

Anna Halicka
 Politechnika Lubelska

RUCH POMPOWANEJ MIESZANKI BETONOWEJ
 W PRZEWODZIE RURKOWYM

1. Wprowadzenie.

Transport pompowy mieszanki betonowej jest coraz częściej spotykany na budowach w kraju i za granicą. Powszechnie stosuje się pompy stacjonarne i przewoźne, które przetłaczają mieszankę betonową pod ciśnieniem, w celu ułożenia jej w deskowaniu.

Przetłaczanie mieszanki betonowej stało się też przedmiotem zainteresowania technologii prefabrykacji. Podejmowane są prace badawcze mające na celu wykorzystanie ciśnienia czynnego tłoczony mieszanki betonowej do tzw. ekstruzyjnego formowania prefabrykatów.

Pomimo powszechnego stosowania transportu pompowego mieszanki betonowej, praktyka w tej dziedzinie znacznie wyprzedziła teorię. Do chwili obecnej nie wyjaśniono jednoznacznie, jakie zjawiska zachodzą w rurociągu tłoczym.

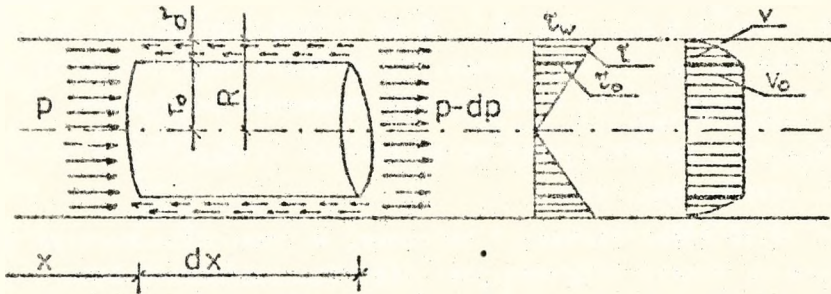
2. Stan rozpoznania zagadnienia przepływu mieszanki betonowej w przewodzie rurkowym.

Powszechnie przyjmuje się, że zjawiska zachodzące podczas transportu mieszanki betonowej można rozpatrywać jako procesy płynięcia nieściśliwego, lepko-plastycznego materiału opisywanego równaniem Bingham'a:

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \frac{dv}{dr} \quad (1)$$

w którym poszczególne symbole oznaczają: τ - naprężenie ścinające w odległości r od osi rurociągu, τ_0 - granica ścinania ciała Bingham'a, η - jego lepkość, $\frac{dv}{dr}$ - gradient prędkości wzdłuż promienia rurociągu.

Model ten jest opisem ciała, które przemieszcza się wykształcając rdzeń poruszający się ze stałą prędkością V_0 oraz warstwę rozmytą wokół rdzenia poruszającą się z prędkością zmieniającą się od V_0 do zera tuż przy ścianie (rys.1.).



Rys.1. Model i parametry ruchu mieszanki betonowej tłoczonej w przewodzie rurociągu o promieniu R :

r_0 - promień rdzenia, δ - grubość warstwy rozmytej, τ - naprężenia ścinające, τ_0 - graniczne naprężenie ścinające, v - prędkość przepływu mieszanki, v_0 - prędkość przepływu rdzenia, x - odległość rozpatrywanego przekroju rurociągu od pompy, p - ciśnienie panujące w rozpatrywanym przekroju rurociągu, dp - strata ciśnienia na odcinku dx .

Opory ruchu przejawiające się stratą ciśnienia na długości rurociągu wynikają według tego modelu ze ścinania w warstwie rozmytej (pokonanie granicy ścinania i lepkości). Wielkość tych oporów wyznacza się z równania:

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)^4 - 32 \cdot \left(-\frac{dp}{dx}\right)^3 \left(\frac{v_0^2}{D^2} + \frac{1}{6} \cdot \frac{\tau_0}{D}\right) + \frac{256}{5} \frac{\tau_0^4}{D^4} = 0 \quad /2/$$

Niektórzy badacze zwracają również uwagę na fakt występowania w praktyce tarcia między mieszanką betonową a materiałem przewodu, czego dowodem może być znany fakt zniszczenia przewodu tłocznego podczas przetłaczania mieszanki na kruszywie kwarcowym. Analizując ilościowo zjawisko w pracy [3] dokonano próby oszacowania wielkości naprężeń wynikających z tarcia, które określono przemieszczając w rurze słup mieszanki betonowej o długości 30 - 70 cm umieszczony między dwoma tłokami. Wydaje się jednak, że zachodzą tu inne zjawiska, a mianowicie tarcie w klasycznym znaczeniu tego słowa.

3. Próba kompleksowego opisu zjawisk występujących podczas ruchu mieszanki.

Opis ruchu mieszanki betonowej w przewodzie rurowym za pomocą modelu Binghamana jest niewystarczający. Z literatury wiadomo, że w rdzeniu grupują się większe ziarna kruszywa, zaś warstwa rozmyta składa się głównie z zaprawy a nawet zaczynu. Przemieszczająca się w kierunku rdzenia ziarna muszą pokonać dodatkowo opór trąc o siebie wzajemnie. Również między stykającymi się ze sobą ziarnami podczas ścinania w warstwie rozmytej występuje tarcie wewnętrzne.

Efekt ten proponuję uwzględnić korzystając z modelu Bleszczyka [1], rozszerzając równanie Binghamana:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_{ef} + \frac{dv}{dr}, \quad /3/$$

gdzie μ jest współczynnikiem tarcia ziarn kruszywa o siebie ($\mu \approx 0,38$), σ_{ef} jest wartością efektywnego nacisku jednego ziarna o drugie.

Naprężenia efektywne σ_{ef} opisuje wg [1] wzór:

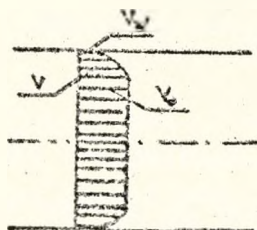
$$\sigma_{ef} = p_0 - m \cdot \sigma_0, \quad /4/$$

w którym p_0 jest ciśnieniem panującym w danym obszarze, σ_0 - ciśnieniem porowym wody i powietrza, m - wielkością wyrażającą procentowy udział powierzchni wody i powietrza w danej płaszczyźnie ścięcia.

Drugi efekt - tarcie o ściankę przewodu proponuję uwzględniać jako warunek brzegowy całkowania wykresu prędkości, przyjmując, że prędkość v_w przy ścianie nie jest jak w idealnym modelu Bingham'a równa zero (rys.2), a związana jest z naprężeniami przy ścianie wzorem:

$$v_w = \frac{1}{\beta} \cdot \tau_w$$

15/



Rys.2 Rzeczywisty wykres prędkości przepływu mieszanki betonowej w przewodzie rurowym.

Współczynnik β jest współczynnikiem efektywnego poślizgu i według [4] może w zależności od własności poruszającego się ciała i materiału rurociągu przyjmować wartości od $-\infty$ do $+\infty$. Wydaje się, że wartość współczynnika β jest zależna od wielkości adhezji mieszanki do materiału rurociągu oraz tarcia składników mieszanki o materiał rurociągu. Naprężenia tarcia określić można w zależności od współczynnika tarcia i ciśnienia panującego w rurociągu.

Uwzględniając powyższe efekty, przy założeniu, że w przekroju rurowym odległym o x od jego początku panuje ciśnienie $p_0 + p(x)$, ciśnienie porowe jest częścią ciśnienia $p(x)$ przjmowaną przez wodę i powietrze według uproszczonej zależności $\sigma_0 = k \cdot p(x)$, zaś m jest równa porowatości mieszanki, otrzymujemy równanie ciśnienia $p(x)$ na długości rurociągu o średnicy D wyrażone w postaci równania różniczkowego:

$$a \left(\frac{dp}{dx} \right)^4 + b \left(\frac{dp}{dx} \right)^3 + c \left(\frac{dp}{dx} \right)^2 \cdot p(x) + d \left[\tau_0 + \sigma \cdot p(x) \right]^4 = 0$$

Wartości współczynników wynoszą:

$$a = 1 + \frac{8 \cdot \eta}{D \cdot \beta}$$

$$b = -32 \left(-\frac{v' \beta}{D} + \frac{\tau_0}{6D} \right),$$

$$c = \frac{-32 \cdot \mu \cdot (1 - k \cdot m)}{6D},$$

$$d = \frac{-256}{3} - \frac{1}{D},$$

$$e = \mu (1 - m \cdot k).$$

4. Uwagi końcowe.

Zaproponowany model przepływu mieszanki betonowej przez przewód rurowy uwzględnia efekty tarcia wewnętrznego i efekty przysięienne. Na obecnym etapie brak jest jednak jawnego przedstawienia funkcji $p(x)$. Następnym etapem pracy będzie więc rozwiązanie równania różniczkowego w celu jawnego określenia wielkości oporów ruchu $-\frac{dP}{dx}$. Ważnym zagadnieniem wymagającym również rozwiązania jest oszacowanie wartości współczynnika β .

5. Literatura.

- [1] Bleszczik N.P.: Strukturalno-mechaniczskie svojstwa i reologia betonowej mieszki i priesswakuumbetona. Mińsk 1977.
- [2] Halicka A., Król M.: Czynniki wpływające na wielkość oporów ruchu pompowanej mieszki betonowej. Przegląd Budowlany nr 10/1990.
- [3] Małasiewicz A.: Wybrane parametry pompowalności mieszki betonowej określone laboratoryjnie. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 64. Seria Konferencje nr 20. Wrocław 1991.
- [4] Pohorecki R., Wroński S.: Kinematyka i termodynamika procesów inżynierii chemicznej. Warszawa 1977.