



Zawiesinowe paliwa węglowo-wodne; wpływ detergentów na stan energetyczny powierzchni ziaren węglowych

Coal-water slurry fuels (CWSF); influence of detergents on the surface energy of coal grains

Andrzej ŚLĄCZKA¹⁾, Zdzisław PISZCZYŃSKI²⁾, Fernando Gines POLO³⁾

¹⁾Dr. hab. inż., prof. Pol. Śl.; Politechnika Śląska, Katedra Przeróbki Kopalni i Utylizacji Odpadów; ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel. (+48-32) 237 11 35; fax. (+48-32) 237 15 10; e-mail: andrzej.slaczka@polsl.pl

²⁾Mgr inż.; Politechnika Śląska, Katedra Przeróbki Kopalni i Utylizacji Odpadów; ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel. (+48-32) 237 11 35; fax. (+48-32) 237 15 10; e-mail: zdzislaw.piszczynski@polsl.pl

³⁾Dyplomant; Escuela Technica Superior Ingenieros - Universidad Politecnica - Madrid

RECENZENCI: Prof. dr. Valentin A. CHANTURIYA; Prof. dr hab. Jerzy SABLİK

Streszczenie

Przebadano wpływ wybranych detergentów na energię powierzchniową ziaren węgla w układzie węgiel-woda-dodatki modyfikujące. Do przygotowania zawiesin użyto polskiego węgla typu 34.2. Jako modyfikatory zastosowano niejonowe środki powierzchniowo czynne produkcji Zakładów Chemicznych „ROKITA” S.A. w Brzegu Dolnym – Rokwinol 60 będący polioksyetylowanym oleinianem sorbitanu o wzorze sumarycznym $C_{64}H_{124}O_{26}$ i Rokanol ŁO18, który jest eterem polioksyetylenoglikolowym nienasyconego alkoholu tłuszczowego o wzorze chemicznym: $RO(CH_2CH_2O)_nH$, gdzie: R – rodnik węglowodorowy zawierający 16 do 18 atomów węgla w łańcuchu, a „n” wynosi średnio 18. Wyznaczenie energii powierzchniowej węgla dokonano w oparciu o testy flotacji powierzchniowej. Stwierdzono, że Rokwinol 60 wykazuje większe zdolności obniżania energii powierzchniowej ziaren węglowych w porównaniu z Rokanolem ŁO18.

Summary

The influence of chosen detergents on the surface energy of coal grains in the system coal-water-additives were tested using the film flotation method. The coal used in experiments was coking coal type of 34.2 according to the Polish Standards. As additives nonionic surfactants Rokwinol 60 and Rokanol ŁO18 manufactured by the “ROKITA” Chemical Factory in Brzeg Dolny, Poland were used. Rokwinol 60 is the polyoxyethylated sorbite oleate of the formula $C_{64}H_{124}O_{26}$, whereas Rokanol ŁO18 is polyoxyethylene (18) tallow alcohol of the formula $RO(CH_2CH_2O)_nH$, where R – alkyl radical, consists of 16 to 18 carbon atoms in the carbon chain and “n” is equal to around 8. It was stated that Rokwinol 60 causes greater decrease in surface energy of the coal used in comparison with Rokanol ŁO18.

1. Wprowadzenie

Zawiesiny węglowo-wodne o dużym zagęszczeniu są ostatnio przedmiotem zainteresowania z uwagi na możliwość zastąpienia nimi oleju opałowego czy mazutu [1, 2]. Spalanie tego typu paliw w istniejących paleniskach olejowych jest możliwe po stosunkowo niewielkiej ich modyfikacji co dodatkowo przemawia za ich zastosowaniem [3]. Poza tym ze względu na niższą temperaturę spalania tego typu paliw do atmosfery emitowane są mniejsze ilości NO_x [4]. Wysokie zagęszczenie zawiesiny powinno zagwarantować odpowiednią wartość opałową mieszanki, która gwałtownie spada wraz ze zwiększeniem ilości wody w zawieszynie. Jednym z podstawowych czynników decydujących o możliwości uzyskania dużego zagęszczenia zawiesiny węglowo-wodnej jest skład granulometryczny węgla użytego do jej przygotowania [5]. Chcąc uzyskać jak największe zagęszczenie ziarna węgla

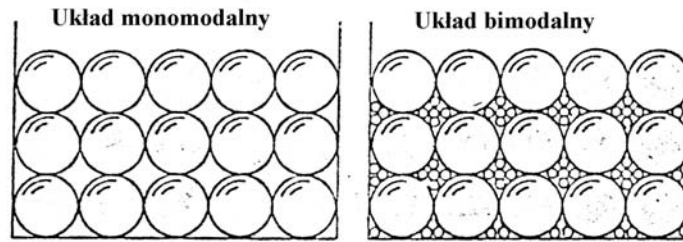
1. Introduction

Highly loaded CWSF-s are the matter of interest considering the possibility to substitute fuel oil or mazout with them [1,2]. Necessity of merely slight retrofitting of existing fuel oil burners for using them for firing of CWSFs additionally conduces to use them [3]. Moreover because of lower firing temperature the smaller amount of NO_x is emitted to the atmosphere [4]. The high coal loading is essential too. The calorific value of CWSFs depends on coal content and decreases rapidly with its lowering. The coal particle size distribution is one of the very important parameters allowing to get high concentration of the slurry. Most highly loaded CWSFs have a bimodal coal particle size distribution.

The sketch of the loaded volume with spheres is given in the Fig. 1.

powinny posiadać zróżnicowane wymiary tak aby najbardziej wypełniały przestrzeń. Najkorzystniejszy jest w tym przypadku układ bimodalny.

Na rysunku 1 Przedstawiono schematycznie wypełnienie przestrzeni kulami o różnych wymiarach.



Rys. 1
Schemat wypełnienia przestrzeni kulami

Fig. 1
Sketch of the space loading by spheres

Oprócz odpowiednich właściwości reologicznych [6, 7] i wysokiego zagęszczenia, zawiesiny węglowo-wodne powinny wykazywać wysoką stabilność sedymentacyjną umożliwiającą magazynowanie ich w zbiornikach jak również transport przy użyciu rurociągów [8].

Bardzo istotny wpływ na własności reologiczne zawiesiny węglowo-wodnej jak również jej stabilność sedymentacyjną mają oprócz zagęszczenia zawiesiny, rodzaju zastosowanego węgla, jego składu ziarnowego różne substancje chemiczne dodawane do zawiesin w niewielkich ilościach [9].

Celem niniejszej pracy było określenie zmian stanu energetycznego powierzchni ziaren węgla w zawieszynie węglowo-wodnej pod wpływem wybranych detergentów.

2. Materiał

2.1. Węgiel

W badaniach użyto węgla z Zakładu Górniczego „Bytom III” typu 34.2 o zawartości 4,18% popiołu, 2,4% wilgoci higroskopijnej i 33,4% części lotnych.

Węgiel był koncentratem z procesu wzbogacania wibrofluidalnego. Materiał ten rozdrobniono w ucietraku agatowym i wydzielono z niego wąską klasę ziarnową 0,2 ÷ 0,3 mm, którą używano do testów flotacji powierzchniowej.

2.2. Użyte detergenty

Zastosowano dwa niejonowe środki powierzchniowo czynne produkcji Zakładów Chemicznych „ROKITA” S.A. w Brzegu Dolnym a mianowicie: Rokanol ŁO 18, i Rokwinol 60.

Rokanol ŁO 18 jest eterem polioksyetylenoglikolowym nienasyconego alkoholu tłuszczowego o wzorze chemicznym: $RO(CH_2CH_2O)_nH$, gdzie: R – rodnik węglowodorowy zawierający 16 do 18 atomów węgla w łańcuchu, a „n” wynosi średnio 18.

Besides the proper rheological properties [6, 7] and high coal loading the CWSFs should be stable that means do not sediment that allow to transportation them by pipeline and to kip them in tanks [8].

Very important influence on the rheological properties and stability of CWSFs besides slurry concentration, type of coal used and its size distribution has chemical additives that are added into slurry in small amounts [9].

The aim of this work was to determine the surface energy of coal grains in the coal-water suspension depending on the kind and amount of detergents used.

2. Materials

2.1. Coal

The Polish coke coal from the Mine Factory “Bytom III” type of 34.2 according to the Polish coal classification was used. From the results of proximate analysis, the ash, moisture, and volatile matter contents of this coal were 4.18 wt%, 2.4 wt% and 33.4 wt% respectively.

The coal was a concentrate of the grain size range 0,01 ÷ 10,0 mm obtained by vibro-fluidal enrichment method. This material was grinded in an agate mortar to obtain the narrow size range 0.2 ÷ 0.3 mm which was used for film flotation tests.

2.2. Detergents used

Two nonionic surfactants manufactured by Chemical Factory “ROKITA” in Brzeg Dolny, Poland were chosen as an additives influencing the surface energy of coal.

They were:

Rokanol ŁO18 – polyoxyethylene (18) tallow alcohol of the formula $RO(CH_2CH_2O)_nH$, where R –

Rokwinol 60 to polioksyetylenowany oleinian sorbitanu o wzorze chemicznym $C_{64}H_{124}O_{26}$ i masie cząsteczkowej około 1300.

3. Metodyka badań

Pomiar energii powierzchniowej ziaren węglowych przeprowadzono metodą frakcjonowanej flotacji powierzchniowej (FFP) wprowadzonej przez Fuerstenau'a [10] i stosowanej przez innych badaczy [11, 12]. Metoda ta daje możliwość pogłębionej ilościowej charakterystyki powierzchni ciał stałych np. węgla.

Istotą metody FFP jest wykonanie rozdziału materiału umieszczonego na powierzchni cieczy w postaci jednoziarnowej warstwy na frakcję tonącą i pływającą.

W zależności od napięcia powierzchniowego cieczy ziarna materiału posiadające energię powierzchniową przewyższającą napięcie powierzchniowe cieczy – toną a te, których energia powierzchniowa jest mniejsza pozostają na powierzchni. W ten sposób zmieniając napięcie powierzchniowe cieczy roboczej można wyznaczyć rozkład energii powierzchniowej ziaren badanego materiału.

Jako ciecz roboczą zastosowano wodne roztwory etanolu o różnym stężeniu, których napięcia powierzchniowe wyznaczono doświadczalnie.

Pomiary przeprowadzono dla węgla świeżego oraz dla węgla modyfikowanego roztworami wytypowanych detergentów o różnym stężeniu.

Modyfikację powierzchni węgla wykonano zalewając ziarna węglowe roztworami odczynników o stężeniach odpowiednio 0,005%, 0,01%, 0,015% i 0,020%.

alkyl radical, consists of 16 to 18 carbon atoms in the chain and “n” is equal to around 18.

Rokwinol 60 – polyoxyethylated sorbitol oleate of the chemical formule $C_{64}H_{124}O_{26}$ and molecular weight of around 1300.

3. Procedure

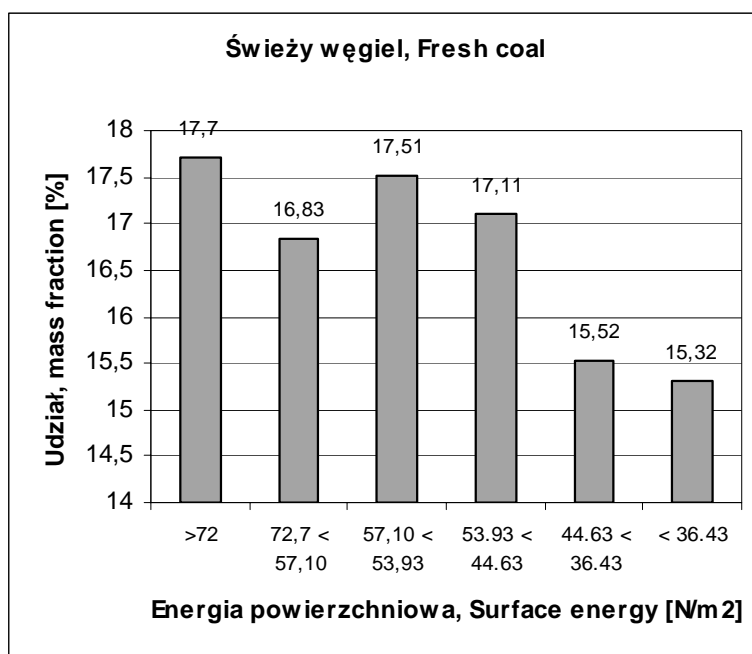
The measurements of the surface energy of coal grains were performed by means of film flotation method introduced by Fuerstenau [10] and used and developed by other researchers [11, 12]. This method allows to get quantitative characteristic of solid surface e.g. coal.

This method consists in separation the powder placed onto the surface of liquid, in the form of monograin layer, into two fractions: floating and sinking.

The grains having the surface energy greater then surface tension of the liquid used sink while the grains of the surface energy lower then surface tension of the liquid remain floating. Changing the surface tension of the liquid used one can obtain the distribution of grains according to their surface energy.

As a liquids ethanol solutions of different concentration were used. Their surface tensions were determined experimentally.

The measurements were carried out using a fresh coal (as grinded) and coal modified with solutions of chosen detergents of concentrations 0.005%, 0.001%, 0.015% and 0.02%.



Rys. 2
Rozkład energii powierzchniowej ziaren świeżego węgla

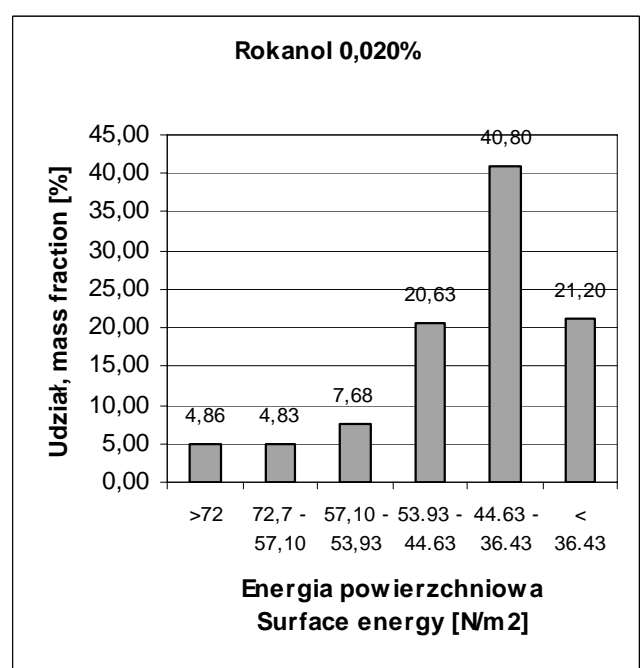
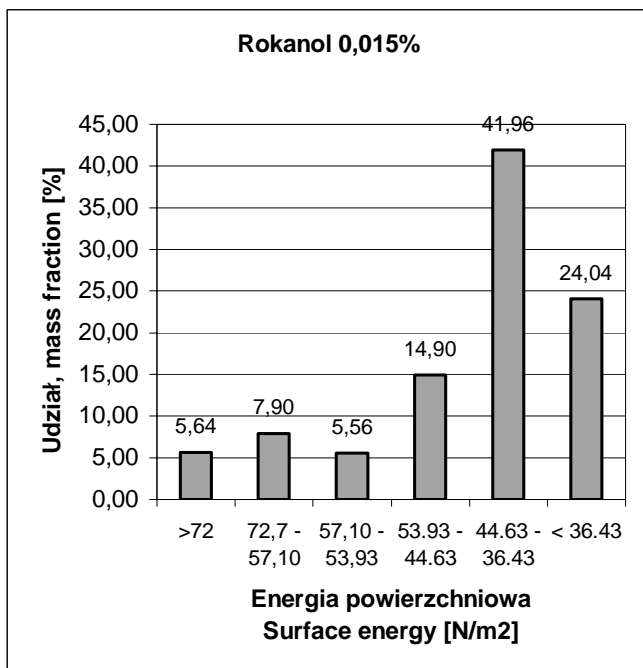
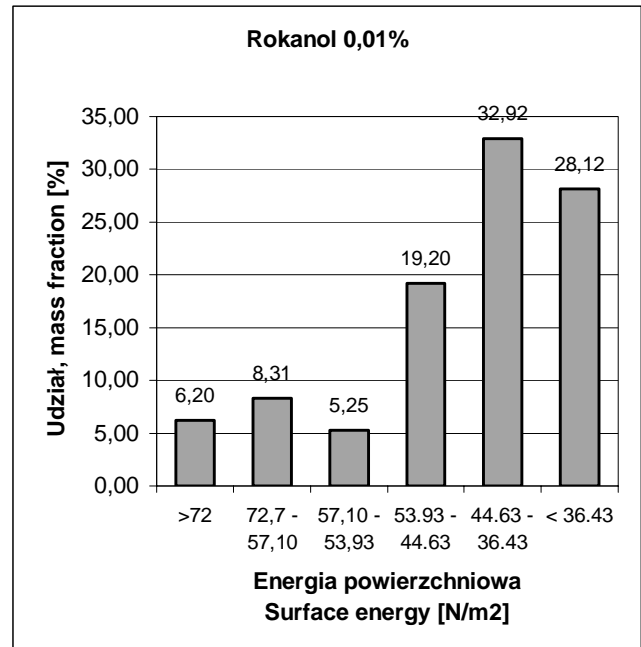
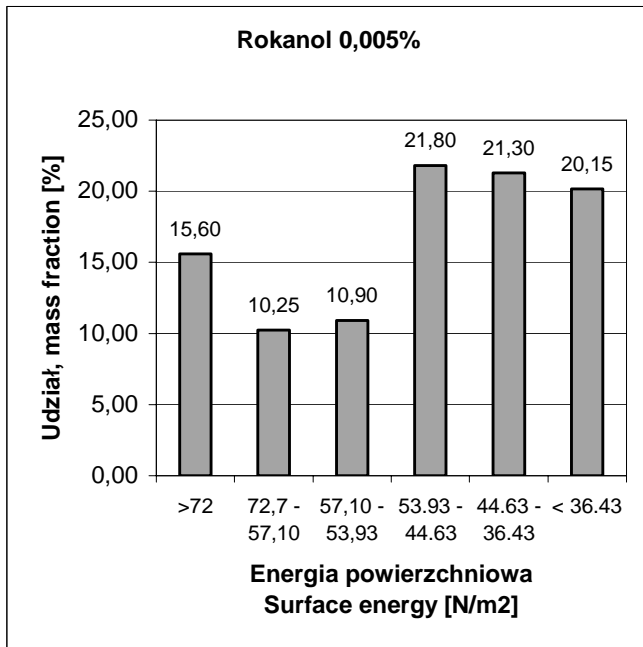
Fig. 2
Distribution of the surface energy of the fresh coal

Po odczekaniu 30 minut ziarna węgla odsączano, przemywano trzykrotnie wodą destylowaną w celu odmycia roztworu z przestrzeni międzyziarnowej i suszono w temperaturze 300°C.

Wyniki pomiarów flotacji powierzchniowej przedstawiono na rysunkach 2, 3 i 4.

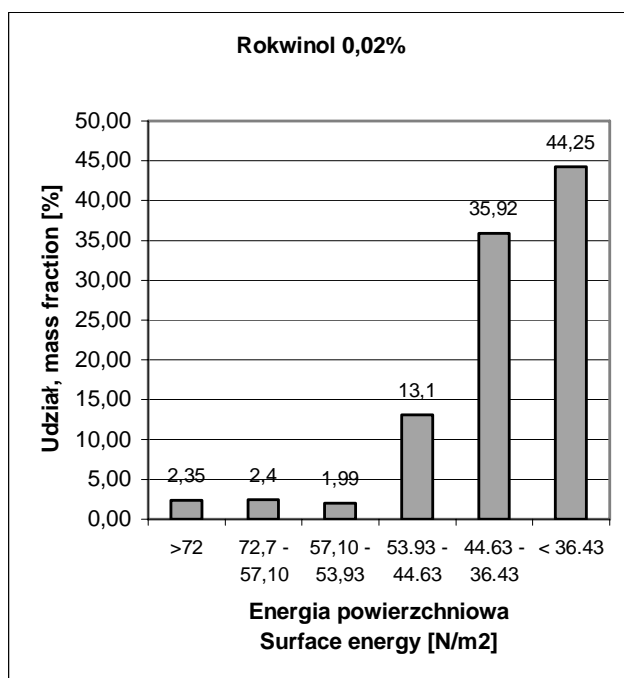
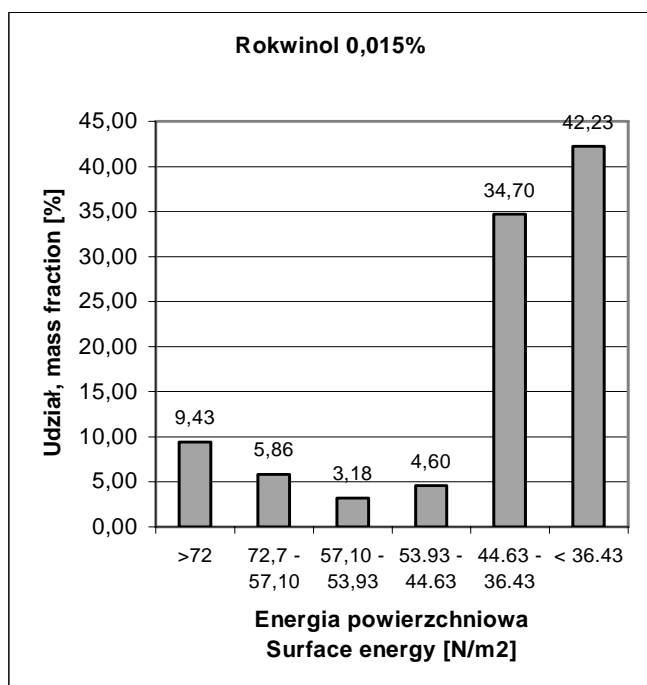
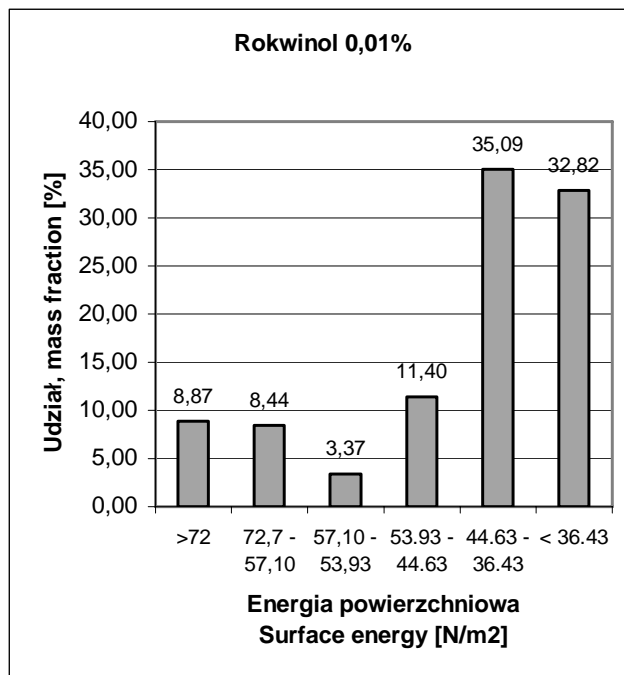
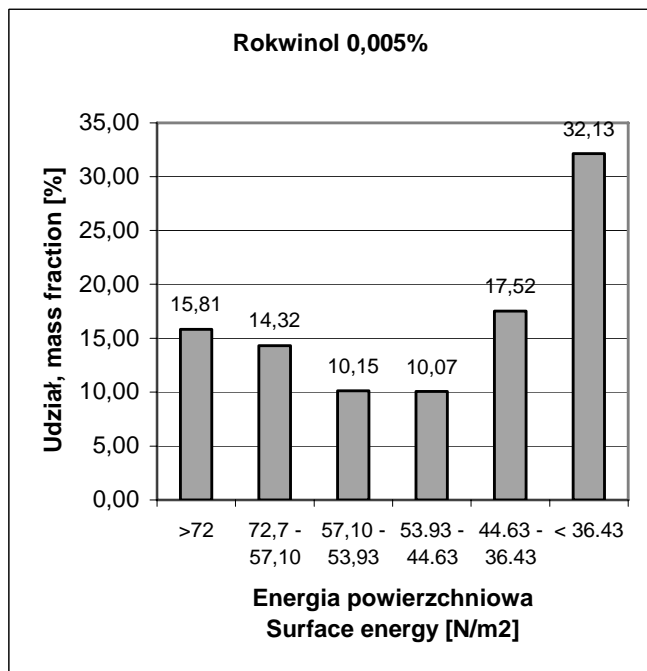
Surface modification was consisted in kipping the coal in the proper detergent solution by 30 minutes, after that the coal was filtered, washed three times with water to remove detergent remaining between coal grains and dried in 300°C.

The results of experiments are shown in Figures 2, 3 and 4.



Rys. 3 Rozkład energii powierzchniowej ziaren węgla modyfikowanego roztworami Rokanolu ŁO 18 o różnych stężeniach

Fig. 3 Distribution of the surface energy of the coal modified with solutions of Rokanol ŁO 18 of different concentrations



Rys. 4
Rozkład energii powierzchniowej ziaren węgla modyfikowanego roztworami Rokwinolu 60 o różnych stężeniach

Fig. 4
Distribution of the surface energy of the coal modified with solutions of Rokwinol 60 of different concentrations

4. Omówienie wyników

Z przedstawionych na rysunkach 2, 3 i 4 danych wynika, że adsorpcja wytypowanych detergentów na powierzchni ziaren węglowych wyraźnie przesuwa ich energię powierzchniową w kierunku mniejszych wartości.

Jeżeli podzieli się zakres badanych energii powierzchni na dwa przedziały mniejszy i większy od 53,93 N/m² (Tabela 1) to wyraźnie widać, że

4. Discussion

Basing on the results obtained (Figs 2, 3 and 4) one can conclude, that adsorption of chosen detergents on the coal surface moves their surface energy to the lower values.

Having spread the tested energy range into two parts higher and lower than the value equal to 53.93 N/m² and calculate for them the surface energy distribution (Table 1) it is visible clearly that

Rokwinol 60 jest czynnikiem znacznie bardziej aktywnym od Rokanolu ŁO18. Dla stężenia modyfikującego roztworu wynoszącego 0,02% udział ziaren niskoenergetycznych jest w przypadku użycia Rokwinolu 60 o ponad 12% większy od takiegoż udziału gdy do modyfikacji zastosuje się roztwór Rokanolu ŁO18 o takim samym stężeniu.

Rokwinol 60 is much more active agent than Rokanol ŁO 18. For the coal modified with the 0.02% solutions Rokwinol 60 causes over 12% increase in amount of low surface energy grains compared to Rokanol ŁO18 action.

Tablica 1
Procentowe udziały masy ziaren węgla o energiach powierzchni mieszczących się w podanych przedziałach

Table 1
Mass fractions of the coal grains in the two ranges of surface energy

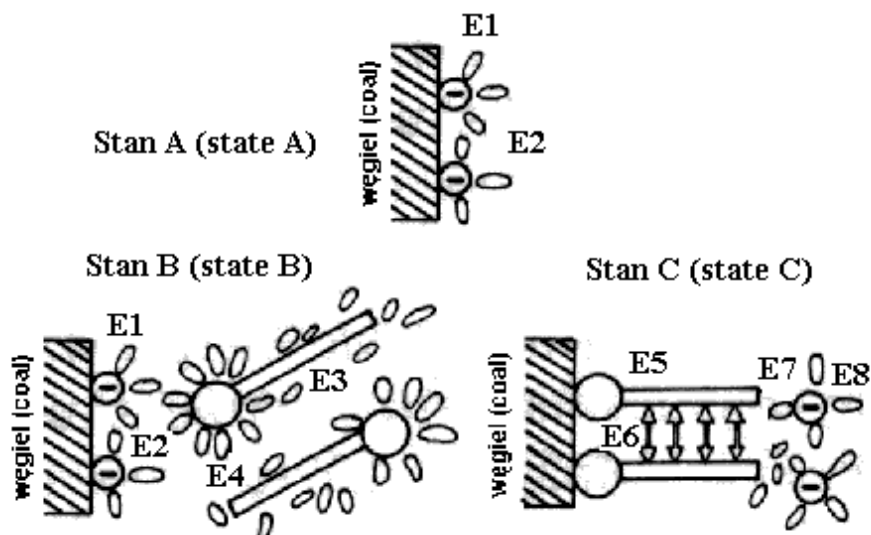
	Energia powierzchni > 53,93 N/m ² [%] Surface energy > 53,93 N/m ² [%]	Energia powierzchni < 53,93 N/m ² [%] Surface energy < 53,93 N/m ² [%]
Czysty węgiel Clean coal	52,04	47,96
Węgiel modyfikowany roztworami Rokanolu ŁO18 Coal modified with solutions of Rokanol ŁO 18		
Stężenie roztworu [%] Concentration of solution [%]		
0,005	36,75	63,25
0,010	19,76	80,24
0,015	19,10	80,90
0,020	17,37	82,63
Węgiel modyfikowany roztworami Rokwinolu 60 Coal modified with solutions of Rokwinol 60		
Stężenie roztworu [%] Concentration of solution [%]		
0,005	40,28	59,72
0,010	20,68	79,32
0,015	18,57	81,43
0,020	6,74	93,26

Energia powierzchni ziaren węglowych w zawiesinie decyduje o układzie sił występujących pomiędzy ziarnami węglowymi a cząsteczkami substancji obecnymi w ośrodku w którym się znajdują. W zawiesinie węglowo-wodnej stabilizowanej cząsteczkami detergentów znajdują się cząsteczki tych ostatnich, różne jony oraz cząsteczki wody. Wzajemne możliwe oddziaływania pomiędzy tymi składnikami zawiesiny przedstawiono schematycznie na rysunku 5.

Stan A przedstawia sytuację przed wprowadzeniem detergentu. Centra hydrofilowe a więc wysoko energetyczne są obsadzone hydratowanymi jonami co powoduje określoną hydrofilność powierzchni węgla. Po wprowadzeniu detergentu (stan B) polarne grupy wchodzące w skład jego cząsteczki rugują z powierzchni węgla zaadsorbowane jony zajmując ich miejsce. Odpowiada temu przedstawiony na rysunku 5 stan C. Powierzchnia węgla zwiększa swoją hydrofobowość co objawia się zwiększeniem ilości frakcji pływającej w teście flotacji powierzchniowej (rys 2, 3,4 i tabela 1).

The surface energy of coal grains in the slurry determine forces acting between them and molecules present in the slurry. In the coal-water slurry stabilized with molecules of detergents are present, beside them, different ions and water molecules. Mutual interactions between these components is shown in the Figure 5.

State A presents the situation before detergent is introduced. The hydrophilic centers which are highly energetic ones are covered with hydrated ions. It causes specific hydrophylicity of coal surface. When the detergent is introduced (state B) its polar groups oust from coal surface adsorbed ions taking their seats (state C). The coal surface increase in its hydrophobicity which can be observed as augmentation of floating fraction in the film flotation tests (Fig. 2, 3, 4 and Table 1).



Rys. 5
Schemat energii oddziaływań pomiędzy cząsteczkami
w zawieszynie wodno-węglowej

- E1 – Energia oddziaływań jonów nieorganicznych z grupami polarnymi powierzchni węgla
- E2 – Energia oddziaływania dipoli wody z nieorganicznymi jonami zaadsorbowanymi na powierzchni węgla
- E3 – Energia oddziaływań na granicy woda-boczne fragmenty łańcucha węglowodorowego detergentu
- E4 – Energia oddziaływań dipoli wody z polarnymi grupami detergentu znajdującego się w roztworze
- E5 – energia oddziaływania grupy solidofilnej wprowadzonego detergentu z grupą polarną powierzchni węgla
- E6 – Energia oddziaływań dyspersyjnych pomiędzy łańcuchami węglowodorowymi cząsteczek detergentu
- E7 – Swobodna energia powierzchni rozdziału woda-końcówce fragmenty łańcucha węglowodorowego detergentu
- E8 – Energia hydratacji jonów nieorganicznych obecnych w zawieszynie

Fig. 5
Energy of interactions between molecules
in the system: coal grains-water-additives

- E1 – the energy of interaction between inorganic ions and polar groups on the coal surface
- E2 – the energy of interaction of water dipoles with inorganic ions adsorbed on the coal surface
- E3 – the energy of water-middle part of carbon chain interface
- E4 – the energy of interaction between water dipoles with polar groups of surfactant in the solution
- E5 – the interaction energy between solidophilic groups of surfactant and a polar groups on the coal surface
- E6 – energy of dispersion interaction between carbon chains of surfactant
- E7 – the free energy of water-the end part of carbon chain interface
- E8 – energy of hydration of inorganic ions present in the slurry

Przedstawione wyniki wskazują, że Rokwinol 60 jest bardziej hydrofobizującym środkiem aniżeli Rokanol ŁO18. Prawdopodobnie spowodowane to jest większą ilością grup wodorotlenowych w cząsteczce Rokwinolu 60 (pochodna sorbitu). Jedna cząsteczka takiego związku jest w stanie obsadzić większą ilość polarnych centrów na powierzchni węgla. Zdolności adsorpcji Rokanolu ŁO 18 na polarnych centrach powierzchni węgla jako polieteru są mniejsze co objawia się mniejszym jego wpływem na obniżenie energii powierzchniowej węgla.

Z punktu widzenia własności jakim powinny odpowiadać zawieszinowe paliwa węglowo-wodne hydrofobowość ziaren węgla w zawieszynie jest czynnikiem korzystnym z dwóch powodów.

Po pierwsze hydrofobowość powierzchni utrudnia lub uniemożliwia wnikanie wody w pory i pęknięcia ziaren węgla. Umożliwia to uzyskanie większego zagęszczenia zawiesziny bez utraty jej płynności albowiem woda pozostaje pomiędzy ziarnami węgla. W ten sposób można wytłumaczyć korzystniejszy

The results presented show that Rokwinil 60 is more hydrophobizing agent than Rokanol ŁO18. It is probably caused by larger amount of hydroxyl groups in its molecule (derivative of sorbite). One molecule of such a agent can occupy larger amount of polar centers on the coal surface. Adsorption ability of Rokanol ŁO18, however, (it is a polyether), onto the polar centers is lower so, its action towards decreasing surface energy of coal is lower too.

Taking into account the properties required for coal-water slurry fuels one can say that hydrophobicity of coal surface is a favorable factor because of two reasons.

Firstly, hydrophobicity makes penetrate of water into coal grains difficult or impossible. This make possible to get a more loaded slurry without losing its fluidity because water remains between coal grains. This explains more effective action of Rokwinol 60 compare to Rokanol ŁO18 on rheological properties highly loaded coal-water slurries [9].

w porównaniu z Rokanolem ŁO 18 wpływ Rokwinolu 60 na własności reologiczne zawiesin węglowo-wodnych o dużym zagęszczeniu [9].

Po drugie, gęsto upakowane w zawieszinie ziarna węglowe z zaadsorbowanymi na ich powierzchni cząsteczkami detergentu (rys.5C) są w stanie wytworzyć strukturę wewnętrzną powiązaną łańcuchami węglowodorowymi, która jest wystarczająca do zwiększenia stabilności sedimentacyjnej zawiesiny. Struktura ta jest jednak na tyle słaba, że jej zakłócenie czynnikami mechanicznymi (mieszanie, pompowanie) powoduje jej zniszczenie i zawiesina nabiera cech płynności. Jest to typowe zachowanie odpowiadające cieczom tiksotropowym.

Można więc także przypuszczać, że Rokwinol 60 w porównaniu z Rokanolem ŁO 18 będzie lepszym środkiem stabilizującym zawiesinę węglowo-wodną o dużym zagęszczeniu.

Należy również wziąć pod uwagę, że przemysłowe zawiesiny węglowo-wodne są układami polidispersyjnymi. Energia powierzchni zależy również od wielkości ziarna. Im mniejsze ziarno tym większa jest jego energia powierzchni. W naszych badaniach w celu porównania wpływu wybranych substancji na energię powierzchni ziaren w zawieszinie węglowo-wodnej do badań użyto wąską klasę ziarnową 0,2 ÷ 0,3 mm. Im mniejsze ziarno tym większe jego zdolności adsorpcyjne tak więc sądzimy, że zastosowane środki powierzchniowo czynne będą bardziej wpływały na stan energetyczny ziaren drobnych aniżeli grubych. Biorąc to pod uwagę można założyć, że w układzie polidispersyjnym, jakim są przemysłowe zawiesiny węglowo-wodne, charakter wpływu wytypowanych detergentów będzie podobny do obserwowanego dla wąskiej klasy ziarnowej.

And second, thickly packed coal grains in the slurry covered with adsorbed onto their surface molecules of detergent (Fig.5C) are able to form inner structure bonded with hydrocarbon chains. This structure is enough to increase in sedimentation stability of the slurry but it is easily destroyed under the influence of mechanical action e.g. stirring or pumping and the slurry becomes fluid. It is typical behavior for thixotropic fluids.

Thus, one may also suppose that Rokwinol 60 will better stabilize high loaded coal-water slurry against sedimentation than Rokanol ŁO 18.

One should also keep in mind that industrial coal-water slurries are poly-dispersed systems. The surface energy of coal grains also depends on their dimensions. The smaller grain the larger its surface energy. In our experiments in order to compare the influence of additives on surface energy of coal grains in the slurry a narrow size range 0,2 ÷ 0,3 mm was used. The smaller grains have greater ability to adsorption so, in that case we suppose that additives will more influence on their surface energy than in the case of large ones.

Taking mentioned above into account we suppose that character of influence of chosen chemicals on examined properties of coal grains in the slurry in the case of poly-dispersed system will be similar to tested narrow size range.

Literatura — References

1. Ślęczka A., Piszczyński Z., Kasprzak E., Karuga St.: *Zawiesinowe paliwa węglowo-wodne na bazie węgla koksujących i energetycznych*, - *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo*. Zeszyt 231, str. 499–513, (1996)
2. Kubica R. Smółka W.: *Zawiesinowe paliwa węglowe, rozwój, charakterystyka i perspektywy zastosowania*. *Gospodarka paliwami i energią* 2, 1 (2000)
3. Yao Q, *at al.* *Retrofit considerations for burning coal-water slurry at Baiyanghe power plant*. *Proceedings of the International Conference on Coal and Slurry Technologies*. Clearwater, FL, USA, 269 (1990). 2004
4. Miller B.G. *at al.*: *Cofiring Coal-Water Slurry Fuel with Puherized Coal as a NOx Reduction Strategy*. C211 Coal Utilization Center, The Pennsylvania State University (2004)
5. Ślęczka A.: *Zawiesinowe paliwa węglowo-wodne (ZPWW)*. *Mielenie węgla*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo* z.260 str .619–628, (2004)

6. Ślęczka A., Piszczuński Z.: *The Rheology and Stability of Concentrated Coal Water Slurries – 12-th Annual International Pittsburg Coal Conference (USA), Proc. str. 691, (1995)*
7. Ślęczka A., Piszczuński Z.: *The Rheology of Concentrated Coal Water Slurries – Al-Azhar Engineering Fourth International Conference, – str. 174, (1995) Mining Engineering (Egypt), 6, 174, 1995*
8. Bertram K.M. Kaszynski G.M.: *Comparison of coal-water slurry pipeline systems – Energy (Oxford) 1167-1180, 11, 1986*
9. Ślęczka A.: *Rheology of highly loaded coal-water slurries Inżynieria mineralna (Journal of the Polish Mineral Engineering Society) Nr 1(12) str. 9–18, (2004)*
10. Diao J., Fuerstenau D. W.: *Characterization of the wettability of solid particles by film flotation., Part II: Theoretical analysis., Colloids and Surfaces., 60*
11. Sablik J., Wierzchowski K. *Evaluation of the influence of flotation reagents on the hydrophobicity of coal using the film flotation method. Fuel 71, 4/ 474–475*
12. Sablik J. *Niejednorodność krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania w zbiorze bardzo drobnych ziarn węglowych. Inżynieria Mineralna (1), 17–22, (2000).*
13. Laskowski J.: *Chemia fizyczna w procesach mechanicznej przeróbki kopalin, wyd. „Śląsk”. Katowice 1969*