

ZMIANA NACISKÓW POWIERZCHNIOWYCH KORZENI MARCHWI W FUNKCJI CZASU PRZY STAŁEJ WARTOŚCI OBCIĄŻENIA POCZĄTKOWEGO

Roman Stopa

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono wyniki pomiarów nacisków powierzchniowych korzeni marchwi z uwzględnieniem czynnika czasu dla trzech wartości obciążenia próbek wykonanych w postaci plastrów. Wartości nacisków wyznaczono w próbie promieniowego ściskania próbek. Ściskanie realizowano pomiędzy dwiema równoległymi płytami przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron 5566 oraz specjalnie wykonanego przyrządu. Otrzymane wyniki porównano z wartościami teoretycznymi obliczonymi na podstawie wzorów Hertza.

Słowa kluczowe: naciski powierzchniowe, korzeń marchwi, ściskanie, czynnik czasu, wzory Hertza

Wstęp

Problem nacisków powierzchniowych 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.

Projektując procesy przetwórcze nie należy zapominać o stworzeniu odpowiednich warunków do przechowywania surowców. Duże znaczenie oprócz zapewnienia odpowiedniej temperatury i wilgotności, ma sposób ułożenia materiału oraz ilość warstw wiążąca się z jego obciążeniem. Z uwagi na zazwyczaj długi okres przechowywania produktów rolniczych, dochodzący do kilku miesięcy, nie można pominąć wpływu czynnika czasu na efekty działania obciążenia w stosunku do przechowywanego materiału.

Zagadnienia kontaktowe należą do jednych z bardziej skomplikowanych problemów związanych z wytrzymałością nie tylko materiałów pochodzenia biologicznego. Jedną z najczęściej stosowanych w praktyce metod obliczania nacisków powierzchniowych oparta jest na wzorach - wynikających z teorii Hertza. Stosowanie tych wzorów w odniesieniu do materiałów pochodzenia biologicznego nie ma uzasadnienia teoretycznego ze względu na założenia, przy których zostały wyprowadzone. Do najważniejszych z nich należą małe odkształcenia oraz brak tarcia w strefie styku. Ponadto teoria Hertza nie uwzględnia wpływu czynnika czasu na wartość nacisków powierzchniowych. Wydaje się jednak, że ze względów praktycznych, wobec braku lepszych rozwiązań, należy sprawdzić

przydatność wzorów Hertza do wyznaczania nacisków powierzchniowych powstających w procesie przetwórstwa owoców i warzyw.

Mimo tych ograniczeń badania niektórych autorów wykazały, że zastosowanie teorii sprężystości może w wielu przypadkach prowadzić do budowy godnych zaufania wskaźników opisujących współpracę między najważniejszymi zmiennymi takimi jak nacisk powierzchniowy i czas kontaktu, chociaż błędy w ocenach powierzchni kontaktu mogą sięgać 20% [Siyami i in. 1988; Rabelo 2001]. Badania modelowe obejmujące zagadnienie nacisków powierzchniowych korzeni marchwi budowane przy wykorzystaniu MES wykazują dobre dopasowanie wyników badań modelowych do wartości rzeczywistych [Stopa 2011].

Badania doświadczalne związane z wyznaczaniem nacisków powierzchniowych najlepiej opisane są w stosunku do jabłek. Ciekawą metodę wykorzystującą system Tekscan pozwalający na pomiar rozkładu nacisków powierzchniowych na całej powierzchni styku elementu obciążającego z badanym obiektem zaproponował w swojej pracy Herold [Herold i in. 2001]. Pomiar powierzchni styku niezbędny przy wyznaczaniu nacisków powierzchniowych można przeprowadzić inną metodą polegającą na zastosowaniu fali ultradźwiękowej [Lewis 2008]. Studman [1999] badając zachowanie się modeli kulistych ułożonych w warstwy stwierdził, że maksymalne obciążenie modeli w najniższej warstwie jest 3–7 razy większe niż obciążenie średnie.

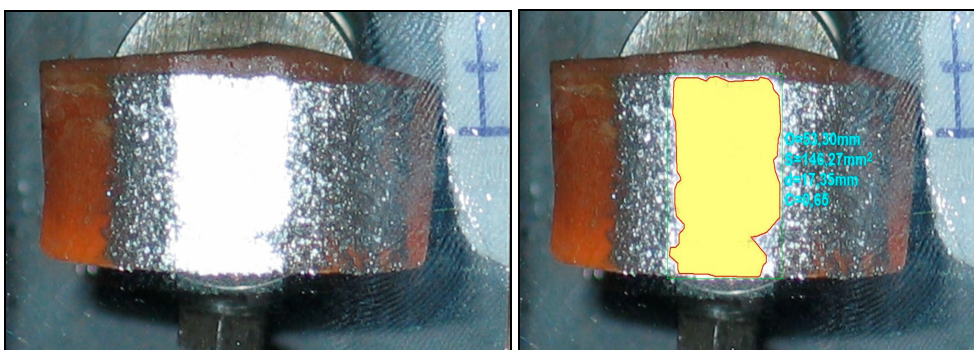
Celem badań było wyznaczenie zmian wartości nacisków powierzchniowych korzenia marchwi w funkcji czasu dla trzech wielkości obciążenia początkowego w trakcie ściskania promieniowego oraz porównanie nacisków powierzchniowych wyznaczonych w trakcie ściskania z wartościami teoretycznymi obliczonymi w oparciu o wzory Hertza.

Metodyka i przedmiot badań

Badania przeprowadzone zostały w Laboratorium Agrofizyki Instytutu Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową INSTRON 5566 wyposażoną w głowicę tensometryczną o zakresie pomiarowym do 1 kN pozwalającą mierzyć siłę z dokładnością do 1 N, a przesunięcie z dokładnością do 0,05 mm. Maszyną sterował komputer z zainstalowanym programem BlueHill pozwalającym na rejestrację i analizę wyników badań. Prędkość posuwu głowicy do momentu osiągnięcia założonej wartości obciążenia wstępnego wynosiła $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Odmianą korzenia marchwi użytą do badań była Karotka pochodząca z gospodarstwa rolnego w Ramiszowie pod Wrocławiem. Wyselekcjonowano korzenie zdrowe, o podobnym przekroju i długości. Korzenie miały średnicę zawierającą się w przedziale od 23 do 45 mm, a długość mieściła się w przedziale od 140 do 155 mm. W czasie prowadzenia pomiarów dbano o zachowanie stałej wilgotności surowca. Próbkę przeznaczoną do testów przygotowano w sposób opisany przez Stopę [2011]. Z każdego korzenia marchwi wycięto 6 próbek w postaci plastrów o grubości 10 mm ze środkowej strefy korzenia (w odległości 25 mm od górnej i dolnej części korzenia). Jedną z próbek przeznaczono do wyznaczenia granicznych wartości obciążenia w teście ściskania. Wyznaczono wartość siły niszczącej F_{\max} będącej podstawą do obliczenia wartości wstępnego obciążenia próbki $F_{010}=10\% F_{\max}$, $F_{020}=20\% F_{\max}$ oraz $F_{030}=30\% F_{\max}$.

Z punktu widzenia zagadnień kontaktowych w odniesieniu do materiałów pochodzenia biologicznego podstawowym problemem, przy wyznaczaniu nacisków powierzchniowych, jest pomiar pola powierzchni stykających się ciał. W prezentowanych badaniach zastosowano metodę opartą na wykorzystaniu przyrządu pozwalającego na ciągłą obserwację powierzchni styku próbki korzenia marchwi z urządzeniem obciążającym [Stopa 2010] oraz programu Iris Laboratorium umożliwiającym jej pomiar z dokładnością do $0,01 \text{ mm}^2$ (rys. 1). Pomiary przeprowadzono przy trzech wartościach obciążenia wstępnego w 5-ciu powtórzeniach. Po wstępnych badaniach przyjęto czas pomiaru przy stałej wartości obciążenia wynoszący 1200 s. Zwiększenie czasu pomiaru ponad 1200 s nie wpływało na charakter zmian wartości nacisków powierzchniowych w funkcji czasu. Rejestrację nacisków powierzchniowych przeprowadzano w odstępach co 60 s od momentu osiągnięcia wartości zadanejgo przemieszczenia.



Rys. 1. Zastosowanie programu Iris Laboratorium do wyznaczania powierzchni styku próbki z częścią roboczą układu obciążającego

Fig. 1. Application of the Iris Laboratory software system for determining the contact area between a sample and a working part of the loading system

Znając pole powierzchni styku próbki z podstawą (rys. 3) wyznaczono średnie wartości nacisków powierzchniowych p_{sr} , a następnie, przyjmując eliptyczny rozkład nacisków wzdłuż powierzchni styku, wyznaczono wartości nacisków maksymalnych p_{max} . Wartość maksymalnych teoretycznych nacisków powierzchniowych p_{Hmax} obliczono według teorii Hertza przyjmując następujące właściwości korzenia marchwi [Stopa 2010]:

ν – stała Poissona - 0,46

E – umowny moduł sprężystości - 12 MPa

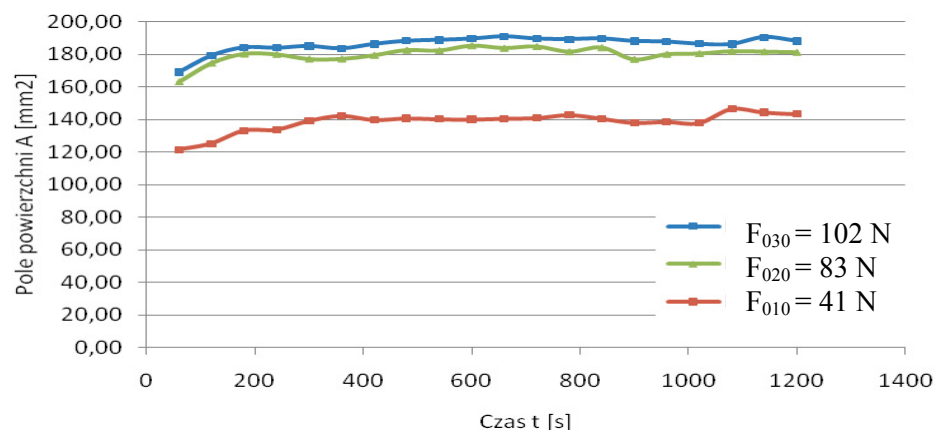
Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów ustalono wartości początkowego obciążenia próbek F_0 oraz odpowiadające im przemieszczenie elementu obciążającego próbki Δl_0 (tab. 1).

Tabela 1. Parametry początkowe procesu ściskania
Table 1. Initial parameters of the compression process

Parametry początkowe	Obciążenie początkowe	Przemieszczenie początkowe
10 % F_{\max}	$F_{010}=41\text{N}$	$\Delta l_{010}=1,25\text{mm}$
20 % F_{\max}	$F_{020}=83\text{N}$	$\Delta l_{020}=2,31\text{mm}$
30 % F_{\max}	$F_{030}=102\text{N}$	$\Delta l_{030}=2,92\text{mm}$

Przebieg zmian pola powierzchni styku próbki z elementem obciążającym w funkcji czasu dla trzech wartości obciążenia początkowego przedstawiony jest na rysunku 2. Niezależnie od wartości obciążenia początkowego przebieg zmian pola powierzchni jest zbliżony. W początkowym okresie działania obciążenia (ok. 200 s) widoczny jest nieznaczny wzrost wartości pola powierzchni styku. Po upływie tego czasu pole powierzchni ulega stabilizacji i nie są zauważalne istotne zmiany jego wartości.



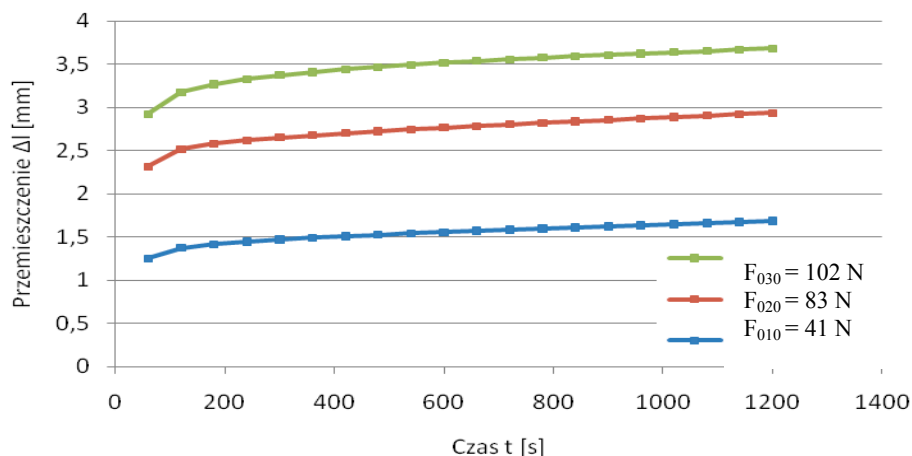
Rys. 2. Zmiana pola powierzchni styku próbki z częścią roboczą układu obciążającego w funkcji czasu dla trzech wartości obciążenia

Fig. 2. Change of the surface contact area between a sample and a working part of the loading system in the time function for three load values

Największe zmiany pola powierzchni styku w zależności od obciążenia zachodzą dla niskich wartości obciążenia początkowego. Przy zmianie obciążenia początkowego z 41 do 83 N ($\Delta F_0 = 42$ N) pole powierzchni styku wzrasta o 42 mm², natomiast przy zmianie obciążenia z 83 do 102 N ($\Delta F_0 = 19$ N) pole powierzchni styku wzrasta jedynie o 6 mm².

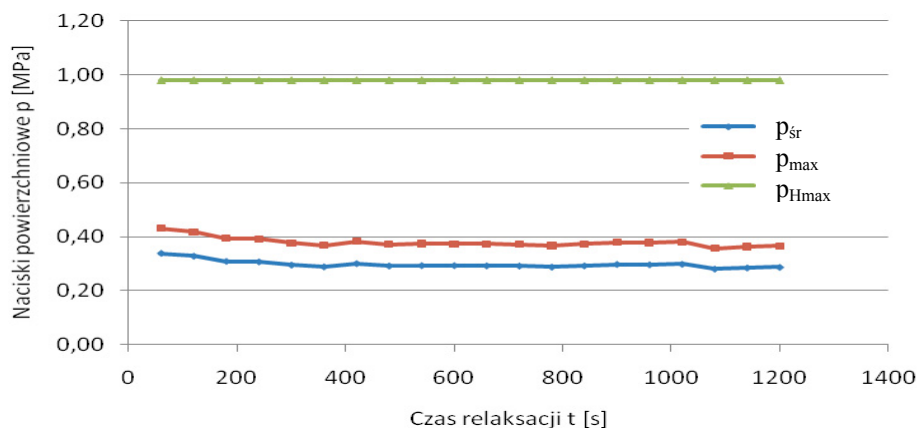
Utrzymanie podczas testu stałej wartości siły obciążającej związane jest ze zwiększeniem przemieszczenia części roboczej układu obciążającego. W przypadku próbki pobranej z korzenia marchwi przebieg ten niezależnie od wartości obciążenia początkowego ma kształt funkcji rosnącej, a prędkość wzrostu zmienia się w zakresie od 0,038 mm·min⁻¹ przy obciążeniu $F_{030} = 102$ N do 0,021 mm·min⁻¹ przy obciążeniu $F_{010} = 41$ N. (rys. 3).

Zmiana nacisków powierzchniowych...



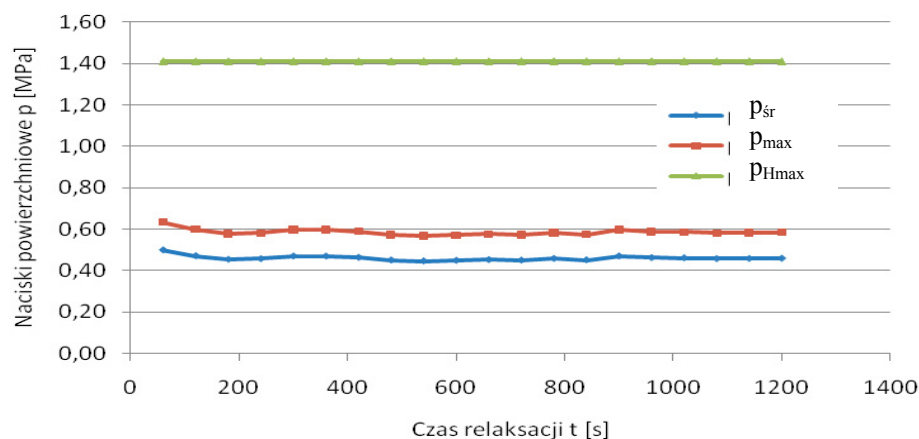
Rys. 3. Przesunięcie części roboczej układu obciążającego jako funkcji czasu
 Fig. 3. Displacement of the working part of the loading system as a time function

Zmiany wartości nacisków powierzchniowych przy stałej wartości obciążenia początkowego w funkcji czasu nie mają dużego znaczenia. Wynika to z niewielkich zmian pola powierzchni styku próbki z elementem roboczym urządzenia obciążającego jako funkcji czasu (rys. 4). W przypadku obciążenia wstępnego $F_{010} = 41$ N w początkowym okresie działania obciążenia ($\Delta t = 200$ s) maksymalne naciski powierzchniowe (p_{\max}) zmieniają swoją wartość z 0,42 do 0,37 MPa, a następnie do końca trwania testu nie ulegają zmianie.



Rys. 4. Naciski powierzchniowe p_{\max} , p_{Sr} i $p_{H\max}$ w funkcji czasu ($F_{010} = 41$ N)
 Fig. 4. Surface pressure p_{\max} , p_{Sr} and $p_{H\max}$ in the time function ($F_{010} = 41$ N)

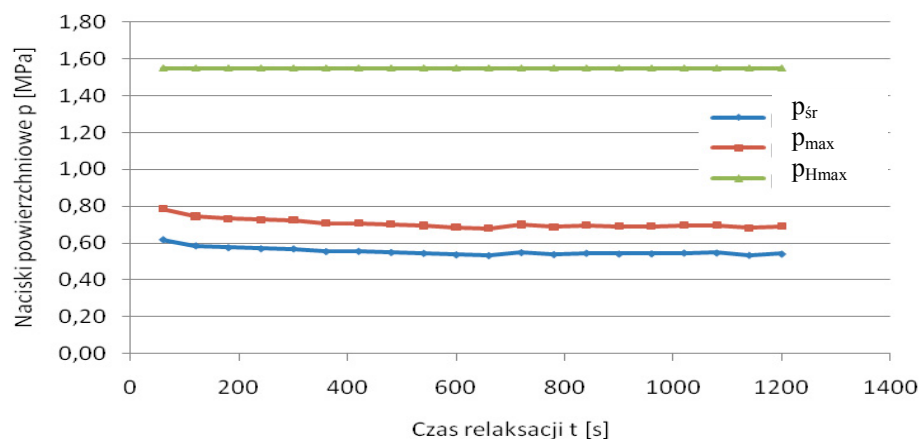
Podobny przebieg mają zmiany maksymalnych nacisków powierzchniowych przy większych wartościach obciążenia początkowego. Przy obciążeniu $F_{020} = 83$ N (rys. 5) w pierwszych 200 sekundach maksymalne naciski powierzchniowe zmieniają się w zakresie od 0,64 do 0,58 MPa, natomiast przy obciążeniu wstępnym $F_{030} = 102$ N (rys. 6) w zakresie od 0,77 do 0,69 MPa.



Rys. 5. Naciski powierzchniowe p_{\max} , p_{sr} i p_{Hmax} w funkcji czasu ($F_{020} = 83$ N)

Fig. 5. Surface pressure p_{\max} , p_{sr} and p_{Hmax} in the time function ($F_{020} = 83$ N)

Niezależnie od wartości obciążenia początkowego naciski powierzchniowe obliczone ze wzorów Hertza (p_{Hmax}) dają wyniki zawyżone w stosunku do wyznaczonych doświadczalnie w zakresie od 218% dla obciążania początkowego $F_{030} = 102$ N do 230% dla obciążania początkowego $F_{010} = 41$ N.



Rys. 6. Naciski powierzchniowe p_{\max} , p_{sr} i p_{Hmax} w funkcji czasu ($F_{030} = 102$ N)

Fig. 6. Surface pressure p_{\max} , p_{sr} and p_{Hmax} in the time function ($F_{030} = 102$ N)

Wnioski

1. Wartość pola powierzchni styku próbki z częścią roboczą układu obciążającego oraz wartość nacisków powierzchniowych przy stałym obciążeniu początkowym nie ulega dużym zmianą jako funkcji czasu.
2. Zwiększenie wartości przemieszczenia przy stałej sile nacisku przebiega zgodnie z teorią pełzania, a prędkość wzrostu zależy od parametrów początkowych i zmienia się w zakresie od $0,038 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ przy obciążeniu $F_{030} = 102 \text{ N}$ do $0,021 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ przy obciążeniu $F_{010} = 41 \text{ N}$.
3. Naciski powierzchniowe obliczone według teorii Hertza są większe od wartości rzeczywistych średnio o około 220%.
4. Przy projektowaniu procesów technologicznych obejmujących przechowywanie korzeni marchwi należy zachować stałą wysokość składowania surowca (związaną z przyjętą wartością dopuszczalnych nacisków powierzchniowych dolnych warstw), ponieważ naciski powierzchniowe przy stałej wartości obciążenia nie ulegają zmniejszeniu w całym okresie przechowywania.

Bibliografia

- Herold B., Geyer M., Studman C.J.** 2001. Fruit contact pressure distributions—equipment. *Comput. Electron. Agric.* 32. s. 167-179.
- Lewis R., Yoxall A., Marshall M.B., Cauty L.A.** 2008. Characterising pressure and bruising in apple fruit. Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield. Mappin Street. Sheffield S1 3JD. United Kingdom. *Wear.* 264. s. 37-46
- Rabelo G.F., Fabbro I.M., Linares A.W.** 2001. Contact stress area measurement of spherical fruit. *Proceedings of Sensors in Horticulture III.* s. 195-200.
- Siyami S., Brown G.K., Burgess G.J., Gerrish J.B., Tennes B.R., Burton C.L., Zapp R.H.** 1988. Apple impact bruise prediction models. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 41. s. 1038-1046.
- Stopa R.** 2010. Modelowanie deformacji korzenia marchwi w warunkach obciążeń skupionych metodą elementów skończonych. Monografie XCIII. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. ISBN 987-83-60574-97-3.
- Studman J.** 1999. Handling Systems and Packaging. In: F.W. Bakker-Arkema, Editor, *CIGR Agricultural Engineering Handbook IV.3.* American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. MI. s. 291-340 Chapter 3.

CHANGES OF SURFACE THRUSTS OF CARROT ROOTS IN THE TIME FUNCTION AT A CONSTANT MEAN VALUE OF AN INITIAL LOAD

Abstract. Measurements of surface thrusts of carrot roots including time factor for three load values of samples prepared in the form of plasters were presented. Thrusts values were determined in the test of radial samples compression. The compression was carried out between two parallel panels using the Instron 5566 testing machine and a specially prepared device. Obtained results were compared with theoretic values calculated on the ground of Hertz theory.

Key words: surface compression, carrot root, compression, time factor, Hertz theory

Adres do korespondencji:

Roman Stopa; e-mail: roman.stopa@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław