

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

## WPLYW KSZTAŁTU ELEMENTU OBCIĄŻAJĄCEGO NA OBRAZU ISOCHROM W DWUWARSTWOWYM MODELU PRZEKROJU POPRZECZNEGO KORZENIA MARCHWI

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań elastoptycznych dwuwarstwowego modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi obciążonego siłą promieniową. Wymuszenie obciążenia przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron, 5566, a do pomiarów wykorzystano liniowy polaryskop elastoptyczny. Wyznaczono obrazy izochrom dla różnych kształtów elementu obciążającego. Model wykonano z elastomeru poliuretanowego przy zachowaniu praw podobieństwa modelowego.

**Słowa kluczowe:** elastoptyka, korzeń marchwi, ściskanie, izochromy.

### Wstęp

Korzenie marchwi w czasie zbioru, transportu oraz przechowywania narażone są na bezpośrednie działanie części roboczych maszyn rolniczych. Części te mają różne kształty w zależności od zadania, jakie wykonują. Elementy robocze maszyn przeznaczonych do zbioru marchwi mają w większości przypadków kształt płaskowników o różnej szerokości, natomiast w trakcie transportu, selekcji i oczyszczania korzenie marchwi stykają się z fragmentami maszyn o kształcie walcowym.

Jednym ze sposobów poznania oddziaływania elementów roboczych na strukturę wewnętrzną korzeni marchwi mogą być badania modelowe obiektów rzeczywistych. Spośród metod badawczych pozwalających na prowadzenie badań modelowych można wyróżnić metodę elastoptyczną, dzięki której możliwa jest ciągła obserwacja procesów zachodzących w badanym obiekcie w miarę wzrostu obciążenia oraz wyznaczanie rozkładów naprężeń i odkształceń w wybranych przekrojach [Jakubowicz., Orłóś 1978].

Ograniczenia w zastosowaniu metody elastooptycznej w odniesieniu do materiału pochodzenia biologicznego wynikają najczęściej z trudności w prawidłowym doborze materiałów modelowych. Arnold i Roberts [1966] analizowali naprężenia stykowe jednowarstwowego modelu ziarna pszenicy przy kontakcie z płaską powierzchnią. Zachowanie się dwuwarstwowego modelu korzenia marchwi pod wpływem obciążenia opisane zostało przez autora w pracy [Stopa 2002]. Podobne badania prowadzone były w odniesieniu do modelu nasiona bobiku [Stopa, Romański 2002] oraz ziarna pszenicy [Stopa, Romański 2001].

We wszystkich przedstawionych opracowaniach model ziarna wykonany był z żywicy epoksydowej. Różnice we własnościach wytrzymałościowych zastosowanego materiału modelowego i obiektu rzeczywistego wymagały wprowadzenia współczynników podobieństwa modelowego dla modułu Younga i stałej Poissona. Zastosowanie elastomeru poliuretanowego jako materiału modelowego w odniesieniu do obiektów pochodzenia biologicznego pozwoliło tę niedogodność zminimalizować.

### **Cel badań**

Celem badań było:

- wyznaczenie charakterystycznych obrazów izochrom w modelach korzeni marchwi dla różnych kształtów elementu obciążającego i różnej wartości siły obciążającej
- Określenie wpływu kształtu elementu obciążającego na rozkład izochrom w modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi

### **Metodyka i przedmiot badań**

Model elastooptyczny przekroju poprzecznego wykonano z elastomeru poliuretanowego zgodnie z technologią opisaną w pracy [Stopa, Romański 2005].

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,
- przyjęto kołowo-symetryczny, dwuwarstwowy kształt modelu przekroju poprzecznego
- wymiary warstwy rdzenia i kory przyjęto na podstawie obiektów rzeczywistych przy skali wymiarów liniowych  $k_l = 2$ ,
- własności materiałów modelowych dobrano w taki sposób, aby odpowiadały własnością materiałów 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.

Na podstawie uśrednionych wymiarów przekroju poprzecznego rzeczywistych korzeni, przy założeniu współczynnika wymiarów liniowych  $k_l = 2$ , przyjęto wymiar średnicy zewnętrznej modelu  $D_z = 100$  mm, natomiast średnicy rdzenia  $D_r = 53$  mm. Przyjęcie grubości modelu ( $d_z = 13$  mm) zapewniało zarówno zachowanie płaskiego stanu naprężenia jak i wystarczającą czułość optyczną.

Przyjęto następujące własności materiałów modelowych: moduł Younga dla kory i rdzenia  $E_k = E_r = 4,75$  MPa, natomiast stała Poissona  $\nu_k = \nu_r = 0,48$ . Przyjęto kołowo-symetryczną postać przekroju poprzecznego w celu wyeliminowania wpływu kształtu rdzenia i kory na rozkład izochrom.

Stanowisko badawcze (rys. 1) składało się z liniowego polaryskopu elasto-optycznego wyposażonego w połowe źródło światła umieszczonego w przestrzeni pomiarowej maszyny wytrzymałościowej Instron 5566. Kierunek działania siły dobrano tak, aby spełnić warunki tarczowego obciążenia modelu.

element obciążający  
polaryskop  
elasto-optyczny  
  
badany model  
  
Instron 5566



Rys. 1. Stanowisko badawcze

Fig. 1. Research station

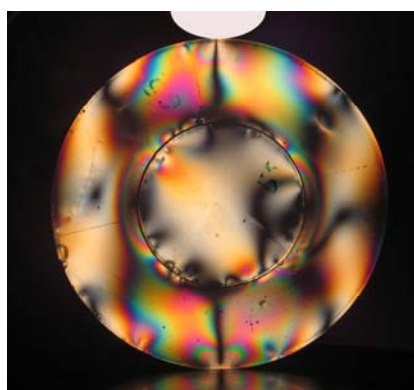
Kształty elementów obciążających dobrano w ten sposób, aby odwzorowywały rzeczywiste kształty powierzchni roboczych maszyn służących do zbioru i transportu marchwi. Podzielono je na dwie grupy:

- elementy powierzchni walcowej o czterech promieniach odwzorujące walcowe kształty powierzchni roboczych maszyn  $r_1=9\text{mm}$ ,  $r_2=14\text{mm}$ ,  $r_3=18\text{mm}$  i  $r_4=28\text{mm}$  (rys.2a)
- elementy powierzchni płaskiej o sześciu szerokościach imitujące płaskie fragmenty części roboczych maszyn  $l_1=1,5\text{mm}$ ,  $l_2=3\text{mm}$ ,  $l_3=5\text{mm}$ ,  $l_4=7\text{mm}$ ,  $l_5=10\text{mm}$ ,  $l_6=12\text{mm}$  (rys.2b)

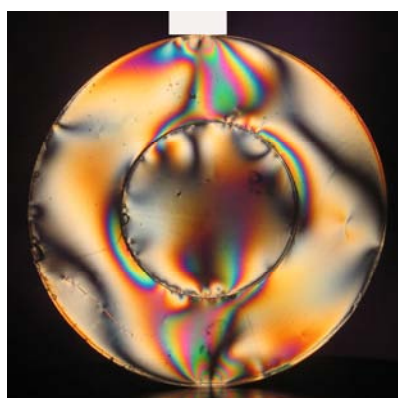
W trakcie badań rejestrowano obrazy izochrom w części korowej i rdzeniowej korzenia za pomocą aparatu cyfrowego Cannon Power Shot 5. Pomiarów dokonywano dla różnych wartości obciążeń w przedziale od 0 do 40 N w stałych odstępach czasowych. Zapewniało to wyeliminowanie wpływu zjawiska pełzania i relaksacji naprężeń na rozkład izochrom.

### Wyniki badań i ich analiza

Rysunek 3 przedstawia obrazy izochrom całkowitych w warstwie rdzenia i kory dla kołowo-symetrycznego modelu korzenia marchwi dla sześciu różnych kształtów elementu obciążającego. Zdjęcia wykonano przy obciążeniu wynoszącym  $F = 5\text{N}$ , dla którego izochromy widoczne są tylko w warstwie kory. W rdzeniu widoczne są izochromy rzędów ułamkowych będące wynikiem działania sił tarcia na styku kory z rdzeniem.



a) Element walcowy  $r = 9\text{mm}$

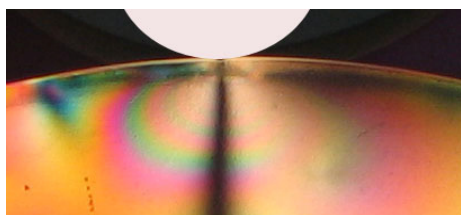


b) Element płaski  $l = 10\text{mm}$

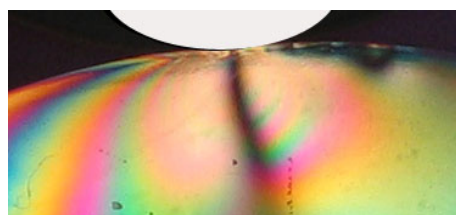
Rys. 3. Rozkład izochrom w modelach przekroju poprzecznego korzenia marchwi przy walcowym i płaskim kształcie elementów obciążających dla  $F = 5\text{N}$

Fig. 3. Distribution of isochroms in models of carrot root cross-sections with cylindrical and flat shape of load elements for  $F = 5\text{N}$

Po szczegółowej analizie można zauważyć, że dla wszystkich kształtów elementu obciążającego obraz izochrom jest zbliżony. Widoczna jest strefa ściskania w warstwie kory wzdłuż osi pionowej modelu oraz strefa zginania w okolicach osi poziomej. Maksymalny rząd izochrom we wszystkich przypadkach wynosi  $m = 4$ .



a) Element walcowy  $r_1 = 9$  mm



b) Element walcowy  $r_2 = 14$  mm



c) Element walcowy  $r_3 = 18$  mm



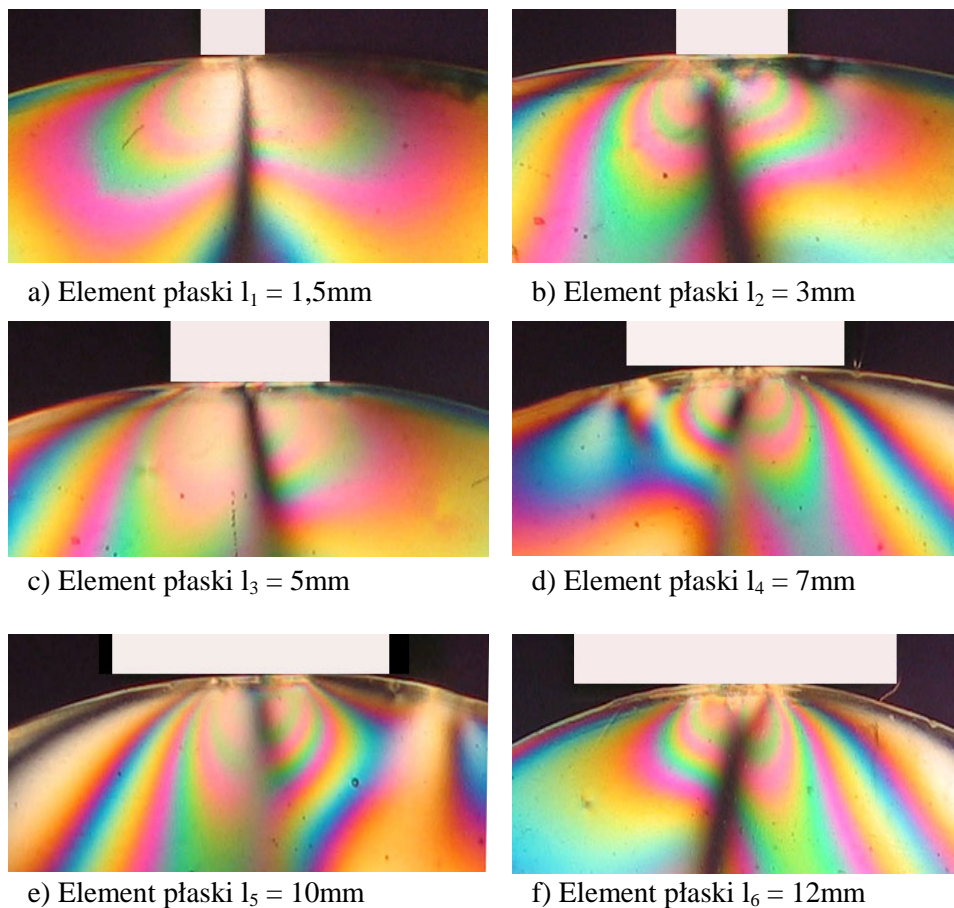
d) Element walcowy  $r_4 = 28$  mm

Rys. 4. Rozkład izochrom w modelach przekroju poprzecznego korzenia marchwi przy walcowym kształcie elementów obciążających dla  $F = 5N$

Fig. 4. Distribution of isochroms in models of carrot root cross-sections with cylindrical shape of load elements for  $F = 5N$

Przyjmując kształt wydłużony w kierunku prostopadłym do kierunku działania siły. Maksymalny rząd izochromy wynosi  $m=4$ . Zwiększenie szerokości elementu obciążającego do  $l_2=3\text{mm}$  (rys. 5b) nie zmienia w istotny sposób obrazu izochrom. Nadal widoczne są dwa punkty narastania izochrom, ale zwiększenie odległości między nimi powoduje nieznaczne zaokrąglenie kształtu izochrom.

Dalsze zwiększenie szerokości elementu obciążającego  $l_3=5\text{mm}$  (rys. 5c) prowadzi do przejścia z dwóch punktów narastania izochrom do jednego o charakterze powierzchniowym. Taki kształt izochrom występuje dla pozostałych szerokości elementu obciążającego  $l_4=7\text{mm}$ ,  $l_5=10\text{mm}$ ,  $l_6=12\text{mm}$  (rys. 5d, e i f).



Rys. 5. Rozkład izochrom w modelach przekroju poprzecznego korzenia marchwi przy płaskim kształcie elementów obciążających dla  $F = 5N$

Fig. 5. Distribution of isochroms in models of carrot root cross-sections with flat shape of load elements for  $F = 5N$

Wpływ kształtu elementu obciążającego na obraz izochrom w modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi ma istotne znaczenie tylko lokalnie w okolicach miejsca styku z modelem. Znajduje tutaj zastosowanie zasada St. Venanta mówiąca o wyrównaniu się rozkładu naprężeń w pewnej odległości od miejsca przyłożenia siły. Natomiast od kształtu elementu obciążającego w istotny sposób zależy zarówno zasięg oddziaływania obciążenia jak i wartość sił wewnętrznych (reprezentowanych przez rzędy izochrom) w okolicach miejsca styku.

Najkorzystniejsze pod tym względem są wszystkie elementy walcowe (rys. 4) oraz elementy płaskie o szerokości przekraczającej długość powierzchni styku (rys. 5c, d, e). W tych przypadkach zarówno wartość sił wewnętrznych jak i ich zasięg osiąga najmniejsze wartości. W przypadku elementów walcowych o promieniach mniejszych niż promień modelu (rys 4a, b) zasięg oddziaływania obciążenia wyraźnie się zwiększa.

Zupełnie inaczej wygląda sytuacja w przypadku elementów płaskiej o szerokościach mniejszych lub porównywalnych z długością powierzchni styku (rys. 5a, b, c). Co prawda zasięg oddziaływania ulega tylko nieznacznemu zwiększeniu, ale wartości sił wewnętrznych osiągają wyraźnie wyższy poziom niż w pozostałych przypadkach. Świadczy o tym wyraźne zagęszczenie izochrom wskazujące na koncentrację naprężeń.

### Wnioski:

1. W modelu przekroju poprzecznego korzenia marchwi, obrazy izochrom zależą w istotny sposób od kształtu elementu obciążającego tylko w okolicach miejsca styku.
2. W przypadku walcowego kształtu elementu obciążającego obserwujemy tylko jeden punkt narastania izochrom. Zwiększenie promienia elementu walcowego nie powoduje zmian rzędów izochrom ale wpływa na ich kształt.
3. W przypadku płaskiego kształtu elementu obciążającego powstają dwa miejsca narastania izochrom związane z narożami ( dla obciążenia  $F=5N$  – elementy:  $l_1 = 1,5\text{mm}$ ,  $l_2=3\text{mm}$  i  $l_3=5\text{mm}$ ).
4. Obrazy izochrom dla płaskich elementów obciążających których naroża nie stykają się z modelem (płaszczyzny  $l_4=7\text{mm}$ ,  $l_5=10\text{mm}$  i  $l_6=12\text{mm}$ ) nie różnią się między sobą i odpowiadają obrazom uzyskanym przy oddziaływaniu płaszczyzny o nieograniczonych wymiarach.

### Bibliografia

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

Jakubowicz A., Orłoś Z. 1978. Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Romański L., Stopa R. 2001. Zastosowanie metody elastooptycznej do badania procesu zgniatania ziarna pszenicy”, Problemy Inżynierii Rolniczej Nr3, s. 21-27.

Stopa R. 2002. Elastooptyczne badania dwuwarstwowego modelu korzenia marchwi w próbie ściskania promieniowego, *Inżynieria Rolnicza* 5(38), s. 283-292.

Stopa R., Romański L. 2002: Rozkład izochrom w modelu nasiona bobiku dla jego różnych położeń w szczelinie roboczej gniotownika walcowego, *Inżynieria Rolnicza* 5(38), s. 403-411.

### **INFLUENCE OF THE SHAPE OF LOAD ELEMENT ON PICTURE OF ISOCHROMS IN TWO-LAYER MODEL OF CARROT ROOT CROSS-SECTION**

#### **Summary**

The study presents results of elasto-optic study of a two-layer model of carrot root cross-section burdened with radial force. Load was forced using mechanical testing machine Instron 5566, and linear elasto-optic polariscope was used for measurements. Pictures of isochroms were determined for various shapes of the load element. The model was done from polyurethane elastomer with preservation of model probability.

**Key words:** elasto-optics, carrot root, squeezing, isochroms