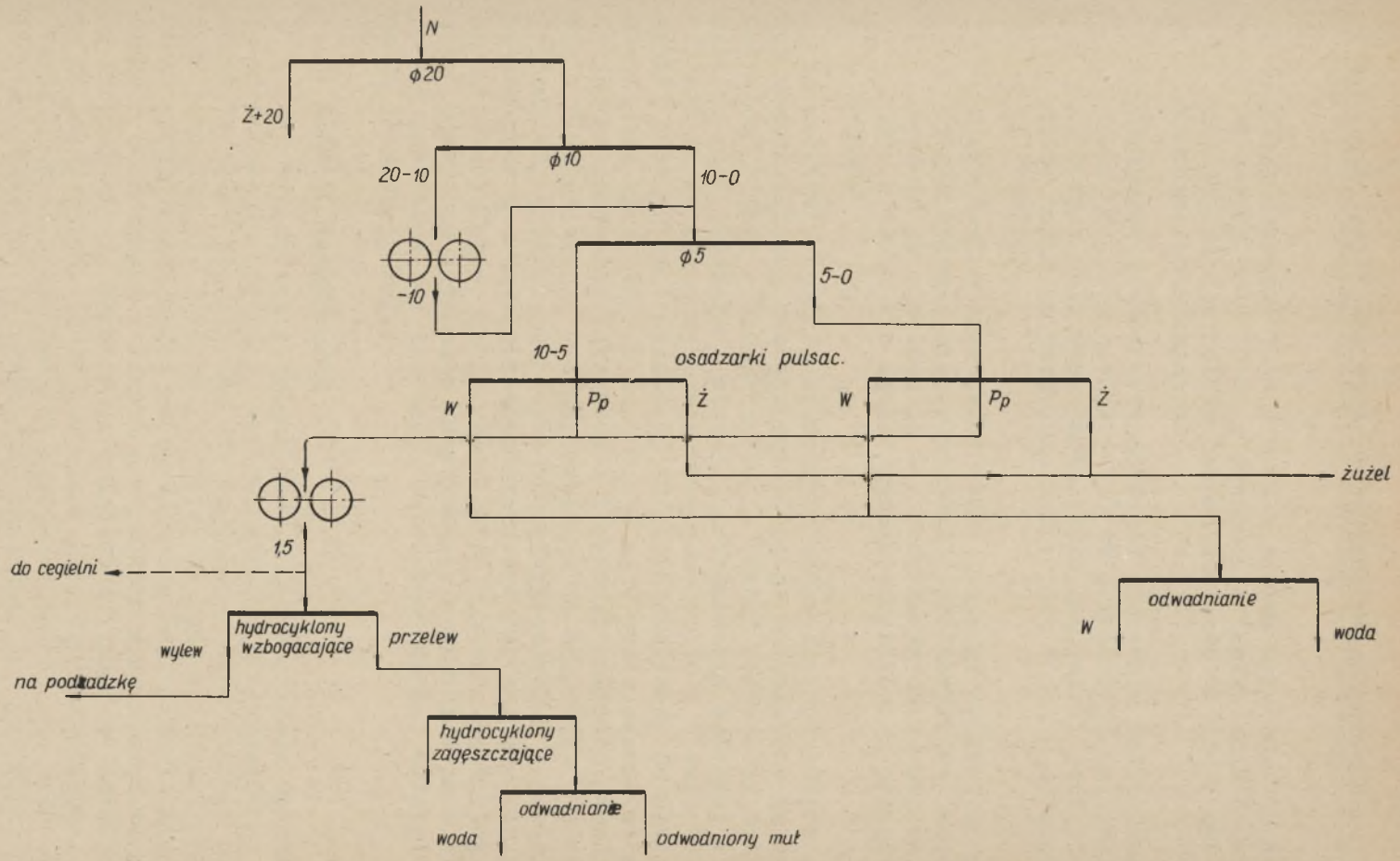
Z podanych wyżej wyników widzimy, że zastosowanie hydrocyklonów umożliwi odzyskanie znacznych ilości niespalonego węgla w postaci mułu nadającego się do spalania.

5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ I USTALENIE NAJKORZYSTNIEJSZEGO SCHEMATU PROCESU TECHNOLOGICZNEGO ZAKŁADU PRZERÓBCZEGO

Na podstawie przytoczonych wyników badań można wyciągnąć następujące zasadnicze wnioski:

1. Żużel paleniskowy jest surowcem trudno wzbogacalnym z powodu małych różnic ciężarów objętościowych ziarn żużla właściwego i niespalonego węgla.

2. Klasa + 20 mm odsiana z badanego żużla odpowiada wymogom norm a zatem technologię uszlachetniania można częściowo oprzeć na przesiewaniu.



Rys.5. Proponowany schemat technologiczny zakładu uszlachetniania żużla paleniskowego

3. Klasy ziarnowe 10 - 5 mm i 5 - 0 mm oraz 20 - 10 mm skruszoną do - 10 mm z powodu nie znalezienia doskonalszej metody należy poddać uszlachetnianiu w osadzarkach pulsacyjnych.

4. Otrzymane z osadzarek produkty pośrednie należy rozdrobić do uziarnienia - 1,5 mm i skierować na hydrocyklony w celu odzyskania węgla lub jeżeli jest to możliwe można je częściowo zużyć jako dodatek do produkcji cegły.

5. Koncentrat o zawartości węgla i siarki poniżej normy będzie nadawał się do produkcji prefabrykatów bezpośrednio po odwodnieniu tj. przy zawartości wody około 15%, a zatem nie będzie wymagał dodatkowego przygotowania.

Na podstawie wyników wykonanych badań zaprojektowano schemat technologiczny zakładu przeróbczego umieszczony na rys.5. Jak widać z tego rysunku konieczny zakład przeróbczy byłby prosty, gdyż składałby się z: 1 przesiewacza wstępnej klasyfikacji (z sitami o wymiarach otworów 20, 10 i 5 mm), 1 kruszarki o szczelinie wylotowej 10 mm, 2 osadzarek do uszlachetniania klas 10 - 5 mm i 5 - 0 mm 1 przesiewacza odwadniającego odzyskany koks (żużel i produkt pośredni odwodni się w podnośnikach), 1 dezyntegratora do kruszenia produktów pośrednich, baterii hydrocyklonów wzbogacających i zagęszczających oraz z urządzenia odwadniającego muł węglowy odzyskany z hydrocyklonów. Takie rozwiązanie schematu technologicznego pozwala na całkowite zużytkowanie wszystkich produktów, co nie pozostaje bez znaczenia wobec prowadzonej ostatnio akcji likwidacji hałd.

1. Analiza ekonomiczna

W celu stwierdzenia opłacalności budowy zakładu opartego na proponowanym schemacie technologicznym przeprowadzono krótką analizę ekonomiczną. Ze względu na dość znaczne różnice pomiędzy tym zakładem a projektowanymi zakładami przeróbki mechanicznej węgla zrezygnowano z posługiwania się szeroko stosowanymi w takich przypadkach wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi. Nakłady na urządzenia i maszyny ustalono wg aktualnych cen. Część budowlaną przyjęto wskaźnikowo. Przyjęto konstrukcję budynku stalową-rozbieralną. Taka konstrukcja pozwoli - w przypadku eksploatacji i przeróbki hałd żużla przenieść zakład (po wyczerpaniu się zasobów hałdy) na inne miejsca. Założono zdolność przeróbczą zakładu 120 ton/godz co przy 14 godzinach pracy daje 1680 t/dobę.

Nakłady inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne na część maszynową wynoszą 1.500.000 zł. Sumę tę należy powiększyć o 35% ze względu na koszty montażu i dokumentacji (montaż 25%, dokumentacja 10%). Całkowite nakłady inwestycyjne na część maszynową wyniosą wówczas 2.025.000 zł. Kubatura budynku przy wydajności zakładu 120 t/h będzie równa 8500 m^3, a koszt budowy wyniesie 2.800.000 zł.

Zatem suma nakładów inwestycyjnych (I) wynosi 4.825.000 zł.

Obliczenie efektywności inwestycji.

a) Łączna kwota uzyskana za sprzedane produkty w ciągu roku:

Produkt	Roczna ilość w t	Cena 1 t/zł	Uzyskana kwota zł
Żużel	281.000	20,-	5.620.000
Koks	86.500	50,-	4.325.000
Muł	60.000	40,-	2.400.000
		Razem:	12.345.000

b) Przyrost wartości produktów uszlachetniania (W) w stosunku do wartości żużla surowego:
Cena 1 tony żużla surowego wynosi - 9,50 zł.
Wartość przerobionego w ciągu roku żużla surowego wynosi 4.790.000 zł zatem W = 7.455.000 zł.

c) Roczne koszty amortyzacji (A)
Przyjęty okres amortyzacji dla maszyn i budynków wynosi 10 lat, zatem A = 482.500 zł.

d) Koszty ruchu (Kr)
Przyjęto wskaźnik kosztów wzbogacania 1 tony = 8,00 zł zatem Kr = 4.000.000 zł.

e) Roczny zysk
Roczny zysk z uszlachetnienia żużla uzyskano po odjęciu od przyrostu wartości zbywanych produktów, kosztów wzbogacania i amortyzacji.
W - A - Kr - = 2.973.000 zł.
Powyższe koszty i określony uprzednio koszt inwestycyjny (I) pozwalają obliczyć, że zakład przeróbki mechanicznej oparty na proponowanym schemacie technologicznym zamortyzuje się w ciągu

$$\frac{I}{W - A - Kr} = \frac{4.825.000}{2.973.000} = 1,6 \text{ roku}$$

Obliczenie to wykazało, że inwestycja taka byłaby celowa i opłacalna gdyż nakłady inwestycyjne zwrócą się w okresie poniżej 2 lat.

Za uwagi wniesione do niniejszego artykułu składam serdeczne wyrazy wdzięczności Prof. dr inż. Tadeuszowi Laskowskiemu.

LITERATURA

[1] H.Riess, M.Rolek - Żużle paleniskowe w technice budowlanej.

[2] H.Riess - Problem żużla w Polsce, Warszawa 1949 r. Prace Komisji Żużlowej.

[3] H.Riess, E.Kiersztyn - Żużel i tworzywa żużlowe w budownictwie. Arkady 1960 r.

[4] B.Roga, L.Wnękowska - Analiza paliw stałych, PWT K-ce 1952 r.

[5] St.Blaschke - Technologia i technika przeróbki mechanicznej kopalin użytecznych tom I i II, Katowice 1955 r.

[6] W.Budryk, Wł.Stępiński - Teoria przeróbki mechanicznej kopalin, PWN, Kraków, 1954 r.

[7] M.Rolek - Uszlachetnianie żużli paleniskowych ITB, Warszawa 1958 r.

[8] Bielankin - Petrografia kamieni sztucznych.

СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЯ В ТОПЛИВНОЙ ШЛАКЕ НА ПУТИ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Содержание

Проведено опыт для определения метода который бы позволил снижит количество горючего в топливной шлаке хотя бы до 20%.

Это позволило бы применит шлаку для строительства.

Разработано технологическую схему обоготительной фабрики.

Проведено краткий экономический анализ.

ERNIEDRIGUNG DEN KOHLENSTOFFINHALT IN KESSELSCHLACKE DURCH AUFBEREITUNG

Zusammenfassung

Ir dieser Arbeit wurde eine Probe durchgeführt, um eine Methode zur erfinden, den Verbrennungsstoff in der Kesselschlacke mindestens bis 20 % erniedrigen. Ein ereichen dieses Wertes ermöglicht die Anwendung in der Bautechnik.

Man bearbeitete ein Technologii-Schema einer Aufbereitungsmethode.

Man führte durch eine kurze Ekonomi-Analyze.