

prof. dr hab. inż. Krzysztof Gołacki
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Lublin, ul. Głęboka 28

Lublin 16.01.2014 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Piotra Pieczywka nt. „**Modelowanie właściwości mechanicznych tkanek roślinnych metodą elementów skończonych**”

Podstawa opracowania:

Pismo Dyrektora Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie z dnia 14.10.2013 r.

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Uszkodzenia mechaniczne owoców i warzyw powstające na wszystkich etapach łańcucha technologicznego począwszy od producenta a skończywszy na konsumencie stanowią istotny czynnik obniżania ich jakości. Główną przyczyną uszkodzeń są udary spowodowane spadkami oraz wibracjami maszyn i urządzeń transportowych. Według różnych raportów straty materialne producentów na skutek uszkodzeń owoców i warzyw w drodze do konsumenta sięgają nawet kilkudziesięciu procent. A przecież nie uwzględnia się tu innych negatywnych skutków uszkodzeń jak dostarczanie na rynek produktów o niższej jakości, czy zanieczyszczenie środowiska odpadami ze zniszczonych i gnijących materiałów biologicznych.

Od wielu dziesięcioleci problem zachowania odpowiedniej równowagi pomiędzy stopniem skomplikowania maszyn zbierających i przetwarzających surowiec biologiczny a akceptowanym poziomem strat tego materiału to główne zadanie naukowców, konstruktorów i ekonomistów rynku rolnego.

Temat przedstawionej do oceny rozprawy w pełni wpisuje się w ciąg prac nad poznaniem właściwości fizycznych materiałów roślinnych prowadzonych w celu minimalizacji strat jakościowych i ilościowych.

Stworzony model tkanki roślinnej pozwala przewidzieć jej właściwości mechaniczne na podstawie cech pojedynczych komórek tworzących specyficzną i mogącą zmieniać się pod wpływem zewnętrznego obciążenia lub poziomu turgoru mikrostrukturę.

Opracowanie modelu tkanki roślinnej uwzględniającego realną heterogeniczną budowę komórkową to kolejny ważny z naukowego punktu widzenia krok do poznania zachowania się roślinnych struktur tkankowych pod obciążeniem.

Wybór tematu uważam za prawidłowy i interesujący. Należy podkreślić, że podobnymi zagadnieniami zajmują się wiodące ośrodki naukowe na wszystkich kontynentach.

2. Ocena strony merytorycznej pracy oraz struktury podziału treści

Recenzowana rozprawa jest w równym stopniu pracą teoretyczną jak i eksperymentalną. Opracowanie liczy 87 stron (w tym spis treści i literatura) i zawiera materiał ilustracyjny w postaci 23 rysunków. Całość podzielona jest na 8 rozdziałów. Na początku zamieszczono wykaz ważniejszych oznaczeń używanych w pracy, natomiast zamyka rozprawę bardzo bogaty spis literatury obejmujący 122 pozycje.

Pod względem metodycznym całość opracowania można podzielić na wstęp (rozdział 1) część będącą przeglądem literatury z zakresu tematu (rozdział 2) oraz część o istotnym wkładzie własnym Autora zarówno w zakresie rozważań teoretycznych jak i wykonanych eksperymentów (rozdziały 4-7).

Rozdział 1 (Wstęp) zawiera krótkie uzasadnienie podjęcia tematu badań modelowych właściwości mechanicznych tkanki roślinnej traktowanej jako materiał dyskretny oraz zalety opracowanego w rozprawie modelu.

Rozdział 2 to ukierunkowany przegląd literatury oparty w większości na anglojęzycznych artykułach z ostatniego dziesięciolecia. Oprócz budowy i właściwości mechanicznych tkanek roślinnych oraz ścian komórkowych Autor omawia tu stan turgoru i mikrostrukturę tkanki. Cechy te stanowią elementy składowe dyskretnego modelu pojedynczych komórek oraz tkanek roślinnych. Do budowy modelu tkanki Autor zaproponował metodę elementów skończonych, której podstawy, założenia i zastosowania w badaniach biomateriałów przedstawił w kończącym rozdział 2 podrozdziale 2.6.

Należy stwierdzić, że przegląd literatury stanowiący około jednej czwartej objętości opracowania, ściśle i w całości podporządkowany został tematowi rozprawy. Uzasadnia on sformułowane w rozdziale 3 cele pracy. Wyjaśnia także konieczność przyjęcia pewnych założeń upraszczających podczas tworzenia modelu, a także wybór pojedynczej warstwy komórek jako materiału modelowego.

W rozdziale 4 Autor w wyczerpujący sposób opisuje zastosowane materiały i uzasadnia przyjętą metodykę badawczą. Na uwagę zasługuje zastosowany w pracy oryginalny sposób mocowania próbek w uchwytach mikrozrywarki oraz zwilżanie

Uzyskane wyniki analizy wrażliwości są zgodne z przewidywanym zachowaniem się modelu pojedynczej komórki lub tkanki o regularnej strukturze. Proporcje zmian wartości siły reakcji modelu tkanki w stosunku do zakresu zmian poszczególnych parametrów modelu wydają się być także zgodne z oczekiwaniem. Wyjątek stanowią tu wyniki analizy wrażliwości modelu ze względu na współczynnik Poissona, które wskazują, że im mniejsza jest wartość tego współczynnika tym wyższa wartość siły reakcji modelu na końcu testu.

Podczas obrony rozprawy chciałbym żeby Doktorant ustosunkował się do tej kwestii.

Choć analizę wrażliwości modelu (rozdział 5.3) można traktować jako jakościową walidację modelu Autor w pracy zamieścił rozdział 5.4 (Walidacja modelu), w którym użyte modele testował także pod kątem ilościowej zgodności symulacji z wynikami eksperymentów.

Na uwagę zasługuje porównanie charakterystyk wytrzymałościowych tkanek odwodnionych rzeczywistych i modelowych o regularnych i zbliżonych do rzeczywistych kształtach komórek oraz wyjaśnienie rozbieżności na bazie różnic w zachowaniu się tkanki regularnej i nieregularnej pod obciążeniem. Także ciekawe wyjaśnienie podaje Autor w przypadku stwierdzenia wzrostu wartości naprężenia uplastyczniającego wraz ze wzrostem turgoru. Występowanie zjawiska zagęszczania sieciowania biopolimerów, będących składnikami ściany komórkowej pod wpływem wysokiego stanu turgoru tkanki wydaje się być realne. Stwierdzono także przydatność modelu do wyznaczania parametru materiałowych ścian komórkowych szczególnie w odniesieniu do parametrów E_1 i E_2 .

Układ metodyczny pracy oraz strukturę podziału treści należy uznać za w pełni poprawną i odpowiadającą przyjętym przez Autora celom.

Wyniki przeglądu literatury światowej, zaproponowane w pracy badania modelowe i eksperymentalne oraz ich prawidłowa interpretacja pozwala na sformułowanie wniosków końcowych.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Opracowanie modelu opisującego właściwości mechaniczne tkanki roślinnej pod obciążeniem z uwzględnieniem jej unikatowej struktury komórkowej stanowi z pewnością walor poznawczy rozprawy.

Opracowanie algorytmu analizy obrazów mikroskopowych zawierające procedury ich segmentacji i parametryzacji mogą być użyte w przypadku innego rodzaju tkanek. Mają zatem charakter uniwersalny.

próbki odpowiednim roztworem manitolu w celu stabilizacji jej stanu turgoru. Podczas próby rozciągania punkt początkowy testu ustalony był indywidualnie dla każdej próbki co świadczy o rezygnacji z automatyzacji pomiarów i dbałości o ich dokładność. W konsekwencji analizowane w eksperymencie krzywe naprężenie-odkształcenie pozbawione były, jak sędzę, wstępnego nieliniowego odcinka wydłużania próbki bez istotnego przyrostu naprężenia.

W eksperymencie założono duży zakres odkształcenia względnego próbki tj. 25%. W tym zakresie wydłużenia obserwowano odkształcenia sprężyste próbki (0-10% zakresu odkształcenia) oraz plastyczne (10%-25%). Stąd też cały przebieg krzywej opisano pięcioma parametrami:

- odcinek odkształceń sprężystych charakteryzował moduł sprężystości podłużnej E_1 ,
- obszar odkształceń plastycznych naprężenie oraz odkształcenie na granicy plastyczności σ_{p1} , ϵ_{p1} ,
- moduł umocnienia plastycznego E_2 i
- naprężenie maksymalne przy odkształceniu granicznym σ_{max} .

Przyjęte parametry dobrze charakteryzowały cały przebieg krzywej w całym badanym zakresie odkształceń.

Rozdział 5 (Wyniki i dyskusja) jest podstawowym merytorycznie rozdziałem pracy, w którym Autor przedstawił kolejne etapy budowy obliczeniowego modelu MES. Aby zrealizować główny cel pracy polegający na utworzeniu numerycznego modelu tkanki (MES) uwzględniającego rzeczywistą strukturę komórkową, konieczne było opracowanie metody pozyskiwania jej obrazów umożliwiających matematyczną parametryzację pojedynczych komórek.

W podrozdziale 5.1 opisano szczegółowo kolejne kroki obróbki obrazu mikroskopowego aż do uzyskania czystego szkieletu komórkowego, który po parametryzacji został użyty do budowy geometrycznego modelu komórki i tkanki roślinnej.

Wybór trójkątnego elementu dyskretnego pierwszego rzędu oraz gęstości siatki poprzedziły testy wstępne. Podczas testów poszukiwano kompromisu pomiędzy osiągnięciem krótkiego czasu obliczeń a zachowaniem stabilności symulacji dla jak największej liczby przypadków. Algorytm obliczeń MES dla przyjętego trzyparametrowego modelu komórki składał się z siedmiu kroków, które zostały szczegółowo opisane w podrozdziale 5.2.1

Zaproponowany model poddano analizie wrażliwości w celu określenia wpływu wartości parametrów wejściowych na zmienność charakterystyki wyjściowej, którą była siła reakcji próbki w funkcji odkształcenia. Pod uwagę wzięto wpływ grubości ściany komórkowej, modułu sprężystości E_1 , współczynnika Poissona, wartości naprężenia uplastyczniającego oraz modułu umocnienia plastycznego E_2 .

Analiza wrażliwości modelu pozwoliła na zbadanie wpływu najistotniejszych czynników, w tym czynników niedostępnych pomiarowo jak współczynnik Poissona ścian komórkowych, na charakterystykę wytrzymałościową tkanki.

Niezwykle cenne są własności predykcyjne przedstawionego modelu w odniesieniu do wybranych cech materiałowych tkanek i ścian komórkowych.

Na uwagę zasługuje także wzorowo przeprowadzony przegląd literatury oraz liczne komentarze i wyjaśnienia Autora na każdym etapie pracy. Stąd też wartość merytoryczną pracy oceniam bardzo wysoko.

W szczególności, za istotny dorobek Doktoranta należy uznać następujące elementy rozprawy:

1. Opracowanie koncepcji oraz zbudowanie modelu tkanki z uwzględnieniem jej rzeczywistej heterogenicznej budowy.
2. Opracowanie metodyki i przeprowadzenie pomiarów charakterystyk wytrzymałościowych epidermy cebuli.
3. Opracowanie procedur analizy obrazów mikroskopowych w celu ich wykorzystania przy budowie modelu MES.
4. Wielostronna analiza otrzymanych wyników pochodzących z symulacji i eksperymentów doświadczalnych obejmująca także badanie wrażliwości modelu, jego walidację oraz możliwości predykcyjne.

Moim zdaniem praca nie posiada słabych stron.

Oczywiście można mieć inne zdanie co do wielu założeń poczynionych przez Autora. Jednak w większości przypadków były one czynione w celu skrócenia obliczeń do realnych rozmiarów. Są także założenia wynikające z braku wiedzy co do wartości pewnych parametrów lub braku możliwości ich pomiaru podczas eksperymentu jak np. grubość ściany komórkowej, czy jej współczynnik Poissona. Ważne jednak jest to, że Autor uzasadnia wszystkie poczynione założenia, a zatem jest w pełni świadomy ich konsekwencji (mam tu na myśli także założony zakres odkształceń aż do 25% trudny do wyobrażenia podczas jakichkolwiek operacji technologicznych).

Dziwi mnie także przyjęta koncepcja prezentacji wyników testu rozciągania w układzie siła w funkcji odkształcenia zamiast naprężenie w funkcji odkształcenia albo siła w funkcji przemieszczenia. Taka forma prezentacji wymaga każdorazowo podania przynajmniej początkowej wartości pola przekroju poprzecznego badanych próbek.

4. Podsumowanie

Przedłożona do recenzji rozprawa stanowi trudne zadanie badawcze, z którym aktualnie zmagają się wiele zespołów badawczych na całym świecie. Związane jest to

przede wszystkim z próba wyjaśnienia zachowania się pod obciążeniem tkanek roślinnych na bazie czynników występujących w mikro a nawet nano skali. Należy pamiętać, że materiały roślinne charakteryzują się niestabilnością w czasie co jeszcze bardziej utrudnia sformułowanie wniosków poznawczych o charakterze ogólnym.

Z merytorycznego punktu widzenia praca jest opracowaniem bardzo wartościowym i oryginalnym.

Autor rozprawy wykazał się bardzo dobrą znajomością tematu, umiejętnością poprawnego przeprowadzenia trudnego eksperymentu, sprawnością w zastosowaniu techniki analizy obrazów i MES. Szczególnie cenne są umieszczane we wszystkich rozdziałach pracy komentarze, uzasadnienia przyjętych założeń oraz próby wyjaśniania przyczyn związków wyznaczonych w wyniku eksperymentów symulacyjnych i doświadczalnych.

Fakty te świadczą o dobrym przygotowaniu Autora do samodzielnej pracy badawczej.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr Piotra Pieczywka nt. " Modelowanie właściwości mechanicznych tkanek roślinnych metodą elementów skończonych" spełnia warunki określone dla prac doktorskich w rozumieniu Ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym” (Dz. U. NR 65 z dnia 14.03.2003 r.). Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ze względu na stopień trudności poruszanej w rozprawie tematyki, jej aktualność, a także wykorzystanie zaawansowanych technik analizy obrazów i MES proponuję wyróżnić pracę stosowną nagrodą.

