

*Roman Stopa, Leszek Romański
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu*

NACISKI POWIERZCHNIOWE DLA KORZENI MARCHWI W FUNKCJI OBCIĄŻENIA

Streszczenie

Przedstawiono wyniki pomiarów nacisków powierzchniowych korzeni marchwi w funkcji siły obciążającej. Wartości nacisków wyznaczono w próbie promieniowego ściskania próbek. Ściskanie realizowano pomiędzy dwiema równoległymi płytami przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron oraz specjalnie wykonanego przyrządu. Otrzymane wyniki porównano z wartościami teoretycznymi obliczonymi w oparciu o wzory Hertz'a.

Słowa kluczowe: naciski powierzchniowe, korzeń marchwi, ściskanie, wzory Hertz'a

Wstęp

Problem nacisków powierzchniowych albo inaczej mówiąc problem działania siły skupionej na małą powierzchnię ma istotne znaczenie niemal we wszystkich dziedzinach produkcji rolnej. Szczególnie dotyczy to pielęgnacji, zbioru, transportu i przechowywania owoców i warzyw. Wynika to zarówno z ich kształtu, który najczęściej jest kulisty lub walcowy jak również z budowy tkanki roślinnej.

Materiały pochodzenia biologicznego ze względu na anizotropową budowę stwarzają poważne problemy zarówno podczas prowadzenia prac badawczych jak również w trakcie rozważań teoretycznych. Własności materiałów roślinnych zmieniają się nie tylko w obrębie jednego gatunku lub jednej odmiany, ale zależą również od miejsca pobrania próbki z badanego obiektu. Dodatkową komplikację stanowi warstwowa budowa korzeni warzyw.

Brak spójnej teorii pozwalającej na obliczanie rzeczywistych i dopuszczalnych wartości nacisków powierzchniowych w odniesieniu do płodów rolnych utrudnia zarówno prace projektowe przy tworzeniu nowych maszyn rolniczych jak również stwarza kłopoty przy opracowywaniu nowych technologii przetwórczych.

Wielu badaczy prowadzi prace zmierzające do poznania własności mechanicznych materiałów roślinnych. Gołacki, Szot i Kęsik [1987] badali zmienność własności mechanicznych korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. W innej publikacji Gołackiego i Szota [1987] stwierdzono, że wartości modułu sprężystości E dla kory i rdzenia są zbliżone. Gołacki i Obroślak [1998] podjęli się wyznaczenia współczynnika Poissona korzeni marchwi. W tym celu wykorzystali metodę opisaną przez Hughesa i Segerlinda [1972]. Arnolds i Roberts wykorzystywali do wyznaczania naprężeń stykowych dla ziarna pszenicy metodę elastooptyczną [1966].

Stosowanie teorii Hertz'a w odniesieniu do materiałów pochodzenia biologicznego nie ma uzasadnienia teoretycznego ze względu na założenia, przy których zostały wyprowadzone. Wydaje się jednak, że ze względów praktycznych wobec braku lepszych rozwiązań, należy sprawdzić przydatność wzorów Hertz'a do wyznaczania nacisków powierzchniowych powstających w procesie przetwórstwa owoców i warzyw.

Cel badań

Celem badań było:

- wyznaczenie średnich wartości nacisków powierzchniowych w próbie ściskania w funkcji siły obciążającej,
- porównanie nacisków powierzchniowych wyznaczonych w próbie ściskania z wartościami teoretycznymi obliczonymi na podstawie teorii sprężystości.

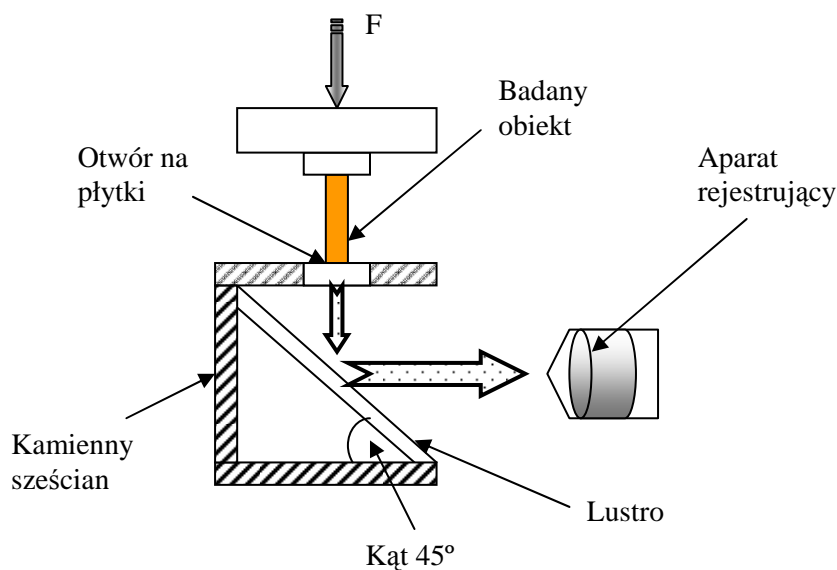
Metodyka i przedmiot badań

Przedmiotem badań były korzenie marchwi odmiany Karotka i Napa wyhodowane w gospodarstwie rolnym w Piotrowicach w województwie Dolnośląskim. Do badań wybierano korzenie zdrowe, o podobnym pokroju i wielkości. Korzenie miały średnicę zawierającą się w przedziale od 35 do 50 mm. W czasie trwania badań przechowywano je w warunkach zapewniających mały ubytek wilgoci.

Próbki przeznaczone do badań wycinano dwoma równoległymi do siebie nożami w kierunku prostopadłym do osi podłużnej korzenia. Odległość między nożami wynosiła 15 mm. Przyjęcie takiego wymiaru próbki umożliwiło pominięcie naprężeń działających wzdłuż jego osi. Jednocześnie pozwoliło to na spełnienie założeń dotyczących walcowego kształtu próbek oraz braku deplanacji przekroju poprzecznego w trakcie obciążania.

Wszystkie badania oraz testy zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron 5566 wyposażonej w głowicę o zakresie pomiarowym 1 kN, pozwalającą mierzyć siłę z dokładnością do 1 N, a przesunięcie z dokładnością do 0,05 mm. W trakcie pomiarów prędkość przesuwu głowicy wynosiła 0,033 m/s.

Naciski powierzchniowe dla próbek w postaci plastrów wyznaczono w teście promieniowego ściskania. Na dolnej płycie maszyny wytrzymałościowej umieszczono przyrząd umożliwiający ciągłą obserwację powierzchni styku (rys. 1). Plastry marchwi w miejscu styku zanurzane były w pyłe aluminiowym. Zastosowanie pyłu aluminiowego miało na celu precyzyjne określenie zarysu powierzchni styku próbki z powierzchnią oporową przyrządu pomiarowego. Wartości nacisków powierzchniowych zostały wyznaczone w trzech strefach pomiarowych licząc od główki korzenia: górnej 1, środkowej 2 i dolnej 3. Kształt powierzchni styku rejestrowany był przy pomocy aparatu cyfrowego. Pierwsze zdjęcie wykonywano bez obciążenia, a następne przy wzroście siły o 50 N. Testy prowadzono do zniszczenia próbki.

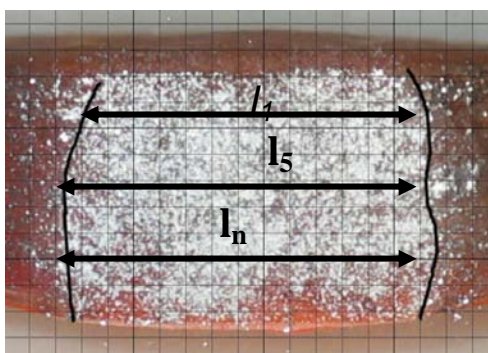


Rys. 1. Przyrząd pomiarowy

Fig. 1. Test stand

Zbudowany on był sztywnej konstrukcji w formie sześcianu. W górnej ścianie sześcianu umieszczono szklaną płytkę stanowiącą powierzchnię dociskową, a pod

nią lustro w taki sposób, aby możliwa była obserwacja powierzchni styku. Wycinki korzeni umieszczano między powierzchnią dociskową przyrządu pomiarowego a płytą górną maszyny wytrzymałościowej i poddawano jednoosiowemu ścisłaniu. W celu zwiększenia dokładności odczytu powierzchnię styku posypano proszkiem aluminium, a na szklaną płytkę naniesiono siatkę o wymiarach 2 mm x 2 mm (rys. 2).



Rys. 2. Średnia długość odcisku

Fig. 2. Imprint's middle length

W wyniku pomiarów otrzymano obraz powierzchni styku dla kolejnych wartości sił obciążających. Na ich podstawie odczytano średnią długość l_{sr} powierzchni styku ze wzoru:

$$l_{sr} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{n} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

gdzie:

- l_i – długość odcinka pomiarowego [mm]
- l_{sr} – średnia długość powierzchni styku,
- n – ilość pomiarów.

Znając szerokość próbki wyznaczono średnie wartości nacisków powierzchniowych korzystając ze wzoru:

$$p_{dśr} = \frac{F}{l_{sr} * a} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

gdzie:

- $p_{dśr}$ – naciski doświadczalne [MPa],
- F – siła obciążająca [N],
- l_{sr} – średnia długość odcisku [mm],
- a – szerokość odcisku [mm].

Wartości teoretyczne nacisków powierzchniowych p_{\max} obliczono w oparciu o wzory Hertz'a dla przypadku styku walca o promieniu R z półprzestrzenią o promieniu $R_1 = \infty$ (2). Dla każdej z próbek obliczano wartość współczynnika k (3) w oparciu o stałe materiałowe dla stali oraz eksperymentalnie wyznaczone wartości stałej Poissona i modułu sprężystości warstwy kory w kierunku promieniowym według metodyki opisanej w [Stopa 2002].

$$p_{\max} = \sqrt{\frac{F'}{R * k * \pi}} \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

gdzie:

$$k = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \quad (4)$$

ν_1, ν_2 – współczynniki Poissona dla stali i badanego materiału,
 E_1, E_2 – moduły sprężystości wzdłużnej dla stali i badanego materiału,
 R – zewnętrzny promień próbki [mm],
 $F' = F/L$ siła promieniowa na jednostkę szerokości próbki [N/mm].

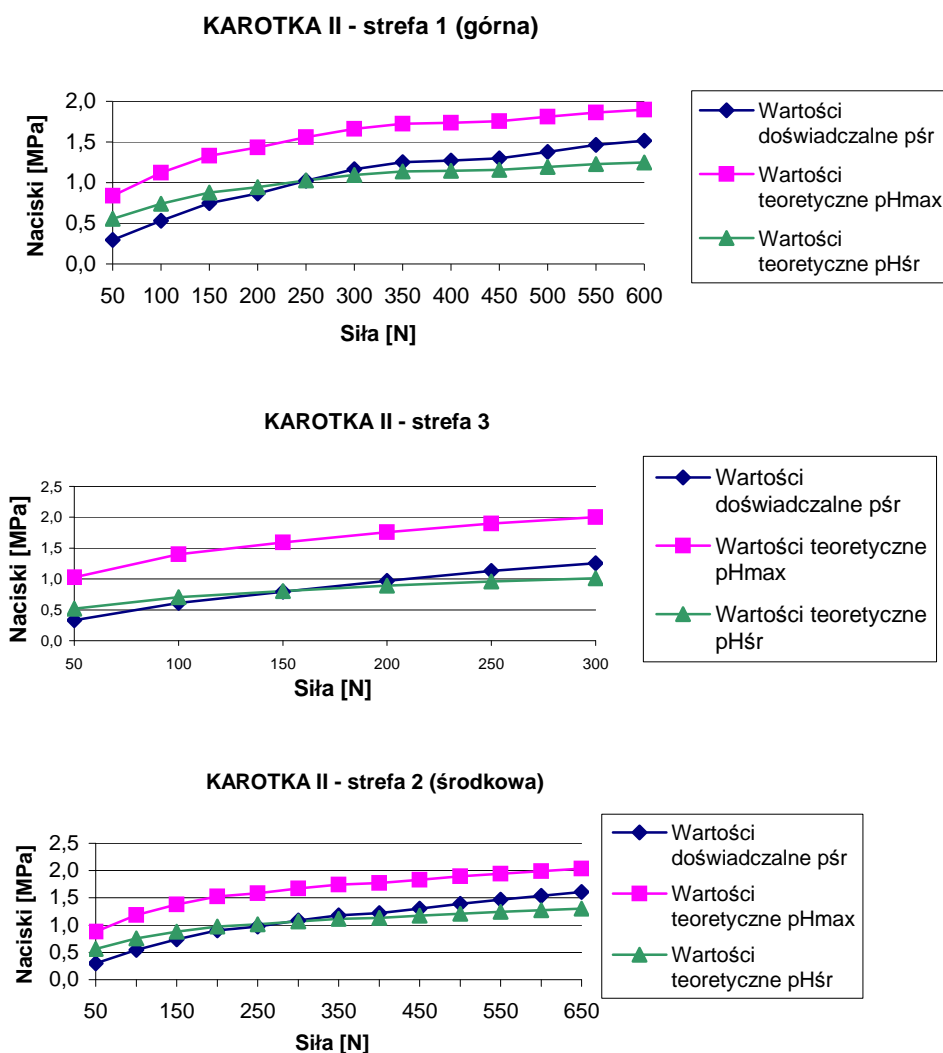
W wyniku pomiarów otrzymano średnie wartości nacisków $p_{\text{dśr}}$ działających na powierzchnię badanej próbki. W celu porównania wartości doświadczalnych z teoretycznymi obliczono średnie wartości nacisków Hertz'a $p_{\text{Hśr}}$ na podstawie nacisków maksymalnych. Przyjmując walcowy rozkład nacisków wzdłuż powierzchni styku próbki z płytą pomiarową naciski średnie obliczono według wzoru [Zakrzewski, Zawadzki 1975]:

$$p_{\text{śr}} = p_{\max} * \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

Badania eksperymentalne obejmowały wykonanie 10 powtórzeń pomiarów w trzech strefach pomiarowych. Test przerywano w momencie, gdy na wykresie obciążenie - odkształcenie pojawiał się gwałtowny spadek obciążenia.

Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe wykresy przedstawiające porównanie średnich wartości nacisków powierzchniowych otrzymanych na drodze doświadczalnej oraz teoretycznej dla trzech stref pomiarowych. Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej. Na podstawie dwuczynnikowej analizy wariancji przeprowadzonej na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ stwierdzono istotny wpływ miejsca pobrania próbki oraz siły obciążającej na wartość nacisków powierzchniowych. Największe odchylenie standardowe występowało w 1 strefie pomiarowej przy maksymalnym i minimalnym obciążeniu ($s = 0,16$).



Rys. 3. Porównanie nacisków powierzchniowych $p_{d\text{sr}}$ otrzymanych na drodze doświadczalnej i $p_{H\text{sr}}$ na drodze teoretycznej w zależności od wielkości przyłożonej siły dla trzech stref pomiarowych marchwi odmiany Karotka

Fig. 3. Comparison of surface pressure obtain on theoretical and experimental way depends on force value and measuring stage

Na całkowity błąd wyznaczenia doświadczalnych wartości nacisków powierzchniowych składały się błędy związane z geometrią próbek, z pomiarem siły oraz pomiarem długości powierzchni styku próbki z płytą dociskową. Ze względu na bardzo staranne przygotowanie próbek do badań przy wykorzystaniu przyrządów pozwalających na wykonanie próbek o jednakowych kształtach, błąd ten jako błąd systematyczny można pominąć. Pomiar siły dokonano za pomocą głowicy pomiarowej o zakresie 1 kN i błędzie $\Delta F = 1$ N. Pomiar długości powierzchni styku oraz szerokości próbki przeprowadzono przy pomocy suwmiarki z błędem $\Delta b = 0,05$ mm i $\Delta L = 0,05$ mm. Graniczna wartość całkowitego błędu wyznaczonego metodą różniczki zupełnej wynosiła $u_\sigma = 0,0135$.

Przy określaniu wartości naprężeń w oparciu o wzory Hertz'a na całkowity błąd składały się błędy związane z wyznaczaniem współczynników Poissona i modułów sprężystości podłużnej warstwy kory badanych próbek. Były one związane geometrią próbek (ΔD , Δh - błędy możliwe do pominięcia ze względu na ich systematyczny charakter), pomiarem siły $\Delta F = 1$ N, pomiarem odkształcenia (Δh). Maksymalny błąd względny w poszczególnych strefach pomiarowych nie przekraczał 14%.

Wnioski:

1. Wartości maksymalnych nacisków otrzymanych w próbie promieniowego ściskania próbek dla badanych odmian marchwi wahają się w granicach od 1,95MPa do 2.55 MPa w zależności od strefy pomiarowej.
2. Średnie wartości nacisków powierzchniowych obliczonych w oparciu o wzory Hertz'a dla badanych odmian marchwi dobrze opisują średnie wartości nacisków otrzymane w wyniku testów. Maksymalna różnica pomiędzy wartościami doświadczalnymi i teoretycznymi w ujęciu procentowym nie przekracza 6%.

Bibliografia

Bzowska-Bakalarz M. 1998. Wytrzymałość mechaniczna korzeni buraków cukrowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 454 s. 207-212.

Gołacki K., Kęsik T., Szot B. 1987. Badanie zmienności właściwości korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z.316

Gołacki K., Obroślak R. 1998. Wyznaczanie współczynnika Poissona korzeni marchwi, Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, s. 454.

Hughes H., Segerlind L.J. 1972. A rapid mechanical method for determining.

Poissons ratio in biological materials, ASAE.

Stopa R. 2002. Maksymalne naprężenia stykowe dla korzeni marchwi wyznaczone w próbie ściskania promieniowego, *Inżynieria Rolnicza* 5(38), s. 256-265.

Szot B., Gołacki K. 1978. Ocena właściwości mechanicznych korzeni marchwi na podstawie podstawowych parametrów wytrzymałościowych, *Zeszyty Programowe Postępu Nauk Rolniczych*, s. 321.

Zakrzewski M., Zawadzki J. 1975. *Wytrzymałość materiałów*, Wrocław.

SURFACE PRESSURE FOR CARROT ROOTS UNDER RADIAL COMPRESSION

Summary

Introducing of the results of measurements of surface pressure' for carrot root. Values of surface pressure in test of radial compression of samples were obtain. Compression between two parallel plates were realized by using testing machine Instron. Experimental results were compared with theoretical values calculated on the ground of Hertz theory.

Key word: surface pressure, carrot root, compression, Hertz theory