



# Zastosowanie nowych odczynników flotacyjnych do flotacji mułów węglowych z kopalni Darkov

## New flotation agents on a slurry sample from Darkov Mine

*Peter FEČKO*<sup>1)</sup>, *Miluše HLAVATÁ*<sup>2)</sup>, *Monika PODEŠVOVÁ*<sup>3)</sup>, *Nikolas MUCHA*<sup>4)</sup>, *Alexander KIRÁLY*<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Prof. Ing., CSc., Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava,; 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: peter.fecko@vsb.cz; tel.: (+420) 597 323 575

<sup>2)</sup> Ing., Ph.D., Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava,; 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: miluse.hlavata@vsb.cz; tel.: (+420) 597 323 516

<sup>3)</sup> Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava,; 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, Czech Republic

<sup>4)</sup> Ing., Ph.D., Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava,; 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: nikolas.mucha@vsb.cz; tel.: (+420) 597 329 008

<sup>5)</sup> Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava,; 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: alexander.kiraly @vsb.cz; tel.: (+420) 597 321 208

RECENZENCI: Dr Zbigniew TAJCHMAN; Doc. Ing. Vladimír ČABLIK, Ph.D.

### Streszczenie

W artykule omówiono badania nowych odczynników flotacyjnych, firmy Clariant, do flotacji mułów węgla kamiennego powstających w wyniku działalności górniczej Kopalni Darkov. Nowe odczynniki flotacyjne linii Montanol 800-1 do 6 zostały przetestowane i porównane z dotychczas stosowanym odczynnikiem flotacyjnym Montanol 508. Prowadzono badania nad flotowalnością węgla z zastosowaniem nowych odczynników flotacyjnych. Ponadto, określano ich właściwości pianotwórcze. Na podstawie wyników badań flotowalności stwierdza się, że dla nieprzetworzonych mułów węglowych, przy zastosowaniu różnych odczynników flotacyjnych, ich skuteczność jest niemal identyczna. Pod względem pianotwórczości środki flotacji Montanol 800-2 i Montanol 800-3 okazały się najlepsze.

### Summary

The paper deals with an examination of new flotation agents, products of Clariant company, in flotation of black-coal raw slurry originating from mining operations in Darkov Mine. New flotation agents of Montanol 800-1 to 6 line were tested and compared with so far applied flotation agent Montanol 508. Coal floatability applying the individual flotation agents and frothiness of the individual samples were observed. It is apparent from the unprocessed coal slurry floatability results applying different flotation agents that their efficiency is almost identical. As for frothiness, flotation agents of Montanol 800-2 and Montanol 800-3 appear as best.

Słowa kluczowe: węgiel, flotacja, odczynniki flotacyjne

Keywords: coal, flotation, flotation agents

### Wprowadzenie

Wydobywany węgiel stanowi surowiec wykorzystywany w wielu gałęziach przemysłu, takich jak metalurgia, energetyka, chemia i inne. Obecnie wydobycie węgla kamiennego jest na stałym poziomie, pomimo faktu, że zużycie surowców przemysłowych i zasobów naturalnych, które nie są odnawialne i są bezpowrotnie tracone przez działanie człowieka, jest coraz większe. Poziom spadku wydobycia węgla zależy od rozwoju zarówno warunków krajowych jak i międzynarodowych. Innym istotnym czynnikiem mającym na to wpływ ma wypełnienie międzynarodowych porozumień w sprawie stopniowej redukcji emisji tlenków siarki do atmosfery. Powstaje pytanie, jak radzić sobie z tymi problemami w związku z załamaniem w górnictwie węgla kamiennego. Jedną z możliwości jest perfekcyjne przygotowanie wydobywanego węgla

### Introduction

Coal is a raw material mined to be used in numerous industrial branches, such as metallurgy, power-engineering, chemistry and others. 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 are 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 international agreements 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 mined coal as

najlepiej jak to jest możliwe, jak również maksymalne wykorzystanie wszystkich jego palnych składników.

Tendencja ta stanowi nowe cele dla przeróbki surowców mineralnych – przygotowania i wszechstronnego wykorzystania najlepszych frakcji węglowych, które pochodzą z procesów przerobczych węgla kamiennego. Flotacja należy do metod, które pozwalają na przetwarzanie drobnoziarnistych, niejednorodnych mułów węgla kamiennego.

W praktyce flotacja jest wykorzystywana tylko do przygotowania węgla koksującego. Wraz z poprawą selektywności flotacji jest obecnie możliwe wykorzystanie starych wysypisk jako źródła surowców. W ten sposób znaczną część składników odpadów usuwa się ze szlamów, a tym samym wzbogaca się je. Selektywna flotacja może być ostateczną metodą czyszczenia lub częścią złożonego procesu przygotowania, dla wstępnego wzbogacania szlamów przed dalszymi procesami przetwarzania.

Zastosowanie odpowiedniego zbieracza, który będzie ekologiczny, a także uzasadniony ekonomicznie, stanowi nieodłączną część procesu flotacji. Dlatego niezbędne jest poszukiwanie nowych zbieraczy, które spełniają warunki, o których mowa.

Celem pracy jest sprawdzenie flotowalności mułów węglowych węgla kamiennego powstających w wyniku działalności górniczej Kopalni Darkov przy zastosowaniu nowych środków flotacji linii Montanol 800-1 do 6 i porównaniu ich z dotychczas stosowanym odczynnikiem flotacyjnym Montanol 508. Ponadto była również badana pianotwórczość poszczególnych stosowanych odczynników flotacyjnych.

### **Petrologiczna charakterystyka badanej próbki**

Dla analizy flotowalności mułów węglowych z Kopalni Darkov, ważne jest, określenie cech petrologicznych danej próbki. Analizy petrologiczne próbek przeprowadzono w certyfikowanych laboratoriach Arcelor Mittal, w Ostrawie. Wyniki analizy surowych mułów węglowych Kopalni Darkov przedstawione są w tabeli 1 i na rysunku 1. Rezultaty badań jasno wskazują, że muły węglowe odpowiadają węglu kamiennemu o średniej i niskiej zawartości substancji lotnych.

### **Charakterystyka stosowanych odczynników flotacyjnych**

W badaniach flotacji zostały wykorzystane następujące odczynniki flotacyjne firmy Clariant: Montanol 508, a następnie Montanol 800-1, Montanol 800-2, Montanol 800-3, Montanol 800-4, Montanol 800-5 i Montanol 800-6. Firma Clariant nie dostarczyła żadnych szczegółowych informacji na temat odczynników flotacyjnych i z tego względu wykorzystano do badania ich składu analizator FTIR. Analizy przeprowadzono w laboratoriach Katedry

possible as well as maximum utilization of its combustible component.

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. Flotation belongs to methods which permit processing of fine, non-homogeneous black-coal slurry.

In practice, flotation is used only for preparation of cokeable coal. Along with improving the selectivity of flotation it is currently possible to make use of old dumps as the source of material. 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.

Application of a suitable collector, which would be ecologically as well as economically interesting, makes an inseparable part of the flotation process. Therefore, it is vital to search for new collectors that would comply with the conditions in question.

The objective of the paper is to verify floatability of black coal slurry from mining operations in Darkov Mine applying a new range of flotation agents Montanol 800-1 to 6 and to compare these with so far applied flotation agent Montanol 508. In addition, frothiness of the individual applied flotation agents was also studied.

### **Petrologic characteristics of the tested sample**

To analyze the floatability of raw coal slurry from Darkov Mine, it is vital to be aware of the petrologic characteristics of the given sample. The petrologic analysis of the sample was carried out in certified laboratories of Arcelor Mittal, a.s. Ostrava. The analysis results of raw coal slurry from Darkov Mine are represented in Table 1 and Figure 1. It is clear from the analysis results that it is coal slurry corresponding to medium to low-volatile bituminous coal.

### **Characteristics of the applied flotation agents**

The following flotation agents of Clariant company, Montanol 508 and subsequently Montanol 800-1, Montanol 800-2, Montanol 800-3, Montanol 800-4, Montanol 800-5 and Montanol 800-6 were used in the flotation tests. Clariant company had not provided any detailed information on the flotation agents and thus we had the applied flotation agents analyzed on an FTIR analyzer. The analyses were conducted in the laboratories of the Department of

Tabela 1  
Surowe muly węglowe – Darkov Mine – odbicie

Table 1  
Raw coal slurry – Darkov Mine – reflectance

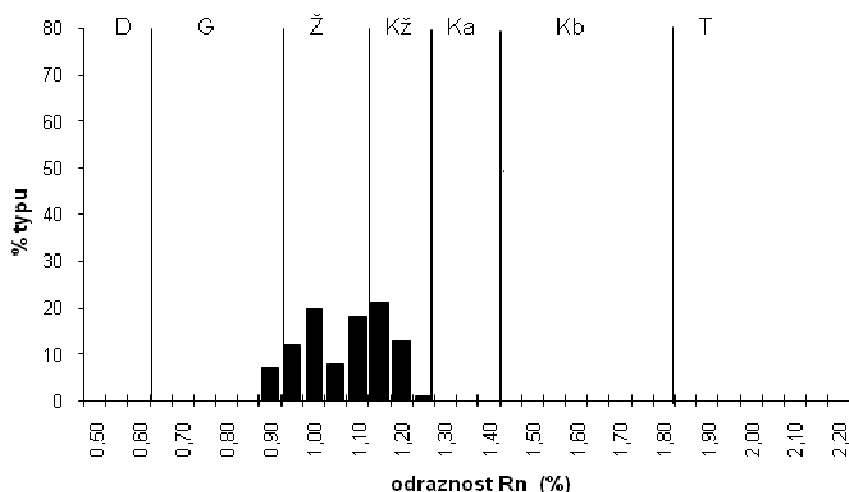
Rodzaj analizy Type analysis (%)		Współczynniki odbicia dla wityrynytu Vitrinited reflectance (%)	
D:	Ka:	Rn:	1,094
G: 8	Kb:	Rmin:	0,910
Z: 58	T:	Rmax:	1,269
Kz: 34	A:	s:	0,092

Uwagi:

D – węgiel na opał  
G – węgiel gazowy  
Z – węgiel bitumiczny o średniej zawartości substancji lotnych  
Kz – węgiel bitumiczny o niskiej zawartości substancji lotnych  
Ka – węgiel spiekalny 1. typu  
Kb – węgiel spiekalny 2. typu  
T – węgiel antracytowy  
Rn – losowe odbicia zgodnie z ISO 7404 CSN -5

Notes:

D – candle coal  
G – gas coal  
Z – medium volatile bituminous coal  
Kz – low-volatile bituminous coal  
Ka – baking coal of the 1st type  
Kb – baking coal of the 2nd type  
T – anthracite coal  
Rn – random reflectance according to CSN ISO 7404-5



Rys. 1  
Wykres odbicia surowych muly węglowych  
z Kopalni Darkom

Fig. 1  
Reflectance chart of raw coal slurry  
from Darkov Mine

Chemii VSB-TU w Ostrawie, w poniższych warunkach:

- Próbkki były mierzone za pomocą jednej refleksji ATR kryształu germanu.
- Próbkka była skraplana na kryształ ATR i mierzona w konsekwentny sposób.
- Widma były mierzone w zakresie 4000 – 675  $\text{cm}^{-1}$ ; 512 skanów; rozdzielczość 8  $\text{cm}^{-1}$ .
- Odczytane widma były modyfikowane następująco:
  - usunięto cząsteczki  $\text{CO}_2$  (około 2300  $\text{cm}^{-1}$ ),
  - zrobiono korektę ATR w postaci transmisji widma,
  - automatycznie uśredniono linię podstawową.

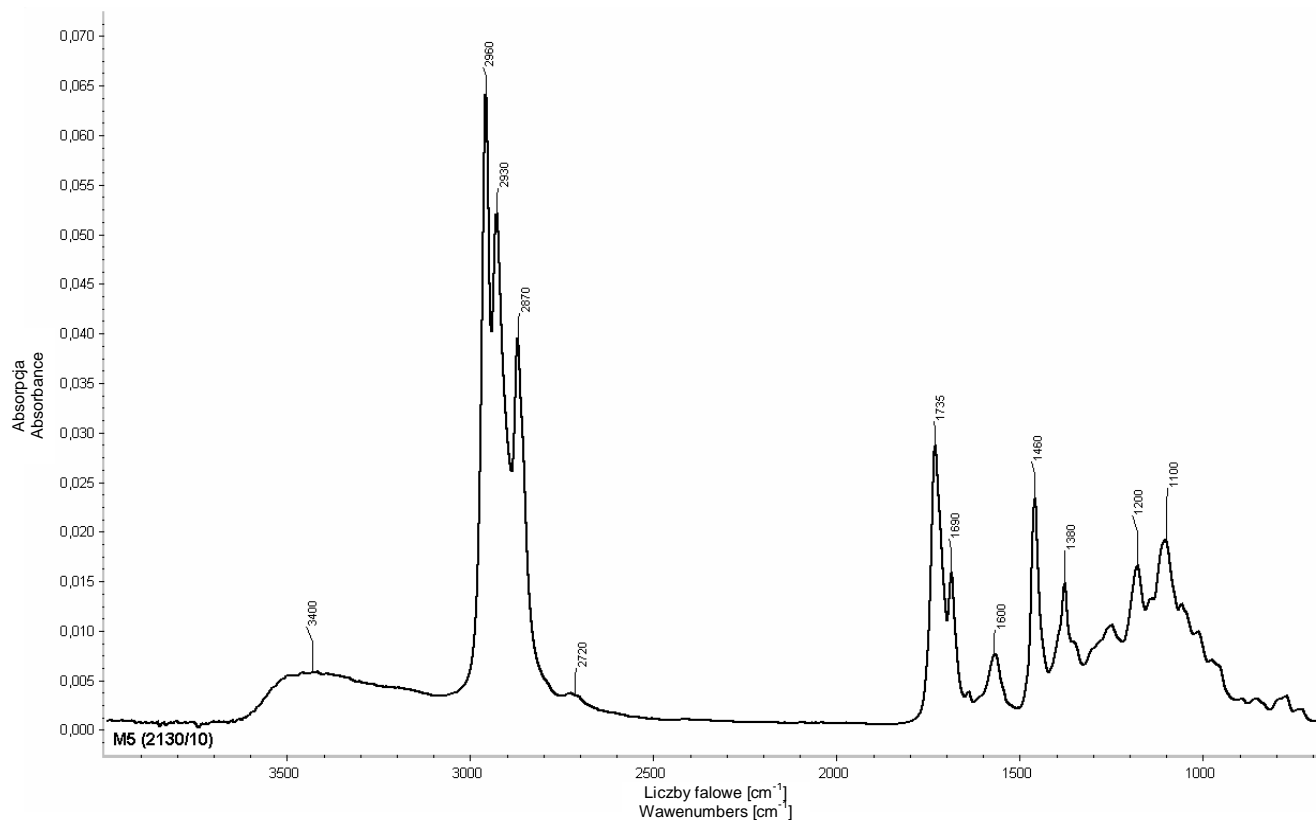
Chemistry of VSB-TU in Ostrava, under the conditions below:

- The samples were measured using the single reflection ATR germanium crystal.
- The sample was dripped on an ATR crystal and measured consequently.
- The spectra were measured within 4000 – 675  $\text{cm}^{-1}$ ; 512 scans; resolution of 8  $\text{cm}^{-1}$ .
- The read spectra were modified as follows:
  - removed bands of  $\text{CO}_2$  (around 2300  $\text{cm}^{-1}$ ),
  - an ATR correction was made into the form of transmission spectra,
  - automatic interlay of the basic line.

**Zastosowane urządzenia:** spektrometr FT-IR Nicolet NEXUS 470 firmy ThermoElectron, USA.

Rysunek 2 przedstawia widmo IR Montanol 508, na rysunku 3 przedstawiono widmo IR odczynnika flotacji M 800 – 1, a rysunek 4 zestawia widma wszystkich testowanych odczynników flotacyjnych.

### Ocena widma IR



Rys. 2  
Widmo IR Montanol 508 (2130/10)

Fig. 2  
IR spectrum of Montanol 508 (2130/10)

W widmie są widoczne następujące ważne pasma:

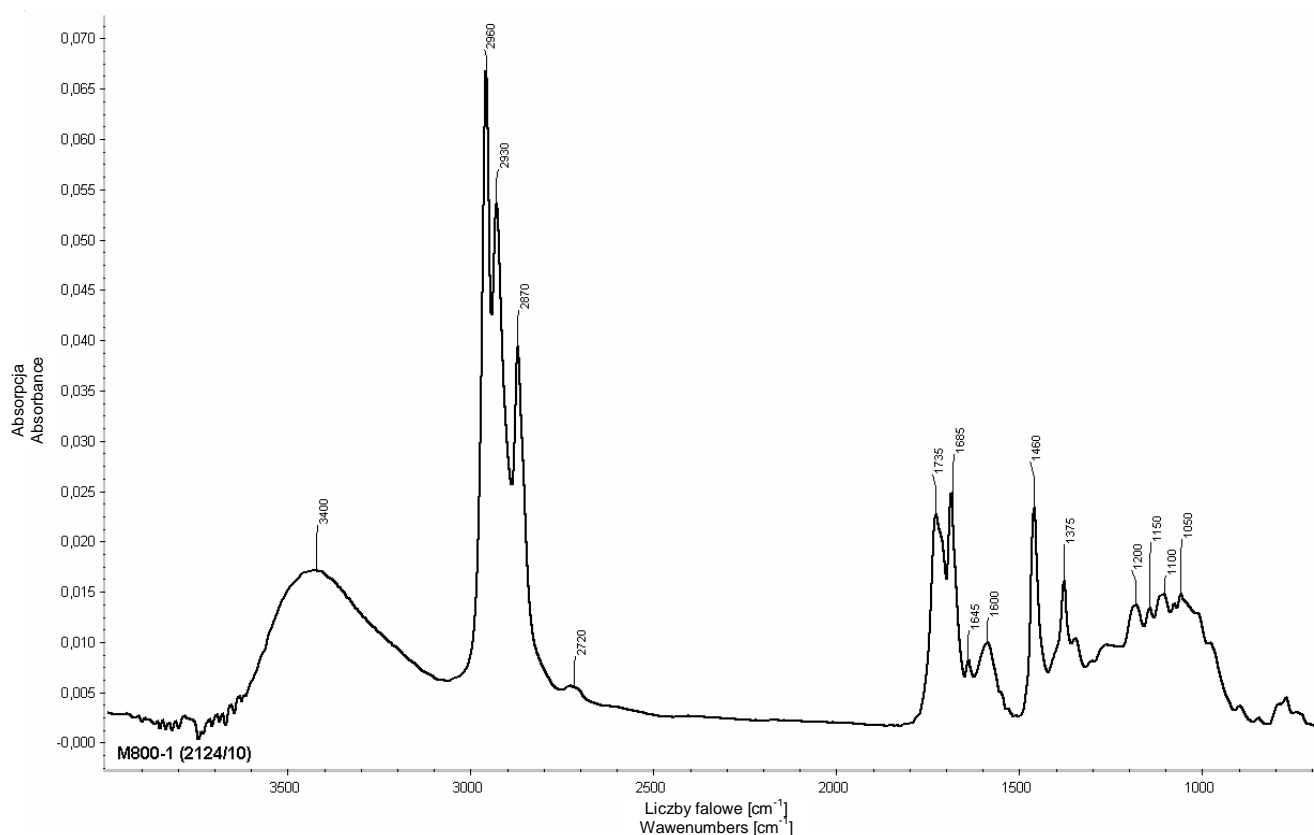
- 3400  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy -OH (prawdopodobnie alkoholowych),
- 2960  $\text{cm}^{-1}$ , 2930  $\text{cm}^{-1}$ , 2870  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy  $-\text{CH}_3$  i  $-\text{CH}_2$  w węglowodorach alifatycznych,
- 2720  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy  $-\text{CH}$  w aldehydach,
- 1735  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy  $\text{C}=\text{O}$  w nasyconych aldehydach i / lub ketonach,
- 1690  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy  $\text{C}=\text{O}$  w nienasyconych lub aromatycznych aldehydach i / lub ketonach,
- 1600  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne wiązanie  $\text{C}=\text{C}$  w węglowodorach aromatycznych,
- 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1380  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne dla grupy  $-\text{CH}_3$  i  $-\text{CH}_2$  węglowodorów alifatycznych,

The following important bands are apparent on the spectrum:

- 3400  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of  $-\text{OH}$  group (probably alcoholic),
- 2960  $\text{cm}^{-1}$ , 2930  $\text{cm}^{-1}$ , 2870  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group  $-\text{CH}_3$  and  $-\text{CH}_2$  in aliphatic hydrocarbons,
- 2720  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group  $-\text{CH}$  in aldehydes,
- 1735  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group  $\text{C}=\text{O}$  in saturated aldehydes and/or ketones,
- 1690  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group  $\text{C}=\text{O}$  in unsaturated or aromatic aldehydes and/or ketones,
- 1600  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of bond  $\text{C}=\text{C}$  in aromatic hydrocarbons,
- 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1380  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group  $-\text{CH}_3$  and  $-\text{CH}_2$  in aliphatic hydrocarbons,

- 1200  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w fenolach,
- 1100  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w drugorzędowych alkoholach.

- 1200  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in phenols,
- 1100  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in secondary alcohols.



Rys. 3  
Widmo IR Montanol 800-1 (2124/10)

Fig. 3  
IR spectrum of Montanol 800-1 (2124/10)

W widmie są widoczne następujące ważne pasma:

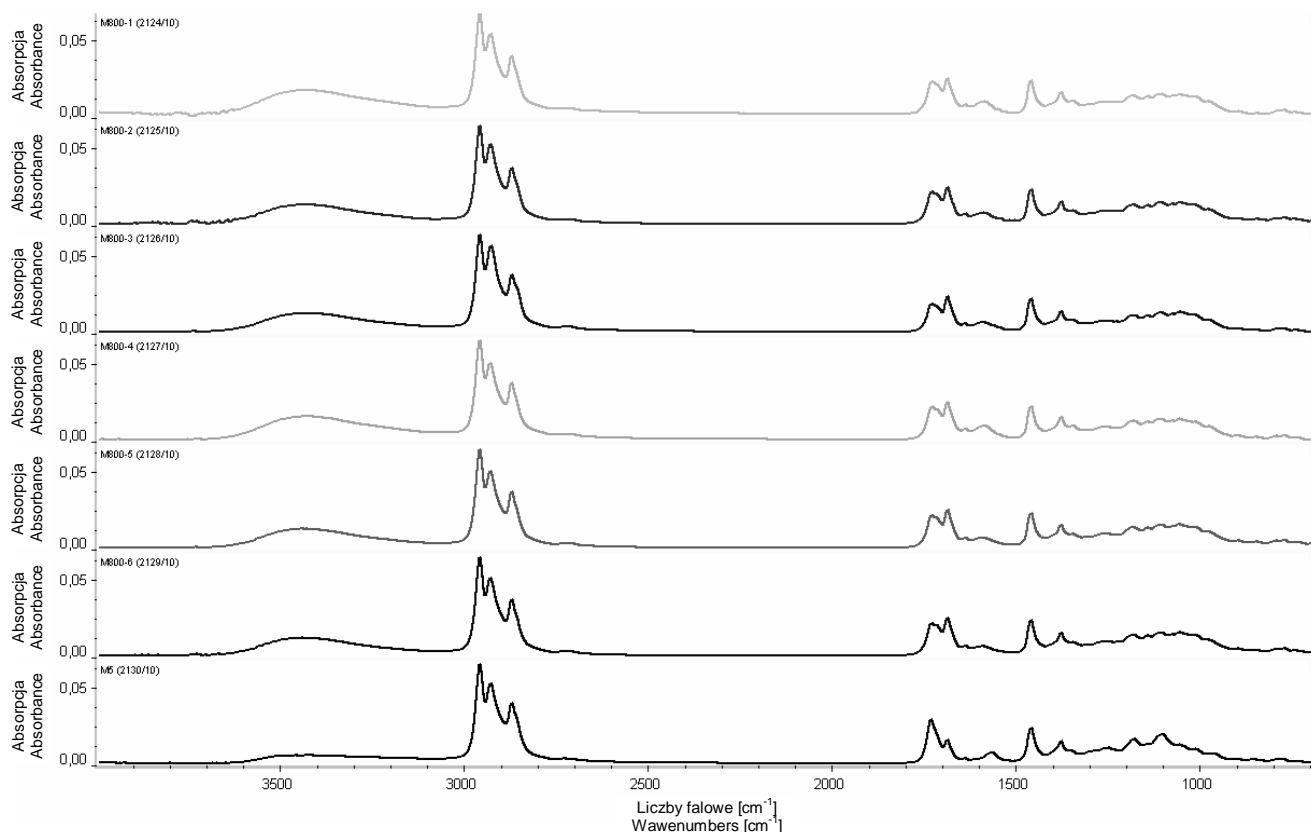
- 3400  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy -OH (prawdopodobnie alkohole),
- 2960  $\text{cm}^{-1}$ , 2930  $\text{cm}^{-1}$ , 2870  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy  $-\text{CH}_3$  i  $-\text{CH}_2$  w węglowodorach alifatycznych,
- 2720  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy -CH w aldehydach,
- 1735  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy C = O w nasyconych aldehydach i / lub ketonach,
- 1685  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne grupy C = O w nienasyconych lub aromatycznych aldehydach i / lub ketonach,
- 1645  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne wiązania C = C w alkenach,
- 1600  $\text{cm}^{-1}$  drgania walencyjne wiązania C = C w węglowodorach aromatycznych,
- 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1380  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy  $-\text{CH}_3$  i  $-\text{CH}_2$  w węglowodorach alifatycznych,
- 1200  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w fenolach,

The following important bands are apparent on the spectrum:

- 3400  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group -OH (probably alcoholic),
- 2960  $\text{cm}^{-1}$ , 2930  $\text{cm}^{-1}$ , 2870  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group  $-\text{CH}_3$  and  $-\text{CH}_2$  in aliphatic hydrocarbons,
- 2720  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group -CH in aldehydes,
- 1735  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group C=O in saturated aldehydes and/or ketones,
- 1685  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of group C=O in unsaturated or aromatic aldehydes and/or ketones,
- 1645  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of bond C=C in alkenes
- 1600  $\text{cm}^{-1}$  valence vibrations of bond C=C in aromatic hydrocarbons,
- 1460  $\text{cm}^{-1}$ , 1380  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group  $-\text{CH}_3$  and  $-\text{CH}_2$  in aliphatic hydrocarbons,
- 1200  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in phenols,

- 1150  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w trzeciorzędowych alkoholach,
- 1100  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w drugorzędowych alkoholach,
- 1050  $\text{cm}^{-1}$  drgania deformacyjne grupy -OH w pierwszorzędowych alkoholach.

- 1150  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in tertiary alcohols,
- 1100  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in secondary alcohols,
- 1050  $\text{cm}^{-1}$  deformation vibrations of group -OH in primary alcohols.



Rys. 4  
Widma IR próbek M800-1, M800-2, M800-3, M800-4, M800-5, M800-6 i M508

Fig. 4  
IR spectra of samples M800-1, M800-2, M800-3, M800-4, M800-5, M800-6 and M508

### Komentarz do wyników analizy spektralnej

#### Widmo próbki M508 (patrz rys. 2)

Jak wynika z widm próbka zawiera w szczególności nasycone węglowodory alifatyczne. Można przypuszczać, że przeważają rozgałęzione łańcuchy węglowodorów alifatycznych (pasmo 2960  $\text{cm}^{-1}$  należące do asymetrycznych drgań walencyjnych grupy -CH<sub>3</sub> jest znacznie bardziej intensywne niż pasmo 2930  $\text{cm}^{-1}$  należące do asymetrycznych drgań walencyjnych grupy -CH<sub>2</sub>). W znacznie mniejszym stopniu, są widoczne drgania drugorzędowych alkoholi i fenoli, aldehydów, węglowodorów aromatycznych.

Zdecydowana przewaga nienasyconych węglowodorów alifatycznych wynika również ze stosunku intensywności pasma drgań walencyjnych grupy C=O (1735  $\text{cm}^{-1}$  i 1690  $\text{cm}^{-1}$ ). Pasma 1735  $\text{cm}^{-1}$  należące do nasyconych, alifatycznych grup karbony-

### Commentary to the spectral analysis results

#### Spectra of M508 sample (See Fig. 2)

It is clear from the spectrum that the sample contains saturated aliphatic hydrocarbons, in particular. It is supposable that branched chains of aliphatic hydrocarbons prevail (band 2960  $\text{cm}^{-1}$  belonging to an asymmetrical valence vibration of group -CH<sub>3</sub> is significantly more intense than the band 2930  $\text{cm}^{-1}$  belonging to the asymmetrical valence vibration of group -CH<sub>2</sub>). In a much smaller extent, there are vibrations of secondary alcohols and phenols, aldehydes and partially aromatic hydrocarbons in the spectrum.

A prominent abundance of aliphatic unsaturated hydrocarbons is also apparent from the ratio of band intensity of valence vibrations of C=O group (1735  $\text{cm}^{-1}$  and 1690  $\text{cm}^{-1}$ ). The band 1735  $\text{cm}^{-1}$  belonging

lowych jest znacznie wyższe niż pasmo  $1690\text{ cm}^{-1}$ , które może być zaliczone do nienasyconych i aromatycznych karbonylków.

#### *Widmo próbki M800-1 (patrz rys. 3)*

Widmo oznacza, że próbka zawiera głównie nasycone węglowodory alifatyczne. Jest możliwe, że rozgałęzione łańcuchy węglowodorów alifatycznych dominują (pasmo  $2960\text{ cm}^{-1}$  należące do asymetrycznych drgań walencyjnych grupy  $-\text{CH}_3$  jest znacznie bardziej intensywne niż pasmo  $2930\text{ cm}^{-1}$  należące do asymetrycznych drgań walencyjnych grupy  $-\text{CH}_2$ ). W widmie w znacznie mniejszym stopniu, są widoczne alkohole, jak i fenole, aldehydy i częściowo alkeny oraz węglowodory aromatyczne.

W próbce stwierdza się większe bogactwo nienasyconych węglowodorów niż w próbce M508. Wskaźnik intensywności pasma drgań grup karbonylowych ( $1735\text{ cm}^{-1}$  i  $1690\text{ cm}^{-1}$ ) przesuwa się lekko w stronę nienasyconych lub aromatycznych struktur. Ponadto, pasma walencyjne drgań  $\text{C}=\text{C}$  w alkenach jest większe niż w widmie próbki M508, gdzie to pasmo jest drobne. W porównaniu do próbki M508, w widmie próbki M800-1 są także pasma alkoholi pierwszo- i trzecio-rzędowych. Oprócz wyżej wymienionych różnic, widno próbki M800-1 jest bardzo podobne do widma próbki M508.

Widma próbek M800-2, M800-3, M800-4, M800-5 i M800-6 są prawie identyczne z widmem próbki M800-1. Wszystkie widma można zobaczyć na rysunku 4.

### **Rezultaty flotacji mułów węgla kamiennego**

Flotację mułów węglowych węgla kamiennego przeprowadzono w laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska. W pierwszym etapie eksperymentalna flotacja była realizowana dla wszystkich badanych odczynników flotacyjnych w następujących warunkach:

- flotację prowadzono i koncentrat flotacji pobierano po 3 i 5 minutach flotacji,
- zagęszczanie wynosiło  $150\text{ g/l}$  i  $110\text{ g/l}$ ,
- dozowanie odczynnika flotacyjnego wynosiło  $500\text{ g/t}$ ,
- w przypadku wyższego zagęszczenia, flotacja została zakończona po 3 minutach, w przypadku niższego zagęszczenia, flotacja była frakcjonowana, a tym samym koncentrat był pobierany po 3 i 5 minucie.

#### *Wyniki flotacji przy wyższym zagęszczeniu mułów*

Wyniki poszczególnych badań mułów węglowych dla testowanych próbek flotacji przy zagęszczeniu  $150\text{ g/l}$  i poszczególnych badanych odczynników flotacyjnych są podane w tabelach 2–8.

to saturated aliphatic carbonylic groups is considerably higher than the band  $1690\text{ cm}^{-1}$ , which may be attributed to unsaturated and aromatic carbonyls.

#### *Spectra of M800 sample – 1 (See Fig. 3)*

The spectrum implies that the sample predominantly contains saturated aliphatic hydrocarbons. It is supposable that branched chains of aliphatic hydrocarbons dominate (band  $2960\text{ cm}^{-1}$  belonging to an asymmetrical valence vibration of  $-\text{CH}_3$  group is significantly more intense than the band  $2930\text{ cm}^{-1}$  belonging to the asymmetric valence vibration of  $-\text{CH}_2$  group). In a much smaller extent, there are vibrations of primary, secondary and tertiary alcohols as well as phenols, aldehydes and partially alkenes and aromatic hydrocarbons in the spectrum.

In the sample there is a larger abundance of unsaturated hydrocarbons than in M508 sample. The ratio of band intensity of carbonylic group vibrations ( $1735\text{ cm}^{-1}$  and  $1690\text{ cm}^{-1}$ ) is slightly shifted in the favour of unsaturated or aromatic structures. Also, the valence vibration band of  $\text{C}=\text{C}$  bond in alkenes is bigger than in the spectrum of M508 sample, where this band is minute. In comparison to the M508 sample, in the spectrum of M800-1 sample there are also bands of primary and tertiary alcohols. Apart from the above mentioned differences, the spectrum of M800-1 sample is very similar to the spectrum of M508 sample.

The spectra of M800-2, M800-3, M800-4, M800-5 and M800-6 samples are almost identical to the spectrum of M800-1 sample. All the spectra can be seen in Figure 4.

### **Flotation results of black-coal slurry**

Flotation of black-coal slurry was carried out in the laboratories of the Institute of Environmental Engineering. In the first stage, flotation experiments were implemented with all the tested flotation agents under the following conditions:

- fraction flotation was carried out and the flotation concentrate was sampled after the 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> minute of flotation,
- densification was  $150\text{ g/l}$  and  $110\text{ g/l}$ ,
- flotation agent dosing was  $500\text{ g/t}$ ,
- in case of higher densification, flotation was terminated after 3 minutes; in case of lower densification, flotation was fractional and thus the concentrate was drawn after the 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> minute.

#### *Flotation tests results at higher pulp densification*

The results of the individual black-coal slurry sample flotation tests at densification of  $150\text{ g/l}$  and the individual tested flotation agents are stated in Tables 2–8.

Tabela 2  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 508

Table 2  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 508

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1-3	koncentrat / concentrate	93,45	7,09
3	odpady / tailings	6,55	82,87
suma / sum		100	12,04

Tabela 3  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-1

Table 3  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-1

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1-3	koncentrat / concentrate	92,91	7,93
3	odpady / tailings	7,09	87,27
suma / sum		100	13,56

Tabela 4  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-2

Table 4  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-2

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1-3	koncentrat / concentrate	92,39	6,82
3	odpady / tailings	7,61	80,91
suma / sum		100	12,46

Tabela 5  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-3

Table 5  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-3

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1-3	koncentrat / concentrate	92,57	6,18
3	odpady / tailings	7,43	86,85
suma / sum		100	12,

Tabela 6  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-4

Table 6  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-4

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1-3	koncentrat / concentrate	91,83	7,26
3	odpady / tailings	8,17	81,4
suma / sum		100	13,32



Tabela 7  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-5

Table 7  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-5

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat / concentrate	92,6	5,79
3	odpady / tailings	7,4	86,88
suma / sum		100	11,79

Tabela 8  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-6

Table 8  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-6

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat / concentrate	91,35	6,65
3	odpady / tailings	8,65	86,7
suma / sum		100	13,57

Wyniki badań pokazują, że surowe muły węglowe z Kopalni Darkov są dobrze flotowalne przy zagęszczaniu 150 g/l, a stosowane odczynniki flotacyjne nie wpływają w żaden sposób na flotację. Po upływie 3 minut, zawartość popiołu we wszystkich koncentratkach nie przekracza 8%, a uzyskana koncentracja wynosi ponad 80%.

#### **Wyniki badań flotacji dla niższego zagęszczenia mułów węglowych**

Następnie zostały przeprowadzone badania flotacji z surowych mułów węglowych z Kopalni Darkov przy zagęszczaniu 110 g/l. To zagęszczanie zostało wybrane ze względu na fakt, że surowe muły węglowe o takim zagęszczeniu są przesyłane do zakładu przerobczego Kopalni Darkov. Należy nadmienić, że zagęszczenie 150 g/l jest stosowane w zakładach przerobczych Zagłębia Węglowego Ostrava-Karvina. Warunki badania flotacji przy zagęszczaniu 110 g/l zostały utrzymane na takich samych zasadach, jak w przypadku zagęszczenia 150 g/l.

Wyniki eksperymentu są przedstawione w tabelach od 9 do 15. Wyraźnie widać, że aż o 1,32% mniejsza jest zawartość popiołu dla koncentratu przy czasie flotacji 1–3 minuty, niż przy zagęszczeniu 150 g/l.

#### **Wpływ poszczególnych odczynników flotacyjnych na formowanie się piany**

We wszystkich badanych próbkach mułów węglowych przy zastosowaniu odczynnika flotacyjnego Montanol 508, obserwowano wysoką pianotwórczość koncentratu – pianę z ogromnych pęcherzyków. Z tego

It is apparent from the flotation test results that the raw coal slurry from Darkov Mine is well floatable at densification of 150 g/l and the applied flotation agents do not influence the flotation in any way. After 3 minutes, the ash content in all the concentrates did not exceed 8% at concentrate yield over 80%.

#### **Flotation tests results at lower pulp densification**

Next, flotation tests with raw coal slurry from Darkov Mine at densification of 110 g/l were carried out. This densification was selected with respect to the fact that raw coal slurry of such densification is floated in the Darkov Mine preparation plant. On a common basis, the densification of 150 g/l is employed in the preparation plants of the Ostrava-Karvina Coal District. The flotation test conditions applying the densification of 110 g/l were maintained as in case of 150 g/l densification.

The flotation experiment results are shown in Tables 9 to 15. It is clear from the flotation results that as much as 1,32% better results were obtained for concentrates and flotation time 1–3 minutes as for the ash content than it was in case of 150 g/l densification.

#### **The influence of the individual tested flotation agents on the formation of froth**

In all the tested coal slurry samples applying flotation agent Montanol 508, high frothiness of the concentrate was observed – froth with huge bubbles. Therefore, flotation agents of the Montanol 800 line,

Tabela 9  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 508

Table 9  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 508

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 57 / concentrate 57	82,13	5,75
3–5	koncentrat 58 / concentrate 58	11,51	7,38
5	odpady 29 / tailings 29	6,36	85,68
suma / sum		100	11,02

Tabela 10  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-1

Table 10  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-1

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 59 / concentrate 59	86,91	6,03
3–5	koncentrat 60 / concentrate 60	6,02	13,34
5	odpady 30 / tailings 30	7,07	84,56
suma / sum		100	12,02

Tabela 11  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-2

Table 11  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-2

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 61 / concentrate 61	90,21	6,14
3–5	koncentrat 62 / concentrate 62	3,88	64,66
5	odpady 31 / tailings 31	5,91	86,8
suma / sum		100	13,18

Tabela 12  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-3

Table 12  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-3

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 63 / concentrate 63	77,29	5,97
3–5	koncentrat 64 / concentrate 64	12,87	4,59
5	odpady 32 / tailings 32	9,84	65,42
suma / sum		100	11,64

Tabela 13  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-4

Table 13  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-4

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 65 / concentrate 65	85,08	5,95
3–5	koncentrat 66 / concentrate 66	6,88	4,29
5	odpady 33 / tailings 33	8,04	81,74
suma / sum		100	11,93

Tabela 14  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-5

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 67 / concentrate 67	89,36	6,07
3–5	koncentrat 68 / concentrate 68	3,52	35,3
5	odpady 34 / tailings 34	7,12	86,99
suma / sum		100	12,86

Table 14  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-5

Tabela 15  
Surowe muły węglowe z kopalni Darkov, Montanol 800-6

Czas flotacji, [min] Flotation time, [min]	Frakcja Fraction	Uzysk, [%] Yield, [%]	Popiół, [%] Ash, [%]
1–3	koncentrat 69 / concentrate 69	88,83	5,19
3–5	koncentrat 70 / concentrate 70	3,74	23,81
5	odpady 35 / tailings 35	7,43	87,08
suma / sum		100	11,97

Table 15  
Raw coal slurry from Darkov Mine, Montanol 800-6

powodu testowano wszystkie odczynniki flotacyjne z linii Montanol 800, czyli Montanol 800-1 do 800-6. Wszystkie odczynniki flotacyjne z linii Montanol 800 wykazywały mniejsze zdolności pianotwórcze w porównaniu z Montanol 508. Pęcherzyki w pianie były mniejsze i bardziej zwarte, piana była grubsza. W odniesieniu do cech wyflotowanego koncentratu – zawartość popiołu/uzysk – zalecamy stosowanie Montanol 800-2 i Montanol 800-3. Montanol 800-2 tworzy zwartą pianę z ułożonych naprzemiennie drobnych i nieco większych pęcherzyków. Montanol 800-3 tworzył gęstą pianę złożoną wyłącznie z drobnych pęcherzyków.

## Wnioski

Celem pracy było zbadanie floatowalności mułów węglowych węgla kamiennego z Kopalni Darkov przy wykorzystaniu stosowanego do tej pory odczynnika flotacyjnego Montanol 508 i nowych odczynników flotacyjnych Montanol 800-1 do 6. Następnie obserwowano pianotwórczość poszczególnych odczynników flotacji. Wyniki badania flotacji pokazują, że badane próbki mułów węglowych z Kopalni Darkov mają dobre parametry floatowalności, jednak pod względem zawartości popiołu, lepsze wyniki uzyskuje się dla zagęszczenia 110 g/l.

Co do oceny pianotwórczości odczynników flotacyjnych linii Montanol 800, zalecamy zastosowanie Montanol 800-2 i Montanol 800-3 przy flotacji mułów węglowych.

i.e. Montanol 800-1 to 800-6, were all tested. All the flotation agents of the Montanol 800 line showed lower frothiness capacity when compared with Montanol 508. The bubbles in the froth were smaller and more compact, the froth was thicker. With regard to the characteristics of the flotation concentrate – ash content/yield – we recommend applying Montanol 800-2 and Montanol 800-3. Montanol 800-2 manifested compact froth with alternating fine and larger bubbles. Montanol 800-3 had thick froth where only small bubbles were represented.

## Conclusion

The objective of the work was to examine floatability of raw coal slurry from Darkov Mine applying so far employed flotation agent Montanol 508 and new flotation agents Montanol 800-1 to 6. Next, frothiness of the individual flotation agents was observed. The flotation test results imply that the tested coal slurry samples from Darkov Mine have good flotation characteristics and in terms of ash content, better results are obtained at 110 g/l densification.

As for the evaluation of frothiness of the flotation agents of the Montanol 800 line, we recommend applying Montanol 800-2 and Montanol 800-3 flotation agents in coal slurry flotation.

## Literatura – References

1. Bedeković G., Fečko P., Riedlová S., Drobník M.: Testování flotačních sběračů na vzorcích uhlí z dolu Lazy. Sborník: Recyklace odpadů VII, VŠB-TU Ostrava. 10.X.2003, pp. 149–154. Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0245-7.
2. Crozeir R. D.: Flotation - theory, reagents and ore testing. Pergamon Press, 1992. ISBN 0-08-041864-3.
3. Dinter O.: Úprava nerostných surovin. Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1963. 475 pp.
4. Fečko P.: Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. VŠB-TU Ostrava, 2001. 150 pp. ISBN 80-7078-921-2.
5. Fečko P.: Výzkum optimalizace černého uhlí. Grantový úkol č. 105/98/0836, VŠB-TU Ostrava, 2000
6. Fečko P., Ovčari P., Riedlová S., Skórka V., Tora B.: The Investigation on the flotation of coal from mine Staszicz (Poland). 12<sup>th</sup> International Conference on Coal Science, Cairns, Australia, 2.-6.11.2003, ref.12Pa.
7. Fečko P., Pečtová I., Riedlová S., Kučerová R.: Testing of Coal Floatability from Mine CSA. Sborník: Proceedings of 10th International Mineral Processing Symposium, Cesme, Turkey, 5.-7.X.2004, pp. 927–934. ISBN 975-7946-21-4.
8. Kmeť S.: Flotácia. Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 1992. 289 pp. ISBN 80-05-00971-2.
9. Laskowski J.Ł Coal Flotation and Fine Coal Utilization. Elsevier, Amsterdam, 2001. 368 pp. ISBN 0-444-50537-7.
10. Nguyen A. V., Schulze H. J., Ralston J.: Elementary steps in particle-bubble attachment. International Journal of Mineral Processing, Vol. 51, No. 1–4, pp. 183–165, 1997.
11. Roubíček V., Buchtele J.: Uhlí, zdroje, procesy, užití. Ostrava, MONTANEX, 2002. 173 pp. ISBN 80-7225-063-9.
12. Roubíček V., Buchtele J. Chemie uhlí a jeho využití. VŠB-TU, Ostrava 1996. 216 pp. ISBN 80-7078-406-7.
13. Sablik J.: Flotacja wegli kamenných. GIG Katowice, 1998. pp. 291. ISBN 83-87610-02-X.
14. Wiser W.: Dept. Energy, Pittsburgh. Energy Tech.Ctr. Proceed Coal. Water Fuel Ztech. Workshop, Rept. No: BNL 51427, 1981.