



Reologia zawiesiny węglowo-wodnej o dużym zagęszczeniu

Rheology of highly loaded coal water slurries

Andrzej ŚLĄCZKA ¹⁾

¹⁾ Dr hab. inż., prof. Pol. Śl.; Politechnika Śląska, Katedra Przeróbki Kopalni i Utylizacji Odpadów; ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel. (+48-12) 237-11-35, fax: (+48-32) 237-15-10, e-mail: slaczka@polsl.gliwice.pl

RECENZENCI: *ass. prof. dr Ljudmilla BOKÁNYI Ph.D., C.Sc.; dr inż. Zofia BLASCHKE*

Streszczenie

Przebadano własności reologiczne zawiesin węglowo-wodnych o dużym zagęszczeniu pod kątem wykorzystania ich jako paliwa. Do przygotowania zawiesin użyto polskiego węgla energetycznego typu 32.1. Jako środki upłynniające zastosowano niejonowe środki powierzchniowo czynne Rokafenol NX8, Rokwinol 60 i Rokanol ŁO18 produkcji Zakładów Chemicznych „ROKITA” S.A. w Brzegu Dolnym. Stwierdzono, że najlepsze działanie upłynniające wykazuje Rokwinol 60 będący polioksyetylowanym oleinianem sorbitanu o wzorze sumarycznym $C_{64}H_{124}O_{26}$. Zbadano również spójność warstwy sedimentu ziaren węglowych w roztworach badanych detergentów starając się powiązać ją z właściwościami reologicznymi zawiesiny. Stwierdzono, że największe zagęszczenie zawiesiny wodno-węglowej, której lepkość umożliwiałyby zastosowanie jej jako paliwa wynosi 55% wagowych i dla tej zawiesiny przeprowadzono dalsze badania.

Summary

The rheological properties of highly loaded coal-water slurries (CWSs) were tested from the point of view of usage them as a slurry fuels. The suspensions were prepared using a Polish coal type of 32.1 according to the Polish coal classification. As a flow agents the nonionic surfactants Rokafenol NX8, Rokwinol 60 and Rokanol ŁO18 manufactured by the "ROKITA" Chemical Factory in Brzeg Dolny, Poland were used. It was stated, that the best action on enhance the fluidity of CWS has Rokwinol 60. It is the polyoxyethylated sorbite oleate of the formula $C_{64}H_{124}O_{26}$. The coherence of the coal grains sediment layer in the solutions of flow agents were investigated too. It was stated that the most achievable coal loading was 55 % wt.

1. Wprowadzenie

Zawiesiny węglowo-wodne o dużym zagęszczeniu są przedmiotem zainteresowania z uwagi na możliwość zastąpienia nimi takich paliw ciekłych jak olej opałowy czy mazut. Muszą one jednak charakteryzować się odpowiednimi właściwościami reologicznymi gwarantującymi możliwość pompowania na duże odległości, transportu w cysternach i wtrysku paliwa do paleniska. Wymagana jest też wysoka zawartość węgla w zawieszynie gwarantująca odpowiednią wartość opałową mieszanki, która gwałtownie spada wraz ze zwiększeniem ilości wody. Bardzo istotny wpływ na właściwości reologiczne zawiesiny węglowo-wodnej mają zagęszczenie zawiesiny, rodzaj zastosowanego węgla, jego skład granulometryczny jak również dodatki upłynniające [1].

Hydrofobowość powierzchni węgla sprzyja zwiększeniu płynności zawiesiny węglowo-wodnej o dużym zagęszczeniu [2]. Świadczy o tym również to, że stosując do przygotowania zawiesin węgle nisko uwęglone o większej hydrofilności nie udaje się uzyskać zawiesin o dużym zagęszczeniu posiadających wymaganą płynność [3].

Spalanie tego typu paliw w istniejących paleniskach olejowych jest możliwe po stosunkowo niewielkiej ich modyfikacji co dodatkowo przemawia za ich

1. Introduction

Highly loaded CWS-s are the matter of interest considering the possibility to substitute fuel oil or mazout with them. They must however be characterized by proper rheological properties to guarantee possibility of pumping them for long distances and transportation in tankers. The high coal loading is essential too. The calorific value of CWSs depends on coal content and decreases rapidly with its lowering. The kind of coal used, particle size distribution as well as additives are also very important [1].

Hydrophobicity of coal surface improves a flowability of highly loaded CWSs [2]. Thus using a low rank coals to prepare CWSs it is not possible to get slurries of high coal concentration having a proper flowability [3].

Necessity of merely slight retrofitting of existing fuel oil burners for using them for firing of CWSs additionally conduces to use them. Moreover because of lower firing temperature the smaller amount of NO_x is emitted to the atmosphere [4].

To prepare the CWSs one may enrich the coal and the concentrate obtained without filtering and drying may be wet grinded leading to decreasing in

zastosowaniem. Poza tym ze względu na niższą temperaturę spalania tego typu paliw do atmosfery emitowane są mniejsze ilości NO_x [4].

Dodatkową korzyścią stosowania paliwa zawiesinowego węglowo-wodnego jest to, że po wzbogaceniu węgla koncentrat służący do przygotowania zawiesiny bez konieczności odwadniania i suszenia można domieścić na mokro co zmniejsza zużycie energii i eliminuje zagrożenie wybuchem pyłu węglowego.

Celem pracy było zbadanie wpływu wybranych dodatków upłynniających na właściwości reologiczne zawiesin węglowo-wodnych o dużym zagęszczeniu preparowanych z polskiego węgla energetycznego typu 32.1.

2. Materiały

2.1. Węgiel

W badaniach użyto węgla z KWK „Wesoła” typ 32.1 o zawartości 13,9% popiołu, 2,4% wilgoci higroskopijnej i 32,3% części lotnych.

Węgiel zmielono w młynie kulowym na mokro. Klasę ziarnową o wymiarach poniżej 0,075 mm użyto do przygotowania zawiesin.

Skład ziarnowy tego materiału, wyznaczony granulometrem laserowym, przedstawiono na rysunku 1.

energy consumption and avoiding the threat of coal dust explosion.

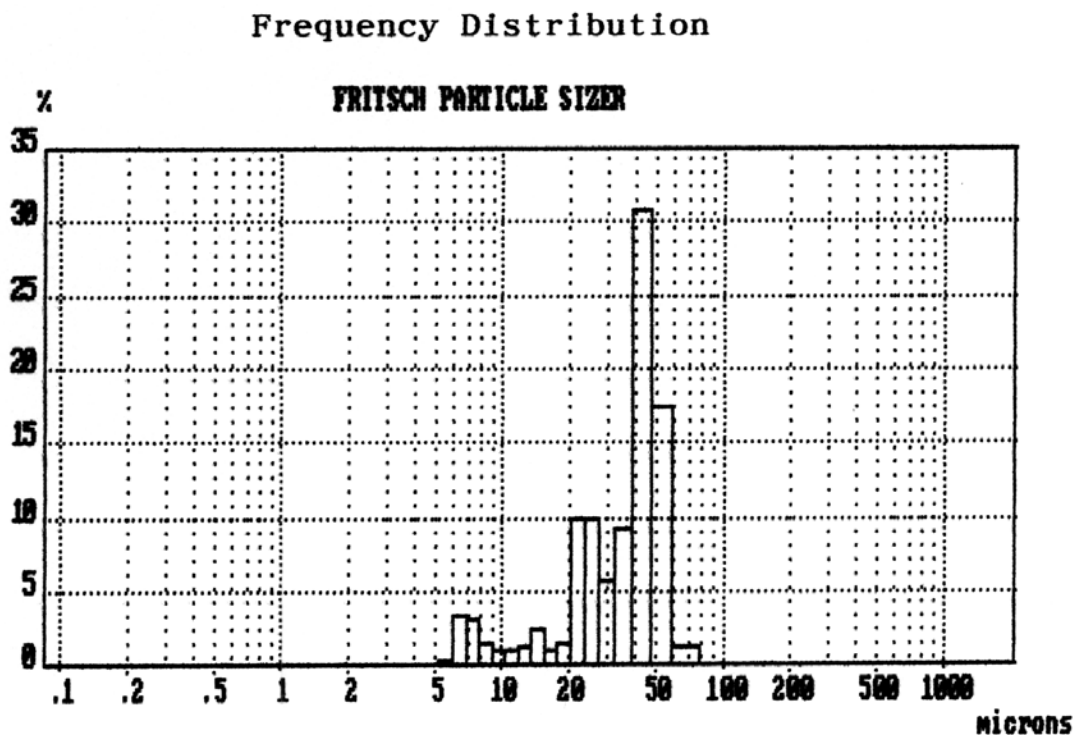
The paper aims at examining the influence of an chemical agents on the rheological properties highly loaded CWS prepared from a Polish low rank coal.

2. Materials used

2.1. Coal

The Polish low rank coal type of 32.1 according to the Polish coal classification was used. From the results of proximate analysis, the moisture, ash, sulfur and volatile matter contents of this coal were 2.4 wt%, 13.9 wt%, 0.8%, 32.3 wt%, respectively.

The coal was wet grinded in a ball mill. Then after sizing, the grain size below 0.075 mm was used to prepare CWSs. The frequency distribution of the grain sizes is given in Fig. 1.



Rys. 1
Skład ziarnowy węgla użytego do sporządzenia zawiesin

Fig. 1
Grain size distribution of used coal

Materiał ten składa się z niewielkich ilości klas skrajnie drobnych — około 8% w granicach od 6 do

This material consists of little amount of small grains 8 vol.% up to 9 mm, then 34 vol.% of equally

9 mm, następnie równo rozłożonych klas w granicach od 20 do 38 mm w ilości 34% i w końcu najliczniejszej klasy od 38 do 58 mm w ilości 48% objętościowych. Można by więc przyjąć, że materiał ten jest trimodalny.

2.2. Dodatki upłynniające

Zastosowano trzy niejonowe środki powierzchniowo czynne produkcji Zakładów Chemicznych „ROKITA” S.A. w Brzegu Dolnym a mianowicie: Rokanol ŁO 18, Rokwinol 60 i Rokafenol NX8.

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

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

Rokafenol NX8 to eter nonylofenylopolioksyetylenoglikolowy. Jest to produkt addycji tlenu etylenu do alkilofenolu o wzorze chemicznym $C_9H_{19}-C_6H_4-O-(CH_2-CH_2-O)_nH$ gdzie n wynosi około 8.

3. Pomiary

3.1. Reologia zawiesin

Pomiary reologiczne wykonano przy użyciu lepkościomierza rotacyjnego Rheostat-2 z cylindrycznym elementem pomiarowym.

Koncentrację węgla w zawiesinach zwiększano do możliwie najwyższej wartości, która gwarantowała płynność zawiesiny, a która w tym wypadku wynosiła 55% wagowych i wyłącznie dla tej zawiesiny wykonano dalsze badania. Mieszanina węgla z wodą o zawartości 55% wag. węgla posiadała konsystencję gęstej papki nie wykazując płynności. Dopiero dodatek wytypowanych detergentów powodował jej upłynnienie i możliwość zmierzenia lepkości.

Zawiesiny preparowano w dwojaki sposób. Jeden z nich polegał na zmieszaniu węgla i wody w odpowiednich proporcjach i po upływie 15 minut dodaniu określonych ilości środków upłynniających z równoczesnym mieszaniem zawiesiny przez kolejne 15 minut. Po tym okresie mierzono lepkość zawiesiny przy różnych prędkościach ścinania.

Drugi sposób przygotowania zawiesiny polegał na tym, że po zmieszaniu węgla z wodą mieszaninę doprowadzano do wrzenia w celu usunięcia powietrza zawartego w porach ziaren węglowych, po czym po ostygnięciu dodawano środków upłynniających i postępowano jak uprzednio.

Uzyskane wybrane krzywe reologiczne przedstawiono na rysunkach 2 do 7.

distributed grains ranged from 20 mm to 38 mm and finally the most numerous size range from 38 mm to 58 mm amounted to 48 vol.%. Thus it can be regarded as a trimodal system.

2.2. Flow agents

Three nonionic surfactants manufactured by Chemical Factory “ROKITA” in Brzeg Dolny, Poland were chosen as additives enhancing flowability of CWSs. They were:

Rokanol ŁO18 — polyoxyethylene (18) tallow alcohol of the formula $RO(CH_2CH_2O)_nOH$, where R – alkyl radical, consists of 16 to 18 carbon atoms in the chain and n is equal to around 8.

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

Rokafenol NX8 — the product of addition of ethylene oxide and alkylphenol of formula $C_9H_{19}-C_6H_4-O-(CH_2-CH_2-O)_nH$ where n equals to around 8.

3. Experimental

3.1. Rheology of CWSs

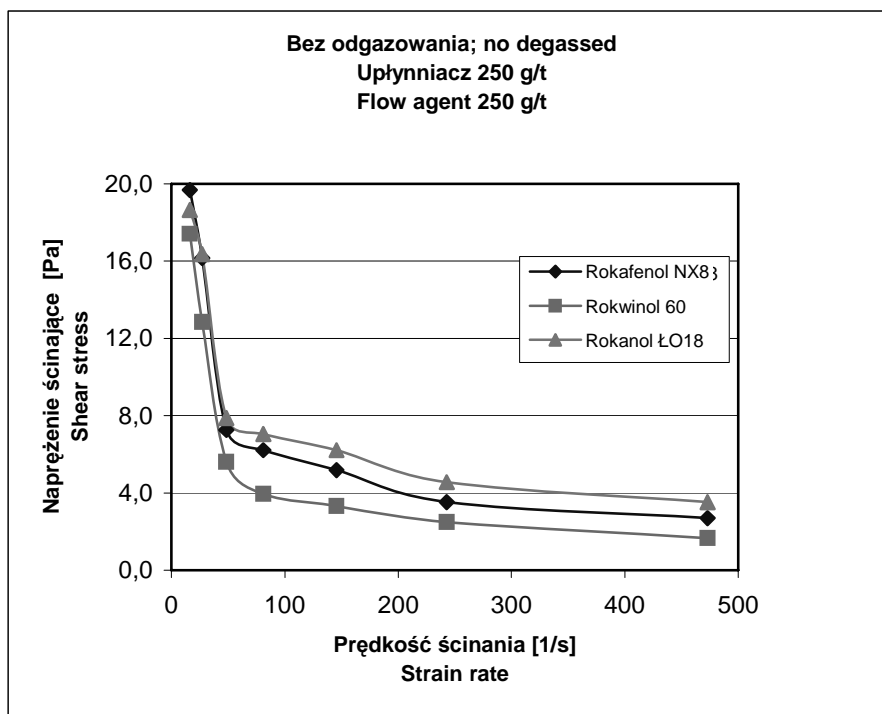
The flow properties of CWSs prepared were measured by means of a coaxial rotating rheometer (Rheostat-2).

The coal concentrations of CWSs were increased up to achieve the maximum possible solid loading which in this case was 55 wt%. For this coal concentration all the tests were performed. Such a mixture without any additives has a consistency of dense pulp and not indicate any flowability. Just the addition of flow agent made the mixture flowable.

The slurries were prepared in two ways. One of them was consisted in mixing of coal and water in the proper ratio and after 15 minutes (stirring all the time) the proper additive was added. After stirring for the next 15 minutes the viscosity at different shear strain rate was measured.

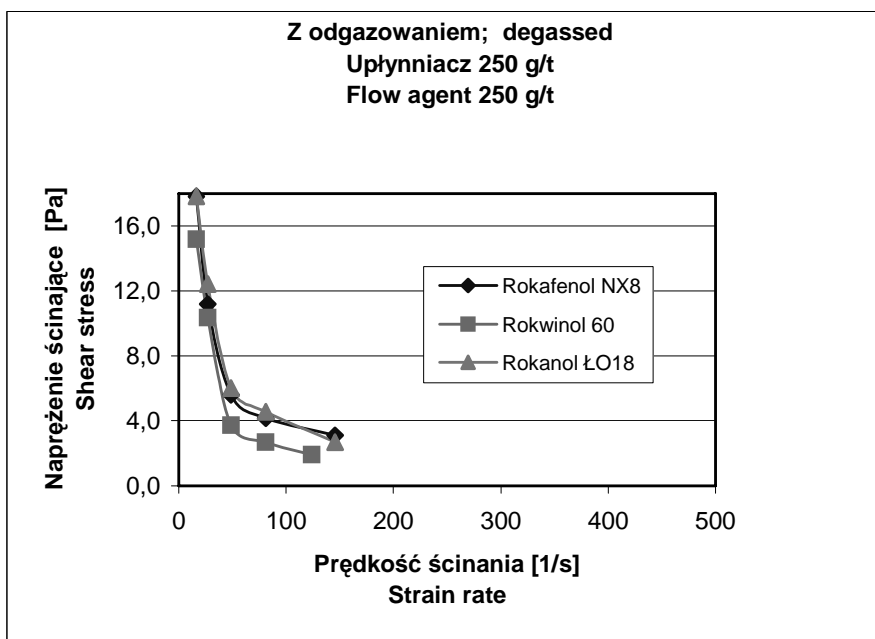
In the second way of CWSs preparation the difference lies in the fact that the CWSs before adding the additives were heated up to boiling point to remove the air present in coal pores. After cooling, when the mixture reached the room temperature, the additive was added and after 15 minutes of stirring the viscosity was measured.

The rheological curves of the CWSs prepared in both ways are presented in Figures 2 ÷ 7.



Rys. 2
Krzywe reologiczne nieodgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem upłynniaczy w ilości 250 g/t węgla

Fig. 2
Flow characteristics of not degassed 55 wt % CWS with 250 g of a flow agent per tonne of coal

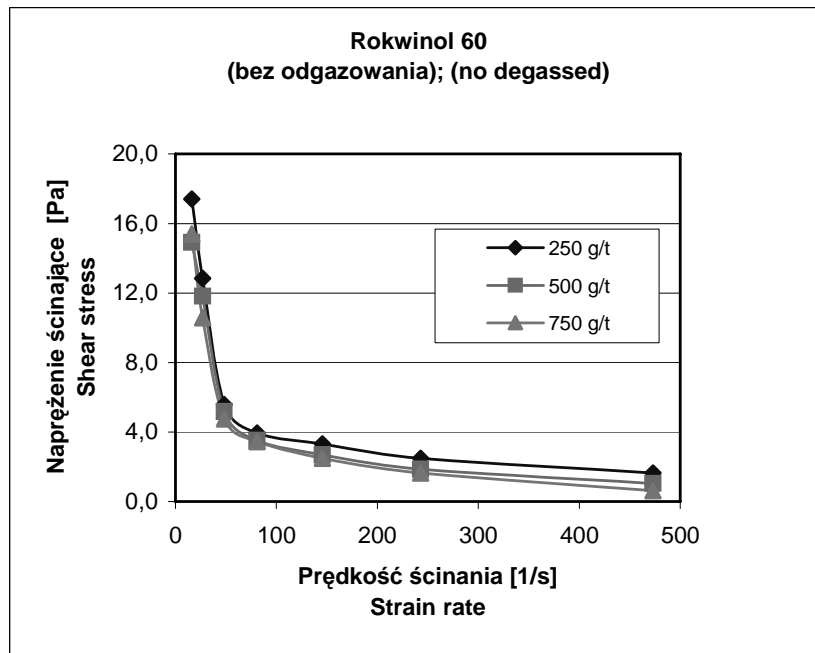


Rys.3
Krzywe reologiczne odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem upłynniaczy w ilości 250 g/t węgla

Fig. 3
Flow characteristics of degassed 55 wt % CWS with 250 g of a flow agent per tonne of coal

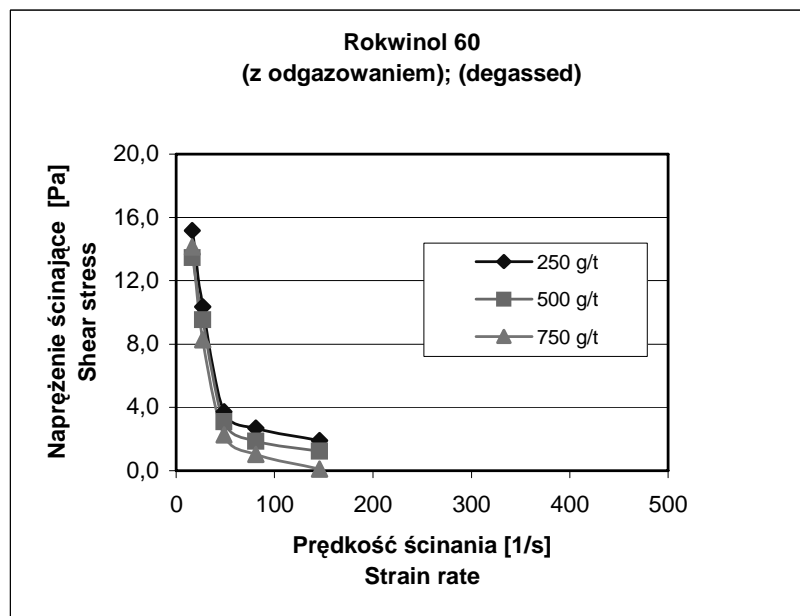
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono krzywe reologiczne nieodgazowanych i odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych z dodatkiem najefektywniej działającego upłynniacza jakim jest Rokwinol 60.

In Figures 4 and 5 are given flow curves for non degassed and degassed CWSs with the most effective agent Rokwinol 60.



Rys. 4
Krzywe reologiczne nie odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem różnych ilości Rokwinolu 60

Fig. 4
Flow characteristics of not degassed 55 wt % CWS with different amounts of Rokwinol 60

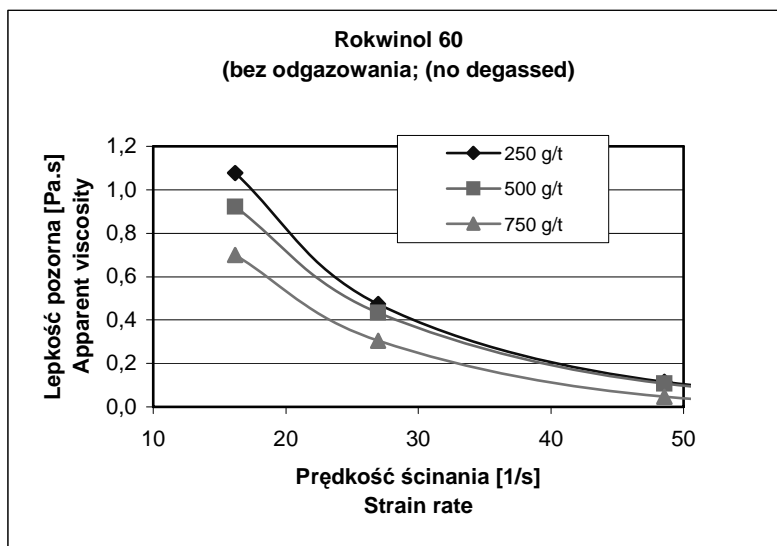


Rys.5
Krzywe reologiczne odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem różnych ilości Rokwinolu 60

Fig. 5
Flow characteristics of degassed 55 wt % CWS with different amounts of Rokwinol 60

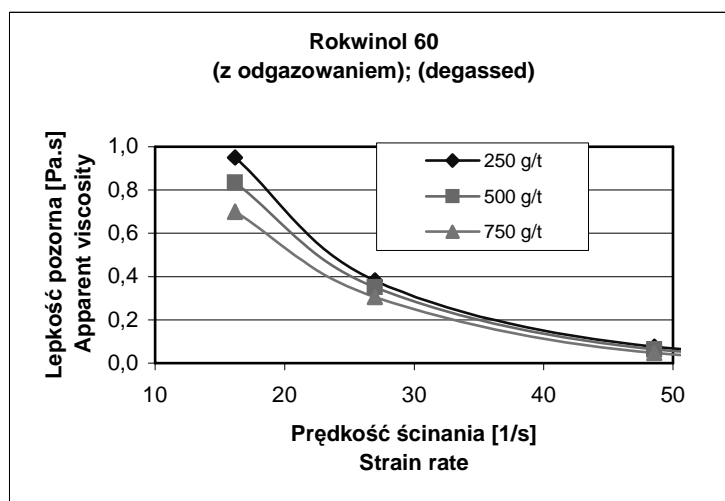
Odpowiadające przedstawionym wyżej napięciom ścinającym, na rysunkach 6 i 7 przedstawiono lepkości zawiesin węglowo-wodnych z dodatkiem Rokwinolu 60 – najefektywniej działającego spośród testowanych upłynniacza.

Corresponding to the above curves in Figures 6 and 7 the apparent viscosities are plotted versus shear strain rates.



Rys. 6
Krzywe reologiczne nie odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem różnych ilości Rokwinolu 60

Fig. 6
Flow characteristics of not degassed 55 wt % CWS with different amounts of Rokwinol 60



Rys. 7
Krzywe reologiczne odgazowanych zawiesin węglowo-wodnych o zagęszczeniu 55% wag. z dodatkiem różnych ilości Rokwinolu 60

Fig. 7
Flow characteristics of degassed 55 wt % CWS with different amounts of Rokwinol 60

3.2. Kohezja ziaren węglowych

Na lepkość zawiesin węglowo-wodnych o dużym zagęszczeniu istotny wpływ mają siły kohezji ziaren węglowych w zawieszynie. W celu oceny oddziaływań występujących między ziarnami węglowymi w obecności środków upłynniających zawieszinę wykonano proste testy polegające na tym, że mierzono czas destrukcji pod wpływem siły grawitacji warstwy gęsto upakowanych ziaren węglowych umieszczonych w rurce wypełnionej roztworem badanego odczynnika.

W tym celu umieszczano w rurce o średnicy 1 cm (rys. 8) 5 gramów węgla o uziarnieniu poniżej 0,075 mm i zalewano roztworem odpowiedniego

3.2. Cohesion of coal grains

The viscosity of highly loaded CWSs are strongly influenced by the cohesion forces between coal grains. To assess them a simple experiments were carried out.

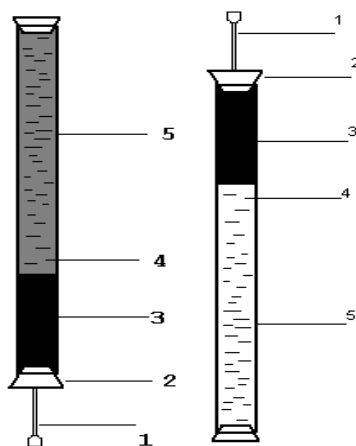
They consisted in measuring the time in which the layer of coal sediment was destructed under the influence of the gravity force. To do this 5 gram of milled coal was placed in a glass tube of diameter of 10 mm and poured with solution of different flow agent paying attention to remove all the air from the tube. After mixing, the tube was placed in vertical position till all the coal was settled down. Next, the tube was turned upside down and

odczynnika. Stężenia roztworów odczynników dobrano w ten sposób aby ich ilość w stosunku do ilości węgla wynosiła odpowiednio 250, 500 i 750 gramów na tonę węgla. Odpowiadało to stężeniom odpowiednio 0,007%, 0,014% i 0,021%. Po wymieszaniu i odczekaniu 15 minut w celu ustalenia się równowagi adsorpcji odczynnika na powierzchni węgla, rurkę zamykano szczelnie korkiem zwracając uwagę aby nie pozostało w rurce powietrze. Rurkę umieszczano w statywie w pozycji pionowej i pozostawiono do całkowitej sedymentacji ziaren węglowych i sklarowania się roztworu nad osadem. Następnie rurkę odwracano o 180° i mierzono czas jaki upłynął do momentu całkowitej destrukcji warstwy sedymentu.

Pomiary wykonano zarówno dla zawiesiny nieodgazowanej jak i odgazowanej. Wyniki przedstawiono na rysunkach 9 i 10.

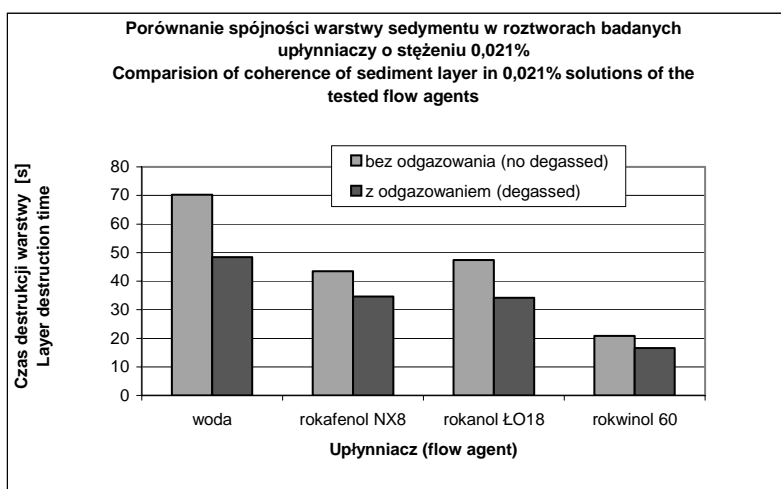
the time of complete destruction of the coal layer was measured. The concentrations of flow agents solutions were matched the dosages used for flowability measurements. They were 0.007%, 0.014%, 0.021% corresponded to 250 g/t, 500 g/t and 750 g/t, respectively. The measurements were performed for both non degassed and degassed samples.

The sketch of the experimental set and the results of experiments are shown in Figures 8 to 10.



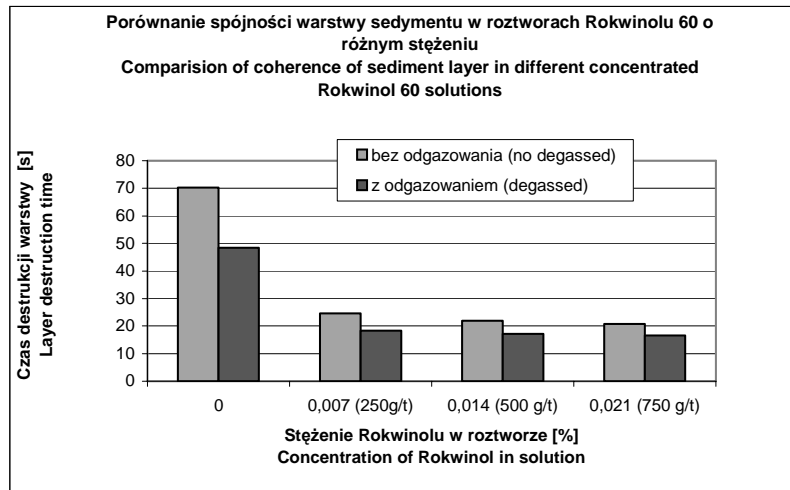
Rys. 8
Rurka do pomiaru kohezji ziaren. 1 – igła do odpowietrzenia, 2 – korek, 3 – warstwa sedymentu, 4 – sedymentująca zawiesina, 5 – rurka szklana

Fig. 8
Pipe for measurement of cohesion of grains in CWS. 1 – needle for air removal, 2 – stopper, 3 - layer of sediment, 4 – suspension, 5 – glass pipe



Rys. 9
Porównanie spójności warstwy sedymentu w roztworach zastosowanych środków upłynniających o stężeniach 0,021%

Fig. 9
Comparison of coherence of sediment layer in the solutions of the chosen flow agents of concentrations of 0.021%



Rys. 10
Porównanie spójności warstwy sedymentu w roztworach Rokwinolu 60 o różnym stężeniu

Fig. 10
Comparison of coherence of sediment layer in Rokwinol 60 solutions of different concentrations

4. Omówienie wyników

Wzajemne przemieszczanie się ziaren węglowych w zawieszynie o dużym zagęszczeniu hamowane jest między innymi oporem stawianym ziarnom przez siły oddziaływań pomiędzy zaadsorbowanymi na ich powierzchni warstewkami hydratacyjnymi jak również cząsteczkami zaadsorbowanych dodatków chemicznych.

W układzie: ziarna węgla – woda – dodatki chemiczne występują siły oddziaływań pomiędzy wszystkimi składnikami układu. Schematycznie przedstawiono je na rysunku 11.

Rysunek 11 przedstawia dwa stany układu. W stanie A oddziaływania pomiędzy jonami znajdującymi się w układzie a powierzchnią ziaren węglowych są słabsze od oddziaływań pomiędzy cząsteczkami wprowadzonych dodatków chemicznych a powierzchnią ziaren węglowych. Prowadzi to do obsadzenia powierzchni węgla cząsteczkami wprowadzonego dodatku chemicznego powodując zwiększenie jej hydrofobowości.

W stanie B natomiast oddziaływania pomiędzy jonami znajdującymi się w układzie a powierzchnią ziaren węglowych są silniejsze od oddziaływań pomiędzy cząsteczkami wprowadzonych dodatków chemicznych a powierzchnią ziaren węglowych. Powoduje to wypychanie tych ostatnich z powierzchni węgla. Powierzchnia węgla staje się bardziej hydrofilowa.

Nie ulega kwestii, że zwiększenie hydrofobowości ziaren węglowych poprawia płynność zawieszin i umożliwia uzyskanie większych zagęszczeń [5]. Stan A z rysunku 11 jest więc stanem korzystnym.

Niemniej jednak w omawianym w pracy układzie usunięcie powietrza z porów ziaren węglowych przez ich ogrzanie do wrzenia, co prowadzić musi do zwiększenia ich hydrofilności, spowodowało zwiększenie

4. Discussion

The movement of grains in the highly loaded CWSs is restrained among other things by attraction forces between both layers of adsorbed molecules of water and surfactants added.

In the system: coal grains-water-additives there are the forces between all the system components. Schematically they are shown in Figure 11.

Figure 11 presents two states of the system. In the state 'A' the interactions between ions present in the system and the surface of coal grains are weaker than those between the molecules of introduced additives and the coal surface. It leads to covering the coal surface with additive molecules and consequently to increase in its hydrophobicity.

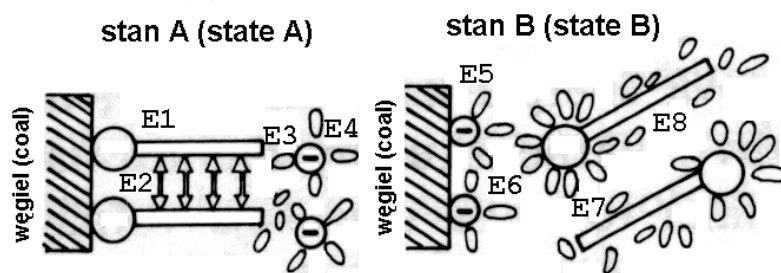
In the state 'B' interactions between ions present in the system and the coal grains surface are stronger than those between molecules of additives and the coal grains surface. Consequently molecules of additives are repelled from the surface of coal grains leading to augmentation of the hydrophilic properties of coal.

There is no doubt that increase in the hydrophobicity of coal grains improves flowability of CWSs and allows to get slurries of higher concentrations [5]. The state 'A' showed in the Figure 11 is thus more valuable.

Nevertheless, in described in the work system removing the air from the coal pores by heating slurries up to the boiling point, what must increase their hydrophilic properties, caused increase in their flowability for the all tested additives.(Fig. 2 – 7). For example, for the most effective additive - Rokwinol 60, after heating

płynności zawiesiny. Na przykład dla najlepiej działającego upłynniacza jakim jest Rokwinol 60 ogrzanie do wrzenia zawiesiny przed wprowadzeniem upłynniacza, spowodowało, że dla najmniejszych wartości prędkości ścinania, lepkość zawiesiny zmniejszyła się o 11,8%, 9,7% i 0% dla dawek Rokwinolu 60 wynoszących odpowiednio 250 g/t, 500 g/t i 750 g/t. Dla większych prędkości ścinania różnice te się zmniejszają (rysunki 6 i 7). W takim przypadku wydaje się wielce prawdopodobne, że usunięcie powietrza odsłoniło większą część powierzchni ziaren co doprowadziło do wzmożonej adsorpcji solidofilnych grup wprowadzonego detergentu na odsłoniętych polarnych miejscach powierzchni ziaren prowadząc w konsekwencji do większej ich hydrofobizacji a tym samym zmniejszenia lepkości zawiesiny.

slurry to boiling before introducing the agent, for the lowest shear strain rates the apparent viscosities were decreased by 11.8%, 9.7% and 0% for the dosages of 250 g/t, 500 g/t and 750 g/t, respectively in comparison with those not degassed. For the higher shear strain rates these differences became lower (Fig. 6 and 7). In these cases it seems to be very probable that removing the air from the surface of coal grains exposes the larger part of their surface and consequently increases the adsorption of surfactant, that means, increases in hydrophobicity of the coal grains surface and finally decreases the viscosity of the slurry.



Rys. 11
Energie oddziaływań pomiędzy cząsteczkami
w zawieszynie wodno-węglowej

Fig.11
Energies of interaction between molecules
in the system: coal grains-water-additives

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

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

Zaskakującym jest fakt, że ogrzanie zawiesiny zmniejsza spójność warstwy sedimentu nawet bez obecności środka powierzchniowo-czynnego (rys. 9 i 10). Zmniejszenie spójności warstwy upakowanych ziaren węglowych świadczy o zmniejszeniu sił

It is surprising that heating the slurry caused decrease in cohesion of the layer of settled coal grains even without any additive (Fig. 9 and 10). Decreasing in coherence of close packed coal layer goes to show that the forces occur between

oddziaływań pomiędzy ziarnami a właściwie pomiędzy warstewkami adsorpcyjnymi na powierzchni tych ziaren. Być może obecne w porach powietrze „mostkuje” ziarna stwarza strukturę o pewnej wytrzymałości, która jednak pod wpływem sił grawitacji powoli ulega zniszczeniu. W tych warunkach jednak zawiesina węglowo-wodna o zagęszczeniu 55% wagowych wykazuje konsystencję gęstej papki i dopiero wprowadzenie detergentu nadaje jej płynność i umożliwia pomiary lepkości.

Wprowadzenie detergentu hydrofobizującego ziarna jak widać osłabia strukturę gęsto upakowanych ziaren węglowych. Czasy destrukcji maleją i w każdym przypadku dla odgazowanych próbek są mniejsze (rys. 9 i 10).

Zwiększenie płynności zawiesiny węglowo-wodnej idzie w parze ze zmniejszeniem spójności warstwy osadu ziaren węglowych (rys. 6, 7 i 9, 10).

Zagęszczenie zawiesiny wynoszące 55% wagowych okazało się być największym jakie udało się uzyskać z badanego węgla.

Wyniki pomiarów lepkości tej zawiesiny z dodatkiem badanych detergentów wykazały, że zawiesiny te wykazują właściwości cieczy nieniuonowskich pseudoplastycznych charakteryzujących się tym, że wraz ze wzrostem prędkości ścinania maleje ich lepkość. Są to właściwości korzystne ponieważ ułatwiają mieszanie i pompowanie zawiesiny. Właściwości takie zwykle nasilają się wraz ze wzrostem zagęszczenia zawiesiny.

adsorption layers present on coal grains are decreased too. May be, the air present in the coal grains pores bridges them creating a structure of some strength that under influence of gravity force it is destructed gradually. In these conditions however CWS loaded of 55 wt% has a consistency of dense pulp and only in the presence of surfactant becomes fluid and makes it possible to flowability measurements.

It is evident that molecules of surfactant introduced into the slurry weaken its structure, times of destruction grow smaller and in all the cases for degassed samples are shorter (Fig. 9 and 10).

Increase in flowability of CWSs are related to decreasing of coherence of close packed coal grain sediment (fig. 6, 7 and 9, 10).

It was appeared that the 55 wt% was the most CWSs concentration which makes to use them as a coal-water slurry fuel possible.

The results of viscosity measurements showed that the searched slurries exhibit non-Newtonian pseudoplastic behavior where their viscosity decrease instantaneously with increase in shear strain rate (e.g. flow) and are therefore easier to pump and mix. They are shear-thinning. Generally such a behavior increases with slurry concentration.

Literatura — References

1. Kubica R. Smółka W.: *Zawiesinowe paliwa węglowe, rozwój, charakterystyka i perspektywy zastosowania. Gospodarka paliwami i energią* 2, 1 (2000)
2. Hiromoto Usui at al.: *Rheology of Low Rank Coal Slurries Prepared by an Upgrading Process. Coal Preparation* 119, 18 (1997).
3. Takashi Saeki, Takafumi Tatsukawa, Hiromoto Usui.: *Preparation Techniques of Coal Water Mixtures with Upgraded Low Rank Coals. Coal Preparation* 161, 21 (1999).
4. Miller B.G. at al.: *Cofiring Coal-Water Slurry Fuel with Pulverized Coal as a NOx Reduction Strategy. C211 Coal Utilization Center, The Pennsylvania State University* (2004).
5. Hycnar J.J.: *Ciekłe paliwo węglowe – suspensje węglowo-wodne. Wiadomości Górnicze* 52 (1999).