

OCENA MOŻLIWOŚCI WYZNACZENIA WSPÓŁCZYNNIKA SPRĘŻYSTOŚCI WARZYW O KSZTAŁCIE KULISTYM

Jerzy Bohdziewicz

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Nieregularność kształtu oraz niejednorodność struktury stanowią ograniczenie wykorzystania teorii Hertza do obliczeń współczynnika sprężystości E warzyw o kształcie kulistym. Zaproponowano metodę obliczeń pozornego współczynnika sprężystości E_C na podstawie nakładów jednostkowej pracy obciążenia. Przeprowadzono test ściskania oraz histerezy do obserwacji zmian chwilowych zmian wartości obu współczynników ze wzrostem odkształcenia. Stwierdzono, że wartość współczynnika E_C w większym stopniu wykazuje cechy stałej materiałowej, wykorzystywanej do porównania właściwości mechanicznych różnych gatunków warzyw.

Słowa kluczowe: warzywa, współczynnik sprężystości, test ściskania, histereza

Wstęp

Do obliczeń wielkości naprężeń wewnętrznych i współczynnika sprężystości izodiametrycznych brył wykorzystuje się teorię naprężeń kontaktowych Hertza, opracowaną dla ciał idealnie sprężystych. W przypadku warzyw o kształcie owalnym lub kulistym występują znaczne ograniczenia możliwości przeprowadzenia bezpośrednich obliczeń naprężeń wewnętrznych podczas obciążenia. Jest to konsekwencja nieregularności kształtu oraz niejednorodności struktury warzyw.

Według norm amerykańskich [ASAE Standard 1988] obliczenia współczynnika sprężystości E ciała o kształcie owalnym można przeprowadzić na podstawie zależności:

$$E = 0,531 \cdot F \cdot (1 - \nu^2) \cdot \lambda^{-1,5} \cdot (R_1^{-1} + R_2^{-1})^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

- E – współczynnik sprężystości [Mpa],
- ν – współczynnik Poissona [-],
- F – siła [N],
- λ – przemieszczenie [m],
- $R_1; R_2$ – promienie krzywizny bryły [m].

Przy potraktowaniu warzyw jako ciał o kształcie kulistym można uprościć powyższe równanie. Przykładowo Rao i Rizvi [1995] przedstawili je w postaci:

$$E = 0,531 \cdot F \cdot (1 - \nu^2) \cdot \lambda^{-1,5} \cdot (4 \cdot d^{-1})^{0,5} \quad (2)$$

gdzie:

d – średnica kuli [m].

Z uwagi na obecność szeregu zjawisk towarzyszących odkształceniom ściskanych tkanek warzyw, zaproponowano alternatywną metodę wyznaczenia pozornego współczynnika sprężystości na podstawie hipotezy energetycznej Beltramiego [Bohdziewicz 2006].

Cel i obiekt badań

Celem pracy była analiza zmian chwilowych wartości współczynnika sprężystości w zależności od odkształcenia warzyw o kształcie zbliżonym do kulistego, ściskanych między równoległymi płytami. Do obliczeń wartości współczynnika sprężystości wykorzystano równanie sformułowane na podstawie teorii naprężeń kontaktowych Hertza oraz równanie uwzględniające nakłady jednostkowej pracy odkształcenia. Dodatkowym celem było porównanie zmian wartości obu współczynników w warunkach cyklicznych zmian obciążenia.

Badano po 10 sztuk pędów bocznych kapusty brukselskiej odmiany Maczuga, korzeni buraka ćwikłowego odmiany Czerwona Kula, bulw ziemniaka odmiany Lord oraz cebuli odmiany Wolska. Warzywa były składowane przez trzy miesiące od daty zbioru. Przed rozpoczęciem testów przeprowadzono selekcję pod względem kształtu i rozmiarów.

Metodyka badań

Przeprowadzono test ściskania na maszynie wytrzymałościowej typu Instron 5566, prędkość przesuwu głowicy pomiarowej była równa $3,34 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, próbkowanie co 0,2 N.

Testom poddano całe warzywa, oraz próbki w kształcie walca o wysokości i średnicy równych 10 mm, wycięte z poszczególnych egzemplarzy ziemniaka oraz buraka ćwikłowego.

Do obliczeń współczynnika sprężystości wykorzystano modyfikację równania (2), zapisanego w postaci [Blahovec 2001]:

$$E = 3 \cdot F \cdot (\lambda^3 \cdot d)^{-0,5} \quad (3)$$

Na podstawie zależności siła - przemieszczenie obliczano energię właściwą jako sumaryczne nakłady pracy przypadające na jednostkę objętości [Bohdziewicz 2006]. Umożliwia to wyznaczenie wartości pozornego współczynnika sprężystości E_C z zależności:

$$E_C(\lambda) = \frac{\int_0^\lambda F(\lambda) \cdot d\lambda}{0,26 \cdot d_a \cdot d_b \cdot \lambda} \quad (4)$$

gdzie:

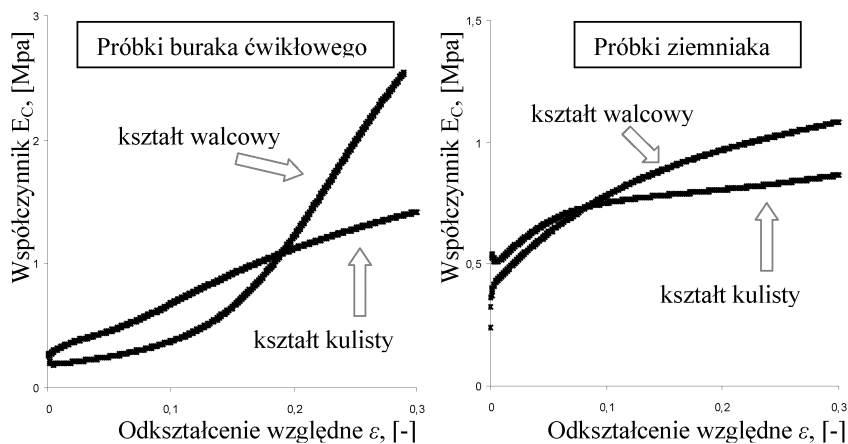
$d_a; d_b$ – rozmiary elipsoidy w kierunku prostopadłym do działającego obciążenia.

Pozorny współczynnik sprężystości $E_C(\lambda)$ określa wartość skuteczną oporu mechanicznego stawianego przez materiał. Obliczenia nakładów pracy uwzględniają historię przebiegu odkształcenia materiału. Do obliczeń wartości współczynnika E_C próbek walcowych wykorzystano równanie Clapeyrona [Bohdziewicz 2001].

Przeprowadzono testy przy obciążeniu cyklicznym na poziomie odpowiadającym 50% wartości średniej maksymalnej siły obciążenia, przy której występują wyraźne objawy utraty ciągłości struktury warzyw o podobnych rozmiarach.

Wyniki badań

Na rysunku 1. pokazano przykładowe przebiegi zmian wartości pozornego współczynnika sprężystości E_C w zależności od przebiegu odkształcenia ε bulwy ziemniaka, korzenia buraka ćwikłowego oraz próbek walcowych wyciętych z tych roślin.

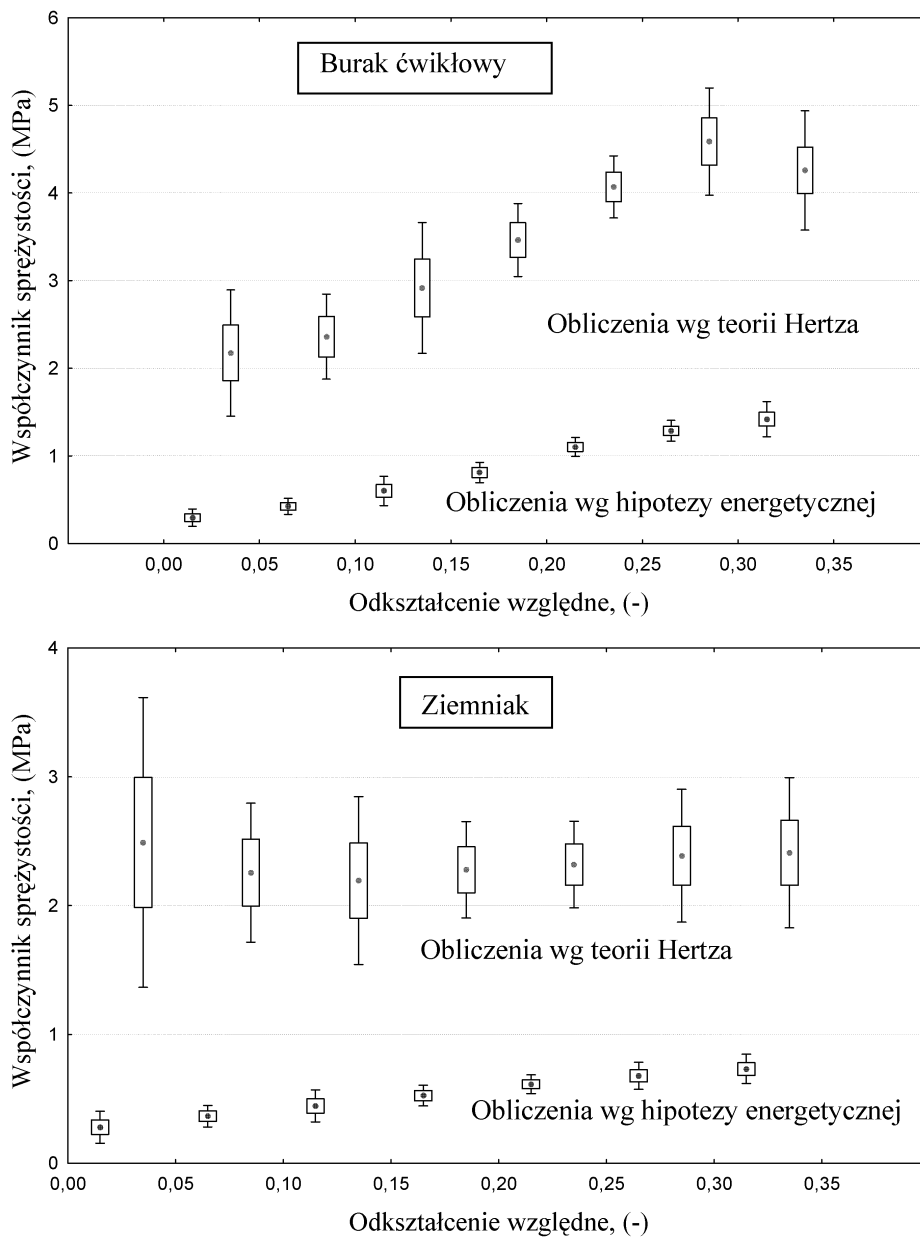


Rys. 1. Porównanie zmian wartości pozornego współczynnika sprężystości E_C w zależności od odkształcenia ε

Fig. 1. Comparison of changes in values of the apparent elasticity coefficient E_C , depending on the deformation ε

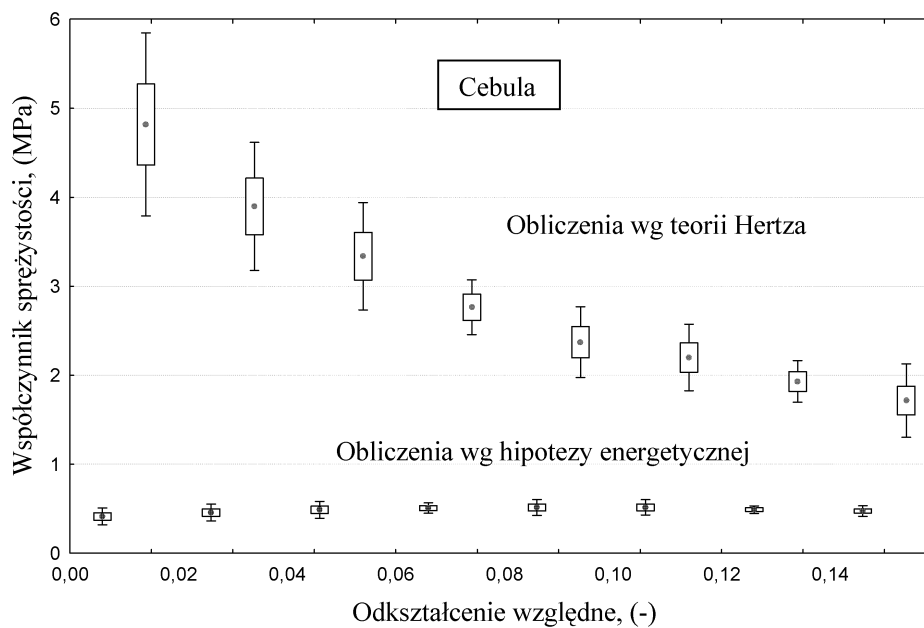
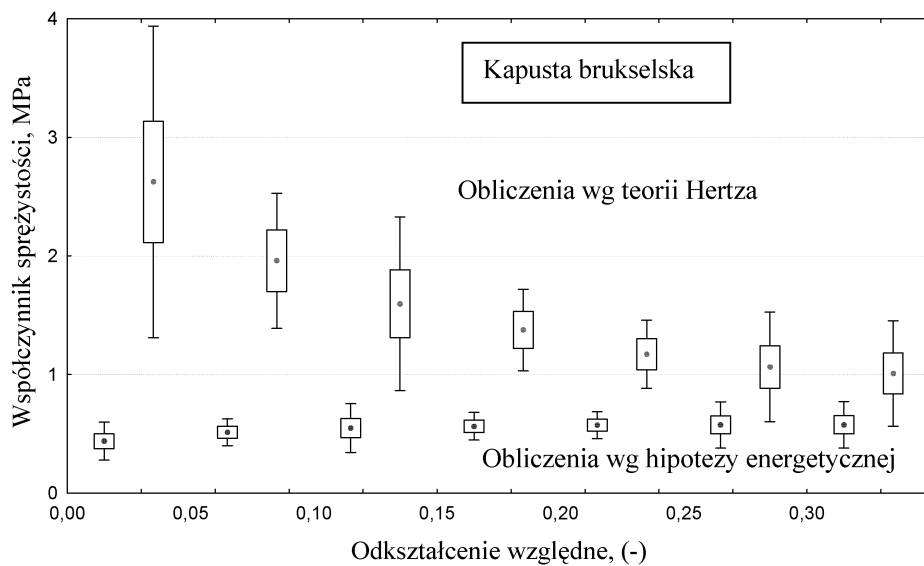
Zauważalne jest, że przy odkształceniu ε mniejszym niż 20% próbki o kształcie kulistym i walcowym charakteryzują się zbliżoną wartością współczynnika E_C .

Porównano wartości współczynników sprężystości, obliczanych na podstawie równań (3) oraz (4). Graficzne zestawienia wartości mediany oraz dolnego i górnego kwartyła dla różnych wartości odkształcenia ε pokazano na rysunkach 2 i 3. Charakterystyczne są znaczne rozrzuty wartości współczynnika sprężystości E , obliczonego na podstawie równania (3). Jest to spowodowane tym, że w początkowej fazie ściskania cebuli i pędów kapusty brukselskiej niewielki wzrost wartości siły F wywołuje znaczne przemieszczenia λ .



Rys. 2. Zmiany wartości współczynników E oraz E_C w zależności od odkształcenia ϵ próbek o kształcie kulistym

Fig. 2. Changes in values of coefficients E and E_C , depending on the deformation ϵ of spherical samples



Rys. 3. Zmiany wartości współczynników E oraz E_C w zależności od odkształcenia ϵ próbek o kształcie kulistym

Fig. 3. Changes in values of coefficients E and E_C , depending on the deformation ϵ of spherical samples.

W miarę wzrostu ujednorodnienia struktury obserwowana jest odwrotnie proporcjonalna zależność tych wielkości. Stanowi to znaczne ograniczenie możliwości wykorzystania uproszczonych równań, opracowanych na podstawie teorii Hertza, w odniesieniu do niektórych gatunków warzyw.

Na rysunkach 2 i 3 zauważane są niewielkie zmiany wartości pozornego współczynnika sprężystości E_C . Ta przesłanka świadczy o możliwości traktowania współczynnika E_C jako stałej materiałowej.

Analizowano także zależność obu współczynników sprężystości od odkształcenia ε w warunkach cyklicznych zmian obciążenia. Przykładowe przebiegi dla dwóch pętli histerezy pokazano na rysunku 4. Można zauważyć dynamiczne zmiany wartości współczynnika E , sugerujące trudne do zinterpretowania zmiany właściwości mechanicznych materiału w zakresie niewielkich odkształceń. Nie znajduje to potwierdzenia w odniesieniu do analogicznych obliczeń wartości współczynnika E_C . Przebieg zmian wartości tego współczynnika w zależności od odkształcenia jest typowy dla zjawiska pozornego umocnienia w wyniku konsolidacji materiału o właściwościach ośrodka wielofazowego.

Podsumowanie

1. Stwierdzono istotną zależność od odkształcenia ε wartości współczynnika sprężystości E , obliczonego na podstawie teorii Hertza. W znacznej mierze stanowi to ograniczenie możliwości wykorzystania do porównania cech mechanicznych różnych gatunków warzyw.
2. Proponowana metoda wyznaczania wartości pozornego współczynnika sprężystości E_C warzyw o kształcie kulistym umożliwia określenie wartości skutecznej oporu mechanicznego w zadanych warunkach obciążenia. Pomimo przyjęcia znacznych uproszczeń obliczeniowych wartość współczynnika E_C wykazuje cechy stałej materiałowej, stanowiącej kryterium porównawcze właściwości mechanicznych.

Bibliografia

- Blahovec J.** 2001. Static mechanics and texture of fruit and vegetables. *Research in Agricultural Engineering*, Nr 47(4), s. 144-169.
- Bohdziewicz J.** 2001. Właściwości mechaniczne i reologiczne wybranych odmian buraka ćwikłowego. *Acta agrophysica*, Nr 45, s. 17-29.
- Bohdziewicz J.** 2006. Właściwości mechaniczne warzyw o kształcie kulistym. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 5(80), s. 49-57.
- Rao M.A., Rizvi S.S.H.** 1995. *Engineering properties of foods*. Marcel Dekter Inc. New York, s. 60-62.
- ASAE Standard S368.1: 1988. Compression test of food materials of convex shape.

EVALUATION OF THE POSSIBILITIES OF DETERMINING THE ELASTICITY COEFFICIENT FOR BALL-SHAPED VEGETABLES

Abstract. Irregularity of shape and heterogeneity of structure limit the use of Hertz's theory to calculate the elasticity coefficient for ball-shaped vegetables. We have proposed a method for calculating an apparent elasticity coefficient E_C on the basis of expenditure of unit work of load. Compression and hysteresis tests were performed to observe momentary changes in values of both the coefficients occurring with an increase in deformation. It has been found that the value of the coefficient E_C shows rather the characteristics of the material constant, used to compare mechanical properties of various vegetable species.

Key words: vegetables, elasticity coefficient, compression test, hysteresis

Adres do korespondencji:

Jerzy Bohdziewicz; e-mail: bohdziewicz@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław