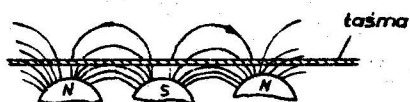
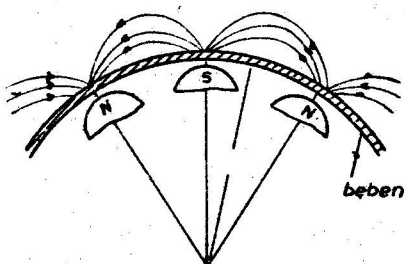


Władysław PILCH, Wacław POLAŃSKI,  
Antoni SIWIEC, Marian BROŻEK, Krystyna NIPL  
Instytut Przeróbki i Wykorzystania  
Surowców Mineralnych AGH

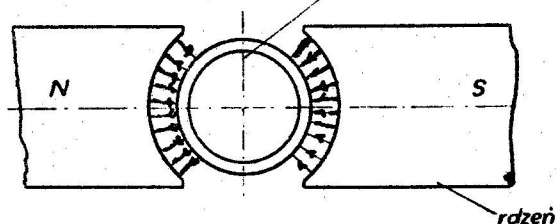
MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ NOWEGO TYPU KORYTOWEGO SEPARATORA INDUKCYJNEGO  
DO WZBOGACANIA DROBNO WYPRYSNIĘTYCH RUD MAGNETYTOWYCH

Wstęp

Tradycyjne separatory do wzbogacania surowców mineralnych zawierających składniki ferromagnetyczne (rudy magnetytowe) mają tzw. "otwarty" rozkład pola magnetycznego co ilustruje rysunek 1, w przeciwieństwie do separatorów przeznaczonych do wzbogacania surowców słabo magnetycznych (paramagnetyków), których pole magnetyczne zamyka się przez zworę magnetyczną. Na rysunku 2 przedstawiono przykład rozkładu pola magnetycznego tego typu separatora.



Rys. 1. Rozkład indukcji separatorów słabomagnetycznych  
wałek indukcyjny



Rys. 2. Rozkład indukcji w separatorze indukcyjnym wałkowym

Siłę magnetyczną działającą na jednostkę masy określa wzór:

$$f = \frac{1}{2} \mu_0 \chi (\text{grad } H^2) \quad [\text{N/kg}] \quad (1)$$

lub w innym zapisie

$$f = \mu_0 \chi H \cdot \nabla H \quad [\text{N/kg}] \quad (2)$$

gdzie:  $\mu_0$  - przenikliwość magnetyczna próżni  $[\text{H/m}]$ ,

$\chi$  - podatność magnetyczna właściwa  $[\text{m}^3/\text{kg}]$ ,

$H$  - natężenie pola  $[\text{A/m}]$ ,

$\nabla$  - operator Nabla.

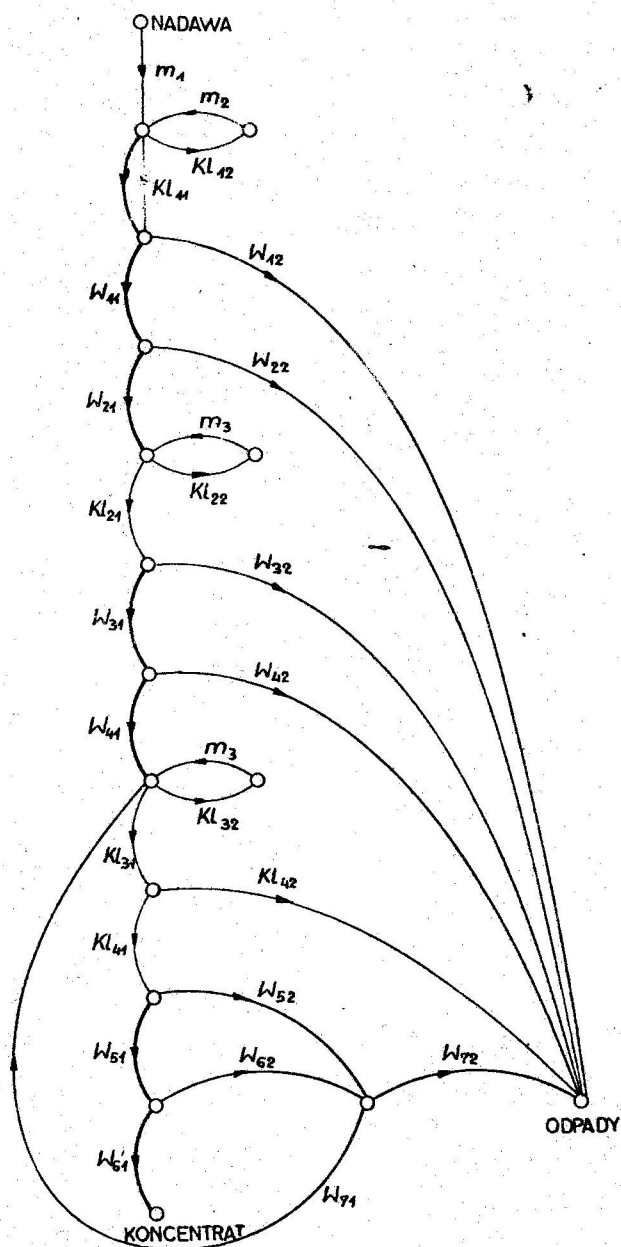
Jak wynika z wzoru 2 wielkość siły można regulować wartością wyrażenia  $H \cdot \nabla H$ . Wartości tego wyrażenia dla separatorów bębnowych podanych na rysunku 1 kształtują się na poziomie

$$H \cdot \nabla H \sim 10^6 \quad [\text{A}^2/\text{m}^3]$$

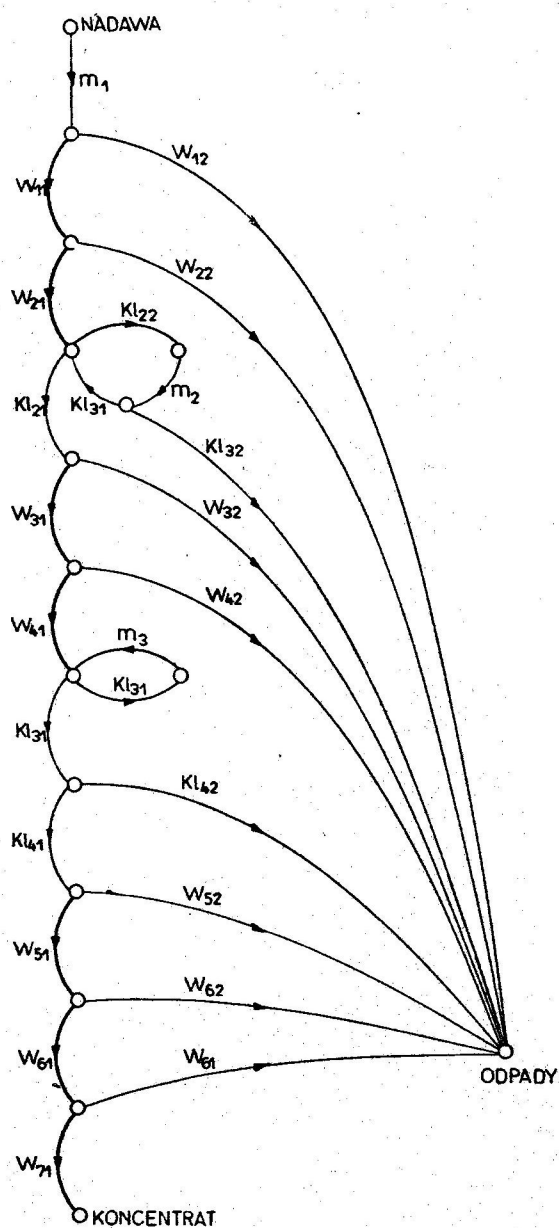
przy wartości natężenia pola magnetycznego  $80 \cdot 10^3 \text{ (A/m)}$ . Zatem wartość bezwzględną wyrażenia  $H \cdot \nabla H$ , można utrzymać na tym samym poziomie zmniejszając  $\nabla H$  przy równoczesnym zwiększeniu natężenia pola  $H$ , lub odwrotnie, zwiększając  $\nabla H$  przy odpowiednim zmniejszeniu natężenia pola  $H$ . Okoliczność ta stanowi punkt wyjścia do zastosowania separatora specjalnej konstrukcji do wzbogacania rud magnetytowych. Separator ten posiada jeszcze jedną bardzo istotną zaletę, a mianowicie poprzez wymuszony ruch podlegającej separacji mieszaniny zostaje wyeliminowane bardzo niepożądane zjawisko flokulacji magnetycznej cząstek, a przez to osiąga się wysoką selektywność rozdziału.

#### 1. Przykłady schematów technologicznych wzbogacania magnetytowych rud żelaza

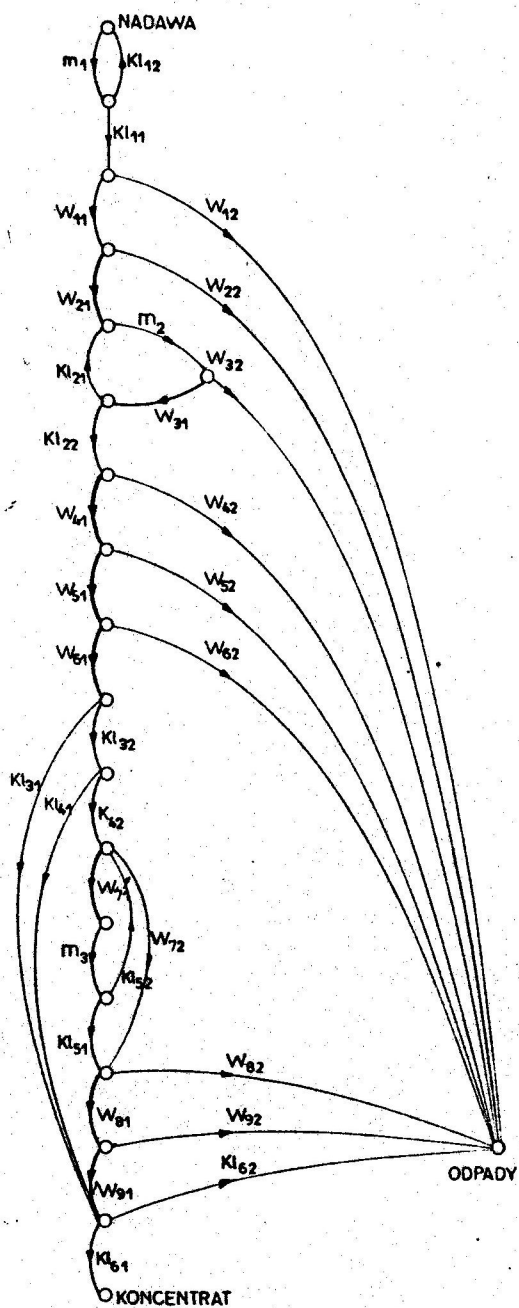
Na rysunkach 3,4,5,6 podano przykłady schematów technologicznych wzbogacania rud magnetytowych. Proces przedstawiony na kolejnych rysunkach zawiera znaczne ilości operacji wzbogacania magnetycznego. Jak z rysunków wynika, ilość operacji wzbogacania magnetycznego waha się od 6 do 10 dla bardzo drobno wyprysniętej rudy magnetytovej. Zatem dla otrzymania finalnego produktu magnetytovej zachodzi konieczność wielokrotnego czyszczenia kolejnych produktów magnetycznych separacji. Zmniejszenie ilości operacji czyszczących ma istotne znaczenie zarówno technologiczne jak i ekonomiczne. Jest ono możliwe tylko przez za-



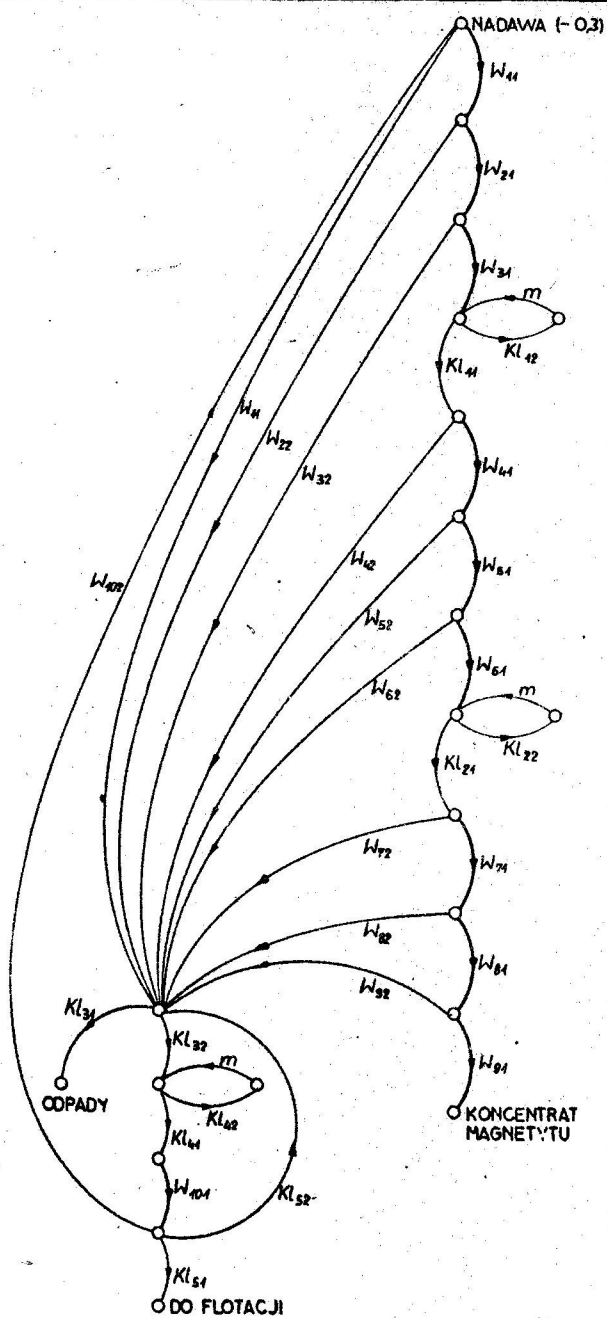
Rys. 3. Schemat grafowy wzbogacania rudy żelaza z rejonu Krzywý Róg.  
 W - wzbogacanie, m - mielenie, kl - klasyfikacja



Rys. 4. Schemat grafowy wzbogacania rudy żelaza ze złoża Zachodnia Syberia - Korszunowsk



Rys. 5. Schemat wzbogacania rudy Erie Mining Company



Rys. 6. Schemat grafowy wzbogacania rudy tytanowo-magnetytowej

stosowania nowych konstrukcji separatorów spełniających następujące warunki:

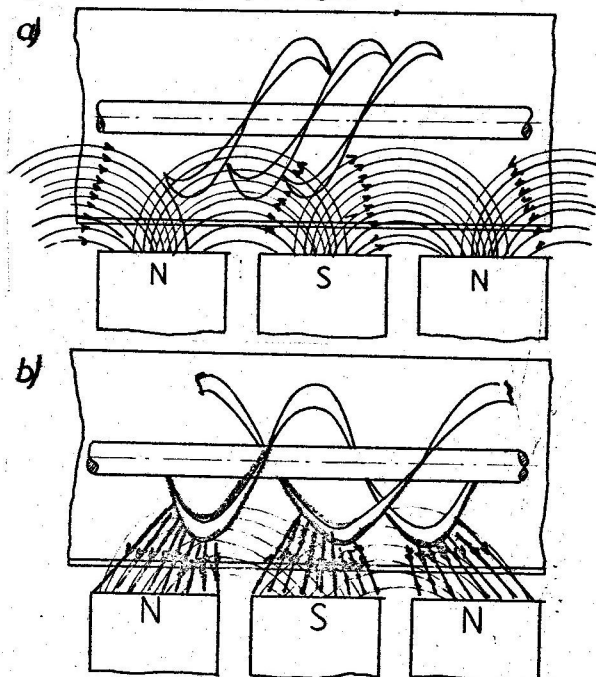
- wysoka wydajność porównywalna z klasycznymi separatorami bębnowymi,
- konstrukcje gwarantujące dostatecznie wysoką wartość  $H \cdot \nabla H$ .
- intensywna agitacja mechaniczna wzbogaconego materiału w przes-  
trzeni roboczej separatorów.

W następnym rozdziale podano opis separatora, który spełnia wszystkie podane wyżej warunki.

## 2. Konstrukcja indukcyjnego separatora korytowego

### 2.1. Uwagi wstępne

Przedstawiona konstrukcja separatora należy do typu separatorów korytowych. Jednak ze względu na wprowadzenie zwory magnetycznej spełniającej funkcję elementu transportującego, agitującego i wytwarzającego niejednorodne pole magnetyczne, separator ten stanowi nową konstrukcję wzbogacalnika magnetycznego.

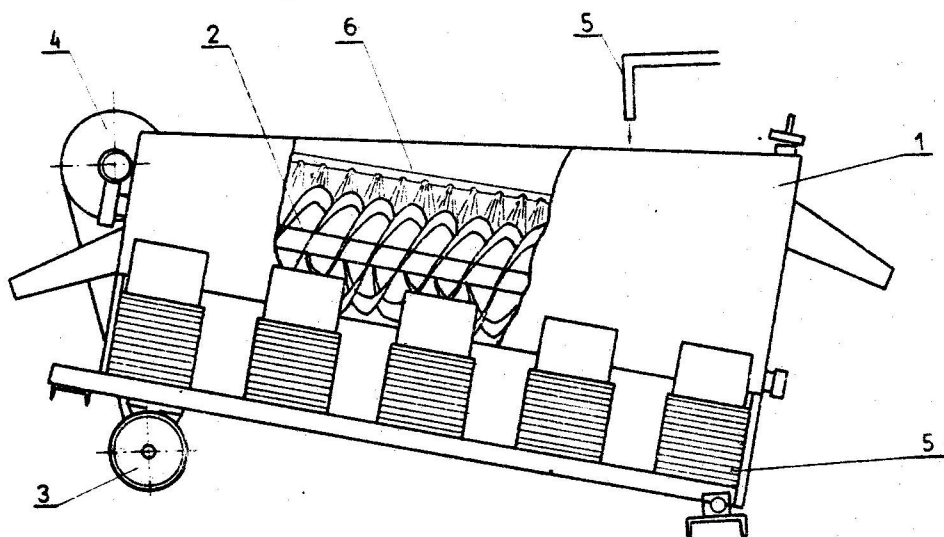


Rys. 7. Rozkład pola magnetycznego w separatorze spiralnym (a) i separatorze korytowym indukcyjnym (b)

Na rysunku 7 podano rozkład pola magnetycznego w separatorze korytowym indukcyjnym i separatorze korytowym klasycznym.

## 2.2. Opis konstrukcji separatora

Na rysunku 8 przedstawiono separator korytowy indukcyjny. Separator składa się z koryta roboczego (1), wykonanego z materiału niemagnetycznego, o zmiennym kącie nachylenia, wewnątrz którego znajduje się spirala (2) wykonana z materiału ferromagnetycznego, spełniająca rolę: elementu transportującego ziarna magnetyczne oraz zwory magnetycznej zamykającej obwód magnetyczny. Spirala napędzana jest silnikiem elektrycznym (3) przez przekładnię (4) pozwalającą na regulację prędkości obrotowej spirali.



Rys. 8. Separator korytowy indukcyjny; 1 - koryto robocze, 2 - spirala, 3 - silnik, 4 - przekładnia, 5 - podajnik nadawy, 6 - natrysk wody

Zawieszenie spirali w dolnej części koryta pozwala na zmianę szerokości szczeliny między dnem koryta a zewnętrznymi krawędziami spirali. Pola magnetyczne wytwarzane są przez układ elektromagnesów (5) umieszczonych pod dnem koryta. Stosunek długości  $L$  spirali separatora do średnicy  $D$  spirali  $L/D$  wynosi 4:6. W tradycyjnych separatorach spiralnych stosunek ten waha się od 15 do 20 [2].



### 2.3. Zasada działania separatora korytowego

Nadawę poprzez podajnik nadawy (5) doprowadzamy do separatora. Ziarna magnetyczne przyciągane są do krawędzi spirali spełniającej funkcję magnesu indukcyjnego. Ziarna te unoszone są w czasie obrotu spirali na określoną wysokość poza obręb działania pola magnetycznego, skąd splukiwane są natryskiem wody (6). Wielokrotne unoszenie i splukiwanie materiału powoduje wydzielenie ziarn magnetycznych na stosunkowo krótkim odcinku koryta.

Produkt magnetyczny transportowany jest za pomocą spirali co stanowi równocześnie operację odwadniającą.

Ziarna niemagnetyczne wraz z wodą odprowadzane są na zewnątrz z separatora rynną przelewową. Dla uzyskania optymalnych warunków pracy dla danego surowca należy doświadczalnie sprawdzić następujące parametry konstrukcyjne:

- podziałka biegunów,
- podziałka spirali (zwory magnetycznej),
- odległość spirali od dna koryta,
- kształt spirali (zwory magnetycznej),
- prędkość obrotową spirali,
- nachylenie koryta.

### 3. Wyniki wzbogacania magnetycznego

#### 3.1. Przygotowanie próbek

Przedmiotem badań była ruda tytanowo-magnetytowa. Wykonano serię doświadczeń z następującymi klasami ziarnowymi: -0,2 mm, -0,1 mm, 0, -0,075 mm, -0,06 mm. Pierwszą serię doświadczeń zrealizowano w separatorze bębnowym typu laboratoryjnego przy bardzo niskiej zawartości części stałych 30 g/l, czyszcząc pięterokrotnie produkt magnetyczny. Wyniki wzbogacania zestawiono w tabeli 1.

W tabeli 2 zestawiono najkorzystniejsze wyniki wzbogacania w separatorze korytowym.

T a b e l a 1

Wyniki wzbogacania w separatorze bębnowym

| Klasa<br>ziarnowa<br>(mm) | Wychód<br>koncentratu<br>$\gamma_{kb}$ | Zawartość % Fe |                    |
|---------------------------|----------------------------------------|----------------|--------------------|
|                           |                                        | Fe %           | SiO <sub>2</sub> % |
| 0-0,2                     | 45,4                                   | 60,1           | 1,84               |
| 0-0,1                     | 41,0                                   | 62,3           | 0,93               |
| 0-0,75                    | 40,2                                   | 63,1           | 1,84               |
| 0-0,06                    | 40,7                                   | 63,7           | 1,70               |

T a b e l a 2

Wyniki wzbogacania w separatorze korytowym

| Klasa<br>ziarnowa | Wychód<br>koncentratu | Zawartość |                    |
|-------------------|-----------------------|-----------|--------------------|
|                   |                       | Fe %      | SiO <sub>2</sub> % |
| 0-0,2             | 44,2                  | 62,13     | 1,15               |
| 0-0,1             | 41,8                  | 62,7      | 0,75               |
| 0-0,075           | 40,8                  | 62,98     | 1,19               |
| 0-0,06            | 39,9                  | 63,27     | 1,25               |

3.2. Porównanie pracy separatora bębnowego i separatora korytowego

Do oceny pracy separatora korytowego posłużono się wynikami separatora bębnowego. Wyniki te potraktowano jako wzorcowe, posługując się tzw. względnym współczynnikiem niejednorodności

$$S^2 = \frac{\gamma_k^2}{\gamma_b^2} = \frac{\gamma_{kk}\beta_k^2 + \gamma_{ok}\gamma_k^2 - \alpha_k}{\gamma_{kb}\beta_b^2 + \gamma_{ob}\gamma_b^2 - \alpha_b} \quad (3)$$

gdzie:  $\gamma_k, \gamma_b$  - współczynniki selektywności rozdziału dla separatora korytowego i bębnowego,

$\gamma_{kk}, \gamma_{ok}, \gamma_{kb}, \gamma_{ob}$  - wychody produktów wzbogacania,

$\beta_k, \beta_b, \beta_k, \beta_b, \beta_k, \beta_b$  - zawartości Fe w produktach i nadawie.

Współczynnik S przyjmuje w zasadzie wartości  $0 < S < 1$ .

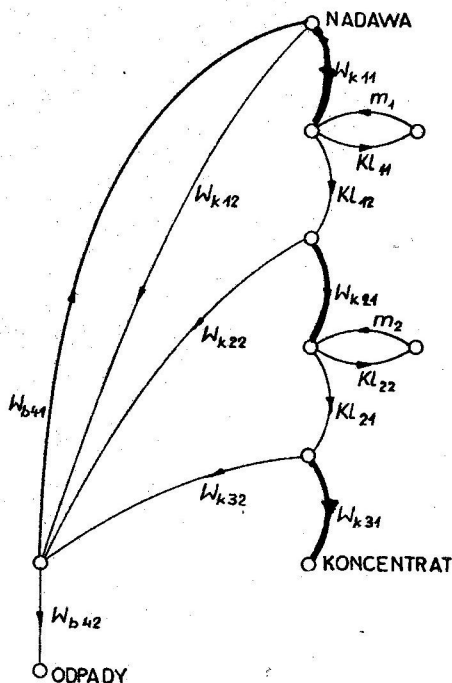
Jeżeli  $S > 1$  - oznacza że selektywność wzorca jest gorsza od selektywności badanego urządzenia.

Współczynnik S wahał się w granicach od 0,994 do najmniej korzystnego przypadku 0,89. W kilku przypadkach współczynnik  $S > 1$ . (1,070).

Należy uznać, że selektywność rozdziału za pośrednictwem separatora korytowego jest bardzo wysoka, uwzględniając okoliczność, że doświadczenia w separatorze korytowym prowadzono przy gęstościach przemysłowych tj. w granicach 20-35%.

#### 4. Możliwości zastosowań separatora korytowego

Wysoka selektywność separatora korytowego, możliwość otrzymywania końcowego produktu magnetycznego w rezultacie jednorazowego jego przejścia przez separator (bez konieczności wielokrotnego czyszczenia) stwarza możliwość uproszczenia procesu wzbogacania magnetycznego. Dla przykładu na rysunku 9 przedstawiono schemat wzbogacania rudy tytano-magnetytowej (z rys. 6) po wprowadzeniu w miejsce separatorów bębnowych separatorów korytowych.



Rys. 9. Schemat grafowy wzbogacania rudy tytano-magnetytowej po wprowadzeniu separatorów korytowych w miejsce separatorów bębnowych

### 5. Uwagi i wnioski końcowe

1. Istotną cechą separatora indukcyjnego korytowego jest zastosowanie zwory magnetycznej spełniającej funkcję elementu transportującego, frakcję magnetyczną, agitującego materiał i wytwarzającego niejednorodne pole magnetyczne.

2. Zastosowanie tego rodzaju układu magnetycznego pozwala na otrzymywanie wysokojakościowych koncentratów przy małej długości spirali.

3. Stosunek długości spirali  $L$  do jej średnicy  $D$  waha się w granicach od 4 do 6, gdzie w klasycznych log-washerach stosunek ten waha się od 16 do 20.

4. Wprowadzenie separatorów korytowych indukcyjnych w miejsce tradycyjnych separatorów bębnowych pozwoli na istotne uproszczenie procesu wzbogacania rud magnetytowych.

### LITERATURA

- 1 JEWSIOWICZ C.G., ŻURAWLEW S.J., Obogaszczanie magnetitowych rud, Moskwa 1972, Izd. Niedra.
- 2 KARMAZIN W.I., Sovremennyye metody magnitno obogaszczeniya rud czernych metalov.
- 3 PILCH W. i inni, Investigation of the magnetite-titanium ore beneficiation XI<sup>th</sup> International Mineral Processing Congress, Cagliari 1975.