

## **ZASTOSOWANIE METODY „BROKATOWEJ” W BADANIU WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH OKRYW NASIENNYCH MROŻONEGO BOBU (*Vicia faba*)**

Bożena Gładyszewska  
Akademia Rolnicza w Lublinie

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano metodę „brokatową” badania właściwości mechanicznych materiałów roślinnych. Określono moduł Younga oraz współczynnik Poissona dla okryw nasiennych bobu mrożonego. Mikroskopowy obraz losowo osadzonych na powierzchni próbki znaczników przekazywany był do pamięci komputera, co umożliwiło przeprowadzenie analizy zmian następujących podczas rozciągania próbki. Metoda ta charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru i może być stosowana także do badania materiałów o dużej wilgotności. Bardzo istotną zaletą proponowanej metody jest jej nieczułość na efekty brzegowe, występujące w pobliżu zacisków próbki. Porównano wyniki uzyskane dla bobu mrożonego, świeżego i suszonego. Stwierdzono, że wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona bobu mrożonego są bardzo zbliżone do wartości tych parametrów określonych dla bobu świeżego.

**Słowa kluczowe:** bób, moduł Younga, współczynnik Poissona

### **WSTĘP**

Produkcja nasion roślin strączkowych jest coraz bardziej zmechanizowana. Podczas zbioru, suszenia oraz przechowywania nasiona poddawane są dużym obciążeniom mechanicznym, wśród których mogą pojawić się naprężenia niszczące. Dlatego też poznanie własności mechanicznych okryw nasiennych, łącznie z elementami tensora naprężeń, modułem Younga i współczynnikiem Poissona jest bardzo istotne [Boruszak i in. 1984]. Wiedza ta może pozwolić na ograniczenie strat materiałowych oraz poprawę jakości nasion i ich wartości handlowej.

Zwiększające się zapotrzebowanie na produkty mrożone narzuca konieczność opracowania takich technologii, które umożliwiają przechowywanie „świeżych” warzyw i owoców, a jednocześnie nie będą w sposób istotny zmieniać ich właściwości fizycznych – w tym mechanicznych. Moduł Younga oraz współczynnik Poissona są jednymi z podstawowych wielkości fizycznych charakteryzujących dany materiał w sensie jego

---

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Bożena Gładyszewska, Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin, e-mail: bozena.gladyszewska@ar.lublin.pl

właściwości mechanicznych. Dotyczy to także okryw nasiennych. Z oczywistych względów, zarówno materiał mrożony po rozmrożeniu, jak i świeży powinny charakteryzować się podobnymi właściwościami mechanicznymi, czyli uzyskane w trakcie badań wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona powinny mieć zbliżone wartości. Według wielu autorów [Arnold i Moshenin 1971, Chen i Frifley 1972, Dobrzański 1998, Sherif i in. 1994, Stanley i in. 1989], to właśnie te wielkości fizyczne są najodpowiedniejsze do charakteryzowania stanu badanego materiału i porównywania go z innymi.

Moduł Younga okryw nasiennych można wyznaczyć z relacji przyłożonej siły i odkształcenia podłużnego badanego materiału. Ta prosta zasada pomiarowa wymaga jednak odpowiedniej realizacji w praktyce. Często stosowane w tym celu urządzenia pomiarowe typu INSTRON pozwalają wprawdzie na prawie zautomatyzowane pomiary, ale uzyskiwane wyniki dotyczą zachowania całej badanej próbki okrywy nasiennej, a więc także i jej obszarów w okolicy zacisków mocujących próbkę. Obszary te ze względu na dodatkowy wpływ zacisków zachowują się inaczej niż obszary położone w środkowej części badanej próbki. Badany materiał staje się tym samym anizotropowy, a uzyskane – uśrednione – rezultaty nie charakteryzują precyzyjnie całości badanego materiału. Konieczne stało się więc opracowanie i zastosowanie takiej metody pomiarowej, która byłaby wolna od wspomnianych wad.

Metoda określania elementów tensora odkształceń badanych okryw nasiennych wykorzystującą numeryczną analizę Fouriera [Gładyszewska i Chocyk 2004] została z powodzeniem zastosowana w badaniu okryw nasiennych suszonego bobu. Metoda ta, która polega na pokrywaniu badanego materiału regularną, bardzo cienką siecią metaliczną i określaniu jej zmian geometrycznych przy różnych wartościach działających sił nie zawsze może być zastosowana, jednak doskonale sprawdza się dla materiałów o niewielkiej wilgotności. Powyższa metoda nie może być zastosowana do badania świeżych okryw nasiennych, ponieważ nie jest możliwe próżniowe osadzenie sieci metalicznej na materiale zawierającym wodę, dlatego jej modyfikacja stała się koniecznością. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie zastosowania nowej metody, którą ze względu na losowy charakter rozkładu znaczników na powierzchni badanego materiału nazwana została metodą „brokatową”. Pozwala ona między innymi na wyznaczenie tensora naprężeń okryw nasiennych charakteryzujących się różną wilgotnością. W niniejszej pracy przedstawiono sposób wykorzystania tej metody do wyznaczania modułu Younga oraz współczynnika Poissona okryw nasiennych mrożonego bobu (*Vicia faba*), a następnie wyznaczone parametry porównano z wynikami uzyskanymi dla bobu suszonego i świeżego.

## MATERIAŁ I METODA

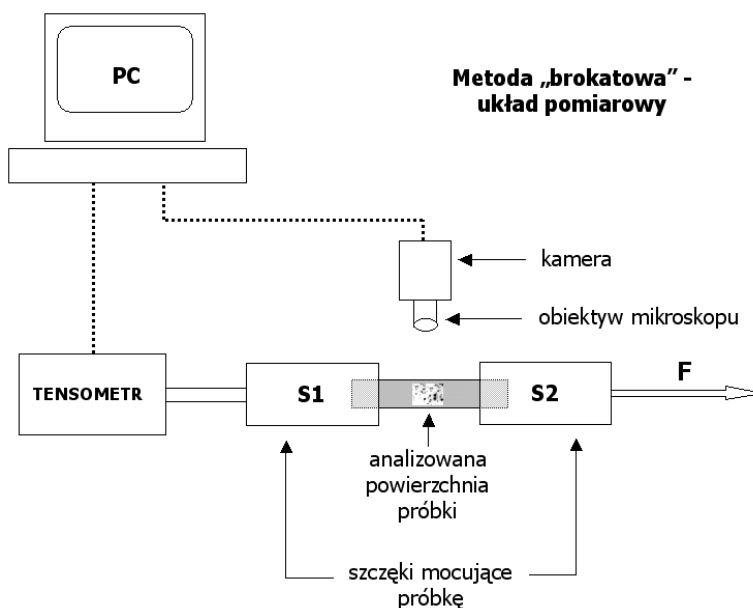
Wyznaczenie modułu Younga badanego materiału polega na analizie zmiany wzajemnej odległości losowo naniesionych punktów i poddaniu go jednoosiowemu rozciąganiu. W tym celu na badany materiał rozpylane były znaczniki w postaci drobnych kropli czarnego lakieru (rozpylane z odległości ok. 2 m, tak by osadzające się drobiny były pozbawione już płynnego nośnika, mogącego wchodzić w reakcję z powierzchnią

badanego materiału) lub też pyłu grafitowego. Schemat aparatury pomiarowej przedstawiony jest na rysunku 1. Zdjęcia powierzchni okrywy bobu wraz ze znajdującymi się na niej punktami były przenoszone z kamery do pamięci komputera, a następnie obliczano liniowe odległości pomiędzy nimi oraz cosinusy odpowiednich kątów wyznaczone względem osi sieci oraz krawędzi obrazu. Relatywna zmiana długości elementów liniowych przed i po deformacji oraz wartości cosinusów kątów pozwoliły na wyznaczenie naprężenia w cienkiej warstwie okrywy. Przykładowy obraz badanego materiału przed i po przyłożeniu siły rozciągającej przedstawia rysunku 2. Na podstawie mierzonego odkształcenia warstwy w kierunku przyłożonej siły możemy określić moduł Younga, zaś na podstawie wzajemnych relacji odkształcenia w kierunku rozciągania i w kierunku prostopadłym do niego możemy wyznaczyć współczynnik Poissona. Szukane wartości modułu Younga  $E$  i współczynnika Poissona  $\nu$  opisują następujące zależności:

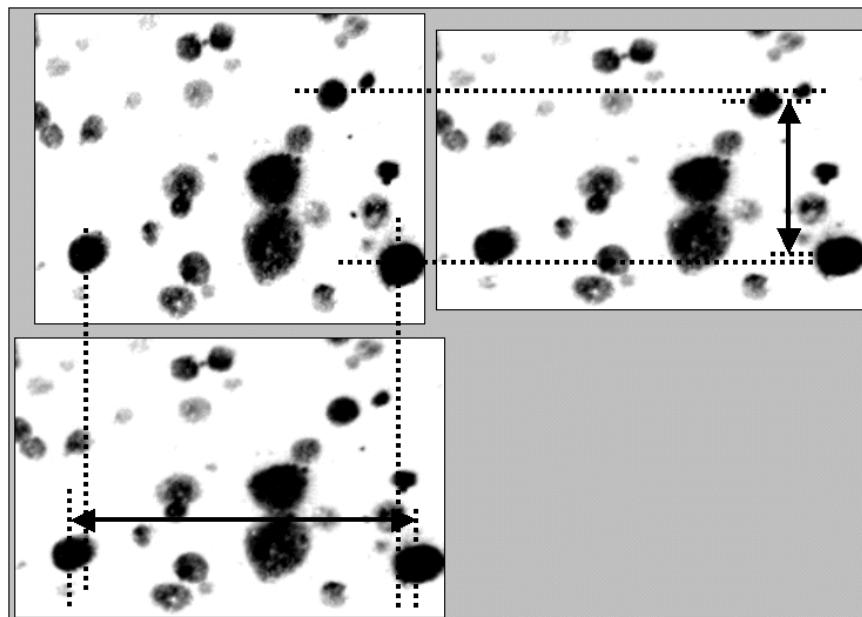
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_x}, \quad (1)$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}. \quad (2)$$

gdzie  $\sigma$  jest naprężeniem rozciągającym,  $\varepsilon_x$  jest odkształceniem w kierunku rozciągania, zaś  $\varepsilon_y$  jest odkształceniem w kierunku prostopadłym do kierunku rozciągania.



Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej, stosowanej w metodzie „brokatowej”  
Fig. 1. Scheme of the experimental set-up used in „brocade” method



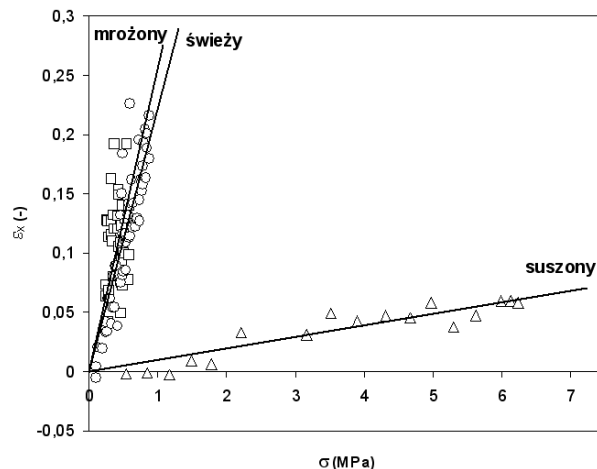
Rys. 2. Przykładowy obraz badanego materiału przed i po przyłożeniu siły rozciągającej  
 Fig 2. Exemplary image of studied sample taken before and after the applied tensile force

Podczas rozciągania okrywy program komputerowy zbierał obrazy o rozdzielczości 320x240 pikseli oraz aktualną wartość siły działającej na próbkę. Na podstawie tych informacji możliwe było precyzyjne określenie postępującego odkształcenia w funkcji siły rozciągającej. Tym samym, zgodnie z podanymi zależnościami (1) i (2) możliwe stało się wyznaczenie wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona.

## WYNIKI BADAŃ

Rysunek 3 przedstawia przykładowe zależności odkształcenia  $\epsilon$ , od naprężenia, sporządzone dla okryw nasiennych bobu suszonego, świeżego oraz mrożonego. Na podstawie takich zależności możliwe było wyznaczenie modułu Younga, dla badanych okryw. Stosując analogiczną procedurę, wyznaczono także współczynnik Poissona. Pomiary przeprowadzono każdorazowo dla 30 próbek okryw nasiennych każdego rodzaju. Uzyskane wartości, które przedstawia tabela 1 są więc wartościami uśrednionymi.

Zarówno zależności przedstawione na rysunku 3, jak i uśrednione wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona zawarte w tabeli 1 wskazują na to, iż bób mrożony ma bardzo podobne właściwości mechaniczne. Na uwagę zasługuje fakt, że w uzyskanych wartościach nie widać ścisłej zależności od wilgotności próbek. Jest oczywiście potwierdzone, że wraz ze wzrostem wilgotności maleją wartości modułu Younga



Rys. 3. Przykładowe zależności odkształcenia  $\varepsilon_x$  od naprężenia  $\sigma$ , sporządzone dla okryw nasiennej bobu suszonego, świeżego oraz mrożonego

Fig. 3. Exemplary dependencies of  $\varepsilon_x$  versus stress  $\sigma$  performed for seeds coats of dried, fresh and frozen fababeans

Tabela 1. Wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona wyznaczone dla okryw nasiennej bobu suszonego, świeżego i mrożonego. Dodatkowo określono średnią wilgotność badanych okryw. W nawiasach podano wartości standardowej dewiacji dla wyznaczonych wielkości fizycznych

Table 1. Young modulus and Poisson ratio determined for seed coats of dried, fresh and frozen fababeans samples. Additionally wet of the samples was determined. In parenthesis standard deviations of determined parameters are given

Bób Fababeans	$E$ (MPa)	$\nu$ (-)	Wilgotność, % Humidity, %
Suszony – Dried	103,0 (6,2)	0,31 (0,039)	12 (2,3)
Świeży – Fresh	4,4 (0,31)	0,43 (0,052)	77 (7,2)
Mrożony – Frozen	4,0 (0,29)	0,41 (0,048)	48 (6,8)

(co dobrze widać porównując dane zawarte w tabeli 1 dla bobu suszonego i pozostałych próbek), ale już porównując wyniki dla bobu świeżego i mrożonego widzimy, że nawet istotna różnica wilgotności nie musi powodować znacznych różnic wartości modułu Younga i współczynnika Poissona. Można oczywiście zastanawiać się, czy gdyby doprowadzono przez nawilżanie próbek bobu mrożonego (lub dosuszanie próbek bobu świeżego) do identycznych poziomów wilgotności próbek, to czy wartości modułu Younga i współczynnika Poissona nie różniłyby się o wiele bardziej, ale celem pracy było stwierdzenie jak bardzo – w sensie właściwości mechanicznych – różni się bób

mrożony od świeżego. Uzyskane wyniki wskazują na to, że różnice są niewielkie, co powinno pozytywnie wpływać na odbiór konsumenta, dla którego mrożonki stanowią substytut produktów świeżych, i który oczekuje nie tylko możliwie jak najbardziej zbliżonego smaku produktu oraz jego wyglądu, ale także i jego konsystencji, za którą w części odpowiadają właściwości okryw nasiennych.

## PODSUMOWANIE

Zaprezentowana metoda badania właściwości mechanicznych okryw nasiennych, opiera się na związku pomiędzy jednoosiowym rozciąganiem liniowego elementu a składowymi tensora naprężeń. Pozwala na wyznaczenie elementów tensora deformacji badanego materiału. W niniejszej pracy badania przeprowadzono dla okryw nasiennych bobu (*Vicia faba*). Porównano wyniki uzyskane dla bobu mrożonego, świeżego i suszonego. Stwierdzono, że wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona dla bobu mrożonego są bardzo zbliżone do wartości tych parametrów określonych dla bobu świeżego. Przeprowadzone badania należy traktować, jako prezentację skutecznej i precyzyjnej metody określania właściwości mechanicznych badanych materiałów. Bardzo ważnym atutem tej metody jest bowiem to, iż pozwala na pominięcie warunków brzegowych, a także umożliwia precyzyjne powiązanie siły rozciągającej ze stopniem deformacji próbki. Należy zaznaczyć, że prezentowana tu ‘brokatowa’ metoda pomiaru pozwala na możliwie dokładne wyznaczenie wartości modułu Younga nie tylko okryw nasiennych, ale także każdego innego badanego materiału, który można umieścić w zaciskach rozciągających. Metoda ta, wraz z analizą fourierowską stanowi użyteczne narzędzie w badaniu mechanicznych właściwości cienkich warstw materiałów biologicznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Arnold P.C., Moshenin N.N., 1971. Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. *Transaction of the ASAE* 14, 78–84.
- Boruszak A., Sygulski R., Wrzesniowski K., 1984. *Wytrzymałość materiałów, doświadczenia metody badań*. PWN, Warszawa-Poznań.
- Gładyszewska B., Chocyk D., 2004. Application of numerical Fourier transform for determining a deformation tensor of studied seed covers. *Optica Applicata* 34, 1, 133–143.
- Chen P., Frifley R.B., 1972. An analytical method of determining viscoelastic constants of agricultural materials. *Transaction of the ASAE* 15, 1103–1106.
- Dobrzański B. jr., 1998. Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. *Acta Agrophysica* 13, Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie.
- Sherif S.M., Segerlind I.J., Frame J.S., 1994. An equation for the modulus elasticity of the radially compressed cylinder. *Transaction of the ASAE*, 782–785.
- Stanley D.W., Wu X., Phak L.C., 1989. Seed coat effects in cooked reconstituted bean texture. *J. Texture Stud.* 20, 419–429.

**„BROCADE” METHOD APPLIED FOR STUDYING MECHANICAL PROPERTIES OF FROZEN FABABEAN (*Vicia faba*) SEED COATS**

**Abstract.** In this work the „brocade” method is presented and used to determine mechanical properties of biological materials. Young modulus and Poisson ratio have been determined for frozen fababean. Microscopy images of randomly deposited markers on samples surface have been transferred to computer memory. Then changes in marker positions were analyzed. The method is precise and can be applied also for wet materials. Moreover the method is not affected by any side effects present in the sample close to attachments. Results obtained for fresh, frozen and dried fababean have been compared. Young modulus and Poisson ratio were very close for frozen and fresh fababean samples.

**Key words:** fababean, Young modulus, Poisson ratio

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 7.06.2006