

Prof. dr hab. inż. Franciszek Plewa
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej

Gliwice, 12.05.2021 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Beaty Jaworskiej – Józwiak

p.t. Zwiększenie efektywności procesu produkcji wapna poprzez zastosowanie deflokulanta w procesie transportu hydromieszanki

**Recenzja została sporządzona na zlecenie DYREKTORA NAUKOWEGO
DYSCYPLINY INŻYNIERIA MECHANICZNA POLITECHNIKI
ŚWIĘTOKRZYSKIEJ dra hab. inż. Stanisława Błasiak, prof. PŚk z dnia
15.03.2021 r.**

1. Podstawa opracowania recenzji

Celem recenzji jest stwierdzenie, czy przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymogi określone artykułem 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017, poz. 1789 z późn. zm.).

W recenzji przyjęto następujące kryteria oceny: uzasadnienie wyboru tematyki i problematyki badawczej, poprawnie formułowanie celów i hipotezy, ocena struktury rozprawy i jej zawartości merytorycznej z uwagami merytorycznymi i formalnymi wynikającymi z wyżej sformułowanych kryteriów oraz ostateczną konkluzję.

2. Wybór tematu i określenie problematyki badawczej

Oceniając trafność wyboru tematu dysertacji należy podkreślić, że Doktorantka dostrzegła istotny problem badawczy, który warto analizować, zarówno w wymiarze teoretycznym, jak i empirycznym.

Tematyka badawcza przepływów dwufazowych prezentowana m.in. w rozprawie doktorskiej ma istotne znaczenie praktyczne, szczególnie w branży surowcowej, jest stale rozwijana i jest przedmiotem wielu dyskusji naukowych.

3. Struktura formalna dysertacji

Strukturę pracy stanowią: rozdziały merytoryczne wraz z podsumowaniem, wnioskami końcowymi, literaturą i spisem najważniejszych oznaczeń.

Recenzowana praca zawiera 181 stron, na które składają się:

- strona tytułowa
- 2 strony spisu treści (str. 10 i 11)
- 5 stron spisu oznaczeń (str. 11 do 15)
- 136 stron tekstu obejmującego 7 rozdziałów (str. 17-153)
- 7 stron literatury (str. 167-173)
- 11 stron załączników (str. 155-165)

4. Ocena zawartości merytorycznej wraz z uwagami merytorycznymi i formalnymi

Głównym problemem rozpatrywanym w pracy (celem pracy) jest rozwiązanie problemu zmniejszenia oporów przepływu hydromieszanki poprzez dodanie deflokulanta (dyspersanta) w postaci szkła wodnego i tzw. kaszki pohydratacyjnej, stanowiącej odpad po hydratacji wapna palonego. Dodatek tych substancji ma zapewnić znaczącą redukcję oporów przepływu hydromieszanki w wyniku rozbicia agregatów cząstek powodujących wzrost występujących w niej naprężeń stycznych. Z kolei zmniejszenie oporów przepływu hydromieszanki pozwolić ma na zwiększenie koncentracji części stałych w mieszaninie i/lub zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i wody w procesie hydrotransportu. Dodatek deflokulanta powoduje także zmniejszenie prędkości krytycznej przepływu i możliwość formowania się osadu dennego w rurociągu.

Hydromieszaniną będącą przedmiotem badań jest tzw. szlam popłuczkowy z procesu technologicznego produkcji wapna. Frakcję stałą stanowią drobne cząstki skały wapiennej zawierające wysoki udział węglanu wapnia. Koncentracja masowa hydromieszanki w instalacji przemysłowej wynosi około 21,3%, przy której gęstość mieszaniny wynosi 1140 kg/m³, a koncentracja objętościowa jest równa 10%. W materiale stałym dominuje frakcja pyłowa (2 – 50 μm) stanowiąca około 65% masy całego materiału, 32% stanowi frakcja piaskowa (w zakresie średnicy ziaren większych niż 50 do około 90 μm. Pozostałe 3% stanowi frakcja ilowa poniżej 2 μm.

Pod względem chemicznym fazę stałą stanowią tlenek wapnia CaO (73,6%) i tlenek krzemu SiO₂ (13,0%). Pozostałe składniki to tlenki magnezu, żelaza, glinu i siarki (w granicach do 1%) dla każdego z nich oraz 11% substancji niezidentyfikowanych.

Rurociąg transportowy posiada długość wynoszącą 632 m, średnicę 200 mm i jest poprowadzony po wzniosie, z wylotem położonym 15 m powyżej wylotu pompy wirowej Warman 43 AH.

Szlam popłuczkowy trafia do zbiornika sedymentacyjnego. W pracy nie odniesiono się w ogóle do zagadnienia sedymentacji szlamu w zbiorniku, bądź jego zestalania, ani też wpływu deflokulacji hydromieszanki na zmianę parametrów sedymentacyjnych czy przebiegu wiązania.

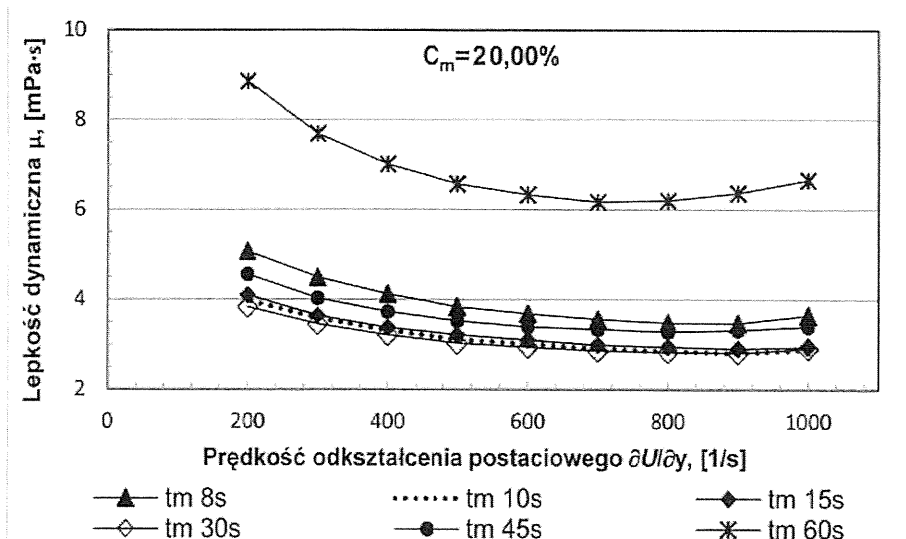
Szkló wodne sodowe powoduje spadek lepkości wody. Jest materiałem nietoksycznym, powszechnie stosowanym między innymi w procesach uzdatniania wody. Charakteryzuje się korzystnym stosunkiem efektywności użycia do ceny.

Kaszka wapienna jest odpadem z procesu gaszenia wapna. Zawiera cząsteczki niezgaszonego wapna oraz niewypalonego kamienia, które opadają na dno komory hydratacyjnej i są okresowo z niego odprowadzane. Zawiera frakcje ziarnowe do 1,8 mm przy średniej średnicy ziaren 240 μm . Pod względem chemicznym dominują tlenki wapnia i magnezu, stanowiące 71% masy odpadu.

W badaniach reologicznych mieszanin z dodatkiem deflokulanta zastosowano pięć receptur deflokulanta, tj. 100% szkła wodnego, 100% kaszki wapiennej, oraz mieszaniny obu składników w proporcji 1 : 1, 2 : 1 i 1 : 2.

Badaniami objęto 5 koncentracji hydromieszanki szlamu popłuczkowego w zakresie C_m 20,00%, 28,14%, 35,00%, 42,75% i 50,00%. Do każdej hydromieszanki dodawano flokulant o podanych recepturach w trzech dawkach procentowych wynoszących 0,1%, 0,3% i 0,5% w stosunku masy fazy stałej w mieszaninie. Wyniki pomiarów reologicznych porównano z wynikiem dla próby pobranej z instalacji przemysłowej ($C_m = 21,3\%$, bez dodatku deflokulanta).

W badaniach reologicznych stwierdzono istotną relację między przebiegami krzywych lepkości a czasem trwania wstępnego mieszania próbek. Najmniejszą lepkość mieszaniny wykazują mieszaniny po okresie mieszania równym 10 s, 15 s i 30 s, nieznacznie większą po 45 s i po 8 s oraz największą po 60 s mieszania. Ten pozornie niespójny przebieg zależności lepkości od czasu mieszania tłumaczyć można nałożeniem się dwóch procesów: rozpadem i wygładzaniem powierzchni większych ostrokrawędzistych ziaren materiału (na początku mieszania), co powoduje początkowy spadek lepkości oraz wzrost ilości frakcji pyłowej powodującej z kolei wzrost naprężeń stycznych w mieszaninie (w trakcie dłuższego mieszania). Dalsze badania prowadzono przy stałym czasie mieszania równym 10s.



Rys. 1. Wpływ czasu mieszania na lepkość hydromieszanki o koncentracji $C_m = 20\%$ (bez deflokulanta)

Następnie przeprowadzono badania oraz analizę statystyczną czynników wpływających na wartości naprężeń stycznych τ_1 w mieszaninie. Dla każdego wariantu składu deflokulanta (5 receptur) przeprowadzono po 27 pomiarów naprężenia stycznego dla trzech wartości prędkości obrotowej wiskozymetru dU/dy (200, 600, 1000 1/s), trzech koncentracji deflokulanta D_d (0,1%, 0,3% i 0,5%) oraz trzech koncentracji masowych hydromieszanki C_m (20%, 35% i 50%). Na podstawie analizy statystycznej wyników pomiarów reologicznych Autorka uzyskała równania, odrębne dla każdego rodzaju (receptury) deflokulanta. Przykładowo, dla deflokulanta zawierającego 50% szkła wodnego sodowego i 5% kaszki wapiennej równanie na naprężenia styczne przyjmuje postać:

$$\tau_1 = 23,247 - 1,64C_m - 6,675 \frac{dU}{dy} + 0,028C_m^2 + 0,081C_m D_d + 0,399C_m \frac{dU}{dy},$$

zaś dla deflokulanta zawierającego 2/3 szkła wodnego 1/3 kaszki wapiennej:

$$\tau_2 = -48,061 + 0,167C_m^2 + 1090,94D_d^2 - 25,322C_m D_d$$

Wątpliwości budzi fakt, że w powyższym przypadku na wielkość naprężenia stycznego brak jest wpływu prędkości ścinania. Innymi słowy, w przypadku tego deflokulanta reometr nie rejestrował zmian naprężenia stycznego przy zmianie prędkości obrotowej rotora. Ustalone na drodze regresji zależności charakteryzują się różną wartością błędów standardowych. Dla receptur deflokulanta (szkło wodne/kaszka wapienna 1/1, 1/2 i 1/0) błąd estymacji jest niewielki – od około 0,9 do 3,9. Natomiast w pozostałych dwóch przypadkach (proporcje 2/1 i 0/1) błędy są rażąco duże i wynoszą około 47 i 53.

Odnośnie tego faktu w pracy podaje się komentarz, że dodatek tego deflokulanta powoduje gwałtowny wzrost wartości naprężeń stycznych w całym zakresie prędkości odkształcenia, co oczywiście jest efektem przeciwnym do zamierzonego. Z kolei jednak wyniki pomiarów reologicznych próbek hydromieszaniny z dodatkiem deflokulanta w postaci 100% szkła wodnego, nie wykazują takich anomalii.

W podsumowaniu tej części badań stwierdzono, że mała dawka deflokulanta (0,1%) nie miała wpływu na obniżenie wartości naprężeń stycznych a nawet je zwiększała. Żadna z receptur deflokulanta nie miała wpływu na obniżenie wielkości naprężeń stycznych w hydromieszaniu o zawartości części stałych $C_m = 50\%$. Autorka w tym miejscu nie stawia pytania, czy przyczyną tego zjawiska mogła być zbyt niska koncentracja deflokulanta w mieszaninie, co nasuwa się jako intuicyjne wyjaśnienie.

Korzystny wpływ na obniżenie wartości naprężeń stycznych dla hydromieszanin o koncentracji wykazały deflokulanty o proporcji szkła wodnego do kaszki wapiennej 1 : 1, 1 : 2 i 0 : 1.

Dalsze, szczegółowe badania reologiczne mieszanin w zakresie prędkości ścinania do 1000 1/s wykazały, że hydromieszanina mułu popłuczkowego spełnia kryteria modelu Herschela-Bulkleya, posiadając granicę płynięcia oraz wykazując lepkość malejącą ze wzrostem prędkości ścinania (mieszanina rozrzedzana ścinaniem). Przykładowo, hydromieszaninę z instalacji przemysłowej opisuje zależność:

$$\tau = 0,068816 + 0,092132 \frac{dU^{0,48207}}{dy}$$

Z dokładnością określoną za pomocą współczynnika determinacji $R^2 = 92\%$. Nawiązując do wyników badań reologicznych prowadzonych w Katedrze Eksploatacji Złóż Wydziału GIBiAU, nie jest to estymacja szczególnie dokładna. Przy $R^2 = 92\%$ krzywa funkcji regresji już dosyć wyraźnie odbiega od krzywej doświadczalnej.

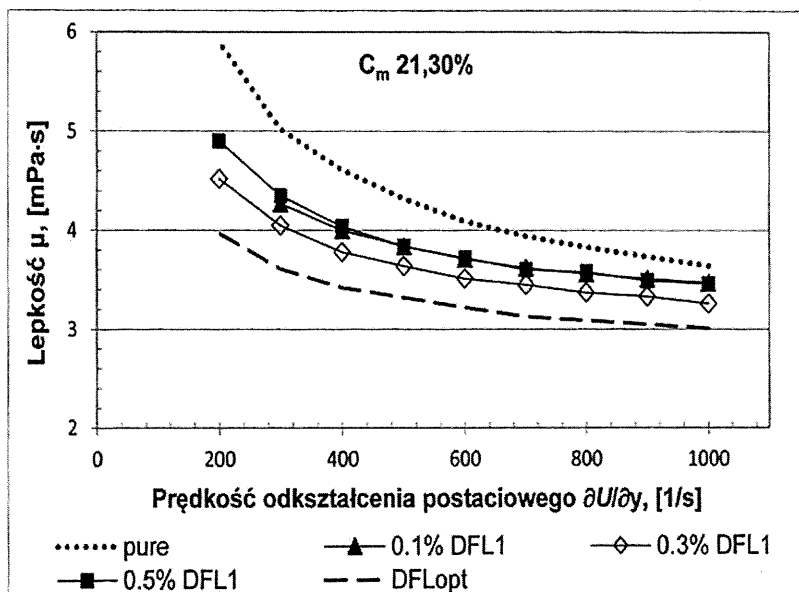
Następnie poddano badaniom reologicznym próbki hydromieszaniny z instalacji przemysłowej z dodatkiem poszczególnych wytypowanych wcześniej deflokulantów w ilości 0,1%, 0,3%, 0,5% oraz w ilości optymalnej, tj. zapewniającej największy spadek lepkości hydromieszaniny. Przykład krzywych lepkości uzyskanych dla deflokulanta złożonego po połowie ze szkła wodnego i z kaszki wapiennej przedstawiono na rys. 2.

Analizując przebieg zależności na rys. 2 można stwierdzić, że nie ma istotnego znaczenia jaki będzie dodatek procentowy deflokulanta z przedziału wartości od 0,1% do 0,5%. Co ciekawe, najlepsze rezultaty w tym przedziale stężenia zapewnia dodatek 0,3%, co wskazuje na brak jednoznacznej zależności między koncentracją deflokulanta w mieszaninie a spadkiem jej lepkości. Podobne zależności występują dla pozostałych receptur deflokulanta, przy czym w każdym rozpatrzonym przypadku najmniejszy

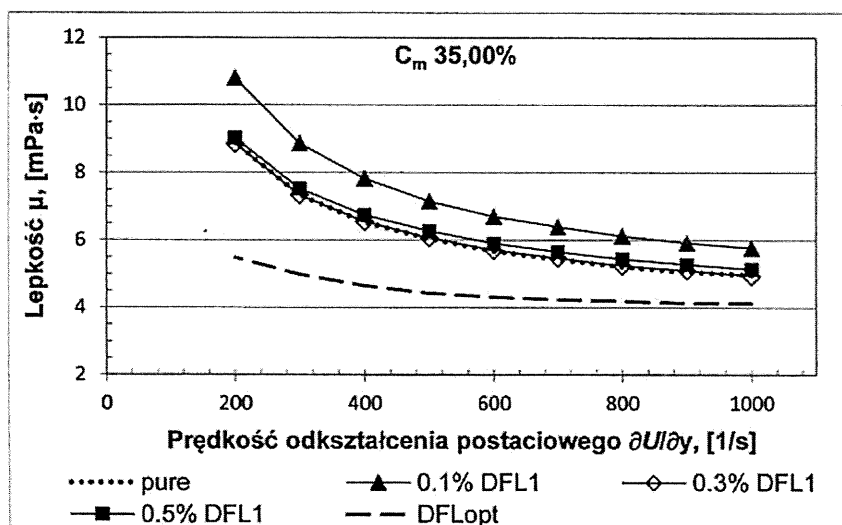
wpływ na spadek lepkości hydromieszanki ma największy (0,5%) dodatek deflokulanta.

Z kolei w przypadku hydromieszanki o koncentracji masowej $C_m = 28,14\%$ dla wszystkich receptur deflokulanta spadki lepkości układają się zgodnie z jego procentowym udziałem w hydromieszance.

Zupełnie odmiennie omawiane zależności przedstawiają się dla mieszanki o koncentracji masowej $C_m = 35,00\%$ (rys. 3).



Rys. 2. Zależność lepkości od prędkości ścinania dla hydromieszanki z instalacji przemysłowej o koncentracji masowej $C_m = 21,30\%$ z dodatkiem deflokulanta zawierającego 50% szkła wodnego sodowego i 50% kaszki wapiennej



Rys. 3. Zależność lepkości od prędkości ścinania dla hydromieszanki z instalacji przemysłowej o koncentracji masowej $C_m = 35,00\%$ z dodatkiem deflokulanta zawierającego 50% szkła wodnego sodowego i 50% kaszki wapiennej

W tym przypadku największą lepkość hydromieszanina uzyskuje się przy dodatku 0,1% deflokulanta zawierającego 50% szkła wodnego i 50% kaszki wapiennej, natomiast zarówno hydromieszanina bez dodatku deflokulanta, jak i z dodatkiem 0,3% i 0,5% tego deflokulanta wykazują identyczną zależność lepkości od prędkości ścinania.

Przełóżając poszczególne wyniki pomiarów dla różnych koncentracji masowych hydromieszaniny i różnych receptur deflokulanta dostrzec można brak zgodności (jednoznacznej zależności) między lepkością hydromieszaniny a udziałem procentowym danego rodzaju deflokulanta czy też wielkością udziału szkła wodnego w deflokulancie. Uzyskane wyniki praktycznie uniemożliwiają jakąkolwiek generalizację, co jest o tyle dziwne, że w badaniach biorą praktycznie udział trzy substancje (faza stała mułu popłuczkowego, szkło wodne sodowe i kaszka wapienne) w dość wąskim zakresie zmienności zawartości tych składników w mieszaninie.

Jako optymalną dawkę deflokulanta przyjmowano rodzaj (skład) deflokulanta i jego dodatek procentowy do hydromieszaniny, które dla danej koncentracji masowej mieszaniny zapewniały największy spadek lepkości. Również w tym aspekcie powtórzyć można stwierdzenie o braku jednoznaczności uzyskanych wyników, gdyż dla pięciu wybranych koncentracji masowych mieszaniny jako optymalne wskazano trzy różne warianty receptury i dodatku procentowego deflokulanta, co przedstawiono w tabeli 1

Tabela 1. Zestawienie optymalnych parametrów deflokulanta dla hydromieszanin o różnej koncentracji części stałych

Koncentracja hydromieszaniny C_m [%]	Dodatek procentowy (masowy) deflokulanta [%]	Masowy udział szkła wodnego w deflokulancie [%]	Masowy udział kaszki wapiennej w deflokulancie [%]
21,30	0,1	100	0
28,14	0,5	50	50
35,00	0,5	67	33
42,75	0,5	50	50
50,00	0,5	67	33

Dane przedstawione w tabeli 1 stanowią główny wniosek autorki z przeprowadzonych badań. W całej pracy brak jest próby wyjaśnienia zaobserwowanych niejednoznaczności, poza ogólnikowym stwierdzeniem mówiącym że „szkło wodne jest składnikiem o nieprzewidywalnych właściwościach.”

W następnej części Autorka zajęła się określaniem oporów przepływu hydromieszanki i wpływu dodatku deflokulanta na ich zmniejszenie i ograniczenie zużycia energii.

Straty energetyczne przepływu w rurociągu przemysłowym określano na podstawie równania Bernoulli'ego z wykorzystaniem równania Darcy-Weisbacha oraz zależności Blasiusa (która obowiązuje w zakresie Re od 3000 do 100000) na związek między liczbą Reynoldsa dla przepływu turbulentnego a współczynnikiem oporów liniowych λ . Pewne zastrzeżenia metodologiczne może budzić wprowadzenie zamiast stałej średniej prędkości przepływu w rurociągu (w którym występować ma przepływ turbulentny) rozkładu prędkości w profilu według przyjętego gradientu prędkości ścinania, co ma miejsce gdy przepływ jest laminarny. W rezultacie, w pracy przyjmuje się zamiast prędkości przepływu wynikających z objętościowego natężenia przepływu w instalacji przemysłowej, uznaniowo wybrane gradienty ścinania i odpowiadające im wartości lepkości pochodzące z pomiarów reologicznych. W pracy nie wyodrębniono wariantów obliczeniowych dla przepływu turbulentnego i laminarnego, pomimo iż w przedstawionych wynikach występują wartości Re odpowiadające zarówno strefie laminarnej, jak i przejściowej oraz turbulentnej. Wartości liczby Reynolds i rodzaj przepływu panujący w rurociągu przy przepływie hydromieszanki w różnych wariantach natężenia przepływu, koncentracji masowej oraz rodzaju i ilości dodawanego deflokulanta najwyraźniej pozostają poza zainteresowaniem Autorki, gdyż wartości Re pojawiają się w jednej tylko tabeli (tabela 5.5, str. 136) i pozostają bez komentarza, pomimo że obejmują zakres wartości od około 1700 do 23000.

W rozdziale 6 dokonano obliczeń energochłonności hydrotransportu mieszaniny mułów popłuczkowych i wpływu zastosowania deflokulanta na jego obniżenia. Przy zastosowaniu podstawowych wzorów określających wymaganą moc napędu pompy i koszt zużytej energii elektrycznej. Pomijając wyliczenia kwotowe, które po roku 2020 mogą być nieaktualne, w pracy wykazano, że moc silnika pompy zasilającej układ hydrotransportu wynosi 8,83 kW (brak deflokulanta, $C_m = 21,3\%$, wydajność transportu suchej masy 27 Mg/godz, natomiast po dodaniu deflokulanta i zwiększeniu koncentracji masowej do 50%, moc napędu obniża się do około 3 kW. Zarazem moc napędu spada proporcjonalnie do wzrostu koncentracji i dodatku optymalnej dla danej koncentracji mieszaniny ilości i rodzaju deflokulanta, co wynika z faktu stałej wydajności hydrotransportu (przy większej koncentracji masowej obniżona zostaje prędkość przepływu dla zachowania stałego natężenia przepływu części stałych). W zakresie kosztu energii elektrycznej daje to spadek kosztu z około 53 tys. zł do 18 tys. zł, czyli o 35 tys. zł.

O wiele istotniejsze dla poprawy efektywności ekonomicznej całego procesu produkcyjnego jest zmniejszenie zużycia wody wynikające z możliwości podwyższenia koncentracji części stałych w mieszaninie z aktualnych 21,30% do maksymalnie 50%.

Według analizy przedstawionej w pracy, w procesie wykorzystywana jest woda wodociągowa, bez odzysku wody ze zbiornika osadowego (?!). Zatem w wariantcie stosowanym dotychczas w procesie, koszt zakupu wody wynosi około 3,2 mln zł rocznie. Podniesienie koncentracji fazy stałej w mieszaninie do 50% zredukowałoby ten koszt do niecałych 900 tys. zł, czyli o 2,3 mln zł. Biorąc pod uwagę, że według oszacowania Autorki roczny koszt zakupu szkła wodnego wynosiłby około 1 mln, to całkowita oszczędność wynikająca z tytułu wprowadzenia deflokulacji hydromieszanki wynosiłaby maksymalnie około 1 mln zł rocznie.

W rozdziale tym wydaje się brakować obliczenia, jak by się kształtowały koszty zużycia wody i energii elektrycznej w instalacji, gdyby transportowano mieszaninę z podwyższoną koncentracją części stałych, ale bez dodatku deflokulanta. Z uwagi na wysoki koszt deflokulanta (ponad 1 mln zł), nawet kilkukrotny wzrost kosztu opłat za energię elektryczną (np. 150-200 tys. zł) z tytułu wzrostu oporów przepływu zagęszczonej mieszaniny i tak zapewniłaby uzyskanie lepszych efektów ekonomicznych niż zastosowanie deflokulanta.

Kluczowym problemem zagadnienia przedstawionego w tej pracy doktorskiej jest „niestabilność”, czy „nieprzewidywalność”, jak to ujęto w pracy, wpływu szkła wodnego sodowego na właściwości reologiczne hydromieszanki. Szczegółowe wnioski zarówno dotyczące doboru deflokulanta, jak i uzyskiwanych efektów ekonomicznych są wymienione dla każdej z badanych koncentracji mieszaniny z osobna, co wynika z braku możliwości wyznaczenia ogólnej zależności składu i wielkości dodatku deflokulanta w zależności od koncentracji mieszaniny.

Brak możliwości takiej generalizacji stawia pod znakiem zapytania praktyczną stosowalność uzyskanych wyników. Oczywiście jest, że w przemysłowych instalacjach hydrotransportu zachodzą fluktuacje koncentracji części stałych i w rozpatrywanej sytuacji, w przypadku obecności deflokulanta w mieszaninie, który wykazuje raczej nieprzewidywalny wpływ na właściwości reologiczne mieszaniny, niewielkie zmiany koncentracji części stałych mogą skutkować dużymi zmianami oporów przepływu mieszaniny w instalacji.

W pracy całkowicie pominięto zagadnienia związane z sedymentacją (zestalaniem?) hydromieszanki wprowadzanej do zbiornika osadowego. Obecność związków wapnia powinna sprzyjać wiązaniu i zestalaniu mieszaniny w zbiorniku osadowym, z drugiej strony niewielka koncentracja części stałych może ten proces uniemożliwiać. Obecność deflokulanta powodować będzie jeszcze większe spowolnienie sedymentacji osadu, ale z kolei możliwość znacznego zwiększenia koncentracji części stałych może ułatwiać proces zestalania. Z pojedynczego zdania w pracy na temat poboru wody wodociągowej można wysnuć wniosek, że w istniejącej instalacji brak jest nawet częściowego odzysku wody wykorzystywanej w cyklu

produkcyjnym (a przynajmniej w jego części związanej z hydrotransportem szlamu popłuczkowego), co wydaje się być mało prawdopodobne, a jeśli rzeczywiście taki jest stan rzeczy, Doktorantka powinna na ten aspekt zwrócić uwagę w swojej pracy.

5. Wniosek końcowy

Analizując całokształt rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Jaworskiej – Józwiak, a w szczególności biorąc pod uwagę to, co cenię zawsze bardzo wysoko, czyli obszerne badania laboratoryjne, na których sprawdza się wiedza i doświadczenie badającego stwierdzono, że Doktorantka wykazała się zarówno wiedzą teoretyczną, jak i kompetencjami w zakresie metod badawczych transportu hydraulicznego. Przedstawione w punkcie 3 uwagi nie umniejszają wartości pracy i posłużą Doktorantce jako wskazówki w jej dalszej karierze naukowej.

Na podstawie dokonanej recenzji rozprawy doktorskiej p.t. „Zwiększenie efektywności procesu produkcji wapna poprzez zastosowanie deflokulanta w procesie transportu hydraulicznego” będącą autorstwa mgr inż. Beaty Jaworskiej – Józwiak dotyczącą dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna, przeprowadzonej w kontekście warunków w określonych w artykule 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017, poz. 1789 z późn. zm.), w której sformułowano wymóg iż „rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”.

Autorka przedstawiła dojrzałe opracowanie naukowe, wykazując się zarówno wiedzą teoretyczną jak i kompetencjami w zakresie metod badawczych pozwalających na przedstawienie oryginalnego rozwiązania ważnego problemu badawczego w zakresie Inżynierii Mechanicznej. Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Świętokrzyskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

