

Skierniewice, 23 sierpnia 2023 r.

Prof. dr hab. Dorota Konopacka
Zakład Przechowalnictwa
i Przetwórstwa Owoców i Warzyw
Instytut Ogrodnictwa – PIB
Skierniewice

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Słupskiej
pt. „**Modelowanie mechanicznych uszkodzeń jabłek metodą elementów skończonych w oparciu o mikromechaniczne właściwości tkanek**”

wykonanej na Wydziale Przyrodniczo-Technologicznym
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu
w Instytucie Inżynierii Rolniczej,
pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Romana Stopy, profesora uczelni
i drugiego promotora dr. hab. Jarosława Proćków, profesora uczelni

Recenzja przygotowana na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 27 czerwca 2023 r.

Uzasadnienie dla wyboru tematyki badań

Metodologia pomiarów właściwości mechanicznych biomateriałów to tematyka badawcza, która pomimo bardzo wielu opracowań na przestrzeni lat, wciąż pozostawia niedosyt w odpowiedzi na pytanie w jaki sposób prawidłowo mierzyć, monitorować, a tym bardziej przewidywać odkształcenia tkanki pod wpływem zadawanych obciążeń. Pytanie to pozostaje wciąż aktualne w kontekście wyzwań dla współczesnego społeczeństwa, wśród których należy wymienić przeciwdziałanie marnotrawieniu żywności, zmniejszenie energochłonności i efektywności procesów przetwórczych, czy wreszcie zapewnienie dostępu społeczeństwu do produktów żywnościowych wysokiej jakości. Jednym z biomateriałów, o dużym znaczeniu gospodarczym i żywieniowym, a jednocześnie niezwykle podatnym na uszkodzenia są jabłka. To właśnie ten surowiec do swoich dociekań naukowych wybrała Doktorantka. Pomimo tego, że owoc tego gatunku można uznać wręcz za modelowy obiekt badań wytrzymałościowych, w literaturze wciąż nie ma wystarczająco uniwersalnej metodologii, która w przewidywaniu



reakcji tkanki owoców na działanie sił zewnętrznych wskazywałaby miejsce na uwzględnienie zmienności odmianowej, stanu dojrzałości czy też innych wskaźników jakościowych decydujących o wielkości trwałych uszkodzeń czy też, co równie istotne, odkształceń w zakresie sprężystym. Tym samym wybór tematu rozprawy doktorskiej postrzegam jako celowy, a równocześnie jako bardzo ambitny.

Charakterystyka formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma formę monografii o strukturze zasadniczo charakterystycznej dla dysertacji opartych na danych eksperymentalnych. Tytuł pracy jest zgodny z przedstawionym zakresem prac badawczych. Początkowa część rozprawy ma układ klasyczny, w którym po rozdziałach ‘Wstęp’ i ‘Przegląd literatury’ następuje część artykułująca ‘Problem badawczy i hipotezy badawcze’ oraz ‘Cel pracy’. Kolejny rozdział ‘Materiały i metody badań doświadczalnych’ poświęcony zagadnieniom metodycznym zapoznaje czytelnika z zakresem i sposobem przeprowadzonych prac eksperymentalnych i analiz, w tym prezentuje podejście do budowanych modeli MES. Zaskoczeniem jednak jest fakt, że do rozdziału ‘Wyniki badań’ Doktorantka zaliczyła jedynie wyniki pomiarów fizykochemicznych i wytrzymałościowych tkanki jabłek. Wszystkie rozważania dotyczące tworzenia modeli oraz ich walidacji zostały opisane w oddzielnych rozdziałach, choć z punktu widzenia realizacji celów badawczych moim zdaniem powinny one stanowić podrozdziały części ‘Wyniki badań’, gdyż były podstawą do formułowania wniosków. W dysertacji został wydzielony osobny krótki rozdział ‘Dyskusja’, zaś końcową część pracy stanowią dwa rozdziały (1) podsumowujący uzyskane wyniki oraz (2) zawierający wnioski. Praca została przygotowana w formie maszynopisu książki i liczy 103 strony. W pracy zamieszczono 54 rysunki oraz 23 tabele. Praca posiada bibliografię liczącą 143 pozycje, w znaczącej części anglojęzyczną, aktualną i odpowiadającą omawianym i analizowanym zagadnieniom. Autorka wskazuje też 4 strony internetowe z których korzystała, które z powodzeniem można by zastąpić odniesieniem do źródeł literaturowych. Praca została zaopatrzona w streszczenie w języku polskim i angielskim, a także w spis rysunków i tabel. Praca została przygotowana starannie w sposób uporządkowany i czytelny oraz kompletny odpowiadając wymogom formalnym stawianym opracowaniom monograficznym.

Przedmiot i zakres rozprawy

Rozprawa ma charakter wielowątkowy i interdyscyplinarny i została zaplanowana jako sekwencja celowych działań, które miały doprowadzić do przedstawienia nowej procedury wykonania modeli dyskretnych 3D dla tkanki roślinnej na przykładzie jabłek w celu przewidywania ich uszkodzeń mechanicznych. Doktorantka analizując dostępną literaturę doszła do słusznego wniosku, że opracowania w tym zakresie nie są kompleksowe, a dostępne modele uwzględniają zwykle tylko niektóre czynniki warunkujące cechy wytrzymałościowe tkanki roślinnej. Również prezentowane w literaturze sposoby walidacji modeli dla układów biologicznych Doktorantka identyfikowała jako nieadekwatne dla badanej przez siebie matrycy, czyli dla owoców jabłoni, dla których jako źródło zmienności dla charakterystyki wytrzymałościowej wskazywała, zresztą również bardzo słusznie, zarówno zmienność odmianową, jak tę związaną ze stanem dojrzałości fizjologicznej owoców. To bardzo kompleksowe spojrzenie, które Doktorantka postanowiła zaimplementować do budowy i walidacji modeli sprawiło, że realizowany zakres pracy stał się bardzo obszerny i w konsekwencji ograniczył możliwości przeprowadzenia dogłębnej analizy i krytycznej dyskusji a także sformułowania prawidłowych i uzasadnionych wniosków w części poświęconej charakterystyce surowca. Zaznaczyć jednak należy, że ani charakterystyka jakościowa nowej polskiej odmiany jabłek 'Chopin', ani tym bardziej charakterystyka przechowalnicza tej odmiany nie była zasadniczym celem rozprawy, w związku z tym nadmiarowe w tym zakresie wnioski nie miały wpływu na poprawność tworzenia i walidacji modeli MES.

Przedstawiony w części teoretycznej przegląd literatury dobrze ilustruje aktualny stan wiedzy i trendy w zakresie badania i modelowania właściwości wytrzymałościowych surowców roślinnych, a w szczególności owoców i warzyw. Wszystkie poruszone zagadnienia zostały prawidłowo odniesione do przyjętego zakresu rozprawy potwierdzając dobrą orientację Doktorantki w stosowanych metodach badań wytrzymałościowych tkanki roślinnej, zarówno tych klasycznych jak i z wykorzystaniem aparatury badawczej najnowszej generacji. Pewne zastrzeżenia może jedynie budzić używanie w opisie budowy komórkowej jabłek nomenklatury wykorzystywanej w pracach o charakterze anatomiczno-cytologicznej zamiast słownictwa przyjętego w naukach ogrodniczych. Wykorzystanie w tej części opisów pomologicznych zamiast zaawansowanych opracowań botanicznych uporządkowałoby Doktorantce wiedzę na temat komórek roślinnych i ustrzegłoby przed nieprawidłowym użyciem określeń

zarezerwowanych jedynie dla komórek zwierzęcych oraz zapewne ograniczyłyby poszukiwanie uproszczonych opisów zjawisk na stronach internetowych, które co do zasady nie są źródłami recenzowanymi.

Przyjęta metodologia badań jest logiczna i prawidłowo dobrana, i w pełni pozwala na osiągnięcie założonego celu oraz weryfikacje postawionych hipotez. Wybrane do analizy cechy jakościowe jabłek odpowiadają zakresowi standardowo wykonywanych w tego typu badaniach. Muszę jednak zaznaczyć, że w aktualnych zaleceniach Dobrych Praktyk Przechowalniczych nie rekomenduje się już wyznaczania terminu zbioru owoców ziarnkowych na podstawie Indeksu Streifa. Ze względu na mało uniwersalny charakter tego wskaźnika, jedyną uznawaną obecnie metodą wyznaczania stanu fizjologicznej dojrzałości owoców jest oznaczenie intensywności oddychania metodą indukowanej produkcji etylenu.

Z punktu widzenia podjętej w pracy próby interpretowania wpływu stanu dojrzałości owoców na ich wytrzymałość bardziej celowe niż posługiwanie się Indexem Streifa byłoby włączenie do analiz chemicznych oznaczenia zawartości pektyn z podziałem na frakcje, gdyż dałoby to podstawę do rozważań nad wpływem rozkładu protopektyn na badane odkształcenia. Pozostając przy ocenie zastosowanych metod analitycznych, moje zastrzeżenie budzi brak w opisach poszczególnych oznaczeń sposobu kwantyfikowania uzyskiwanych wyników oraz danych dotyczących możliwości zweryfikowania zastosowanych analiz statystycznych, a także krytycznego odniesienia się do uzyskiwanych wartości. Dotyczy to w szczególności sposobu wyrażania kwasowości jabłek oraz zawartości pektyn. W obu tych przypadkach zastosowanie prawidłowych metod analitycznych doprowadziło niestety do uzyskania niewiarygodnych wartości liczbowych. Szczegółnej uwadze Doktorantki polecam dane liczbowe umieszczone w tabeli 3, które to dane przed ewentualną ich publikacją powinny być ponownie przeliczone, a opisy tabel skorygowane.

Z kolei dla pełnego zobrazowania wykonywanych testów wytrzymałościowych badanych owoców, w rozdziale 5.3.2. brakuje opisu sposobu preparowania z owoców epidermy oraz jej mocowania do głowicy pomiarowej w teście rozciągania. Moje zastrzeżenie budzi też użycie określenia sześcian dla wycinka tkanki miękkiszowej jabłka o podstawie kwadratu i wysokości stanowiącej 1,5 wymiaru podstawy (rozdział 5.3.1.). Proszę również o zweryfikowanie wartości natężenia prądu stosowanego w pomiarze wykonywanym w oznaczeniu opisanym w rozdziale 5.4.

Niewątpliwie za nowatorskie podejście do analizy wytrzymałościowej tkanki jabłek należy uznać wykorzystanie do oceny uszkodzeń zdjęć mikrotomograficznych i ich implementację do analizy badanych modeli w odniesieniu do stanu fizjologicznego badanej tkanki. Sprawne posługiwanie się przez Doktorantkę zaawansowanymi metodami obrazowania przestrzennego umożliwiło jej pogłębienie studiów nad właściwościami mechanicznymi biometrycy i przyczyniło się do zdobycia nowej wiedzy i jej udokumentowania. Należy je moim zdaniem uznać za wkład Doktorantki w rozwój metodologii perspektywicznej do prowadzenia badań w zakresie badania właściwości wytrzymałościowych materiałów biologicznych, będącym ważnym obszarem nauk rolniczych.

Kluczowe osiągnięcia i znaczenie uzyskanych wyników

Analizując zgodność założonych celów badawczych i postawionych hipotez stwierdzam, że Doktorantka w pełni zrealizowała swój plan badawczy. Wykorzystując szereg metod empirycznych dokonała pomiaru właściwości mechanicznych tkanki mięksiszowej jabłek znajdujących się w trzech różnych stadiach dojrzałości, zgromadziła własny zestaw danych, który następnie wykorzystwała do budowy adekwatnych modeli dyskretnych dla analizowanej biometrycy. Dysponując zgromadzonymi przez siebie danymi zwalidowała modele oparte na założeniu występowania w tkance jabłek właściwości sprężystych oraz sprężystoplastycznych, potwierdzając lepsze dopasowanie drugiego wariantu. Ponadto wykorzystując autorską metodę porównanie obrazów mikrotomograficznych uszkodzonych jabłek oraz warstw naprężeń Hubera-Misesa wygenerowanych w modelu dyskretnym wyznaczyła wartości naprężeń niszczących tkankę mięksiszową badanej odmiany jabłek 'Chopin', uwzględniając ich stan fizjologicznej dojrzałości. Tym samym wykazała, że metoda elementów skończonych może być wykorzystywana do modelowania uszkodzeń mechanicznych tkanki mięksiszowej jabłek.

Szkoda, że Doktorantka w rozdziale 'Dyskusja' nie poświęciła więcej uwagi porównaniu swoich modeli do rozwiązań proponowanych przez inne zespoły naukowe. Raczej ograniczona dyskusja w tym aspekcie dotyka jedynie sformułowań ogólnych, ukrywając faktyczne różnice i przewagi w zastosowanych metodach tworzenia i walidacji modeli w porównaniu do publikowanych dotychczas opracowań o zbliżonej tematyce. Ciekawym elementem dyskusji byłoby analiza diagnozująca wartość dodaną uzyskiwaną z modelu uwzględniającego zmienność biologiczną w porównaniu do informacji generowanej przez modele wykorzystujące mniejszą ilość danych wejściowych.

Spośród sformułowanych przez Doktorantkę wniosków za najbardziej wartościowy uważam wniosek czwarty. Jego treść wskazuje na prawidłowość założeń wprowadzonych do budowanych modeli. Przewaga lepszego dopasowania zaimplementowanych modułów sprężystoplastycznych niezależnie od stanu dojrzałości, wskazuje na poprawne odwzorowywanie reakcji obciążanej tkanki. Szkoda, że we wnioskach nie znalazło się także odniesienie do tendencji zwiększania się dopasowania modelu sprężystoplastycznego w miarę dojrzewania, a tak naprawdę przejrzenia, tkanki mięksiszowej. W mojej opinii jest to bardzo dobry prognostyk czułości wygenerowanych procedur.

Podsumowanie

Uzyskane przez Doktorantkę wyniki badań oraz obserwacje w zakresie możliwości doskonalenia procedury modelowania tkanki jabłek, a w perspektywie również innych surowców o budowie tkankowej, mają dużą wartość poznawczą w aspekcie obowiązujących trendów wymuszających automatyzację wielu operacji w sektorze rolno-spożywcym. Na uznanie zasługuje otwartość doktorantki w wykorzystywaniu najnowszych metod analitycznych i kompilowanie ich z metodami uznawanymi już za klasyczne w celu pozyskiwania nowej wiedzy. Dążenie do jak najlepszego odwzorowania procesów fizjologicznych i doskonalenie opisujących je modeli numerycznych to bez wątpienia właściwy kierunek postępu w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo.

Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Słupskiej pod tytułem „Modelowanie mechanicznych uszkodzeń jabłek metodą elementów skończonych w oparciu o mikromechaniczne właściwości tkanek” w mojej ocenie spełnia wymagania określone w art. 187 ust. 1-4 z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2018, poz. 1668 ze zm.). Na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego o dopuszczenie Autorki rozprawy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

