

Dr hab. Agnieszka Nawrocka
Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk
ul. Doświadczalna 4
20-290 Lublin

Lublin, dn. 11.04.2018 r.

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee
pt. „Investigation and modelling of stress relaxation of wheat kernels in view of grinding
prediction” („Badania i modelowanie relaksacji naprężeń ziarna pszenicy w aspekcie
procesu rozdrabniania”)**

Informacje ogólne

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee pt. „Investigation and modelling of stress relaxation of wheat kernels in view of grinding prediction” („Badania i modelowanie relaksacji naprężeń ziarna pszenicy w aspekcie procesu rozdrabniania”) została wykonana w Zakładzie Inżynierii Eksploatacji Maszyn Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie pod kierunkiem naukowym dra hab. inż. Grzegorza Łysiaka.

Rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim. Obejmuje ona 154 strony maszynopisu, w tym 72 tabele (w tym 53 w Aneksie) i 78 rysunków. Podzielona jest na 6 rozdziałów, typowych dla prac eksperymentalnych. Zawiera również Aneks. Rozdział piąty „Wyniki i dyskusja” jest największy i stanowi dokładnie połowę objętości rozprawy. Z kolei rozdziały drugi „Przegląd piśmiennictwa” i czwarty „Metodyka badań” oraz Aneks zajmują odpowiednio 16%, 6% i 18% objętości rozprawy doktorskiej. Pozostałą jej część (10%) stanowi spis treści, wstęp, cel i zakres pracy, wnioski i bibliografia. Bogata i aktualna bibliografia zawiera 161 pozycji literaturowych, z których większość (68%) ukazała się po roku 2000 w renomowanych czasopismach z obszaru mechaniki ciał stałych oraz inżynierii żywności.

Uzasadnienie tematyki rozprawy

Produkty żywnościowe oraz płody rolne charakteryzują się złożoną budową strukturalną, która to bezpośrednio wpływa na ich właściwości mechaniczne. Z mechanicznego punktu widzenia obiekty te nie zachowują się jak typowe ciała stałe czy ciecze, stąd na przestrzeni ostatnich lat opracowano metody oraz modele teoretyczne do badania własności mechanicznych produktów żywnościowych oraz płodów rolnych. Odpowiednim obiektem wykorzystywanym w tego rodzaju badaniach może być ziarno pszenicy ze względu na jego złożoną budowę strukturalną oraz powszechne użycie tego zboża do produkcji wielu produktów żywnościowych tj. mąki, pieczywa, makaronów, otrąb, płatków itp. W ziarniaku pszenicy wyróżnia się okrywą owocowo-nasienną, bielmo oraz zarodek. Zakłada się, że poszczególne części ziarniaka pszenicy wykazują odmienną podatność na obciążenia mechaniczne, zdolność do rozpraszania energii i właściwości lepko-sprężyste.

Do opisu zależności pomiędzy właściwościami mechanicznymi a teksturą żywności oraz prognozowania wybranych parametrów procesów jej przetwarzania można wykorzystać

pomiary reologiczne oraz modele reologiczne. Reologia żywności jest bardzo ważna dla obszaru technologii żywności, ponieważ umożliwia charakterystykę fizyczną produktów żywnościowych, tworzenie nowych produktów, ocenę sensoryczną żywności i kontrolę jakości produktu końcowego oraz procesu jego produkcji. Spośród siedmiu wyzwań stawianych przed reologią żywności przez Engmanna (2012) kluczowym jest określenie zależności pomiędzy właściwościami reologicznymi zależnymi od czasu a teksturą żywności, mechaniką ciał stałych i mechaniką pękania.

Mając powyższe fakty na uwadze, tematyka rozprawy związana z badaniem wpływu parametrów fizycznych ziarna pszenicy na relaksację naprężeń i parametry procesu rozdrabniania oraz prognozowanie parametrów obu wyżej wymienionych procesów jest w pełni uzasadniona. Zakres przeprowadzonych badań eksperymentalnych był rozległy. Obiektem badań było ziarno pszenicy reprezentowane przez cztery odmiany różniące się twardością bielma oraz modelowaną wilgotnością (7 poziomów). Doktorant zastosował test jednoosiowego ściskania do modelowania obciążenia początkowego (4 poziomy). Jako odpowiedź, rejestrował przebieg zjawiska relaksacji naprężeń w pojedynczym ziarniaku i opisywał go przy użyciu wybranych modeli reologicznych. Znaczenie aplikacyjne zjawiska relaksacji Doktorant zweryfikował określając związki pomiędzy parametrami reologicznymi a efektywnością technologiczną procesu rozdrabniania, kluczowego zabiegu w przetwórstwie zbóż. Próbę prognozowania parametrów procesu rozdrabniania z użyciem modeli reologicznych uznaję za nowatorski element rozprawy doktorskiej mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee.

Ocena merytoryczna rozprawy

We wstępie Doktorant podkreślił duże znaczenie pomiarów i modeli reologicznych w obszarze technologii zbóż oraz zasygnalizował główne problemy badawcze, które należy rozwiązać.

Struktura „Przeglądu piśmiennictwa” zaproponowana przez Doktoranta wydaje się w pełni uzasadniona. Został on podzielony na trzy podrozdziały. W podrozdziale 2.1 Doktorant omówił wybrane metody eksperymentalne (test pelzania) oraz modele teoretyczne (model Maxwella, Kelvina-Voigta, Zenera, Maxwella-Wiecherta i Pelega-Normanda) stosowane w reologii. Następnie Doktorant przedstawił krótki przegląd literatury dotyczący zastosowania modeli Pelega-Normanda oraz Maxwella w badaniu żywności. Omówił również wpływ warunków pomiarów tj. wilgotności, początkowego obciążenia, szybkości ściskania oraz czasu pomiaru na charakterystykę reologiczną próbki.

W podrozdziale 2.2 Doktorant scharakteryzował wydajność rozdrabniania, mechanizm pękania oraz czynniki mechaniczne mające wpływ na proces rozdrabniania.

W ostatnim podrozdziale (2.3) przeglądu literatury Doktorant omówił budowę anatomiczną ziarniaka pszenicy, jego własności mechaniczne i podatność na rozdrabnianie oraz proces przemiatu pszenicy i czynniki wpływające na ten proces.

Podsumowując przegląd literatury, Doktorant scharakteryzował w wystarczającym stopniu zagadnienia dotyczące podstaw teoretycznych modeli reologicznych wykorzystanych w przedstawionych badaniach. Wskazał również zagadnienia, które w niewystarczającym stopniu były dotychczas przebadane, tj. możliwości wykorzystania mechanicznych analogów stosowanych do opisu zjawiska relaksacji w badaniach nad reakcją ziarna zbóż na obciążenie,

oraz możliwości zastosowania pomiarów reologicznych do analizy procesów przetwarzania np. procesu rozdrabniania. Stały się one przyczynkiem do podjęcia przez Doktoranta badań, których cel i zakres został opisany w odrębnym, trzecim rozdziale.

W sposób przejrzysty i zwięzły, Doktorant sformułował cel badań oraz pięć celów szczegółowych. Celem głównym przeprowadzonych badań było określenie wpływu własności reologicznych materiału na proces rozdrabniania. Natomiast cele szczegółowe to:

- 1). Określenie charakterystyk relaksacyjnych dla ziarna pszenicy różniącego się twardością bielma i poziomem wilgotności.
- 2). Określenie przebiegu relaksacji naprężeń w ziarniaku pszenicy w zależności od zastosowanego obciążenia i czasu relaksacji.
- 3). Określenie wpływu odmiany pszenicy i wilgotności ziarna na efektywność procesu rozdrabniania.
- 4). Określenie wpływu rozmiaru otworów sita w laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym na proces rozdrabniania oraz na dokładność predykcji efektywności tego procesu.

W rozdziale czwartym, Doktorant scharakteryzował materiał badawczy i zastosowane metody badań. Obiektem badań były cztery odmiany pszenicy – dwie odmiany miękkie (Zawisza i Wydma) i dwie odmiany twarde – odmiana SMH87 oraz odmiana otrzymana z firmy Lubella.

Metodyka badań została zaplanowana przez Doktoranta w sposób poprawny umożliwiając osiągnięcie założonych celów badawczych. Wykazał się on dużą pracowitością realizując trzy eksperymenty. W pierwszym z nich, Doktorant scharakteryzował własności fizyczne ziarna pszenicy tj. gęstość nasypową, utrzęsioną gęstość nasypową i masę 1000 ziaren, oraz jego skład chemiczny – zawartość białka, skrobi i glutenu mokrego oraz wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego. Drugi eksperyment przeprowadzony przed Doktoranta dotyczył badania oraz modelowania relaksacji naprężeń w ziarnie pszenicy. Do badania relaksacji naprężeń zastosowano wspomniane wyżej cztery odmiany ziarna pszenicy o 7 poziomach wilgotności (8% - 20%), cztery wartości obciążenia początkowego mieszczące się w przedziale (20 – 50) N, oraz 10 różnych czasów relaksacji, z których najkrótszy wynosił 10 s, najdłuższy 300 s. W badaniach modelowych wykorzystano dwa modele reologiczne – model Pelega-Normanda oraz uogólniony model Maxwella z 3, 5 i 7 elementami. Trzeci eksperyment dotyczył procesu rozdrabniania ziarna pszenicy. W tym eksperymencie Doktorant również wykorzystał cztery odmiany pszenicy charakteryzujące się 7 poziomami wilgotności (8% - 20%). W laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym zastosowano trzy sita o różnej średnicy otworów – 1.5, 2.0 i 3.0 mm. Natomiast do oszacowania średniej wielkości cząstek i powierzchni właściwej materiału rozdrobnionego wykorzystano metodę dyfrakcji laserowej. Określono również następujące parametry procesu rozdrabniania: zużycie energii podczas procesu rozdrabniania ziarna pszenicy (E_{sp}), średnicę (P_s) i powierzchnię właściwą cząstek (S_{sp}) oraz wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie (GA). Otrzymane wyniki zostały poddane analizie statystycznej.

Rozdział piąty „Wyniki badań i dyskusja” Doktorant podzielił na cztery podrozdziały. Przyjęty sposób prezentacji wyników jest właściwy i czytelny. Część prezentowanych danych, zarówno na wykresach jak i w tabelach, nie zostały oszacowane pod względem dokładności pomiaru (odchylenia standardowego) i istotności różnic pomiędzy średnimi (test Tukeya).

Otrzymane wyniki własnych badań Doktorant zinterpretował w sposób prawidłowy, jednakże nie skonfrontował ich w sposób wystarczający z danymi literaturowymi.

W pierwszym podrozdziale (5.1) Doktorant scharakteryzował krótko właściwości fizyczne oraz skład chemiczny użytego w badaniach ziarna pszenicy czterech odmian.

W podrozdziale 5.2 Doktorant zaprezentował wyniki badań opisujące przebieg zjawiska relaksacji naprężeń w badanym ziarnie pszenicy. Określił on wpływ wilgotności, obciążenia oraz odmiany pszenicy na odkształcenie początkowe (L_0) oraz początkową pracę w czasie testu ściskania (W_0). Doktorant pokazał, że wszystkie trzy wyżej wymienione parametry znacząco wpływają na wielkości L_0 i W_0 . Druga część tego podrozdziału dotyczy wykorzystania modeli Pelega – Normanda oraz uogólnionego modelu Maxwella z 3, 5 i 7 elementami. Wykorzystując model Pelega – Normanda Doktorant badał wpływ wilgotności, obciążenia początkowego i odmiany pszenicy na spadek siły ($Y(t)$) oraz współczynniki k_1 i k_2 określające odpowiednio odwrotność początkowego spadku siły i hipotetyczną wartość asymptotycznej siły znormalizowanej. Przedstawione wyniki modelownia wskazują, że na spadek siły znacząco wpływają wilgotność, obciążenie i odmiana. Jeżeli chodzi o współczynniki k_1 i k_2 to ich wartości obniżały się wraz ze wzrastającą wilgotnością próbki. Zastosowane obciążenie w niewielkim stopniu wpływało na wartości współczynników k_1 i k_2 . Natomiast czas relaksacji powodował liniowy wzrost wartości współczynnika k_1 oraz spadek wartości współczynnika k_2 . Przedstawione wyniki dowodzą, że model Pelega – Normanda nie opisuje krzywych relaksacji ziarniaków pszenicy z dużą dokładnością. Doktorant badał również wpływ kombinacji odmiany i wilgotności na współczynniki k_1 i k_2 . Wyniki tych badań wskazują że wzrost wartości spadku siły jest wolniejszy w przypadku odmian twardych. Wykonał również analizę wpływu kombinacji czasu relaksacji i obciążenia na współczynniki k_1 i k_2 , który okazał się nieistotny statystycznie.

Drugim modelem, który Doktorant wykorzystał w swoich badaniach był uogólniony model Maxwella z różną liczbą elementów. Korzystając z tego modelu, Doktorant wyznaczył podobne zależności poszczególnych parametrów modelu (F_1 , F_2 , F_3 , F_c , a_1 , a_2 i a_3) od wilgotności, obciążenia, odmiany i czasu relaksacji. Każdy z tych czynników miał znaczący wpływ na poszczególne parametry 3-, 5- i 7-elementowego modelu. Natomiast w przypadku wpływu kombinacji czynników wilgotność – odmiana oraz obciążenie – czas relaksacji stwierdzono znaczący ich wpływ tylko na stałe a_1 , a_2 i a_3 dla modeli 5- i 7-elementowych.

W podrozdziale 5.3 Doktorant wykazał znaczący wpływ wilgotności ziarna, odmiany (twardości bielma) oraz wielkości otworów w zastosowanych sitach na parametry charakteryzujące efektywność procesu rozdrabniania tj. zużycie energii, średnią wielkość i powierzchnię cząstek oraz indeks GA. Wraz ze wzrostem wilgotności badanych próbek wzrosło zużycie energii oraz średnia wielkość cząstek. Natomiast spadek zanotowano w przypadku powierzchni cząstek oraz indeksu GA. Zaobserwowane zmiany w parametrach procesu rozdrabniania związane są ze wzrostem plastyczności ziarniaków przy wysokiej ich wilgotności. Analizując wpływ odmian, wzrostowi twardości bielma ziarna pszenicy towarzyszył wzrost zużycia energii i wielkości cząstek oraz spadek wartości ich powierzchni właściwej i indeksu GA. W przypadku zastosowania sit z otworami o różnej wielkości, stwierdzono spadek zużycia energii i powierzchni cząstek oraz wzrost średniej wielkości cząstek i indeksu GA dla sit posiadających otwory o większej średnicy.

W podrozdziale 5.4 Doktorant określił zależności pomiędzy współczynnikami modelu Pelega-Normanda i 3-, 5- i 7-elementowego uogólnionego modelu Maxwella a parametrami opisującymi proces rozdrabniania. Dla stałych modelu Pelega-Normanda i parametrów procesu rozdrabniania wyznaczono zależności regresyjne, które miały taką samą postać. Cztery analizowane parametry rozdrabniania (E_{sp} , P_s , S_{sp} i GA) aproksymowano jako sumę odwrotności współczynników modelu k_1 i k_2 . Doktorant wykazał ścisłą zależność pomiędzy współczynnikiem k_2 i parametrami procesu przemiału tj. jeżeli wartość k_2 wzrastała to obserwowano spadek wartości zużycia energii i wielkości cząstek oraz wzrost powierzchni właściwej i efektywności przemiału. Podsumowując, wysoka wartość współczynnika k_2 odzwierciedla większą zdolność bielma ziarniaka do rozpraszania naprężeń. Dla uogólnionych modeli Maxwella liniowe zależności zostały potwierdzone pomiędzy wszystkimi stałymi elementów sprężystych i parametrami rozdrabniania. Natomiast dla elementów lepkich wyznaczone liniowe relacje były mało istotne. Doktorant wyprowadził ostateczną formułę dla predykcji wartości wybranych parametrów rozdrabniania. Dla wszystkich trzech analizowanych modeli formuła zawierała tylko dwa takie same elementy: siłę rezydualną i stałą sprężystości dla elementu o najdłuższej skali czasowej spadku obciążenia. Nieznacznie wyższą dokładność przewidywania czterech parametrów rozdrabniania Doktorant otrzymał dla większych średnic otworów sita. Podsumowując, Doktorant uzyskał porównywalną dokładność prognozowania parametrów rozdrabniania dla wszystkich zastosowanych przez Niego modeli. Liczba elementów zastosowanych w uogólnionym modelu Maxwella również nie miała wpływu na dokładność prognozowania.

Rozprawa kończy się sformułowaniem przez Doktoranta 8 wniosków ogólnych, które ściśle wynikają z przeprowadzonych badań. Generalnie, ich treść jest dobrze wyartykułowana. Wnioski niosą cenne informacje pogłębiające aktualną wiedzę o prognozowaniu parametrów procesu rozdrabniania z użyciem modeli reologicznych. Wiedza z tego obszaru ma również wymiar praktyczny.

Uwagi krytyczne i redakcyjne

Przy czytaniu rozprawy doktorskiej nasuwają się pewne uwagi krytyczne oraz pytania, które można traktować jako sugestie o charakterze dyskusyjnym.

1. W rozdziałach „Wprowadzenie” oraz „Przegląd piśmiennictwa” Doktorant podkreśla wagę metody SKCS (*Single Kernel Characterization System*) dla pomiarów twardości pszenicy. Z jakiego powodu nie wykorzystano tej metody w badaniach przedstawionych w przedłożonej rozprawie doktorskiej? Dlaczego nie określono twardości badanego ziarna pszenicy, która jest kluczowym parametrem w procesie mielenia.
2. Rozdział 3 dotyczący celów przeprowadzonych badań nie powinien zawierać parametrów wykonywanych analiz. Powinny się one znaleźć w rozdziale dotyczącym metodyki badań.
3. W metodyce badań należałoby podać nazwę twardej odmiany pszenicy otrzymanej z firmy Lubella.
4. Analiza składu chemicznego ziarna pszenicy została wykonana w Centralnym Laboratorium Agroekologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Jednakże

w metodyce badań brakuje opisu procedury wykonanych analiz oraz nie podano norm według których te analizy zostały wykonane.

5. W podrozdziale 4.6 dotyczącym analizy statystycznej wyników nie zamieszczono opisu metod statystycznych wykorzystanych w analizie wyników.
6. W podrozdziale 5.1 Doktorant przedstawił charakterystykę fizyczną i chemiczną użytego w badaniach ziarna pszenicy. Jednakże charakterystyka ta nie została odniesiona do wyników dotyczących relaksacji naprężeń oraz procesu rozdrabniania. Jak wpływa zawartość białka, skrobi, glutenu mokrego oraz wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego na parametry otrzymane w wyniku badania relaksacji naprężeń i procesu rozdrabniania?
7. Wartości parametrów fizycznych i chemicznych przedstawione w tabelach 5.1 i 5.2 nie zostały poddane analizie statystycznej.
8. Rysunki 5.1 i 5.42 obrazują wpływ wilgotności na poziom odkształcenia początkowego pojedynczego ziarniaka pszenicy. Natomiast rys. 5.2 przedstawia zależność wilgotności ziarniaka od zastosowanego obciążenia. W podobny sposób zaprezentowane są wyniki dotyczące zmian parametru W_0 (patrz rys. 5.4 i 5.5). Jakiej odmiany były to ziarniaki?
9. W modelu Pelega-Normanda badano wpływ pojedynczych parametrów tj. wilgotności, obciążenia, odmiany i czasu relaksacji lub połączonych w pary wilgotność – obciążenie i odmiana – czas relaksacji na stałe modelu. Z jakiego powodu połączono w pary te konkretne parametry i dlaczego w tego rodzaju pary? Dlaczego nie określono łącznego wpływu wszystkich czterech parametrów na poszczególne współczynniki modelu? W celu wyznaczenia wpływu wszystkich czterech czynników na współczynniki modelu można zastosować statystyczne analizy wielowymiarowe tj. analiza składowych głównych lub analizę klasterową.
10. W podrozdziale 5.4 zastosowano metodę regresji do prognozowania wartości parametrów procesu przemiału. W tabelach 5.5, 5.6, 5.9, 5.10, 5.13, 5.14, 5.15, 5.17, 5.18 i 5.19 stopień dopasowania krzywych regresji wyrażono za pomocą współczynników R i R^2 . Z jakiego powodu w tej samej tabeli nie zastosowano jednej miary stopnia dopasowania.

W toku recenzji dostrzeżone zostały również błędy o charakterze redakcyjnym:

1. str. 28 – wyrazy użyte w tytule rozdziału 3 „Aim and objectives” w języku angielskim mają to samo znaczenie i są używane wymiennie. Poprawniej byłoby napisać „Scientific aim and detailed objectives”.
2. str. 29 – w nawiasie rozwinięto skrót nazwy CLA w języku polskim. Jeżeli rozprawa jest napisana w języku angielskim to nazwa laboratorium również powinna być podana w języku angielskim.
3. Str. 47, 9 wiersz od dołu, powinna być wartość 10.03, a nie 10.3.

Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując wykonaną recenzję należy podkreślić, że rozprawa doktorska mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego związanego z badaniem relaksacji naprężeń oraz procesu rozdrabniania ziarna pszenicy. W

tym celu Doktorant zaplanował i przeprowadził nowatorski eksperyment badawczy oraz właściwie zinterpretował otrzymane wyniki badań. Modele regresji zaproponowane przez Doktoranta pozwalają prognozować technologiczne wskaźniki efektywności procesu przemiału i mają duże znaczenie aplikacyjne. Ponadto wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w obszarze mechaniki ciał stałych i mechaniki pękania. Rozprawa mgr inż. Jawada Kadhima Zeyad Al Aridhee jest źródłem wartościowych danych wzbogacających wiedzę naukową i utylitarną z obszaru modelowania i predykcji procesu rozdrabniania ziarna zbóż. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter polemiczny i w niczym nie umniejszają wysokiej wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee pt. „Investigation and modelling of stress relaxation of wheat kernels in view of grinding prediction” („Badania i modelowanie relaksacji naprężeń ziarna pszenicy w aspekcie procesu rozdrabniania”) spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą o stopniach i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i na tej podstawie stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee do dalszej części przewodu doktorskiego.

Agnieszka Nawrocka