

Artur BARTOSIK
Ryszard SOBOCINSKI

Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych
Politechniki Świętokrzyskiej

WPLYW UPLYNNIACZA NA PODWYŻSZENIE EFEKTYWNOŚCI HYDROTRANSPORTU SZLAMU W PRZEMYSLE CEMENTOWYM

Streszczenie. Przedstawiono całokształt prac badawczych nad zastosowaniem upłynniacza produkcji krajowej do podwyższenia efektywności hydrotransportu szlamu w przemyśle cementowym. Wykazano, że dodanie upłynniacza do szlamu w ilości dziesiątych części procenta, pozwala na znaczne zredukowanie wody w procesie hydrotransportu i znaczne zmniejszenie energochłonności wypalania klinkieru. Wyniki badań eksperymentalnych sformułowano w postaci wniosków.

1. Wprowadzenie

Główny etap procesu technologicznego produkcji cementu, stanowi wytwarzanie klinkieru. W cementowniach stosujących, tzw. technologię "mokrą" produkcji klinkieru, proces rozdrobnienia surowców skalnych, a następnie transport rozdrobnionej mieszaniny odbywa się z udziałem wody. Polega to na tym, że do młynów bębnowo-kulowych dozowana jest woda oraz minerał w postaci częściowo-skruszonych skał marglowych lub wapiennych. Efektem końcowym na wyjściu z młyna jest mieszanina cząstek stałych i wody zwana szlammem. Obecność wody w młynie sprzyja lepszemu rozdrobnieniu minerału oraz stanowi nośnik cząstek stałych w transporcie do zbiorników korekcyjnych. Ze zbiorników tych szlam upuszczany jest w odpowiednich proporcjach do basenu. Ostatni etap transportu szlamu przebiega na odcinku basen - piece obrotowe, gdzie po odparowaniu wody do atmosfery oraz w wyniku reakcji chemicznych uzyskuje się klinkier. Zastosowanie wody w technologii produkcji klinkieru powoduje, że cały proces staje się wysoce energochłonny, co zasadniczo podwyższa koszty produkcji cementu. W niektórych cementowniach w skali kraju, udział masowy wody w szlamie wynosi ponad 40 %. Powszechnym zjawiskiem jest transportowanie szlamu z udziałem masowym wody znacznie przekraczającym wartość technologicznie uzasadnioną. Powodem tego jest obawa personelu technicznego przed ewentualnym "zakorkowaniem" rurociągów. W tym względzie, zastosowanie odpowiednich pomp oraz wprowadzenie automatyki - korelującej dopływ wody do młynów w zależności od rodzaju surowca - umożliwiłoby częściowe zmniejszenie wody w szlamie. Jednakże patrząc na sprawę z punktu widzenia personelu technicznego, posiadającego dużą wiedzę praktyczną należy sądzić, że wprowadzenie automatyki pozwoliłoby na zmniejszenie

szenie masy wody w szlamie o ok. 10-15 %. Sposób ten, aczkolwiek wart odnotowania, nie wyczerpuje wszystkich możliwych do podjęcia kroków.

W prezentowanej pracy uwagę skupiono na sprawdzeniu innych metod [1,2] mogących przyczynić się do podwyższenia efektywności produkcji klinkieru. Wśród wielu metod, na specjalną uwagę zasługuje zastosowanie flokulanta do procesu hydrotransportu szlamu.

Prace badawcze nad zastosowaniem flokulanta do procesu hydrotransportu szlamu realizowano w trzech etapach:

1. Wytypowanie do badań flokulantów produkcji krajowej, charakteryzujących się niskim kosztem wytwarzania i posiadających własności predysponujące je do zastosowania w przemyśle cementowym.
2. Określenie wpływu flokulanta na własności reologiczne szlamu - określenie ilości dozowanego do szlamu flokulanta.
3. Badania procesu hydrotransportu szlamu z flokulantem - ocena efektów.

Wśród wielu dostępnych w kraju flokulantów, do badań wytypowano:

- upłynniacz utworzony na bazie węgla brunatnego, którego skład stanowią: węgiel brunatny ok. 22 %, soda żrąca ok. 8 %, woda ok. 70 % masy,
- upłynniacz utworzony na bazie węgla brunatnego - receptura zastrzeżona patentem tymczasowym nr 123113 - występuje w postaci higroskopijnego proszku.

Główny powód decydujący o wyborze tych upłynniaczy, stanowi niska cena oraz fakt, że zawarty w upłynniaczu węgiel brunatny zostanie wykorzystany w procesie spalania w piecach obrotowych.

2. Wpływ upłynniacza na własności reologiczne szlamu

Badania eksperymentalne przeprowadzono na szlamie pochodzącym z cementowni "Nowiny". W oparciu o przebieg krzywej uziarnienia [3], określono średnią ważoną średnicę ziaren, której wartość wynosi: $d_g = 0,05$ mm. Pozwala to zakwalifikować szlam do hydromieszanin drobnodispersyjnych. Badany szlam, stanowiący mieszaninę cząstek stałych i wody jest hydromieszaniną, w której zależność naprężeń stycznych od prędkości odkształcenia postaciowego, można aproksymować modelem Bingham'a,

$$\tau = \tau_0 + \mu_{PL} \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.1)$$

Badania reologiczne szlamu z upłynniaczem przeprowadzono dla jednakowego składu frakcji stałych, w zakresie udziału masowego wody 27,0-36,6 %, gdzie górna granica odpowiada średniej rocznej zawartości wody w szlamie, która występuje w cementowni "Nowiny". Podstawowe parametry, charakteryzujące badany szlam zawiera tab.2.1.

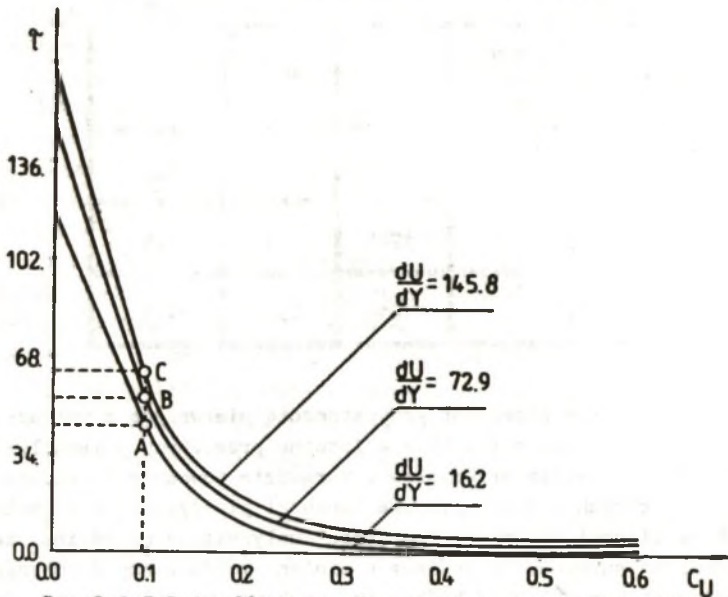
Badania reologiczne przeprowadzono na wiskozymetrze rotacyjnym Rheotest-2 w zakresie koncentracji upłynniacza w szlamie: $C_U = 0,1-0,6$ %. Koncentrację upłynniacza w szlamie przyjęto określać, jako procentowy udział suchej masy upłynniacza przypadającej na jednostkę suchej masy szlamu.

Tabela 2.1

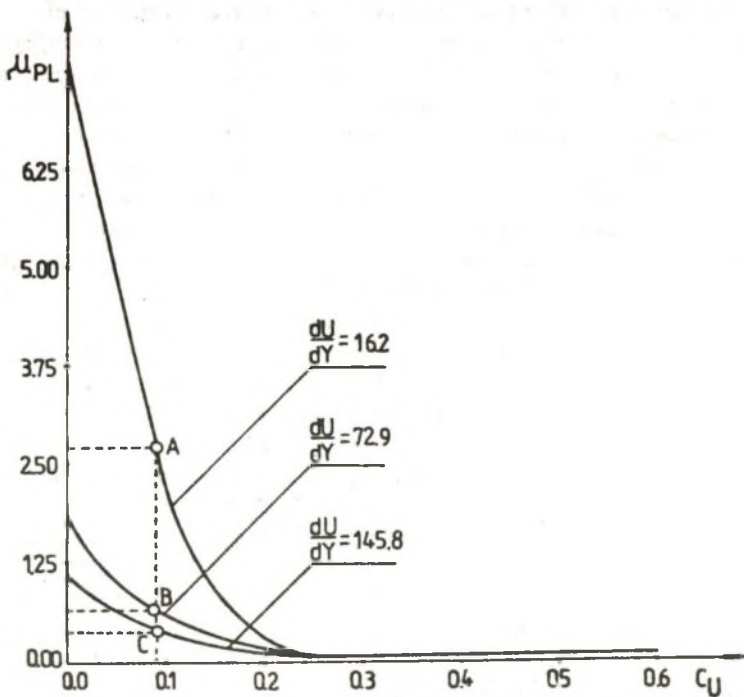
Udział masowy wody w szlamie %	ρ_m	ρ_s	C_V
36,6	1650	2500	43,3
31,0	1743	2500	49,5
27,0	1814	2500	54,3

Przeprowadzona seria badań nad przydatnością pierwszego z upłynniaczy /upłynniacz w postaci cieczy/ wykazała istotne przeszkody uniemożliwiające zastosowanie jego na skalę przemysłową. Wprawdzie powoduje on widoczny spadek naprężeń stycznych i współczynnika lepkości plastycznej w szlamie, ale główny problem stanowi transport "czystego" upłynniacza na odcinku zasobnik upłynniacza-młyny surowca. Upłynniacz powinien być dozowany do młynów surowca w określonych proporcjach. Włóknista struktura upłynniacza powoduje, że po pewnym czasie "przykleja" się do ścianek rurociągu, na łukach, zaworach, itp. Powoduje to zmianę parametrów przepływowych w rurociągu. Skutkiem tego będą częste awarie oraz pojawił się problem w precyzyjnym dozowaniu upłynniacza do młynów surowca. Próby zastosowania tego upłynniacza podjęto między innymi w cementowniach "Nowiny" i "Chełm", lecz po krótkim czasie zostały zaniechane z przyczyn o których mowa była wyżej.

Wyniki badań reologicznych nad przydatnością drugiego upłynniacza, utworzonego również na bazie węgla brunatnego, lecz występującego w postaci higroskopijnego proszku, wykazują odmienny charakter. Rezultaty tych badań zamieszczone w pracach [2,4,5] wykazują, że dodanie niewielkiej porcji upłynniacza /dziesiątych części procenta/ powoduje radykalny spadek naprężeń stycznych oraz współczynnika lepkości plastycznej w całym zakresie prędkości ścinania. Dla przykładu na rys.2.1 i rys.2.2, przedstawiono przebieg τ i μ_{PL} w funkcji koncentracji upłynniacza w szlamie. Dla porównania zaznaczono punktami A, B i C wartości jakie przyjmuje τ i μ_{PL} w szlamie bez upłynniacza i o udziale masowym wody 36,6 %./jest to średni roczny udział masowy wody w szlamie jaki występuje w cementowni "Nowiny"/. Ze wzrostem koncentracji upłynniacza w szlamie, przebiegi τ i μ_{PL} wykazują w pierwszej fazie radykalny spadek a następnie ulegają stabilizacji. Wyniki tych badań pozwalają wytypować taką koncentrację upłynniacza w szlamie, powyżej której dalszy wzrost koncentracji nie powoduje istotnego spadku τ i μ_{PL} . Wielkość tej dawki przyjęto określać jako graniczna koncentracja upłynniacza w szlamie - $(C_U)_{gr}$.



Rys.2.1 Zależność naprężeń stycznych od koncentracji upłynniacza w szlamie. Udział masowy wody w szlamie: 31 %



Rys.2.2 Zależność współczynnika lepkości plastycznej od koncentracji upłynniacza w szlamie. Udział masowy wody w szlamie: 31 %

Wartości granicznej koncentracji upłynniacza w szlamie, w zakresie udziału masowego wody w szlamie: 27,0-36,6 %, przedstawia tab.2.2.

Tabela 2.2

Udział masowy wody w szlamie %	27,0	31,0	36,6
(C_U) gr	0,25	0,30	0,40

Drugi argument przemawiający za zastosowaniem do hydrotransportu upłynniacza w postaci stałej to fakt, że upłynniacz ten jest dogodny do transportu mechanicznego i pneumatycznego. Ponadto dozowanie upłynniacza stałego jest znacznie łatwiejsze od dozowania cieczy.

Uzyskanie korzystnych wyników z przeprowadzonych badań reologicznych, promowało upłynniacz stały do badań procesu hydrotransportu oraz stanowiło wytyczne, co do wielkości dozowanej dawki upłynniacza do szlamu.

3. Wpływ upłynniacza na własności hydrotransportu szlamu

Badania procesu hydrotransportu szlamu i szlamu z upłynniaczem, przeprowadzono na stanowiskach badawczych, na których przepływ realizowano rurociągami $\varnothing 50$ i $\varnothing 200$. Badania pilotowe przeprowadzono na stanowisku z rurociągiem $\varnothing 50$. Stanowisko to, umożliwia dokonanie szeregu pomiarów, w tym między innymi pomiar prędkości granicznej, pomiar strat tarcia, pomiar strat lokalnych na wybranych elementach przepływowych oraz pomiar poboru mocy przez agregat pompowy. Bliższe informacje zawarto w pracach [1,2,3].

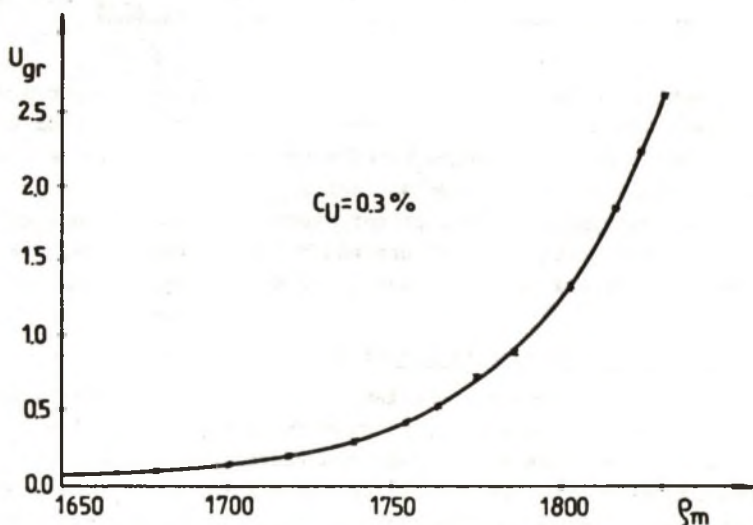
Wielokrotny spadek naprężeń stycznych i współczynnika lepkości plastycznej, dla granicznej koncentracji upłynniacza w szlamie, pozwalał przypuszczać, że w procesie hydrotransportu nastąpi spadek współczynnika strat tarcia. Jednakże badania eksperymentalne na rurociągu $\varnothing 50$ nie potwierdziły tych przypuszczeń [4]. Tendencja spadkowa λ uwidoczniła się tylko w zakresie niskich prędkości przepływu. Natomiast zauważalny spadek λ odnotowano w badaniach eksperymentalnych na rurociągu $\varnothing 200$. Prawidłowość ta potwierdza tezę, że w przepływie o charakterze turbulentnym o własnościach przepływu decyduje w dużym stopniu współczynnik efektywnej lepkości, będący sumą współczynnika lepkości laminarnej i turbulentnej.

$$\frac{\mu_{ef}}{\mu_l} = 1 + \frac{\mu_t}{\mu_l} \quad (3.1)$$

Współczynnik lepkości turbulentnej jest przynajmniej kilkadziesiąt razy większy od współczynnika lepkości laminarnej i silnie zależy od liczby

Reynoldsa [6]. Z tego względu kilkakrotny spadek μ_1 nie wpływa w decydującym stopniu na wartość μ_{ef} . Wpływ ten mógłby okazać się istotny, gdyby dodanie upłynniacza spowodowało zmianę charakteru przepływu turbulentnego /zmiana μ_t /. Zmniejszenie prędkości przepływu - przy niezmiennych pozostałych parametrach, tj. ρ_m, μ_{PL} - spowoduje spadek wartości μ_t / μ_{PL} i tym samym wzrośnie udział μ_{PL} . Efektem tego będzie spadek współczynnika strat tarcia, co zostało potwierdzone w badaniach eksperymentalnych.

Zmniejszenie udziału wody w szlamie, powoduje wzrost koncentracji i tym samym wzrost prędkości granicznej [7]. Ilustruje to rys.3.1. Pociąga to

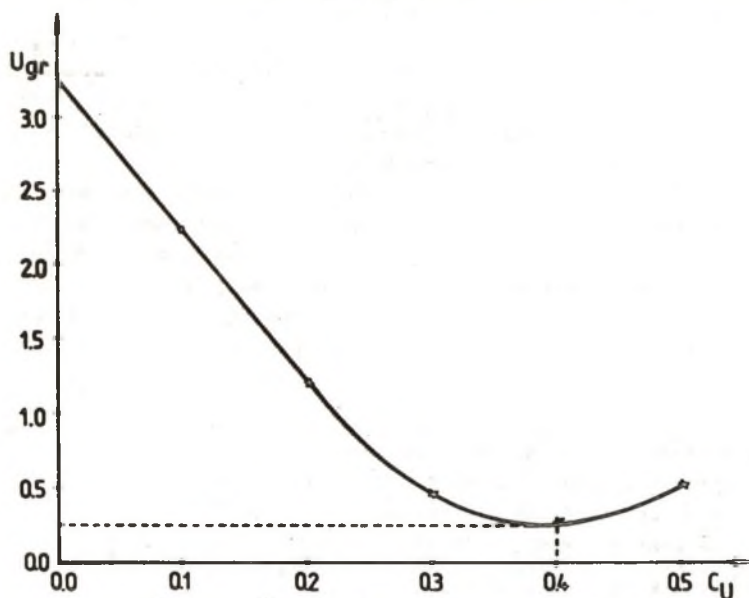


Rys.3.1 Zależność prędkości granicznej od gęstości szlamu.

konieczność transportowania hydromieszanki z prędkością wyższą od prędkości granicznej, niejednokrotnie w obszarze ekonomicznie nie uzasadnionych prędkości. Jednakże dodanie granicznej ilości upłynniacza do szlamu, powoduje radykalny spadek prędkości granicznej, umożliwiając hydrotransport w zakresie ekonomicznych prędkości. Przedstawia to rys.3.2.

Zmniejszenie prędkości granicznej, która jest głównym czynnikiem ograniczającym zmniejszenie udziału wody w szlamie powoduje, że możliwym jest transport szlamu o wyższej koncentracji fazy stałej. W przemyśle cementowym ma to szczególne znaczenie, gdyż staje się możliwym:

- zwiększenie produkcji klinkieru,
- zmniejszenie energochłonności procesu wypalania klinkieru.



Rys.3.2 Zależność prędkości granicznej od koncentracji upłynniacza w szlamie. Udział masowy wody w szlamie: 36,6%.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania eksperymentalne, dotyczące wpływu upłynniacza na własności hydrotransportu szlamu cementowego, wykazały szereg istotnych własności. Główne korzyści wynikające z zastosowania upłynniacza są następujące:

1. Wielokrotne zmniejszenie prędkości granicznej. Pozwala to zmniejszyć nakłady energetyczne na transport hydromieszanki. Ponadto ma to duże znaczenie zwłaszcza tam, gdzie instalacja hydrotransportu posiada skomplikowany kształt, tj. kolanka, zmiana średnic itp. W miejscach tych występuje wzmożona recyrkulacja przepływu, której wynikiem może być intensyfikacja procesu osadzania się ziaren stałych, co w konsekwencji prowadzi do "zakorkowania" rurociągu.
2. Dla granicznej koncentracji upłynniacza w szlamie możliwe jest zredukowanie zapotrzebowania na wodę o ok. 26,0 %. Daje to możliwość hydrotransportu szlamu z udziałem masowym wody: 27,0 %. Kierując się przykładem cementowni "Nowiny", zastosowanie upłynniacza powoduje następujące korzyści:
 - zmniejszenie zapotrzebowania na wodę w ilości ok. 400 t/dobę,
 - zmniejszenie zapotrzebowania na węgiel w ilości ok. 90 t/dobę.
3. Poprawa zdolności rozruchowej hydrotransportu szlamu. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że wyłączenie instalacji badawczej na okres kilkunastu godzin powoduje, że występują bardzo duże trudności w ponownym wprawieniu w ruch szlamu. Trudności te znikły, gdy szlam

zawierał w odpowiedniej ilości upłynniacz - tab.2.2. Wówczas rozruch szlamu następował natychmiast. Maksymalny czas postoju w rurociągu szlamu z upłynniaczem wynosił ok. 500 godzin.

4. Parametry hydrotransportu takie jak: ciśnienie na ssaniu i tłoczeniu oraz natężenie przepływu, wykazują bardziej stabilny charakter.
5. Zmniejszenie strat tarcia szczególnie w zakresie niskich prędkości przepływu. Powodem tego jest zmniejszenie naprężeń stycznych. Jest to wyraźnie widoczne w strefie przepływu laminarnego.
6. Dla granicznej koncentracji upłynniacza w szlamie, własności wiskozymetryczne szlamu opisać można modelem cieczy newtonowskiej.

Wyniki badań eksperymentalnych wskazują na celowość zastosowania upłynniacza w przemyśle cementowym stosującym technologię "mokrą" produkcji klinkieru. Wdrożenie upłynniacza w przemyśle cementowym wymaga zbudowania zakładu produkującego upłynniacz w skali kraju.

Spis oznaczeń

- C_U - koncentracja upłynniacza w szlamie. Sucha masa upłynniacza przypadająca na jednostkę suchej masy szlamu, %, $\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \cdot 100$ %
- C_V - koncentracja cząstek stałych w szlamie, $\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \cdot 100$ %
- d_s - średnia ważona średnica ziaren, mm,
- U - składowa wektora prędkości w kierunku przepływu, m/s,
- Y - odległość od ściany, m,
- μ - współczynnik lepkości, Ns/m^2 ,
- μ_{PL} - współczynnik lepkości plastycznej, Ns/m^2 ,
- ρ - gęstość, kg/m^3 ,
- τ - naprężenie styczne, N/m^2 ,
- τ_0 - graniczne naprężenie styczne, N/m^2 .

Indeksy

- gr - graniczna wartość,
- l - laminarny,
- m - hydromieszanka,
- s - ciało stałe,
- t - turbulentny,
- w - woda.

Literatura

1. R. Sobociński i in.; Badania procesów transportu w produkcji cementu, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, PN-3523, 1984.
2. R. Sobociński i in.; Badania procesów transportu w produkcji cementu, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, PN-3767, 1985.
3. R. Sobociński, A. Bartosik; Badania hydrotransportu szlamu cementowego, V-th International Seminar on Transport and Sedimentation of Solid Particles, t.1, pp.285-293, 3-7.09.1984, Wrocław, Poland.
4. A. Bartosik, R. Sobociński; Untersuchung der Eigenschaften von Zement-schlamm mit Verflüssiger, HYDROMECHANISATION-4, nr 1, s. AK2-1 - AK2-12, 2-4.10.1985, Karl-Marx-Stadt, DDR.
5. A. Bartosik, R. Sobociński; Badania eksperymentalne nad zastosowaniem upłynniacza do hydrotransportu szlamu cementowego, VII-Krajowa Konferencja Mechaniki Płynów, t.1, s.14-21, 8-12.09.1986, Rydzyna.
6. A. Bartosik, R. Sobociński, A. Wanik; Wpływ liczby Reynoldsa na zachowanie się przepływu turbulentnego wywołanego zmiennym gradientem ciśnienia, Archiwum Energetyki, nr 1, s.5-16, 1985.
7. A. Bartosik, R. Sobociński; Problemy niezawodnego hydrotransportu szlamu cementowego o wysokiej koncentracji ciał stałych, Konferencja: "Problemy niezawodności transportu", 15-17.10.1986, Ustronie-Jaszowiec.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan PALARSKI

Wpłynęło do Redakcji 1987.02.23

ВЛИЯНИЕ СЖИГАТЕЛЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТА
ШЛАМА В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В цементовнях использующих т.н. технологию "мокрую" производства клинкера, процесс раздробливания скального сырья, а затем транспорт раздробленной мешанки, производится с помощью воды. Стосование воды, превращает целый процесс в высокоэнергозатратный, что подвывает стоимость продукции цемента.

В исследованиях используется шлам подходящий с цементовни "Новины", который является мешанкой дробнодисперсной, где зависимость касательных напряжений, описано моделью Бингхама.

В исследованиях шлама с сжижателем, использовано сжижатель польского производства (состав опатентован - нр 123113) основан на базе брусчатого угля, выступающего в виде гидроскопического порошка. Результаты реологических исследований показали, что с увеличением концентрации сжижателя в шламе, касательные напряжения (τ) и коэффициент пластической вязкости (μ_{PL}) в первой фазе остро уменьшаются, а затем стабилизируются. Концентрацию сжижателя в шламе (C_U) принято описывать как процентное содержание сухой массы сжижателя к единицы сухой массы шлама. На основе реологических исследований, определено граничную концентрацию сжижателя в шламе - (C_U)_{gr} - выше которой повышение C_U не способствует истотному уменьшению τ и μ_{PL} .

Исследования гидротранспорта шлама с сжижателем произведены на трубопроводах ϕ 50 и ϕ 200. В результате экспериментальных исследований определено следующие положительные стороны эксперимента:

1. Многократное уменьшение граничной скорости.
2. Для $C_U = 0,25\%$ возможен транспорт шлама с массой воды: 27,0%.
3. Уменьшение потерь на трение - главным образом в зоне низких скоростей течения.

FLUXER INFLUENCE ON RAISING EFFICIENCY OF SLURRY HYDROTRANSPORT
IN CEMENT INDUSTRY

S u m m a r y

In cement plants using the so-called "wet" technology of clinker production, grinding process of rock materials, and next the transporting of ground mixture is done by means of water. Water usage makes the process highly energy-consuming and it increases cement production cost.

For experiments there was chosen slurry - from "Nowiny" cement plant - being fine dispersion hydromixture in which the course of shear stress dependence was approximated by Bingham's model.

In testing slurry with fluxer, there was used the fluxer of Polish production (chemical constitution reserved by temporal patent No 123113) based on brown coal in the form of hygroscopic powder.

The results of rheological tests showed that together with the fluxer concentration increase in slurry the shear stress (τ) and plastic viscosity coefficient (μ_{PL}) reveal in the first stage a sudden decrease and then they stabilize. Fluxer concentration in slurry (C_U) is defined as percent of fluxer dry mass per slurry dry mass unit. On the basis of rheology tests is defined the fluxer concentration limit in slurry - $(C_U)_{gr}$ above that one further increase of C_U does not cause any significant decrease of τ and μ_{PL} .

Tests of slurry hydrotransport with fluxer were carried on pipeline of ϕ 50 and ϕ 200. On the basis of experiments there were found the following advantages resulting from fluxer application:

1. Multiple decrease of hydromixture limit velocity.
2. For $C_U = 0,25\%$ it is possible to carry slurry by means of mass water: 27,0%.
3. Friction loss decrease particularly in the range of low rate flow.