

Roman Stopa, Leszek Romański, Arkadiusz Niemiec
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

WPLYW KSZTAŁTU RDZENIA W DWUWARSTWOWYCH MODELACH PRZEKROJU POPRZECZNEGO KORZENI MARCHWI NA OBRAZY IZOCHROM

Streszczenie

W pracy zaprezentowano rezultaty elastooptycznych badań dwuwarstwowego, płaskiego modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi w próbie promieniowego ściskania. Pomiarów przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron oraz polaryskopu elastooptycznego. Wyznaczono charakterystyczne obrazy izochrom dla każdego etapu obciążenia oraz dla różnych kształtów rdzenia. Dwuwarstwowy model wykonano z elastomeru poliuretanowego przy zachowaniu praw podobieństwa modelowego.

Słowa kluczowe: elastooptyka, korzeń marchwi, ściskanie, izochromy

Wstęp

Znaczenia modelowania w badaniach naukowych nie sposób przecenić. W większości przypadków powstają modele matematyczne o różnym stopniu złożoności formuł. Szczególnie cenne są modele strukturalne oparte na ogólnych prawach fizyki. W przypadku materiałów pochodzenia biologicznego budowa tego typu modeli jest bardzo trudna.

Jednym ze sposobów poznania wzajemnego oddziaływania elementów struktury wewnętrznej materiału roślinnego mogą być badania modelowe obiektów rzeczywistych. Spośród wielu metod badawczych można wyróżnić metodę elastooptyczną, pozwalającą na ciągłą obserwację procesów zachodzących w badanym obiekcie w miarę wzrostu obciążenia oraz na wyznaczanie rozkładów naprężeń i odkształceń [Jakubowicz, Orłowski 1978]. W odniesieniu do materiału pochodzenia biologicznego metoda elastooptyczna nie jest zbyt często stosowana ze względu na trudności w prawidłowym dobraniu materiałów modelowych. W pracy [Arnold,

Roberts 1966] autorzy analizowali naprężenia stykowe jednowarstwowego modelu ziarna pszenicy przy kontakcie z płaską powierzchnią. Model wykonany był z żywicy epoksydowej, która w przypadku ziarna dobrze oddawała jego własności. Analiza zachowania się dwuwarstwowego modelu korzenia marchwi wykonanego z żywicy epoksydowej została przedstawiona przez autora niniejszego opracowania w pracy [Stopa 2002]. Podobne badania prowadzone były w odniesieniu do modeli nasion bobiku [Stopa, Romański 2002] oraz ziarna pszenicy [Stopa, Romański 2001]. Ze względu na dużą różnicę we własnościach wytrzymałościowych zastosowanego materiału modelowego i obiektu rzeczywistego wyniki badań nie w pełni odzwierciedlały zachodzące w nim zjawiska.

Pojawienie się możliwości wykonania modeli z materiałów pozwalających na lepsze odzwierciedlenie obiektu rzeczywistego może dostarczyć nowych informacji o badanym obiekcie. Jednym z takich materiałów jest elastomer poliuretanowy.

Cel badań

Celem badań było:

- wyznaczenie charakterystycznych obrazów izochrom w modelu korzenia marchwi wykonanego z elastomeru poliuretanowego dla różnych kształtów przekroju poprzecznego w poszczególnych etapach obciążenia.
- zdefiniowanie roli poszczególnych warstw przekroju poprzecznego w przeniesieniu obciążenia

Metodyka i przedmiot badań

Model elastoptyczny przekroju poprzecznego zbudowano zgodnie z kryterium poprawności modelowania mówiącym, że model powinien dostatecznie wiernie odtwarzać badany obiekt pod wybranym kątem widzenia, a jednocześnie być możliwie prosty i łatwy do zbadania [Dietrich 1999]. Podstawowym celem budowy modelu było poznanie wpływu kształtu przekroju poprzecznego korzenia marchwi, ze szczególnym uwzględnieniem kształtu rdzenia na w rozkład naprężeń w warstwie kory i rdzenia. Po wszechstronnej analizie zagadnienia przyjęto następujące założenia dotyczące budowy modelu:

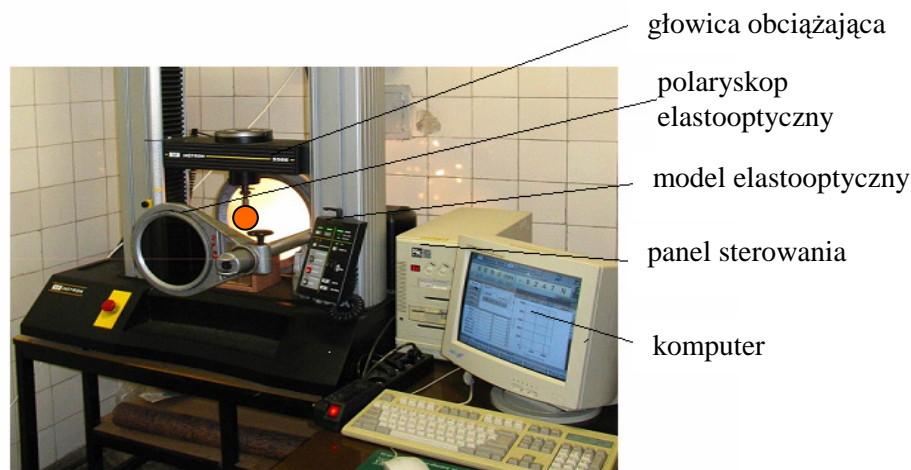
- kształt modelu przyjęto w postaci plastra wyciętego z korzenia marchwi dwiema równoległymi płaszczyznami odległymi od siebie o wartość $d_z = 13$ mm, prostopadłymi do osi podłużnej,
- dwuwarstwowy model przekroju poprzecznego korzenia marchwi złożony z warstwy kory i rdzenia,

- wymiary warstwy rdzenia i kory przyjęto na podstawie obiektów rzeczywistych przy założeniu skali wymiarów liniowych $k_l = 2$,
- własności materiałów modelowych dobrano w taki sposób, aby zachować stosunek modułów sprężystości rdzenia i kory taki sam jak dla obiektów rzeczywistych,
- uwzględniono wartości odkształceń modelu w stopniu zbliżonym do obiektu rzeczywistego,
- pominięto niejednorodność i anizotropię własności obiektu modelowanego,
- przyjęto płaski stan naprężenia panujący w modelu (pominięto naprężenia w kierunku osi podłużnej).

Po analizie dostępnych materiałów modelowych, zdecydowano się na wykonanie modelu z elastomeru poliuretowego, który z jednej strony spełniał wszystkie założenia dotyczące budowy modelu, a jednocześnie wykazywał efekt dwójłomności wymuszonej, niezbędny w badaniach elastooptycznych. Modele wykonano metodą odlewniczą. Ze względu na technologię przetwórstwa poliuretanów wymagało to wykonania salowych form. Skomplikowany kształt modelu oraz wymagania dotyczące dokładności wykonania form dla rdzenia i otworu wewnętrznego w warstwie kory wymusiły zastosowanie obrabiarki sterowanej numerycznie. Modele odlano w Zakładach Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych w Milanówku.

Przy ustalaniu wymiarów modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi założono współczynnik wymiarów liniowych $k_l = 2$. Na podstawie uśrednionych wymiarów przekroju poprzecznego rzeczywistych korzeni przyjęto wymiar średnicy zewnętrznej modelu $D_z = 100$ mm, natomiast średnicy rdzenia $D_r = 53$ mm. Przyjęcie grubości modelu wynoszącego $d_z = 13$ mm zapewniało zarówno zachowanie płaskiego stanu naprężenia (tarczowy charakter pracy modelu, brak deplanacji przekroju poprzecznego) jak i wystarczającą czułość optyczną. We wstępnym etapie badań założono, że moduł sprężystości warstwy rdzenia i kory posiada zbliżone wartości. Pozwoliło to na wykonanie modelu rdzenia i kory z elastomeru o takich samych własnościach. Przyjęto następujące własności wytrzymałościowe materiałów modelowych: moduł Younga kory i moduł Younga rdzenia $E_k = E_r = 1,75$ MPa.

Do badań wybrano następujące kształty przekroju poprzecznego korzeni marchwi [Kołota 1994]: uproszczony – kołowy kształt rdzenia i zewnętrznej warstwy kory, okrągły, czworokątny, lekko gwiaździsty, silnie gwiaździsty. Stanowisko pomiarowe do przeprowadzania badań (rys. 1) składało się z liniowego polaryskopu elastooptycznego wyposażonego w polowe źródło światła umieszczonego w przestrzeni pomiarowej maszyny wytrzymałościowej Instron 5566. Model obciążono w taki sposób, aby kierunek działania siły był prostopadły do osi optycznej polaryskopu.



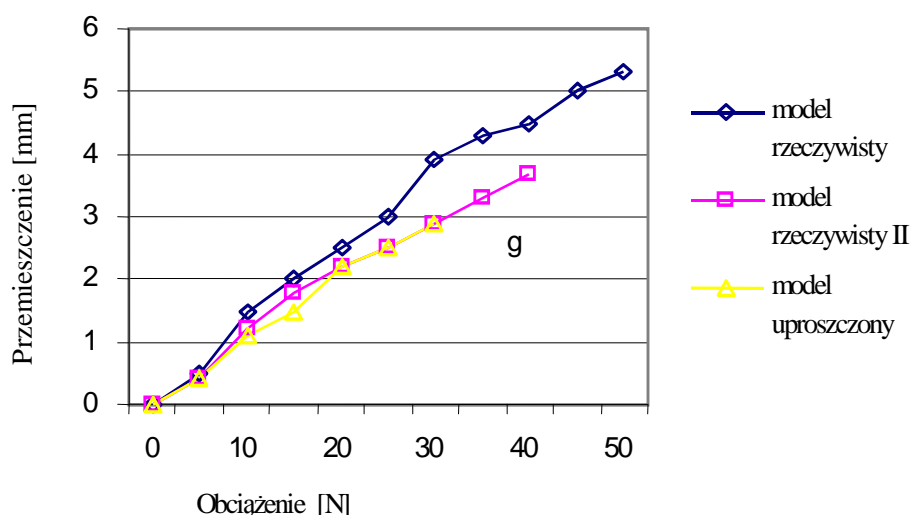
Rys. 1. Układ obciążający

Fig. 1. Loading system

W trakcie badań rejestrowano obrazy izochrom połówkowych i całkowitych w części korowej i rdzeniowej korzenia w całkowitej ciemni za pomocą aparatu cyfrowego. Pomiarów dokonywano dla różnych wartości obciążeń w przedziale od 0 do 50 N w stałych odstępach czasowych. Zapewniało to wyeliminowanie wpływu zjawiska relaksacji naprężeń na rozkład izochrom. Badania elastooptyczne w ujęciu jakościowym polegały na określeniu charakterystycznych obrazów izochrom dla poszczególnych faz obciążenia, wyznaczenia miejsc koncentracji naprężeń oraz roli poszczególnych elementów modelu przekroju poprzecznego w przenoszeniu obciążenia.

Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono zależność siły obciążającej od przemieszczenia dla trzech modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi. Można zaobserwować, że zależność ta nie zależy w istotny sposób od rodzaju modelu.

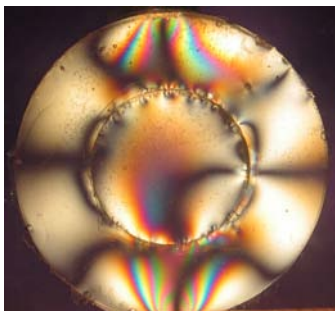


Rys. 2. Wykres ściskania modelu korzenia marchwi
 Fig. 2. Diagram of compression of the carrot's root model

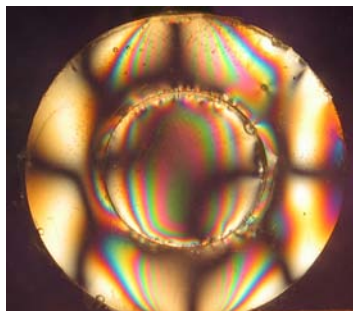
Rysunek 3 przedstawia obrazy izochrom całkowitych dla trzech modeli elastooptycznych korzeni marchwi w momencie pojawienia się pierwszych izochrom w rdzeniu (rys. 3 a, c i e) oraz przy maksymalnym obciążeniu, przy którym możliwa jest prawidłowa identyfikacja obrazu elastooptycznego.

Izochromy w rdzeniu pojawiły się przy najniższej wartości siły ($F = 4,9$ N) w modelu przekroju marchwi z rdzeniem czworokątnym (rys. 3e – model rzeczywisty II- kierunek działania siły prostopadły do boku rdzenia). Nieco większa siła ($F = 6,2$ N) potrzebna była do pojawienia się pierwszych izochrom w rdzeniu dla modelu rzeczywistego I (rys. 3c), natomiast największa $F = 9$ N dla modelu uproszczonego. Dla wszystkich modeli rząd izochrom w korze, w momencie pojawienia się izochrom w rdzeniu wynosił $m = 3$.

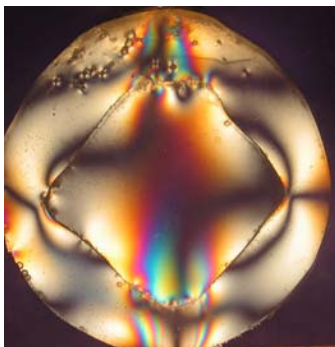
Wzrost obciążenia powodował ugięcie warstwy kory i rozpoczęcie oddziaływania na rdzeń, co objawiało się powstaniem izochrom w rdzeniu w okolicach styku z korą na osi pionowej próbki. Największa koncentracja naprężeń w miejscu styku kory z rdzeniem ma miejsce dla modelu rzeczywistego I, gdy siła działa w kierunku przekątnej rdzenia (rys. 3 d), a najmniejsza w przypadku modelu rzeczywistego II, gdy siła działa w kierunku prostopadłym do boku rdzenia (rys. 3f). Najmniejsza różnica pomiędzy rzędem izochromy w warstwie rdzenia i kory ma miejsce w przypadku modelu rzeczywistego II.



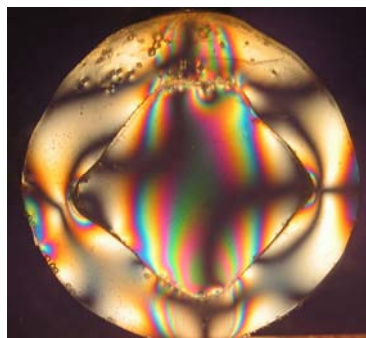
a) Model uproszczony $F = 9,2N$



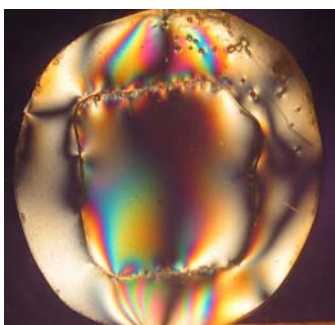
b) Model uproszczony $F = 18 N$



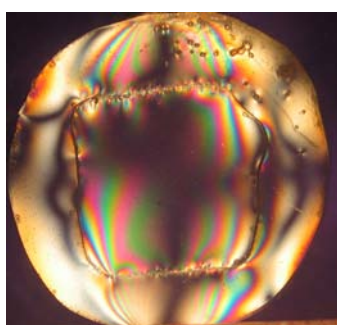
c) Model rzeczywisty $F = 6,2N$



d) Model rzeczywisty $F = 16,1N$



e) Model rzeczywisty II $F = 4,9 N$



f) Model rzeczywisty II $F = 18,2N$

Rys. 3. Rozkład izochrom w modelach przekroju poprzecznego korzenia marchwi
Fig. 3. Isochroma pattern distribution in model of section of transverse carrot

Wnioski

1. Obrazy izochrom w modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi zależą w istotny sposób od kształtu rdzenia.
2. W przypadku badanych kształtów przekroju poprzecznego największa koncentracja naprężeń w warstwie kory występuje dla rdzenia czworokątnego w przypadku siły działającej w kierunku przekątnej.

Bibliografia

Arnold P., Roberts A. 1966. Stress distribution in loaded wheat grains, J. Agric. Enging. Res. 2 39-43.

Dietrich M., Kocańda. i in. 1999. Podstawy konstrukcji maszyn, WNT, Warszawa.

Jakubowicz A., Orłowski Z. 1978. Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo.

Kołota E., Orłowski M., Osińska M. 1994. Warzywnictwo. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.

Romański L., Stopa R. 2001. Zastosowanie metody elastooptycznej do badania procesu zgniatania ziarna pszenicy. Problemy Inżynierii Rolniczej Nr 3, s. 21-28.

Stopa R. 2002. Elastooptyczne badania dwuwarstwowego modelu korzenia marchwi w próbie ściskania promieniowego. Inżynieria Rolnicza 5(38).

Stopa R., Romański L. 2002. Analiza zmian mikrostruktury nasiona bobiku w procesie zgniatania pomiędzy równoległymi płytami, Problemy Inżynierii Rolniczej Nr. 38/4.

**ISOCHROMA PATTERN PICTURES OF TWO LAYER MODEL
OF CARROT ROOT'S CROSS SECTION DEPENDING
ON CORE'S SHAPE**

Summary

Introducing of the results of photoelastic investigations of two layer carrot root flat model in test of radial compression among two parallel plates. Photoelastic investigation were leading in crossing light by using of linear polariscope. For three shape's of core characteristic isochroma pattern pictures were determined. Two layer epoxy resin model were made at the maintenance of model similarity for barks and core of carrot root conditions.

Key words: photoelastic method, carrot root, radial compression, isochroma