

dr hab. inż. Dariusz M. Stasiak
Katedra Technologii Surowców Pochodzenia Zwierzęcego
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**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*)**

Rozprawa doktorska została przygotowana na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie pod kierunkiem naukowym **dra hab. inż. Grzegorza Łysiaka** w Zakładzie Inżynierii Eksploatacji Maszyn.

Ocena doboru tematyki

Rośliny są podstawą wyżywienia ludzkości, a większość energii i białka spożywanego przez ludzi, a także hodowane zwierzęta pochodzi ze zbóż. Złożona i bardzo zróżnicowana struktura fizyczna i chemiczna układów biologicznych sprawia, że mimo pozornej prostoty niektórych operacji technologicznych w przetwórstwie spożywczym, rzeczywisty przebieg zjawisk oraz reakcji jest niezwykle skomplikowany i wciąż nie do końca poznany. Żywność jest konglomeratem substancji organicznych, mineralnych i wody pozostających w niestabilnych interakcjach. Dotychczas przebadane modele fizyczne zwykle dość dobrze opisują zachowanie ciał o nieskomplikowanym składzie chemicznym i strukturze. Jednak rzeczywiste zachowanie większości materiałów biologicznych pod działaniem sił mechanicznych znacząco odbiega od znanych modeli teoretycznych. Reologia ujawnia tu szerokie pole do eksploracji naukowej. Ziarniaki zbóż są przykładem materiału biologicznego, którego elementy struktury komórkowo-tkankowej wykazują znaczne zróżnicowanie cech wytrzymałości mechanicznej, a zatem i właściwości reologicznych, podatności na obciążenia, zdolności do dyssypacji i in. W materiałach o strukturze zbudowanej ze związków wielkocząsteczkowych występują liczne procesy, które determinują reakcję materiału na charakter oddziaływania mechanicznego, a zwłaszcza jego prędkość. W celu makroskopowej analizy właściwości lepkosprężystych ciał stałych wykonuje się pomiary reologiczne i opracowuje modele reologiczne będące kombinacją umownych elementów sprężystych i lepkich. Badanie właściwości reologicznych surowców spożywczych stanowi jedną z podstawowych metod oceny ich jakości w aspekcie projektowania i doskonalenia procesów technologicznych, produktów, bezpieczeństwa żywności i akceptacji konsumenckiej. Ta problematyka inicjuje szereg nowych problemów badawczych wymagających uwzględnienia czynników wynikających m.in. ze zmian w sferze biogospodarki, nowej wiedzy naukowej, innowacji technologicznych (w tym biotechnologicznych) i produktowych.

Doktorant podejmując tematykę dotyczącą badania zjawiska relaksacji naprężeń w ziarnie pszenicy w aspekcie rozdrabniania sprawił, że rozprawa dobrze wpisuje się w zidentyfikowane

realne potrzeby naukowe i aplikacyjne biogospodarki. Poszukując zależności między właściwościami ziarna określonymi metodą reometrii a parametrami procesu jego rozdrabniania zaplanował i zrealizował badania uwzględniając następujące czynniki:

- a) twardość ziarniaka determinowaną przez odmianę (4 odmiany),
- b) wilgotność ziarniaka (7 poziomów),
- c) wielkość obciążenia początkowego w teście reometrycznym (4 poziomy),
- d) wielkość otworów sita w rozdrabniaczu (3 poziomy).

Doktorant na podstawie danych zebranych w testach reometrycznych opisał przebieg relaksacji naprężeń w ziarniakach stosując wybrane modele reologiczne. To umożliwiło mu podjęcie poszukiwań zależności pomiędzy parametrami reologicznymi a parametrami charakteryzującymi proces rozdrabniania ziarna. Uzyskanie modeli matematycznych opisujących te zależności jest szczególnie cennym elementem rozprawy doktorskiej mgr inż. Jawada Kadhima Zejada Al Aridhee. Zaproponowana przez niego metoda postępowania umożliwia predykcję parametrów procesu rozdrabniania (np. w kontekście projektowania technologicznego) na podstawie znanych cech fizyko-chemicznych ziarniaków pszenicy.

Ocena formalna rozprawy

Rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim. Ma układ typowy dla opracowań o charakterze naukowym dokumentujących eksperyment badawczy. Manuskrypt liczy 161 stron, a jego główne rozdziały to: wstęp (2 strony), przegląd literatury (25 stron), cel i zadania (2 strony), materiał i metody badań (10 stron), wyniki badań i dyskusja (76 stron) oraz wnioski (3 strony). Do opracowania załączony został aneks (29 stron) z wynikami obliczeń statystycznych. Struktura podziału treści między rozdziały jest 4-poziomowa i adekwatna do potrzeb pracy. Objętość poszczególnych rozdziałów jest uzasadniona realnymi potrzebami merytorycznymi. Dokumentacja badań własnych (planowanie, realizacja i omówienie wyników eksperymentu) zajmuje niemal 69% dysertacji (bez aneksu). Manuskrypt zaopatrzone jest w spis treści na początku i spis piśmiennictwa na końcu pracy. Zawiera także streszczenie w języku angielskim i polskim. Kolejność rozdziałów i przyporządkowanie treści jest poprawne, uzasadnione potrzebą logicznego wyłożenia zagadnień, dowodzi prawidłowości toku postępowania przy rozwiązywaniu problemu badawczego.

Bibliografia załącznikowa liczy łącznie 161 pozycji, z czego 41% publikacji pochodzi z ostatniej dekady lat (tj. od 2007 r.) i pośrednio wskazuje na aktualność podjętej problematyki. W spisie występują niemal wyłącznie publikacje anglojęzyczne z renomowanych czasopism o zasięgu międzynarodowym. Doktorant zastosował harwardzki system przypisów w treści. Wykorzystanie bogatej literatury przedmiotu i dobór omawianych zagadnień bardzo dobrze odpowiadają podjętej tematyce badawczej.

Praca napisana jest poprawnym językowym stylem naukowym. Specyficzna terminologia stosowana jest oszczędnie i zwykle uzupełniana o wyjaśnienia. Myśli wyrażane są w sposób precyzyjny, przejrzysty i są zrozumiałe dla czytelnika zwykle tworząc ciąg obejmujący tezę, argumentację i konkluzję.

Dość bogaty materiał ilustracyjny rozprawy obejmuje 78 rycin, z których znaczna część to złożone wykresy towarzyszące omówieniu wyników. W rozdziale „Results and discussion” Dok-

torant zamieścił 19 tabel z wynikami oraz dodatkowo 53 tabele w części „Annex”. Tytuły rycin i tabel są formułowane prawidłowo i odpowiadają prezentowanym informacjom. Materiał ilustracyjny jest adekwatny do treści, prawidłowo dobrany i wykorzystany. Stwierdzam, że pod względem technicznym Doktorant przygotował dysertację na zadowalającym poziomie.

Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant we wstępie do dysertacji zwięźle wyjaśnia motywy podjęcia tematyki zwracając uwagę czytelnika na znaczenie reometrii w modelowaniu właściwości materiałów. Podkreślając obiektywne trudności w stosowaniu modeli reologicznych do opisu złożonych struktur komórkowo-tkankowych wskazuje potencjalne kierunki eksploracji naukowo-badawczej.

Przegląd literatury Doktorant rozpoczyna od wprowadzenia w zagadnienia reologii (rozdział 2.1). Na wstępie omawia zjawisko relaksacji naprężeń i pełzania materiałów. Następnie dokonuje przeglądu podstawowych modeli reologicznych, tj. Maxwella, Kelvina-Voigta, Zenera, Maxwella-Wiecherta oraz Pelega-Normanda. Nieco więcej uwagi poświęca modelom Maxwella i Pelega-Normada załączając przegląd literatury w aspekcie wykorzystania ich do opisu właściwości reologicznych żywności. Następnie charakteryzuje wpływ wilgotności, wielkości obciążenia początkowego, szybkości obciążania i czasu jego trwania na parametry modeli reologicznych. Kolejne dwa podrozdziały (2.2 i 2.3) przeglądu literatury Doktorant poświęca zagadnieniom rozdrabniania. Na wstępie zwraca uwagę na niejakie trudności definicyjne dotyczące efektywności rozdrabniania. W dalszej części omawia znaczenie właściwości mechanicznych materiałów dla prowadzenia tego procesu. Charakteryzuje budowę anatomiczną i właściwości ziarniaka pszenicy oraz czynniki oddziałujące na przebieg (parametry) procesu przemiału.

Przegląd literatury przedstawiony przez Doktoranta argumentuje tematykę dysertacji. Zawiera treści, które tworzą logiczny ciąg prowadzący czytelnika przez: teorię modeli reologicznych, przegląd czynników wpływających na właściwości reologiczne materiałów, omówienie procesu rozdrabniania, jego czynników i efektów. Doktorant przy tym dostrzegł szereg wątków badawczych o niewystarczającym stopniu poznania, zwłaszcza potrzebę interpretacji reologicznej zjawisk deformacji i pęknięcia ziarniaka pszenicy podczas rozdrabniania.

Przegląd literatury dał Doktorantowi asumpt do sformułowania ogólnego celu pracy, jakim były badania nad wpływem właściwości reologicznych ziarniaka pszenicy na proces rozdrabniania. Realizacja tak sformułowanego celu ma doprowadzić do ustalenia zależności między przebiegiem relaksacji a parametrami rozdrabniania ziarna, a także pomóc lepiej wyjaśnić i zrozumieć interakcję maszyny (rozdrabniacza bijakowego) z surowcem podczas procesu rozdrabniania. Do celu głównego Doktorant przyporządkowuje pięć zadań polegających na:

- 1) określeniu charakterystyk relaksacji naprężeń mechanicznych w ziarnie pszenicy o zróżnicowanej twardości bielma i wilgotności,
- 2) wyznaczeniu charakterystyk relaksacyjnych przy zastosowaniu różnych poziomów obciążenia mechanicznego i czasu relaksacji,
- 3) modelowaniu krzywych relaksacji,
- 4) określeniu wpływu twardości bielma i wilgotności ziarniaka na parametry rozdrabniania,
- 5) określeniu wpływu sita rozdrabniacza na proces i jakość predykcji efektów rozdrabniania.

Cel pracy sformułowany przez Doktoranta powiązany jest z hipotezami zamieszczonymi w wstępie do pracy twierdzących, że pomiary reometryczne dają praktyczną możliwość przewidywania efektów rozdrabniania. Jest zwięzły i zrozumiały, swym zakresem odpowiada tematowi pracy i umożliwia jego efektywną realizację.

Rozdział czwarty dysertacji poświęcony został omówieniu materiału badawczego i metod badań. Doktorant przeprowadził badania z wykorzystaniem ziarna czterech odmian pszenicy – dwóch miękkich (Zawisza i Wydma) oraz dwóch twardych (SMH87 i odmiana nieokreślona identyfikowana przez dostawcę – Lubella). Taki wybór materiału do badań zapewnił dostateczne wstępne zróżnicowanie składu chemicznego. Opis metodyk obejmuje pomiar gęstości i badanie składu chemicznego ziarna, a w tym zawartości białka, skrobi, glutenu mokrego i indeksu Zeleny'ego. Uwzględnia także metodę standaryzacji wilgotności ziarniaków na siedmiu poziomach w zakresie 8-20%.

Zasadniczą część badań Doktorant podzielił na dwa etapy (eksperymenty), których układ zilustrował schematami (fig. 4.3 i 4.7). Pierwszy z nich dotyczył zadań 1-3 wymienionych w rozdziale 3. Obejmował badania i modelowanie relaksacji naprężeń w ziarniakach pszenicy różnych odmian o różnej wilgotności w zależności od wielkości obciążenia (20, 30, 40 i 50 N) i długości okresu relaksacji (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240 i 300 s). Do modelowania Doktorant zaplanował użycie modelu Pelega-Normanda i uogólnionego modelu Maxwella 3-, 5- i 7-elementowego. Drugi eksperyment (etap) dotyczył zadań 4-5 z rozdziału 3. Polegał na rozdrabnianiu ziarna pszenicy różnych odmian o różnej wilgotności przy użyciu rozdrabniacza bijakowego z wymiennymi sitami (1,5, 2,0 i 3,0 mm). Planując badania Doktorant opisał metody badań umożliwiające określenie: zapotrzebowania energii, wielkości cząstek, ich powierzchni właściwej (metoda dyfrakcji laserowej) oraz wskaźnika podatności ziarna na rozdrabnianie. Dobór metod badań i instrumentarium badawczego jest poprawny ze względu na podjęty temat. Zapewnia efektywną realizację celów badawczych i zdefiniowanych zadań.

Zasadniczą część dysertacji stanowi 5. rozdział, którego celem jest omówienie wyników badań i dyskusja. Składa się z czterech podrozdziałów tematami kolejno nawiązujących do zadań badawczych określonych w 3. rozdziale: podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne ziarniaków, właściwości mechaniczne i reologiczne, procesu rozdrabniania, wzajemna zależność parametrów reologicznych i parametrów rozdrabniania. Taki podział treści odpowiada schematom eksperymentów przedstawionym w rozdziale 4. Uzyskane dane Doktorant prezentuje w formie tabel i wykresów kolumnowych, liniowych, punktowych i ich kombinacji.

Podrozdział 5.1 w dość lapidarnie charakteryzuje wejściowe właściwości fizyczne i chemiczne materiału badawczego. W pierwszej części podrozdziału 5.2 Doktorant opisuje wielkość początkowej deformacji (L_0) ziarniaków pszenicy w zależności od takich czynników jak: odmiana, wilgotność i wielkość obciążenia. Stwierdza, że znaczący wzrost wielkości odkształcenia występuje przy wilgotności 14% i powyżej. Potwierdza oczywiste fakty, iż rosnąca wielkość obciążenia wywołuje wzrost wielkości odkształcenia. Podobne zależności funkcyjne wykazuje omawiając wyniki badania pracy początkowej (W_0) w teście ściskania ziarniaka. W następnej kolejności Doktorant bada przy użyciu modelu Pelega-Normanda wpływ odmiany, wilgotności i obciążenia początkowego na wielkość parametru $Y(t)$ i współczynników k_1 oraz k_2 równania mo-

delu. Przeprowadzona przez niego analiza danych wykazała, że wszystkie czynniki modyfikują ww. parametr i współczynniki, przy czym wraz wzrost wilgotności powoduje obniżenie ich wartości, natomiast odmiany twarde pszenicy mają wartości wyższe niż odmiany miękkie. Wraz ze wzrostem długości okresu relaksacji naprężeń wartości współczynników k_1 rosły, zaś k_2 – malały. Na podstawie otrzymanych wyników Doktorant słusznie zauważa, że model Pelega-Normanda jest mało dokładny w opisie relaksacji ziarniaków pszenicy. Przy czym najmniejsze błędy aproksymacji uzyskiwał dla najdłuższego czasu relaksacji. Zastosowanie uogólnionego 3-, 5- i 7-elementowego modelu Maxwella do opisu zjawiska relaksacji w ziarniaku pszenicy wykazało, że każdy z badanych czynników, tj. odmiana, wilgotność, obciążenie wstępne i czas relaksacji znacząco oddziaływał na wielkość parametrów modelu, tj. F_c , F_1 , F_2 , F_3 , a_1 , a_2 , a_3 niezależnie od liczby jego elementów. Kombinacje wyżej wymienionych czynników oddziaływały na parametry a_1 , a_2 , a_3 modelu 5- i 7-elementowego.

Wyniki badań wpływu czynników takich jak; odmiana pszenicy, wilgotność ziarna i wielkość sita na parametry charakteryzujące proces rozdrabniania Doktorant omówił w podrozdziale 5.3. Przeanalizował zmienność parametrów takich jak: jednostkowe zapotrzebowanie energii, wielkość i powierzchnię cząstek oraz wskaźnik (indeks) GA. Stwierdził, że wraz ze wzrostem wilgotności rosło zapotrzebowanie energii i wielkość cząstek, natomiast malała ich powierzchnia i wskaźnik GA. Zależność analogiczną do powyższej Doktorant zaobserwował także w odniesieniu do wzrostu twardości ziarna. Zwiększenie wielkości otworów sita w rozdrabniaczu wywoływało obniżenie jednostkowego zapotrzebowania energii na rozdrabnianie i zmniejszenie powierzchni cząstek, ale równocześnie występowało zwiększenie wielkości cząstek i indeksu GA. Takie informacje mają konkretny wymiar praktyczny w aspekcie projektowania aparatury i procesów technologicznych w przemyśle spożywczym.

Podrozdział 5.4 jest swego rodzaju zwornikiem łączącym wyniki z pomiarów reometrycznych i badań procesu rozdrabniania. Doktorant poszukuje w nim zależności pomiędzy współczynnikami badanych modeli reologicznych opisujących relaksację ziarniaka a parametrami charakteryzującymi proces jego rozdrabniania. W tym celu wyznacza wartości współczynnika korelacji pomiędzy parametrami modelu Peleg-Normanda (k_1 , k_2 , $Y(t)$) i parametrami opisującymi proces rozdrabniania (energia jednostkowa, wielkość i powierzchnia cząstek, indeks GA) uzyskując statystyczną istotność we wszystkich przypadkach. Próby opisu regresji za pomocą wielomianu trzeciego stopnia wykazały zróżnicowaną jego przydatność, dlatego Doktorant zaproponował inną zależność funkcyjną, w której występuje suma odwrotności współczynników k_1 i k_2 z równania modelu Pelega-Normanda. Poddaje wnikliwej analizie zależność parametrów opisujących proces rozdrabniania i współczynników modelu, a także zakresy ich zmienności dochodząc do licznych wniosków o znaczeniu praktycznym. Między innymi stwierdza, że wyznaczony model nadaje się do obliczania parametrów rozdrabniania ziarniaków różnych odmian pszenicy. W analizie dotyczącej uogólnionego modelu Maxwella Doktorant przyjął podobną do powyższej procedurę postępowania – wyznaczył współczynniki korelacji parametrów opisujących proces rozdrabniania i parametrów (F_c , F_{1-3} , a_{1-3}) odnoszących się odpowiednio do modelu 3-, 5- lub 7-elementowego. Między innymi zidentyfikował szczególnie niską, niejednokrotnie nieistotną statystycznie wartość korelacji współczynnika a_{1-3} . Wyższa wartość korelacji dotyczy-

ła stałej sprężystości i parametrów rozdrabniania, przy czym zidentyfikowano słabą zależność składowej opisującej lepkość. Ostateczny wzór jest podobny dla wszystkich trzech wariantów modelu Maxwella i zawiera dwa wyrazy o podobnym udziale w wyjaśnieniu wariancji. Jako że stałe a i b przyjmują wartości ujemne to zapotrzebowanie energii do rozdrabniania maleje wraz ze zmniejszaniem wartości sił F_1 i F_c . Doktorant słusznie stwierdza, że modele Peleg-Normanda i trzelementowy model Maxwella sprawdzają się w przypadku różnej średnicy otworów sita. Konkludując stawia uzasadnioną tezę, że dokładność predykcji parametrów rozdrabniania na podstawie badanych modeli jest porównywalna, a liczba występujących elementów nie miała istotnego wpływu na dokładność prognozowania. Należy podkreślić, że argumentacja prowadzona przez Doktoranta w rozdziale 5. jest konsekwentna i systematyczna, jakkolwiek dyskusja wyników jest nazbyt lapidarna. Instrumentarium wykorzystane w analizie danych świadczy o dobrym opanowaniu przez Doktoranta warsztatu związanego z modelowaniem reologicznym.

Na podstawie przedstawionych wyników badań Doktorant sformułował 8 wniosków, które kolejno podsumowują wątki omawiane w rozdziale poprzedzającym. Pod względem merytorycznym są prawidłowe, ale zarazem są nazbyt obszerne, drobiazgowo (np. w wyjaśnianiu zależności). Z tego czytelność przekazu treści we wnioskach jest osłabiona. Niemniej są one cenną syntezą nowej wiedzy na temat modelowania relaksacji naprężeń w ziarniaku pszenicy w aspekcie procesu rozdrabniania.

Uwagi krytyczne i redakcyjne

1. W dysertacji nie ma jasno wskazanej hipotezy głównej. Proszę Doktoranta o sformułowanie i przedstawienie hipotezy głównej do tematu pracy.
2. Proszę dookreślić odmianę pszenicy, której ziarno zostało pozyskane z zakładu „Lubella”.
3. Proszę uszczegółowić opis metod badania składu chemicznego (rozdz. 4.2.4), a zwłaszcza sposób określenia zawartości białka, skrobi, wilgotnego glutenu i indeksu Zeleny’ego.
4. Opis metody statystycznej analizy danych (rozdz. 4.6) jest zbyt lapidarny. Proszę wymienić metody statystyczne wykorzystane do przygotowania pracy doktorskiej.
5. Proszę zweryfikować wyniki obliczeń ze względu na cyfry znaczące. Ile cyfr znaczących należy podawać ze względu na dokładność danych? Ile wynosi błąd wartości siły podczas obciążenia ziarniaka?
6. Jaki był cel oznaczenia w ziarnie zawartości białka, skrobi, glutenu wilgotnego, indeksu Zeleny’ego, jeśli parametry te nie uczestniczyły w modelowaniu?
7. Należy usunąć podwójne akapitowanie (tj. wcięcie i dodatkowy odstęp między akapitami). Podobnie drobnym uchybieniem jest pominięcie strony VI w manuskrypcie.
8. Pracę należy zaopatrzyć w indeks używanych skrótów, oznaczeń i symboli oraz spis ilustracji i tabel.
9. Należy użyć bardziej adekwatnego źródła informacji niż Wikipedia (s.3 w.6).
10. Stosowanie notacji wzorów z użyciem „exp” (np. wz. 2.9 i 2.10) może być niejednoznaczne (np. C_{exp} we wz. 2.9; wz. 4.6-4.8). Dlatego proszę zweryfikować zapis wzorów wprowadzając notację naturalną.
11. Co oznaczają symbole literowe na wykresach (np. fig. 5.1a)? Co reprezentują linie pomiędzy punktami na wykresach (np. fig. 5.4a)?

12. Należy uzupełnić oznaczenia poszczególnych wykresów zamieszczanych w grupach (np. 4 nieoznaczone wykresy na fig. 5.17).
13. Należy poprawić czytelność wykresów (np. fig. 5.14) – dotyczy to wąskich i nakładających się kolumn, dużej ich liczby, nakładania się wykresów (linie i kolumny), zbyt małej wielkości itp. mankamentów.

W podsumowaniu oceny rozprawy stwierdzam, że jest ona oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego dotyczącego relaksacji naprężeń w aspekcie rozdrabniania ziarniaków pszenicy. Doktorant zaplanował złożony układ badań, dobrał metody, zrealizował badania i opracował obszerny zbiór danych prawidłowo je interpretując z wykorzystaniem złożonego instrumentarium. Otrzymane przez mgra inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee wyniki (modele) mają znaczenie naukowe, gdyż poszerzają wiedzę naukową, i praktyczne ze względu na potencjał aplikacyjny pozwalający na predykcję parametrów rozdrabniania ziarna pszenicy.

Uważam, że rozprawa doktorska 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)*, przygotowana przez mgra inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee pod kierunkiem dra hab. Grzegorza Łysiaka odpowiada warunkom określonym w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.).

Na tej podstawie przedkładam Wysokiej Radzie Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie wniosek o **dopuszczenie mgra inż. Jawada Kadhima Zeyada Al Aridhee do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**


Dariusz M. Stasiek

