

Prof. dr hab. inż. Lidia Zander  
Katedra Inżynierii i Aparatury Procesowej  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
w Olsztynie

Recenzja poprawionej wersji  
pracy doktorskiej pt. „**Wpływ dodatku polisacharydów nieskrobiowych  
na kształtowanie parametrów mieszania zawiesin skrobiowych**”  
wykonanej przez mgr. inż. **Macieja Kabzińskiego**  
w Katedrze Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego  
na Wydziale Technologii Żywności Uniwersytetu Rolniczego  
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Promotor pracy: **prof. dr hab. inż. Mirosław Grzesik**,  
promotor pomocniczy: **dr inż. Paweł Ptaszek**

### **Informacje ogólne**

Przedstawiona do recenzji poprawiona wersja dysertacji zawarta jest na 97 numerowanych stronach wydruku, w którym wyodrębniono 16 rozdziałów obejmujących zagadnienia teoretyczne i przegląd piśmiennictwa związanego z tematem rozprawy, metodykę doświadczeń, omówienie wyników badań, wnioski, rozdział dodatkowy zawierający podstawowe informacje o cieczach nieniutonowskich, spis cytowanej literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Pod względem formalnym dysertacja zawiera wszystkie niezbędne elementy rozprawy o charakterze eksperymentalnym.

Tematyka pracy dotyczy oceny powiązań między zmiennym składem modelowych zawiesin spożywczych o zróżnicowanych charakterystykach reologicznych fazy ciągłej a mocą mieszania badanych układów przy użyciu trzech typów mieszadeł wolnoobrotowych. Wprawdzie badania wpływu szeregu zmiennych na moc mieszania w różnych konfiguracjach geometrycznych prowadzone są od wielu lat zarówno w kraju, jak i na świecie, to zaprezentowane w rozprawie podejście można uznać za oryginalne z dwóch powodów: 1° mieszaniu poddawano zawiesiny skrobi ziemniaczanej w wodnych roztworach zagęstników stosowanych w układach spożywczych, które należy rozumieć jako modelowe układy dyspersyjne poddawane mieszaniu i 2° w oparciu o czasowe charakterystyki zmian chwilowych wartości momentu obrotowego / mocy mieszania Autor podjął próbę identyfikacji występowania zmian strukturalnych w mieszanych układach dyspersyjnych wskutek

długotrwałej ekspozycji cieczy na naprężenia ścinające wywołane przepływem cieczy w mieszalniku. Podjęcie badań w tym kierunku można uznać za uzasadnione.

### **Ocena rozprawy**

Pierwsza część rozprawy, obejmująca wstęp poświęcony znaczeniu mieszania jako operacji jednostkowej w przemyśle spożywczym i pięć następujących rozdziałów została napisana w oparciu o informacje zawarte w literaturze. Rozdziały: 2. (*Urządzenia do mieszania*) i 3 (*Opis operacji mieszania. Moc mieszania*) poza poprawioną interpunkcją i korektą tytułów pozostały niezmienione w stosunku do pierwszej wersji. Ich treść jest oparta o podstawowe, dzisiaj już historyczne, podręczniki i monografie dotyczące procesu mieszania, zawierają dosłownie przytaczane definicje oraz elementarne wiadomości na temat zagadnień będących przedmiotem rozprawy.

Rozdział 4., zatytułowany „*Właściwości reologiczne. Elementy reometrii mieszadłowej*”, został opracowany na nowo, prezentując w pierwszym podrozdziale elementarne pojęcia dotyczące cieczy nieniutonowskich, przytaczane przede wszystkim na podstawie podręczników i monografii. W moim przekonaniu treści rozdziałów 2 i 3 oraz 4.1. powinny być przyswojone przez Doktoranta jeszcze przed przystąpieniem do projektu i wykonania stanowiska doświadczalnego oraz planowania badań. Bez szkody dla naukowej wartości opracowania mogłyby być pominięte w części literaturowej, natomiast należałoby wykorzystać tę wiedzę podczas analizy i interpretacji wyników. Merytorycznie istotny dla tematu rozprawy jest natomiast rozdział 4.2 pt. *Elementy reometrii mieszadłowej*. Szkoda jednak, że zagadnienie to nie zostało bardziej zgłębione przez Doktoranta. W dość licznym piśmiennictwie źródłowym na ten temat eksponowane są liczne pozytywne i ograniczenia możliwości wykorzystania pomiarów mocy mieszania do oceny reologicznych właściwości mieszanych mediów. Pozwoliłoby to na uniknięcie błędów i uchybień w analizie wyników.

Dopiero materiał zawarty w rozdziale nr 4 zatytułowanym „*Analiza aktualnego stanu wiedzy na temat mieszania układów nieniutonowskich*” ma charakter opracowania naukowego, w którym Autor przytoczył opublikowane w ostatnich latach informacje na temat najważniejszych aspektów mieszania cieczy nieniutonowskich trafnie konkludując, że praktycznie brak jest informacji na temat zachowań w



procesach mieszania cieczy reologicznie niestabilnych. Fakt ten jest wystarczającym uzasadnieniem dla podjęcia badań w tym kierunku.

Do literaturowej części dysertacji należy też rozdział 5. pt. *Skrobia i hydrokoloidy nieskrobiowe*, w którym Autor przytacza właściwości i zastosowania substancji wykorzystywanych w eksperymentalnej części pracy, jak również rozdział 6. zatytułowany *Przegląd literatury*. W tym ostatnim Doktorant zwraca uwagę na opublikowane informacje dotyczące reologicznych właściwości różnych, spożywczych układów dyspersyjnych z udziałem skrobi i innych koloidów oraz szereg zagadnień związanych z badaniami procesów mieszania cieczy nieniutonowskich. Łącznie w rozdziałach 1-6 zacytowano 72 pozycje piśmiennictwa, co w stosunku do poprzedniej wersji pracy stanowi znaczne wzbogacenie materiału będącego podstawą opracowania teoretycznej części dysertacji.

Podsumowując, przegląd piśmiennictwa, zawarty w rozdziałach nr 5 i 6 został oparty o prace źródłowe, ściśle powiązane z tematyką rozprawy i stanowi uzasadnienie podjęcia prezentowanych badań, świadcząc o przygotowaniu teoretycznym Doktoranta wystarczającym do realizacji podjętego zadania badawczego.

Cel pracy (rozd. nr 7) sformułowano w sposób zwięzły, przekonywująco informując czytelnika o zakresie zadań składających się na całość rozprawy.

Metodyka badań doświadczalnych została zamieszczona w rozdziałach nr 8-11. Rozdział nr 8 pt. „*Narzędzia badawcze*” zawiera schemat i opis budowy stanowiska doświadczalnego, opracowanego przez Doktoranta. Podane zostały dane techniczne układu napędowego i pomiarowego, który uzupełniono o szczegółowe schematy i wymiary mieszadeł wykorzystywanych w doświadczeniach oraz informację na temat precyzji pomiarów częstości obrotów mieszadła, jak również momentu obrotowego. Ponadto zamieszczono opis programu obliczeniowego, stanowiącego integralną część stanowiska. Konstrukcję mieszadeł wykorzystywanych w doświadczeniach dodatkowo przedstawiono w tabeli 8.2 wraz z kompletem inwariantów i wymiarów geometrycznych.

Poza dość solidnym zaprezentowaniem budowy, oprzyrządowania i oprogramowania stanowiska doświadczalnego metodyka eksperymentów została przedstawiona raczej zdawkowo. Plan eksperymentu (rozd. nr 9.6) zamieszczono w postaci tabeli 9.2, uzupełnionej o dwa zdania komentarza. Brakuje nadal informacji o liczbie przeprowadzonych eksperymentów i niepewności pomiarów, co jest

szczególnie istotne przy wyznaczaniu „stałych”, będących potem podstawą obliczeń lepkości pozornej w oparciu o pomiary momentu obrotowego. Wprawdzie Doktorant podjął próbę weryfikacji układu pomiarowego (rozd. 10), ale jej wyniki są nieprzekonywujące i dyskusyjne. Autor przyjął za pewnik niezmienność współczynnika proporcjonalności ( $k_s$ ) między częstością obrotów mieszadła i średnią, zastępczą szybkością ścinania mieszalnika. Na tym założeniu oparte są wszystkie dalsze obliczenia lepkości pozornej. Zastanawiające jest jednak, że przy podanych na wykresie 10.1 (zresztą całkowicie niepotrzebnym) wartościach liczbowych współczynników  $k_s$  dla poszczególnych mieszadeł nie podano jakichkolwiek informacji o ich zmienności, co w warunkach rzeczywistych jest nieuniknione. Na podstawie objętego doświadczeniami fragmentu charakterystyk mocy mieszania otrzymanych z wykorzystaniem cieczy niutonowskiej Doktorant wnioskuje, że mieszanie zachodzi w obszarze uwarstwionym, co stanowi uzasadnienie dla dalszych obliczeń. Dyskusyjny jest jednak fakt oparcia tej konkluzji na wizualnej ocenie przebiegu krzywych  $Ne(Re)$  wykreślonych w postaci linii łamanych w układzie współrzędnych o skalach dziesiętnych (rys. 10.2). Tymczasem, stosując skalę logarymiczną na obu osiach można jednoznacznie wyodrębnić zakres liczb Reynoldsa wytyczający obszar mieszania uwarstwionego, upoważniający do poszukiwania relacji między momentem skręcającym i pozorną lepkością mieszanego ośrodka.

Weryfikacja precyzji określenia lepkości mieszanej cieczy otrzymana w oparciu o pomiary mocy mieszania syropu glukozowego nie jest przekonująca. Wysokoscukrzony syrop glukozowy jest cieczą niutonowską, co poprawnie Doktorant stwierdził na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą reometru. Lepkości obliczone na podstawie mocy mieszania zależą jednak od rodzaju użytego mieszadła, co Autor tłumaczy różną geometrią poszczególnych mieszadeł i ich „oddziaływaniem” na ciecz. Nie można zgodzić się z taką interpretacją, gdyż lepkość cieczy niutonowskiej zależy tylko od stężenia substancji rozpuszczalnych w roztworze i temperatury, a pozostaje niezależna od szybkości ścinania.

W kolejnych dwóch rozdziałach Doktorant podaje wyniki pomiarów podstawowych fizykochemicznych właściwości układów poddawanych mieszaniu (rozdział 11.) i szerzej analizuje wyniki pomiarów właściwości reologicznych, zwracając szczególną uwagę na zmiany lepkości pozornej z upływem czasu ścinania (rozdział 12.). Otrzymane wyniki wskazują na pewne prawdopodobieństwo występowania braku



stabilności reologicznej niektórych układów, ale zagadnienie jest na tyle obszerne, że może stanowić odrębne zadanie badawcze wymagające innego planu i organizacji doświadczeń.

Głównym przedmiotem badań i dociekań Doktoranta są zmiany mocy mieszania występujące podczas długotrwałego, pięciogodzinnego procesu prowadzonego przy użyciu trzech geometrii mieszadeł ze stopniowo zwiększaną częstością obrotów. Wyniki pomiarów prezentowane są w postaci graficznej na wykresach. W rozdziale 13. zamieszczono 12 wykresów przedstawiających fragmenty charakterystyk mocy, czyli zależność liczby mocy  $Ne$  od liczby Reynoldsa  $Re$ . Wykresy te sporządzone są według jednego schematu przyjętego w rozdziale 10 (rys. 10.2) w sposób zdecydowanie odbiegający od zasad przedstawiania zależności korelacyjnych między kryteriami podobieństwa. Na podstawie tych wykresów Autor wnioskuje, w jakich okolicznościach występuje mieszanie uwarstwione w poszczególnych doświadczeniach. Niestety, arbitralnie przyjęte kryterium granicy mieszania uwarstwionego ( $Re < 30$ ) nie jest przekonujące, podczas gdy wystarczyłoby sporządzenie tych wykresów w układzie współrzędnych o skalach logarytmicznych i wyznaczenie równania regresji dla prostoliniowego odcinka krzywej  $Ne(Re)$ . W tym samym rozdziale na sześciu kolejnych rysunkach zamieszczono i omówiono wykresy przedstawiające zmiany mocy mieszania zarejestrowane w poszczególnych doświadczeniach. Te dane liczbowe stanowiły podstawę do przeprowadzenia obliczeń lepkości pozornej i ich analizy zaprezentowanych w rozdziale 14. Podany na str. 70 algorytm obliczeń lepkości pozornej cieczy w mieszalniku jest jednak dość skomplikowany i ryzykowny wobec nieprzekonywujących wartości współczynników  $k_s$ . Również analiza zmian arbitralnie wybranej wartości lepkości pozornej po 2 min. mieszania przy każdej częstości obrotów w funkcji momentu obrotowego nie wydaje się poprawna. Można zgodzić się z Autorem, że wartość momentu jest mierzona bezpośrednio, ale jest to zmienna zależna będąca na odpowiedź na zmiany lepkości odzwierciedlające zmiany struktury cieczy zachodzące pod wpływem ścinania.

Pomimo tego, że wartości liczbowe lepkości należałoby traktować z rezerwą, wykazane tendencje zmian związanych z przebiegiem procesu mieszania wskazują na potrzebę prowadzenia badań nad brakiem stabilności reologicznej w rzeczywistych układach spożywczych i warunkach procesowych.

Próba określenia zmian lepkości pozornej badanych mediów w oparciu o metodę zaproponowaną przez Metznera i Otto<sup>1</sup> w 1957 r. jest uzasadniona ze względu na jej przydatność do uzyskiwania reologicznych charakterystyk tzw. trudnych mediów, do których klasyczne metody reometryczne nie mogą być stosowane. Niejednorodne układy spożywcze często należą do tej kategorii substancji. W tym kontekście można stwierdzić, że metodologia zastosowana przez Doktoranta jest poprawna, chociaż niektóre przyjęte założenia przy analizie i interpretacji wyników budzą zastrzeżenia. Przyjęte przez Doktoranta uproszczenia obliczeniowe sprawiają, że lepkości pozorne tych samych układów dyspersyjnych poddawanych mieszaniu za pomocą różnych mieszadeł są rozbieżne, co Autor niezbyt trafnie interpretuje jako wpływ rodzaju mieszadła na lepkość. Szczególnie widoczne jest to na przykładzie próby określenia lepkości roztworu glukozowego. Jednoznaczna, poprawna interpretacja byłaby możliwa, gdyby Autor dysponował charakterystykami mocy mieszania sporządzonymi przy użyciu cieczy niutonowskich i nieniuonowskich o znanych parametrach właściwościach reologicznych. Należy przy tym pamiętać, że moc mieszania jest wprost proporcjonalna do lepkości cieczy tylko w warunkach przepływu laminarnego, natomiast przy przepływie burzliwym moc nie zależy od lepkości, a od gęstości cieczy. W obszarze przejściowym zależy od obu wielkości i relacja ta staje się o wiele bardziej złożona, co ujawnia się w niektórych wariantach doświadczeń przeprowadzonych przez Doktoranta.

Podstawową tezę w dyskusji wyników (rozdział 15.) przyjętą przez Doktoranta a priori jest założenie, że media poddawane mieszaniu są reologicznie niestabilne i zmiany mocy mieszania przekładają się na lepkość pozorną czynników umożliwiając wnioskowanie o tworzeniu się lub rozpadzie struktury cieczy w wyniku pracy mieszadła.

Całość rozprawy mgr. inż. Macieja Kabzińskiego zamyka dość obszerny rozdział nr 16. pt. *Wnioski*. Rozdział ten został podzielony na trzy części: „*Wnioski ogólne*” i „*Wnioski szczegółowe*” wynikające z przeprowadzonych pomiarów i ich analizy oraz „*Wnioski przyszłościowe*” prezentujące dalsze zamierzenia badawcze Autora. Rozdział ten stanowi podsumowanie uzyskanych wyników i rozważań Doktoranta. Wśród łącznie 18 wypunktowanych akapitów w świetle przeprowadzonych eksperymentów na pewno znajdują uzasadnienie wnioski nr 1-3 („*Wnioski ogólne*”)

---

<sup>1</sup> Metzner A.B. Otto R.E. 1957. *Agitation of non-Newtonian fluids*. AIChE J., 3: 3-10



oraz nr 5 w części „Wnioski szczegółowe”. Pozostałe są albo przedwczesne, albo oczywiste z punktu widzenia podstawowej wiedzy o procesie mieszania, albo oparte na niekompletnych danych. Uważam, że należy je zweryfikować.

W ogólnej ocenie dysertacji z obowiązku recenzenta zwracam też uwagę na wyłącznie opisową analizę i interpretację wyników. Przy powszechnej dostępności komputerów i specjalistycznego oprogramowania brak próby statystycznego opracowania obszernego materiału liczbowego może sugerować niezbyt jeszcze ukształtowany warsztat naukowy Doktoranta. Z drugiej strony uzyskane przez Niego wyniki są oryginalne i wartościowe oraz wskazują na problem zasługujący na prowadzenie dalszych badań. Przed opublikowaniem tego materiału doświadczalnego należałoby jednak zweryfikować obliczenia lepkości i oprzeć wnioski o rzetelną statystyczną analizę danych.

Uwagi szczególne:

- dość istotnym uchybieniem formalnym jest brak danych liczbowych dostarczających informacji na temat lepkości, bądź charakterystyk krzywych płynięcia roztworów wykorzystywanych w doświadczeniach;
- niekompletna jest dokumentacja wyników doświadczeń – brak danych liczbowych (choćby w wersji elektronicznej w załączniku) pozwalających na weryfikację materiału zamieszczonego wyłącznie na wykresach;
- niewłaściwa numeracja rysunków w rozdz. 5;
- w jakich jednostkach podano lepkość 1-procentowego roztworu gumy ksantanowej (Tab. 9.1., str. 42)?
- mylący jest taki sam tytuł podrozdziałów: 9.2 i 10 – tj. „Identyfikacja układu pomiarowego”;
- miejscami mało precyzyjny, żargonowy język – np. „zaobserwowano wejście mieszania w obszar przejściowy...” (str. 56 w. 3d.), „...częściowo odmiennie wyglądają linie...” (str. 57 w. 1g.), „...podtrzymanie ruchu cieczy odbywa się po różnej drodze...” (str. 66 w. 6-7 d.);
- brak konsekwencji w stosowaniu oznaczeń literowych – w równaniu (7) liczba mocy występuje jako  $E_m$ , natomiast na rys. 10.2 i 13.1-13.12 jako  $N_e$ ;
- rys. 14.1 przedstawia to samo, co rys. 10.1 tyle, że w innej formie;
- wielokrotnie powtarzająca się fraza „Co więcej...” na początku zdania;
- błędy literowe i gramatyczne w tekście (np. pisownia „Trzemieszno”).

Podniesione uwagi krytyczne niejednokrotnie mają charakter dyskusyjny i nie mają wpływu na ogólnie pozytywną ocenę całości rozprawy. Treść dysertacji jest zgodna z jej tytułem i nakreślonym celem eksperymentów. Uzyskane wyniki stanowią oryginalny materiał badawczy, który wskazuje na występowanie zależności między składem modelowych zawiesin skrobi w roztworach cieczy nieniutonowskich i warunkami ich mieszania. Doktorant wykazał się przy tym umiejętnością:

- sformułowania oryginalnego zadania badawczego w oparciu o dane literaturowe,
- zaprojektowania i wykonania oraz oprogramowania stanowiska doświadczalnego,
- zaplanowania i zrealizowania cyklu eksperymentów,
- dokonania podstawowej i matematycznej analizy uzyskanych wyników i w dużym stopniu poprawnego wnioskowania.

Strona edytorska pracy zasługuje na pozytywną ocenę - wydruk jest przejrzysty, a szata graficzna – staranna, co świadczy o dobrym opanowaniu techniki redakcji rozprawy.

#### **Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że rozprawa dysertacyjna mgr inż. Macieja Kabzińskiego pt. *„Wpływ dodatku polisacharydów nieskrobiowych na kształtowanie parametrów mieszania zawiesin skrobiowych”* spełnia wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, wobec czego przedkładam Radzie Wydziału Technologii Żywności UR w Krakowie wniosek o przyjęcie rozprawy Pana mgr. inż. Macieja Kabzińskiego i dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony oraz dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.

Olsztyn, dnia 18 listopada 2014 r.

