

Dr inż. Stanisław Błaszczyński  
Jerzy Białas

## PRÓBY USZLACHTNIANIA ODPADOWYCH PIASKÓW ŻELAZISTYCH DLA CELÓW ODLEWNICZYCH NA DRODZE ŚCIERANIA W MŁYNI ODŚRODKOWO-UDAROWYM

Streszczenie: Celem pracy było zbadanie możliwości usunięcia z odpałów, otrzymywanych podczas wzbogacania piasków żelazistych - produktu o zawartości związków żelaza około 1%. Produkt taki może być wykorzystany w odlewnictwie jako piasek formierski. Spośród kilku zastosowanych metod odżelaziania piasku najskuteczniejszą okazała się metoda ścierania w młynie odśrodkowo-udarowym i to zarówno na sucho jak i na mokro.

### 1. Wstęp

W Polsce wydobywane są dwa typy rud żelaza: syderyty ilaste i piaski żelaziste, które są tematem opracowania. Piaski żelaziste eksploatuje się w rejonie staropolskim (świętokrzyskim) w kopalni "Zębiec", która bazuje na złożu zawierającym średnio około 15% żelaza. W wyniku tzw. głębokiego wzbogacania uzyskuje się z nich materiał wsadowy do procesu żelgrudy. Powstają przy tym znaczne ilości piasków odpadowych o uziarnieniu poniżej 0,85 mm i zawartości żelaza dochodzącej do kilku procent.

W celu podniesienia rentowności zakładu wysunięto koncepcję wykorzystania tych piasków dla celów formierskich. Przeszkodą w realizacji tego zamierzenia stanowi zbyt duża zawartość żelaza, która w piaskach tych znacznie przekracza granicę określoną przez normę w wysokości 1%. Jest to zagadnienie trudne i nietypowe dla przeróbki mechanicznej, gdyż resztki żelaza pozostałe w tych piaskach - jak wykazały badania mikroskopowe - występują głównie w postaci otoczek ziarn kwaru. W związku z tym poszukiwania koncepcji technologii uszlachetniania musiały koncentrować się na znalezieniu metody uwolnienia

żelaza bez wyraźnej zmiany składu granulometrycznego. W doświadczeniach zastosowano odpowiednie urządzenie rozdrabniająca, w którym wyraźnie przeważa działanie ścierające. Ważnym czynnikiem, który ze względu na opłacalność takiego procesu koniecznie należało wziąć pod uwagę, była odpowiednio duża wydajność urządzenia.

## 2. Charakterystyka piasków żelazistych i odpadów popłuczkowych

Złoża piasków żelazistych [2] należą do utworów jury brunatnej, powstałej na drodze zatrzymywania w warstwach piasków zawieszin limonitu, zawartych w przesączających się przez nie wodach.

Z badań mineralogicznych wiadomo, że piaski żelaziste w głównej mierze stanowią masę ochrowo-piaszczystą, zawierającą związane ziarna tzw. skalaka, którego znaczną część stanowi piasek żelazisty. Materiałem okrucowym w tych piaskach jest przede wszystkim krzemionka. Spoiwen w piaskowcu są wodorotlenki żelaza głównie w formie limonitu i to zarówno bardzo związane i twardego jak również przechodzącego w odmianę miękką typu ochry. Skalak jest bogatszy w  $Fe_2O_3$  i jego wydzielanie podczas eksploatacji wzbogaca nadawę do przeróbki. Skala płonna w zasadzie składa się z piasków gliniastych, rzadziej łupków gliniastych. Niektóre fragmenty złoża zawierają większe ilości tlenków wapnia i krzemianów wapnia. Zawartość  $Fe_2O_3$  w piasku przeznaczonym do przeróbki waha się w granicach 19,3-33%.

Badania chemiczne piasku żelazistego i piasku popłuczkowego dały wyniki zestawione w tabelicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny piasku żelazistego i piasku popłuczkowego z Kopalni "Zębice"

Oznaczenie	Piasek żelazisty z kopalni	Piasek popłuczkowy
1	2	3
$SiO_2$	71,39	86,95
$Al_2O_3$	2,10	1,10

cd. tablicy 1

1	2	3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,03	8,36
TiO <sub>2</sub>	0,12	-
CaO	0,43	0,32
MgO	0,15	0,10
MnO	1,01	0,29
K <sub>2</sub> O	0,20	-
Straty prażenia i węglany	3,57	1,94

Z przeprowadzonej analizy na zawartość Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w dwóch średnich próbkach piasku odpadowego otrzymano następujące wyniki: 8,46% i 8,70% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Wydzielenie klasy poniżej 0,15 mm zmniejszyło zawartość Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do 6,52% i 7,93%.

W badaniach mineralogicznych, których celem było określenie charakteru strukturalno-mineralogicznego piasku odpadowego zwrócono uwagę na sposób występowania zanieczyszczeń żelazistych w piasku, ich jakościowy skład mineralogiczny i powiązanie ziarn kwarcu ze związkami żelaza. Analizowano surowy piasek odpadowy, piasek odpadowy odmyty oraz piasek po kruszeniu - "ścieraniu". Zdjęcia mikroskopowe czterech próbek surowych piasków odpadowych wykazały, że zasadniczymi minerałami

piasku popłuczkowego są: kwarc i tlenki żelaza - fot. 1. Występują one w postaci bądź wolnych ziarn związków żelaza jako tzw. skalak, bądź też jako zrosty i nacieki na ziarnach kwarcu. Jednak największą masę związków żelaza stanowią ich zrosty z kwarcem i nacieki na nim. Nacieki związków żelaza na ziarnach kwarcu mają charakter intensywny. W nieznacznej ilości (około 0,2%) występują wtrącenia związków żelaza w szczelinach ziarn



Fot. 1. Piasek popłucz-  
kowy surowy

kwarcu. Wolne ziarna związków żelaza w postaci nieregularnej występują głównie w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm.

Odmulenie piasku prowadzi do usunięcia wolnych ziarn związków żelaza, co wyraźnie widać na zdjęciu mikroskopowym 2.



Fot. 2. Piasek odmulony



Fot. 3. Piasek po otarciu i odmuleniu

Próbne ścieranie ziarn piasku w młódcierzu laboratoryjnym i następnie odmulenie doprowadziło do częściowego zdercia otoczki limonitycznej i usunięcia wolnych ziarn związków żelaza, co wykazały badania mikroskopowe – zdjęcie 3.

Z przytoczonych wyników badań można przypuszczać, że dokładniejsze prowadzenie procesu technologicznego przeróbki piasków żelazistych pozwoliłoby na zmniejszenie zawartości wolnych ziarn związków żelaza w piaskach odpadowych. Nie pozwoli to jednak na obniżenie zawartości żelaza do granic wymaganych przez normę odlewniczą. Usunięcie pozostałej ilości żelaza będzie możliwe przy zastosowaniu metod mechanicznych, w których przeważałoby działanie ścierające.

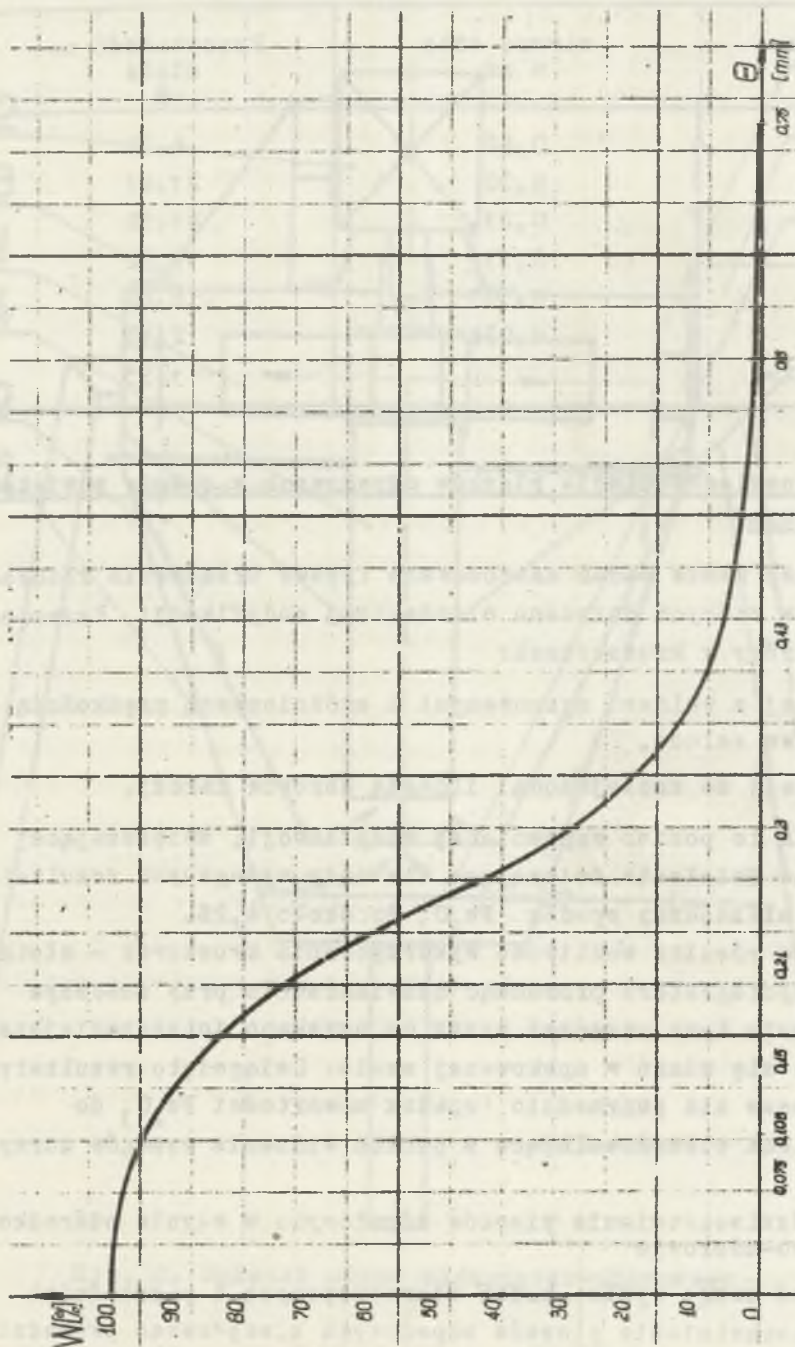
Charakterystykę granulometryczną badanego piasku popłuczkowego

ujmuje tablica 2 i graficznie rys. 1.

Tablica 2

Wyniki badań składu ziarnowego piasku popłuczkowego

Sito nr	Ø otworu sita w mm	Pozostałość na sicie %
20	0,75	0,11
30	0,60	0,15



Rys. 1. Krzywa składu ziarnowego piasku popiołozkowego

od. tablicy 2

Sito nr	otworu sita w mm	Pozostałość na sicie %
40	0,42	6,30
50	0,30	21,47
70	0,21	41,50
100	0,15	17,62
140	0,105	8,80
200	0,075	2,10
reszta		1,95

### 3. Próby uszlachetniania piasków odpadowych w stanie powietrzno-suchym

W pierwszej fazie badań zastosowano typowe urządzenia rozdrabniające, w których dokonano nieznacznej modyfikacji. Przeprowadzono próby w kruszarkach:

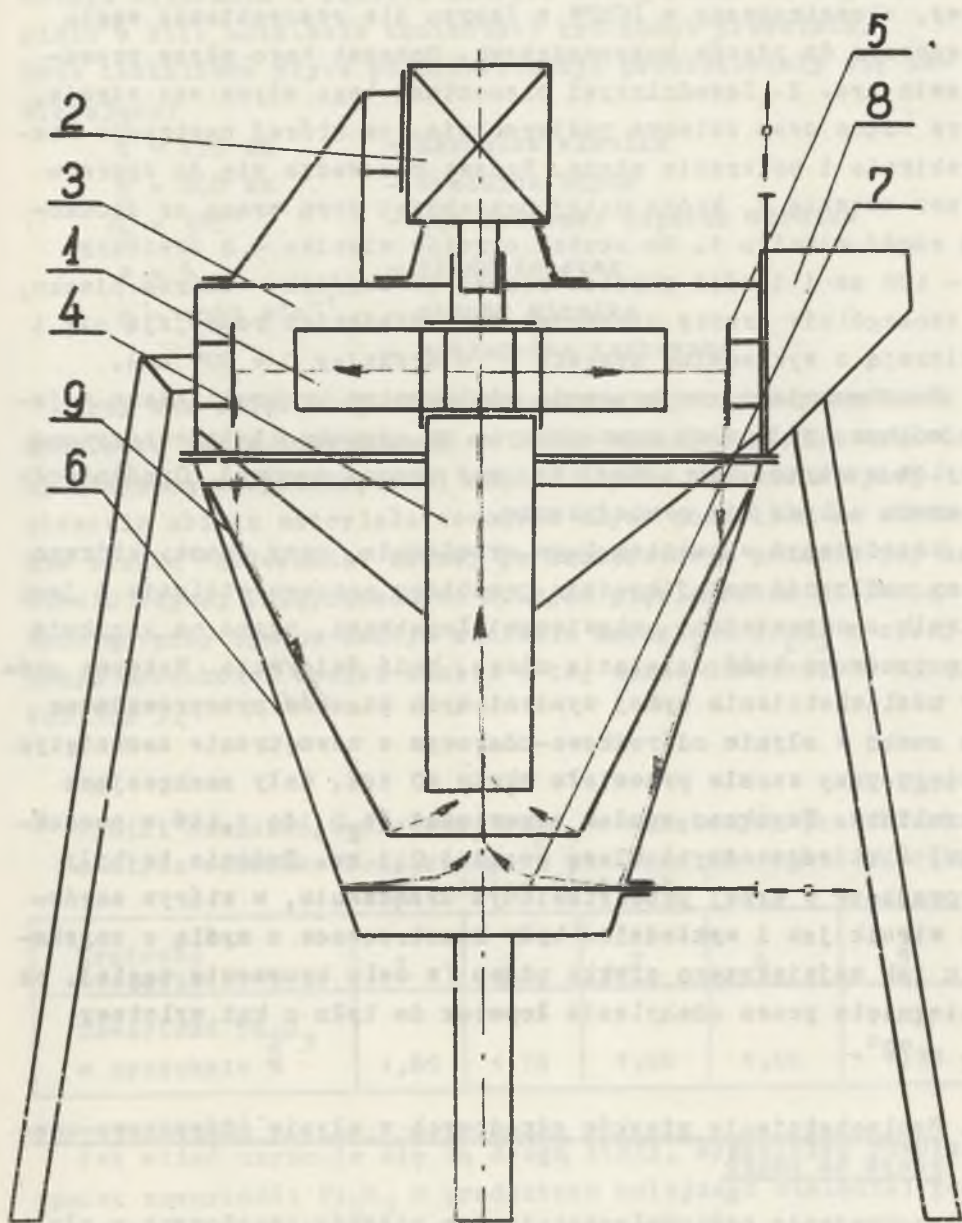
- a) walcowej z walcami ogumowanymi i zróżnicowaną prędkością obwodową walców,
- b) tarczowej ze zmniejszoną ilością obrotów tarczy.

Urządzenia te pomimo wspomnianej modyfikacji, zwiększającej selektywne działanie ścierające nie dały wymaganych rezultatów. Uzyskano nieznaczny spadek  $Fe_2O_3$  do około 4,2%.

Sprawdzono również możliwość wykorzystania kruszarek - młotkowej i dezintegratora prowadząc oświadczenia przy znacznym przeciążeniu tych urządzeń przez co uzyskano intensywniejsze ścieranie się ziarn w upakowanej masie. Osiągnięto rezultaty nieco lepsze niż poprzednio (spadek zawartości  $Fe_2O_3$  do 2,90%), lecz niezadowolające z punktu widzenia wymogów normy.

#### 3.1. Uszlachetnianie piasków odpadowych w młynie odśrodkowo-udarowym

Biorąc pod uwagę wyniki badań mikroskopowych i poprzednich prób uszlachetniania piasków odpadowych zdecydowano prowadzić szersze doświadczenia w urządzeniu, które zapewniłoby obok



Rys. 2. Schemat młyna odśrodkowo-udarowego

uniarkowanego działania sił uderzenia wyraźne działanie ścierające. Warunki te w pewnym stopniu spełnia młyn odśrodkowo-udarowy, skonstruowany w IChPW w Zabrze dla rozdrabniania węgla wsadowego do pieców koksowniczych. Schemat tego młyna przedstawia rys. 2. Zasadniczymi elementami tego młyna są: wirnik, rura ssąca oraz waloowa powierzchnia, na której następuje rozdrabnianie i ocieranie ziarn. Nadawę wprowadza się do aparatu przez zsuwnię 8, która dalej przechodzi rurą ssącą na środkową część wirnika 1. Na skutek obrotów wirnika - o średnicy  $d = 400$  mm i ilości obrotów równej 50 obr/sek - ziarna piasku, a szczególnie zrosty uzyskując duże prędkości rozbijają się i ocierają o wykładzinę aparatu 5 (o średnicy  $D = 900$  mm).

Konstrukcja młyna zapewnia wielokrotne krążenie ziarn w jego wnętrzu po torach zaznaczonych na rysunku linią przerywaną (wylot z młyna jest zamknięty przy pomocy zasuw). Opróżnianie aparatu odbywa się periodycznie.

Zasadniczym elementem tego urządzenia, przy pomocy którego mamy możliwość modyfikowania przebiegu procesu mielenia i jest wirnik z odpowiednio ustawionymi łopatkami, przez co uzyskuje się przewagę bądź działania udaru, bądź ścierania. Wstępne próby uszlachetniania wyżej wymienionych piasków przeprowadzone na sucho w młynie odśrodkowo-udarowym o wewnętrznie zamkniętym obiegu przy czasie przemiału około 40 sek. dały zachęcające rezultaty. Uzyskano spadek zawartości  $Fe_2O_3$  do 1,44% w produkcie, z którego odmyto klasę poniżej 0,1 mm. Badania te były prowadzone w wyżej przedstawionym urządzeniu, w którym zarówno wirnik jak i wykładzina były konstruowane z myślą o uzyskaniu jak największego efektu udaru (w oelu kruszenia węgla). Co osiągnięto przez odchylenie łopatek do tyłu o kąt wylotowy  $\beta_2 = 70^\circ$ .

#### 4. Uszlachetnianie piasków odpadowych w młynie odśrodkowo-udarowym na mokro

Dalsze badania nad uszlachetnianiem piasków odpadowych w młynie odśrodkowo-udarowym - ze względu na konieczność nawiązania do technologii ZGH "Zębiec" - przeprowadzono na mokro. W zwią-



ku z tym dokonano modernizacji młyna w kierunku spotęgowania efektu ścierania i ponadto otwarto obieg rozdrabianego materiału w celu ustalenia koniecznej krotności przemiału.

Dane techniczne młyna po modernizacji przedstawiały się następująco:

$d = 450 \text{ mm}$	- średnica wirnika
$D = 600 \text{ mm}$	- średnica młyna
$\beta_2 = 105^\circ$	- kąt wylotowy łopatek wirnika
$z = 6$	- ilość łopatek
$n = 1500 \text{ min}^{-1}$	- obroty wirnika
-	- wykładzina karbowana

Przy tak zmienionej charakterystyce młyna przeprowadzono dodatkową serię doświadczeń na sucho stosując gładką wykładzinę blaszaną w cylindrycznej części młyna. Wspomiane wyżej otwarcie obiegu materiału wewnątrz młyna pozwoliło na zbadanie efektu "ocierania" nadawy po każdorazowym podaniu jej na wirnik młyna, Przeprowadzono kolejno pięciokrotne mielenie badając przy tym po każdym mieleniu zawartość  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w otrzymanym produkcie. Wyniki analiz z tej serii doświadczeń ujmuje tablica 3.

Tablica 3

Wyniki oznaczeń zawartości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w odmulonych produktach z młyna odśrodkowo-udarowego - mielenie na sucho z gładką wykładziną blaszaną

Krotność mielenia	1	2	3	4	5
Zawartość $\text{Fe}_2\text{O}_3$ w produkcie %	1,89	1,76	1,60	1,46	1,38

Jak widać uzyskuje się tą drogą stały, aczkolwiek powolny spadek zawartości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w produktach kolejnego mielenia; po pięciokrotnym mieleniu uzyskano zawartość  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,38\%$ .

Po przejściu na technologię moką stwierdzono zmniejszenie efektu "ocierania" - na skutek nadmiernego poślizgu i przy

zastosowaniu wykładziny gładkiej - w związku z czym zdecydowano prowadzić dalsze doświadczenia z wykładziną karbowaną. Nadawę do młyna podawano wodą w stosunku objętościowym 1:3. Przeprowadzono kilka serii doświadczeń, z których dwie ujmują tablice 4 i 5.

Tablica 4

Wyniki analiz chemicznych na zawartość  $Fe_2O_3$  w produktach mielenia na mokro w młynie odśrodkowo-udarowym

## I seria doświadczeń

Krotność mielenia	1	2	4	6	8	10	15	20
Zawartość $Fe_2O_3$ w produkcie %	2,83	2,20	1,71	1,33	1,20	1,19	0,98	0,91

Tablica 5

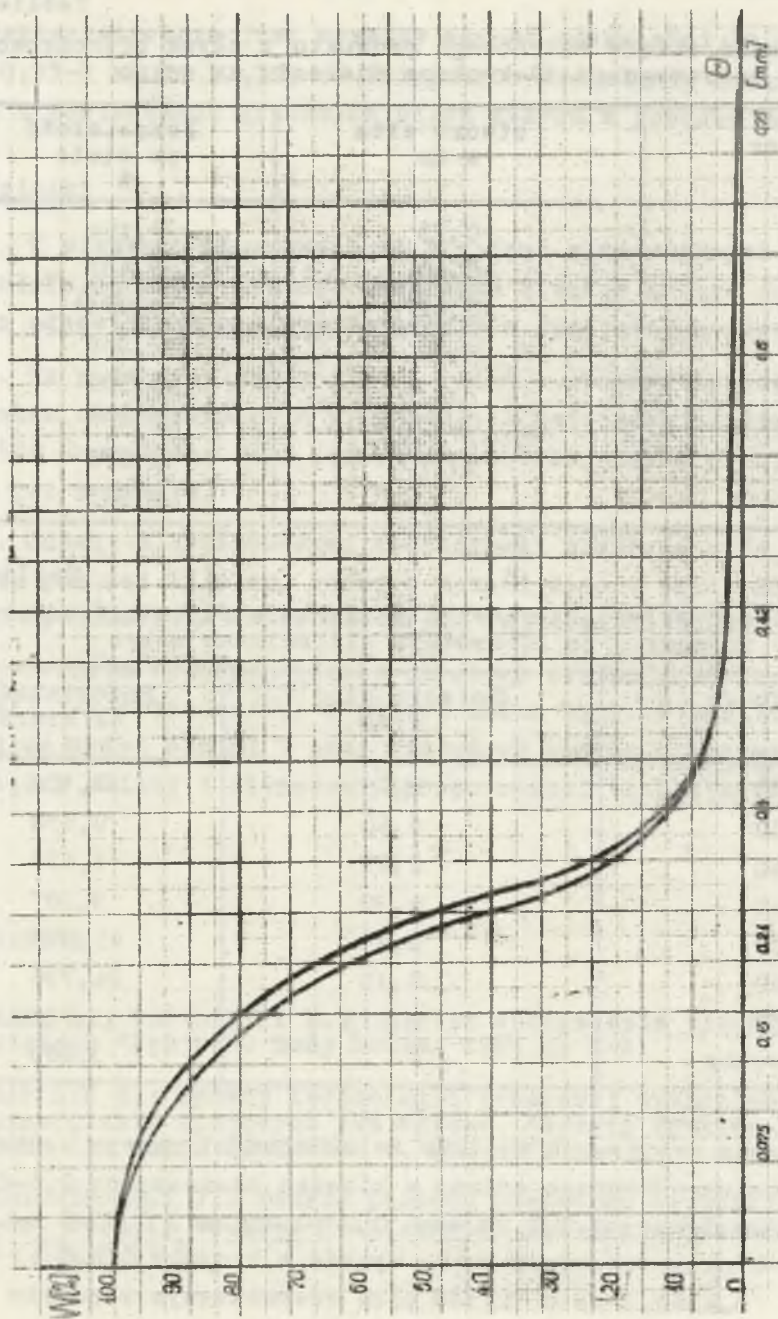
Wyniki analiz chemicznych na zawartość  $Fe_2O_3$  w produktach mielenia na mokro w młynie odśrodkowo-udarowym

## II seria doświadczeń

Krotność mielenia	1	4	6	8	10	20
Zawartość $Fe_2O_3$ w produkcie %	2,48	2,00	1,55	1,24	1,08	1,02

Z wyników analiz zawartych w tych tablicach widzimy, że 8 i 10-krotne mielenie na mokro z wykładziną karbowaną daje produkt bardzo zbliżony do wymagań normy, zawartość  $Fe_2O_3$  wynosi np. 1,20% i 1,19%.

Zbadano również skład ziarnowy produktów po 10 i 20-krotnym mieleniu na mokro. Wyniki tych badań zestawiono w tablicach 6 i 7 oraz graficznie na rys. 3.



Rys. 3. Krzywe składu ziarnowego produktów mielenia w młynie odśrodkowo-udarowym po 10 i 20-krotnym mieleniu na mokro

Tablica 6

Wyniki badań składu ziarnowego produktu z młyna odśrodkowo-udarowego po 10-krotnym mieleniu na mokro

Sito nr	otworu sita w mm	Pozostałość na sicie %
20	0,75	0,164
30	0,60	0,437
40	0,42	1,471
50	0,30	10,318
70	0,21	49,506
100	0,15	22,431
200	0,075	12,078
reszta		3,595

Tablica 7

Wyniki badań składu ziarnowego produktu z młyna odśrodkowo-udarowego po 20-krotnym mieleniu na mokro

Sito nr	Ø otworu sita w mm	Pozostałość na sicie %
20	0,75	0,151
30	0,60	0,558
40	0,42	1,633
50	0,30	9,287
70	0,21	45,971
100	0,15	24,796
200	0,075	13,721
reszta		3,883

Z porównania powyższych wyników ze składem ziarnowym nadawy widzimy najwyraźniejsze zmiany w klasach ziarnowych: 0,6–0,42 mm; 0,42–0,3 mm; 0,3–0,21 mm; 0,21–0,15 mm i 0,15–0 mm.

Po 20-krotnym mieleniu spada wychód w klasach 0,6–0,42 mm o 4,67%, 0,42–0,3 mm o 12,18% przy równoczesnym wzroście wychodu klas 0,3–0,21 mm o 4,47%, 0,21–0,15 mm o 7,18%.

Wzrasta również wychód klasy 0,15–0 mm o 4,75%.

Charakterystycznym jest wyraźny wzrost zawartości  $Fe_2O_3$  w

Charakterystycznym jest wyraźny wzrost zawartości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w klasie 0,15-0 mm do 30,7%, co świadczy o uwolnieniu związków żelaza z powierzchni grubszych ziarn kwarcu w postaci ścierów.

## 5. Wnioski

1. W piaskach odpadowych ZG "Zębiec" zawierających znaczne ilości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , można obniżyć zawartość tlenków żelaza do 1% stosując odpowiednie sposoby ścierania w specjalnych młynach.

2. Na podstawie dużej ilości badań i stosowania różnych sposobów uszlachetniania wykazano, że najskuteczniejszym urządzeniem okazał się młyn odśrodkowo-udarowy tak w procesie suchym jak i mokrym.

3. Odpady w zastosowanej technologii stanowią muły o uziarnieniu poniżej 0,15 mm, których wychód wynosi około 26% w stosunku do nadawy, a zawartość  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dochodzi do 30,7%.

4. Celowym byłoby zbudować pilotowy zakład produkcyjny w skali 1/2-technicznej, w którym można by potwierdzić przedstawione wyżej wyniki i przy niedużych kosztach wprowadzić niezbędne zmiany i ulepszenia proponowanej technologii.

## LITERATURA

- [1] HAŁA B., WASYLEWICZ B.: Zakład wzbogacania piasków żelazistych "Zębiec". Rudy Żelaza 1961 nr 1-2.
- [2] BARCZYK B.: Rozwój technologii przeróbki wzbogacania i uzdatniania krajowych rud żelaza. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Seria Górnictwo z. 27, 1967 r.
- [3] ZBRANIBORSKI O.: Teoria procesu udarowego rozdrabniania węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Seria Górnictwo z. 23, 1967 r.