



# Porównanie flotacji klasycznej i kolumnowej na przykładzie flotacji węgla kamiennego

## Classical and column flotation of black coal samples

Peter FEČKO <sup>1)</sup>, Vladimír CABLIK <sup>2)</sup>, Radim HAVELEK <sup>3)</sup>, Ivan KOLOMAZNIK <sup>4)</sup>,  
Barbara TORA <sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Prof. Ing., CSc.; Institut environmentálního inženýrství; Fakulta hornicko-geologická; Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republik; tel.: +420 597 323 575; e-mail: peter.fecko@vsb.cz

<sup>2)</sup> Ing., Ph.D.; Institut environmentálního inženýrství; Fakulta hornicko-geologická; Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republik; tel.: +420 597 324 040; e-mail: vladimir.cablik@vsb.cz

<sup>3)</sup> Doc. RNDr., Ph.D.; Katedra matematiky a deskriptivní geometrie; Celoškolská pracoviště; Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republik; tel.: +420 597 323 827; e-mail: radim.havelek@vsb.cz

<sup>4)</sup> Doc. Dr. Mgr.; Katedra matematiky a deskriptivní geometrie; Celoškolská pracoviště; Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republik; tel.: +420 597 324 128; e-mail: ivan.kolomaznik@vsb.cz

<sup>5)</sup> Dr hab. inż.; Katedra Przeróbki Kopalni i Ochrony Środowiska; Wydział Górnictwa i Geoinżynierii; Akademia Górniczo-Hutnicza; Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska; tel.: +48 12 617 21 89; e-mail: tora@agh.edu.pl

RECENZENCI: *ass. prof. dr Ljudmilla BOKÁNYI Ph.D., C.Sc.; dr hab. Jolanta Marciniak-Kowalska, prof. AGH*

### Streszczenie

Celem opracowania jest porównanie wyników klasycznej flotacji węgla z flotacją kolumnową. Badania przeprowadzono na próbkach węgla kamiennego z wybranych kopalń OKD (Ostrawsko-Karwinski Duly w Czechach – kopalnie Dukla, Darkov, CSM, CSA, Doubrava) i Polski – KWK Kleofas. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że zarówno w wyniku flotacji klasycznej jak i kolumnowej można uzyskać koncentraty węgla koksującego o założonej jakości.

Słowa kluczowe: *flotacja, flotacja kolumnowa, węgiel kamienny*

### 1. Wprowadzenie

Węgiel jest surowcem który znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach. Na początku XXI wieku węgiel nabrał znaczenia uniwersalnego: jest wykorzystywany w metalurgii, energetyce, chemii i wielu innych gałęziach przemysłu.

Obecnie górnictwo węgla kamiennego staje przed wyzwaniem odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na surowce naturalne, których zasoby są nieodnawialne.

Rozwój górnictwa węglowego zależy zarówno od warunków międzynarodowych jak i krajowych. Jego ograniczenia wynikają z konieczności dostosowania przemysłu do zobowiązań międzynarodowych związanych z ograniczeniem emisji dwutlenku siarki do atmosfery. Wyzwaniem dla przemysłu węglowego jest zwiększenie wydobywania przy ograniczeniach ekologicznych. Jednym ze sposobów jest doskonalenie przeróbki węgla dla optymalnego wykorzystania substancji węglowej.

### Summary

The objective of the paper was a comparison of classical and column flotation on samples of black-coal slurries from selected localities of OKR and Poland. Namely they are: Dukla Mine, Darkov Mine, CSM Mine, CSA Mine, Doubrava Mine and Kleofas Mine. The acquired results imply that the methods of classical and column flotation are suitable for flotation of the slurries in question as all the tested black-coal slurries from OKR and Poland are cokeable coals with a high flotability.

Key words: *flotation, column flotation, black coal*

### 1. Introduction

Coal is a raw material mined for the purposes of numerous industries. At the beginning of the 21st century, the global significance of coal for the civilization is universal. It is used in the metallurgy, power-engineering, chemistry and many other industrial branches.

Currently, mining of black coal is stagnating despite the fact that the consumption of industrial raw materials, the natural resources of which are not renewable and depletable by human action, is increasing.

The level of slump in the coal mining is dependent on the development of both international and national conditions. Another significant factor having an influence on this is the fulfilment of the international agreement on gradual reduction of sulphur oxides released into the atmosphere. There is a question how to deal with the issues in connection with the slump in coal mining. One possibility is as perfect preparation of the mined coal as possible as well as maximum utilization of its combustible component.

Taka tendencja stwarza nowe wyzwanie dla przeróbki węgla – przygotowanie i racjonalne wykorzystanie drobnych frakcji węgla powstających w procesie jego wzbogacania. Powstająca duża ilość najdrobniejszych klas ziarnowych nie poddaje się wzbogacaniu klasycznymi metodami. Najdrobniejsze ziarna opuszczają układ wzbogacania wraz ze zrzucaną wodą, pogarszają proces sedymentacji, filtracji, zanieczyszczają wodę obiegową i powodują straty składników użytecznych – szlamy odwadniane w osadnikach lub stawach osadowych pozostają niewykorzystane.

Flotacja jest jedną z metod wzbogacania surowców pierwotnych i wtórnych, zapewniająca rozwiązanie trudnego problemu jakim jest efektywne, kompleksowe wykorzystanie surowców. Flotacja jest metodą wzbogacania, która może być wykorzystana, między innymi, do wzbogacania drobno uziarnionych, niejednorodnych odpadów powstających ze wzbogacania węgla kamiennego.

Flotacja jest stosowana do wzbogacania drobnych ziaren powstających w wyniku kruszenia się węgla w procesie urabiania, transportu i przeróbki. W praktyce flotację stosuje się do wzbogacania węgla koksujących. W układach wzbogacania flotacja jest metodą uzupełniającą inne metody wzbogacania, jej znaczenie rośnie ze wzrostem udziału klas bardzo drobnych, w wyniku wdrażania coraz wyższego stopnia mechanizacji.

Proces flotacji może służyć do wzbogacania odpadów węglowych zdeponowanych w stawach osadowych. Muły węglowe zdeponowane w stawach osadowych nie były do tej pory wykorzystywane. Dzięki zastosowaniu flotacji można odzyskać drobne frakcje węgla, które do tej pory trafiały do odpadów.

Tym sposobem znaczna część drobno uziarnionych odpadów może być skutecznie wzbogacona. Flotacja selektywna może być operacją końcową bądź wchodzić w skład złożonego schematu technologicznego przygotowania surowca do wzbogacania.

Celem badań było przeprowadzenie porównania wyników wzbogacania węgla w klasycznym procesie flotacji oraz w flotacji kolumnowej. Próbki do badań pochodziły z kopalń OKD (Ostrawsko-Karwińskie Duly) oraz Polski.

Analizie poddano próbki węgla z kopalń: Darkov, Doubrava, CSM, Dukla, CSA oraz Kleofas.

Badane próbki węgla charakteryzowały się zawartością pierwiastka węgla od 2,76% (Kopalnia Dukla) do 24% (Kopalnia Doubrava). Do badań wybrano próbki różniące się składem mineralogicznym. Badane próbki reprezentowały węgle koksujące i energetyczne.

This trend represents new objectives for mineral dressing – to prepare and comprehensively use the finest coal fractions that originate from the processes of black coal preparation. The created large share of slurry fractions cannot be processed applying classical dressing methods. Those fractions then leave the preparation plant unused, they get into the circuit water of waste water treatment plants, they deteriorate the processes of sedimentation, filtration, water courses get polluted and there are losses in valuable raw materials as coal slurries are dewatered in sludge beds or lagoons and they remain unutilized.

Thanks to flotation as a technological method of dressing mineral resources and secondary raw materials it is possible to deal with an uneasy task of ensuring an effective, practical and complex utilization of materials sources. Flotation belongs among methods which permit processing of fine, non-homogeneous black-coal slurry.

Coal flotation deals with cleaning the finest fractions of mined coal that originate due to abrasion or disintegration in the course of coal mining and preparation. In practice, it is used only for preparation of coking coal. Flotation in coal preparation is a complementary method of other classification processes but very important one and often necessary, especially in connection with ever increasing share of fine fractions due to an extended degree of mechanization of coal mining.

Along with improving the selectivity of flotation it is currently possible to make use of old dumps as the source of material. There used to be no utilization for such dumps before. In the course of flotation very fine fractions get separated, which would otherwise transfer into waste. Next, it is possible to apply flotation to retrieve coal for power-engineering purposes from old settling pits.

This way a significant share of waste constituent is removed from the pulp and thus it gets enriched. Selective flotation can be a final cleaning method or a part of a complex preparation process, which leads to preliminary enrichment of pulp before further preparation process.

The paper deals with a comparison of classical and column flotation in the preparation of black-coal slurry from a number of localities of Ostrava-Karvina District (OKR) and Poland.

The flotation tests made use of black-coal slurries from the following localities: Darkov Mine, Doubrava Mine, CSM Mine, Dukla Mine, CSA Mine and Kleofas Mine.

On carry out the investigation on the coal samples with carbon content between 2,76% (Dukla Mine) and 24% (Doubrava Mine). On chose the sample with different mineralogical composition. The cokeable and energetic coals were represented.

Przeprowadzono analizę mineralogiczno-petrograficzną badanych próbek oraz porównanie wyników obu metod flotacji – klasycznej i kolumnowej.

## 2. Analiza mineralogiczno-petrograficzna badanych próbek

Próbki szlifów do analizy mineralogicznej przygotowano zgodnie z czeską normą CSN ISO 7404-2.

Analizę szlifów do analizy macerałów przeprowadzono zgodnie z czeską normą CSN ISO 7404-3. Analizy petrograficzne węgla przeprowadzono na mikroskopie NU 2 firmy Carl Zeiss Jena, w cieczy immersyjnej w następujących warunkach  $n_D = 1,515$ ,  $\lambda = 546$  nm i temperaturze 20°C. Na zdjęciu pokazano powierzchnię zglądu węgla o wielkości 50  $\mu$ m. Analizy petrograficzne przeprowadzono w laboratoriach Instytutu Geologii Inżynierskiej w VSB TU w Ostrawie.

### 2.1. Analiza mineralogiczno-petrograficzna węgla z kopalni Darkov

Grupa macerałów wityrnytu jest reprezentowana przez małe ziarna kolinitu. Kolinit tworzą trimaceryt, klaryn, wityrnytyt. Telinit występuje rzadziej. W próbce nie stwierdzono jasnych oksydacji na ziarnach kolinitu. Udział procentowy grupy wityrnytu wznosi 71,2%, składników nieorganicznych jest 77,0% w przeliczeniu na masę węgla.

Grupę liptynitu stanowi mikrosporynit. Kutynit występuje rzadziej. Rezynit i makrosporynit występują okazjonalnie. Macerały wstępują w durycie, trymacerycie i klarycie. Udział tych grup w masie węgla jest w przybliżeniu identyczny i wynosi odpowiednio 5,1 i 5,6%.

Grupę inertynitu jest całkiem liczna. Występują przede wszystkim makrynit, mikrynit jako części durytu, trimacerytu i wityrnytytu. Fuzynit występuje jako fuzyt w postaci oddzielnych ziaren. Udział grupy inertynitu wznosi 16,2%, uwzględniając substancje nieorganiczną 17,5%.

Substancje nieorganiczne są reprezentowane przez minerały ilaste często tworzące karbargiryt, rzadziej oddzielne ziarna. Zaobserwowano węglany – szczególnie syderyt. Zawartość pirytu nie była wysoka – 1,5%. Występuje głównie karbopiryt w masie węgla (Rys. 1) Występowanie niezidentyfikowanej substancji nieorganicznej jest marginalne.

Jako mikrolitotypy stwierdzono mikrolitotypy monomaceralne i bimaceralne oraz trimaceralne. Były to przede wszystkim monomacerały – wityrnytu, fuzynitu. Jako bimaceralne mikrolitotypy występują większe ilości durytu i wityrnytytu niż klarytu. Ziarna trymacerytu wstępują często.

The paper lists mineralogical-petrographic characteristics of the tested samples and the results of both classical and column flotation.

## 2. Mineralogical-petrographic analysis of samples

The coal polished sections were prepared according to CSN ISO 7404-2 standard.

The grain polished sections underwent a maceral analysis according to CSN ISO 7404-3 standard. All the coal-petrographic analyses were carried out using a NU 2 microscope of C. Zeiss Jena company, in oil immersion at the following conditions:  $n_D = 1.515$ ,  $\lambda = 546$  nm and the temperature of 20°C. On the coal polished section photographs the enlargement scale is 50  $\mu$ m. The petrographic analyses were carried out in the laboratories of the Institute of Geological Engineering at VŠB-TU in Ostrava.

### 2.1. Mineralogical-Petrographic Analysis of Darkov Mine Coal

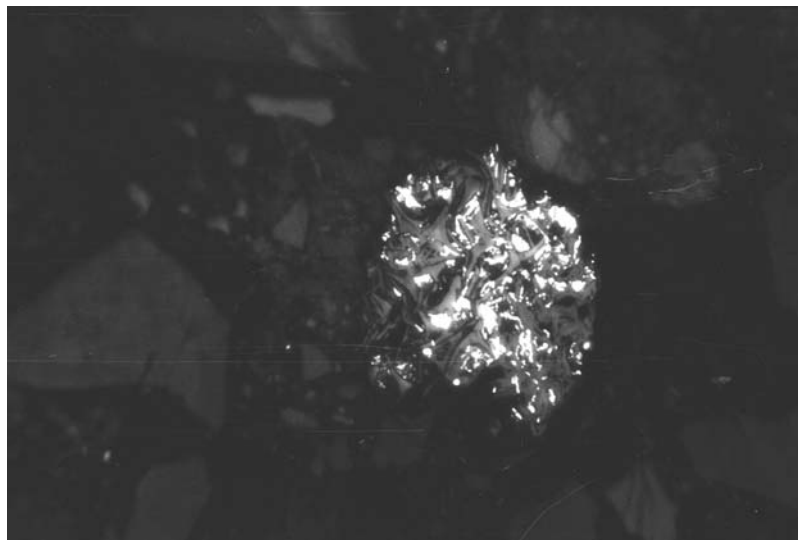
The vitrinite maceral group was predominantly represented by small grains of colinite. Colinite made part of trimacerite, clarain and vitrinertite. Telinite was less frequent. In this sample, no light oxidation rims were perceived on the colinite grains. The percentage abundance of this vitrinite group was 71.2%, including inorganic matter, which was 77.0% with a recalculation to clear coal mass.

The liptinite group was mainly made up by microsporinite. Cutinite was less frequent. The occurrence of resinite and macrosporinite was exceptional. Those macerals were contained in durite, trimacerite and clarain. The percentage abundance of this group was approximately identical including coal mass and without it 5.1% and 5.6% respectively.

The inertinite group was quite abundant. In the first place, it was made up by macrinite and micrinite, as part of durite, trimacerite or vitrinertite. Fusinite then performed as fusain in the form of separate grains. The percentage abundance of the inertinite group was 16.2%, including inorganic matter and with the recalculation to clear coal mass its content rose to 17.5%.

The inorganic matter was represented by clay minerals that often formed carbargillite, less separate grains. Next, carbonates were perceived – especially siderite. The content of pyrite was not high (1.5%). It occurred mainly as carbopyrite, in a massive form (Fig. 1). The occurrence of closely unidentifiable inorganic matter was marginal.

As for microlithotypes, there were monomaceral, bimaceral as well as trimaceral microlithotypes. These were predominantly vitrite and fusain from monomaceral ones. As for bimaceral microlithotypes, there was more durite and vitrinertite than clarain. Trimacerite grains were frequent.



Rys. 1  
Mineralizacja pirytowa węgla

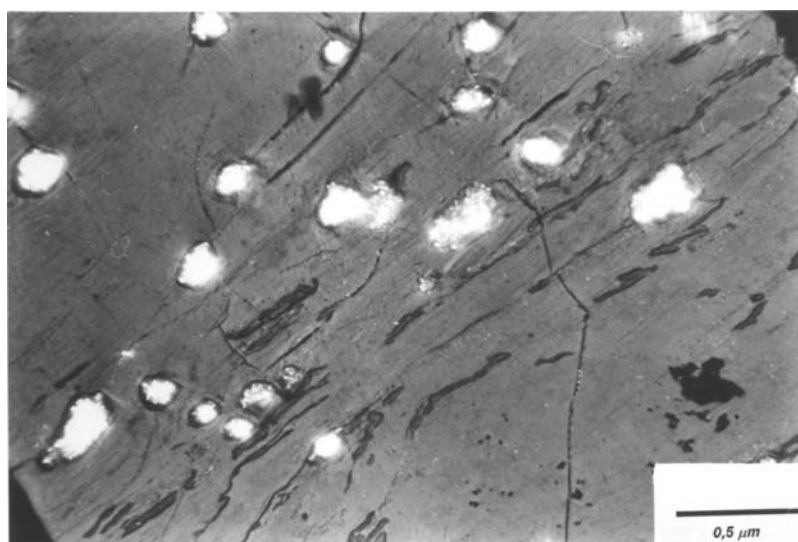
Fig. 1  
Coal mass mineralized by pyrite

## 2.2. Analiza mineralogiczno-petrograficzna węgla z kopalni Dukla

Z analizy petrograficznej próbek węgla z kopalni Dukla wynika, że próbki zawierają dużą ilość substancji węglowej. Węgiel składa się w 81,8% z wityritu, 8,0% liptynitu, i 3,2% inertynitu. Z reguły są to oddzielne ziarna z mniej lub bardziej odmienną porowatą strukturą, składającą się ze skupień ziaren w masie siarczanów. Na rys. 2 przedstawiono ziarno siarczku i węglanu żelaza. Siarka była zaobserwowana również w niektórych ziarnach węgla. Stwierdzono wysoką zawartość siarczanów żelaza i występowanie dużych ziaren siarczanów.

## 2.2. Mineralogical-Petrographic Analysis of Dukla Mine Coal

It is apparent from the results of petrographic analyses of coal samples from Dukla Mine that the black coal from Dukla Mine settling pits contains a sufficient amount of coal mass. The coal has 81.8% of vitrinite, 8.0% of liptinite and 3.2% of inertinite. As a rule, they are isolated grains with more or less distinct porous structure, which suggests that these are clusters of euhedrs jointed by massive sulphide. Figure 2 depicts a grain formed by Fe sulphide and carbonates. Euhedral sulphate was also observed in certain coal grains. There is a higher content of Fe sulphate and larger size of massive sulphate grains.



Rys.2  
Siarka w klarycie

Fig. 2  
Euhedral sulphide in clarsain

### 2.3. Analiza mineralogiczna i petrograficzna węgla z kopalni CSA

Grupa macerału wityrynytu jest reprezentowana przez kolinit i telinit. Miejscami występują strzępy wirodetrynytu. Wityrynit przeważnie występuje w masie klarynytu. Ziarna kolinitu są zmineralizowane przez minerały ilaste lub piryt. Zawartość tych grup wynosi 78,6%, z czego 86,9% w czystej substancji węglowej.

Grupa macerałów inertynitu ma nieznacznie wyższą zawartość niż grupa liptynytu. W tym przypadku przeważa mikrynit tworząc duryt, trimaceryt i fuzynit (Rys.3). Drobne ziarna mikrynytu wypełniają przestrzenie w telinicie. Udział procentowy grup inertynitu wznosi 7,5%, uwzględniając materię nieorganiczną 8,1% (w przeliczeniu na czystą masę węgla).

Materia nieorganiczna z uwzględnieniem pirytu wstępuje najczęściej w formie framboidalnej. Wystąpił w formie euhedralnej lub z minerałami ilastymi jako karbopolimineryt. Udział procentowy 2,6%. Węglany są reprezentowane przez syderyt o zawartości 0,3%. Minerały ilaste występują w dwu formach jako karbopolimineryt oraz jako karbargilit 6%. Poza tym występują minerały, które nie są identyfikowane pod mikroskopem. Ich zawartość procentowa wynosi 1,7%.

Spośród mikrolitotypów występują monomaceralne, bimaceralne oraz trójmacerałowe. Pośród bimacerałów przeważa klaryt, pośród monomacerałów wityryt, rzadziej inertyt i sporadycznie liptyt.

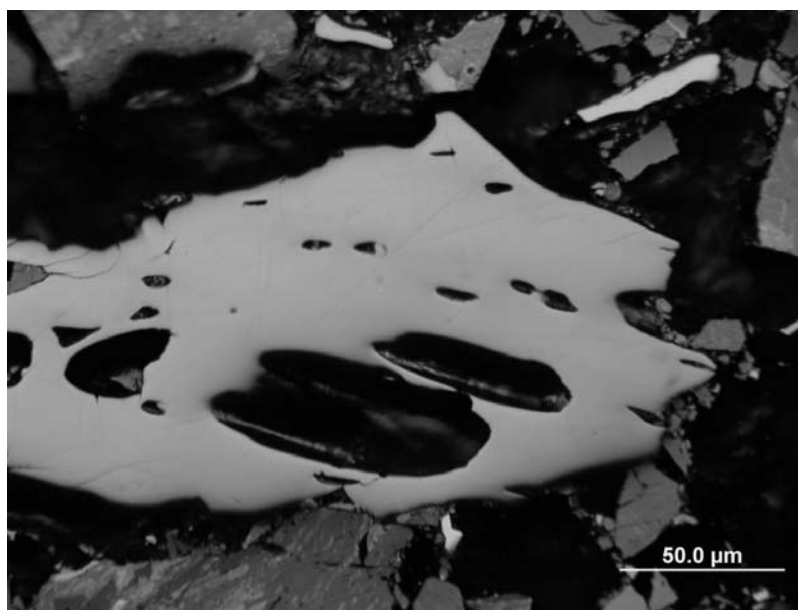
### 2.3. Mineralogical-Petrographic Analysis of CSA Mine Coal

The maceral group of vitrinite was represented by colinite and telinite. In places, there were also shreds of vitrodetrinite. Vitrinite predominantly formed the ground mass of clarain. The colinite grains were frequently mineralized by clay minerals or by pyrite. The percentage abundance of this group was 78.6%, including inorganic matter, which is 86.9% in clear coal mass.

The maceral group of inertinite had slightly higher percentage abundance than that of the liptinite group. In this case, macrinite prevailed making part of durite or trimacerite and fusinite (Fig. 3). Fine-grained micrinite filled the cell space in telinite. The percentage abundance of the inertinite group was 7.5%, including the inorganic matter and 8.1% with the recalculation to clear coal mass.

The inorganic matter included pyrite that was frequent in its framboidal form. Next, it also occurred in the euhedral form or along with clay minerals as carbopolyminerite. Its percentage abundance was 2.6%. Carbonates were represented by siderite with 0.3%. Clay minerals occurred both in carbopolyminerite, as stated above, as well as in carbargillite – 6%. Next, there was other mineral matter which was not identifiable under a microscope. Its percentage abundance was 1.7%.

As for microlithotypes there were monomaceral, bimaceral as well as trimaceral microlithotypes. From bimaceral ones it was predominantly clarain, from monomacerals vitrite, rarely inertite and exceptionally liptite.



Rys. 3  
Fuzynit

Fig. 3  
Fusinite

#### 2.4. Analiza mineralogiczna i petrograficzna węgla z kopalni CSM

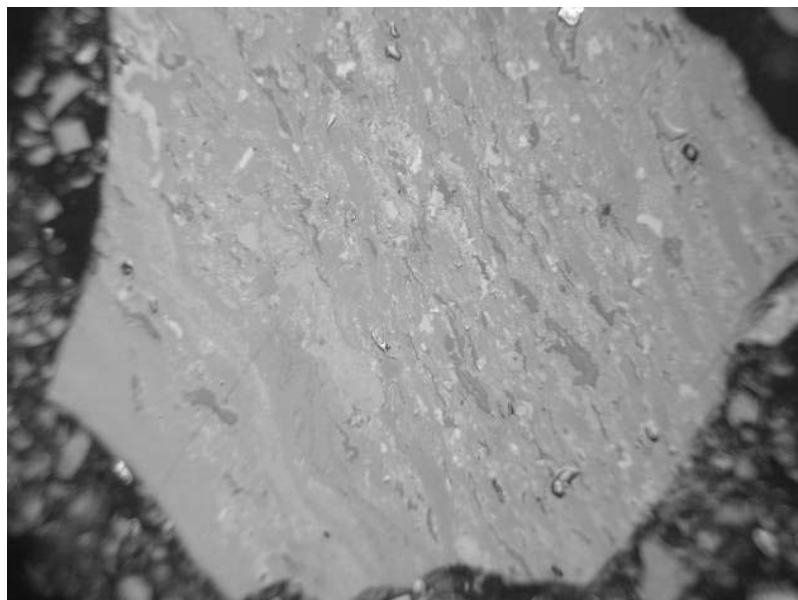
W próbkę przeważają macerały grupy wityrinitu tj. 70,1%, uwzględniając materię nieorganiczną oraz 74,3% w przeliczeniu na czysty węgiel. Ziarna kolinitu występują najczęściej. Telinit oraz wirodetrynit występują mniej licznie.

Dokładnie grupa liptynitu jest reprezentowana przez mikrosporynit. Kutynit występuje rzadziej. W niektórych ziarnach występują znaczne skupiska liptynitu, który przeszedł w liptyt. Zawartość procentowa tych grup wynosi 14%, w czystym węglu 16,3%.

Grupę inertynitu tworzą makrynit i mikrynit oraz częściowo duryt, trimaceryt i wityrnytyt. Fuzynit często tworzą oddzielne ziarna fuzytu. Zawartość procentowa tych grup wynosi 8,2% uwzględniając materię nieorganiczną i 9,4% w przeliczeniu na czysty węgiel.

Materia nieorganiczna składa się z węglanów, występujących jako karbankeryt lub oddzielne ziarna o zawartości 2,1%. Obserwuje się minerały ilaste, w których występuje wityrnytyt oraz karbargilit (3,6%). Zawartość pirytu nie jest wysoka i wynosi 1,8%. Głównie w masie węglowej. Zawartość niezidentyfikowanej materii nieorganicznej nie przekracza 0,2%.

Jako mikrolitotypy występują monomacerały, bimacerały oraz trimacerały. Są to przede wszystkim wityrnytyt i fuzyt. Spośród bimacerałów występują klarait i duryt, w mniejszej ilości wityrnytyt. Ziarna trimacerytu (rys.4) występują w mniejszej ilości.



Rys. 4  
Nie rozdrobione ziarno trymacerytu

#### 2.4. Mineralogical-Petrographic Analysis of CSM Mine Coal

In this sample, the most abundant was the maceral group of vitrinite, i.e. 70.1%, including the inorganic matter and 74.3% in clear coal mass. Colinite grains were the most frequent. Telinite and vitrodetrinite occurred on a less common basis.

Strictly speaking, the liptinite group was represented by microsporinite. Cutinite was less frequent. In some grains there was such a significant agglomeration of liptinite that it transferred into liptite. The percentage abundance of this group was 14%; in clear coal its content rose to 16.3%.

The group of inertinite was made up by macrinite and micrinite, as part of durite, trimacerite or vitrinertite. Fusinite then often formed separate grains as fusain. The percentage abundance of this group was 8.2%, including the inorganic matter and 9.4% with the recalculation to clear coal mass.

The inorganic matter comprised of carbonates in the form of carbankerite or separate grains with 2.1%. Next, clay minerals were monitored, which along with vitrinite provided carbargillite (3.6%). The content of pyrite was not high (1.8%). It mainly occurred in a massive form. The occurrence of closely unidentifiable inorganic matter was as low as 0.2%.

From the point of view of microlithotypes, there were monomaceral, bimaceral and trimaceral microlithotypes. These were primarily vitrite and fusain. From bimaceral ones they were clarait and durite, less of vitrinertite. The grains of trimacerite were of a lower occurrence (Fig. 4).

Fig. 4  
Unbroken grain of trimacerite

## 2.5. Analiza mineralogiczna i petrograficzna węgla z kopalni Dobrawa

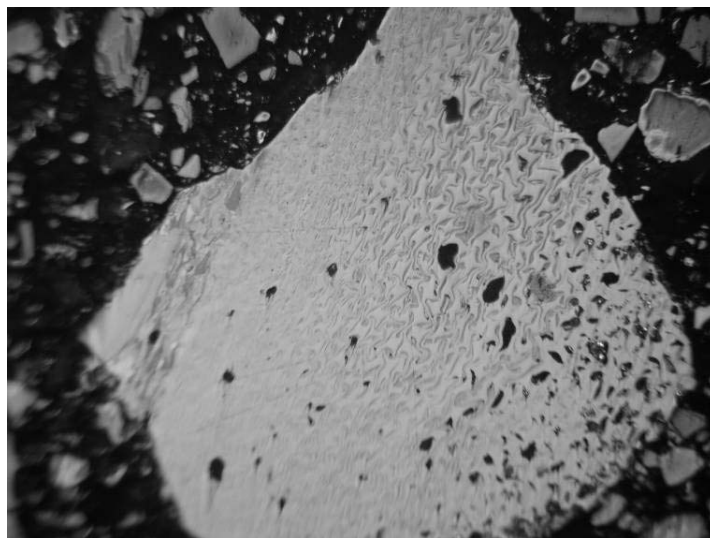
Grupa macerałów wityrynytu jest reprezentowana przez kolinit oraz wirodetrynit w stosunkowo dużej ilości. Zawartość kolinitu jest związana z minerałami ilastymi i jest formowana przez masę klarytu, który jest często makrosporynitem takim jak kutynit. Niektóre ziarna kolinitu występują w szczelinach lub otaczają inne ziarna. Udział procentowy tych grup wynosi 47,1% uwzględniając materię nieorganiczną, w przeliczeniu na czysty węgiel wznosi 65%.

Liptynit jest reprezentowany przez makrosporynit, rzadziej przez mikrosporynit. Kutynit występuje w postaci skupień zwłaszcza w kolinicie. Rzadko przestrzenie są wypełnione rezynitem. Udział procentowy tych grup wynosi 11,7% (uwzględniając materię nieorganiczną) oraz 16,2% w przeliczeniu na czysty węgiel.

Grupa inertynitu jest nieznacznie częstsza. Przeważa makrynit, składający się z durytu i fuzynitu. (Rys. 5). Najczęściej drobne ziarna mikrynytu wypełniają przestrzenie w telinicie. Sporadycznie występuje semifuzynit i sklerotynit. Udział procentowy grup inertynitu wynosi 13,7% uwzględniając materię nieorganiczną i 18,9% w przeliczeniu na czysty węgiel.

Materia nieorganiczna składa się z minerałów ilastych, które często wypełniają pęknięcia ziaren kolinitu. Udział procentowy 15,1%. Piryt występuje w formie framboidalnej. (3,7%). Węglany reprezentuje syderyt. Ilość nieidentyfikowalnej pod mikroskopem materii wynosi 13,6%.

Jako mikrolitotypy występują monomacerały, bimacerały oraz trimacerały. Spośród bimacerałów występują klaryt i wityrynertyt, jako monomacerał występuje wityryt.



Rys. 5  
Fuzynit

## 2.5. Mineralogical-Petrographic Analysis of Doubrava Mine Coal

The maceral group of vitrinite was predominantly represented by colinite and also by vitrodetrinite in a considerably abundant amount. The occurrence of colinite is tied with clay minerals and it formed the ground mass of clarain, which was often macrospore-like or cutinite-like. With some colinite grains there were light rims that also occurred around fissures. The percentage abundance of this group was 47.1%, including the inorganic matter. With the recalculation to clear coal mass, its content increased to 65%.

In case of liptinite, it was mainly formed by macrospore, which was significantly more abundant than microspore. In places, cutinite agglomerated, especially in colinite. In rare cases, the cell space was filled with resinite. The percentage abundance of this group was 11.7% (including the inorganic matter) and 16.2% with the recalculation to clear coal mass.

The inertinite group was slightly more abundant. From this group, macrinite prevailed, which made part of durite and fusinite (Figure 5). As a rule, fine-grained micrinite filled the cell space in telinite. There was sporadic semifusinite and sclerotinite was very rare. The percentage abundance of the inertinite group was 13.7%, including the inorganic matter and 18.9% with the recalculation to clear coal mass.

The inorganic matter comprised of clay minerals which often filled the broken grains of colinite. Their percentage abundance was 15.1%. Pyrite occurred in a framboidal form (3.7%). Carbonates were represented by siderite. Other mineral matter which was not identifiable under a microscope had 13.6%.

As for microlithotypes, there were monomaceral, bimaceral and trimaceral microlithotypes. From the bimacerals, there were mainly clarain and vitrinite, and from the monomacerals it was vitrite.

Fig. 5  
Fusinite

## 2.6. Analiza mineralogiczna i petrograficzna węgla z kopalni Kleofas

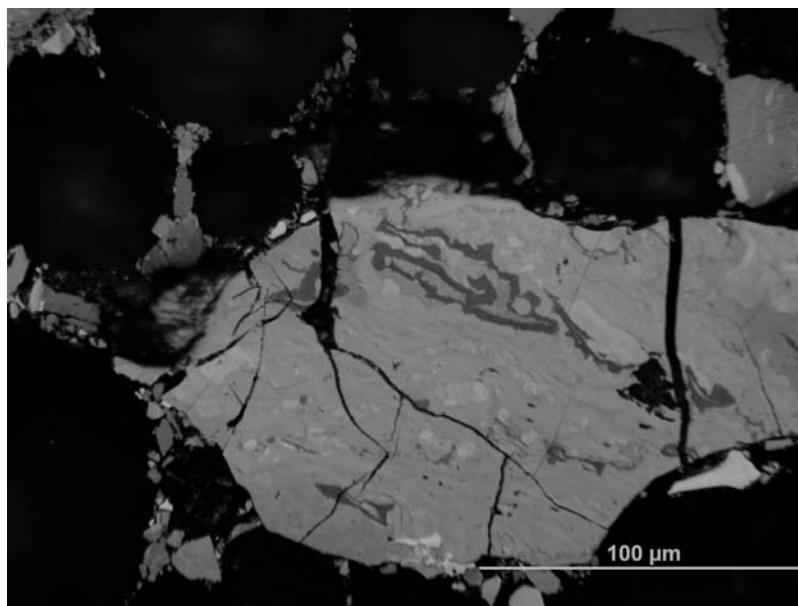
Grupa minerałów wityrnytu składa się przeważnie z kolinitu, masę węglową tworzą klaryt oraz częściowo trimaceryt. Równie często występuje telinit. Witrodetrinit był obserwowany w znacznie mniejszych ilościach. Procentowa zawartość tych grup wynosi 61,5% uwzględniając materię nieorganiczną, 66,3% w przeliczeniu na czysty węgiel.

Grupa liptynitu jest reprezentowana przez mikrosporynit, kutynit (rys.6), w mniejszej ilości makrosporynit oraz sporadycznie rezynit. Zawartość procentowa tych grup wznosi 19,2% tj. w czystym węglu 21,2%.

W grupie macerałów inertynitu często występuje mikrynit. Fuzynit tworzy oddzielne ziarna fuzytu. Inertynit jest często spotykany w trymacerycie lub durycie. Udział procentowy tych grup wynosi 4,1% uwzględniając materię nieorganiczną, czyli 11,7% w stosunku do czystego węgla.

Materia nieorganiczna składa się z minerałów ilastych, które często występują jako wtrącenia w kolincie (karbargilicie). Ich udział procentowy wynosi 4,1. Węglany tworzą oddzielne ziarna lub karbopolimineryt (2,4%). Zawartość pirytu jest niższa, wynosi 1,6%. Nieidentyfikowalna masa nieorganiczna stanowi mniej niż 0,5%.

Jako mikrolitotypy występują monomacerały, bimacerały oraz trimacerały. Są to przede wszystkim wityr i fuzyt. Spośród bimacerałów występują klaryt i duryt, w mniejszej ilości wityrnytyt. Ziarna trimacerytu (rys.4) występują w mniejszej ilości.



Rys.6  
Kutynit w klarycie

## 2.6. Mineralogical-Petrographic Analysis of Kleofas Mine Coal

The maceral group of vitrinite was made up by prevailing colinite, which formed the ground mass of clarain or it made part of trimacerite. Telinite was also frequent. Vitrodetrinite was also observed, but significantly less abundant. The percentage abundance of this group was 61.5%, including the inorganic matter and 66.3% with the recalculation to clear coal mass.

The liptinite group was represented by microsporinite, cutinite (Figure 6), less by macrosporinite and by sporadic resinite. The percentage abundance of this group was quite high, i.e. 19.2%; in clear coal it was 22.1%.

The maceral group of inertinite occurred on a less common basis with very frequent macrinite. Fusinite formed separate grains as fusain. Inertinite was often part of trimacerite or durite. The percentage abundance of this group was 10.7%, including the inorganic matter and 11.7% with the recalculation to clear coal mass.

The inorganic matter mainly comprised of clay minerals, which showed as fine strips in colinite (carbargillite). Their percentage abundance was 4.1%. Carbonates formed separate grains or carbominerite (2.4%). The content of pyrite was lower; its percentage abundance was 1.6%. Unidentifiable inorganic matter had as low abundance as 0.5%.

As for microlithotypes, there were monomaceral, bimaceral as well as trimaceral microlithotypes. There were mostly vitrite and fusain. From bimaceral microlithotypes clarain prevailed (frequent as cutinite-like), durite was less often contained. The grains of trimacerite were considerably abundant.

Fig. 6  
Cutinite in clarain

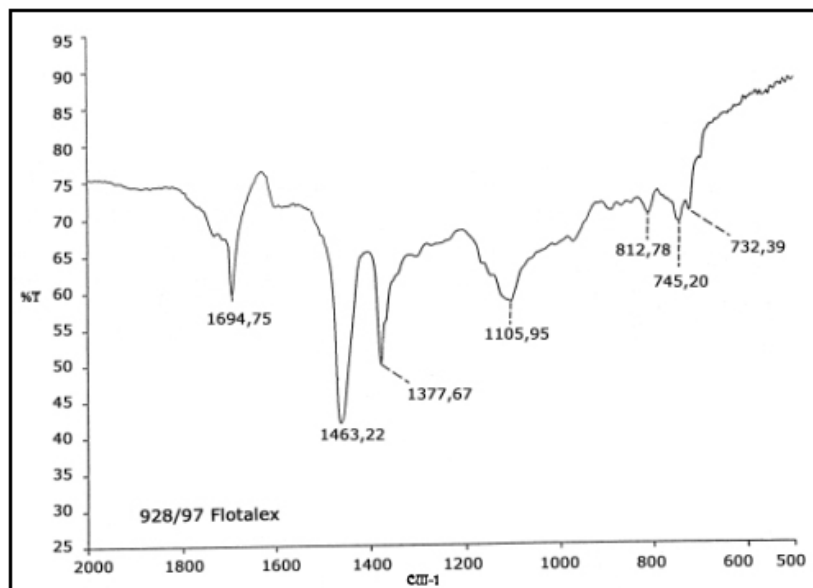


### 3. Charakterystyka użytych zbieraczy

W eksperymentach wykorzystano odczynnik flotacyjny produkcji czeskiej Flotalex. Z uwagi na fakt, że producent nie podaje składu chemicznego odczynnik poddano analizie spektrograficznej w podczerwieni. Analizę przeprowadzono w centralnym laboratorium analitycznym w VSB w Ostrawie. Stwierdzono występowanie w próbce następujących składników: karboksylowych, węglowodorów aromatycznych, alifatycznych, chlorowych i fluorowych pochodnych węglowodorów, alkoholi, fenoli, glikoli, ortoforowych kwaśnych estrów arylu, parafin i związków aromatycznych.

### 3. Characteristics of the applied collector

For the flotation experiments, the Czech collector labelled as Flotalex was used. With regard to the fact that the producer does not state its chemical composition, the collector underwent infra-red spectroscopy in the central analytical laboratories of VSB-TUzc in Ostrava. The results of the analyses imply that the tested collector is of the following composition: carboxylic compounds, aromatic, aliphatic, chlorinated and fluorinated hydrocarbons, alcohols, phenols, glycols, orthophosphoric acid aryl ester, paraffins and aromates.



Rys. 7  
Analiza spektroskopowa w podczerwieni zbieracza Flotalex

Fig. 7  
Infra-Red spectroscopic record of Flotalex collector

### 4. Metoda badawcza i wyniki flotacji

Próby flotacyjne zostały przeprowadzone w Instytucie Przeróbki w laboratoriach Wydziału Górnicstwa, Geologii i Oil Eng. Uniwersytetu w Zagrzebiu (Chorwacja) oraz w laboratoriach Instytutu Inżynierii Środowiska VSB TU w Ostrawie (Czechy). Zastosowano obie technologie flotacji: klasyczną i kolumnową. Flotacja kolumnowa była przeprowadzona na Uniwersytecie w Zagrzebiu na skonstruowanej tamże maszynie kolumnowej. Klasyczna flotacja była przeprowadzona w maszynie laboratoryjnej VRF-2 wyprodukowanej w Kopalni Rudna w Příbramie (Czechy).

Doświadczenia flotacyjne przeprowadzono w warunkach optymalnych, określonych w trakcie wcześniejszych eksperymentów z węglem, z kopalń Lazy. W tabeli 1 przedstawiono warunki doświadczeń, zaś w tabeli 2 wyniki doświadczeń.

### 4. Methodology and results of the flotation experiments

The flotation tests were carried out in the Institute of Mineral Dressing, in the laboratories of the Faculty of Mining, Geology and Oil Engineering of the University in Zagreb, Croatia, and in the laboratories of the Institute of Environmental Engineering of VSB-TU Ostrava, CR. The technology of basic flotation was applied for both column and classical flotation methods. The tests of column flotation were carried out in a column flotation machine developed at the University in Zagreb and the tests of classical flotation were done in the laboratories of VSB-TU in Ostrava in a VRF-2 flotation machine, produced in Rudne doly Příbram (CR).

The flotation experiments were implemented under an optimum regime, which was developed in the course of previous research during flotation of black-coal slurries from Lazy Mine. Table 1 outlines the conditions of the above described experiments and the results are given in Table 2.

Tablica 1  
Warunki flotacji

Table 1  
Conditions of flotation tests

Zbieracz Collector	FLOTALEX MR2	Jednostki Unit
Koncentracja fazy stałej w nadawie Feed condensation	75	g/l
Uziarnienie Fraction of grain-size	-0,5	mm
Czas mieszania z flokulantem Pulp agitation time with a flocculant	1	min
Czas mieszania ze zbieraczem Pulp agitation time with a collector	1	min
Dawka flokulanta Flocculant dosage	0,25; 0,5	ml/l
Dawka zbieracza Collector dosage	700	g/t
Czas flotacji Flotation time	5	min
Ilość powietrza Amount of air	24	l/h

Tablica 2  
Porównanie wyników flotacji klasycznej i kolumnowej

Table 2  
Comparing results of classical and column flotation

Locality Kopalnia	Flotation type Rodzaj flotownika	Product Produkt	Yield [%] Wychód	Ash content [%] Zawartość popiołu
Darkov Mine	KLF	K	85,72	8,15
		O	14,28	15,85
		P	100,00	9,25
	KOF	K	82,51	7,14
		O	17,49	17,83
		P	100,00	9,01
Dukla Mine	KLF	K	98,87	2,22
		O	1,13	50,01
		P	100,00	2,76
	KOF	K	92,20	2,70
		O	7,80	5,26
		P	100,00	2,90
CSA Mine	KLF	K	94,10	5,05
		O	5,90	78,02
		P	100,00	9,35
	KOF	K	95,31	7,21
		O	4,69	36,64
		P	100,00	8,01
CSM Mine	KLF	K	90,75	7,53
		O	9,25	86,25
		P	100,00	14,81
	KOF	K	87,23	9,65
		O	2,77	82,90
		P	100,00	10,71
Doubrava Mine	KLF	K	69,47	9,75
		O	30,53	59,01
		P	100,00	24,79
	KOF	K	65,20	7,25
		O	34,80	51,93
		P	100,00	22,80
Kleofas Mine	KLF	K	90,78	2,46
		O	9,22	14,60
		P	100,00	3,58
	KOF	K	89,40	2,55
		O	10,60	18,59
		P	100,00	4,25

Oznaczenia: K – koncentrat, O – odpady, P – nadawa;  
KLF – flotacja klasyczna; KOF – flotacja kolumnowa

Notes: K – concentrate, O – tailings, P – feed;  
KLF – classical flotation; KOF – column flotation

## 5. Analiza wyników

W tej części doświadczeń skoncentrowano się na określeniu uzysków w produktach obu rodzajów flotacji wityrynytu i substancji mineralnej. Wityrynit jest główną grupą macerałów, które przechodzą do koncentratu flotacyjnego natomiast substancja mineralna przechodzi głównie do odpadów. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 3.

Tablica 3

Uzysk grup macerałów wityrynytu i substancji mineralnej w koncentratkach flotacyjnych

Kopalnia Locality	Flotation type Rodzaj flotownika	Vitrynite maceral group Grupa macerałów wityrynytu	Mineral matter Substancja mineralna
Darkov Mine	KLF	8,8	81,3
	KOF	9,1	80,2
Dukla Mine	KLF	19,0	61,5
	KOF	19,3	66,7
CSA Mine	KLF	9,8	84,0
	KOF	10,0	83,4
CSM Mine	KLF	16,0	56,6
	KOF	15,9	55,6
Doubrava Mine	KLF	31,0	81,9
	KOF	30,7	30,2
Kleofas Mine	KLF	20,0	50,0
	KOF	14,0	48,9

Oznaczenia: KLF – flotacja klasyczna; KOF – flotacja kolumnowa

## 5. Results and discussion

This section focuses on evaluation of percentage abundance of products, which were formed in the flotation process since it is necessary to clarify how the individual macerals react in the course of both, classical and column) flotation process. The most significant maceral group vitrynite which transfer into the flotation concentrate and the mineral matter transferring into the flotation tailings, are determined. The results are shown in Table 3.

Table 3

Percentage abundance of vitrynite maceral group and mineral matter in flotation concentrate

Notes: KLF – classical flotation; KOF – column flotation

## 6. Podsumowanie

Celem pracy było porównanie wyników flotacji klasycznej i kolumnowej próbek węgla kamiennego z wybranych kopalń Zagłębia Ostrawsko Karwińskiego i Polski: kopalń Dukla, Darkom, CSM, CSA, Doubrava i Kleofas. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że flotacja klasyczna i kolumnowa są odpowiednie dla wzbogacenia badanych próbek mętów węglowych, charakteryzujących się dobrą flotowalnością. Podsumowując, można stwierdzić, zarówno koncentraty flotacyjne uzyskane w flotacji klasycznej jak i flotacji kolumnowej dla wszystkich badanych próbek miały podobną zawartość popiołu i podobne uzyski koncentratu.

Wychody uzyskane we flotacji kolumnowej są nieco (o ok. 3 – 5%) niższe niż we flotacji klasycznej, uzyskuje się nieco niższe (0,5 – 2%) zawartości popiołu. Podobnie zachowywał się wityrynit – macerał decydujący o jakości koncentratu – zawartość w koncentracie z flotacji kolumnowej jest nieco większa (ok. 0,1 – 0,2%). Zawartość substancji mineralnej jest nieco wyższa w koncentracie flotacji klasycznej.

## 6. Conclusions

The objective of the paper was a comparison of classical and column flotation on samples of black-coal slurries from selected localities of OKR and Poland. Namely they are Dukla Mine, Darkov Mine, CSM Mine, CSA Mine, Doubrava Mine and Kleofas Mine. The acquired results imply that the methods of classical and column flotation are suitable for flotation of the slurries in question as all the tested black-coal slurries from OKR and Poland are cokeable coals with a high flotation ability. Therefore, in conclusion it is possible to say that both flotation methods are suitable for the preparation of the coal types in question and in the case of all the results the quality of conditioning flotation concentrates had similar yield and ash content.

Column flotation yield is a little less than in classic flotation (about 3 – 5%), ash content is less than about 0,5 – 2%. The behavior of vitrynite (the main maceral decided of quality of concentrate) – vitrynite content in column flotation concentrate is bigger about 0,1 – 0,2%. Mineral matter content is bigger in column flotation.

W związku z tym, że przyjęto do porównania jednakowy czas flotacji (5 minut) można podsumować, że flotacja kolumnowa zachodzi bardziej dynamicznie niż flotacja klasyczna.

It in relation that the equal flotation time (5 minutes) was accepted to comparison of the results it can assumed that column flotation is more dynamic than classic one.

## Literatura — References

1. Fecko P., Pectova E., Ovcari .P., Cablik V., Tora B. (2006) , *Influence Of Petrographical Composition On Coal Flotability*, *Fuel : The Science And Technology Of Fuel And Energy* ; Issn 0016-2361. — 2005 Vol. 84 s. 1901–1904.
2. Stanclova S., Ptaszek O., Fecko P., Cablik V., Sitavancova Z.: (2006) *Pouziti kolonoveho flotatoru na vzorcich cernouhelných kalu z dolu Darkov*. *Zbornik: Uprava nerostnych surovin a odpadu*, VSB-TU Ostrava, s. 219-224. ISBN 80-248-1050-6.
3. Fecko P., Stanclova S., Cablik V.: (2006) *Column Flotation of Black Coal Slurries from an OKR Locality, Darkov Mine, ISCMMP, Geology and Environmental Protection, SGEM, ALBENA* s. 99-105, ISBN – 10: 954-91818-1-2.
4. Fecko P., Stanclova S., Kolomaznik I., Havelek R., Pectova I.: (2006) *Petrological analysis of column flotation products*. *Zbornik: 10th Conference on Environment and Mineral Processing*, VSB-TU Ostrava, Part III, s. 241-247. ISBN 80-248-1104-9.
5. Fecko P., Bedekovic G., Stanclova S., Pectova I.: (2006) *Column Flotation of Coal Slurries*. *XV International Coal Preparation Congress and Exhibition, China University of Mining and Technology Press, Beijing, China*, s. 529-533. ISBN 7-81107-232-7.
6. Fecko P., Bedekovic G., Stanclova S., Pectova I.: (2006) *Column Flotation of Coal*. *International Mining Symposium Exploration, Exploitation and Processing of Solid Raw Materials*, Dubrovnik, Chorvatsko, s. 204-209. ISSN 1846-2766.
7. Fecko P., Bedekovic G., Stanclova S., Pectova I.: (2006) *Column Flotation of Black Coal*. *Proceedings on XX International Serbian Symposium on Mineral Processing, Univerzitet v Beogradu*, s. 180-185. ISBN 86-80987-44-1.