

Janusz Kolowca  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Akademia Rolnicza w Krakowie

## WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE MIĄŻSZU JABŁEK O ZRÓŻNICOWANEJ STRUKTURZE

### Streszczenie

Przeprowadzono testy pełzania z odciążeniem na walcowych próbkach pobieranych z jabłek 3 odmian o odmiennych właściwościach strukturalnych miąższu. Zaobserwowano wyraźne zróżnicowanie wartości parametrów oceny właściwości reologicznych tych odmian. W pracy przedstawiono także uwagi dotyczące sposobu przeprowadzania testów pełzania dla materiałów roślinnych o wysokim stopniu wilgotności.

**Słowa kluczowe:** miąższ jabłek, właściwości lepkosprężyste, test pełzania z odciążeniem

### Wstęp

Wysokouwodnione materiały roślinne, w tym jabłka, są typowymi obiektami reologicznymi, tzn. takimi, które pod działaniem zewnętrznych obciążeń mechanicznych płyną w czasie, a więc zachowują się zarówno jak ciała stałe i płynne.

W warunkach obciążeń quasi-statycznych ściskających, działających na próbki pobrane z materiałów reologicznych, najbardziej wytrzymała część konglomeratu komórkowego, czyli ściany komórkowe, odkształcają się początkowo sprężysto, komórki zmieniają kształt spłaszczając się w kierunku działania obciążenia, wzrasta ciśnienie turgorowe co powoduje wypływ cieczy przez przepuszczalne dla wody ściany komórkowe i występuje pełzanie materiału (jego płynięcie w czasie). Pełzanie materiału odbywa się najpierw ze znaczną i malejącą prędkością, a potem prędkość odkształcenia osiąga stałą wartość (pełzanie ustalone). Taki stan rzeczy może trwać dość długo, bowiem komórki mogą zmieniać swoje położenie dzięki istnieniu wypełnionych powietrzem przestrzeni komórkowych, a ściany komórkowe odkształcają się plastycznie tylko nieznacznie, tzn. że po odciążeniu próbki

następuje częściowy wzrost do stanu pierwotnego, czyli jej nawrót, zwany też odkształceniem odwrotnym [Chrzanowski 1995], który odbywa się ze zmienną prędkością, najpierw dużą, a potem coraz mniejszą, aż do ustalenia się na stałym poziomie (lepkosprężysty charakter nawrotu). Podczas trwającego pełzania, z czasem narastają naprężenia w ścianach komórkowych, zaczynają dominować odkształcenia plastyczne i dochodzi do tzw. pełzania nieustalonego powstającego z powodu niszczenia wiązań pektynowych komórek, komórki oddzielają się od siebie i występuje utrata nośności próbki – jej zniszczenie [Chrzanowski 1995; Mohsenin 1970; Puchalski 2001].

Z przedstawionego opisu zachowania się wysokouwodnionych obiektów biologicznych pod działaniem obciążeń zewnętrznych wynika, że charakterystyka mechaniczna takiego materiału powinna uwzględniać skalę czasu dla procesów deformacyjnych. Najlepiej jest więc tutaj wykonać próbę pełzania z odciążeniem, tzn. rejestrować w czasie odkształcenia przy działaniu stałego obciążenia i po jego ustaniu [Kolowca 2003]. Takie testy wytrzymałościowe przeprowadzono na próbkach miąższu pobranych z jabłek różnych odmian.

### **Materiał i metoda**

Testy wytrzymałościowe przeprowadzono następująco. Próbki materiału obciążano pomiędzy dwoma równoległymi płytami, przy zachowaniu stałości naprężenia ( $\sigma = 0,13$  MPa), rejestrując jej odkształcenie aż do osiągnięcia stałej prędkości pełzania, a następnie zdejmowano obciążenie i obserwowano nawrót, aż do momentu jego ustalenia się na stałym poziomie. Odkształcenie mierzono z dokładnością 0,01 mm. Poziom obciążenia był jednakowy dla wszystkich badanych obiektów i przyjęto go tak, aby uzyskać możliwie duży udział nawrotu w stosunku do odkształceń pełzania. Jest to ważne, gdyż nawrót może być miarą sprężystości, zdefiniowanej jako zdolność materiału do powrotu do poprzedniego kształtu po zdjęciu obciążenia [Kolowca 2003].

Próbki miały kształt walców o wymiarach  $\phi$  14,7 x 10 mm i były wykrawane za pomocą specjalnego wykrojnika, który umożliwiał uzyskanie próbek o dokładnej równoległości płaszczyzn podstaw. Jest to istotne ze względu na konieczność dobrego przylegania podstaw próbki do elementu obciążającego i oporowego, gdyż w ten sposób można uzyskać zadowalającą jednorodność naprężeń i odkształceń. Wysokość próbki mierzono z dokładnością do 0,01 mm [Kolowca 2003].

Przedmiot badań stanowiły 3 odmiany jabłek o zróżnicowanej strukturze miąższu: Delicious (miąższ ścisły, jędrny), Jonagold (miąższ średnio ścisły, gruboziarnisty), Sampion (miąższ średnio luźny, średnioziarnisty). Z jabłek tych odmian pobierano

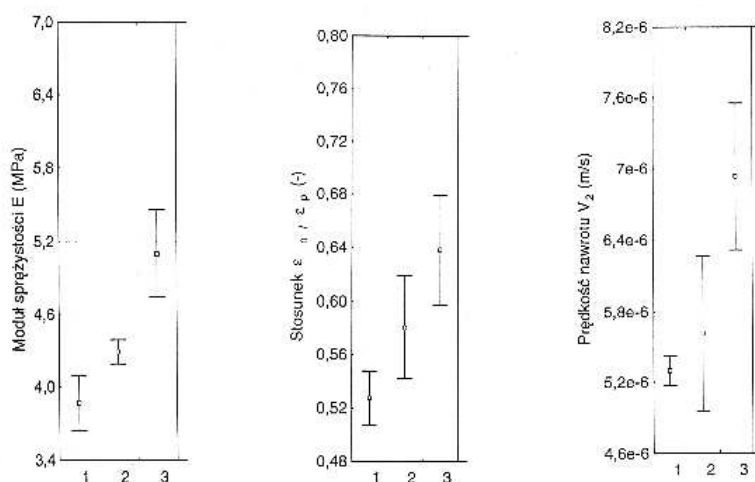
próbki poprzecznie (promieniowo) do osi obrotu, z części bez rumieńca. Sposób przygotowania próbki był następujący: pobranie materiału na głębokości około 15 mm od powierzchni owocu, odcięcie i odrzucenie 2 mm warstwy ze skórką, odcięcie walca o długości około 10 mm.

Ze względu na możliwe zmiany właściwości próbek związane z wilgotnością i składem chemicznym ich przygotowanie odbywało się „na bieżąco”. Pomiary wykonywano w fazie dojrzewania pozbiornego owoców pochodzących z sadu produkcyjnego, przechowywanych w chłodni w temperaturze 6°C i wilgotności powietrza około 95%. Przed wykrawaniem próbek miąższu owoce pobrane z chłodni przetrzymywano około 18 godz. w celu osiągnięcia równowagi z naturalnymi warunkami pomieszczenia w którym wykonywano testy wytrzymałościowe.

### Wyniki badań

Wyniki badań przedstawia rysunek 1, gdzie podano średnie wartości oraz przedziały ufności (poziom istotności 0,05) dla następujących parametrów oceny:

- modułu sprężystości  $E$ , wyznaczonego z odkształcenia nawrotu i naprężenia
- prędkości nawrotu  $V_2$ , jej średniej wartości wyliczonej z odkształcenia i czasu nawrotu
- stosunku nawrotu do odkształcenia pełzania  $\varepsilon_n / \varepsilon_p$ .



Rys. 1. Wartości parametrów oceny właściwości reologicznych 1- Sampoion, 2- Jonagold, 3- Delicious

Fig. 1. Values of reologic properties parameters for different species: 1- Sampoion, 2- Jonagold, 3- Delicious

Analizując dane na wykresach można zaobserwować bardzo wyraźne zróżnicowanie wartości w/w parametrów oceny dla badanych odmian jabłek. Najwyższe wartości modułu sprężystości i prędkości nawrotu wystąpiły u odmiany Delicious, a najniższe wartości  $E$  i  $V_2$  przypadły odmianie Sampion. Miąższ odmiany Jonagold miał właściwości reologiczne pośrednie. Wartości modułu sprężystości mieściły się w przedziale około  $5\div 6$  MPa, a prędkości nawrotu około  $5\div 7,5$  m/s  $\cdot 10^{-6}$ .

Parametr  $\varepsilon_n / \varepsilon_p$  mieścił się w zakresie około  $50\div 70\%$ , a jego wyższe wartości odpowiadały odmianie o wysokim module sprężystości.

### **Wnioski**

1. Zaobserwowano istotne zróżnicowanie właściwości lepkosprężystych miąższu jabłek badanych odmian, co świadczy o przydatności stosowanej metody do oceny właściwości mechanicznych jabłek.
2. Najwyższe wartości modułu sprężystości oraz prędkości nawrotu wystąpiły u odmiany Delicious, której miąższ charakteryzował się dużą ściśliwością i jędrnością.
3. Ze względu na znaczną zmienność cech reologicznych jabłek bardzo istotne jest zagwarantowanie, w trakcie testowania materiału, w miarę wysokiej jednorodności naprężeń i odkształceń oraz taki dobór obciążeń, przy których uzyska się wysoki udział nawrotu w stosunku do odkształceń pełzania.

### **Bibliografia**

Chrzanowski M. 1995. Reologia ciał stałych. Wydawnictwo P.K. Kraków.

Kolowca J. 2003. Ocena właściwości reologicznych wysokowodnionych materiałów roślinnych. Inżynieria Rolnicza 11 (53)/2003, s. 97÷103.

Mohsenin N.N. 1970. Physical properties of plant and animal materiale. Gordon and Breach Science Publ. New York.

Puchalski C. 2001. Metodyczne aspekty badania tarcia i jędrności jabłek pod kątem oceny ich jakości. Zeszyty Naukowe AR Kraków 2001, z. 275.

## **REOLOGIC PROPERTIES OF VARIED STRUCTURE APPLE FLESH**

### **Summary**

Load-free creeping tests were carried out on cylindrical samples drawn from 3 species of apples, having various structural properties of flesh. Distinct differences were observed between the parameters of reologic properties of those species. Moreover, remarks regarding the procedures of creeping tests for highly humid plant material, have been given.

**Key words:** apple flesh, viscosity and elasticity properties, load-free creeping test