



# Flotacja mułów węgla energetycznych sposobem poprawy efektywności produkcji węgla

## Flotation of power coals fines improves the effectiveness of coal production

Ireneusz PYKA<sup>1)</sup>, Krzysztof WIERZCHOWSKI<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mgr inż.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Wzbogacania i Utylizacji Kopalnin;

Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; tel.: (+ 48-32) 259-22-86, faks: (+ 48-32) 259-65-33, e-mail: i.pyka@gig.katowice.pl

<sup>2)</sup>Dr inż.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Wzbogacania i Utylizacji Kopalnin;

Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; tel.: (+ 48-32) 259-22-84, faks: (+ 48-32) 259-65-33, e-mail: k.wierzchowski@gig.katowice.pl

RECENZENCI: Prof. Dr. Gülhan ÖZBAYOGLU; Prof. dr hab. Andrzej ŚLĄCZKA

### Streszczenie

Na podstawie przeprowadzonych badań technologicznych i analiz techniczno – ekonomicznych wykazano, że zastosowanie flotacji do wzbogacania mułów węgla energetycznych jest bardziej uzasadnione ekonomicznie niż alternatywna metoda wzbogacania mułów poprzez ich odilanie. Gdy uzyskane koncentraty flotacyjne zostaną odpowiednio głęboko odwodnione, mogą one zostać zagospodarowane bezpośrednio w produktach handlowych. Efekty ekonomiczne wynikają głównie ze zmniejszenia strat substancji węglowej w odpadach, a tym samym zwiększenia ilości produktu handlowego i, w mniejszym stopniu, ze zmniejszenia ilości składowanych odpadów, a w rezultacie zmniejszenia kosztów tych operacji.

### Summary

Basing on the results of performed tests and technical – economic analyses, it was shown that the flotation of power coal fines is more economically justified than alternative technology like fines desliming. Providing that a flotation concentrate was sufficiently dewatered, this product can be directed utilised in smalls – market products. Economic effects result mainly from the decreasing of the coal losses in rejects (tailings), and simultaneously from increasing of the product amount. Less part of effects results from the decreasing amount of dumped rejects and less costs of these operations.

## 1. Wprowadzenie

Urobek surowy węgla energetycznego może zawierać nawet do około 30% ziaren o wymiarze poniżej 1 mm [1], czyli tak zwanych ziaren mułowych. Jest to nieunikniona konsekwencja mechanizacji i koncentracji wydobywania w zakładach górniczych. Węgla koksowe są w Polsce wzbogacane w całym spektrum uziarnienia, a wzbogacone muły po odpowiednio głębokim odwodnieniu, są cennym komponentem produktu handlowego. W przypadku przeróbki węgla energetycznych, w wielu zakładach przerobczych zabudowane są różnego typu przesiewacze do wydzielenia na sucho części miazgi, w tym ziaren mułowych, przed procesem wzbogacania. W ten sposób zmniejsza się ilość mułów trafiających do obiegu wodno – mułowych. Wydzielony na sucho materiał jest zagospodarowywany z miazgą wzbogaconym w tak zwanych mieszankach energetycznych. Ze względu na stosunkowo małą wydajność jednostkową operacji technologicznych prowadzonych w obrębie ziaren mułowych oraz stosunkowo duże koszty tych operacji muły węgla energetycznych są często wzbogacane tylko częściowo lub nie są wzbogacane w ogóle. Muły nie w pełni

## 1. Introduction

The ROM power coal can contain up to 30% of grains of size less than 1 mm [1], so called fines or slurry. It is the inevitable consequence of mechanisation and concentration of coal mining. Coking coals are cleaned in Poland in a full size range. Fines, after cleaning constitutes, when adequately dewatered, valuable component of commercial products. In the instance of power coals, in many new-build coal preparation plants, screens are build in to eliminate the part of smalls from raw coal, by dry method, including fines, before a cleaning process. Thus, the amount of fines, feeding the water-slurry circuits, is decreased. Dry material is utilised, with cleaned coal in so-called power blends. Due to relatively low unitary capacity of water –slurry circuit processes, and relatively large costs of operations dealing with fines, such coal grains are often cleaned partly or are not cleaned at all. Raw or partly cleaned fines are more difficult from the point of view of dewatering and blending with smalls. Therefore, huge amounts of the fines were not directly utilised in commercial products but they were stored in ponds. These parts of raw coals, of

wzbogacone trudniej jest głęboko odwodnić i zhomogenizować z produktami miałowymi w produktach handlowych. Dlatego dotychczas, dużych ilości mułów węgla energetycznych, nie zagospodarowywano w produktach handlowych, lecz składowano je osobno, w osadnikach zewnętrznych. Muły mające znaczący udział w masie wydobytego urobku nie stanowią często bezpośrednio komponentu produktów finalnych kopalń węgla energetycznego. W ostatnich latach, ze względu na zaostrzenie wymagań dotyczących ochrony środowiska, jak również znaczące koszty składowania lub zagospodarowania muły te, w coraz to większym stopniu wzbogaca się, co ułatwia ich głębokie mechaniczne odwodnienie i pełne zagospodarowanie w miałowych produktach handlowych.

W pracy podjęto próbę wykazania, że flotacja mułów węgla energetycznych jest najbardziej efektywną technologią wzbogacania najdrobniejszych ziaren urobku węgla energetycznego, a jej wprowadzenie do schematów technologicznych płuczek węgla energetycznego jest najczęściej uzasadnione ekonomicznie.

## **2. Założenia i zakres badań technologicznych i analiz**

W zakładach przerobczych kopalń węgla energetycznego do wzbogacania mułów stosuje się najczęściej klasyfikację hydrauliczną mułów, głównie z wykorzystaniem hydrocyklonów – tak zwane odilanie. Zaletą odilania są małe nakłady inwestycyjne na budowę takich węzłów oraz stosunkowo niskie koszty eksploatacyjne. Aby technologia ta była efektywna, zawiesina kierowana do odilania powinna charakteryzować się najlepiej jak największą zawartością popiołu w najdrobniejszych klasach ziarnowych (poniżej 0,045 mm) [2]. Ze względu na specyfikę rozdziału w hydrocyklonach, odpadowe produkty odilania charakteryzują się w praktyce najczęściej stosunkowo małą zawartością popiołu, często nawet poniżej 40% (w stanie powietrzno – suchym) [2,3,4]. Mała zawartość popiołu w produkcie odpadowym oznacza straty substancji palnej w odpadach, co znacząco wpływa na finalne koszty wzbogacania i produkcji węgla w przeliczeniu na produkcję netto.

Alternatywną technologią dla procesu odilania mułów węgla energetycznych jest powszechnie znana i stosowana, zwłaszcza do wzbogacania mułów węgla koksowych, flotacja. Ograniczone jej zastosowanie do wzbogacania mułów węgla energetycznych wynika z rozpowszechnionego poglądu, że jest to metoda droga i stwarzająca problemy ruchowe w przypadku węgla energetycznych. Chodzi tu głównie o stosunkowo duże zużycie odczynników flotacyjnych, znacznie większe niż w przypadku mułów węgla koksowych, oraz niemożliwość uzyskania

great share in the mass of ROM, don't constitute directly products of steam coal collieries. Last years, due to sharpen environmental regulations and due to inevitably huge cost of slurry storing and utilisation after storing, fines are cleaned more and more. Additionally it improves fines dewatering and utilisation of this part of coal preparation product in commercial products.

This paper constitutes a trial to point out, that flotation of power coals fines is the most effective technology of cleaning it. The introduction of flotation circuits to a power coal beneficiation plant is justified both from the technological and economic point of view.

## **2. Basic assumptions and the scope of tests and analyses**

The wet classification is the most often used as a technology of fines cleaning. It is realised in classifying hydrocyclones and a process is called desliming. The advantages of the desliming technology are relatively small capital expenditures and relatively small operating costs. The effectiveness of desliming technology depends on the characteristic of the feed. The best effectiveness demands the high ash content of the finest grains (less than 0.045 mm) in the feed [2]. Due to a specificity of the separation in a hydrocyclone, tailings obtained from a hydrocyclone are in practice of low ash content, often the ash content is less than 40% (air dried basis) [2,3,4]. Low ash content in tailings means relatively huge coal losses with rejects. It influences the final cleaning costs and costs of coal production counted over to net production.

The alternative technology for the fines desliming process is known, and widely used, especially for coking coal cleaning, the flotation process. The limited use of the flotation process in the instance of power coal cleaning results from the conviction, that it is expensive process and troublesome when cleaning power coals. The rate of agent dosage is relatively huge and the obtaining of the low ash clean coal is difficult. The aim of the flotation of power coals is not low ash clean coal, let say ash below 8 – 10%, like in the instance of coking coals cleaning, but mainly the reducing of the combustible

koncentratów o małych zawartościach popiołu. Celem flotacji w przypadku mułów węgla energetycznych nie jest jednak otrzymanie koncentratu o zawartości popiołu poniżej 8–10%, jak w przypadku mułów węgla koksowych, lecz głównie ograniczenie strat substancji węglowej w odpadach, a tym samym zminimalizowanie ilości odpadów i jednocześnie zwiększenie produkcji netto kopalni. Koncentraty flotacyjne zawierające nawet do 20% popiołu, mogą być już głęboko odwodnione sposobem mechanicznym i bez problemu mogą być zagospodarowane w mieszankach energetycznych. Ostatnie badania o charakterze podstawowym i stosowanym, jak również nieliczne przykłady zastosowania tego procesu w skali przemysłowej wykazują, że wprowadzenie flotacji do wzbogacania mułów węgla energetycznych pozwala rozwiązać wiele problemów, związanych z zagospodarowaniem mułów w produktach handlowych, w ZP kopalń węgla energetycznego [5,6,7,8].

W artykule przedstawiono wyniki badań technologicznych i analiz ekonomicznych, których celem była ocena potencjalnego zastosowania flotacji do wzbogacania mułów węgla energetycznych w dwu zakładach przerobczych. W obu ZP przyjęto technologię odilania do wzbogacania mułów. Do istniejących technologii „dodano” potencjalne węzły wzbogacania flotacyjnego. Przeprowadzono stosowne badania flotacyjne analizując możliwość flotacji bezpośrednio odpadów z odilania (kopalnia A i B) lub całości nadawy do procesu odilania (kopalnia A). Uzupełniono bilanse produkcji tych ZP w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań. Oceniono nakłady inwestycyjne rozbudowy ZP o węzły flotacji oraz oceniono w rachunku prostym koszty eksploatacji tych węzłów i efekty ekonomiczne rozbudowy technologii obu ZP o węzły flotacji najdrobniejszych mułów. Rozpatrywano następujące warianty technologiczne:

- wariant I (bazowy) – wzbogacanie mułów wyłącznie metodą odilania,
- wariant II – zastąpienie odilania mułów technologią flotacji (tylko dla kopalni A),
- wariant IIIA i IIIB – dodatkowe wzbogacanie metodą flotacji drobnoziarnistych produktów odilania (odpadów ilastych) wydzielonych w hydrocyklonach (kopalnie A i B).

Przyjęte do analizy wartości obciążeń masowych węzłów wzbogacania mułów przyjęto na podstawie projektów technicznych wytypowanych ZP. Zawiesiny mułowe użyte w trakcie badań pochodziły z opróbowania zakładów przerobczych. Badania z zakresu flotacji wykonano w GIG, w skali półtechnicznej, w maszynach o działaniu ciągłym. Badania półtechniczne poprzedzono stosownymi

matter losses in tailings. The main aims of power coal fines flotation seem to be:

- limiting of the losses of coal in tailings (rejects),
- minimization of tailings amount, and
- maximization of net production of a colliery.

A clean coal of ash even 20 % can be already mechanically deeply dewatered, what enables direct joining it to power blends. Latest research, both basic and applied, likewise rare examples of industrial implementation of the flotation process point out that implementation of the flotation process enables solving many problems dealing with the fines direct utilisation in commercial products in power coal collieries preparation plants [5,6,7,8].

In the paper results are given of tests and economic analyses, aimed to assess the implementation of a flotation circuit in two existed coal preparation plants (CPP), where power coals are cleaned. In both CPPs fines desliming was employed. Flotation circuits were „added” to existing technologies. Appropriate flotation tests were conducted. The direct flotation of desliming tailings were analysed (collieries A and B), likewise the desliming of flotation feed was analysed also (colliery A). Basing on the test results, mass balances of CPPs were completed. Capital expenditures of CPPs extension with a flotation circuit were assessed and operational costs and economic effects of CPPs extension with a flotation circuit for fines cleaning were assessed, using the simple cost-benefit study method. The following technological alternatives were examined:

- The alternative I (basic) – the finest coal cleaning by means of desliming,
- The alternative II – the desliming replacement by flotation technology (only for colliery A),
- The alternatives IIIA i IIIB – additional cleaning of tailings from desliming hydrocyclones (collieries A and B).

Values of mass capacity of cleaning processes, used for analyses conducted, were taken from technical designs of CPPs. Slurries used for tests occurred from analysed CPPs. Flotation tests were performed in a test machine of continuous working. These test were preceded by appropriate laboratory tests, aimed to:

- The determination of size-ash slurry characteristics,
- The determination of the conditions where high ash contain tailings are produced, without the necessity of production low ash content clean coal, let say ash content less than 10% – in these conditions of a coal flotation process the clean coal yield is maximised,
- The production of clean coal suitable from the point of view of deep mechanical coal

analizami i badaniami laboratoryjnymi, których celem było:

- określenie charakterystyki granulometryczno – popiołowej zawiesin,
- wydzielenie odpadów o możliwie dużej zawartości popiołu, bez konieczności określania warunków otrzymywania we flotacji koncentratów o zawartości popiołu poniżej 10%. Takie określenie warunków flotacji umożliwia zwiększenie wychodu koncentratu węglowego,
- wydzielenie koncentratów flotacyjnych o takiej zawartości popiołu, aby możliwe było ich głębokie mechaniczne odwodnienie i zagospodarowanie w mieszankach energetycznych,
- określenie reżimu technologicznego do jedno-stopniowego prowadzenia flotacji bezpośrednio z wody obiegowej, bez konieczności dogęszczania nadawy.

W artykule, wszystkie zawartości popiołu podano dla stanu powietrzno suchego paliwa węglowego.

### 3. Wyniki badań technologicznych

W tabelicy 1 zamieszczono charakterystyki granulometryczno – popiołowe mułów kierowanych do odilania.

Tablica. 1  
Charakterystyka granulometryczno – popiołowa mułów kierowanych do odilania

Klasa ziarnowa Size fraction	Muł z kopalni A, Slurry from colliery A		Muł z kopalni B, Slurry from colliery B	
	Zawartość klasy ziarnowej Size fraction content	Zawartość popiołu Ash content, A <sup>a</sup>	Zawartość klasy ziarnowej Size fraction content	Zawartość popiołu Ash content, A <sup>a</sup>
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]
+ 0,5	6,1	3,98	17,0	15,19
0,5 – 0,3	10,4	5,68	11,7	16,79
0,3 – 0,2	13,0	11,53	11,6	18,55
0,2 – 0,1	16,8	23,11	13,5	18,35
0,1 – 0,063	8,8	27,16	7,1	20,69
0,063 – 0,045	2,8	31,99	3,1	25,86
0,045 – 0,025	7,2	27,56	5,6	27,20
– 0,025	34,9	58,20	30,4	52,56
Suma/średnio Sum/average	100,0	31,70	100,0	29,07

Muły z obu kopalń, kierowane do odilania, mają bardzo podobną charakterystykę granulometryczno – popiołową. Są to muły węgla energetycznych o średniej zawartości popiołu wynoszącej odpowiednio około 32% w przypadku mułu A i 29% w przypadku mułu B. Muł A pochodzi z węgla typu 32.1, a muł B z węgla typu 31.2. Cechą charakterystyczną obu

dewatering and from the point of view of smalls – power blends quality, where the dewatered finest coal is to be added,

- The determination of conditions for single stage flotation of circulated water directly, without the necessity of feed concentration.

All ashes in the paper are for air dried basis.

### 3. Results of tests performed

Size – ash characteristics of deslimed slurries are given in table 1.

Table 1  
Size-ash characteristics of deslimed slurries

Both slurries are similar in the scope of size – ash characteristics and origin from power coals. Ash content is about 32% for the example A and about 29% for the example B. Fines A occur from the coal of type 32.1, and fines B occur from the coal of type 31.2. The characteristic feature of both is huge content of size fraction below 0.025 mm, but ash

mułów jest stosunkowo duża zawartość ziaren o wymiarach poniżej 0,025 mm, jednak o zawartości popiołu niewiele powyżej 50%.

### **Wzbogacanie mułów metodą odilania w hydrocyklonach**

Bilanse procesu odilania, przykłady realizacji w warunkach przemysłowych, przedstawiono w tabelicy 2. W obu przypadkach uzyskane odpady charakteryzują się stosunkowo małą zawartością popiołu wynoszącą odpowiednio około 38% w przypadku mułu A i około 45% w przypadku mułu B. Praktyka dowodzi, że odilanie mułów, o charakterystyce jak w tabeli 1 jest mało efektywne, jeżeli oceniać je poprzez zapopielenie produktu drobnoziarnistego – odpadów ilastych. W przypadku kopalni A istnieje możliwość optymalizacji wyników odilania, ale zapopielenie tego produktu może maksymalnie osiągnąć około 50 %.

content for this fractions is comparatively low, about 50%.

### **The finest coal cleaning by means of desliming in hydrocyclones**

Mass balances of desliming processes in industrial conditions are given in table 2. For both instances tailings characterise relatively low ash content, respectively about 38% for the slurry A and about 45% for the slurry B. The practice reveals that fines desliming, of the characteristics like in table 1, is of low efficiency. It should be underlay that for fines A, it is possible to optimise results of deliming, but ash content of such product can reach only a little more that 50 % (air dried basis).

Tablica 2  
Bilanse wzbogacania mułów metodą odilania

Table 2  
Balances of the finest coals cleaning by means of desliming

Muł Slurry	Nadawa Feed		Przelew Overflow				Wylew Underflow		
	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield	Uzysk, Recovery	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield
	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]
A	25,0	32,70	20,0	37,88	58,0	49,4	37,4	23,62	42,0
B	98,0	29,07	41,0	44,83	37,4	72,5	385,0	19,67	62,6

### **Flotacyjne wzbogacanie nadawy do hydrocyklonów**

Wyniki flotacji zawiesiny A uzyskane w skali półtechnicznej, w maszynach o działaniu ciągłym, przedstawiono w tabelicy 3. W obu przypadkach z zawiesiny mułu o koncentracji części stałych około 25 g/dm<sup>3</sup> i zawartości popiołu około 32% otrzymano koncentraty zawierające poniżej 11,5% popiołu. Koncentraty mułowe o tej zawartości popiołu po odpowiednio głębokim odwodnieniu, mogą być pełnowartościowym składnikiem mieszanek energetycznych. Dawka odczynnika flotacyjnego w obu przypadkach była jednakowa i wynosiła 1,5 kg/Mg nadawy. Zawartość popiołu w uzyskanych odpadach była wysoka i wynosiła odpowiednio około 75,5% w przypadku maszyny kolumnowej i około 85% w przypadku maszyny wirnikowej. Uzyski substancji palnej w koncentratkach były bardzo wysokie i wynosiły odpowiednio: 88,3 i 94%.

### **Cleaning of the feed to hydrocyclones by flotation method**

Results of cleaning by flotation method of the slurry A, in the continuous working laboratory machine, are given in table 3. In both instances from suspensions with the concentration of 25 g/dm<sup>3</sup> containing solid with 32% ash content – slurry A and 29% – slurry B, clean coals with less than 11.5% ash content were obtained. Such clean coals, adequately deeply dewatered, constitute the component of standard value of the power blends. The dosage averages the same value in both instances about 1.5 kg/Mg of feed. Ash content in tailings was high in both instances: about 75.5% for column flotation machine and about 85% for propeller flotation machine. Combustion matter recovery was high, accordingly 88.3 and 94%.

Tablica 3  
Wyniki flotacji zawiesiny A, stanowiącej nadawę do węzła odilania

Table 3  
Results of flotation suspension A – the feed to the desliming

Typ maszyny flotacyjnej The type of flotation mashine	Koncentrat Clean coal				Odpady Tailings		
	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield	Uzysk, Recovery	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield
	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]
Kolumnowa Column type	266	10,37	67,3	88,3	9	75,5	32,7
Wirnikowa Propeller type	80	11,49	72,5	94	7	85,0	27,5

**Wzbogacanie przelewów z hydrocyklonów w maszynach flotacyjnych**

Wyniki flotacji przelewów z odilania zawiesin mułów A i B przedstawiono w tablicy 4.

**The cleaning of overflows from hydrocyclones in flotation machines**

Results of flotation of overflows from desliming of A and B fines are given in table 4.

Tablica 4  
Wyniki flotacji przelewów z węzła odilania zawiesin A i B. Koncentracja części stałych zawiesiny A wynosiła 20 g/dm<sup>3</sup>. Koncentracja części stałych zawiesiny B wynosiła 40 g/dm<sup>3</sup>

Table 4  
Results of cleaning of overflows from slurries A and B desliming by means of flotation. Example A – the feed concentration averages 20 g/dm<sup>3</sup>. Example B – the feed concentration averages 40 g/cm<sup>3</sup>

Typ maszyny flotacyjnej The type of flotation mashine	Oznaczenie mułu Notation of fines	Koncentrat Clean coal				Odpady Tailings		
		Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield	Uzysk, Recovery	Zawartość części stałych solids concentration	Zawartość popiołu Ash content	Wychód Yield
		[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	A <sup>a</sup> [%]	[%]
Wirnikowa Propeller type	A	67	12,56	64,58	90,90	9	84,05	35,42
Kolumnowa Column type	A	119	12,36	56,48	79,68	10	71,00	43,52
Wirnikowa Propeller type	B	73	19,96	52,14	75,64	26	71,93	47,86
Kolumnowa Column type	B	91,2	22,73	52,21	73,12	25	68,98	47,79

W pierwszym przypadku z przelewu, z odilania zawiesiny A, o koncentracji części stałych 20 g/dm<sup>3</sup> i zawartości popiołu około 38%, uzyskano koncentraty zawierające poniżej 13% popiołu. Zawartość popiołu w odpadach była wysoka i wynosiła odpowiednio 84,05% w przypadku maszyny wirnikowej i około 71% w przypadku maszyny kolumnowej. Dawka odczynnika wynosiła około 3 kg/Mg. Z przelewu z odilania zawiesiny B uzyskano koncentraty

In the first instance, from the overflow from fines A desliming, with concentration 20 g/dm<sup>3</sup> and with ash content 38%, clean coals of less than 13% ash content were obtained. Ash contents in tailings were high, respectively about 84% for the propeller machine and about 71% for the column machine. The dosage of flotation agent was about 3 kg/Mg. Cleaning the overflow from desliming of fines B, clean coals with ash, accordingly about 20% and

zawierające odpowiednio 19,96% i 22,73% popiołu. Zawartość popiołu w odpadach była wysoka i wynosiła około 70%. Uzysk substancji palnej we wszystkich przypadkach był wysoki i wahał się w przedziale 73,12 – 90,90%. Dawka odczynnika flotacyjnego w przypadku tej zawiesiny była stosunkowo wysoka i wynosiła 4 kg/Mg.

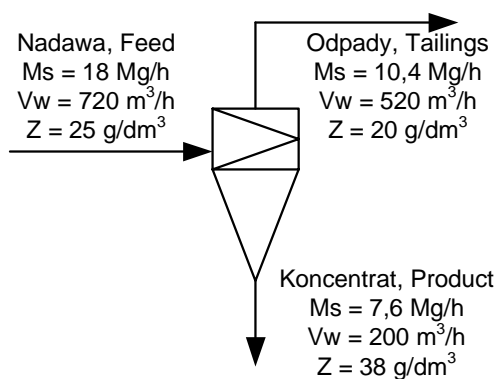
#### 4. Bilanse technologii wzbogacania mułów

Wyniki badań zamieszczone w tablicach 2 – 4, wykorzystano do sporządzenia nowych bilansów przepływów masowych i objętościowych nadawy i produktów rozdziału. Bilanse te, dla odpowiednich wariantów zamieszczone na rysunkach 1 – 4. Porównując zapopielenie produktów i ich wychody (tablice 2 – 4 i rysunki 1 – 4), należy stwierdzić, że wzbogacanie drobnoziarnistych mułów metodą flotacji jest pod względem technologicznym znacznie skuteczniejsze niż ich odilanie.

about 23%, were obtained. Ash contents in tailings were high, about 70%. Combustible matter recovery was high and amounted 73.12 – 90.90%. Here the dosage of flotation agent was relatively high and it averaged 4 kg/Mg.

#### 4. The balances of technologies of the finest coal cleaning

Results of tests performed given in tables 2 – 4 were used for elaboration of new balances of mass and volume flows: feeds and separation processes products (mass balances for air-dried basis). Those balances, for appropriate alternatives are presented in Figures 1 – 4. From the comparison of products ashes and products yields (tables 2 – 4, Figures 1 – 4) one can conclude that fines cleaning by means of flotation is from the technological point of view far much effective than fines desliming.



Rys. 1. Schemat technologiczno-maszynowy z bilansem dla technologii wzbogacania mułów w hydrocyklonach dla kopalni A i B

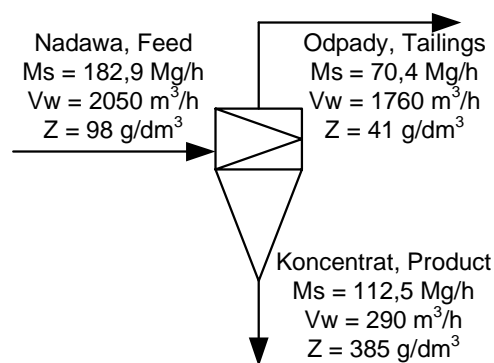
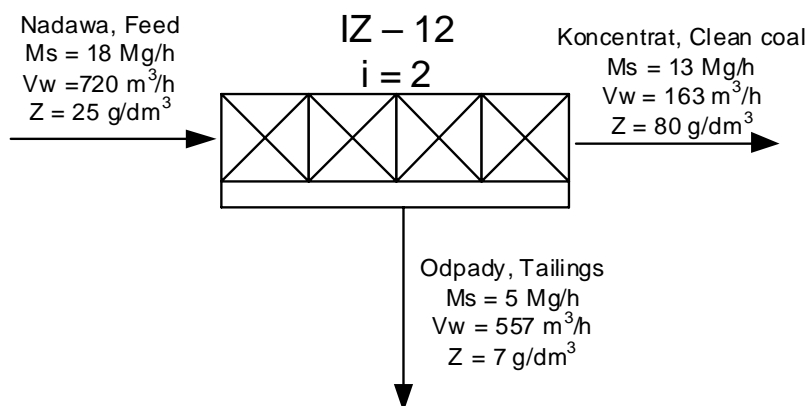
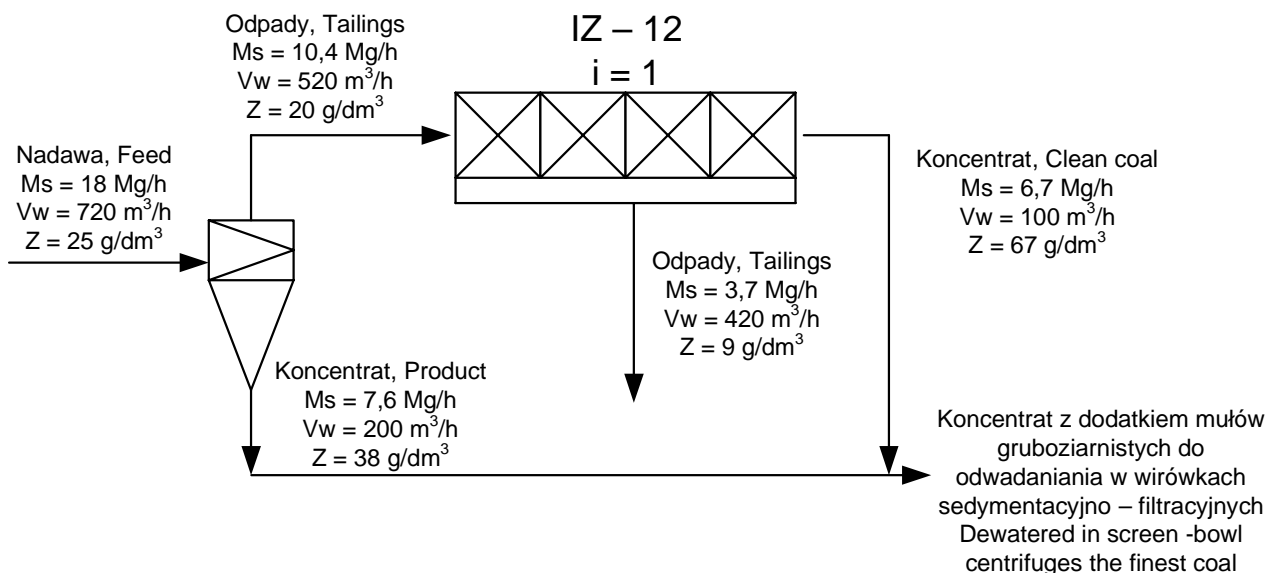


Fig. 1. The flowsheet with material and suspension balances for the technology of the finest coal cleaning in classifying hydrocyclones – collieries A and B



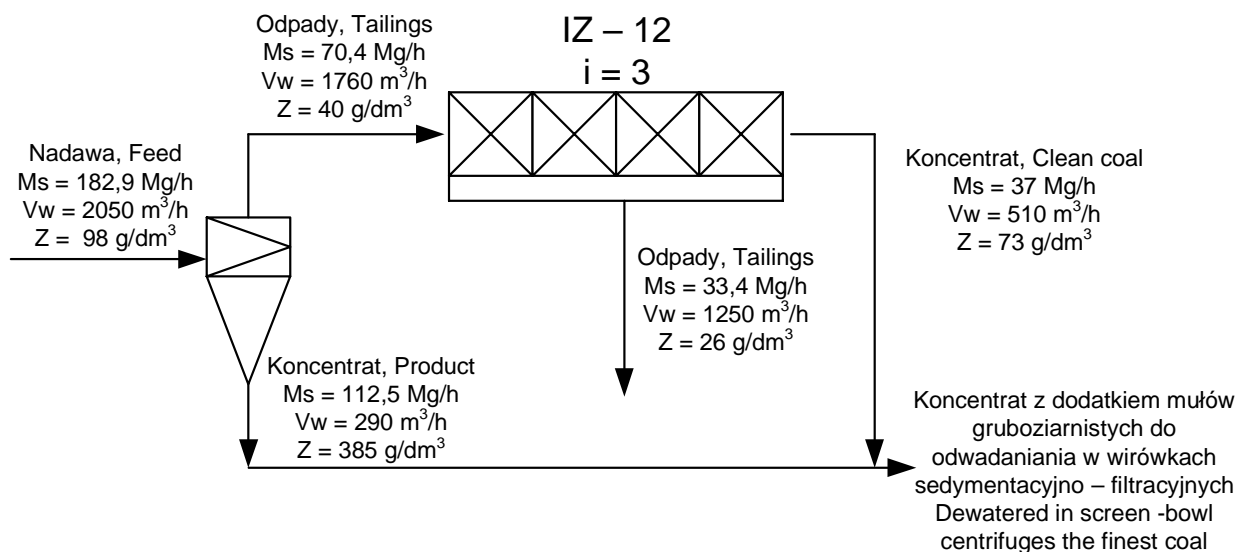
Rys. 2. Schemat technologiczno-maszynowy z bilansem dla technologii wzbogacania mułów w maszynach flotacyjnych dla kopalni A

Fig. 2. The flowsheet with material and suspension balances for the technology of the finest coal cleaning by flotation – collieries A



Rys. 3.  
Schemat technologiczno-maszynowy z bilansem dla technologii wzbogacania mułów w hydrocyklonach i w maszynach flotacyjnych dla kopalni A

Fig. 3.  
The flowsheet with material and suspension balances for the technology of the finest coal cleaning in classifying hydrocyclones and by means of flotation – collieries A



Rys. 4.  
Schemat technologiczno-maszynowy z bilansem dla technologii wzbogacania mułów w hydrocyklonach i w maszynach flotacyjnych dla kopalni B

Fig. 4.  
The flowsheet with material and suspension balances for the technology of the finest coal cleaning in classifying hydrocyclones and by means of flotation – collieries B

Zastosowanie flotacji zamiast procesu odilania, w przypadku mułu A, powoduje zwiększenie wychodu koncentratu mułowego, o zawartości popiołu poniżej 12%, o około 40%. Jednocześnie zmniejszeniu ulega ilość odpadów do zagospodarowania.

Gdyby węzeł odilania uzupełnić o węzeł flotacji produktu przelewowego, to z wydzielanych obecnie odpadów ilastych o zawartości popiołu około 38% można jeszcze wydzielić około 64% koncentratu

In the instance of the slurry A, the implementation of the flotation process, instead desliming, results in increasing of the clean coal, with ash less than 12%, yield about 40% comparing it with the product yield from desliming. Simultaneously, the amount of tailings, to be utilised, decreases.

Adding the flotation circuit to the desliming technology to clean a hydrocyclone overflow, it is possible to recover from the overflow 38% ash about



mułowego, o zawartości popiołu poniżej 13% i odpady zawierające ponad 85% popiołu. W przypadku mułu B, z produktu przelewowego można jeszcze wydzielić około 52% koncentratu mułowego, zawierającego około 23% popiołu i odpady o zawartości popiołu około 72%.

## 5. Ocena ekonomiczna analizowanych rozwiązań technologii wzbogacania mułów węgla energetycznych

W oparciu o wyniki badań technologicznych oraz uproszczone schematy technologiczne analizowanych wariantów technologicznych, dokonano skróconej analizy ekonomicznej opłacalności flotacji mułów węgla energetycznych. W tym celu oszacowano nakłady inwestycyjne i koszty wzbogacania mułów dla przyjętych wariantów technologicznych. Zastosowano prostą metodę oceny efektywności finansowej przedsięwzięcia inwestycyjnego, przyjmując następujące dane wyjściowe i założenia:

- pominięto nakłady na część budowlaną i koszty jej amortyzacji. Wynika to między innymi z faktu, że w obu przypadkach istnieje możliwość zabudowy węzła flotacji w obu analizowanych zakładach przerobczych, bez konieczności dobudowy dodatkowej kubatury,
- koszty: według stanu na I połowę 2005 roku,
- czas pracy zakładów przerobczych: 20 h/dobę i 250 dni/rok,
- zawartość wilgoci w odwodnionych odpadach mułowych  $W_{ex} = 35\%$ ,
- głębokie mechaniczne odwadnianie koncentratów mułowych z dodatkiem mułów gruboziarnistych w wirówkach sedymentacyjno – filtracyjnych do zawartości wilgoci przemijającej około 16%. Głębokie mechaniczne odwodnienie koncentratów mułowych do około 16% stworzy możliwość pełnego ich zagospodarowania w produktach miałowych płuczki,
- przyjęto, że dodatek mułów, nie zmieni parametrów jakościowych produktów finalnych płuczki. Mała zawartość popiołu w koncentratkach flotacyjnych i głębokie ich odwodnienie powinny raczej pozytywnie wpłynąć na parametry jakościowe produktów finalnych. Pomimo tego, ceny produktów handlowych przyjęto takie jak dla średnich parametrów miałów produkowanych w obu ZP,
- w zestawieniu nakładów inwestycyjnych uwzględniono nakłady na zakup flotowników i dodatkowych wirówek sedymentacyjno – filtracyjnych koniecznych do odwodnienia koncentratów flotacyjnych w praktyce wraz z dodatkiem mułu gruboziarnistego, do odpowiedniej zawartości wilgoci,

64% of clean coal of 13% ash. Ash in tailings was about 85%. In the instance of fines B it is possible to recover from the overflow about 52% of clean coal of 23% ash. Ash in tailings was about 72%.

## 5. Economic assessment of analysed alternatives of the finest power coals cleaning

Basing oneself on results of technological researches and on simplified technological flowsheets of alternative technologies, the shortened economic analyse of the profitability of flotation implementation was performed. The capital expenditures and operational costs for analysed alternatives were assessed. The simple method of investment enterprise financial effectiveness assessment was used. The following assumption and input data were taken:

- Capital expenditure for building and additional cubage were not considered, due to possibilities of building in flotation machines in both analysed CCPs without enlarging of cubage.
- Operational costs : according to process valid in the first half of 2005.
- CPPs worktime: 20 h per day and 250 days per year.
- Moisture content in dewatered tailings (free moisture)  $W_{ex} = 35\%$ .
- Deep mechanical dewatering of flotation concentrates in screen-bowl centrifuges with addition of coarse grains up to moisture content about 16% (free moisture) will enable addition of dewatered product to the smalls – commercial products of a smalls beneficiation plant of CPP.
- It was assumed that cleaned fines addition will not influence the quality of final smalls, despite the low ash content of obtained the clean coals. Coal product containing cleaned finest prices were taken like medium smalls prices in both analysed CPPs.
- The purchase of flotation machines and, where necessary, the purchase additional screen – bowl centrifuges for the fines dewatering (in practice with addition of coarse grains to obtained suitable moisture content in this component of commercial product) was included in capital expenditures,
- The decreasing of tailings utilisation costs and the increase of sales value due to the increase of the amount of product was taken into consideration for the purpose of the economic analysis. The tailings utilisation costs include transportation costs. They don't include

- uwzględniono zmniejszenie kosztów zagospodarowania odpadów oraz przyrost wartości sprzedaży węgla z tytułu przyrostu jego ilości. W kosztach zagospodarowania odpadów uwzględniono koszty ich transportu na składowisko bez opłaty ekologicznej, ponieważ w obu przypadkach odpady są do wykorzystania, do rekultywacji.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń zamieszczono w tablicy 5.

Tablica 5.  
Wyniki obliczeń efektywności ekonomicznej wprowadzenia do technologii analizowanych ZP węzłów flotacji (mln. zł/rok)

Wyszczególnienie Specification	Wariant II, kopalnia A Alternative II, Colliery A	Wariant III kopalnia A Alternative III, Colliery A	Wariant III kopalnia B Alternative III, Colliery B
Konieczne zakupy Necessary purchases	flotownik IZ - 12, szt.2 wirówka, szt.1 IZ-12 flotation machine – 2 pieces Centrifuge – 1 piece	flotownik IZ - 12, szt.1 wirówka, szt.1 IZ- 12 flotation machine – 1 piece Centrifuge – 1 piece	flotownik IZ - 12, szt.3 wirówka, szt.1 IZ- 12 flotation machine – 3 pieces Centrifuge – 1 piece
Nakłady inwestycyjne Capital expenditures	7,8	5,5	11,3
Koszty eksploatacyjne Operational costs	2,9	2	11,2
Spadek produkcji odpadów mułowych w stanie roboczym, Mg Drop of the tailings production, Mg	49 200	51 500	284 600
Oszczędności z tytułu zagospodarowania odpadów Savings due to tailings utilisation	0,3	0,3	1,7
Dodatkowa produkcja węgla handlowego w stanie roboczym, Mg Additional production of coal product (as received) Mg	32 100	39 900	220 200
Dodatkowa wartość sprzedaży węgla Additional sale value of coal product	5,9	7,4	31,8
Efekt ekonomiczny Economic effect	3,3	5,6	22,3
Prosty okres zwrotu, lata Pay-back period - the simple method, years	2,3	1	0,5

Przeprowadzona analiza efektywności ekonomicznej zastąpienia procesu odilania technologią flotacji w przypadku A lub uzupełnienie węzłów odilania o węzeł flotacji przelewów z baterii hydrocyklonów wykazała, że rozwiązania te są uzasadnione ekonomicznie. Wielkość uzyskanego efektu ekonomicznego wynika głównie z dodatkowej wartości sprzedaży w miazowych produktach handlowych flotokonzentratu w ilości od 32 100 – 220 200 Mg rocznie w zależności od wariantu. Flotokonzentrat ten, po odpowiednio głębokim odwodnieniu z dodatkiem mułów gruboziarnistych, co jest

ecological fee because in both instances wastes are used for reclamation.

The results of economic calculations are given in table 5.

Table 5.  
Results of calculation of economic effectiveness of implementation of flotation circuits to the existing, analysed, CPPs technologies (mln PLN/year)

The performed analysis of economic effectiveness of replacement of desliming by flotation (example of colliery A) or completion the desliming technology by the flotation circuit (example A and B) have pointed out economic justification of such enterprise. Economic effect results mainly from the greater value of sold product, due to introduction of 32,100 Mg to 220,000 Mg of flotation concentrate to the product per year, depending on the alternative considered. The flotation concentrate, after being deeply dewatered with the addition of coarse grains, what is possible in both analysed CPPs, can be

możliwe w kontekście technologii analizowanych ZP, może być w pełni zagospodarowywany w produktach handlowych. Oprócz zwiększenia ilości węgla handlowego, efekt ekonomiczny wynika również, z ograniczenia ilości wydzielonych odpadów i związanych z tym kosztów ich zagospodarowania. Prosty okres zwrotu koniecznych do poniesienia nakładów inwestycyjnych jest krótki i waha się w przedziale 0,5 – 2,3 roku w zależności od wariantu. Okres zwrotu zależy silnie od „skali” flotacji. Im większa jest ilość flotokoncentratu mułu drobnoziarnistego, tym efekt ekonomiczny jest bardziej zauważalny.

## 6. Wnioski

1. Do wzbogacania mułów węgla energetycznych w Polsce stosuje się bardzo chętnie proces odilania w hydrocyklonach. Realizacja w przemyśle tego procesu jest tania, ale uzyskiwane w tym procesie produkty odpadowe charakteryzują się najczęściej stosunkowo małą zawartością popiołu, co wiąże się ze stratami substancji palnej w odpadach.
2. W analizowanych przypadkach flotacji produktów odpadowych wydzielonych w procesie odilania o naturalnej koncentracji części stałych, można z nich odzyskać jeszcze około 50% masy jako koncentrat – potencjalny komponent produktów miałowych. Koncentrat taki zawiera poniżej 13% popiołu w przypadku mułu A i poniżej 20% popiołu w przypadku mułu B. Wydzielone koncentraty, po głębokim mechanicznym odwodnieniu, z dodatkiem mułów gruboziarnistych, w wirówkach sedymentacyjno – filtracyjnych, mogą być pełnowartościowymi składnikami produktów handlowych.
3. Zaproponowane technologie zastąpienia lub uzupełnienia procesu odilania technologią flotacji pozwalają zwiększyć wychód produktu handlowego, dzięki ograniczeniu strat substancji węglowej w odpadach. Następstwem tego jest też zmniejszenie kosztów odwodnienia i zagospodarowania wydzielonych odpadów.
4. Analiza ekonomiczna wykazała, że zaproponowane rozwiązania technologiczne dają dodatni efekt ekonomiczny. Wielkość tego efektu zależy głównie od ilości dodatkowo wyprodukowanego węgla handlowego i waha się w przedziale 3,3 – 22,3 mln zł/rok. Prosty okres zwrotu koniecznych do poniesienia nakładów inwestycyjnych jest krótki i waha się w przedziale 0,5 – 2,3 roku w zależności od wariantu.
5. Wzbogacone metodą flotacji muły pochodziły z węgla typu 31.2 i 32.1. Flotację takich mułów można prowadzić w taki sposób, że otrzymuje się bardzo wysoko zapopielone odpady, a uzys-

completely added to the main commercial products of smalls beneficiation plants. Despite the increase of value product, economic effect results also from decreased amount rejects (tailings) and decreased costs of the tailings utilisation. The pay-back period of necessary capital is short and it amounts half the year to 2.3 of the year, depending on the alternative. The pay-back period strongly depends on the “scale” of the implemented flotation process. The greater amount of cleaned fines more visibly the economic effect.

## 6. Conclusions

1. The desliming in hydrocyclones is used in Poland for fines cleaning very willingly. Operational costs of such process are low, but tailings obtained are of low ash content. Combustible matter losses result from it.
2. For analysed alternatives, the flotation of tailings with natural solids concentrations, results in recovery of 50% of its mass as a cleaned product – potential component of smalls. The cleaned coals contain less than 13% of ash in the instance of fines A and less than 20% of ash in the instance of fines B. Those clean coals, dewatered with the addition of coarse grains in screen bowl centrifuges, can constitute directly the component of commercial product of full value.
3. Proposed technologies of replacement of desliming by flotation or completion the desliming technology by the flotation circuit enable to increase the yield of product due to decreasing the losses of combustible matter in tailings. Lower costs of tailings dewatering and utilisation accompany it also.
4. The Economic analysis has pointed out, that proposed technologies application brings profits. The value of economic effect depends mainly on the amount of additionally produced product and amounts from 3.3 to 22.3 mln PLN/year, respectively to the alternative considered. Pay-back period, calculated by means of simple method is short and amounts from half the year to 2.3 of the year.
5. Cleaned fines have originated from coals of type 31.2 and 32.1. The flotation of such coal can be realised in such manner, that tailings are of high ash content, and clean coals are of not low but of sufficient ash content. The flotation processes, in these instances demand relatively great amounts of flotation agent dosages, but it is finally profitable process.

kane koncentraty charakteryzują się wystarczająco małymi zawartościami popiołu. Flotacja tego rodzaju mułów wymaga najczęściej zużycia dużych ilości odczynnika flotacyjnego, ale w bilansie ogólnym jest to opłacalne.

6. Jednym z mankamentów rynku węgla energetycznego są rozbieżności między wymaganiami jakościowymi sektora elektroenergetycznego a parametrami jakościowymi węgla wzbogaczonego. Flotacja mułów węgla energetycznych nie wpływa na pogłębienie tej rozbieżności, gdyż uzyskiwane koncentraty nie są bardzo niskopopiołowe. Wzbogacenie najdrobniejszych mułów wpływa natomiast korzystnie na ich odwadnianie i ułatwia homogenizację odwodnionych mułów w produktach miałowych.
7. Zastosowanie w praktyce przemysłowej zaproponowanych wariantów wzbogacania mułów węgla energetycznych wymaga w każdym przypadku szczegółowych badań technologicznych i analiz, w celu dostosowania technologii flotacji do właściwości mułów i istniejących rozwiązań techniczno – technologicznych.

6. One of the weaknesses of polish power coals market is divergences between quality demands of power sector and cleaned coal parameters. Power coal fines flotation doesn't deepen this divergence, because flotation concentrates are not of low ash content. Cleaning by means of flotation influences advantageously on fines dewatering processes and facilitates homogenization of dewatered fines in smalls.
7. The implementation, in practice, of proposed variances of power coal fines cleaning demands, in each case, performance of detailed tests and analyses, to readjust the flotation technology to the local fines characteristics and local techniques and technologies.

## Literatura — References

1. Pyka I. 2000: *Grawitacyjne metody wzbogacania – wzbogacanie drobnych ziaren węglowych (mułów węglowych)*. I-sza Szkoła Inżynierii Mineralnej nt.: „Przeróbka węgla kamiennego”, Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopalin, Brenna.
2. Pyka I. 2005: *Podstawy empirycznego modelu rozdziału ilościowo – jakościowego mułu węglowego w hydrocyklonie odilającym*. XI Konferencja nt.: „Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalin”, Szczyrk.
3. Pyka I. 2004: *Odilanie mułów węglowych w hydrocyklonach – teoria i praktyka*. Przegląd Górniczy, nr 12.
4. Pyka I. 2005: *Ocena rozdziału jakościowego w procesach odilania w hydrocyklonach*. Przegląd Górniczy, nr 2.
5. Sablik J., Brzezina R., Wierzchowski K. 1992: *Improving quality of power coals by flotation*. Colliery Guardian, 3.
6. Sablik J. 1998: *Flotacja węgla kamiennych*, Wydawnictwo GIG, Katowice.
7. Pyka I., Brzezina R., Sablik J., Aleksa H., Dyduch F. 2000: *Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania zmniejszania ilości drobnoziarnistych odpadów w procesach wzbogacania węgla energetycznego w Polsce*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna nt.: „Produkcja surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska”, Szczyrk.
8. GIG documentation No 13101077-370 and No 14205008-370 – not published.