

MAGDALENA BRACKA
GABRIEL FILIPCZAK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wykorzystanie zjawiska aeracji do wspomagania przepływu zawiesin wysokoskoncentrowanych

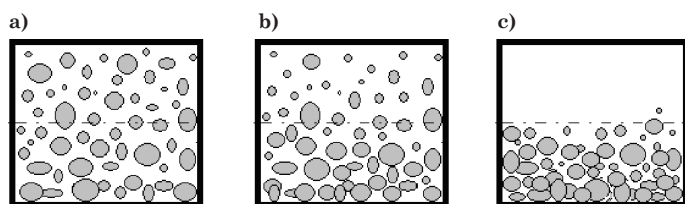
Wprowadzenie

Przepływ wysokoskoncentrowanych zawiesin przez rurociągi występuje w wielu dziedzinach przemysłu. Przykładem może być przetłaczanie szlamów i mułów węglowych, transport stężonych pulp cukrowniczych i papierniczych, przesyłanie rurociągami osadów ściekowych itp. Niezależnie od licznie podejmowanych dotąd prób określenia form i charakteru przetłaczania takich zawiesin, zwłaszcza pod kątem oceny możliwości ich płynnego przepływu [1–4], problem ten wciąż nie jest dostatecznie poznany i opisany.

Zjawisko transportu zawiesin wysokoskoncentrowanych można podzielić ogólnie na trzy podstawowe schematy (Rys. 1):

- pseudo-homogeniczny (lub homogeniczny), występujący gdy cząstki ciała stałego są rozmieszczone w miarę równomiernie w całym przekroju kanału przepływowego (Rys. 1a),
- heterogeniczny, kiedy to wskutek dominacji zjawiska sedymentacji zwiększa się koncentracja ciała stałego w części dolnej przekroju przepływu, co prowadzi do częściowego zanikania ruchu zawiesiny w tym obszarze (Rys. 1b),
- rozwarstwiony, z tzw. uśpioną warstwą osadu, obserwowany gdy strumień jest zbyt mały, aby utrzymać cząstki ciała stałego w jakimkolwiek zawieszeniu (Rys. 1c), czego skutkiem jest całkowite zanikanie przepływu zawiesiny w dolnej warstwie przyściennej.

Dla stężonych zawiesin, dla których stopień upakowania cząstek ciała stałego jest stosunkowo bardzo duży, każdy z tych schematów prowadzi do sytuacji, że transport rurociągami tego typu zawiesin odbywa bardziej na zasadzie przepychania niż przepływu. Wyjściem z tej niekorzystnej sytuacji jest bądź dodatkowe rozcieńczenie zawiesiny, bądź zastosowanie jako czynnika pośredniczącego gazu (np. powietrza), przyczyniającego się do rozpulchniania złoża zawiesiny lub zmiany jego struktury. W pierwszym przypadku prowadzi to wprost do transportu hydraulicznego, w drugim natomiast – do szczególnego wspomaganie ruchu zawiesiny w kanale na skutek zmiany formy przepływu na trójfazowy ciecz-ciało stałe-gaz. W zastosowaniu praktycznym, transport hydrau-



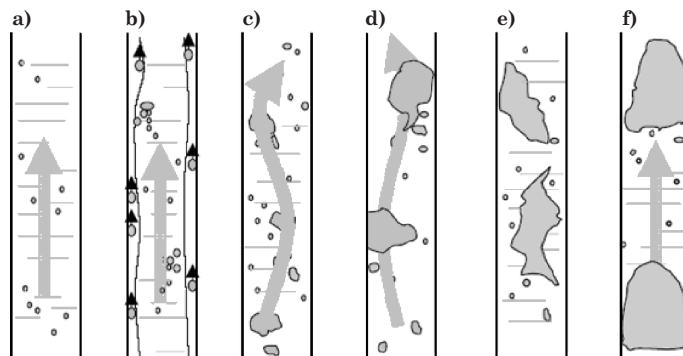
Rys. 1. Struktury zawiesiny wysokoskoncentrowanej: a) pseudo-homogeniczna, b) heterogeniczna, c) rozwarstwiona

liczny jest w takich przypadkach bardzo ograniczony, a wręcz niepożądany, z uwagi na niekorzystne zwiększenie objętości szlamów i mułów, otrzymywanych niejednokrotnie po uprzednich już procesach ich odwadniania (sedymentacja, filtracja, flotacja itp.). Znacznie korzystniejszym, zarówno z procesowego jak i technologicznego punktu widzenia, jest upłynnienie tego typu układów na drodze ich aeracji, a jednocześnie stworzenie w ten sposób warunków dla współprądowego przepływu mieszaniny wielofazowej szlam-powietrze. Dodatkowym uzasadnieniem dla stosowania tego sposobu jest to, że szlamy i muły, jako zawiesiny wysokoskoncentrowane, w swej wyjściowej postaci noszą najczęściej cechy płynu nie-Newtonowskiego rozrzedzanego ścinaniem.

W pracy niniejszej wskazuje się na taką możliwość, szczególnie w aspekcie oceny możliwości wykorzystania zjawiska aeracji do wspomaganie transportu szlamów i mułów węglowych. Ocenę warunków hydrodynamicznych odniesiono do zawiesin o początkowym stopniu zawadnienia 35% mas., poddawanych aeracji w kolumnie pionowej o średnicy wewnętrznej 54 mm.

Analiza warunków procesowych

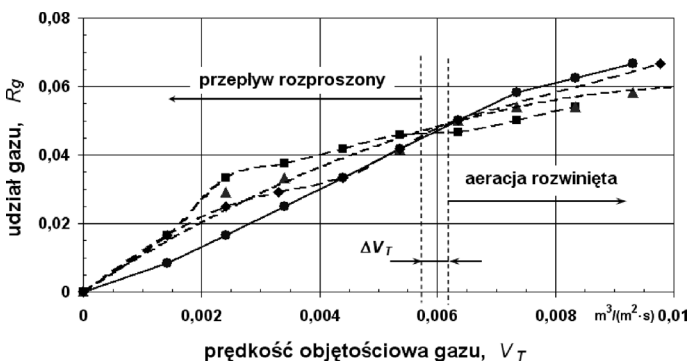
Aeracja stężonej zawiesiny skutkuje tworzeniem się pewnych charakterystycznych dla takiego procesu struktur. Autorzy pracy [4], badając przepływ pulpy papierniczej aerowanej w pionowym rurociągu, wyróżniają sześć takich struktur (Rys. 2). Przy małym strumieniu fazy gazowej następuje jedynie rozproszenie pęcherzy tej fazy wzdłuż przekroju przepływu (Rys. 2a). Wzrost strumienia gazu sprzyja rozwojowi struktur (poprzez liczne stany przejściowe – Rys. 2b–e), aż do ukształtowanej ich postaci, jak np. struktury korkowej (Rys. 2f). Z powodu turbulencji wirowych, jakie pojawiają się praktycznie we wszystkich rozwiniętych strukturach, ich tworzeniu się towarzyszą liczne zaburzenia i fazy przejściowe



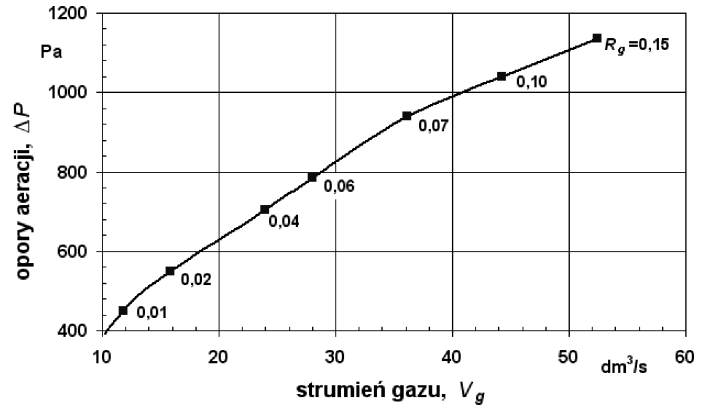
Rys. 2. Struktury przepływu dwufazowego gaz-zawiesina, wg [3]: a) przepływ rozproszony fazy gazowej; b) przepływ rozwarstwiony (kanalizowanie); c–e) przejściowe przepływy rzutowe i turbulento-wirowe; f) przepływ korkowy

we, zwłaszcza w warstwie przyściennej. Prowadzi to w dużej mierze do stochastycznego charakteru zjawisk przy takim przepływie.

Badania własne wykazały, że w miarę zwiększającego się udziału objętościowego powietrza w zawieszinie miału węglowego, woda w coraz to mniejszym stopniu obmywa powierzchnię wewnętrzną kanału przepływowego. Powodem tego jest kanalizowanie gazem złoża zawiesziny w obszarze przyściennym, znacznie większe niż ma to miejsce w strefie wewnętrznej. Ocena hydrodynamicznych warunków aeracji wykazuje przy tym (Rys. 3), że uzależniony od strumienia gazu udział tej fazy w złożu zależy od stopnia zawodnienia zawiesziny. Odniesione do węglowych szlamów i mułów wyniki badań wykazują, że już z niewielki (kilkuprocentowy) stopień rozrzedzenia zawiesziny wpływa dość istotnie na jakość warunków aeracji. Analizując otrzymane wyniki stwierdzono, że istnieje, dość wąski zresztą, zakres prędkości objętościowej gazu (ΔV_T), rozgraniczający stan aeracji rozwiniętej oraz jej braku. Poniżej tego zakresu, a ściślej pewnej granicznej prędkości objętościowej gazu, obserwuje się co najwyżej zjawisko kanalizowania złoża, albo wprost jego przepychanie, co dla zagęszczonych szlamów i mułów jest dość charakterystycznym zjawiskiem. Częstokroć towarzyszy temu rzutowy charakter aeracji, prowadzący do silnego rozproszenia fazy gazowej. Z kolei wzrost strumienia gazu powyżej tej granicznej wartości prędkości gazu, przyczynia się do przemieszczania się zawiesziny wzdłuż rurociągu. Wówczas też obserwuje się w miarę rozwiniętą aerację złoża a nawet jego upłynnienie. Ma to z praktycznego punktu widzenia dość istotne znaczenie, gdyż stworzenie możliwości upłynnienia stężonej zawiesziny pociąga za sobą możliwość utrzymania tego stanu (upłynnionej struktury) także na większym odcinku rurociągu przepływowego. Stwierdzono przy tym, że rozluźnienie warstwy złoża wymaga na ogół tym większego udziału gazu, im mniejszy stopień zawodnienia szlamów i mułów, choć dla badanych ich rodzajów (węglowe szlamy z urobku i po flotacji) nie jest to regułą ścisłą, zwłaszcza po uprzednim upłynnieniu złoża. Nie mniej jednak, a potwierdzają to reologiczne badania tego typu układów [5], jest to zgodne z oczekiwaniami w zakresie



Rys. 3. Warunki aeracji szlamu węglowego, przy różnym stopniu zawodnienia: \blacklozenge – 37, \blacksquare – 41, \blacktriangle – 45% obj., \bullet – woda



Rys. 4. Opory aeracji szlamu węglowego (stopień zawodnienia 35% obj.)

aeracji szlamów i mułów, z uwagi na znacznie większą względem wody ich gęstość, a także spoiwą strukturę.

Wyniki badań wskazują również, że w zakresie burzliwego przepływu gazu jednostkowe opory aeracji zmieniają się w miarę proporcjonalnie, wraz ze zmianą w złożu udziału objętościowego gazu (R_g) (Rys. 4). Przy wspomaganiu w ten sposób przepływu zawiesziny, jak należy sądzić, może się to wiązać z proporcjonalną w przybliżeniu zmianą gradientu ciśnienia względem prędkości objętościowej gazu. Dalsze w tym względzie korzyści pojawiają się, jeżeli uwzględnić wspomaganie aeracji szlamów dodatkami środków powierzchniowo czynnych. Prowadzone w tym kierunku wcześniejsze badania (dla tych samych rodzajów szlamów) pozwoliły stwierdzić [1], że stan aeracji złoża osiąga się wówczas dużo szybciej, a tworzące się z dodatkami takich środków struktury są dużo bardziej stabilne.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły poznać i scharakteryzować warunki hydrodynamiczne, jakie wynikają z wykorzystania zjawiska aeracji do wspomaganie przepływu zawieszin wysokoskoncentrowanych. Stwierdzono, że warunki te dość istotnie uzależnione są od rodzaju zawiesziny oraz stopnia jej zawodnienia i konsystencji. Wykazano, że na cechy upłynnienia szlamów i mułów węglowych istotny wpływ mają zarówno charakter jak i forma tworzących się struktur układu zawieszina-gaz.

LITERATURA

1. G. Filipczak, A. Tukiendorf: Inż. Ap. Chem. 45, nr 6s, 70 (2006).
2. A. Tukiendorf: Aeracja szlamów i mułów, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Opolska 2005.
3. M. Dziubiński, H. Fidos: Energooszczędne technologie transportu stężonych zawieszin w rurociągach, Przem. Chem. 82, nr 8-9, 1190 (2003).
4. T. Xie, S. M. Ghiasian, S. Karrila, T. McDonough: Chem. Eng. Science 58, 1417 (2003).
5. P. Dobrzański: Ocena reologicznych charakterystyk płynięcia szlamów i mułów, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Opolska 2007.