

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Piotra Warzechy

**p.t. „Badania przepływu zawiesiny i efektywności sedymentacji
w modelu wielostrumieniowego osadnika prostopadłoprądowego”**

Informacje bibliometryczne

Recenzowana praca ma formę rozprawy A4, składa się ze 121 stron. Tekst jest podzielony na 11 rozdziałów merytorycznych. Ponadto rozprawa składa się z dwu rozdziałów zawierających streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych pojęć, skrótów i symboli (na początku) zaś w rozdziale końcowym zamieszczono spis literatury zawierający 57 pozycji artykułów i monografii naukowych oraz stron WWW.

Dobór tematyki rozprawy

Z zawiesinami i potrzebą ich przetwarzania spotykamy się nie tylko w wielu dziedzinach techniki, technologii ale i licznych aspektach codziennego życia – od przeróbki surowców mineralnych przez procesy inżynierii chemicznej na ochronie środowiska i procesach uzdatniania wody pitnej skończywszy. Przetwarzanie zawiesin – separacja (klarowanie, zagęszczanie czy tylko wzbogacanie) jest realizowane najczęściej z wykorzystaniem procesu sedymentacji, który jest wprawdzie korzystny energetycznie (siłą sprawczą procesu jest pole grawitacyjne) ale ogólnie mówiąc – powolny. Stąd też poszukiwanie sposobów na jego intensyfikację realizowaną z wykorzystaniem różnych procesów o charakterze fizycznym, chemicznym, czy konstrukcyjnym, z którym jednym z bardziej atrakcyjnych jest sedymentacja wielostrumieniowa (gdzie wykorzystuje się zwiększenie powierzchni sedymentacji) realizowana w różnych wariantach konstrukcyjnych, różniących się sposobem doprowadzania zawiesiny i odprowadzania produktów (wysedymetowanego osadu, zagęszczonej oraz sklarowanej zawiesiny). Problem z mieszaniem się produktów procesu występujący w układach

współprądowym i przeciwpłądowym jest powodem dla których układ prostopadłoprądowy, pozbawiony tych problemów eksploatacyjnych jest uważany za potencjalnie bardzo atrakcyjny, lecz z powodów konstrukcyjno-eksploatacyjnych układ ten nadal pozostaje jedynie potencjalnym. Wiele problemów konstrukcyjnych osadników wykorzystujących ten właśnie układ wymaga jeszcze rozwiązania i dopracowania. Literatura przedmiotowa jest uboga w publikacje traktujące o sedymentacji wielostrumieniowej w wariacie prostopadłoprądowym i osadnikach do jej realizacji.

Właśnie problematyce konstrukcji i eksploatacji osadnika z prostopadłoprądowym wypełnieniem wielostrumieniowym przeznaczonego m.in. do klarowania wody w procesie uzdatniania wody pitnej jest poświęcona recenzowana praca. Biorąc pod uwagę tę lukę w wiedzy na temat prostopadłoprądowej sedymentacji wielostrumieniowej oraz istotne znaczenie aplikacji praktycznych poruszanych w pracy zagadnień, tematykę rozprawy uważam za bardzo trafną oraz wartą lepszego rozpoznania w badaniach teoretyczno-doświadczalnych.

Cel pracy

Ogólny cel pracy autor zawarł w rozdziale 1.1, gdzie wskazał, że ogólnym celem jego rozprawy będzie przeprowadzenie badań procesu sedymentacji wielostrumieniowej w osadniku laboratoryjnym, który może zostać zabudowany wypełnieniem w układzie prostopadłoprądowym oraz wymiennie przeciwpłądowym. Ponadto wskazał dwa szczegółowe cele: **poznawczy** – poznanie przepływu zawiesiny w przestrzeni osadnika wielostrumieniowego, oraz **praktyczny** – obliczenie (wyznaczenie) efektywności sedymentacji w tymże modelowym osadniku wielostrumieniowym dla różnych zawiesin ziarnistych i nieziarnistych.

Szczegółowa treść i zakres rozprawy

Praca poprzedzona jest dwoma krótkimi rozdziałami zawierającymi streszczenia w języku polskim oraz angielskim, zawierającymi najważniejsze informacje o rozprawie.

W kolejnym, nienumerowanym, rozdziale, zawarł wykaz ważniejszych oznaczeń, pojęć, symboli i skrótów stosowanych w rozprawie.

W rozdziale 1. zatytułowanym „Geneza”, autor zawarł wprowadzenie w problematykę poruszaną w swojej rozprawie. Przedstawił genezę sedymentacji wielostrumieniowej oraz krótko opisał różne warianty realizacji sedymentacji wielostrumieniowej. Wskazał również cel i zakres pracy (które omówiłem w poprzednim rozdziale). W rozdziale tym autor wyliczył zakres prac do realizacji w swojej pracy doktorskiej.

W rozdziale 2 autor zamieścił literaturowy stan wiedzy z zakresu sedymentacji wielostrumieniowej, sposobu projektowania osadników przemysłowych oraz analizy kryterialnej przy projektowaniu osadników przepływowych, w szczególności wielostrumieniowych.

W rozdziale 3, autor przedstawił analizę literaturową dotychczasowego stanu wykorzystania osadników wielostrumieniowych w przemyśle i gospodarce.

Rozdział 4 zawiera zagadnienia mechaniki zawieszin wykorzystywane przy projektowaniu i eksploatacji osadników wielostrumieniowych. Przedstawił kilkanaście modeli sedymentacji wielostrumieniowej.

Rozdział 5 przedstawia proces przygotowania laboratoryjnego osadnika modelowego do realizacji procesu sedymentacji wielostrumieniowej wymiennie w układzie prostopadłoprądowym oraz przeciwrządowym z zachowaniem tej samej powierzchni sedymentacji. Poprawność konstrukcji projektowanego osadnika laboratoryjnego autor weryfikował wykonując numeryczne symulacje przepływu płynu z użyciem pakietu Ansys CFX. Analiza ta pozwoliła mu na przygotowanie dodatkowych elementów konstrukcyjnych do wykorzystania przy wypełnieniu w układzie prostopadłoprądowym dla uzyskania równomiernego obciążenia kolejnych przewodów wielostrumieniowych.

W rozdziale 6 autor przedstawił wyniki oznaczeń składu granulometrycznego zawieszin wykorzystanych w dalszej pracy. Były to trzy zawiesziny ziarniste (zawiesina z ZWR Polkowice, zawiesina dolomitowa oraz zawiesina węgla wapnia), zawiesina gliniasta (która po skoagulowaniu wykazywała charakter nieziarnisty) oraz semi-modelowa zawiesina PVC. Badania zostały wykonane z użyciem metody dyfraktometrii laserowej na aparacie Malvern MasterSizer 2000E.

Rozdział 7 zawiera badania procesu sedymentacji w laboratoryjnym osadniku z wymiennym wypełnieniem wielostrumieniowym w wariacie prostopadłoprądowym oraz przeciwrządowym. W pierwszej części rozdziału autor przedstawił wizualizacje przepływu płynu przez osadnik (woda zabarwiona markerem optycznym). Wizualizacje te służyły do stwierdzenia poprawności konstrukcji osadnika laboratoryjnego pracującego z wypełnieniem wielostrumieniowym w wariacie przeciwrządowym oraz prostopadłoprądowym. Niezgodność wyników symulacji numerycznej z fizyczną wizualizacją pozwoliła autorowi na przygotowanie dodatkowych elementów konstrukcyjnych (przegrody i króćce) zapewniających jednolity przepływ i równomierne obciążenie kolejnych przewodów wielostrumieniowych. Na tej podstawie autor zaproponował 6 różnych wariantów tego osadnika oznaczonych I – VI.

Rozdział 8 zawiera wyniki badań procesu sedymentacji z użyciem przygotowanego osadnika w wariantach I – VI, czyli od osadnika bez wypełnienia, z wypełnieniem przeciwr-

prądowym oraz wypełnieniem w wariancie prostopadłoprądowym z różnymi dodatkowymi modyfikacjami konstrukcji. Badania zostały wykonane dla 5 różnych zawiesin, w 6 kolejnych wariantach, dla 3÷6 zmiennych obciążeń powierzchniowych oraz w przypadku zawiesiny gliniastej dla 5 różnych dawek koagulantu. Wyniki przedstawiono w postaci tabeli oraz wykresów. Każdy z zestawów wyników został szczegółowo omówiony w podsumowaniu. Ponadto w podrozdziale 8.6 przedstawiono ogólne wnioski z badań laboratoryjnych.

W rozdziale 9 autor zaproponował sposób przeprowadzenia modyfikacji prostokątnego osadnika wielostrumieniowego pracującego w stacji uzdatniania wody polegającego na zabudowaniu w osadniku prostokątnym wypełnienia wielostrumieniowego. Przedstawił ogólne wytyczne do projektu takiego wypełnienia, doboru rodzaju pakietów wielostrumieniowych oraz powierzchni zabudowy osadnika pakietami, w szczególności w układzie prostopadłoprądowym.

Rozdział 10 zawiera empiryczny model matematyczny efektywności procesu sedymentacji w funkcji stężenia zawiesiny i obciążenia powierzchniowego procesu dla wybranych zawiesin i wariantów pracy osadnika laboratoryjnego. Model został wykonany z użyciem metody regresji krokowej dla zlinearyzowanej postaci teoretycznej funkcji opisującej zależność efektywności od stężenia zawiesiny i obciążenia powierzchniowego). Wyniki zostały przedstawione w postaci tabelki wartości estymatorów wybranej zależności teoretycznej oraz w postaci wykresów zależności efektywności uzyskanej z modelu od efektywności eksperymentalnej. Należy podkreślić wysoką zgodność uzyskanych wzorów empirycznych z danymi doświadczalnymi.

Rozdział 11 zawiera podsumowanie pracy, a w ostatnim, nienumerowanym, rozdziale zamieszczono literaturę wykorzystaną w pracy.

Walory pracy

Do najważniejszych walorów pracy zaliczyć można:

- Podjęcie w pracy problematyki projektowania i eksploatacji osadników wykorzystujących sedymentację wielostrumieniową w układzie prostopadłoprądowym, który pozwala na uzyskanie bardzo dużej powierzchni sedymentacji przy jednocześnie niezbyt dużych powierzchniach zabudowy. Jednocześnie temat ten nie jest wystarczająco dobrze opracowany pod względem naukowym i inżynierskim, a recenzowana praca przyczynia się do jego rozpoznania.
- Co prawda nie wynikało to z bardzo ostrożnie sformułowanego tematu rozprawy oraz zakresu, ale autor recenzowanej rozprawy w rzeczywistości opracował plan i wykonał ba-

dania procesu sedymentacji zarówno prostopadłoprądowej jak i przeciwpoprądowej w osadniku modelowym. Nie tylko zaprojektował i zbudował stanowisko doświadczalne (weryfikując doświadczalnie poprawność jego konstrukcji – zwłaszcza w układzie prostopadłoprądowym), w którym można wykonać eksperymentalne porównanie tych dwu układów, ale i z użyciem tego stanowiska wykonał eksperymenty z różnymi konfiguracjami wypełnienia wielostrumieniowego: przeciwpoprądowego, prostopadłoprądowego z różnymi pomocniczymi elementami konstrukcji osadnika jak i bez wypełnienia.

- Użycie w badaniach eksperymentalnych bardzo szerokiej gamy zawieszin, począwszy od typowo przemysłowych zawieszin ziarnistych (zawieszina z procesu wzbogacania rud z Polkowic, zawiesziny mineralne dolomitu oraz węgla wapnia), nieziarnista zawieszina z procesu koagulacji drobnoziarnistej zawiesziny gliniasto-ilastej, jak też i semi-modelowa zawieszina PVC. Tak szerokie spektrum wykorzystanych zawieszin niesło różne problemy natury eksperymentalno-metrologicznej, z których warto wymienić problem oznaczania jakości produktów – autor posłużył się metodą sączkową dla zawieszin ziarnistych oraz pomiarem mętności dla zawieszin nieziarnistych.
- Praca w dużej części ma charakter pracy eksperymentalnej. Autor zarówno zbudował stanowisko doświadczalne jak też i wykonał z jego użyciem badania sedymentacji kilku (pięciu) różnych rodzajów zawieszin, w kilku (sześciu) różnych wariantach konstrukcji wypełnienia wielostrumieniowego, dla kilku obciążeń powierzchniowych a dodatkowo dla zawieszin nieziarnistych otrzymanych w procesie koagulacji, dla różnych dawek koagulantu. Daje to ogromny zbiór pomiarowy (blisko tysiąca pojedynczych wyników pomiarowych). Nie tylko stanowi to duży zbiór wyników eksperymentalnych możliwy do wykorzystania w kolejnych pracach badawczych, ale też wymagał ogromnego wysiłku badawczego, zważywszy na żmudność procedury badawczej oraz pracochłonność oznaczeń jakości produktu (w przypadku metody sączkowej).

Uwagi krytyczne

Pomimo bardzo dużego nakładu pracy eksperymentalnej jaki autor wykonał w swojej pracy badawczej (a może częściowo z tego właśnie powodu) podczas pisania i redagowania rozprawy autorowi nie udało się ustrzec pewnych błędów o różnym charakterze, od prostych błędów edytorskich, przez literówki do błędów o charakterze poważniejszym.

Poniżej przedstawiłem istotniejsze (pomijając literówki itp...):

- Na str. 5 w. 2g autor napisał że efektywność to „miara zdolności urządzenia sedymentacyjnego, określana jako (...)” – miara zdolności do czego?
- Na str. 6 definicja stężenia wymaga doprecyzowania (masowe, objętościowe).
- Na str. 9 w. 5d autor pisze: „łatwiej jest zrealizowany odbiór produktów” – co to znaczy?
- Na str. 13 w. 11g autor pisze, że osadniki mają kształt prostokąta lub koła – chyba chodzi o rzut tych osadników.
- Cytowanej w podpisie rysunku 1.2 pozycji nie ma w spisie literatury.
- Charakteryzując zawiesiny ziarniste i nieziarniste, na str. 44 w. 4g. autor napisał, że cząstki zawiesiny ziarnistej „opadają (...) niezależnie od siebie z jednakową prędkością”. Czy aby na pewno cząstki te zawsze tak opadają? (niezależnie od siebie i z jednakową prędkością). Kiedy można pominąć wpływ stężenia fazy stałej zawiesiny
- W rozdz. 6.1 (s. 45) autor użył określenia zawiesiny „łatwo” i „trudno” opadające wskazując kryterium podziału na rozmiar cząstki 0,1 μm . Skąd ta wartość i czy jest ona stała dla różnych materiałów fazy stałej zawiesin?
- W rozdziale 6.1.1 autor pisze, że PVC może być obecny w składzie wody pitnej wskutek procesów starzenia armatury. Czy jest to proces istotny? I czy w procesie sedymentacji można pozbyć się takich cząstek?
- Autor zdefiniował na str. 6 pojęcie zawiesina, ale na str. 45 (w. 13g) używa tego słowa w znaczeniu osadu: „suma wszystkich zawiesin (trudno i łatwoopadających, mineralnych i organicznych) jest zawiesiną ogólną”. Co dla autora jest „zawiesiną”?
- W tytułach rozdziałów 2, 2.1, 2.2, 6 oraz 6.1.1 autor zamieścił odsyłacze do literatury. Lepiej byłoby umieścić te odsyłacze w treści rozdziałów przy kolejnych treściach jak w innych rozdziałach, co zwiększyłoby czytelność pracy.
- Czy wyniki wizualizacji z rozdz. 7.3 były wykorzystywane do poprawy konstrukcji modelowego osadnika laboratoryjnego?
- Wyniki badań przedstawionych w rozdz. 8 robią duże wrażenie, może warto zrobić zestawienie umożliwiające porównanie różnych wariantów wypełnienia (I – VI) dla różnych zawiesin w jednakowej skali obciążeń powierzchniowych. Podobnie dla mętności.
- Na str. 99 w. 6d. autor pisze, że po zastosowaniu pakietów wielostrumieniowych powierzchnia sedymentacji zostanie zmniejszona kilkukrotnie, chodzi raczej o powierzchnię zabudowy osadnika.
- W 3 zdaniu na str. 100 autor pisze „(...) proces prostopadłoprądowej sedymentacji wielostrumieniowej pozbawiony jest ograniczenia wskaźnika powierzchni właściwej pakie-

tów”. Podobnie jest na str. 114 w. 9g: „wariant prostopadłoprądowy wydający się być pozbawiony tego ograniczenia”. Co autor przez to rozumie? Czy ten wskaźnik może mieć w tym przypadku wartość dowolnie dużą?

- Na str. 102 w punkcie 2 autor pisze o zatrzymaniu „najmniejszych cząstek”, chodzi o cząstki graniczne?
- Co znaczy określenie „poziom mętności”? S. 103, w. 5g.

Rzucającą się w oczy słabością pracy jest jej strona językowa. Autor posługuje się językiem polskim w sposób nienajzręczniejszy. Stosuje pojęcia żargonowe, kolokwializmy oraz używa częstych skrótów myślowych, które dopuszczalne w przekazie ustnym np. podczas prezentacji, zastosowane w rozprawie pisanej rzucają się w oczy, utrudniając odbiór treści merytorycznych. Przykładem tego jest nadużywanie słowa „posadowienie”, którego autor używa zarówno na określenie konstrukcji wsporczej np. pakietu wielostrumieniowego, ale też i na określenie czynności (w znaczeniu: umieszczenie). Podobnym słowem jest „nakierowanie”, (s. 55, w 3g; s.102, w 1d). Innym jest określenie „krótsza długość” używane w znaczeniu szerokości lub długości ściany osadnika.

Podsumowanie

Wskazane mankamenty i uwagi krytyczne w żaden sposób nie umniejszają mojej dobrej merytorycznej oceny recenzowanej rozprawy.

Praca wypełnia wciąż istniejącą lukę w zakresie znajomości procesu prostopadłoprądowej sedymentacji oraz rozszerza stan wiedzy w zakresie budowy i eksploatacji wielostrumieniowych urządzeń sedymentacyjnych w wariacie prostopadłoprądowych – urządzeń o potencjalnie dużych powierzchniach sedymentacji przy względnie małych powierzchniach zabudowy.

Uważam, że doktorant podjął się bardzo ambitnego (i trudnego) tematu jakim były badania przepływu zawiesiny w osadniku prostopadłoprądowym oraz wpływu konstrukcji osadnika oraz wypełnienia wielostrumieniowego na efektywność procesu sedymentacji w nim realizowanego i wywiązał się z podjętego zadania w stopniu zadowalającym..

Założone w rozdz. 1.1 cele zostały osiągnięte a przyjęty do wykonania zakres prac został zrealizowany. Doktorant nie tylko zaprojektował modelowy osadnik do realizacji sedymentacji wielostrumieniowej z wymiennym opcjonalnym wypełnieniem wielostrumieniowym w układzie prostopadłoprądowym oraz przeciwpoprądowym, wykonał badania przepływu zawie-

siny, wskazał potrzebne modyfikacje jego konstrukcji do uzyskania równomiernego obciążenia wszystkich przewodów wielostrumieniowych, ale również wykonał z jego użyciem badania procesu sedymentacji kilku zawiesin o różnym charakterze (ziarnistym oraz nieziarnistymi).

Osiągnięciem autora jest zarówno poszerzenie stanu wiedzy w zakresie projektowania i eksploatacji urządzeń sedymentacji wielostrumieniowej w układzie prostopadłoprądowym ale też rozszerzenie katalogu wyników badań procesu sedymentacji wielostrumieniowej różnych zawiesin, możliwych do wykorzystania w dalszej pracy badawczej doktoranta oraz zespołu, Uzyskane modele empiryczne procesu sedymentacji mogą być zastosowane w praktyce przez osoby projektujące i eksploatujące wielostrumieniowe urządzenia sedymentacyjne przetwarzające te zawiesiny, które były obiektem badań w niniejszej pracy.

W mojej ocenie przedstawiona rozprawa spełnia wymogi ustawy „o stopniach naukowych i tytule naukowym” z dnia 14 marca 2003 r. z późn. zm. i wnioskuję o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie pana mgra inż. Piotra Warzechy do publicznej obrony.

