

CHARAKTERYSTYKA INSTRUMENTALNYCH METOD BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH WYBRANYCH OWOCÓW I WARZYW

Streszczenie

Celem pracy jest scharakteryzowanie wybranych metod badań właściwości mechanicznych owoców i warzyw oraz wskazanie parametrów opisujących cechy reologiczne badanych materiałów. Badano właściwości mechaniczne jabłek, bananów, buraków ziemniaków w testach ściskania, relaksacji i cięcia. Stwierdzono, że testy wytrzymałościowe, m.in. ściskania i cięcia, odnoszące się bezpośrednio do właściwości takich jak twardość były bardzo dobrym wskaźnikiem tekstury. Uzyskane wartości naprężenia maksymalnego oraz sił cięcia oraz obrazy krzywych ściskania i cięcia wskazywały na wysoką twardość buraków i ziemniaków. Owoce takie jak jabłka i banany charakteryzowały się niższą odpornością na ściskanie i cięcie co wskazywało na większą miękkość tkanki. Materiały, takie jak, jabłko i ziemniak możemy opisać jako lepkosprężyste, ze szczególnym udziałem cech elastycznych w przypadku buraka, zaś banan wykazuje tendencje płynięcia.

Słowa kluczowe: właściwości instrumentalne i mechaniczne, tkanka roślinna

Oznaczenia

F- siła [N],
 F_0 - siła dla $\tau = 0$ [N],
 F_τ - siła po czasie relaksacji τ [N],
S - pole przekroju poprzecznego próbek przed odkształceniem [m²],
 l_0 - wymiar próbki przed ściśnięciem [mm],
l - wymiar próbki po ściśnięciu [mm],
 ε - odkształcenie rzeczywiste,
 σ - naprężenie [kPa],
 σ_w - naprężenie względne relaksacji,
 σ_0 - naprężenie dla $\tau = 0$ [kPa],
 σ_τ - naprężenie po czasie relaksacji τ [kPa],
 τ - czas relaksacji [s],
a - współczynnik cech lepkosprężystych krzywej relaksacji,
b- współczynniki tempa relaksacji krzywej relaksacji.

Wprowadzenie

W charakterystyce właściwości teksturalnych żywności wyróżnia się dwie główne grupy, opierające się na sensorycznych i instrumentalnych metodach analizy. Analiza sensoryczna zakłada użycie zmysłów węchu, smaku, słuchu i dotyku. Analiza instrumentalna obejmująca szereg testów mechanicznych wykorzystuje działanie sił ściskających, rozciągających, czy tnących. Testy instrumentalne mierzą różne aspekty tekstury, stąd tylko niektóre z nich korelują z wybranymi, charakterystycznymi cechami danych materiałów [Szczęśniak 2002]. Trudność w badaniach reologicznych polega na dobraniu właściwej metody pomiaru w celu uzyskania pełnej informacji o cechach mechanicznych charakterystycznych dla badanego materiału.

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest scharakteryzowanie wybranych metod badań właściwości mechanicznych owoców i warzyw oraz wskazanie parametrów opisujących cechy reologiczne badanych materiałów.

Zakres pracy obejmował badania właściwości mechanicznych owoców i warzyw w testach instrumentalnych przeprowadzonych za pomocą teksturometru.

Metodyka

Materiałem do badań były surowce pochodzące z rynku lokalnego: banany, ziemniaki odmiany: Astra, Irys, Irga, buraki odmiany Chrobry oraz jabłka odmiany Idared pochodzące z sadów doświadczalnych SGGW. Surowce przed przystąpieniem do badań myto, i krojono w kostkę o boku 10 mm.

Badanie właściwości teksturalnych wykonano przy zastosowaniu teksturometru Texture Analyzer TA-TX2 firmy Stable Micro Systems Ltd. W pracy wykorzystano zestaw dostępnych wymiennych głowic pomiarowych stanowiących wyposażenie teksturometru. Przeprowadzono testy:

-ściskania: stosując głowicę o średnicy 21 mm, odkształcano wysokość próbki o 10% z prędkością 0,1 mm/s,

-relaksacji: rejestrując siłę w czasie 180 s relaksacji po odkształceniu próbki o 10% z prędkością 0,1 mm/s,

-cięcia- wykonano przy zastosowaniu ostrza pomiarowego o długości 62 mm, szerokości 24 mm, grubości 0,5 mm, prędkość przesuwu głowicy 1 mm/s, głębokość cięcia 5 mm

Każdy test powtarzano 10-krotnie dla wszystkich materiałów, w pracy przedstawiono uśrednione krzywe.

Napężenie σ :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Napężenie względne relaksacji σ_w wyznaczono jako:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_r}{\sigma_o} \quad (2)$$

Odkształcenie rzeczywiste próbki ε :

$$\varepsilon = -\ln\left(1 - \frac{l_o - l}{l_o}\right) \quad (3)$$

Linearyzację krzywej relaksacji wykonano zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Pelega [1980] stosując równanie:

$$\frac{F_0 \cdot \tau}{F_0 - F_t} = \frac{1}{a \cdot b} + \frac{1}{a} \cdot \tau \quad (4)$$

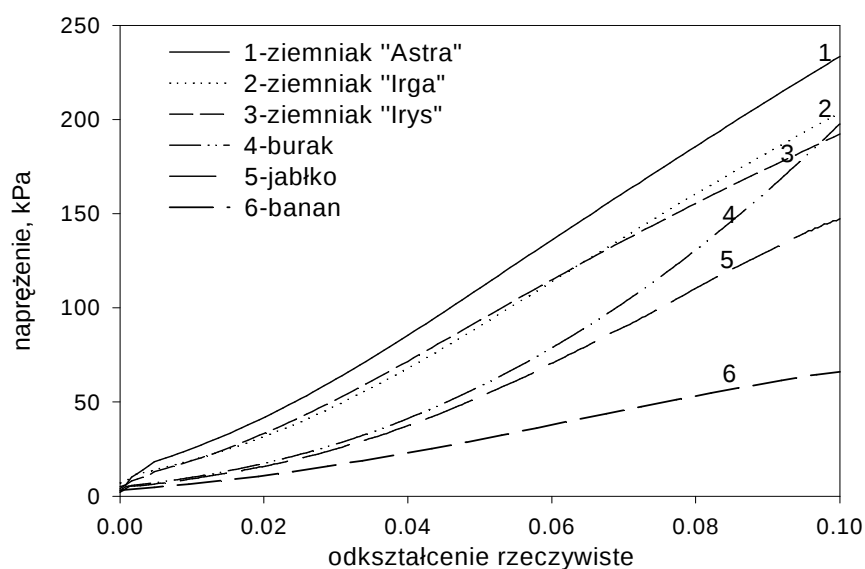
Zgodnie z założeniem równania $a=0$ -charakteryzuje ciała idealnie sprężyste, $a=1$ ciecze.

Wyniki badań i ich analiza

Krzywą ściskania ziemniaków w układzie napężenie – odkształcenie rzeczywiste przedstawia rysunek 1. Charakterystyka przebiegu krzywej dla każdej z odmian ziemniaka

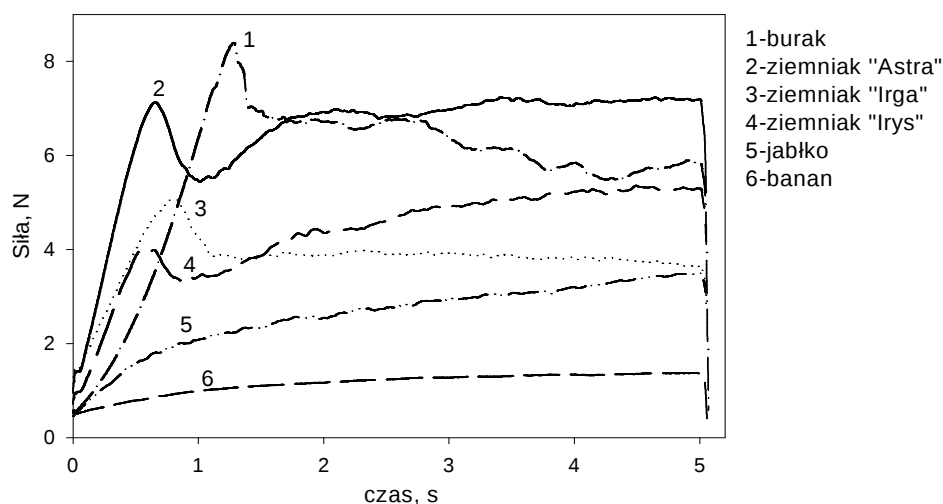
jest zbliżona, krzywe różnią się wartościami naprężenia maksymalnego oraz nachyleniem. Korzystając z wykresu krzywych ściskania można określić, jakie jest zachowanie materiału podczas działania sił ściskających. Na rysunku 1 przedstawiono również krzywe ściskania jabłka, buraka i banana. Z krzywych ściskania wynika, iż burak stawia większy „opór” działającej sile niż jabłko, a żądane odkształcenie uzyskuje się przy wyższych naprężeniach, choć początkowo, w pierwszej fazie odkształcania buraka i jabłka przebieg krzywych jest zbliżony. Krzywa ściskania uzyskana dla banana znajduje się poniżej krzywych uzyskanych dla pozostałych materiałów, co wskazuje na najmniejszą odporność materiału na ściskanie a tym samym na miękkość tkanki banana.

Krzywe testu cięcia badanych materiałów przedstawiono na rysunku 2. Test cięcia wykonany ostrzem polegał na zagłębianiu zaostrej płytki metalowej w miąższu badanego materiału. Dla jabłka i banana przebieg krzywej jest łagodniejszy a siła narasta stopniowo. Do końca testu cięcia banana wartość siły rośnie wraz z zagłębianiem się ostrza w materiał, natomiast dla buraka i ziemniaków krzywa charakteryzuje się wyraźnym maksimum. Dzieje się tak za sprawą różnej tekstury, która stawia ostrzu bardzo duży opór. Po przecięciu tkanki (maksymalny pik siły) następuje gwałtowny spadek siły. Wykres krzywych cięcia dla ziemniaków i buraka wskazuje na różnice w budowie i strukturze odmian ziemniaka i buraków. Na początku procesu obserwowano wzrost siły cięcia, związany z pokonaniem oporu warstw powierzchniowych. Wprowadzane ostrze niszczy struktury komórkowe. Stopień zniszczenia jest zależny od struktury i wytrzymałości danej tkanki. Dla Irgi, po osiągnięciu siły maksymalnej, następuje okres, w którym wartość siły praktycznie się nie zmienia. Oznacza to, że pod warstwą powierzchniową budowa bulwy jest praktycznie homogeniczna. Dla dwóch pozostałych odmian ziemniaka po osiągnięciu początkowego maksimum siły następuje spadek, a następnie wartość siły stopniowo rośnie aż do końca testu. Krzywe cięcia dla buraka wykazują bardzo wysokie zróżnicowanie, co wynika z „słojowej” budowy bulwy.

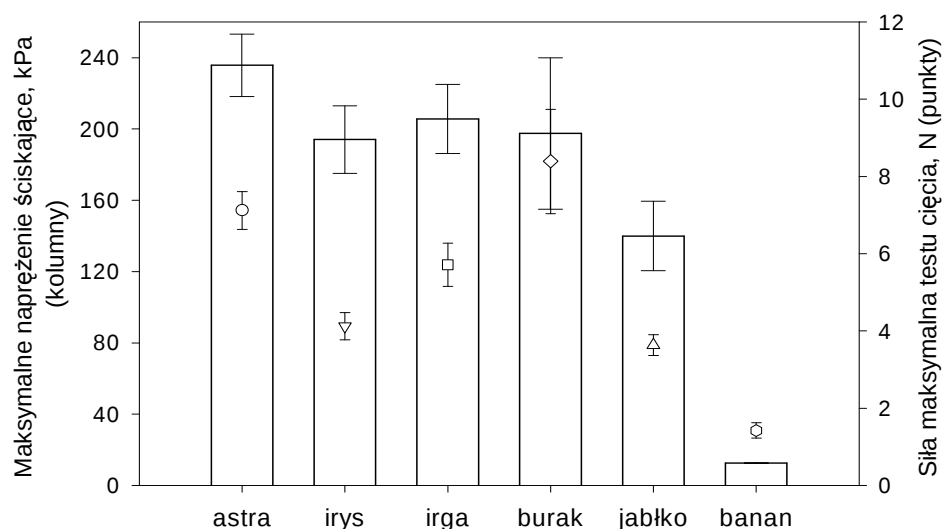


Rys.1. Krzywe ściskania dla ziemniaków, buraka, jabłka i banana

Fig. 1. Compression curves for potatoes, beets, apples and bananas.



Rys. 2. Krzywe cięcia dla ziemniaków buraka, jabłka i banana
Fig. 2. Cutting curves for potatoes, beets, apples and bananas.



Rys.3. Zróżnicowanie maksymalnego naprężenia testu ściskania i sił maksymalnych testu cięcia badanych surowców
Fig. 3. Differentiation of maximum stress at compression tests and maximum forces at cutting tests of tested materials.

Porównanie wartości średnich wraz z odchyleniami standardowymi dla naprężeń maksymalnych w teście ściskania oraz sił maksymalnych testu cięcia przedstawiono na rysunku 3. Analiza statystyczna wartości naprężeń nie wykazuje różnic statystycznie istotnych dla odmian Irys i Irga, rozrzut wartości wokół średniej dla obu odmian wynosi 9,0%. Naprężenie uzyskane przy odkształceniu 0,1 dla odmiany Astra różni się statystycznie istotnie od wartości uzyskanych dla dwóch pozostałych odmian ziemniaków. Wartości średnie naprężeń maksymalnych jabłka i buraka różnią statystycznie istotnie mimo, że przebieg krzywych ściskania dla tych dwóch bardzo różnych materiałów jest zbliżony. Charakterystyczne jest również bardzo duże zróżnicowanie naprężeń maksymalnych dla buraka, rozproszenie wyników wokół wartości średniej sięgało 22%, również dla banana rozproszenie to było znaczne i wynosiło 19%.

Porównanie wartości sił cięcia wskazuje na wyraźne różnice między badanymi materiałami, szczególnie zaobserwowano różnice pomiędzy odmianami ziemniaków. Siła cięcia dla odmiany Irys była aż o 38% mniejsza w porównaniu z ziemniakiem odmiany Irga (podczas testu ściskania nie obserwowano różnic pomiędzy tymi próbkami), zaś ziemniaki odmiany Astra wskazują najwyższą wartość siły cięcia a tym samym charakteryzują się najwyższą twardością spośród badanych odmian ziemniaków. Rozrzut wyników wokół średniej wykazuje analogiczną tendencję jaką zaobserwowano podczas testu ściskania. Największe zróżnicowanie materiału wykazywał burak (odchylenie wokół średniej- 16%) oraz banan (odchylenie wokół średniej- 14%).

Wartości maksymalne naprężeń sił cięcia uzależnione są od zawartości skrobi oraz od różnic w strukturze tkanki. Świetlikowska [1995] podaje, iż zawartość skrobi w ziemniakach odmian Aster wynosi średnio 14%, Irga 13%, zaś Irys 12,5%. Wyższe wartości naprężenia maksymalnego i sił cięcia wskazywać mogą na zwiększoną odporność tkanki i wynikać mogą z wyższej zawartości skrobi charakterystycznej dla ziemniaków odmiany Aster. Test cięcia wyraźnie wskazuje na wysoką twardość buraka i małą odporność na cięcie banana jednocześnie wysokie rozproszenie wokół średniej charakteryzuje heterogeniczną strukturę obu materiałów. Test cięcia ukazuje większe różnice między właściwościami mechanicznymi owoców i warzyw. Podczas cięcia ostrze zagłębia się do połowy materiału a zatem oddziałuje na większą część tkanki niż podczas ściskania, gdzie odkształceniu ulega 10% materiału.

Relaksację przedstawiono jako zmiany naprężenia względnego, w którym wartość aktualnego naprężenia odniesiono do naprężenia początkowego testu relaksacji. Stopień zrelaksowania po 180 s dla każdej z odmian ziemniaków jest podobny i wynosi dla Aster 0,63 a dla odmian Irga i Irys 0,60. Oznacza to, że dla każdej z odmian w trakcie relaksacji, rozproszeniu ulega około 60% naprężeń wywołanych ściskaniem. Odmiany Irys i Irga tworzą grupę homogeniczną, czyli ich średni stopień zrelaksowania nie różni się. Po 180 s relaksacji stopień relaksacji naprężeń dla buraka wynosił 0,75, dla jabłka 0,60 zaś dla banana 0,35. W czasie relaksacji banana, znaczna część naprężeń podlega relaksacji co wskazywać by mogło na znaczny wpływ i udział cech lepkościowych w kształtowaniu zachowania tej tkanki, zachowania sprężyste są bardziej widoczne w relaksacji tkanki buraka.

Tab. 1. Charakterystyka parametrów relaksacji
Table 1. Characteristics of relaxation parameters.

Surowiec	Naprężenie względne σ_r	Współczynnik relaksacji, a	Współczynnik relaksacji, b
Ziemniak „Aster”	$0,63 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$
Ziemniak „Irga”	$0,60 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$
Ziemniak „Irys”	$0,60 \pm 0,01$	$0,43 \pm 0,04$	$0,06 \pm 0,01$
Burak	$0,75 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,02$
Jabłko	$0,60 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$
Banan	$0,35 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$

Na podstawie procedury linearyzacji krzywej relaksacji zaproponowaną przez Pelega [1980] wyznaczono współczynniki relaksacji. Wielkości współczynników a dla poszczególnych odmian ziemniaków układały się w następujący sposób: Irys – 0,43; Irga – 0,42; Aster – 0,38 a więc malejąco wraz ze wzrostem zawartości skrobi w poszczególnych odmianach. Wartość współczynnika a wskazuje na udział cech lepkościowych. Zbliżoną wartość współczynnika relaksacji a uzyskano dla jabłka - 0,42. Banan i burak charakteryzowały się odmiennym zachowaniem podczas relaksacji, wartości współczynnika a dla banana wynosiła 0,67 zaś

dla buraka 0,26. Banan wykazuje cechy charakterystyczne dla materiałów o dużym wpływie cech lepkich a więc wyraźnej tendencji do płynięcia. Podczas gdy materiały takie jak, jabłko i ziemniak możemy opisać jako materiały lepkosprężyste, ze szczególnym udziałem cech elastycznych w przypadku buraka.

Wartość współczynnika relaksacji b charakteryzującego początkowe tempo relaksacji była zbliżona i wahała się od 0,04 dla jabłka do 0,07 dla buraka, dla wszystkich odmian ziemniaków uzyskano jednakową wartość 0,06. Wysokim początkowym tempem relaksacji charakteryzowała się tkanka banana dla której współczynnik b przyjął wartość 0,13. Należy przypuszczać, że struktura banana została zniszczona w większym stopniu i materiał łatwiej wraca do pierwotnego kształtu.

Wnioski

Testy wytrzymałościowe, m.in. ściskania i cięcia, odnoszące się bezpośrednio do właściwości takich jak twardość były bardzo dobrym wskaźnikiem właściwości mechanicznych. Uzyskane wartości naprężenia maksymalnego, sił cięcia oraz obrazy krzywych ściskania i cięcia wskazywały na wysoką twardość buraków i ziemniaków. Test cięcia jest testem obrazującym wyraźne różnice między materiałami, szczególnie w przypadku oceny surowców z tej samej grupy. Maksymalna siła cięcia była wskaźnikiem ukazującym różnice w twardości odmian ziemniaków. Owoce takie jak, jabłka i banany charakteryzowały się niższą odpornością na ściskanie i cięcie, co wskazywało na większą miękkość tkanki, wynikającą z obecności rozległych przestrzeni międzykomórkowych wypełnionych powietrzem. Testy relaksacji dostarczały szeregu informacji o mechanicznych właściwościach materiału. Jabłko i ziemniak możemy opisać jako materiały lepkosprężyste, ze szczególnym udziałem cech elastycznych w przypadku buraka. Wynik testu relaksacji tkanki banana wykazuje wpływ cech lepkich na zachowanie próbek podczas relaksacji, wyraźnej tendencji do płynięcia materiału.

Bibliografia

Peleg M. 1980.: Linearization of Relaxation and Creep Curves of Solid Biological Materials. J. Rheology, 24 str. 451-463,

Szcześniak A. S. [2002.: Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, 13, str. 215-225,

Świetlikowska U. 1995.: Surowce Spożywcze. Wydawnictwo SGGW, Warszawa,

CHARACTERISTICS OF INSTRUMENTAL METHODS FOR TESTING MECHANICAL PROPERTIES OF SELECTED FRUITS AND VEGETABLES

Summary

The study aimed to characterize some methods used for testing mechanical properties of selected fruits and vegetables as well as to define the parameters describing rheological properties of tested materials. Mechanical properties of the apples, bananas, beet roots and potato tubers were tested by compression, relaxation and cutting tests. It was found that the strength tests, i.e. compression and cutting, related directly to the properties such as hardness, were adequate texture indicators. Obtained maximum stress and cutting force values as well as the compression and cutting curves showed high hardness of the beets and potatoes. The fruits such as apples and bananas were characterized by lower compression and cutting resistance what indicated higher softness of the tissues. The

materials such as an apple or potato may be described at the viscoelastic ones, with particular share of elastic properties on case of the beet roots, whereas the bananas showed some tendencies to flowing.

Key words: mechanical properties, instrumental tests, plant tissues.

Recenzent-Józef Grochowicz