

ZYGFRYD NOWAK

## CHARAKTERYSTYKA GRANULOMETRYCZNA NADAWY A JEJ WPŁYW NA EFEKT ROZDZIAŁU W OSADZARCE

**Streszczenie:** Omówiono zagadnienie wzbogacania w osadzarkach bez i z zastosowaniem wstępnej klasyfikacji nadawy. Przytoczono dokładności wzbogacania nieklasyfikowanej nadawy w osadzarce przemysłowej bazując na krzywych rozdziału wykreślonych w siatce prawdopodobieństwa". Przedstawiono zachowanie się poszczególnych klas ziarnowych w procesie wzbogacania.

### 1. Wstęp

W technologii wzbogacania w osadzarkach istnieją dwa zasadnicze kierunki:

- wzbogacanie węgla bez wstępnej klasyfikacji nadawy,
- wzbogacanie z zastosowaniem wstępnej klasyfikacji.

Pierwszy kierunek typowy jest przede wszystkim dla Wielkiej Brytanii, Stanów Zjednoczonych, drugi natomiast dla krajów europejskich z wyjątkiem Wielkiej Brytanii.

W Związku Radzieckim stosuje się z powodzeniem zarówno jedno jak i drugie rozwiązanie technologiczne.

Wzbogacanie bez wstępnej klasyfikacji obejmuje przeróbkę całego urobku surowego w klasie poniżej 200, 150 lub 100 mm. Niejednokrotnie pod tym pojęciem rozumie się również wzbogacanie klasy - 75-0, 50 czy 25-0 mm.

W przypadku wzbogacania węgla z zastosowaniem wstępnej klasyfikacji występuje pojęcie skali klasyfikacji wywodzącej się z obliczonego analitycznie współczynnika równopadania. Węgiel wzbogaca się wtedy w wąskich klasach ziarnowych np. 120-80 mm, 80-30 mm, 30-10 mm i 10-0,5 mm.

Znaczny rozwój technologii wzbogacania bez wstępnej klasyfikacji w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii związany jest przede wszystkim z dwoma faktami:

- występowaniem dużych ilości węgla bardzo łatwo wzbogacalnych, dla których metoda ta jest szczególnie przydatna,
- konstrukcją i budową osadzarek z zaworami obrotowymi pozwalającymi na uzyskanie cykli osadzania szczególnie korzystnych dla tej technologii.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pracy kilku brytyjskich osadzarek przemysłowych wzbogacających węgiel bez wstęp-

nej klasyfikacji. Podano technologiczną skuteczność pracy osadzarki w odniesieniu do całej nadawy jak i do poszczególnych klas ziarnowych.

Zamieszczono również pewne uwagi dotyczące charakterystyki ruchu wody.

## 2. Metodyka pracy

Dla analizowanych osadzarek podano charakterystykę densymetryczną nadawy oraz skład ziarnowy, gdyż te czynniki decydują o przebiegu i o uzyskanej dokładności wzbogacania. Przedmiotem analizy są cztery rodzaje węgla różniące się między sobą składem ziarnowym, rozpiętością wzbogacanej klasy ziarnowej oraz charakterystyką densymetryczną:

Węgiel I: klasa 125 - 0 mm

Węgiel II: klasa 125 - 0 mm

Węgiel III: klasa 150 - 0 mm

Węgiel IV: klasa 150 - 0 mm.

Skuteczność wzbogacania oznaczano na podstawie krzywych rozdziału i parametrów krzywych:

- ciężaru właściwego rozdziału -  $\delta_R$
- rozproszenia prawdopodobnego -  $E_p$

$$E_p = \frac{\delta_{75} - \delta_{25}}{2}$$

- imperfekcji - I

$$I = \frac{E_p}{\delta_R - 1}$$

Imperfekcja jest wskaźnikiem pozwalającym na uniezależnienie oceny pracy osadzarek od ciężaru właściwego rozdziału.

Podane wyżej parametry charakteryzują przebieg procesu rozdziału jedynie w zakresie liczb rozdziału od 25 do 75. Dalszych informacji odnośnie przebiegu procesu rozdziału uzyskać można z analizy samej krzywej rozdziału. Liczne badania wykazały, że krzywa rozdziału produktów zastosowana po raz pierwszy przez Trompa w 1937 r. do oceny procesu wzbogacania, ma swoją przybliżoną postać matematyczną w całkowitej krzywej Gaussa o równaniu

$$G(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dx$$

Krzywa rozdziału wykreślona w liniowym układzie współrzędnych posiada znaną postać wydłużonej litery S.

Postać ta nie nadaje się do wspomnianej analizy, w związku z czym przeprowadzono anamorfozę krzywych rozdziału. Oś rzędnych posiada podziałkę odpowiadającą funkcji prawdopodobieństwa Gaussa  $G(t)$ .

Dla osi odciętych przyjmuje się dla procesu wzbogacania w osadzarkach wartość  $\log(\delta - 1)$  gdzie  $\delta$  jest ciężarem właściwym

ziarna. Krzywa rozdziału wykreślona w takiej siatce prawdopodobieństwa posiada postać prostej w przypadku idealnie przebiegającego procesu rozdziału. Taki przebieg można stwierdzić w przypadku separatora cieczy ciężkiej dla ziarn grubych, osadzarki gruboziarnistej, a czasami również w przypadku dobrze wyregulowanej osadzarki drobnoziarnistej.

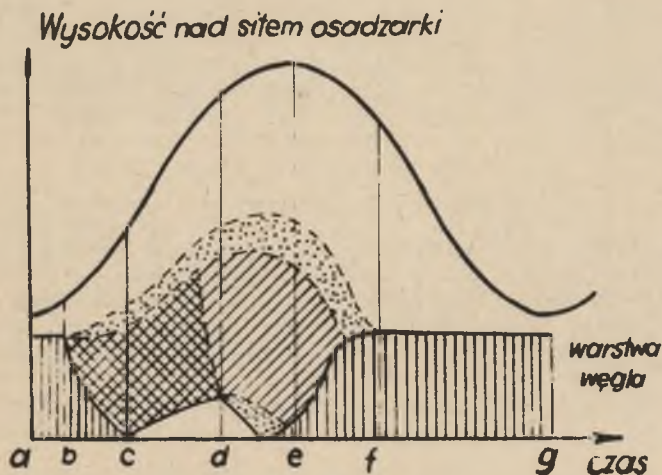
Dla badań w warunkach przemysłowych stwierdza się bardzo często zakrzywienia wyprostowanej krzywej rozdziału. Te właśnie odchylenia od prostej pozwalają na wyciąganie wniosków odnośnie prawidłowości przebiegu procesu.

Wychody produktów wzbogacania, potrzebne dla ustalenia ilościowego rozdziału nadawy na koncentrat i odpady obliczono metodą Grumbrechta.

Krzywe rozdziału wykreślono jedynie dla ziarn powyżej 0,5 mm.

### 3. Charakterystyka ruchu wody

Wyniki pracy osadzarek przemysłowych zmuszają do podjęcia rewizji poglądu, że rozdział w osadzarce jest wynikiem różnych prędkości opadania i wznoszenia ziarn wynikających z prawa Newtona-Rittingera.



Rys. 1. Zachowanie się zbioru ziarn na sicie osadzarki - sinusoidalny cykl osadzania

b - początek ruchu, b - c - postępujące rozluźnienia łoża, c - d - podnoszenie i rozluźnianie łoża, d - e - produktywny odcinek cyklu osadzania, e - f - opadanie zbioru ziarn, f - g - zwarcie łoża



Podejmowano liczne próby wyjaśnienia zjawisk zachodzących w osadzarce podczas wzbogacania.

Analiza tego zagadnienia nie jest przedmiotem niniejszej pracy. W zakresie wzbogacania bez wstępnej klasyfikacji, powszechny jest pogląd traktujący mieszaninę wodno-ziarnową w osadzarce przy odpowiednim rozluźnieniu jako bardzo niestałą ciecz zawieszinową, w której odbywa się rozdział według ciężarów właściwych.

Dla najkorzystniejszego rozluźnienia warstwy węgla w osadzarce konstruuje się zawory powietrzne pozwalające na uzyskanie specjalnych cykli osadzania,

Na rys. 1 pokazano uproszczony wykres osadzania dla sinusoidalnego ruchu wody i zachowanie się warstwy węgla w czasie takiego cyklu. Cykl ten jest charakterystyczny dla zaworu suwakowego.

W czasie trwania jednego cyklu można wyszczególnić następujące fazy -a-b: łożo węgla znajduje się w stanie spoczynku, gdyż prędkość ruchu wody nie przekroczyła jeszcze wartości krytycznej dla tego łoża

-b: początek ruchu najlżejszych ziarn w górnej warstwie, b-c: postępujące w czasie rozluźnienia łoża od góry ku dołowi, c: rozluźnienie doszło do sita w osadzarce i teraz następuje podnoszenie całego łoża, -c-d: następuje dalsze podnoszenie i jednocześnie rozluźnienie całego łoża. Pod koniec tego odcinka uzyskuje się stan rozluźnienia potrzebny dla właściwego rozwarstwienia, -d-e: rozwarstwianie zgodnie z ciężarem właściwym. W tym okresie ciężkie ziarna odpadów wypadają z zawiesziny wodnoziarnowej i tworzą łożo odpadów. Jest to produktywny odcinek cyklu osadzania, -e-f: opadanie zbioru ziarn przyspieszane powrotnym ruchem wody, -f: zakończenie rozwarstwienia, f-g: zwanie nowo powstałego łoża pod wpływem ssącego działania powrotnego ruchu wody.

Jak widać jedynie mały odcinek cyklu osadzania jest produktywny dla rozwarstwienia. Dążenie do przedłużenia tego okresu doprowadziło do konstrukcji nowych zaworów dających odmienne, od przedstawionych na rys. 1 cykle osadzania.

Skonstruowano zawory obrotowe posiadające wydłużony okres ekspansji (odcinek między końcem ruchu wody do góry, a początkiem ruchu powrotnego), który jest najważniejszy dla procesu rozwarstwienia.

Normalny zawór suwakowy dających charakterystykę ruchu wody zbliżoną do podanej na rysunku 1 posiada następujący cykl pracy

- wlot powietrza 170°
- ekspansja " 10°
- wylot " 170°
- kompresja " 10°

Ilość suwów zaworu wynosi 45-65/min.

Przy nowym cyklu osadzania proponuje się wydłużenie okresu ekspansji do 100°.

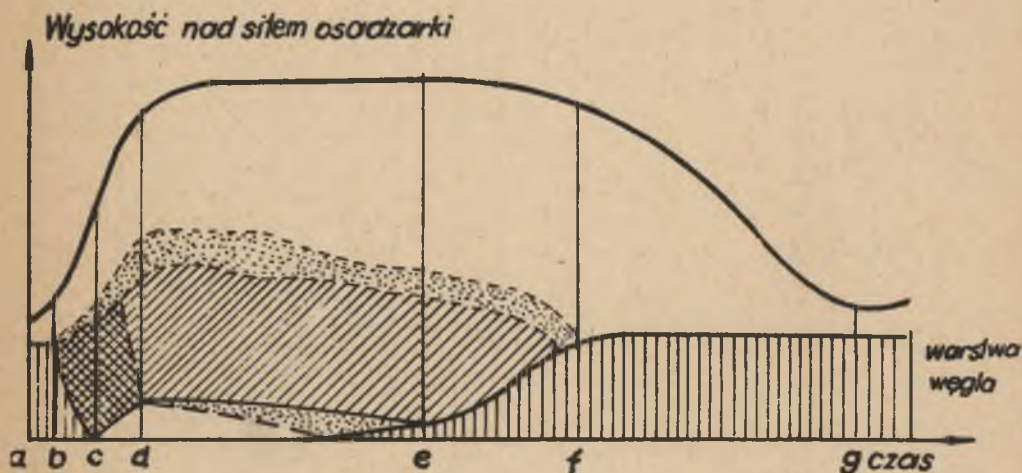
Ilość obrotów zaworu winna wynosić 22-28/min.

Model zachowania się zbioru ziarn w osadzarce i charakterystykę ruchu wody dla nowego cyklu osadzania pokazano na rys.2.

Widzimy tu wyraźnie wydłużenie okresu produktywnego odcinka cyklu osadzania.

Uzyskane wyniki przemysłowe wykazały przydatność nowego cyklu osadzania do wzbogacania nieklasyfikowanej nadawy w osadzarkach. Stwierdzono, że w niektórych przypadkach zastosowanie zaworów obrotowych z krótszym okresem ekspansji daje również dobre rezultaty.

Ilość pulsacji w warunkach ruchowych waha się w granicach 30-45/mm. Ciśnienie powietrza w normalnych warunkach nie przekracza 0,2 atu.



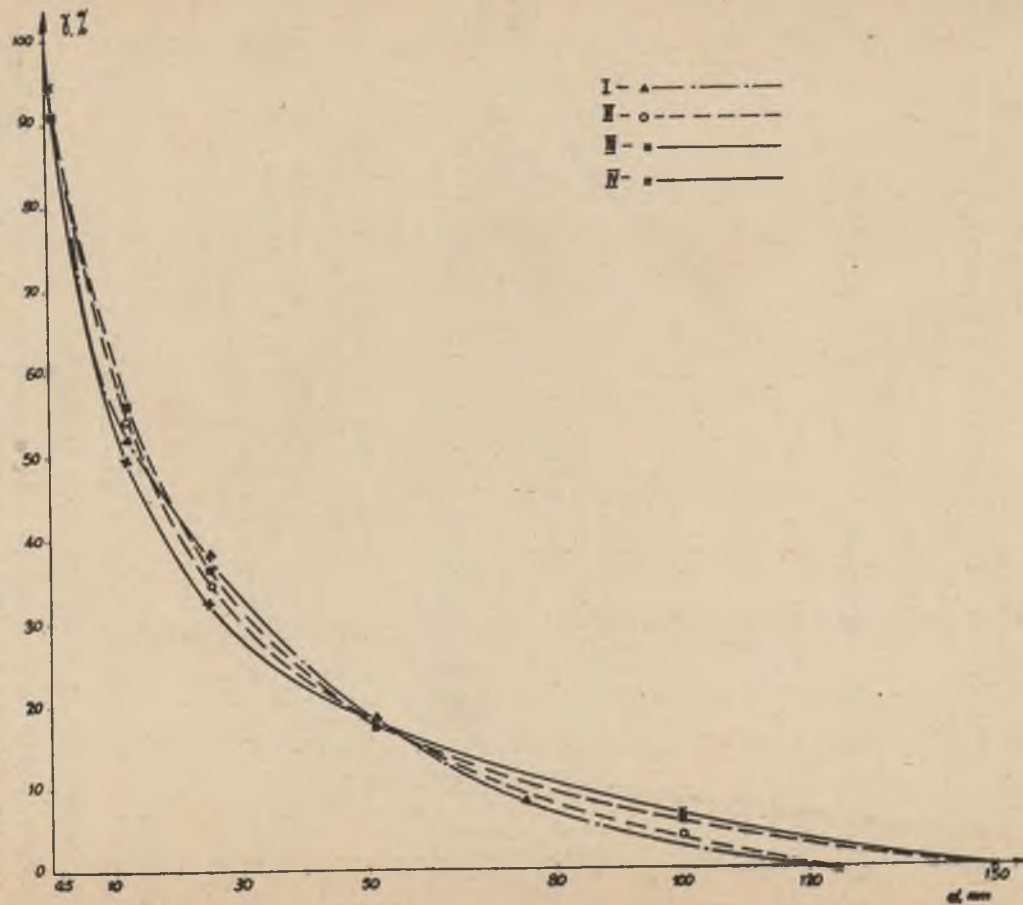
Rys. 2. Zachowanie się zbioru ziarn na sicie osadzarki - cykl osadzania z wydłużonym okresem ekspansji

b - początek ruchu, b - c - postępujące rozluźnienie łoża, c - d - podnoszenie i rozluźnianie łoża, d - e - produktywny odcinek cyklu osadzania, e - f - opadanie zbioru ziarn, f - g - zwanie łoża

#### 4. Wyniki

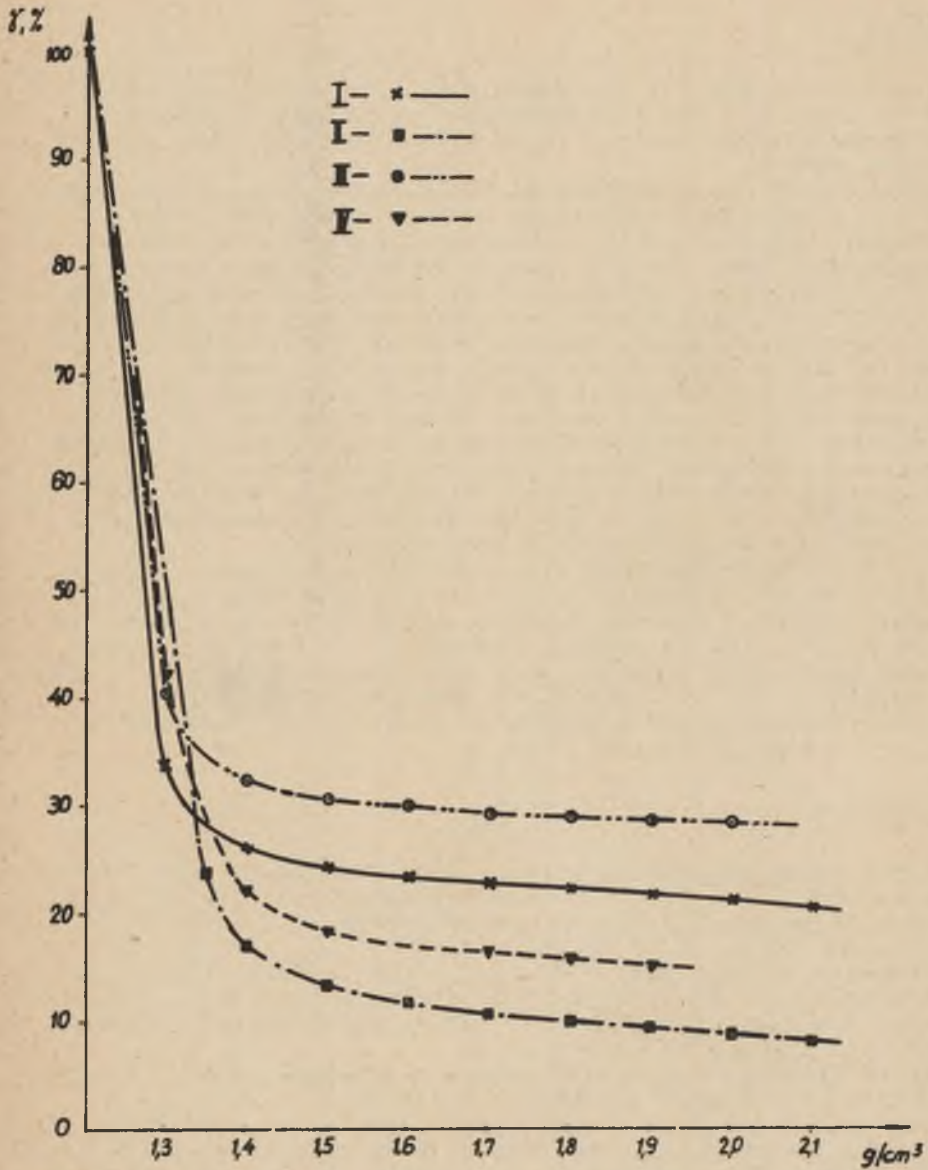
##### 4.1. Charakterystyka nadawy do osadzarek

Charakterystykę granulometryczną nadawy do osadzarek pokazano na rys. 3. Przebieg krzywych składu ziarnowego jest mniej więcej jednakowy dla wszystkich czterech węgli. Udział klasy 10-0 mm waha się w granicach 37-45%, a ziarn grubych powyżej 50 mm wynosi około 17%. Krzywe ciężarów właściwych przedstawiono na rys. 4. Jak widać są to węgle bardzo łatwo wzbogalalne. Udział frakcji od 1,5-1,80/cm<sup>3</sup> waha się w granicach 1,3-2,4%. Zawartość frakcji odpadowej +1,8g/cm<sup>3</sup> dla czterech analizowanych węgli wynosiła od 10-29%.



Rys. 3. Krzywe składu ziarnowego nadawy do osadzarek





Rys. 4. Charakterystyka densymetryczna nadawy do osadzarek

#### 4.2. Krzywe rozdziału

##### WĘGIEL I

Krzywe rozdziału dla poszczególnych klas ziarnowych umieszczono na rys. 5. Dla zilustrowania przebiegu wzbogacania ziarn najdrobniejszych poniżej 12 mm wykreślono dodatkowe krzywerozdziału rys. 6.

Kształt krzywych rozdziału na rys. 5 można uważać jako wzorcowy dla prawidłowego przebiegu procesu wzbogacania węgla bez wstępnej klasyfikacji w osadzarkach. Wartość rozproszenia prawdopodobnego waha się w granicach od 0-0,131 imperfekcja od 0-0,172. Szczególnie znamienny jest przykład przebiegu krzywej rozdziału dla klasy 125-75 mm gdzie rozdział jest idealny. Fakt ten można wytłumaczyć zupełnym brakiem frakcji pośredniej między 1,6 a 2,0 g/cm<sup>3</sup> w tej klasie wysianej z nadawy. Z drugiej strony duże odchylenie od prawidłowego przebiegu wykazują krzywe rozdziału dla ziarn poniżej 12 mm. Występuje on już w przypadku klasy 25-12 mm, aczkolwiek jest ono jeszcze nieznaczne. Odchylenie to można uważać jako charakterystyczne zjawisko dla wzbogacania węgla bez wstępnej klasyfikacji. Wydaje się iż jest to wynikiem trudności w doborze optymalnej charakterystyki ruchu wody dla wszystkich klas ziarnowych.

Przy łącznym wzbogacaniu ziarn grubych z drobnymi nieuniknione wydaje się wciąganie drobnych ziarn węglowych do odpadów. Straty węgla w odpadach rosną ze spadkiem wielkości wzbogacanych ziarn i tak np. straty frakcji - 1,5 g/cm<sup>3</sup> w odpadach dla klasy 1,5-0,5 mm wynoszą 13% w stosunku do udziału tej frakcji w nadawie - 75%, zaś dla klasy 12-6 mm jedynie 4%. Odpowiednie wartości w przypadku prawidłowego przebiegu procesu wyniosłyby 5% i 1,5%.

##### WĘGIEL II

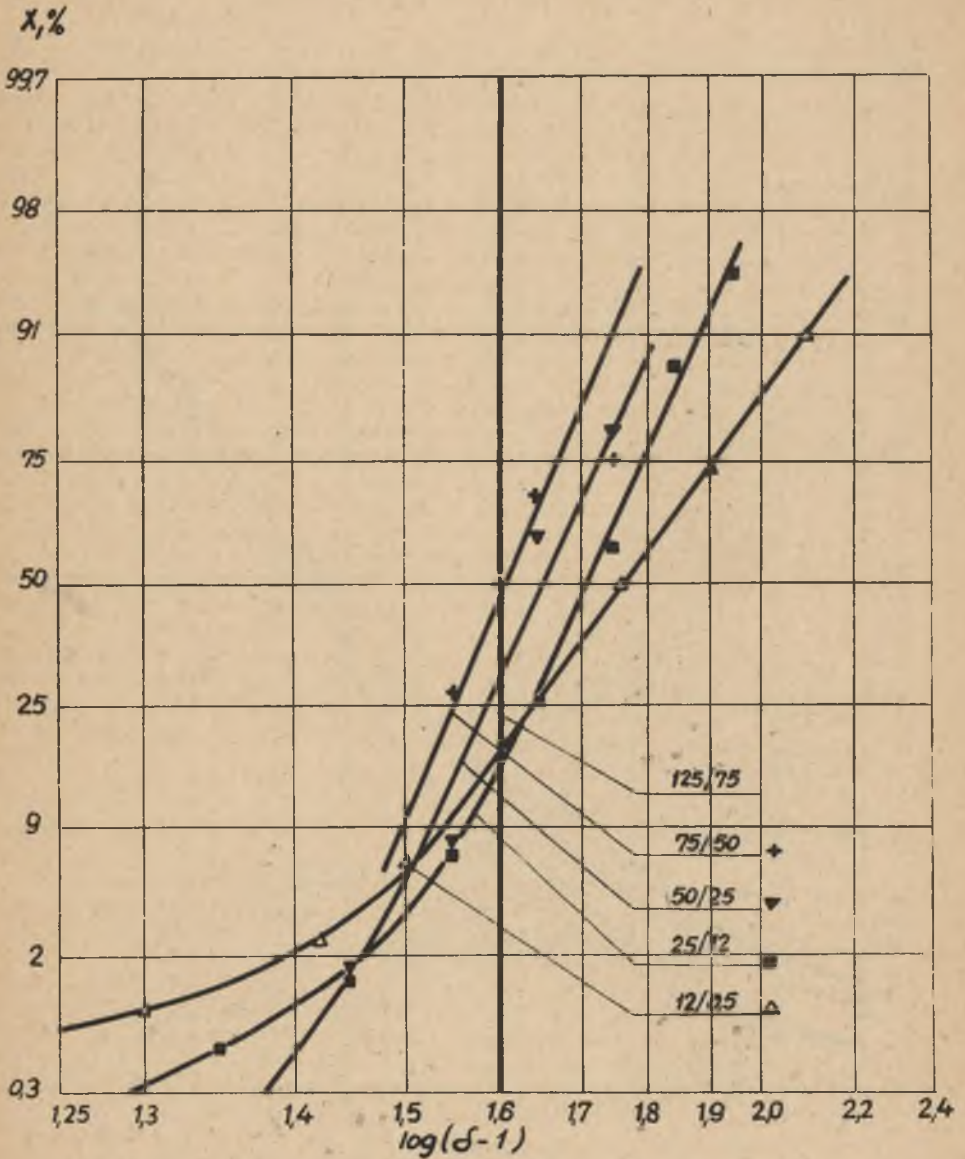
Krzywe rozdziału poszczególnych klas ziarnowych przedstawione na rys. 7. Rozproszenie prawdopodobne waha się od największych ziarn do najmniejszych w granicach od 0,09 do 0,220 a imperfekcja od 0,114 do 0,252.

Charakterystyczne jest duże odchylenie od prawidłowego przebiegu krzywej dla klasy 12-0,5 mm. Wynika to z dużej niedokładności wzbogacania tej klasy i dużych strat węgla w odpadach w ziarnach poniżej 12 mm - rys. 8.

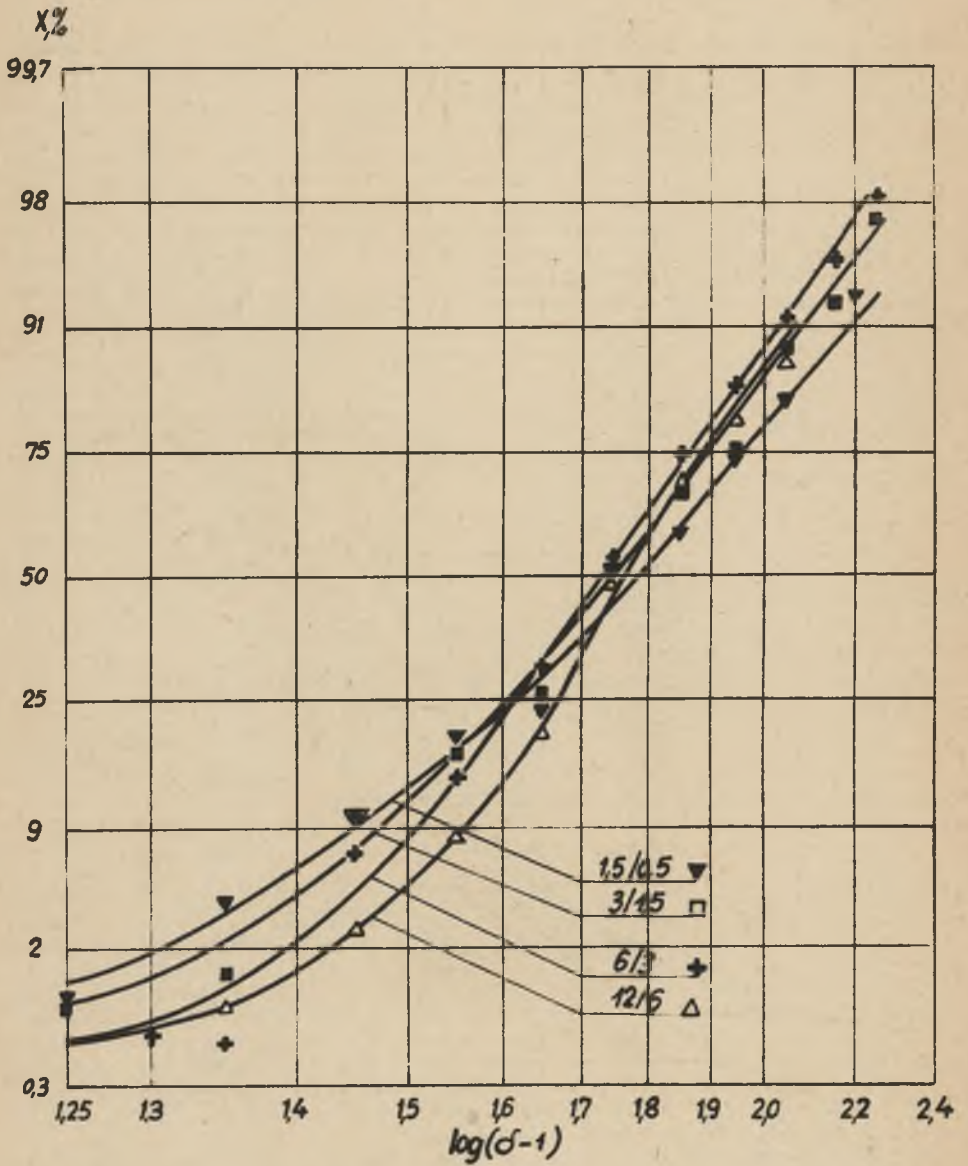
Straty dochodzą w przypadku ziarn najdrobniejszych 1,5 - 0,5 mm do 27% (dla ciężaru właściwego 1.5 g/cm<sup>3</sup>).

Przyczyna może tkwić w niewłaściwej regulacji osadzarki oraz w braku równomiernego obciążenia. Mała stosunkowo ilość kamienia (około 9%) w nadawie i jej wahania w czasie spowodowały trudności w uzyskaniu zwartego łoża odpadów w osadzarce.

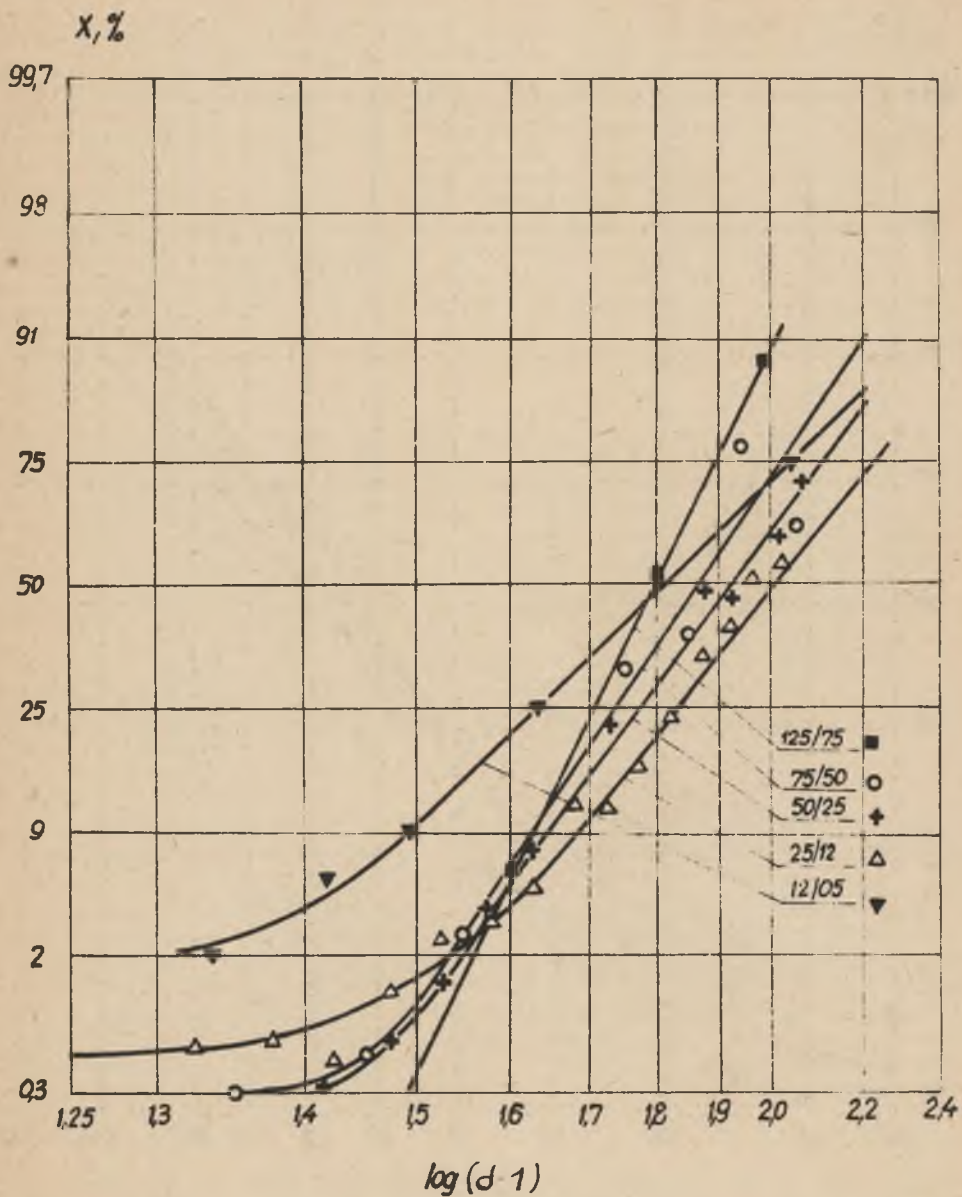




Rys. 5. Krzywe rozdziału dla poszczególnych klas ziarnowych - węgiel I

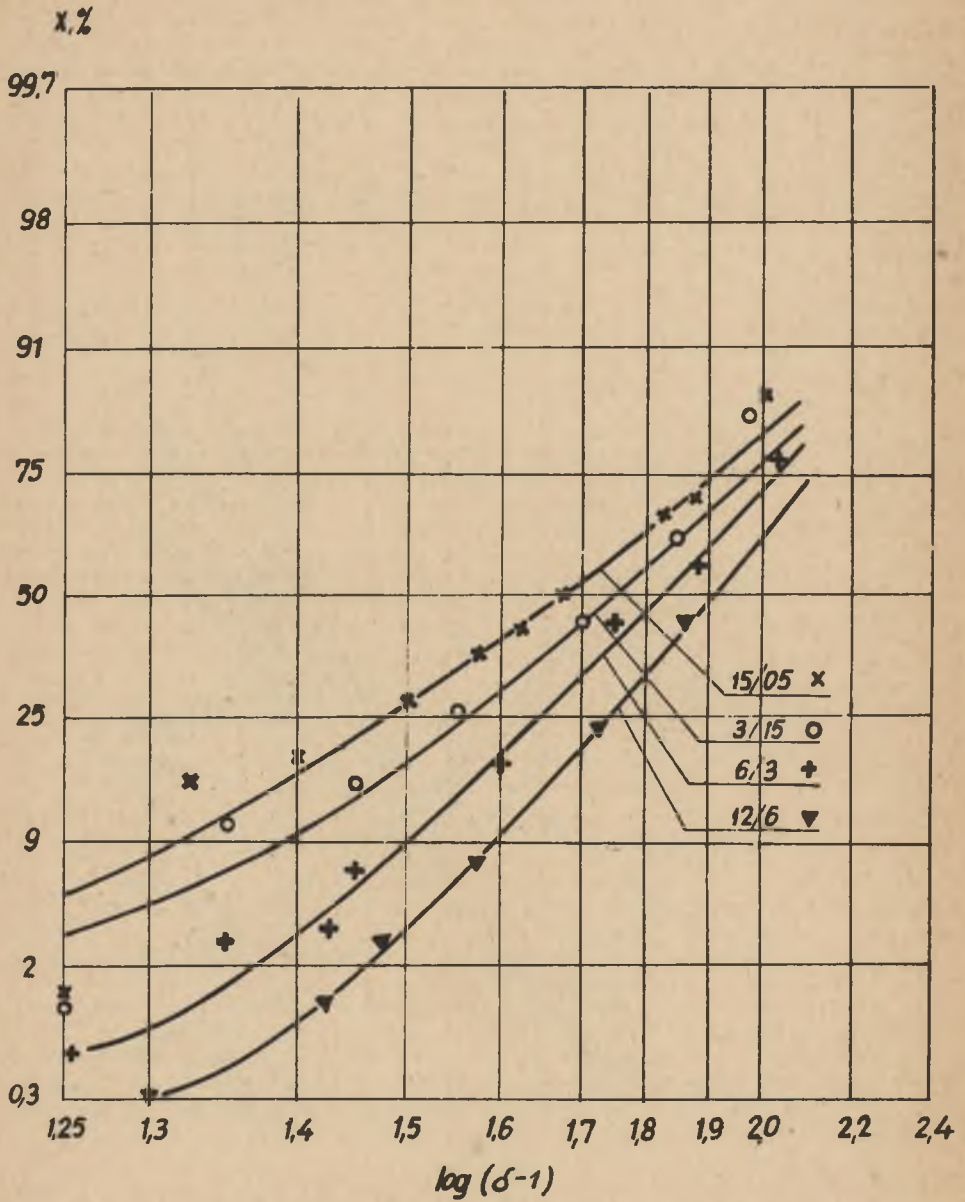


Rys. 6. Krzywe rozdziału klas ziarnowych miazgi 12-0,5 mm - węgiel I



Rys. 7. Krzywe rozdziału poszczególnych klas ziarnowych - węgiel II





Rys. 8. Krzywe rozdziału poszczególnych klas ziarnowych miazgu  
12-0,5 mm - węgiel II

## WĘGIEL III

Krzywe rozdziału przedstawiono na rys. 9. Stwierdza się typowe, aczkolwiek bardzo duże odchylenie krzywej dla klasy 25- 12 mm świadcząca o nadmiernych stratach węgla w odpadach w tej klasie. Charakterystyczne jest wykrzywienie krzywej rozdziału dla klasy 12-0,5 mm świadczące o znacznym zaburzeniu w procesie wzbogacania tej klasy, które powoduje z jednej strony straty węgla w odpadach z drugiej zaś strony nadmierne w stosunku do prawidłowego zanieczyszczenie koncentratu. Przebieg wzbogacania klasy 150-50 mm i 50-25 mm można przyjąć jako prawidłowy. Rozproszenie prawdopodobne w poszczególnych klasach ziarnowych waha się od 0,058 do 0,213 a imperfekcja od 0,100 do 0,318. Ostatni wynik odzwierciedla wysoką niedokładność rozdziału klasy 12-0,5 mm.

## WĘGIEL IV

Rozproszenia prawdopodobne dla krzywych przedstawionych na rys. 10 wahają się od 0,035 dla klasy 150-100 mm do 0,235 dla klasy 12-0,5 mm. Imperfekcja wynosi odpowiednio od 0,061 do 0,230. Znamienne jest stosunkowo dobre wzbogacanie w zakresie niskich ciężarów rozdziału. Przebieg krzywych jest tu prawidłowy i skąpany inaczej niż dla dotychczasowych krzywych. Natomiast w górnej części krzywych charakterystyczna jest gwałtowna zmiana nachylenia, co świadczy o dużym zaburzeniu w końcowej fazie wzbogacania przed odbiorem koncentratu. Przyczyna może leżeć w niewłaściwej pracy automatycznego regulatora lub też w porywaniu drobnych ziarn odpadów przez wśchodzący strumień wody i wynoszeniu ich wraz z koncentratem.

Podsumowanie

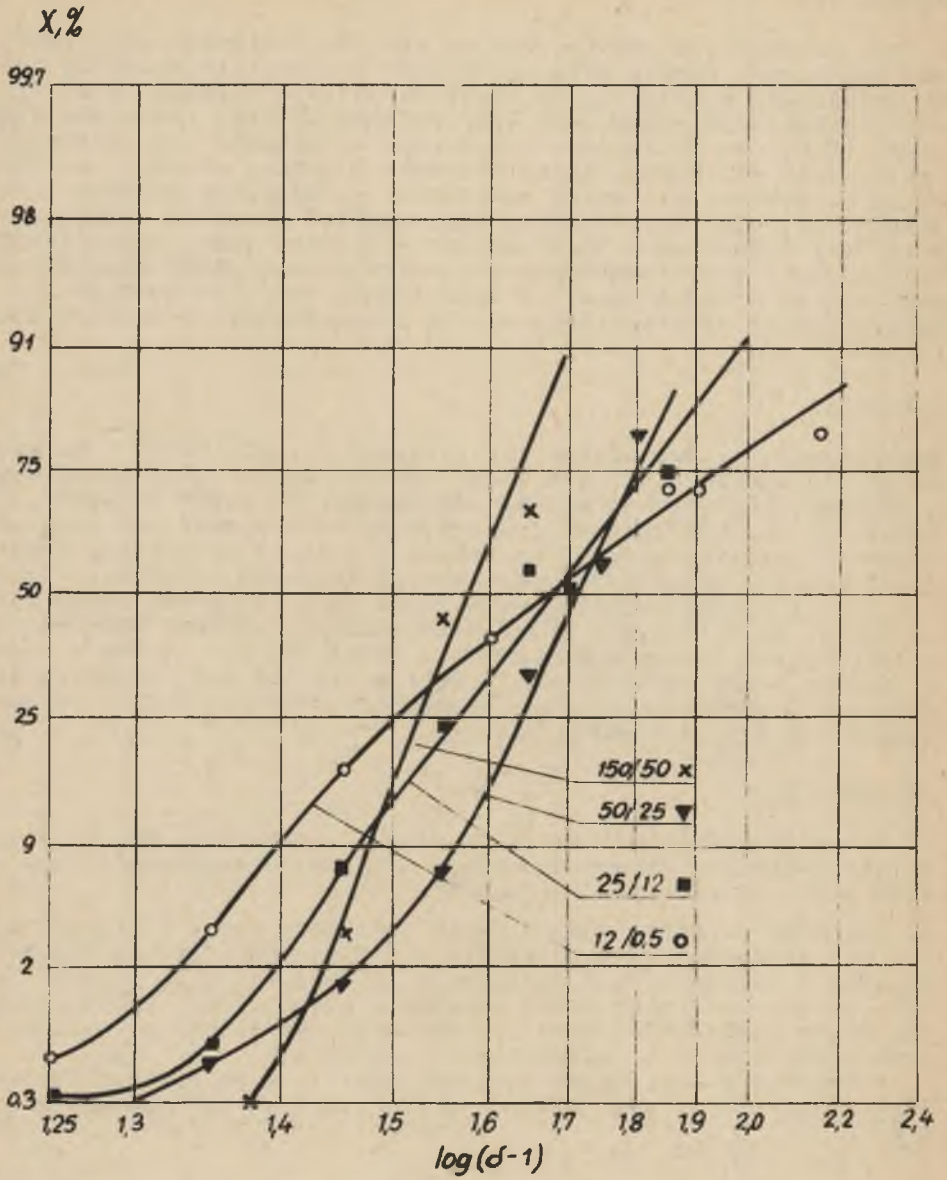
1. Przeprowadzona analiza skuteczności wzbogacania węgla łatwo-wzbogacalnych w osadzarce, bez wstępnej klasyfikacji wykazała pełną przydatność tej metody.

2. Uzyskane wartości rozproszenia prawdopodobnego i imperfekcji nie odbiegają od przeciętnie uzyskiwanych w procesie wzbogacania w osadzarkach z zastosowaniem wstępnej klasyfikacji z tym, że lepsze wyniki można uzyskać w niektórych przypadkach dla ziarn najdrobniejszych wzbogaczanych oddzielnie w osadzarkach pościelowych z automatyczną regulacją.

W tablicy 1 zestawiono uzyskane wyniki, a na rysunku 11 podano sumaryczne krzywe rozdziału dla czterech analizowanych węgla.

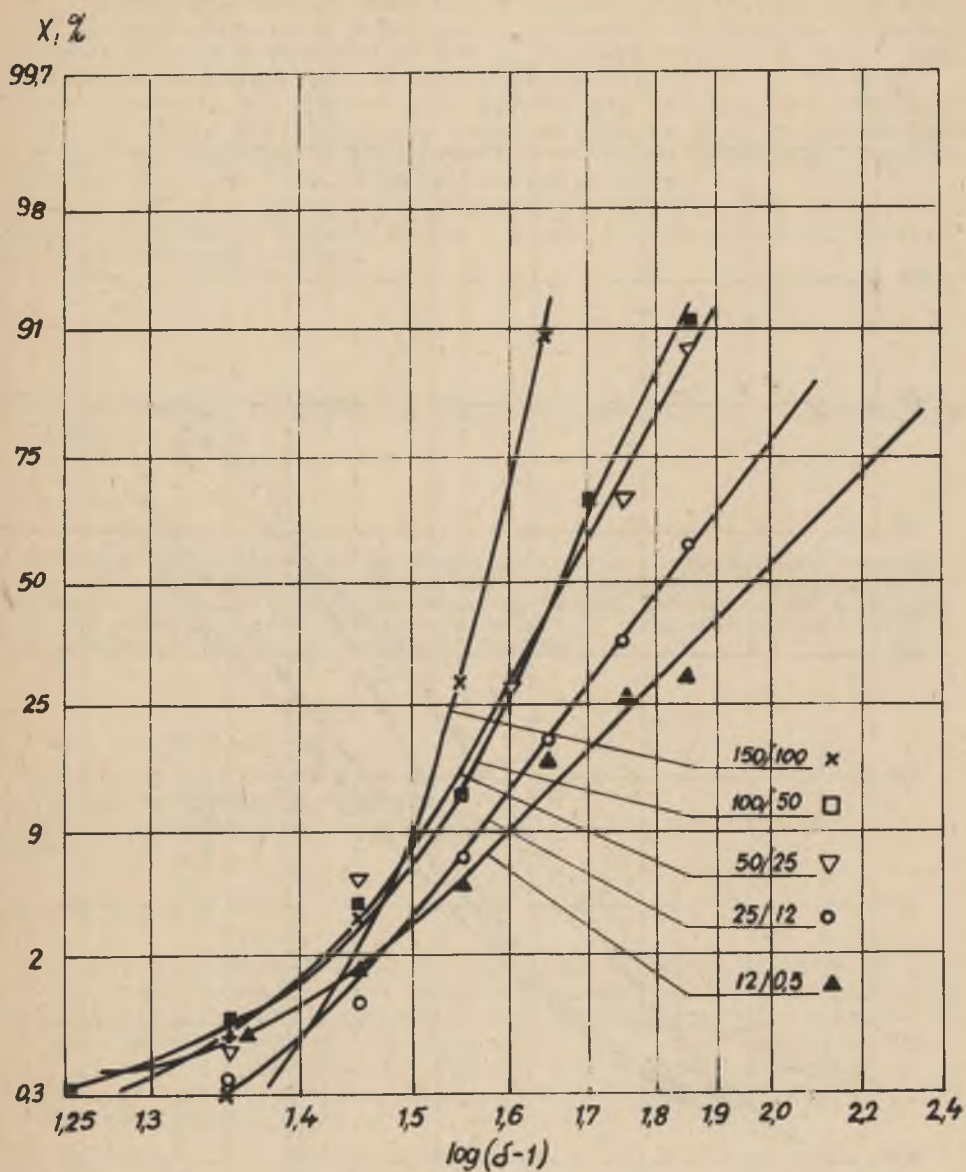
Tablica 1

Wskaźnik węgla	Klasa ziarnowa mm	Rozproszenie prawdopodobne $E_p$	Ciężar właściwy rozdz. $g/cm^3$	Imperfekcja	$E_p$ dla klasy 12-0,5 mm
I	125-0	0,09	1,70	0,129	0,131
II	125-0	0,188	1,90	0,205	0,240
III	150-0	0,140	1,66	0,212	0,213
IV	150-0	0,165	1,84	0,196	0,235

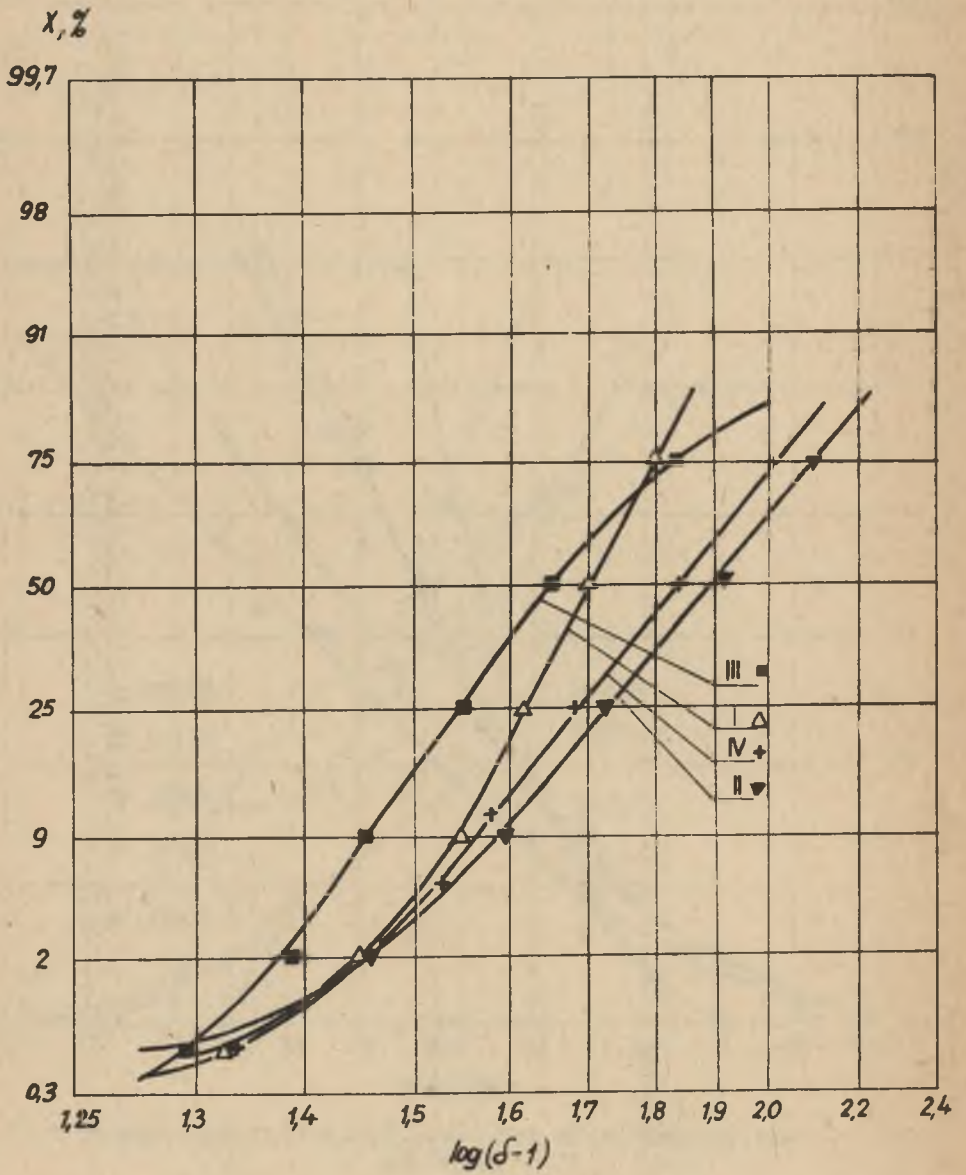


Rys. 9. Krzywe rozdziału poszczególnych klas ziarnowych - węgiel III





Rys. 10. Krzywe rozdziału poszczególnych klas ziarnowych - węgiel IV



Rys. 11. Sumaryczne krzywe rozdziału dla węgla I do IV

3. W przypadku wzbogacania bez wstępnej klasyfikacji stwierdza się zwiększenie strat substancji węglowej w drobnych odpadach spowodowane przechodzeniem drobnych ziarn węglowych pod sito osadzarki w czasie powrotnego ruchu wody.

Zjawisko to można uważać jako typowe dla tej metody wzbogacania. Podobnie stwierdza się niejednokrotnie przechodzenie drobnych ziarn odpadów do koncentratu, co można przypisać niewłaściwemu doborowi charakterystyki ruchu wody.

Pewien wpływ na przebieg wzbogacania - większy niż przy wzbogacaniu ze wstępną klasyfikacją - posiada równomierność ilościowa i jakościowa nadawy.

#### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШИХТЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОТСАДОЧНОЙ МАШИНЕ

##### Р е з ю м е

Рассмотрен вопрос обогащения на отсадочных машинах с применением и без применения предварительной классификации шихты. Дается точность обогащения неклассифицированной шихты в производственной отсадочной машине базируя на кривых распределения нанесенных на "сетке вероятности". Приводится поведение отдельных классов зернистости в процессе обогащения.

#### SIZE DISTRIBUTION OF THE FEED AND ITS INFLUENCE ON COAL CLEANING EFFICIENCY

##### S u m m a r y

Problems of coal cleaning in Baum jigs with - and without previous classification have been discussed and some questions of water-pulsation diagrams touched upon. Details have been given about the accuracy of cleaning based upon the Trompcurve presented in the "probability chart". The cleaning accuracy of different size fractions of the feed has been calculated and some conclusions drawn.