

OBRAZY IZOCHROM W MODELACH PRZEKROJU POPRZECZNEGO KORZENIA MARCHWI DLA RÓŻNYCH WARTOŚCI SIŁ SPÓJNOŚCI WARSTW KORY I RDZENIA

Roman Stopa, Leszek Romański

Institut Inżynierii Rolniczej Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Ludomir J.Jankowski

Institut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

Streszczenie. W pracy przedstawiono rezultaty badań modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi obciążonego siłą promieniową za pomocą metody elastooptycznej. Wyznaczono obrazy izochrom dla modeli o dwóch różnych wartościach sił spójności warstw kory i rdzenia. Określono również wpływ zmiany obciążenia na obraz izochrom w rdzeniu i w warstwie kory.

Słowa kluczowe: elastooptyka, izochromy, korzeń marchwi, siły spójności, model

Wstęp

Prace zmierzające do wyznaczania właściwości mechanicznych materiałów biologicznych mają ogromne znaczenie praktyczne. Stanowią cenną informację zarówno dla konstruktorów maszyn rolniczych, szczególnie z branży przetwórczej, jak i dla genetyków oraz hodowców tworzących nowe odmiany roślin. Jednym z warzyw, które nabiera w ostatnim czasie coraz większego znaczenia w przemyśle przetwórczym, jest marchew.

Badania właściwości wytrzymałościowych korzeni marchwi były i są przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Gołacki, Szot i Kęsik [1987] badali wpływ cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania na zmienność właściwości mechanicznych korzeni marchwi. Przeprowadzili szereg testów obejmujących zarówno całe korzenie jak i ich wycinki. Okazało się, że wartości wyznaczanych wielkości zależą również od rodzaju testu, w którym były one wyznaczane. W pracy Gołackiego i Szota [1987] stwierdzono, że wyznaczone wartości modułu sprężystości E dla kory i rdzenia są zbliżone. Gołacki i Obroślak [1998] podjęli próbę wyznaczenia współczynnika Poissona przy wykorzystaniu metody opisanej przez Hughesa i Segerlinda [1972]. Coraz większe znaczenie w opracowaniach dotyczących badań właściwości korzeni marchwi mają zagadnienia reologiczne. Korzenie marchwi ze względu na wykazywanie właściwości lepko-sprężystych często poddawane były testom relaksacji naprężeń [Gołacki 1996]. Badaniem właściwości mechanicznych tkanki korzenia buraka cukrowego zajmowała się Bzowska-Bakalarz [1996]. W pracy [Bzowska-Bakalarz 1998] podjęła próbę wyznaczenia granicy

wytrzymałości tkanki buraka cukrowego na podstawie naprężeń niszczących i energii pękania przy wykorzystaniu mikroskopu skaningowego. Właściwościami mechanicznymi materiałów roślinnych zajmowała się także Krzysztofik [1994], która badała wpływ wybranych czynników na budowę anatomiczną i odporność bulw ziemniaka na mechaniczne uszkodzenia.

W swoich opracowaniach większość badaczy pomija warstwową budowę produktów rolniczych przy wyznaczaniu właściwości wytrzymałościowych, nawet przy podejmowaniu prób powiązania tych właściwości z mikrostrukturą. W przypadku korzenia marchwi pominięcie warstwowej budowy już na pierwszy rzut oka wydaje się uproszczeniem zbyt daleko idącym, bowiem marchew zbudowana jest z dwóch rodzajów tkanek rozłożonych warstwowo względem osi korzenia, co powoduje zróżnicowanie sprężystości i naprężeń krytycznych obu tkanek, a także zależność tych wielkości od orientacji próbek względem osi korzenia [Gołacki 1996]. Nie zmienia tego nawet fakt, że właściwości wytrzymałościowe warstwy kory i rdzenia są zbliżone. Pozostaje jeszcze problem wzajemnego oddziaływania na siebie obu warstw. Wstępne badania miejsc styku rdzenia z warstwą kory wykazały, że pomimo połączenia tych warstw na zasadzie połączenia kształtowego, siły spójności osiągają dosyć wysokie, trudne do pominięcia wartości. Przy wyznaczaniu właściwości wytrzymałościowych korzeni marchwi nie bez znaczenia jest również kształt badanych próbek. Z punktu widzenia praktycznego mniej interesują nas właściwości poszczególnych warstw, a bardziej właściwości wytrzymałościowe całego korzenia.

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, Orłoś 1978].

W stosunku do materiałów roślinnych metoda elastooptyczna jest rzadko stosowana głównie 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 wykonano z żywicy epoksydowej, która w przypadku ziarna dobrze oddawała jego właściwości. Analiza zmian obrazów izochrom dla dwuwarstwowego modelu korzenia marchwi wykonanego z żywicy epoksydowej została przedstawiona w pracy [Stopa 2002]. Podobne badania prowadzone były w odniesieniu do modeli nasion bobiku [Stopa, Romański 2002] oraz ziarna pszenicy [Stopa, Romański 2001]. Z uwagi na trudności w doborze materiałów modelowych o właściwościach wytrzymałościowych odpowiadających właściwościom obiektu rzeczywistego, wyniki badań nie w pełni odzwierciedlały zachodzące w nim zjawiska. Zastosowanie elastomeru poliuretanowego, jako materiału modelowego, pozwoliło na lepsze odwzorowanie obiektu rzeczywistego, a co za tym idzie, na dostarczenie nowych informacji o badanym obiekcie [Stopa, Romański 2006].

Cel pracy

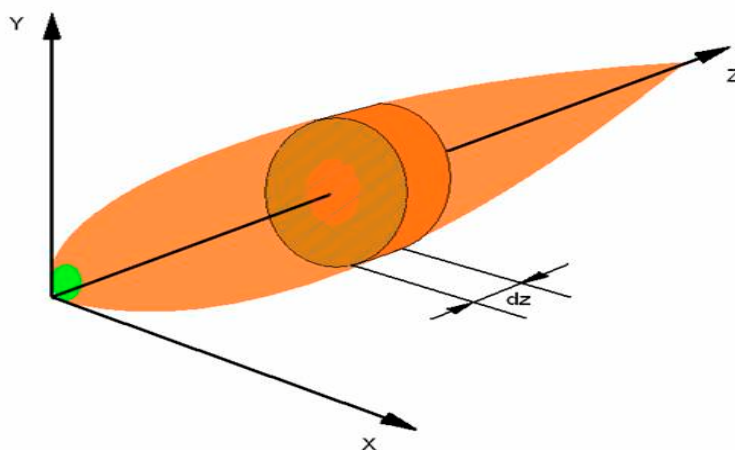
Celem pracy było wyznaczenie charakterystycznych obrazów izochrom w modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi w trakcie promieniowego ściskania dla różnych:

- kształtów przekroju poprzecznego,
- wartości sił spójności pomiędzy rdzeniem i warstwą kory,
- wartości sił obciążających.

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były mechaniczne modele przekroju poprzecznego korzenia marchwi (rys. 1), odpowiadające fragmentowi marchwi wyciętemu z korzenia dwiema równoległymi do siebie płaszczyznami, w kierunku prostopadłym do osi podłużnej. Odległość między płaszczyznami, będącą jednocześnie grubością modelu, ustalono na $d_z=15$ mm. Przyjęcie takiego wymiaru, stanowiącego ok. 5% całkowitej długości modelowanych korzeni marchwi, umożliwiło pominięcie naprężeń działających wzdłuż jego osi. Jednocześnie pozwoliło na spełnienie założeń dotyczących walcowego kształtu modelu oraz braku deplanacji przekroju poprzecznego w trakcie obciążania.

Modele wykonano z elastomeru poliuretanowego, dla którego moduł sprężystości podłużnej wyznaczony w próbie rozciągania wynosił $E = 4,75$ MPa, natomiast ułamek Poissona $\nu = 0,47$. Są to wartości wystarczająco dobrze odzwierciedlające właściwości korzeni marchwi, dla których umowny moduł sprężystości waha się w granicach od $E = 8,0$ MPa do $E = 12,0$ MPa, natomiast stała Poissona jest prawie identyczna i wynosi $\nu = 0,48$. Ta zbieżność właściwości wytrzymałościowych pozwoliła na uniknięcie konieczności stosowania praw podobieństwa modelowego i umożliwiła bezpośrednią interpretację otrzymanych wyników.



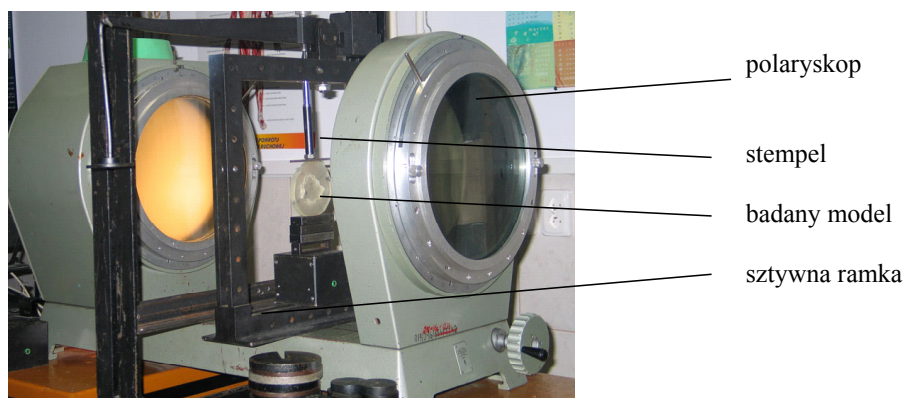
Rys. 1. Przedmiot badań

Fig. 1. Testing object

Przyjęto tarczowy, dwuwarstwowy model korzenia marchwi składający się warstwy kory i warstwy rdzenia o jednakowych właściwościach wytrzymałościowych. W celu określenia wpływu sił spójności rdzenia z korą na obraz izochrom i rozkład przemieszczeń, przygotowano modele, w których połączenie to było tylko kształtowe oraz modele, w których rdzeń połączony był z korą klejem poliuretanowym. Uwzględniono wartości odkształceń modelu w stopniu zbliżonym do obiektu rzeczywistego, natomiast pominięto niejednorodność i anizotropię właściwości obiektu modelowanego

Pomiary metodą elastoptyczną

Stanowisko do badań elastoptycznych (rys. 2) składało się z kołowego polaryskopu optycznego firmy Carl Zeiss Jena wyposażonego w polowe źródło światła białego i monochromatycznego. Pomiary prowadzono w świetle monochromatycznym przy polaryzacji kołowej, pozwalającej na wyeliminowanie izoklin zaburzających obraz izochrom.



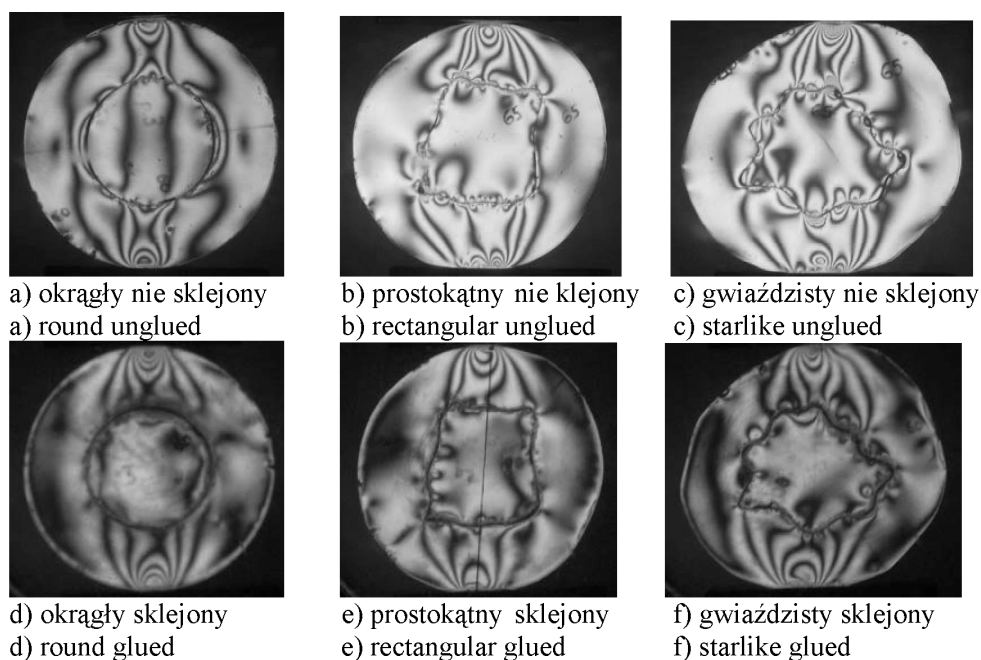
Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do badań elastoptycznych
Fig. 2. Test stand for photoelastic investigations

Urządzenie obciążające składało się ze sztywnej ramki umieszczonej w przestrzeni pomiarowej polaryskopu, dźwigni o przełożeniu 1:6, oraz specjalnie przygotowanego stempla. Model w urządzeniu obciążającym umieszczano w taki sposób, aby w możliwie maksymalnym stopniu wyeliminować tarcie na powierzchni styku modelu ze stemplem.

Modele przekroju poprzecznego obciążano w kierunku promieniowym siłą F . Pomiary wykonano dla dwóch wartości siły obciążającej. Pierwszy pomiar wykonano przy sile wynoszącej $F=5$ N, dla której pojawiały się pierwsze izochromy w warstwie rdzenia. Przy drugim pomiarze, mającym na cel określenie wpływu wartości siły obciążającej na obraz izochrom, przyjęto obciążenie $F=15$ N, dla którego obraz izochrom był jeszcze czytelny.

Wyniki badań

Do badań elastoptycznych przygotowano modele o trzech podstawowych kształtach [Kołota 1994]: kołowym, czworokątnym i gwiaździstym. Na rysunku 3 przedstawiono obrazy izochrom w modelach: o rdzeniach połączonych z warstwą kory bez użycia kleju (połączenie kształtowe, rys modeli. 3a, 3b i 3c) oraz z użyciem kleju (rys. 3d, 3e i 3f), przy obciążeniu $F=5\text{ N}$.



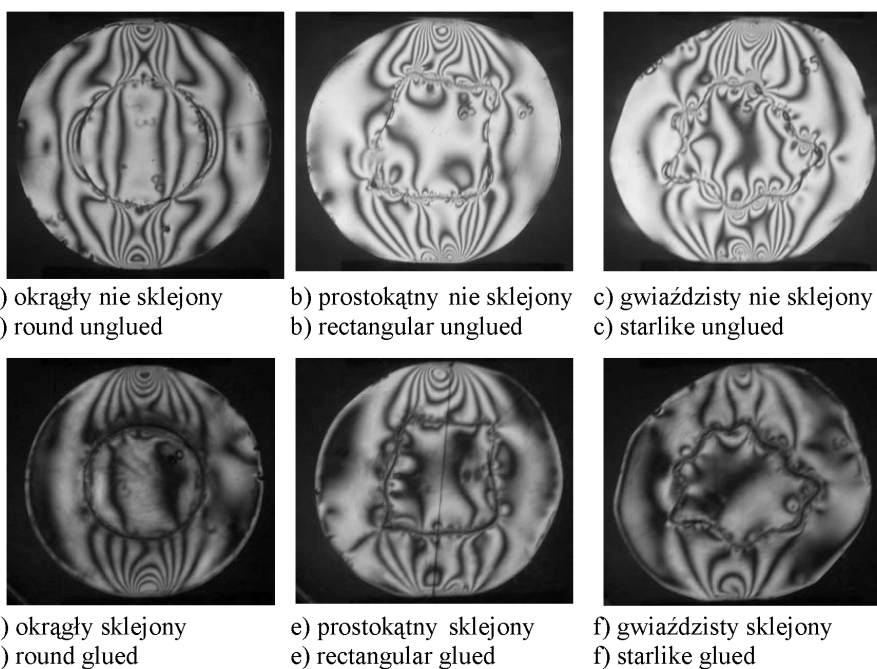
Rys. 3. Obrazy izochrom dla różnych kształtów modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi przy obciążeniu $F = 5\text{ N}$.

Fig. 3. Isochromatic patterns picture for different shapes of carrot root's cross-section models under axial force $F=5\text{ N}$

Porównując obrazy izochrom dla modeli sklejonych i nie sklejonych można zauważyć istotne różnice, zarówno w przebiegu izochrom, jak i ich rzędach. Dla wszystkich kształtów modeli zwiększenie sił spójności pomiędzy warstwą kory a rdzeniem skutkowało obniżeniem rzędu izochrom, co może świadczyć o większej sztywności całego modelu. Należy przy tym przypuszczać, że wzrost sztywności nie powstał w wyniku oddziaływania dodatkowej warstwy jaką tworzy warstwa kleju, ale raczej jest on wynikiem uniemożliwienia swobodnego ugięcia warstwy kory. W trakcie budowy modelu sklejonego poświęcono dużo staranności, aby warstwa kleju była możliwie najcieńsza. O zwiększeniu sztywności całego modelu świadczą również wartości ugięć przy zadanym obciążeniu. Dla modelu sklejonego były one trzykrotnie niższe. Obniżenie rzędu izochrom jest szczególnie wyraź-

nie widoczne w warstwie rdzenia (rys. 4d-4f). Ponadto zmienił się charakter oddziaływania rdzenia na warstwę kory. Dla obciążenia wynoszącego $F=5$ N praktycznie całe obciążenie przenoszone jest przez warstwę kory. Po sklejeniu modelu zagęszczenie izochrom przesunęło się w kierunku miejsc przyłożenia obciążenia, co świadczy o zmniejszeniu oddziaływania rdzenia na warstwę kory. Zmniejszeniu uległa również strefa zginania położona w okolicach osi poziomej modelu. Można przyjąć, że w warstwie kory dominują naprężenia pochodzące od ściskania. Kształt przekroju poprzecznego nie wpływał w sposób istotny na obraz izochrom w warstwie kory. Jedynie w okolicach połączenia rdzenia z korą widoczne są zaburzenia będące wynikiem oddziaływania nieregularnych fragmentów rdzenia na warstwę kory. Te zaburzenia widoczne są również dla modeli nie sklejonych, można więc przyjąć, że nie są one efektami optycznymi powstałymi w wyniku klejenia warstwy kory z rdzeniem.

Na podstawie przedstawionych obrazów izochrom można stwierdzić, że wpływ sił spójności pomiędzy rdzeniem, a warstwą kory, ma również istotne znaczenie jeśli chodzi o przenoszenie obciążenia przez rdzeń. Zwiększa się powierzchnia oddziaływania kory na rdzeń z bardzo małej w przypadku modelu nie sklejonego do obejmującej prawie połowę powierzchni styku kory z rdzeniem dla modelu sklejonego. Szczególnie dobrze jest to widoczne w modelu kołowym i gwiaździstym.



Rys. 4. Obrazy izochrom dla różnych kształtów modeli przekroju poprzecznego korzenia marchwi, przy obciążeniu $F = 15$ N

Fig. 4. Isochromatic pattern pictures for different shapes of carrot root's cross-section models under axial force $F=15$ N

Zwiększenie obciążenia do $F=15\text{ N}$ pogłębiło opisane efekty. W przypadku modelu sklejonego przyrost rzędów izochrom występował jedynie w warstwie kory, natomiast w rdzeniu praktycznie nie uległ zmianie. Maksymalny rząd izochrom w rdzeniu był kilkakrotnie niższy niż w przypadku modelu nie sklejonego.

Inaczej przebiegają izochromy w okolicach miejsc przyłożenia obciążenia, co jest szczególnie dobrze widoczne w przypadku modelu kołowego. Przypomina on układ izochrom, z którym mamy do czynienia w przypadku tarczy jednorodnej.

Na podstawie obrazów izochrom można zauważyć, że zwiększenie sił spójności pomiędzy rdzeniem a warstwą kory powoduje wyeliminowanie oddziaływań charakterystycznych dla połączenia kształtowego, np. występowanie przemieszczeń względnych w połączeniu, nacisków, etc. Ponadto, połączenie kory i rdzenia o zbliżonych właściwościach sprężystych sprzyja pracy zewnętrznych warstw (kory) w stanie tarczowym – bez lokalnego zginania, i zmniejsza lokalne efekty w rdzeniu – stąd „odciążenie” rdzenia w sensie obrazu izochrom. Szczególnie dobrze jest to widoczne w przypadku modelu kołowego. Zmiana kształtu rdzenia wpływa jedynie lokalnie, na granicy połączenia rdzenia i kory, na zaburzenie obrazu izochrom.

Wnioski

- Przy modelowaniu korzeni marchwi, w przypadku budowy warstwowej, konieczne jest uwzględnienie wpływu sił spójności (pomiędzy rdzeniem a warstwą kory) na zachowanie się całego korzenia marchwi podczas obciążania.
- Uwzględnienie sił spójności pomiędzy rdzeniem a warstwą kory powoduje zmianę sposobu przenoszenia obciążenia przez warstwę kory na zbliżony do tarczowego. Zmniejsza się podział na strefy w których dominuje ściskanie i zginanie, a koncentracje naprężeń widoczne w połączeniu kształtowym zostają zredukowane.
- Przemieszczenie spowodowane obciążeniem działającym w kierunku promieniowym dla modeli z rdzeniem połączonym z warstwą kory poprzez klejenie jest wielokrotnie mniejsze niż w przypadku połączenia kształtowego (bez użycia kleju).
- Spośród badanych kształtów przekroju poprzecznego, najmniejszy wpływ sił spójności na obraz izochrom wykazuje rdzeń o kształcie czworokątnym.

Bibliografia

- Arnold P., Roberts A.** 1966. Stress distribution in loaded wheat grains, *J. Agric. Enging. Res.* 11(1). s. 38-43.
- Bzowska-Bakalarz M.** 1996. Badanie właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych – uwagi metodyczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z.* 443. s. 207-212.
- Bzowska-Bakalarz M.** 1998. Wytrzymałość mechaniczna korzeni buraków cukrowych, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych Z.* 454. s. 189-197.
- Gołacki K., Kęsik T., Szot B.** 1987. Badanie zmienności właściwości korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z.* 316. s. 227-343.
- Gołacki K.** 1996. Prędkość i energia w procesie deformacji materiału roślinnego na przykładzie marchwi, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z.* 425. s. 61-66.
- Gołacki K.** 1996. Test relaksacji naprężeń dla korzeni marchwi. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z.* 443. s. 347-351.

- Golacki K.** 1998. A quick method to determine the mechanical condition of carrot roots. *Acta Hort.* Z. 421. s. 259-263.
- Golacki K., Obroślak R.** 1998. Wyznaczanie współczynnika Poissona korzeni marchwi, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych.* Z. 454. s. 221-227.
- Hughes H., Segerlind L.J.** 1972. Rapid mechanical method for determining Poissons ratio in biological materials. ASAE, Paper No 72-310.
- Jakubowicz A., Orłoś Z.** 1997. Wytrzymałość materiałów. WNT Warszawa. ISBN 83-204-2029-6.
- Kołota E., Orłowski M., Osińska M.** 1994. *Warzywnictwo*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
- Krzysztofik B.** 1994. Wpływ wybranych czynników na budowę anatomiczną i odporność bulw ziemniaka na mechaniczne uszkodzenia. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 17. Rozprawa habilitacyjna. ISSN 1429-7264.
- 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.* Nr 5(38). s. 387-394.
- Stopa R., Romański L.** 2002. Analiza zmian mikrostruktury nasiona bobiku w procesie zgniatania pomiędzy równoległymi płytami, *Problemy Inżynierii Rolniczej.* Nr 38. s. 29-36.
- Stopa R., Romański L.** 2006. Wpływ kształtu elementu obciążającego na obrazy izochrom w dwuwarstwowym modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 7(82). s. 399-406.
- Szot B., Golacki K.** 1987. Ocena właściwości mechanicznych korzeni marchwi na podstawie pomiarów podstawowych parametrów wytrzymałościowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych.* Z. 321. s. 175-184.

IZOCHROMTIC PATTERN DISTRIBUTIONS IN CARROT ROOT'S CROSS-SECTION MODEL FOR DIFFERENT COHESION FORCE BETWEEN CORE AND BARK LAYER

Abstract. Results of photoelastic investigation of carrot root's cross section model under axial compression are presented. Isochromtic pattern pictures for models which characterize by different cohesion force between core and bark layer were determined. Influence of axial force on the isochromatic pattern distributions in core and bark layer are shown.

Key words: photoelastic method, isochromatic patterns, carrot roots, cohesion force

Adres do korespondencji:

Roman Stopa; e-mail: stopa@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław

