ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: GÓRNICTWO z. 242 Nr kol. 1428

Marcin POPCZYK, Wojciech BABCZYŃSKI

WPŁYW CZASU MIESZANIA NA PODSTAWOWE PARAMETRY HYDRAULICZNEGO TRANSPORTU MIESZANIN POPIOŁOWO-WODNYCH W PRZYKŁADOWEJ GRAWITACYJNEJ INSTALACJI PRZEPŁYWOWEJ

Streszczenie. W procesie spalania węgla kamiennego powstają znaczne ilości popiołów pochodzących z elektrofiltrów. Przedmiotem niniejszej pracy jest przeprowadzenie badań nad wpływem czasu mieszania zawiesin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów z Elektrowni „Jaworzno" i „Rybnik", na podstawowe parametry hydraulicznego transportu. Do pomiarów wykorzystano instalację do grawitacyjnego transportu operującą na dwóch średnicach pomiarowych: 23 i 38 mm.

THE INFLUENCE OF MIXING TIME OF FLY ASH-WATER MIXTURES ON BASIC PARAMETERS OF HYDRAULIC TRANSPORTATION PROPERTIES IN AN EXEMPLARY GRAVITATIONAL PIPELINE

Summary. Combustion of hard coal produces large quantities of ashes from flue gas filtration devices. Subject of this paper is the laboratory research for the influence of mixing time of fly ash – water mixtures made from ashes from "Jaworzno" and "Rybnik" power plants on their hydraulic transportation properties. For the measurements a laboratory stand for gravitational slurries transportation has been used operating on pipes with diameter 23 and 38mm.

1. Wstęp

W procesie spalania węgla kamiennego w elektrowniach i elektrociepłowniach powstają znaczne ilości popiołów pochodzących z elektrofiltrów. Jedną z możliwych metod zagospodarowania tych popiołów lotnych jest ich wykorzystanie w podziemnych technologiach górni-

czych. Muszą one jednak spełniać wymagania stawiane drobnofrakcyjnym odpadom przemysłowym w procesie hydrotransportu lokowanym w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Przedmiotem niniejszej pracy jest przeprowadzenie badań nad wpływem czasu mieszania zawiesin popiołowo-wodnych na bazie popiołów z elektrowni „Jaworzno" i „Rybnik" na podstawowe parametry hydraulicznego transportu. Czas mieszania uważać będziemy za czas przepływu mieszaniny w rurociągu pomiarowym. Uwzględnić należy także zmiany tych parametrów w zależności od składu mieszaniny (proporcje użyte do badań to 1,5:1, 2:1, 2,5:1 popiołu do wody) oraz dwie średnice rurociągu pomiarowego: 23 mm i 38 mm. Badaniami objęto czas wypływu określonej objętości mieszaniny oraz jej prędkość.

2. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Do badań własności fizyko-mechanicznych mieszanin użyto popiołów lotnych uzyskanych w procesie spalania węgla bez odsiarczania spalin z Elektrowni „Rybnik" oraz „Jaworzno" oraz wody pochodzącej z wodociągu.

3. Metody wyznaczania parametrów przepływu mieszanin

Parametry geometryczne instalacji podsadzkowej

- Długość rzeczywista instalacji:

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_i \ [m]$$

- Różnica wysokości między początkiem i końcem instalacji:

$$H = \sum_{i=1}^{n} h \ [m]$$

$$h_i = l_i \sin\alpha_i \ [m] \quad \text{lub} \quad h_i = h_k - h_p [m]$$

- Długość ekwiwalentna instalacji podsadzkowej:

$$L_{ekw} = \sum_{i=1}^{n} a_i l_i [m]$$

$$a_i = \left(\frac{D_{od}}{D}\right)^5$$

gdzie:

D_{od} - średnica ostatniego odcinka instalacji [m].

Parametry hydrotransportu mieszaniny w instalacji

- Rozporządzalne jednostkowe straty energetyczne przepływu mieszaniny podsadzkowej w instalacji:

$$\Delta P_m = \frac{H \rho_m g}{L_{ekw}}$$

gdzie:

H - różnica wysokości między początkiem a końcem instalacji [m],

ρ_m - gęstość właściwa mieszaniny [kg/m^3],

g - przyspieszenie ziemskie, g =9.81 [m/s^2],

$$\rho_m = (1 - C_v)\rho_w + C_v \rho_s \left(kg/m^3\right)$$

gdzie:

ρ_s - gęstość właściwa materiału podsadzkowego,

ρ_w - gęstość właściwa wody.

- Rzeczywiste jednostkowe straty energetyczne przepływu mieszaniny popiołowo-wodnej w instalacji:

$$\Delta P = \lambda_w \frac{V_m^2}{2} \rho_m \quad \left[Pa/m\right]$$

gdzie:

λ_w - współczynnik oporu hydraulicznego $\lambda_w \approx 0.015$

Porównując wielkość strat rozporządzalnych z rzeczywistymi wyznacza się prędkość przepływu mieszaniny w instalacji. Dla zapewnienia stabilnych warunków przepływu mieszaniny w instalacji prędkość przepływu mieszaniny powinna być większa od prędkości krytycznej:

$$V_m > V_{kr}$$

Prędkość krytyczna przepływu mieszaniny jest to taka prędkość, poniżej której następuje osadzanie na dnie rurociągu.

$$V_{kr} = 3.2\sqrt{W_s D\sqrt{\frac{aC_v g}{(1+aC_v)d_s}}} \quad \left(m/s\right)$$

gdzie:

W_s - prędkość opadania materiału podsadzkowego w hydromieszaninie [m/s]:

$$W_s = \sqrt{\frac{4}{s} g \frac{d_s}{C_s} a(1-C_v)} \quad \left[m/s\right]$$

gdzie:

d_s - uziarnienie materiału podsadzkowego [m],

C_w - współczynnik oporu czołowego cząstek stałych, $C_w = 0.47$,

$$a = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

- Współczynnik pewności ruchu mieszaniny podsadzkowej w instalacji:

$$M = \frac{V_m}{V_{kr}} \geq 1.3$$

- Natężenie przepływu mieszaniny podsadzkowej w instalacji:

$$Q_m = 3600\frac{\pi D^2}{4} V_m \quad \left[m^3/godz.\right]$$

- Wydajność podsadzania:

$$Q_p = 1.3 C_v Q_m$$

- Stosunek objętościowy wody do popiołów lotnych w mieszaninie:

$$\frac{W}{P} = \frac{\rho_n - \rho_m}{\rho_m - \rho_w}$$

gdzie:

ρ_m - gęstość mieszaniny [kg/m^3],

ρ_w - gęstość wody [kg/m^3],

ρ_s - gęstość właściwa popiołów lotnych [kg/m^3].

Analiza rozkładu ciśnienia w instalacji

Ciśnienie w dowolnym punkcie instalacji oblicza się ze wzoru:

$$P_i = P_{i-1} \pm H_i \rho_m g - \Delta p_{mv} l_{i\,ekw} \quad [\,Pa\,]$$

gdzie:

P_{i-1} - ciśnienie w poprzednim punkcie instalacji, [Pa],

H_i - różnica wysokości początku i końca odcinka instalacji, [Pa],

ρ_m - gęstość mieszaniny, [kg/m^3],

g - przyspieszenie ziemskie, [m/s^2],

$l_{i\,ekw}$ - ekwiwalentna długość odcinka instalacji, [m],

Δp_m - jednostkowe straty energetyczne przepływu mieszaniny w instalacji, [Pa/m]:

$$\Delta p_m = \frac{H \rho_m g}{L_{ekw}} \quad \left[Pa/m \right]$$

$$l_{i\,ekw} = a_i l_i \quad [m]$$

$$a_i = \left(\frac{D_{od}}{D} \right)^5$$

Dobór rur do instalacji podsadzkowej

- Minimalna grubość ścianek rurociągu:

$$g_{min} = \frac{p_i D}{2Kr}$$

gdzie:

p_i - ciśnienie w dowolnym punkcie instalacji [Pa],

D - średnica rurociągu [mm],

k_r - dopuszczalne naprężenia rozciągające [Pa].

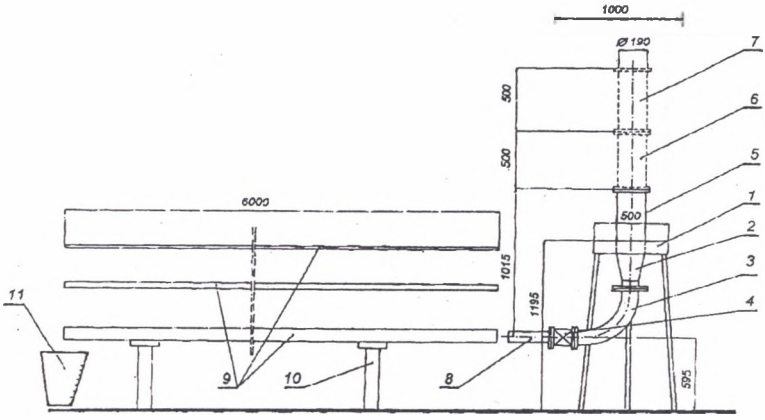
4. Opis stanowiska do badań przepływu mieszanin drobnofrakcyjnych

Stanowisko pomiarowe umiejscowione było na hali Instytutu Przeróbki Kopalin Stałych Wydziału Górnictwa i Geologii. W jego skład wchodziły następujące elementy:

- instalacja pomiarowa,
- urządzenie mieszające o pojemności 50 litrów,
- waga przemysłowa o zakresie od 0 do 50 kg,
- naczynia odmiarowe 1 litr, 2 litry i 10 litrów,
- stoper do pomiaru czasu,
- pojemniki do przenoszenia i przechowywania gotowej mieszaniny.

Najważniejszym elementem stanowiska badawczego była instalacja pomiarowa (rys.1), którą można podzielić na dwie podstawowe części:

1. poziomy odcinek instalacji (rurociąg pomiarowy),
2. pionowy odcinek instalacji (pełniący rolę zbiornika mieszaniny oraz umożliwiający uzyskanie ciśnienia hydrostatycznego).



Rys.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badań parametrów hydraulicznego transportu
Fig.1. A scheme of a laboratory stand for testing of hydraulic transport

W skład rurociągu pomiarowego wchodziły dwie rury pomiarowe (9), każda o długości 6 m, o średnicach wewnętrznych 23 mm i 38 mm, cienkościenne, wykonane ze stali nierdzewnej. Dla utrzymania w poziomie odcinka pomiarowego posłużono się stojakami (10) o

odpowiedniej wysokości. Na końcu rurociągu znajdowało się naczynie odmiarowe (11) o pojemności zależnej od czasu wypływu hydromieszaniny.

Głównym elementem nośnym części „ciśnieniowej" instalacji, do którego przymocowane były pozostałe jej elementy, był stojak podporowy (1). W części górnej stojaka znajdowały się trzy odcinki rur o średnicy 190 mm. Pierwszy z nich (5) przymocowany był na stałe do stojaka za pomocą spawu. Dwa pozostałe odcinki zwane „nadstawkami" (6) i (7), o długości 500 mm każdy, mocowane były do odcinka (5) śrubami. W dolnej części stojaka znajdowała się zwężka stożkowa (2) mająca za zadanie redukcję średnicy ze 190 mm na średnicę 110 mm. Zwężka ta połączona była z kolankiem (3) o średnicy 110 mm za pomocą śrub, a następnie z zaworem kulowym wysokociśnieniowym (4). Obie części instalacji, pionowa i pozioma, połączone ze sobą były łącznikiem (8) o długości 230 mm i średnicy 60 mm. Łącznik ten z częścią pionową połączony był śrubami, a z częścią poziomą łącznikiem elastycznym gumowym wraz z obejmami.

5. Metodyka badań

Z uwagi na konieczność ręcznego i równoczesnego wykonywania wielu czynności w całym procesie badań - badania prowadzono w zespole trójosobowym.

Przygotowanie hydromieszaniny do badań

Przygotowanie hydromieszaniny do wyznaczenia jednostkowych oporów przepływu w rurociągu transportowym polegało na wagowym dobraniu jej składników w zależności od zadanej koncentracji masowej.

Ze względu na duże ilości badanego popiołu, którego należało użyć do wykonania pełnego cyklu pomiarowego przy danej koncentracji, ważenia jego dokonywano na wadze przemysłowej o zakresie pomiarowym od 0 do 50 kg z dokładnością do 100 g. Następnie odważoną ilość popiołu mieszano z wodą przy użyciu betoniarki o pojemności 50 litrów. Ilość wody odmierzano objętościowo przy użyciu wyskalowanego wiadra o pojemności 10 l.

Przygotowanie i napełnianie instalacji pomiarowej

W czasie odmierzania wagowego składników oraz ich mieszania równolegle przygotowywano instalację do przeprowadzenia pomiarów. Przygotowywanie to polegało na zamontowaniu rury pomiarowej o odpowiedniej średnicy oraz montażu obu nakładek rurowych. Po uzyskaniu jednolitej mieszaniny przystępowano do wypełnienia pionowej części instalacji (części „zbiornikowej") przy użyciu naczyń 10 - litrowych.

Przeprowadzenie pomiarów przepływu mieszaniny

Cykl badań mieszaniny o danej koncentracji polegał na pomiarze czasu napełnienia mieszaniną naczynia o danej objętości na wylocie z rurociągu pomiarowego. Cykl pomiarowy składał się z trzech części:

- w części pierwszej, po zajęciu stanowisk przez osoby przeprowadzające badania, następowało odkręcenie zaworu kulowego oraz wypełnienie hydromieszaniną części pomiarowej instalacji;
- w części drugiej następowała stabilizacja przepływu, uzyskiwana poprzez utrzymywanie stałego ciśnienia hydrostatycznego. Z kolei to ciśnienie uzyskiwano poprzez ciągłe utrzymywanie stałego poziomu mieszaniny w części zbiornikowej dolewając sukcesywnie mieszaninę z uprzednio przygotowanych naczyń;

Stabilność ciśnienia hydrostatycznego była głównym warunkiem poprawności uzyskiwanych wyników.

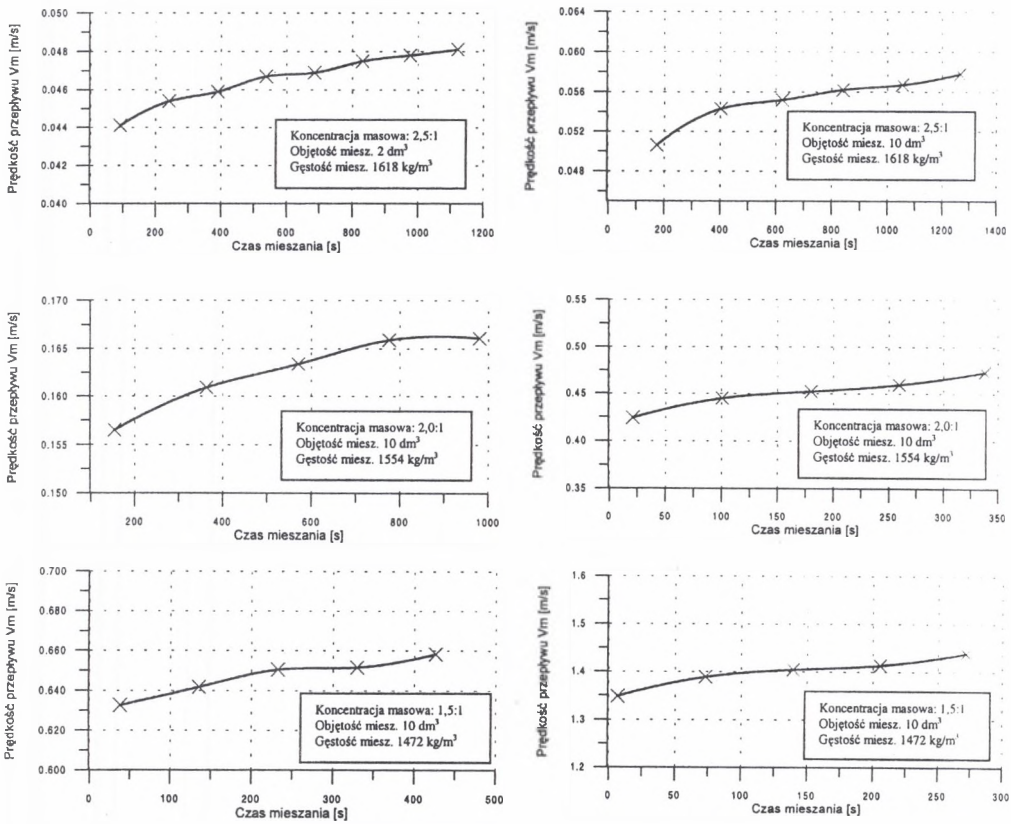
- ostatnia część polegała na zbadaniu czasu wypływu określonej objętości mieszaniny. Objętość ta była ustalona w taki sposób, aby czas wypływu wynosił od kilku do kilkudziesięciu sekund.

Dobrany zakres czasu wypływu pozwalał na zredukowanie do minimum błędów wynikających z nierównomierności wypływu mieszaniny oraz błędu pomiaru czasu stoperem. Całość badań prowadzona była zaczynając od koncentracji najwyższej 2.5:1, poprzez koncentrację niższą 2.0:1 aż do koncentracji 1,5:1 popiołu do wody.

6. Wyniki przeprowadzonych badań

Wyniki badań podstawowych parametrów przepływu mieszanin dwufazowych zostały przedstawione w sposób graficzny na rysunkach 2 i 3 jako charakterystyki przyrostu prędkości przepływu przez instalację pomiarową od czasu ich mieszania. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono natomiast przyrost prędkości w procentach pomiędzy pierwszym pomiarem (najkrótszy czas mieszania) a ostatnim (najdłuższy czas mieszania).

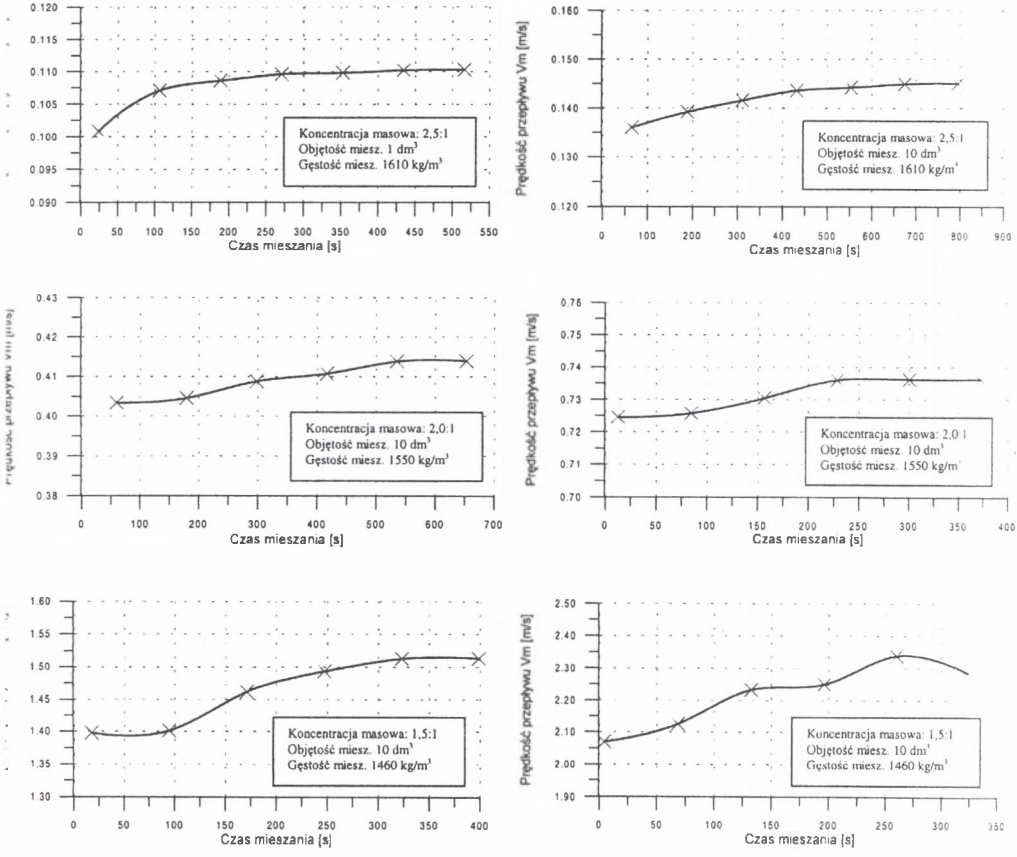
D = 23 mm D = 38 mm



Rys.2. Wykresy przedstawiające zależność prędkości przepływu przez rurociągi pomiarowe mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów z Elektrowni „Rybnik" od czasu ich mieszania

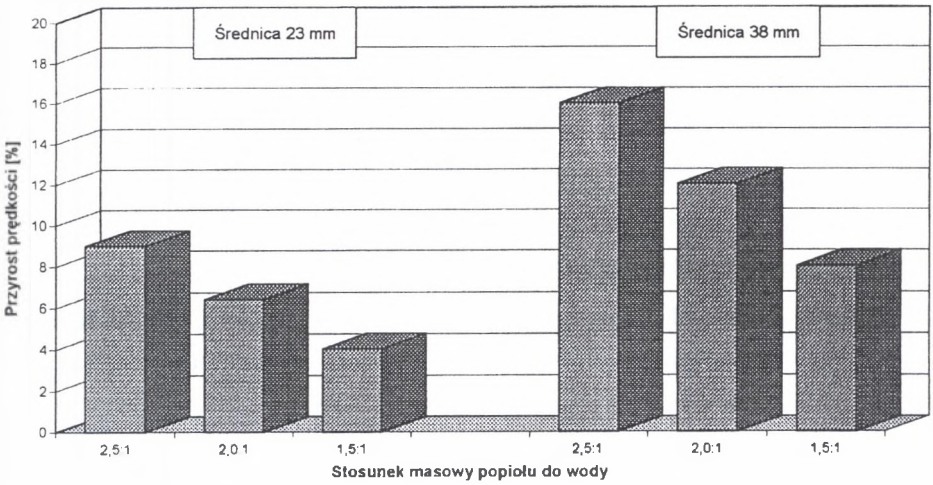
Fig.2. The relation between flow velocity and mixing time for slurries made from „Rybnik" power plant fly ash measured in the test loop

D = 23 mm D = 38 mm



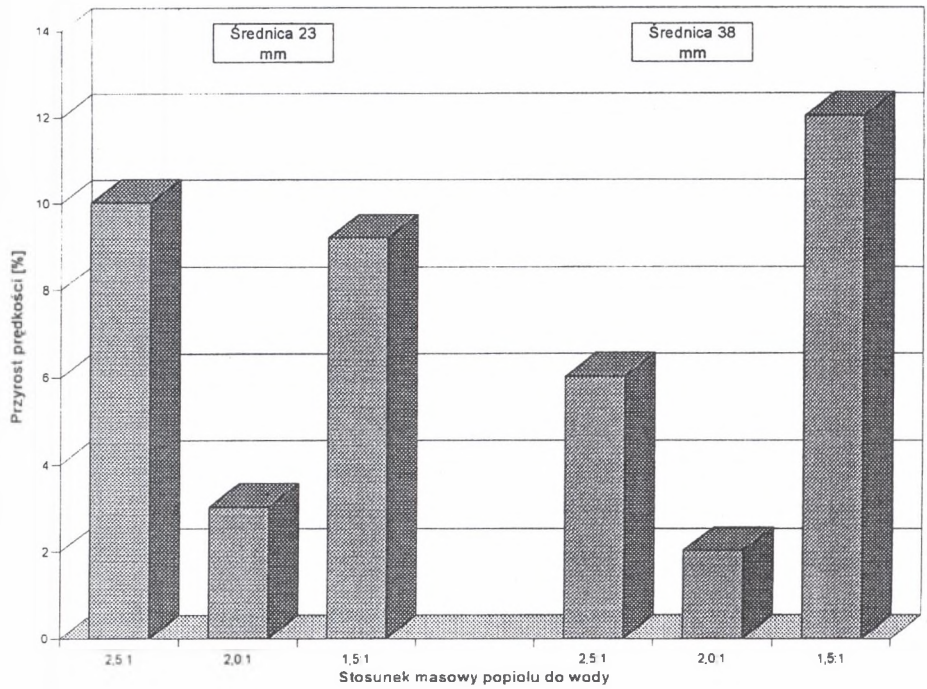
Rys.3. Wykresy przedstawiające zależność prędkości przepływu przez rurociągi pomiarowe mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów z Elektrowni „Jaworzno" od czasu ich mieszania

Fig.3. The relation between flow velocity and mixing time for slurries made from „Jaworzno" power plant fly ash measured in the test loop



Rys.4. Wykres przedstawiający przyrost prędkości przepływu w zależności od stosunku masowego popiołu do wody pomiędzy najkrótszym i najdłuższym czasem mieszania dla popiołu z Elektrowni „Rybnik"

Fig.4. The relation of increase of flow velocity versus fly ash/water ratio between minimum and maximum mixing time in case of „Rybnik" power plant fly ash



Rys.5. Wykres przedstawiający przyrost prędkości przepływu w zależności od stosunku masowego popiołu do wody pomiędzy najkrótszym i najdłuższym czasem mieszania dla popiołu z Elektrowni „Rybnik"

Fig.5. The dependence of increase of flow velocity versus fly ash/water ratio between minimum and maximum mixing time in case of „Jaworzno" power plant fly ash

7. Podsumowanie

1. Analizując wyniki pomiarów mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Elektrowni „Rybnik" widać zasadniczy wpływ czasu mieszania na parametry hydrotransportu. Wraz ze wzrostem czasu przepływu wzrasta prędkość hydromieszaniny w rurociągu pomiarowym. Wzrost tej prędkości zawiera się w granicach od 4 do 16%.
2. Wraz ze wzrostem udziału popiołu z Elektrowni „Rybnik" w mieszaninie rośnie procentowy przyrost prędkości przepływu. I tak, dla średnicy 23 mm przyrost wynosił odpowiednio: dla stosunku masowego popiołu do wody 1,5:1 – 4%, 2,0:1 – 6,4%, 2,5:1 – 9%. Dla średnicy rurociągu 38 mm przyrosty wyniosły odpowiednio: dla stosunku masowego 2,5:1 – 16%, 2,0:1 – 12%, 1,5:1 – 16%.
3. Wraz ze wzrostem średnicy rurociągu z 23 na 38 mm prędkość przepływu mieszaniny wzrasta o około 100%.
4. Analizując mieszaninę sporządzoną na bazie popiołu z Elektrowni „Jaworzno" widać wyraźny wprost proporcjonalny związek pomiędzy czasem mieszania a prędkością przepływu mieszaniny. Wzrost ten waha się w przedziale pomiędzy 2 a 12%.
5. Dla hydromieszaniny sporządzonej na bazie popiołu z Elektrowni „Jaworzno" nie daje się zauważyć żadnego związku wprost lub odwrotnie proporcjonalnego pomiędzy stosunkiem masowym, średnicą rurociągu a prędkością przepływu w rurociągu

LITERATURA

1. Palarski J.: Hydrauliczny transport materiałów podsadzkowych do wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., seria Energetyka, nr 99, 1987.
2. Palarski J.: Hydrotransport. WNT, Warszawa 1982.
3. Plewa F., Mysłek Z.: Zagospodarowanie odpadów elektrownianych i poflotacyjnych w podsadzce samozestalającej. Materiały konferencji Szkoła Geomechaniki, Ustroń, 19-22.10.1993.

4. Gałeczka S., Skupnik K.: Osiągnięcia w zakresie zagospodarowania odpadów elektrownianych w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy, nr 9, 1989.

Recenzent: Dr inż. Tadeusz Bromek

Abstract

Among others, utilization of fly ashes from coal powered generating plants within underground mining technologies is to be considered. However, these ashes must meet all the requirements obliged for fine grained materials used for hydraulic filling of underground workings. Subject of this paper is the laboratory research for the influence of mixing time of fly ash – water mixtures made from ashes from "Jaworzno" and "Rybnik" power plants on their hydraulic transportation properties. As the mixing time the time of mixture flow through the test pipe will be considered. During the tests the time of flow of a known quantity of a mixture has been measured for two pipe diameters (23 and 38 mm) with respect to pressure height.