

Jerzy Bohdziewicz
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

NIEJEDNORODNOŚĆ CECH MECHANICZNYCH CEBULI

Streszczenie

Heterogeniczność i nieciągłość struktury warzyw, utworzonych z autonomicznych liści, jest przyczyną niejednakowego przebiegu odkształcenia, w zadanych warunkach obciążenia. Badano zgrubienia jadalne cebuli odmiany Wolska, przeprowadzono test wytrzymałościowy, obliczono wartości nakładów pracy oraz pozornego współczynnika sprężystości, w zależności od kierunku obciążenia. Na podstawie testów reologicznych określono zróżnicowanie zdolności kumulacji i intensywności rozproszenia energii sprężystej. Stwierdzono, że odkształcenia w kierunku osi podłużnej rośliny wymagają blisko dwukrotnie większych nakładów energetycznych niż w kierunku promieniowym.

Słowa kluczowe: cebula, sprężystość, histereza odkształceń, właściwości reologiczne

Wprowadzenie

Duże wymagania wodne i glebowe oraz wrażliwość na warunki przechowywania zgrubień jadalnych cebuli zwyczajnej (*Allium cepa L.*), mają istotny wpływ na zmiany ich właściwości fizycznych i chemicznych. Podczas transportu i składowania zgrubienia jadalne są często poddane mechanicznym obciążeniom, ich następstwem mogą być niezauważalne bezpośrednio uszkodzenia, wzrost respiracji i straty podczas przechowywania [Maw i in. 1996; Herold i in. 1998]. Przekroczenie dopuszczalnego nacisku może wywołać zjawisko lokalnej dekohezji, pojawienie się mikropęknięć, zgnieceń i zmiążdżeń. Uszkodzenia te umożliwiają wnikanie do wnętrza rośliny mikroorganizmów powodujących procesy gnicia [Mohsenin 1986]. Do pełnego scharakteryzowania cebuli, jako produktu spożywczego lub surowca do dalszej obróbki, konieczne jest wyznaczenie właściwości mechanicznych i reologicznych, przy uwzględnieniu kształtu, rozmiarów lub innych cech fizycznych.

Specyficzna budowa zgrubienia jadalnego może być przyczyną niejednakowych odkształceń, zależnie od kierunku przyłożenia obciążenia. Płasko ścięte, koncentryczne sfery osiowo symetrycznego układu autonomicznych liści, wyrastających ze skróconej łodygi („piętki”), mogą przemieszczać się względem siebie w kierunku osi podłużnej rośliny. Możliwość przemieszczeń w kierunku poprzecznym jest znacznie ograniczona, ze względu na miejscowe zrośnięcie liści. Badania tekstury z wykorzystaniem penetratora (zagadnienie naprężeń kontaktowych- Boussinesqa), wykluczają możliwość oceny zróżnicowania oporów mechanicznych, wynikających z orientacji przestrzennej obiektu badań [Blahovec 1994]. Stąd zachodzi potrzeba poszukiwania innych metod określenia właściwości mechanicznych na podstawie odpowiedzi na zadane obciążenie.

Celem badań było obliczenie energii właściwej odkształcenia oraz pozornego współczynnika sprężystości, w zależności od kierunku ściskania cebuli między dwiema sztywnymi płytami. Dodatkowo badano zdolność kumulacji energii sprężystej na podstawie testu histerezy odkształceń oraz obliczono wartości parametrów charakteryzujących umowną sprężystość i lepkość dynamiczną, w zadanych warunkach realizacji testów pełzania i relaksacji naprężeń.

Materiał i metody

Obiektem badań były kuliste zgrubienia jadalne cebuli (*Allium cepa L.*) odmiany Wolska, selekcyonowane pod względem kształtu i rozmiarów. Materiał zbierano ręcznie z jednego pola i przechowywano przez 10 dni w suchym, przewiewnym pomieszczeniu. Do badań wybierano cebule o kształcie zbliżonym do kulistego, o średnicach w przedziale 35 do 50 mm. W odniesieniu do każdego egzemplarza zastosowano standardowe metody wyznaczania gęstości oraz zawartości suchej substancji (metoda suszarkowa). Gęstość zawierała się w przedziale od 840 do 1100 kg·m⁻³, wartość średnia dla 200 pomiarów wynosiła 960 kg·m⁻³. Zawartość suchej substancji w stosunku do masy całkowitej mieściła się w zakresie od 9% do 14% (wartość średnia 12%).

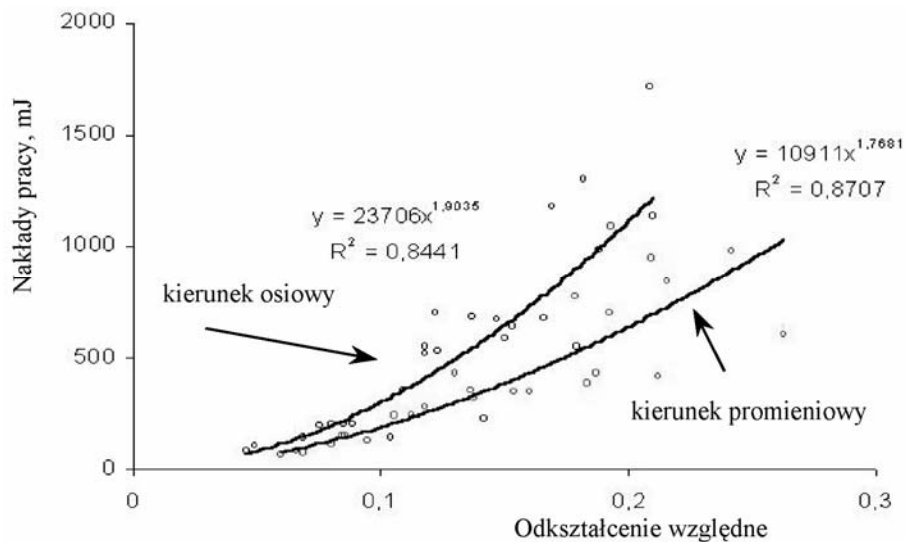
Wyznaczano charakterystyki siła – przemieszczenie na podstawie testu wytrzymałościowego i histerezy odkształceń w warunkach quasi-statycznych, na maszynie wytrzymałościowej typu Instron 5566. Wykorzystano głowicę tensometryczną o zakresie do 1 kN, przemieszczaną z prędkością 2 mm·min⁻¹. Na podstawie relacji siła - przemieszczenie obliczano wielkości nakładów energetycznych aż do momentu pojawienia się tzw. punktu ustąpienia (bioyield point), wykorzystano przy tym metodę całkowania numerycznego. Traktując odkształcenie jako sprężyste, obliczono pozorny moduł sprężystości, wykorzystano hipotezę energetyczną Beltramiego dla jednoosiowego stanu naprężenia. Punkt ustąpienia wyznacza granicę zależności, w której zwiększenie odkształcenia jest skutkiem narastającej

wartości siły [Mohsenin 1986]. Jednocześnie wyznaczano największą wartość siły F_{max} , definiowaną jako granicę wytrzymałości biologicznej [Blahovec 2001a]. Badania przeprowadzono w kierunku osi podłużnej oraz w kierunku do niego prostopadłym. Każdą otrzymaną wartość F_{max} odniesiono do wymiaru średnicy cebuli w kierunku pomiaru, uzyskany przelicznik umożliwił obliczenie poziomu wstępnego obciążenia przy realizacji pozostałych testów. Analogiczne obliczenia nakładów energetycznych przeprowadzono dla trzech pętli histerezy odkształceń, wstępne obciążenie było ustalone na poziomie 50% średniej wartości siły F_{max} , uwzględniono rozmiary cebuli. Na podstawie uzyskanych wyników porównano pracę odkształcenia całkowitego w fazie obciążania oraz zdolność kumulacji energii sprężystej w fazie odciążania.

Przy realizacji testów reologicznych ustalony poziom obciążenia był równy 50% F_{max} , pomiary przerywano po upływie 1300 sekund. Zjawisko pełzania w zadanych warunkach obciążenia charakteryzowano wartością współczynników umownej sprężystości oraz pozornej lepkości, jako parametrów modelu Burgersa [Datta, Morrow 1984]. Do opisu przebiegu zjawiska relaksacji wykorzystano adaptację modelu Maxwella [Jeong i in. 1997; Blahovec 2001b], uzyskując zapis będący analogią modelu Burgersa dla pełzania.

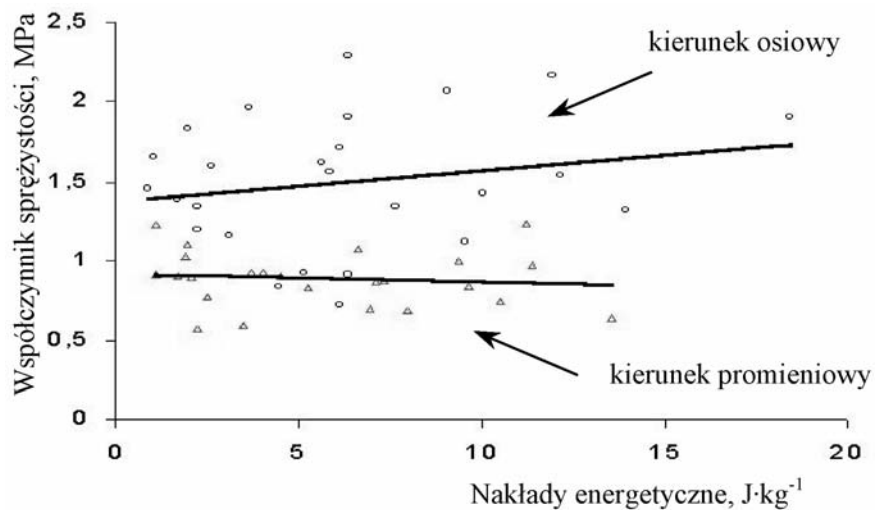
Wyniki badań

Na rysunku 1 przedstawiono wartości jednostkowej energii w funkcji odkształcania względnego. Jak można zauważyć, zmniejszenie rozmiaru, na przykład o 20% w kierunku osiowym, wymaga blisko dwukrotnie większego nakładu pracy niż w kierunku promieniowym. Z zestawienia wartości pozornego współczynnika sprężystości oraz pracy odkształcenia (rys. 2) wynika, że nie ma znaczenia położenie punktu ustąpienia (bioyield point) na wykresie siła – przemieszczenie. Jeżeli potraktujemy pozorny moduł sprężystości jako miarę oporu mechanicznego [Blahovec 2001a], można stwierdzić, że występuje zróżnicowanie właściwości mechanicznych w zależności od kierunku obciążania. Zdolność kumulacji energii sprężystej obserwowano na podstawie testu histerezy odkształceń. Na rysunku 3 skojarzono poziom energii, związanej z odkształceniem w fazie ściskania, z poziomem zakumulowanej energii sprężystej, obserwowanej w fazie sprężystego nawrotu. Z tego zestawienia wynika, iż anizotropia właściwości mechanicznych jest konsekwencją zróżnicowania morfologicznego cebuli w skali makro. Na podstawie wykresu na rysunku 4 można zauważyć, że średnia wartość oporu mechanicznego jest jednakowa podczas ściskania i w fazie nawrotu sprężystego, charakterystyczne jest także pozorne umocnienie materiału, objawiające się narastaniem oporu przy ściskaniu materiału. Zjawisku temu towarzyszy zmniejszenie obliczonych nakładów energetycznych, wynikające ze zmniejszenia wartości odkształcenia przy takim samym obciążaniu (rys. 5).



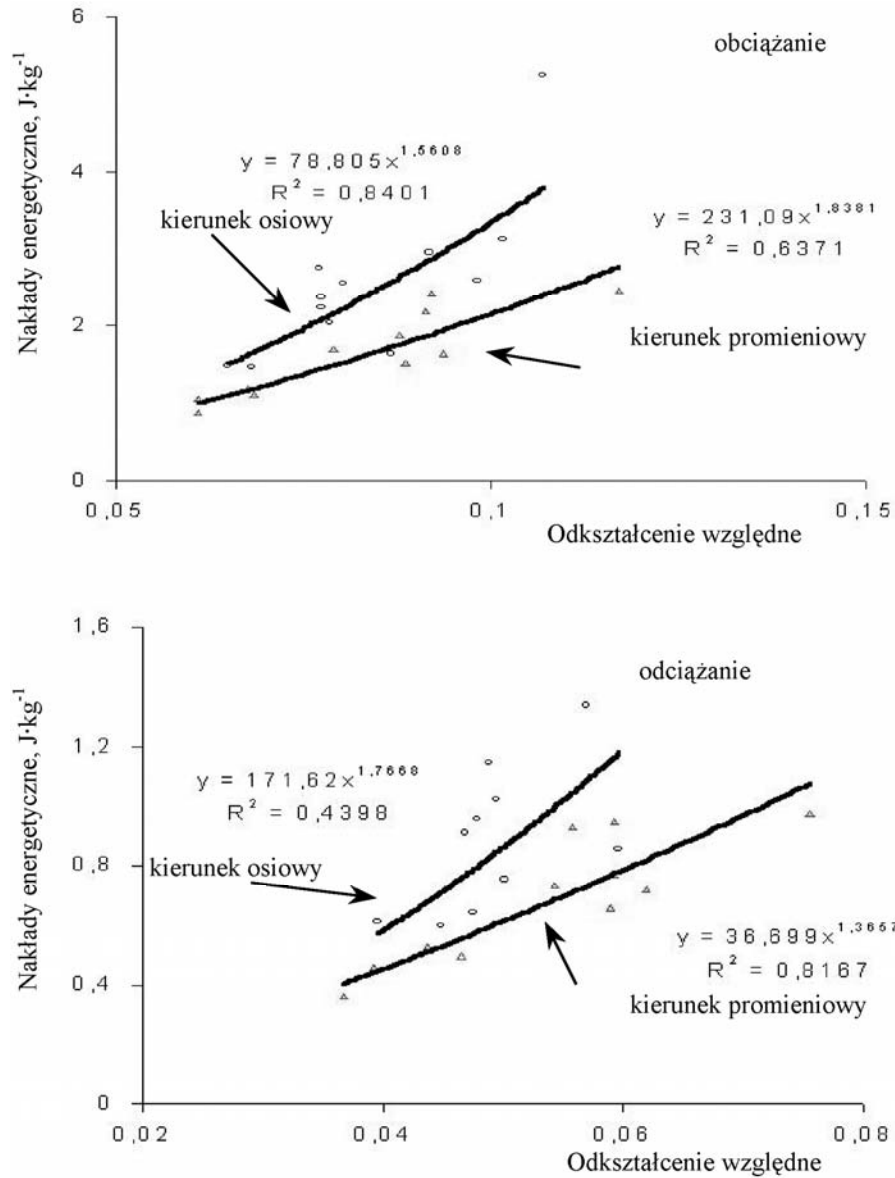
Rys. 1. Porównanie wielkości nakładów energetycznych w zależności od kierunku obciążenia, test wytrzymałościowy

Fig. 1. Comparison of energy expense values in relation to the load direction, the strength test



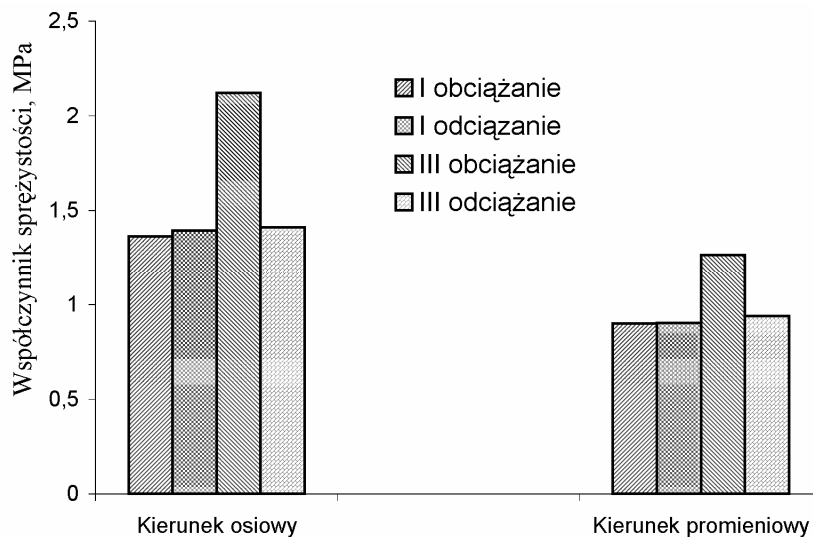
Rys. 2. Zestawienie wartości umownego współczynnika sprężystości i nakładów energetycznych, test wytrzymałościowy

Fig. 2. Juxtaposition of modulus of elasticity and energy expense values, strength test



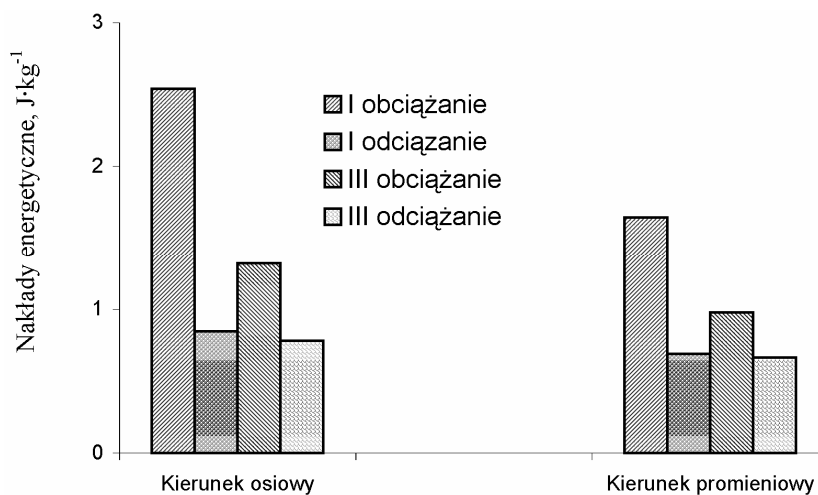
Rys. 3. Porównanie energii całkowitej odkształcenia i akumulowanej energii sprężystej, w zależności od kierunku obciążenia, realizacja pierwszej pętli histerezy

Fig. 3. Comparison of total energy of deformation and accumulated elastic strain energy, in relation to the load direction



Rys. 4. Porównanie średnich wartości pozornego współczynnika sprężystości podczas realizacji pierwszej i trzeciej pętli histerezy odkształceń

Fig. 4. Comparison of average energy expense values during the first and third loop of elastic hysteresis



Rys. 5. Porównanie średnich wartości nakładów energetycznych podczas realizacji pierwszej i trzeciej pętli histerezy odkształceń

Fig. 5. Comparison of mean values of energy during realization of the first and third hysteresis loop

Zróżnicowanie zdolności kumulacji energii sprężystej, w zależności od orientacji przestrzennej cebuli podczas badań, można także obserwować na podstawie zestawienia średnich wartości parametrów przyjętych modeli reologicznych, (tabela 1). Miarą intensywności dyssypacji nagromadzonej energii są w tym przypadku wartości współczynników pozornej lepkości dynamicznej, różne dla obu kierunków obciążania badanego obiektu. Parametry modelu, wyznaczone podczas testu pełzania dla obu kierunków obciążania, nie różnią się w istotny sposób, co świadczy o podobieństwie przebiegu tego zjawiska.

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości współczynników sprężystości i lepkości pozornej jako parametrów modelu Burgersa. Test pełzania i relaksacji naprężeń

Table 1. Composition of mean values of the coefficients of elasticity and the apparent viscosity as parameters of the Burgers model. The creep and relaxation tests

Parametry modelu Burgersa	Test pełzania		Test relaksacji naprężeń	
	kierunek osiowy	kierunek promieniowy	kierunek osiowy	kierunek promieniowy
Współczynnik sprężystości E	6,8 MPa	6,1 MPa	1,6 MPa	3,6 MPa
Współczynnik lepkości η	0,51 GPa·s	0,46 GPa·s	0,49 GPa·s	1,1 GPa·s
Współczynnik lepkości η_a	4,3 GPa·s	3,6 GPa·s	5,6 GPa·s	8,2 GPa·s

Wnioski

1. Osiowo symetryczny układ liści jest przyczyną niejednakowego przebiegu odkształcenia, podczas ściskania zgrubienia jadalnego cebuli. Stwierdzono istotne różnice w przebiegu siła-przemieszczenie, związane z orientacją przestrzenną badanego obiektu. Przy obciążaniu w kierunku osiowym, średnia wartość pozornego współczynnika sprężystości, jako miary oporu mechanicznego była o blisko 50% większa, niż w kierunku promieniowym. Analogiczna różnica występuje w odniesieniu do poziomu nakładów pracy odkształcania.
2. Potwierdzeniem anizotropii właściwości mechanicznych jest także niejednakowa zdolność kumulacji energii sprężystej oraz przebieg jej dyssypacji. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy średnimi wartościami parametrów modelu Burgersa, wyznaczonych podczas testu pełzania.

Bibliografia

- Blahovec J. 1994. Elastic and strength properties of round agricultural products. *Int. Agrophysics* 8, s. 543-546.
- Blahovec J. 2001a. Static mechanic and texture of fruits and vegetables. *Research in Agricultural Engineering* 47(4), s. 144-169.
- Blahovec J. 2001b. Improved rate controlled model for stress relaxation in vegetable tissue. *Int. Agrophysics* 15(2), s. 73-78.
- Datta A., Morrow C. T. 1983. Graphical and computational analysis of creep curves. *Trans. of ASAE* 26(6), s. 1870-1874.
- Herold B., Oberbarnscheidt B., Geyer M. 1998. Mechanical load and its effect on bulb onions due to harvest and post-harvest handling. *J. of Agric. Engr. Res.* 71, s. 373-383.
- Jeong H.S. et al. 1997. Stress relaxation characteristics of some vegetables, *Journal of Horticulture Science* 39(2), s. 122-126.
- Maw B.W. et al. 1996. Physical and mechanical properties of fresh and stored sweet onions. *Trans. of ASAE* 39(2), s. 633-637.
- Mohsenin N.N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. 2nd Ed. Gordon & Breach Science Publ. New York.

HETEROGENEITY OF MECHANICAL PROPERTIES OF ONION

Summary

Heterogeneity and discontinuity of the structure of vegetables, made of autonomous leaves, is the cause of uneven process of deformation in the given load conditions. The edible swelling of onion of the Wolska variety was studied, a strength test was performed, the work expense and the apparent modulus of elasticity values were calculated, in relation to the direction of load. Based on rheological tests, the differences in the accumulation capacity and intensity of dissipation of elastic strain energy were established. It was found that deformations in the longitudinal direction of the plant axis require nearly twice as much energy expense as compared to the radial direction.

Key words: onion, elasticity, hysteresis, rheological proprieties