

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

## **BADANIA ELASTOPTYCZNE ZIARNIAKÓW PSZENICY W ZAKRESIE ODKSZTAŁCEN SPREŻYSTYCH**

### **Streszczenie**

W pracy zaprezentowano wyniki badań zmian struktury wewnętrznej ziarniaka pod wpływem obciążenia zewnętrznego. Dzięki zastosowanej metodzie elastoptycznej wyznaczono rozkłady naprężeń w przekroju poprzecznym ziarniaków i obszary ich koncentracji. Trafność analizy i wskazań obszarów, od których rozpocznie się propagacja pęknięć struktury wewnętrznej ziarniaków weryfikowano przy wykorzystaniu mikroskopu skaningowego.

**Słowa kluczowe:** ziarno zbóż, zgniatanie, model elastoptyczny

### **Wstęp**

Podczas różnych procesów technologicznych związanych ze zbiorem, obróbką pozbiorową, przechowywaniem a także siewem ziarna dochodzi do mechanicznego oddziaływania elementów maszyn na poszczególne ziarniaki. W wyniku tego rejestruje się wtedy często powstawanie ich mechanicznych uszkodzeń [Kołowca 1979; Ślipek 1994]. Najłatwiejsze do identyfikacji są makrouszkodzenia, natomiast mikrouszkodzenia okrywy owocowo nasiennej i struktury wewnętrznej są często niezauważalne. Mikrouszkodzenia zewnętrzne można identyfikować metodami kolorymetrycznymi [Grundas 1987], wewnętrzne rentgenograficznymi [Niewczas 1991, Strumiłło i in. 1999]. Ze względu na niewielkie wymiary ziarna, identyfikacja naprężeń trudna jest do przeprowadzenia na obiekcie rzeczywistym. Możliwości takie stwarzają badania modelowe z wykorzystaniem techniki elastoptycznej.

W celu ograniczenia tych uszkodzeń należy poznać mechanizm ich powstawania. Szczególnie istotny jest rozkład naprężeń i dynamika ich narastania pod wpływem działających obciążeń zewnętrznych.

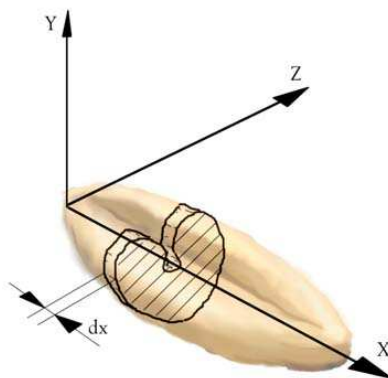
## Cel pracy

Celem pracy było:

- analiza obrazów izochrom w modelu ziarniaka pszenicy w zależności od działającego układu sił
- wyznaczenie rozkładu naprężeń w wybranych przekrojach modelu ziarniaka pszenicy
- określenie wpływu ułożenia modelu w stosunku do kierunku działającego obciążenia na rozkład naprężeń
- identyfikacja mikroskopowych obrazów w miejscach koncentracji naprężeń wywołanych obciążeniem ziarniaków.

## Metodyka

Przedmiotem badań był model elastoptyczny ziarna pszenicy stanowiący fragment ziarniaka wycięty dwiema równoległymi do siebie płaszczyznami, prostopadłymi do osi podłużnej ziarna i odległymi o wartość jednostkową  $dx$  (rys. 1). Z uwagi na konieczność zachowania odpowiedniej czułości zastosowanej metody badawczej oraz w celu uniknięcia deplanacji powierzchni modelu w trakcie obciążania przyjęto jego grubość wynoszącą 10mm.



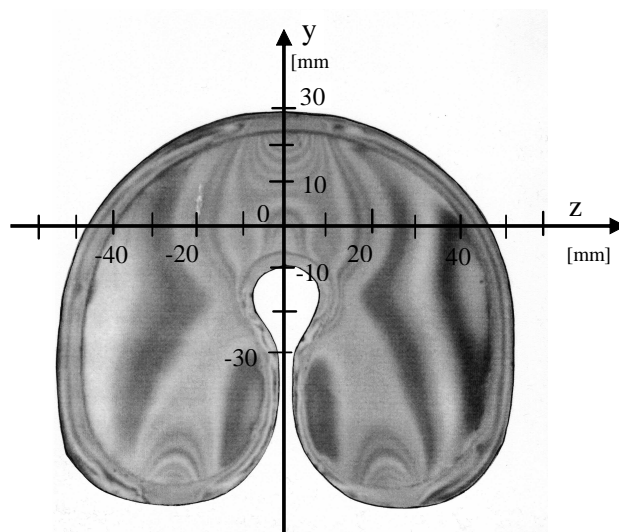
Rys. 1. Model ziarniaka pszenicy

Fig. 1. Kernel model of wheat

Założono następujące warunki podobieństwa modelowego: skala wymiarów liniowych  $x_L=5$ , skala modułów sprężystości podłużnej  $x_E=0,025$ . Na podstawie wcześniej prowadzonych badań przyjęto, że model będzie odpowiadał ziarniakom o wilgotności 10-12% a obciążenia nie będą przekraczały 70% zakresu odkształceń quasi-sprężystych.

Bazując na wielu obrazach mikroskopowych struktury wewnętrznej ziarniaków przyjęto, że model będzie 2-warstwowy. Model bielma wykonano z żywicy epoksydowej, natomiast warstwę zewnętrzną z żywicy zmodyfikowanej ftalenem butylu. Dzięki takiej kompozycji materiałów zachowano właściwy dla obiektu rzeczywistego. Stosunek modułu sprężystości podłużnej warstwy zewnętrznej do bielma, który wynosił około 1:1,5 [Sitkei 1986].

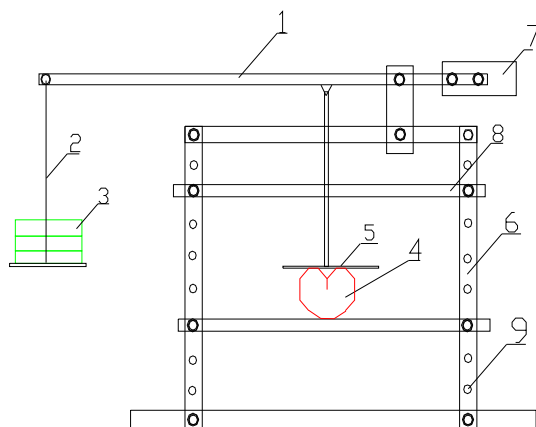
Obciążanie modelu przeprowadzono dla dwóch podstawowych położenia ziarniaka. Pierwsze położenie było stabilnym (płaszczyzna przechodząca przez bruzdkę jest prostopadła do podstawy). W drugim, ziarno leżało na boku (płaszczyzna bruzdki równoległa do podstawy). W każdym przypadku działające siły miały kierunek prostopadły do podstawy. Rejestrację obrazów izochrom i izoklin przeprowadzono przy wartościach siły: 200, 300, 400 i 600N. Przy obliczaniu naprężeń bazowano na metodzie różnic naprężeń stycznych Frochta [Będziński 1975]. Rozkład naprężeń określano w przekrojach pokrywających się z osiami  $y$  i  $z$  (rys. 2). Początek układu współrzędnych przyjęto w punkcie osobliwym.



*Rys. 2. Położenie przekroju  $y$  i  $z$  na powierzchni modelu*

*Fig. 2. Position of  $y$  and  $z$  cross section on the model surface*

Mechanizm dźwigniowy (rys. 3), na którym obciążano model umieszczano w przestrzeni roboczej polaryskopu o liniowej polaryzacji z dolnym źródłem światła.

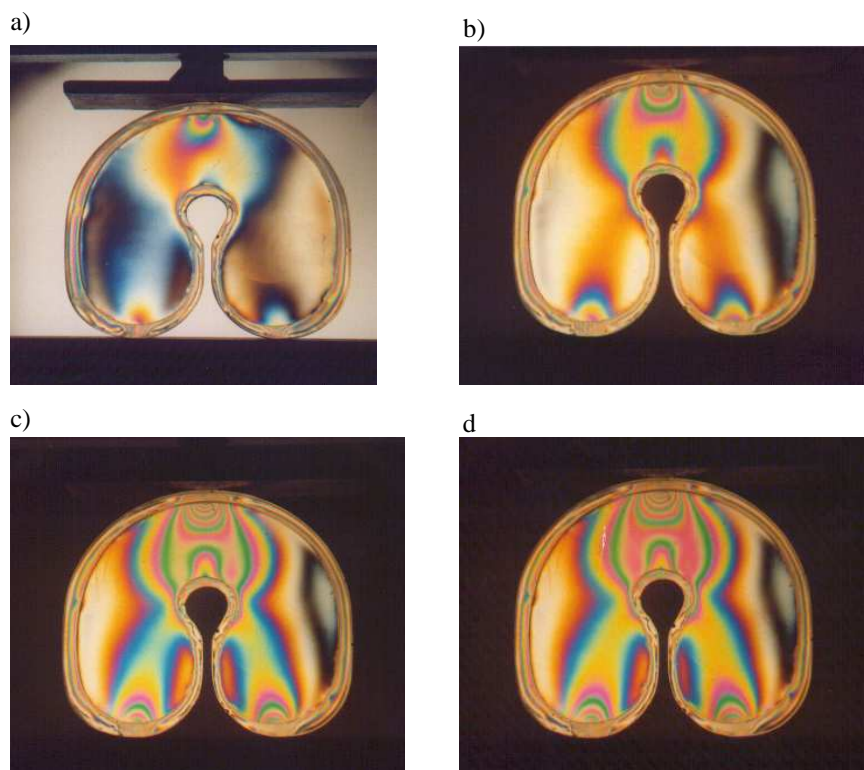


Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 - dźwignia, 2 - szalka, 3 - obciążniki, 4 - model, 5 - płyta dociskowa, 6 - konstrukcja ramowa, 7 - obciążnik równoważący ciężar dźwigni, 8 - prowadnica, 9 - otwory regulacyjne

Fig. 3. Scheme of experimental stand: 1 - lever, 2 - scale, 3 - weight, 4 - model, 5 - load plate, 6 - stiff frame, 7 - counterweight, 8 - runner, 9 - regulation wholes

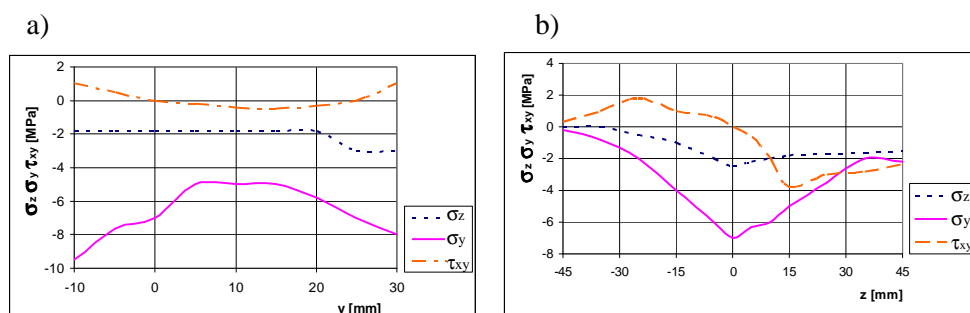
## Wyniki badań

Przykładowe obrazy izochrom na powierzchni modelu ziarna leżącego w pozycji stabilnej przedstawiono na rysunku 4. Z ich analizy wynika, że największa koncentracja naprężeń występuje w okolicy grzbietu i bruzdki. Potwierdzeniem ilościowym są wykresy rozkładów przedstawione na rysunku 5. W obu analizowanych przekrojach występuje dwukierunkowe nierównomierne ściskanie z przewagą naprężenia  $\sigma_y$ . Największe ich wartości około 8 MPa i 10 MPa rejestruje się na kierunku bruzdka i grzbiet ziarna. W miarę zwiększania obciążenia ziarna zostaje przekroczona wytrzymałość doraźna ziarniaka i na tym kierunku powinno pojawić się pierwsze pęknięcie struktury wewnętrznej. Potwierdzeniem tego stwierdzenia jest obraz struktury ziarniaka wykonany w momencie, gdy odkształcenie ziarniaka odpowiadało wartości rejestrowanej w chwili osiągnięcia granicy wytrzymałości doraźnej ziarna (rys. 6a). Przekroczenie tej wartości powoduje wzrost naprężeń i kolejną propagację szczelin (rys. 6b). Przy obciążaniu ziarna leżącego na boku w okolicy bruzdki występują naprężenia ściskające (rys. 7a), natomiast w okolicy grzbietu ziarniaka rozciągające. Charakter naprężeń jest więc typowy dla zginania. Z analizy wartości naprężeń można przypuszczać, że pęknięcie rozpocznie się z okolic bruzdki i przemieszczać się będzie w kierunku grzbietu, oraz w kierunku styku ziarniaka z płytami obciążającymi. Zdjęcia struktury wewnętrznej (rys. 8) w pełni te założenia potwierdzają.



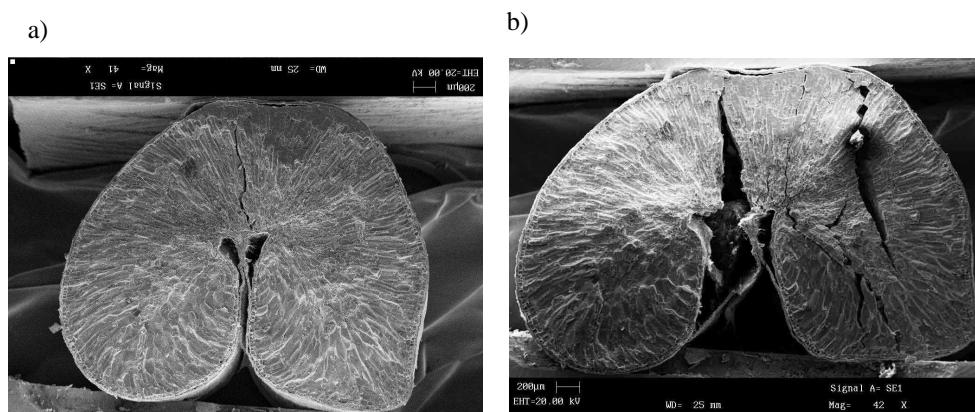
Rys. 4. Rozkład izochrom na powierzchni modelu ziarniaka przy obciążeniu siłą: a- 200N, b- 400 N, c-500 N, d-600 N (położenie ziarniaka stabilne)

Fig. 4. Isochroma pattern distribution on the surface of kernel model under loaded force: a- 200N, b- 400 N, c-500 N, d-600 N (most stable position)

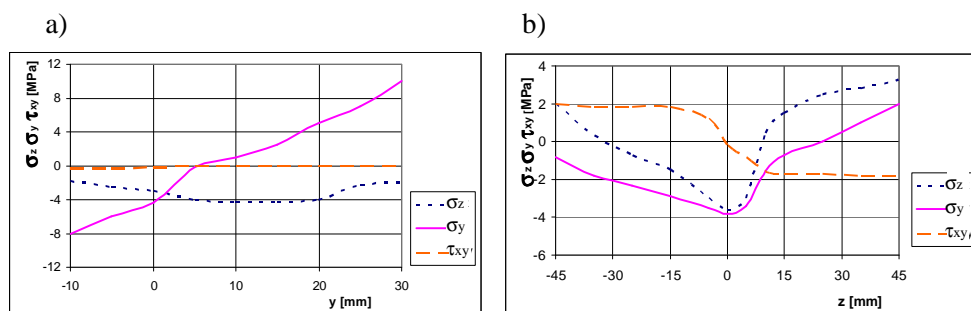


Rys. 5. Rozkład naprężeń  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{zy}$  wzdłuż osi y i z. Siła w kierunku osi y-  $F=600\text{ N}$

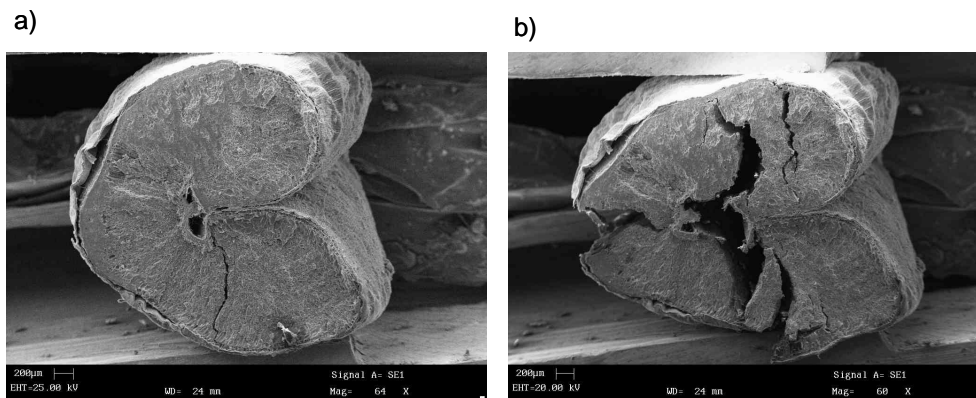
Fig. 5. Stress distribution  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{zy}$  along x and y axis. Load in y direction  $F=600\text{ N}$



Rys. 6. Przekrój poprzeczny ziarniaka pszenicy Navigator. Wilgotność 12,8%, szklistość 100%.: a- odkształcenie 0,2 mm, 41x; b- odkształcenie 0,5mm, 42x;  
 Fig. 6. Cross section of wheat kernel Navigator. Moisture content 12,8%, vitreosity 100% a-squeeze 0,2mm, 41x; b- squeeze 0,5mm, 42x;



Rys. 7. Rozkład naprężeń  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{zy}$  wzdłuż osi y i z. Siła w kierunku osi z-  $F=600\text{ N}$   
 Fig. 7. Stress distribution  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{zy}$  along x and y axis. Load in z direction  $F=600\text{ N}$



Rys. 8. Przekrój poprzeczny obciążanego ziarna pszenicy Navigator. Wilgotność 12,8%, szklistość 100%.: a- odkształcenie 0,15, powiększenie 61x; b- odkształcenie 0,3 mm

Fig. 8. Cross section of wheat grain Navigator. Moisture content 12,8%, vitreosity 100% a- squeeze 0,15 mm, increase by 61x; b- squeeze 0,3 mm

## Wnioski

1. Rozkład naprężeń  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  zależy w istotny sposób od położenia modelu względem zewnętrznego układu sił.
2. W położeniu stabilnym, gdy kierunek działającego obciążenia jest równoległy do bruzdki w modelu dominują naprężenia ściskające zarówno w kierunku osi y jak i z. Największe ich wartości rejestruje się w okolicach bruzdki i grzbietu i na tym kierunku obserwuje się na obrazach mikroskopowych propagację pęknięcia struktury ziarna.
3. W położeniu ziarna, gdy kierunek siły jest prostopadły do bruzdki naprężenia  $\sigma_y$  mają przebieg charakterystyczny dla zginania. Największe wartości naprężeń występują w okolicy grzbietu i bruzdki oraz w miejscach przyłożenia siły. W tych też obszarach zarejestrowano pęknięcia bielma.
4. Stosując metodę elastooptyczną, możemy przewidzieć przy założonym kierunku działającego obciążenia kierunki propagacji pęknięć i destrukcji struktury wewnętrznej ziarniaków.

## **Bibliografia**

Będziński R. 1975. Pomiary naprężeń metodą elastooptyczną. Skrypt Politechniki Wrocławskiej

Grundas S. 1987. Niektóre aspekty przydatności ziarna pszenicy zwyczajnej na uszkodzenia mechaniczne. *Prob. Agrofiz.* Nr. 54. Wyd. Ossolineum, Wrocław

Kolowca J. 1979. Wpływ obciążeń mechanicznych na uszkodzalność i wartość biologiczną ziarna pszenicy. *Rozpr. Hab.* Nr. 70. AR Kraków

Niewczas J. 1991. The method of determination of the indeks of mechanical damage of single Kornel means of X-ray detection. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. Z.* 389: 89-95

Sitkei G. 1986. *Mechanics of agricultural materiale.* Akademia Kiado. Budapest

Strumiłło P., Niewczas J., Szczypiński P., Makowski P., Wodniak W. 1999. Computer system for analysis of x-ray images of wheat grains. *International Agrophysics*, vol. 3: 133-140

Ślipek Z., Żłobecki A., Frączek J. 1994. Metoda oceny uszkodzalności ziarna przy obciążeniach wielokrotnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. Z.* 414: 193- 200.

## **WHEAT KERNEL ELASTOOPTICAL INVESTIGATION IN THE ELASTICITY RANGE OF DEFORMATION**

### **Summary**

The method of elastooptical investigation of the squeeze process results on the wheat kernel's internal structure has been presenting in this paper. The procedure has been allowed to determinate stress distribution of the wheat kernels cross section and its concentration areas. Aptness of analysis and show of areas are the beginning for propagation of the wheat kernel internal structure's cracking. The investigation was verified by scanning microscope pictures.

**Key words:** wheat grain, compression, photo-elastic model