

Jerzy ROKITA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WYBRANE ZAGADNIENIA WYTWARZANIA, DEPONOWANIA I WYKORZYSTYWANIA GĘSTYCH ZAWIESIN POPIOŁÓW LOTNYCH W WODZIE

**Streszczenie.** Omówiono metodę transportu i deponowania popiołów lotnych w postaci gęstej zawiesiny w wodzie. Przedstawiono własności takich zawiesin. Przeanalizowano funkcjonowanie instalacji umożliwiającej wytwarzanie gęstych zawiesin popiołowo-wodnych. Wskazano możliwości wykorzystania zawiesin.

## SELECTED PROBLEMS OF TRANSPORT, STORAGE AND UTILIZATION OF FLYASH IN FORM OF THICK SUSPENSION

**Summary.** The present state of transport and storage technology of fly-ash in form of thick suspension in water has been described. Discussed are properties of those suspension and an idea of an installation for the production of suspension. Its performance has been analyzed. Possibilities of using thick suspension are also presented.

## ERZEUGUNG, DEPONIE UND AUSNUTZUNG DICKER SUSPENSIONEN VON FLUGASCHE IN WASSER

**Zusammenfassung.** Es wurde die Methode zur hydraulischer Beseitigung und Deponie von Flugasche in der Form eines dicken Suspensionen dargestellt. Die hydraulischen und physikalischen Eigenschaften der Suspensionen wurde gezeigt.

### 1. Wprowadzenie

Przed ponad dziesięciu laty została wdrożona w skali przemysłowej opracowana w Polsce metoda składowania popiołów lotnych i żużli (powstałych

w procesach spalania węgla kamiennych w kotłach pyłowych) w postaci gęstej zawiesiny w wodzie [1, 2], znanej pod nazwą „emulgatu”.

Gęsta zawiesina popiołowo–wodna charakteryzuje się wysokim udziałem popiołów lotnych w zawieszynie, który w myśl założeń tej metody powinien być większy niż 1 kg popiołów lotnych na 1 kg wody, zaś w praktyce utrzymywany jest w granicach 1,5 – 2,5 kg popiołów na 1 kg wody.

Gęsta zawiesina popiołowo–wodna, jako zawiesina aktywnych chemicznie ciał stałych w wodzie, odznacza się:

- płynnością, umożliwiającą jej transport hydrauliczny w rurociągach oraz samorozpływanie się na płaszczyźnie,
- zdolnością do zestalania się, po kilkudniowym sezonowaniu, w ciało stałe charakteryzujące się pewną wytrzymałością mechaniczną i znikomą wodnoprzepuszczalnością.

Własności zawiesiny zależą od jakości wykorzystywanych popiołów lotnych oraz ich udziału w zawieszynie.

W procesie postępowania z zawiesziną popiołowo–wodną można wyodrębnić trzy rodzajowo odmienne fazy:

- wytwarzanie zawiesiny,
- transport hydrauliczny zawiesiny,
- deponowanie zawiesiny lub jej użyteczne wykorzystywanie.

Każda z faz postępowania z zawiesziną charakteryzuje się odmiennymi uwarunkowaniami, które wywierają wpływ na efekty uzyskiwane w procesie składowania.

W pierwszej fazie postępowania wytwarzana jest gęsta zawiesina popiołowo–wodna o pożądanym składzie, który ma zasadniczy wpływ na dalsze fazy postępowania, a właściwe jego ustalenie i konsekwentne przestrzeganie jest warunkiem niezakłóconej realizacji dalszych faz i uzyskania spodziewanych efektów. Z tych względów wytwarzanie zawiesiny popiołowo–wodnej odbywa się w odpowiednich instalacjach [3].

Wytworzona zawiesina w drugiej fazie jest transportowana do miejsca przeznaczenia rurociągami, pod wpływem ciśnienia wytwarzanego przez pompy (zwykle wirowe odśrodkowe).

Trzecia faza postępowania z zawiesziną, jej wprowadzanie na składowisko terenowe i deponowanie umożliwia osiągnięcie głównych korzyści, które daje nowa metoda:

- wprowadzona w ciągu doby na teren składowiska warstwa zawiesiny ma niewielką grubość (najwyżej kilka cm) i wskutek dużego jej zagęszczenia nie może wytworzyć znaczącej warstewki wody nadosadowej, wobec czego nie ma potrzeby odprowadzania nadmiaru wody ze składowiska,
- woda znajduje się głównie w przestrzeniach międzyziarnowych wyse-dymentowanego złoża, co ogranicza do minimum powstawanie odcieków do podłoża (lub w głąb bryły odpadów),

- po kilku dniach wysedymentowane złożone została się dzięki naturalnym własnościom wiążącym popiołów lotnych w ciało stałe o wytrzymałości na ściskanie około 300 – 600 kPa (a w przypadku zawierających produkty z procesu suchego odsiarczania spalin nawet 13 MPa) i znikomym współczynnikiem filtracji (wodoprzepuszczalności) wynoszącym około  $10^8$  –  $10^7$  m/s, przy czym w miarę upływu czasu parametry te bardzo korzystnie zmieniają się,
- woda wprowadzona z zawiesiną w znacznej części wiąże się chemicznie z popiołami,
- zestalona masa uszczelnia podłoże i pobocze (obwałowania) składowiska względem kolejnych wprowadzanych warstw ciekłych, co radykalnie ogranicza infiltrację zanieczyszczeń do podłoża,
- deponowanie odpadów może być szczególnie korzystne w różnego rodzaju wyrobiskach i zagłębieniach terenu, zaś składowiska nadpoziomowe mogą osiągać większe wysokości,
- wyeliminowane jest pylenie składowisk,
- ułatwione jest zagospodarowanie terenu składowiska, gdyż nie ma potrzeby wcześniejszego utwardzania terenu.

## 2. Parametry gęstych zawiesin popiołów lotnych w wodzie oraz zastalonych mas z nich powstałych

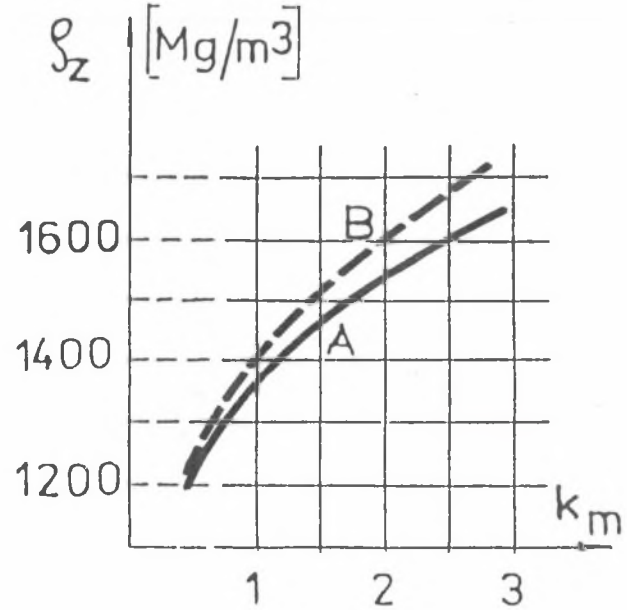
Własności popiołów lotnych oraz skład zawiesiny popiołowo-wodnej w zasadniczym stopniu wpływają na własności zawiesiny w stanie płynnym i po zestaleniu się w ciało stałe.

Skład zawiesiny można charakteryzować różnie, jednakże najczęściej stosowanym w tym celu parametrem jest stosunek masowy popiołów do wody  $k_m$ , zwany konsystencją masową zawiesiny.

Zasadniczymi parametrami zawiesin popiołowo-wodnych w stanie płynnym są: gęstość właściwa, parametry reologiczne (warunkujące zdolność zawiesiny do transportu w rurociągu), rozplywność (warunkująca zdolność zawiesiny do rozplywania się na płaszczyźnie) oraz objętość wytworzonej wody nadosadowej i odcieku w stosunku do objętości zawiesiny. Parametry zawiesiny zależą od własności fizykochemicznych popiołów lotnych, a w szczególności od gęstości właściwej popiołów, składu granulometrycznego, powierzchni właściwej i zawartości aktywnego CaO w popiołach.

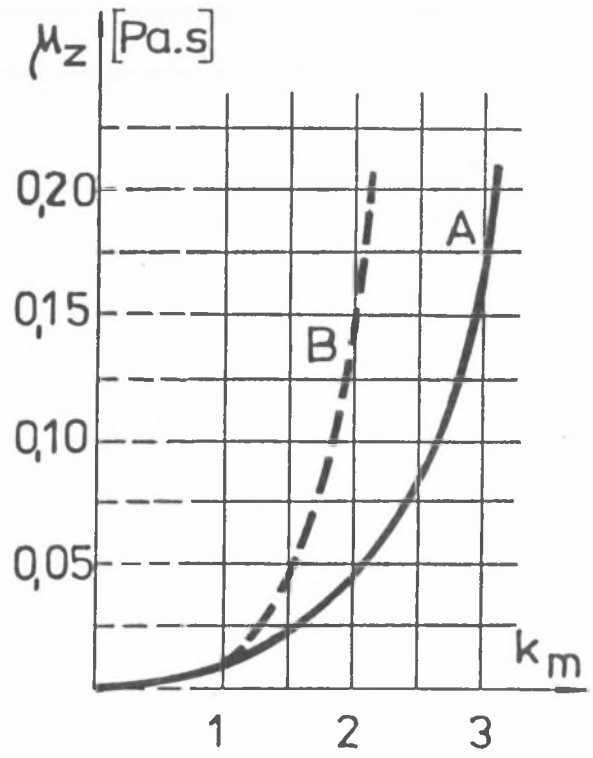
Na rysunkach 1 – 4 przedstawiono podstawowe parametry charakteryzujące zawiesiny sporządzone z dwóch odmiennych popiołów A i B, o zróżnicowanym składzie chemicznym.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność gęstości zawiesin od stosunku masowego  $k_m$ . Wpływ stosunku masowego  $k_m$  na lepkość pozorną zawiesiny



Rys. 1. Zależność gęstości zawiesiny  $\rho_z$  od stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$

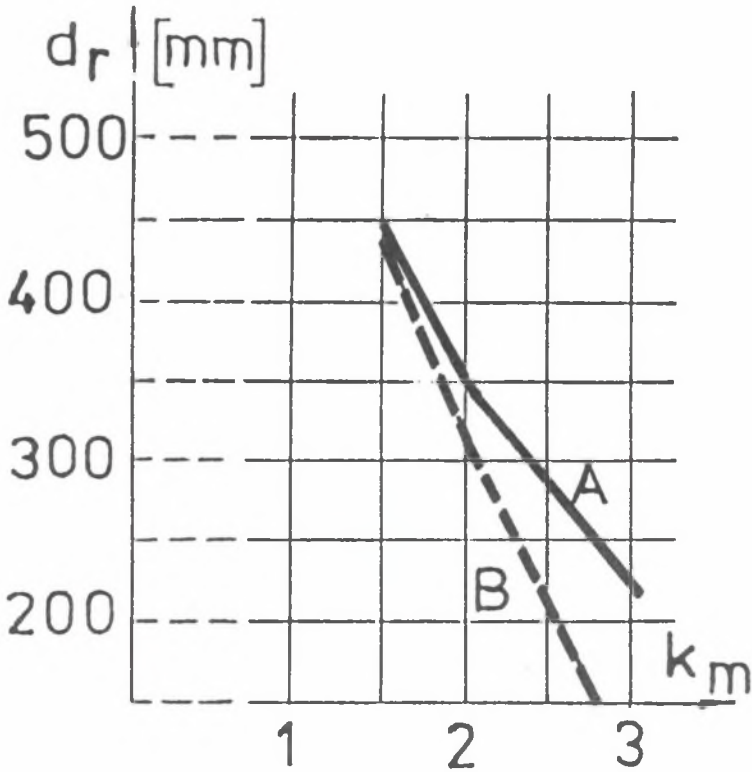
Fig. 1. Suspension density  $\rho_z$  versus mass ratio  $k_m$



Rys. 2. Zależność lepkości pozornej zawiesiny  $\mu_z$  od stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$

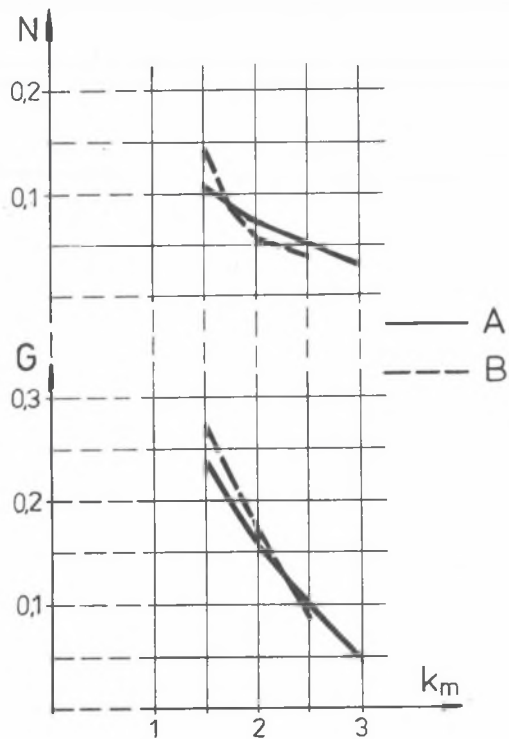
Fig. 2. The dependence of the apparent viscosity of suspension  $\mu_z$  versus mass ratio  $k_m$

(będącej cieczą nienewtonowską) przy stałej prędkości ścinania  $D = 80 \text{ s}^{-1}$ , zbliżonej do prędkości ścinania występujących podczas przepływu zawiesin w rurociągach. Na rysunku 3 zaprezentowano rozplywność zawiesin, rozumianą jako średnicę koła utworzonego po rozplynięciu się porcji zawiesiny o takiej



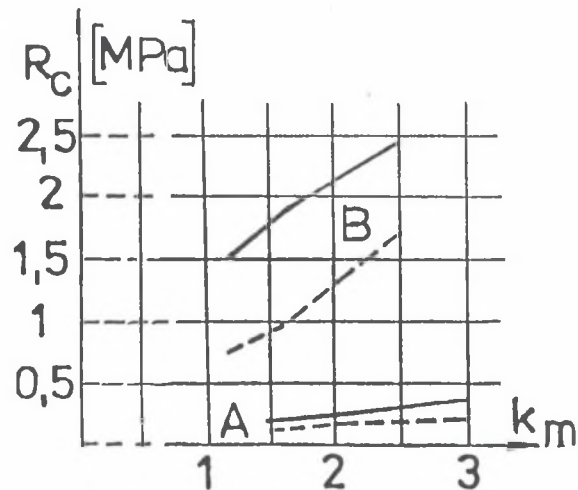
Rys. 3. Zależność rozplywności zawiesiny  $d_r$  od stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$

Fig. 3. Levelling of the suspension  $d_r$  versus mass ratio  $k_m$



Rys. 4. Zależność udziału wody nadosadowej  $N$  oraz udziału odcieku grawitacyjnego wody  $G$  z zawiesiny od stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$

Fig. 4. Dependences of the oversedimentary water ratio  $N$  and gravitational reflux ratio  $G$  versus mass ratio  $k_m$



Rys. 5. Wpływ stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$  na wytrzymałość doraźną na ściskanie  $R_c$  zestalonej masy (linia przerywana – 2 tygodnie sezonowania, linia ciągła – 4 tygodnie sezonowania)

Fig. 5. Effect of the mass ratio  $k_m$  on the compressive strength  $R_c$  of the solidified mass (time of seasoning: 2 weeks – broken line, 4 weeks – continuous line)

samej znormalizowanej objętości. Natomiast na rysunku 4 przedstawiono udziały wody nadosadowej oraz odcieku grawitacyjnego wody z zawiesiny (w stosunku do objętości zawiesiny) w zależności od stosunku masowego  $k_m$ .

Tablica 1

Skład chemiczny popiołów A i B (w % masy)

Składnik	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO <sub>całk.</sub>	CaOwolne	MgO	S <sub>całk.</sub>
Popiół A	48,4	19,6	7,7	4,33	2,0	2,2	0,35
Popiół B	41,0	21,8	8,3	14,55	8,2	3,18	1,05

Gęstości właściwe popiołów A i B odpowiednio wynosiły 2103 i 2309 kg/m<sup>3</sup>.

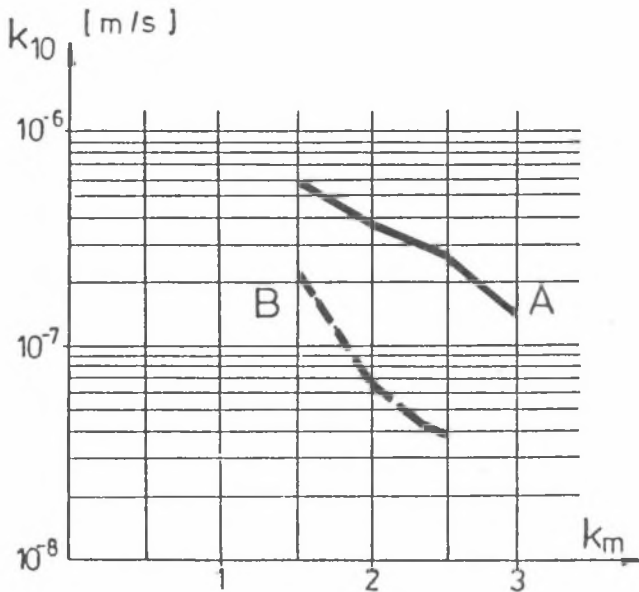
Warto zwrócić uwagę, że nawet przy tych samych wartościach  $k_m$ , parametry zawiesin sporządzanych z różnych popiołów znacznie się różnią.

Z przytoczonych danych wynika, że w miarę wzrostu stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$  wzrasta lekkość pozorna zawiesiny i zmniejsza się jej rozplywność (przy czym zmiany te przy większych wartościach  $k_m$  stają się bardzo znaczne) oraz maleje objętość wytworzonej wody nadosadowej i odcieku. Zbyt duży udział popiołów może niebezpiecznie utrudnić (lub nawet uniemożliwić) transport rurociągowy zawiesin wskutek pogorszenia płynności.

Zasadniczymi parametrami ciał stałych powstałych po zestaleniu się zawiesin są: wytrzymałość doraźna na ściskanie  $R_c$ , porowatość oraz współczynnik wodoprzepuszczalności  $k_{10}$  (odniesiony do temperatury wody 10°C). Zależności  $R_c$  i  $k_{10}$  od stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$  przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Wynika z nich, że wzrost  $k_m$  wpływa korzystnie na oba parametry (zwiększa  $R_c$  i obniża  $k_{10}$ ). Porowatość zestalonych ciał stałych wynosi 0,45 – 0,60.

Zdecydowanie korzystniejsze parametry zestalonej masy osiąga się w przypadku popiołów B (z wyraźnie większą zawartością wolnego CaO) [4].

Konfrontując wpływ stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$  na parametry zestalonej masy (powstałej z zawiesiny) oraz zawiesiny w stanie płynnym stwierdza się, że wzrost wartości  $k_m$  powoduje wprawdzie polepszenie parametrów zestalonej masy ( $R_c$ ,  $k_{10}$ ), ale równocześnie powoduje pogorszenie płynności zawiesiny. Niezbędny jest więc rozsądny kompromis w wyborze wartości  $k_m$ , tak aby uzyskać korzystne parametry zestalonej masy, bez ryzyka zakłócenia przepływu w rurociągach. Konieczność utrzymania wartości  $k_m$  na stałym poziomie ze znaczną dokładnością sprawia, że instalacje do wytwarzania zawiesin muszą być właściwie zaprojektowane i wyposażone w układy zapewniające utrzymanie stałości składu zawiesiny.



Rys. 6. Wpływ stosunku masowego popiołów do wody  $k_m$  na współczynnik wodo przepuszczalności  $k_{10}$  zestalonej masy (okres sezonowania – 4 tygodnie)

Fig. 6. Effect of the mass ratio  $k_m$  on the permeability coefficient  $k_{10}$  of the solidified mass (time of seasoning – 4 weeks)

### 3. Instalacja do wytwarzania gęstej zawiesiny popiołów lotnych w wodzie

Największą wydajność procesu wytwarzania zawiesiny (przy takich samych gabarytach urządzeń) uzyskuje się, gdy instalacja do wytwarzania zawiesiny funkcjonuje w sposób ciągły. Schemat takiej instalacji przedstawiono na rysunku 7.

Zasadniczym elementem składowym instalacji jest mieszarka przepływowa, do której dozowane są strumienie popiołów lotnych i wody. Średni czas mieszania zależy od jakości popiołów lotnych, jednakże nie może być mniejszy niż 2 minuty ze względu na konieczność dostatecznego zhomogenizowania zawiesiny w całej jej objętości.

Sterowanie pracą instalacji może być realizowane w różny sposób, w zależności od wyboru parametru zawiesiny utrzymywanego na stałym poziomie [3, 5].



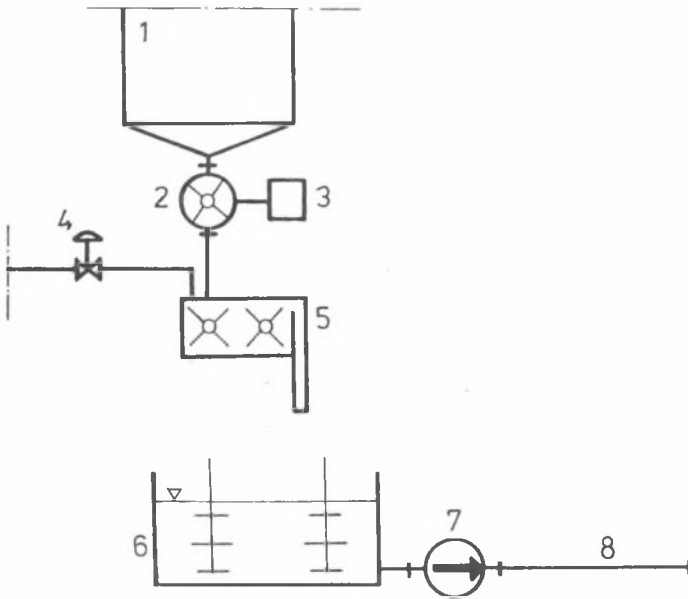
Proces wytwarzania zawiesiny o określonym składzie może być więc realizowany przy założeniu i utrzymywaniu:

- stałej koncentracji objętościowej popiołów w zawiesinie  $c_V$ ,
- stałej konsystencji masowej zawiesiny  $k_m$ ,
- stałej gęstości zawiesiny  $\rho_z$ .

Między parametrami  $c_V$ ,  $k_m$  i  $\rho_z$  występują następujące związki:

$$c_V = \frac{k_m}{k_m + \frac{\rho_p}{\rho_w}} \quad (1)$$

$$k_m = \frac{\rho_p}{\rho_w} \frac{c_V}{1 - c_V} \quad (2)$$



Rys. 7. Schemat instalacji do wytwarzania gęstej zawiesiny popiołów lotnych w wodzie: 1 – zbiornik retencyjny popiołów, 2 – dozownik popiołów, 3 – regulator natężenia strumienia popiołów, 4 – regulator natężenia wody, 5 – mieszalnik przepływowy, 6 – zbiornik retencyjny zawiesiny, 7 – pompa, 8 – rurociąg zawiesiny

Fig. 7. Diagram of an installation for the preparation of fly-ash suspension in water: 1 – fly-ash container, 2 – ash feeder, 3 – ash stream intensity controller, 4 – water flow intensity controller, 5 – mixer, 6 – retention tank, 7 – pump, 8 – pipeline

$$\rho_z = \rho_w + c_v(\rho_p - \rho_w) \quad (3)$$

$$\rho_z = \rho_w + \frac{\rho_p - \rho_w}{1 + \frac{1}{k_m} \frac{\rho_p}{\rho_w}} \quad (4)$$

$$c_v = \frac{\rho_z - \rho_w}{\rho_p - \rho_w} \quad (5)$$

$$k_m = \frac{\rho_p(\rho_z - \rho_w)}{\rho_w(\rho_p - \rho_z)} \quad (6)$$

w których:  $\rho_z$ ,  $\rho_p$ ,  $\rho_w$  oznaczają odpowiednio gęstości: zawiesiny, popiołów i wody.

Najbardziej ogólnym pojęciem charakteryzującym skład zawiesiny jest koncentracja objętościowa fazy stałej  $c_v$ , gdyż nie zależy ona od gęstości faz.

Uwzględniając, że gęstości popiołów lotnych mieszczą się w przedziale  $\rho_p \approx 1900$  do  $2500$  kg/m<sup>3</sup> i że konsystencja masowa zawiesiny  $k_m > 1$ , można stwierdzić, że koncentracja objętościowa zawiesin  $c_v > 0,30$ ; a zwykle mieści się w zakresie 0,40 – 0,45. Najkorzystniejsze jest utrzymywanie na stałym poziomie koncentracji objętościowej popiołów lotnych w zawiesinie, gdyż wówczas proces wytwarzania jest niezależny od zmian gęstości popiołów w czasie.

Natomiast w sytuacji, gdy stałymi parametrami procesu są konsystencja masowa  $k_m$  lub gęstość zawiesiny  $\rho_z$ , koncentracja objętościowa  $c_v$  będzie różnić się od wartości oczekiwanej  $c_{v0}$ , gdy gęstość popiołów lotnych  $\rho_p$  będzie odbiegać od wartości oczekiwanej  $\rho_{p0}$ . W praktyce stwierdza się zmiany gęstości popiołu w granicach  $\pm 5\%$  (a niekiedy i więcej).

Chwilową odchyłkę  $\Delta c_v = c_v - c_{v0}$  wówczas określa się z zależności

$$\Delta c_v = \frac{\partial c_v}{\partial \rho_p} (\rho_p - \rho_{p0}) + \frac{\partial^2 c_v}{\partial^2 \rho_p} (\rho_p - \rho_{p0})^2 \quad (7)$$

Gdy przestrzegany jest warunek  $k_m = \text{const}$ , to chwilowa odchyłka  $\Delta c_v$  po uwzględnieniu (1) wynosi:

$$\Delta c_v = \frac{k_m}{\rho_w \left( k_m + \frac{\rho_{p0}}{\rho_w} \right)^2} (\rho_p - \rho_{p0}) + \frac{2k_m}{\rho_w^2 \left( k_m + \frac{\rho_{p0}}{\rho_w} \right)^3} (\rho_p - \rho_{p0})^2 \quad (8)$$

Natomiast, gdy utrzymuje się  $\rho_z = \text{const}$ , to po uwzględnieniu (5) chwilową odchyłkę  $\Delta c_V$  można wyrazić zależnością:

$$\Delta c_V = -\frac{\rho_z - \rho_w}{(\rho_{po} - \rho_w)^2} (\rho_p - \rho_{po}) + \frac{2(\rho_z - \rho_w)}{(\rho_{po} - \rho_w)^3} (\rho_p - \rho_{po})^2 \quad (9)$$

Odchyłki  $\Delta c_V$  obliczane dla konkretnych zawiesin z zależności (9) są około 3-krotnie większe od odchyłek obliczonych z zależności (8).

Stosowanie jako parametru regulacyjnego gęstości zawiesiny  $\rho_z$  nie jest więc korzystne, gdyż wówczas zmiany gęstości popiołów silniej wpływają na zmianę koncentracji objętościowej zawiesiny, co w przypadku zmniejszenia się gęstości popiołów ( $\rho_p - \rho_{po} < 0$ ) może prowadzić do nadmiernego wzrostu  $c_V$ .

Należy zwrócić jednak uwagę, że nawet utrzymywanie  $c_V = \text{const}$  nie zapewnia stałości parametrów reologicznych zawiesiny, gdyż są one zależne od m.in. składu granulometrycznego popiołów lotnych, stanu powierzchni ziaren, występowania składników aktywnych chemicznie, a własności te zmieniają się również w czasie.

#### 4. Transport rurociągowy zawiesiny

Wytworzona zawiesina jest przez okres kilkunastu minut przetrzymywana w zbiorniku retencyjnym, w którym następuje dalsze ujednorodnianie zawiesiny wskutek jej mieszania. Ze zbiornika retencyjnego pompa zawiesiny pobiera ją i tłoczy rurociągiem do miejsca przeznaczenia. Jako pompy zawiesiny stosuje się z powodzeniem pompy wirowe odśrodkowe jednostopniowe. W przypadku połączenia szeregowego dwóch pomp zasięg pompowania może wynosić kilka km. Przeprowadzone próby wykazały możliwość zastosowania do transportu gęstych zawiesin pomp wirowych odśrodkowych wielostopniowych o specjalnie dostosowanym do wymagań rozwiązaniu konstrukcyjnym [6], co zwiększy zasięg pompowania.

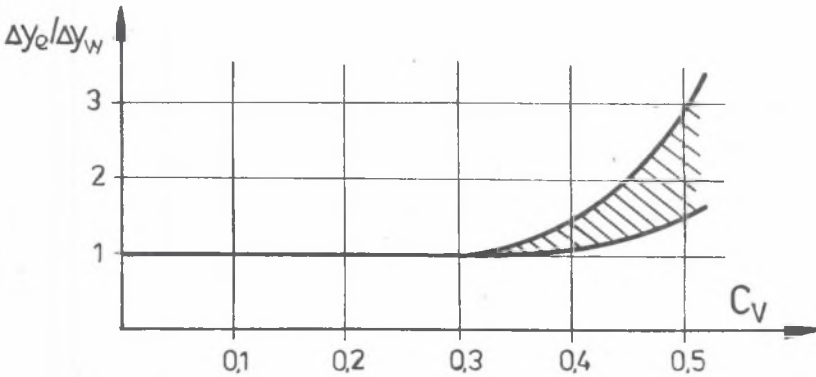
Przepływ zawiesiny w rurociągach i praca pomp zawiesiny odbywają się bez zakłóceń, gdyż programowane utrzymywanie składu zawiesiny ogranicza zmienność parametrów reologicznych zawiesiny do bezpiecznego zakresu.

W przypadku przepływu relatywnie mało zagęszczonych zawiesin w rurociągach straty energii jednostkowej  $\Delta y_e$  [J/kg] (lub wysokość strat hydraulicznych  $\Delta h_e$  [m]) zawiesin mogą być w porównywalnych warunkach traktowane jako równe stratom w przypadku przepływu wody ( $\Delta y_w$  lub  $\Delta h_w$ ).

Jednakże ze wzrostem zagęszczenia (koncentracji objętościowej) zawiesiny straty energii jednostkowej rosną, początkowo wolno, a następnie coraz szyb-

ciej, co dowodzi wzrostu wartości współczynnika oporów liniowych  $\lambda$ . Wzrost ten jest bardzo różny w przypadku różnych popiołów.

Zakres zmian stosunków strat w zależności od koncentracji objętościowej popiołów w zawieszynie przedstawiono przykładowo na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność stosunku oporów przepływu  $\Delta y_e/\Delta y_w$  od koncentracji objętościowej  $c$

Fig. 8. Dependence of the ratio characterizing frictional loss  $\Delta y_e/\Delta y_w$  on the volumetric concentration  $c_v$

Ustalając parametry procesu wytwarzania zawieszyny należy brać pod uwagę zmiany parametrów reologicznych zawieszyny w czasie, których charakter jest niekorzystny (z punktu widzenia transportu rurociągowego).

## 5. Kierunki wykorzystywania popiołów lotnych w postaci gęstych zawiesin w wodzie

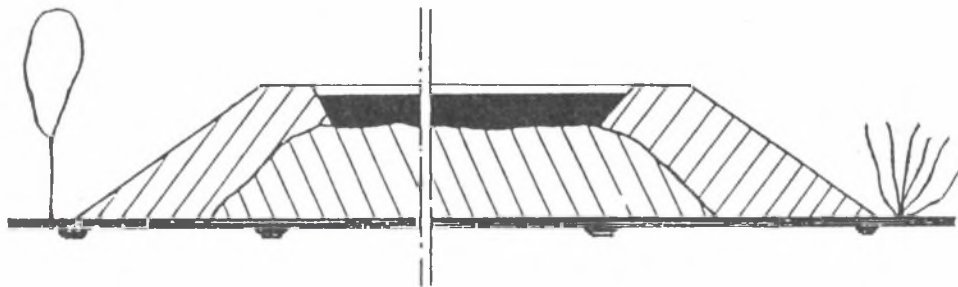
Korzystne własności gęstych zawiesin popiołowo-wodnych poszerzają zakres zastosowania i wykorzystywania popiołów lotnych. Powszechnie znane są takie kierunki wykorzystywania gęstych zawiesin popiołowo-wodnych, jak:

- deponowanie popiołów lotnych w wyrobiskach górniczych (likwidacja i doszczelnianie zrobów, konsolidacja gruzowiska zawałowego),
- rekultywacja terenów zdegradowanych (wypełnianie odkrywek i zapadlisk),
- wspólne składowanie z odpadami gruboziarnistymi.

Mniej znane są możliwości wykorzystywania gęstych zawiesin popiołowo-wodnych do sporządzania warstw izolacyjnych powierzchniowych.

Warstwa izolacyjna powierzchniowa wykonana na zwałowiskach odpadów (rys. 9) powinna spełniać trzy funkcje:

- zabezpieczać bryłę składowiska przed wnikaniem wód opadowych,
- umożliwiać ujmowanie wód opadowych (tzw. spływu powierzchniowego) i odprowadzanie ich poza obręb zwałowiska,
- wyeliminować pylenie zwałowiska.



Rys. 9. Warstwa izolacyjna na powierzchni zwałowiska odpadów

Fig. 9. Isolating layer on surface of storage yard of wastes

Właściwości warstwy uszczelniającej zależą przede wszystkim od:

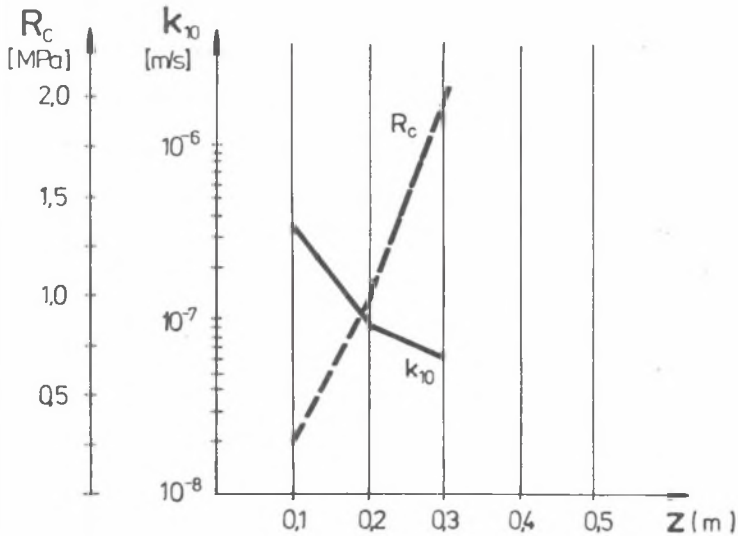
- własności stosowanych popiołów lotnych,
- grubości warstwy,
- sposobu formowania warstwy.

Warstwa uszczelniająca powinna być wykonana z wykorzystaniem popiołów lotnych o wyróżniającej się zdolności wiązania, w szczególności zawierających produkty procesu suchego odsiarczania spalin kotłowych.

Aby należycie zabezpieczyć zwałowisko przed wnikaniem wód opadowych, grubość warstwy izolacyjnej powinna wynosić ok. 0,6 m, co zapewni jej należyłą odporność na niskie temperatury otoczenia.

Na rysunku 10 zaprezentowano wpływ głębokości zalegania zestalonego złoża zawiesziny sporządzonej z popiołów typu B na wytrzymałość na ścislenie i współczynnik filtracji zestalonego złoża. Parametry te są zdecydowanie korzystniejsze w miarę wzrostu głębokości zalegania.

Warstwa izolacyjna powinna być formowana z kolejno wylewanych i sezonowanych przez okres co najmniej 2 – 3 tygodni warstw o grubościach 15 – 25 cm. Warstwy zestalone położone głębiej będą zasilane wodą pochodzącą z warstw płynnych, co spowoduje ich przyspieszone doszczelnianie się wskutek kolmatacji. Dla ilustracji tych stwierdzeń na rys. 11 przedstawiono wpływ czasu ekspozycji próbek na wartość współczynnika filtracji  $k_{10}$ , który zdecydowanie zmniejsza się w czasie.



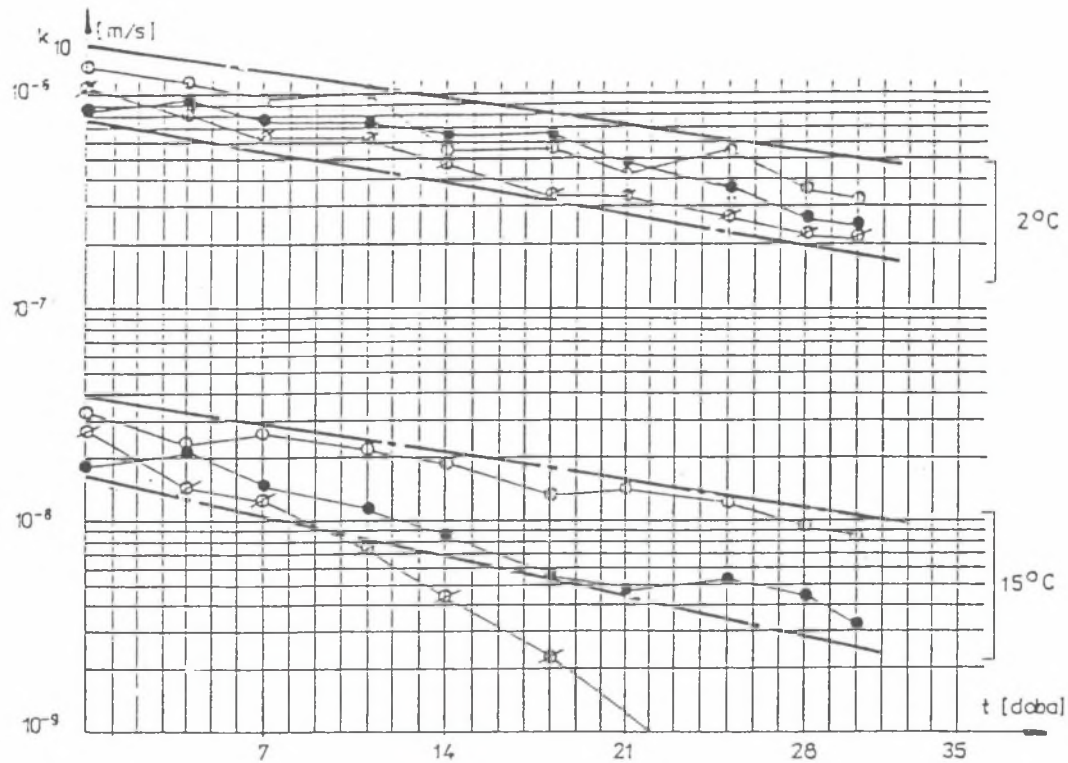
Rys. 10. Zależność wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  oraz współczynnika filtracji  $k_{10}$  od głębokości położenia zestalonej warstwy  $z$

Fig. 10. The dependences of the compressive strength  $R_c$  and the permeability coefficient  $k_{10}$  versus depth  $z$

Można więc oczekiwać, że warstwa zestalonej zawiesiny popiołowo-wodnej stanowić będzie skuteczne zabezpieczenie przed wnikaniem wód opadowych w głąb zwałowiska odpadów.

Warstwa izolacyjna umożliwi przejmowanie wód opadowych (spływu powierzchniowego) z terenu zwałowiska. Ponieważ kontakt tych wód z warstwą będzie krótkotrwały, przeto nie ulegną one zanieczyszczeniu i będą mogły być skierowane do ścieków naturalnych.

Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że zestalone złoża popiołowo-wodne są niepyłne i ulegają erozji w niewielkim stopniu.



Rys. 11. Wpływ czasu pomiaru na współczynnik wodoprzepuszczalności  $k_{10}$  zestalonej masy (popioły: B, stosunek masowy  $k_m = 2$ , okres sezonowania: 6 tygodni, temperatura sezonowania: 2 i  $15^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 11. Effect of time of exposition  $t$  on the permeability coefficient  $k_{10}$  of the solidified mass (flyash: B, mass ratio  $k_m = 2$ , time of seasoning: 4 weeks, temperature: 2 and  $15^{\circ}\text{C}$ )

## Literatura

1. Rokita J., Kmiecik J., Tomaszewski Sł.: Kompleksowa technologia odprowadzania i składowania popiołów lotnych i żużli w postaci gęstej zawiesiny w wodzie, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka*, z. 100, Gliwice 1987.
2. Rokita J., Tomaszewski Sł.: A new technology of hydraulic transport and storage of flyash and energetic slag in the form of a mixture with high percentage of the solid phase. 11 th International Conference HYDRO-TRANSPORT11, Stratford upon Avon 1989.
3. Rokita J.: The production of dense suspensions of preassumed compositions of flyash in water in a programmable process. *Zeszyty Naukowe AR nr 176, Melioracja XXXI, Wrocław 1988.*
4. Rokita J., Skrzypek L.: Nadzór nad wdrażaniem i rozruchem linii technologicznej oraz składowiska w Groszowicach w technologii emulgatu. (Sprawozdanie niepublikowane), Opole 1994.
5. Opisy patentowe polskie: 151528, 151529, 161112, 166310, 166300
6. Dębiec J., Rokita J.: A multistage centrifugal impeller pumps, *Polish Technical Review*, nr 23, 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. Ludwik Cwynar

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

## Abstract

A new technology of hydraulic transport and storage of fly-ash in form of a thick suspension has been briefly discussed. The properties of these suspensions are also discussed. It has been shown that the properties of such a suspension are dependent in a decisive way on the volumetric concentration of the fly-ashes in water. An idea of an installation for the production of such a suspension has been discussed and its performance has been analyzed. The changes of the cv value in the course of operation of the installation have been evaluated. Advantages of the use of this method are shown and analyzed. Possibilities of using thick suspension are also presented.