

ZMIANA NACISKÓW POWIERZCHNIOWYCH JABŁEK W TEŚCIE PEŁZANIA

*Roman Stopa, Piotr Komarnicki, Małgorzata Młotek
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

Streszczenie. Przedstawiono wyniki pomiarów nacisków powierzchniowych jabłek z uwzględnieniem czynnika czasu w teście promieniowego ściskania pomiędzy płaskimi płytami przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron 5566. Wyznaczono warstwicę i rozkłady nacisków powierzchniowych w różnych etapach testu pełzania. Wykazano, że średnie wartości nacisków powierzchniowych ulegają minimalnym zmianom w trakcie całego testu. Istotnej zmianie ulega rozkład nacisków na powierzchni styku jabłka z elementem obciążającym. W początkowej fazie testu rozkład nacisków powierzchniowych ma kształt typowy dla zagadnień kontaktowych – maksymalne wartości znajdują się w strefie centralnej. W miarę upływu czasu wartość nacisków powierzchniowych w strefie centralnej ulega obniżeniu przy jednoczesnym wzroście w strefie granicznej. Wyraźnie wzrasta powierzchnia styku o maksymalnych wartościach nacisków powierzchniowych.

Słowa kluczowe: naciski powierzchniowe, jabłko, ściskanie, czynnik czasu, pełzanie

Wprowadzenie

Polska po Chinach i USA jest trzecim największym producentem jabłek na świecie. Roczna produkcja dochodzi do 3 mln ton z czego tylko jedna trzecia to jabłka deserowe, a pozostałe przeznaczone są do przetwórstwa. Ta niekorzystna struktura produkcji powoduje straty dla plantatorów, wynikające z niższych cen skupu. W Unii Europejskiej 70% jabłek produkuje się do bezpośredniego spożycia w związku z czym eksport jabłek produkowanych w Polsce jest bardzo ograniczony i praktycznie nieopłacalny.

Konieczne są zmiany zmierzające do zwiększenia produkcji jabłek delikatesowych tym bardziej, że według prognostyków w następnych latach ma nastąpić wzrost zapotrzebowania na jabłka o ok. 30%. Głównym kierunkiem zmian jest poszukiwanie nowych, atrakcyjnych dla klientów odmian. Należy jednak pamiętać, że jabłka delikatesowe są bardziej wymagające w procesie produkcji, co wiąże się z większymi kosztami. Poza tym jabłka przeznaczone do bezpośredniego spożycia są zwykle mniej odporne na obicia i wymagają szczególnej pielęgnacji w procesie zbioru. Odpowiednia dbałość o produkt może zwiększyć

szyć zapotrzebowanie na rynku wewnętrznym i w eksporcie, co przekłada się na wyższą opłacalność produkcji (Nadulski, 2009; Płocharski i in., 2000). Ocena sensoryczna cech jakościowych stanowi podstawę późniejszej akceptowalności nowych odmian jabłek przez sadowników, sprzedawców i konsumentów (Płocharski i Konopacka, 1999).

Zmianę struktury produkcji w kierunku jabłek delikatesowych może ułatwić określenie parametrów pozwalających na zmniejszenie strat w czasie pielęgnacji, zbioru, transportu i przechowywania jabłek. Jednym z takich parametrów są naciski powierzchniowe pozwalające na zdefiniowanie wielkości granicznych przy oddziaływaniu mechanicznym w układzie jabłko – jabłko i jabłko – maszyna z uwzględnieniem kształtu jabłek, kształtu powierzchni oddziałującej na jabłko, wartości siły obciążającej oraz właściwości wytrzymałościowych tkanki.

Problem nacisków powierzchniowych ma istotne znaczenie niemal we wszystkich dziedzinach produkcji rolnej. Szczególnie dotyczy to 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 jabłek, 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. 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 jabłek były przedmiotem zainteresowania wielu autorów. 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 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. Van Zeebroeck (2003) przeprowadził badania jabłek przy zastosowaniu urządzenia wykorzystującego zasadę wahadła oraz wykonał modele dyskretne metodą elementów skończonych pozwalające na wyznaczenie wpływu warunków transportu na straty spowodowane uszkodzeniem jabłek (Van Zeebro-

eck, 2007). Pomiary zachowania się jabłek w warunkach obciążeń o charakterze dynamicznym przeprowadził Gołacki (2008) stwierdzając, że nie można analizować mechanizmu powstawania obić i wyznaczania odporności na obicia jabłek stosując proste metody pomiarowe oparte na teście ściskania.

Celem badań było:

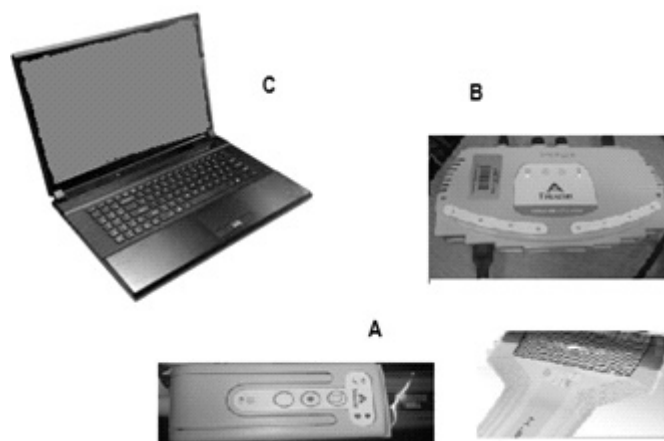
Wyznaczenie warstwicy oraz rozkładów nacisków powierzchniowych wzdłuż wybranych przekrojów jabłek odmiany Ligol w teście ściskania promieniowego oraz ich zmian jako funkcji czasu.

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 $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Do badań użyto jabłek odmiany Ligol pochodzących z gospodarstwa rolnego pod Wrocławiem. Jabłka zostały zebrane na przełomie września oraz października i zmagazynowane w chłodni. Wyselekcjonowano egzemplarze zdrowe, o podobnych wymiarach i masie. Przed przystąpieniem do badań sprawdzono stopień dojrzałości owoców przy zastosowaniu ręcznego jednościerza, a do badań przeznaczono jabłka, dla których wskaźnik jędrności mieścił się w przedziale 60-65 N. Jabłka miały średnicę zawierającą się w przedziale od 78 do 84 mm, wysokość mieściła się w przedziale od 70 do 75 mm, a masa wynosiła od 190 do 230 gr. W czasie prowadzenia badań dbano o zachowanie stałej wilgotności surowca pobierając go przed pomiarem bezpośrednio z chłodni. W pierwszej kolejności przeprowadzono pomiary zmierzające do wyznaczenia granicznych wartości obciążenia w teście ściskania. Wyznaczono wartość siły niszczącej F_{\max} będącej podstawą do obliczenia wartości wstępnego obciążenia jabłek $F_{030}=30\% F_{\max}$ i odpowiadającej mu wartości przemieszczenia początkowego elementu obciążającego maszyny wytrzymałościowej Instron 5566.

Z punktu widzenia zagadnień kontaktowych w odniesieniu do materiałów pochodzenia biologicznego podstawowym problemem, przy wyznaczaniu nacisków powierzchniowych, jest pomiar pola powierzchni stykających się ciał oraz wartości siły nacisku. W prezentowanych badaniach zastosowano metodę opartą na wykorzystaniu systemu Tekscan pozwalającego na ciągłą obserwację powierzchni styku jabłka i z urządzeniem obciążającym, siły nacisku oraz nacisków powierzchniowych. 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 jako funkcji czasu.



Rysunek 1. System pomiarowy Tescan
Figure 1. Tescan measuring system

Źródło: www.tekscan.com

System Tescan (rys. 1), złożony z czujnika foliowego (A), uchwyty, rozdzielacza (B) oraz programu obliczeniowego (C) umożliwił zapis wyników badań przeprowadzonych przy częstotliwości próbkowania ok. 1000Hz i późniejszą ich analizę. Do badań wykorzystano czujnik o numerze 5076 (tabela 1) zbudowany z układu równoległych elektrod rozdzielonych warstwą folii poliestrowej. Miejsca przecięcia się elektrod tworzyły sensory pozwalające na określenia wartości siły obciążającej oraz pola powierzchni styku jabłka z elementem roboczym maszyny wytrzymałościowej. W trakcie pomiarów rejestrowano zmiany pola powierzchni styku, wartości siły nacisku oraz warstw nacisków powierzchniowych jako funkcji czasu.

Tabela 1
Dane techniczne czujnika foliowego 5076.
Table 1
Technical data of the plastic sensor 5076.

Wymiary czujnika		Kierunek wzdłużny		Kierunek poprzeczny		Ilość czujników (szt.)	Gęstość czujników (szt.·mm ⁻²)
długość (mm)	szerokość (mm)	rozstaw (mm)	ilość (szt.)	rozstaw (mm)	ilość (szt.)		
83,8	83,8	1,9	44	1,9	44	1936	0,276

Źródło: www.tekscan.com

W pracy zostaną przedstawione przykładowe wyniki badań uzyskane przy początkowej wartości przemieszczenia wynoszącej 30% F_{max} (tabela 2).

Na całkowity błąd doświadczalnego wyznaczania nacisków powierzchniowych składały się błędy związane z kształtem próbek, z pomiarem siły nacisku oraz wyznaczeniem

pola powierzchni styku jabłka z podłożem. Ze względu na bardzo staranne przygotowanie próbek do badań, błąd kształtu, jako błąd systematyczny, można pominąć. Pomiar siły, pomiar pola powierzchni styku oraz wartość nacisków powierzchniowych wyznaczano przy pomocy systemu Tekscan o następujących parametrach: dokładność systemu $<\pm 4\%$, błąd liniowości $<\pm 3\%$, powtarzalność wyników $<\pm 3,5\%$, histereza $<\pm 4,5\%$ oraz dryfowanie $<5\%$.

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. 2).

Tabela 2

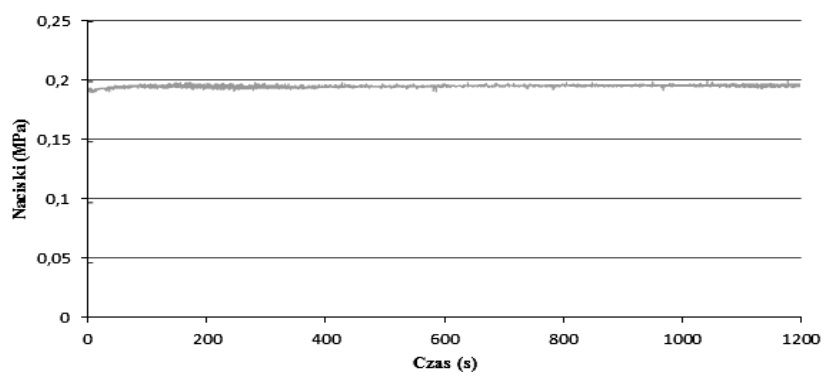
Parametry początkowe procesu ściskania

Table 2

Initial parameters of the compression process

Parametry początkowe	Obciążenie początkowe	Przemieszczenie początkowe
$30\% F_{\max}$	$F_{030} = 70,1 \text{ N}$	$\Delta l_{030} = 4,4 \text{ mm}$

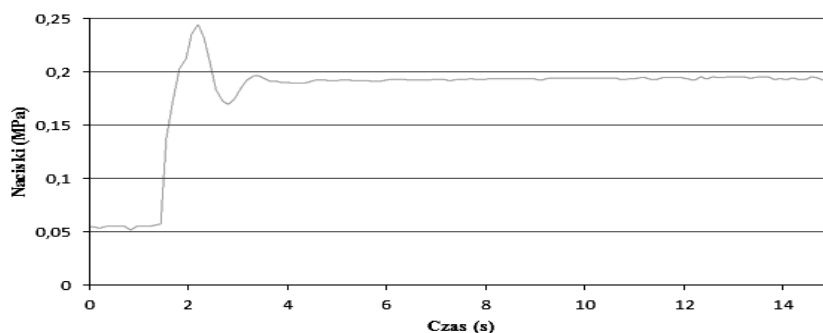
Przebieg zmian średnich wartości nacisków powierzchniowych w strefie styku jabłka z elementem obciążającym maszyny wytrzymałościowej jako funkcji czasu przedstawiony jest na rysunku 2. Średnie wartości nacisków powierzchniowych, obliczane jako stosunek stałej wartości siły wymuszanej przez maszynę wytrzymałościową do całkowitej powierzchni styku w całym teście trwającym 1200 s, nie ulegają istotnym zmianom.



Rysunek 2. Średnie wartości nacisków powierzchniowych jako funkcja czasu $\Delta t=0$ do 1200 s

Figure 2. Average values of the surface pressures as the time function $\Delta t=0$ to 1200 s

W początkowym okresie testu (rys.3), po ustabilizowaniu się obciążenia na zadanym poziomie ($t=4$ s), naciski powierzchniowe osiągają wartość $p=0,195$ MPa, natomiast pod koniec testu, po upływie 1200 s ich wartość wynosi $p=0,197$ MPa. Można więc powiedzieć, że różnica uzyskanych wartości średnich nacisków powierzchniowych mieści się w granicach błędu pomiaru.



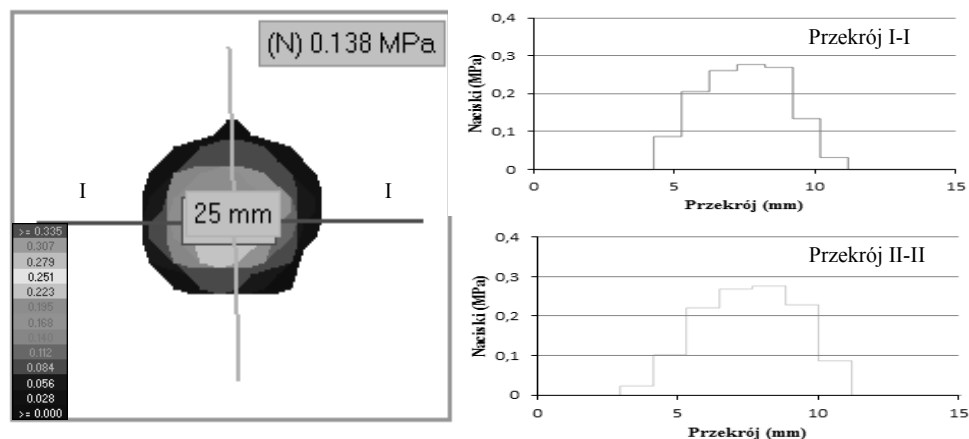
Rysunek 3. Średnie wartości nacisków powierzchniowych jako funkcja czasu $\Delta t=0$ do 15 s
Figure 3. Average values of the surface pressures as the time function $\Delta t=0$ to 15 s

Analizując powyższe wykresy można stwierdzić, że wyciąganie wniosków dotyczących zachowania się jabłek pod wpływem obciążenia, jedynie na podstawie zmian wartości siły obciążającej oraz powierzchni styku służących do wyznaczenia średnich wartości nacisków powierzchniowych, może prowadzić do wyciągania błędnych wniosków. Istotne znaczenia ma nie wartość, a warstwy nacisków powierzchniowych i ich zmiany w trakcie trwania testu, ze szczególnym uwzględnieniem stref, gdzie naciski osiągają wartości maksymalne.

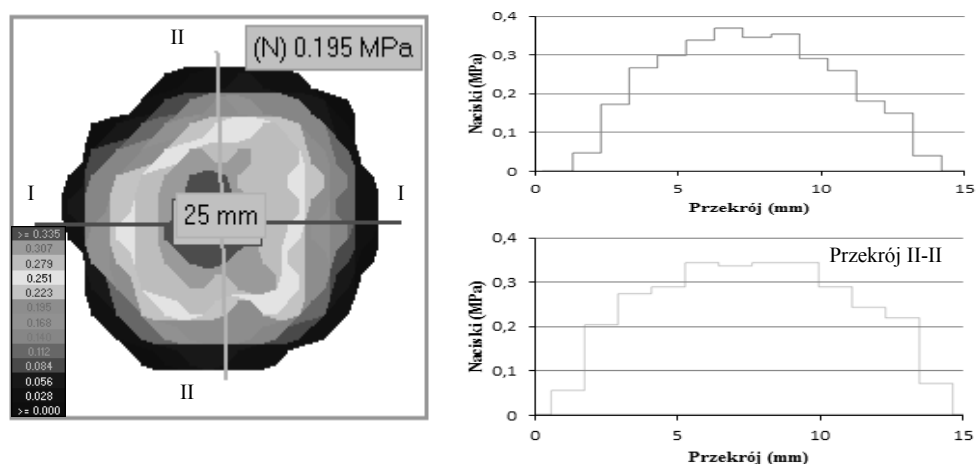
Rysunek 4 przedstawia warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych jabłek odmiany Ligol po czasie $t=1,41$ s od momentu rozpoczęcia testu, w czasie zbliżania się do założonej wartości przemieszczenia początkowego $\Delta l=4,4$ mm.

Widoczny jest punktowy charakter oddziaływania części roboczej maszyny wytrzymałościowej na badane jabłko, typowy dla obciążeń kontaktowych. Maksymalne wartości nacisków powierzchniowych $p=0,285$ MPa znajdują się w centralnej strefie styku, a rozkłady nacisków powierzchniowych zarówno w przekroju I-I jak i II-II mają regularny kształt z wyraźnym maksimum w punkcie styku. Średnia wartość nacisków dla całej powierzchni styku wynosi $p=0,138$ MPa.

W momencie osiągnięcia zadanej wartości przemieszczenia początkowego testu relaksacji naprężeń, po czasie $t=2,83$ s warstwy i rozkład nacisków powierzchniowych w przekrojach I-I i II-II, poza ich wartościami bezwzględnymi, nie uległ istotnym zmianom (rys. 5). Kontakt jabłka z płaskim elementem obciążającym nadal ma charakter punktowy, wartość maksymalnych nacisków powierzchniowych wzrosła do $p=0,375$ MPa, przy wartości średniej wynoszącej $p=0,195$ MPa.

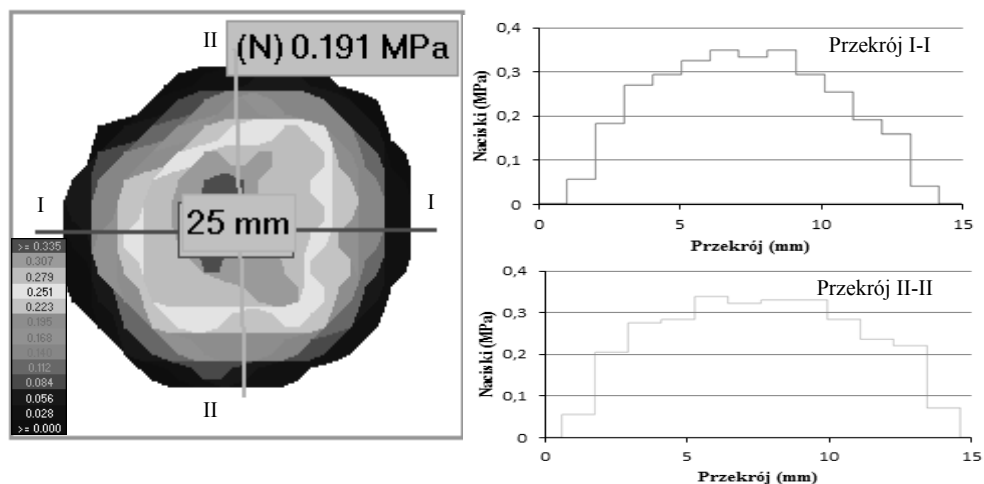


Rysunek 4. Warstwie i rozkłady nacisków powierzchniowych ($\Delta t=1,41$ s)
 Figure 4. Contour layers and distribution of the surface pressures ($\Delta t=1,41$ s)



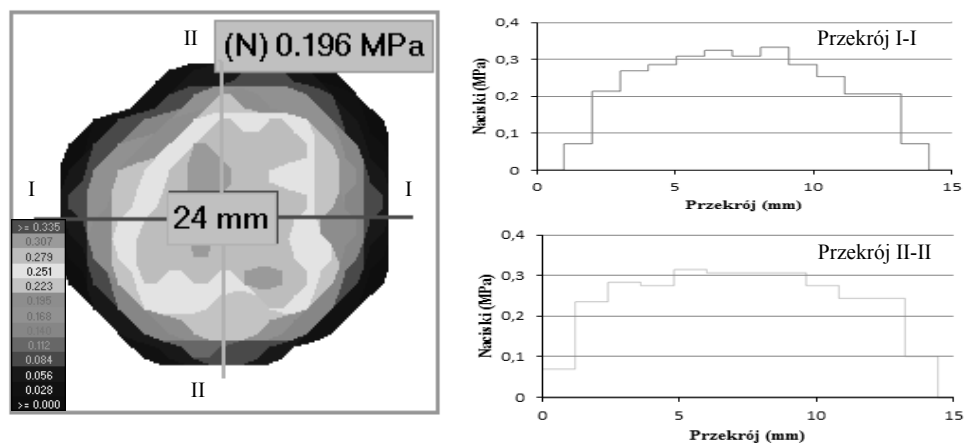
Rysunek 5. Warstwie i rozkłady nacisków powierzchniowych ($\Delta t=2,83$ s)
 Figure 5. Contour layers and distribution of the surface pressures ($\Delta t=2.83$ s)

Po 20 sekundach trwania testu i ustabilizowaniu się podstawowych parametrów testu, wartości maksymalnych nacisków powierzchniowych zaczęły powoli spadać, jednocześnie zaczęła się zwiększać powierzchnia styku o maksymalnej wartości nacisków powierzchniowych (rys. 6). Na rozkładach nacisków powierzchniowych objawiało się to spłaszczeniem wykresu. Maksymalna wartość nacisków powierzchniowych wynosiła $p=0,331$ MPa, a wartość średnia $p=0,191$ MPa.



Rysunek 6. Warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych ($\Delta t=20$ s)
 Figure 6. Contour layers and distribution of the surface pressures ($\Delta t=20$ s)

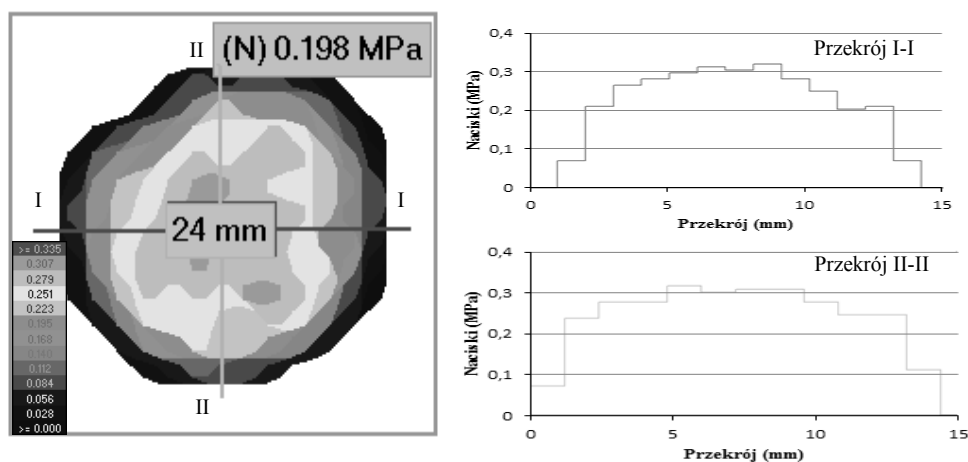
Zjawisko powiększania się obszaru styku o maksymalnych wartościach nacisków powierzchniowych, przy prawie nieziennej ich wartości średniej, dało się obserwować przez kolejne 500 sekund trwania testu (rys. 7). Po tym okresie nastąpiło wyraźne spłaszczenie wykresu przedstawiającego rozkład nacisków w dwóch wzajemnie prostopadłych przekrojach.



Rysunek 7. Warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych ($\Delta t=500$ s)
 Figure 7. Contour layers and distribution of the surface pressures ($\Delta t=500$ s)

Wartość nacisków powierzchniowych w centralnej strefie styku uległa zmniejszeniu, natomiast wzrosły naciski w okolicach strefy granicznej przy prawie niezmiennych wartościach nacisków powierzchniowych. Należy przypuszczać, że zjawisko to spowodowane jest powolnym przemieszczaniem się płynów ze stref o większym ciśnieniu do stref gdzie znajdują się jeszcze wolne przestrzenie międzykomórkowe.

W końcowej fazie testu relaksacji naprężeń jabłek, po upływie założonego czasu wynoszącego 1200 sekund, nastąpiło wyraźne wyrównanie nacisków powierzchniowych w strefie styku jabłka z elementem roboczym maszyny wytrzymałościowej (rys. 8). Powierzchnia styku o wartościach nacisków powierzchniowych z przedziału pomiędzy $p=0,250$ MPa do $0,320$ MPa obejmowała ok. 75% całkowitej powierzchni styku, podczas gdy na początku testu było to ok. 35%. Pod koniec testu średnie wartości nacisków powierzchniowych wynosiły $p=0,198$ MPa, a więc jedynie o $\Delta p=0,003$ MPa więcej niż na początku. Wartość ta mieści się w granicach błędów pomiaru.

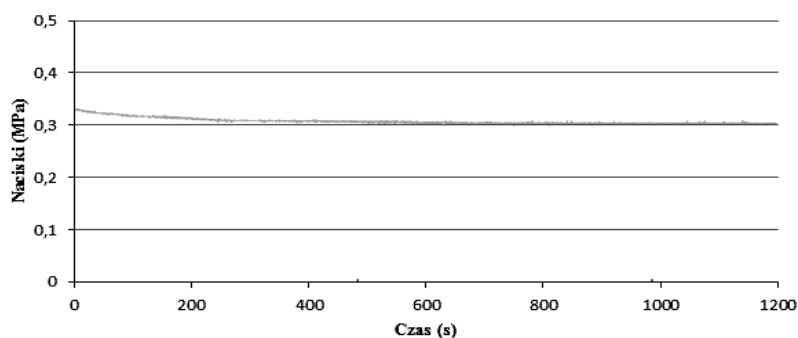


Rysunek 8. Warstwice i rozkłady nacisków powierzchniowych ($\Delta t=1200$ s)

Figure 8. Contour lines and distributions of surface pressures ($\Delta t=1200$ s)

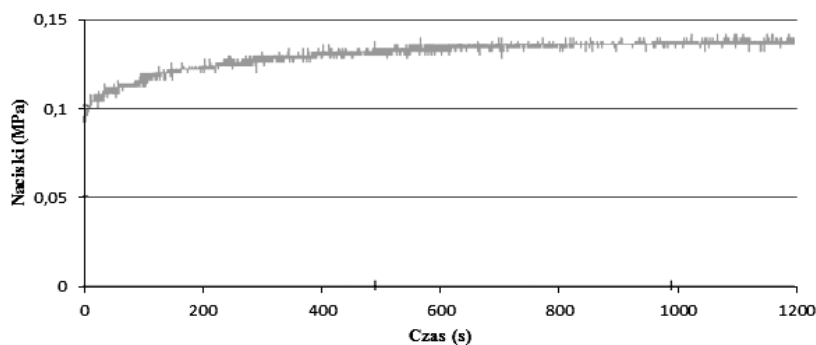
Dalsze prowadzenie testu wymagałoby zastosowania szafy klimatycznej umożliwiającej umieszczenie jej wraz z badanym jabłkiem w przestrzeni roboczej maszyny wytrzymałościowej, w celu uniezależnienia wyników pomiaru od spadku wilgotności badanych jabłek.

Na rysunku 9 i 10 przedstawiano zmiany wartości nacisków powierzchniowych jako funkcji czasu dla obszarów leżących w centralnej strefie styku oraz w okolicach strefy granicznej. Widoczny jest asymptotyczny wzrost wartości nacisków powierzchniowych w strefie granicznej, przy jednoczesnym ich spadku w strefie centralnej. Przy czym stabilizacja zmian następuje po upływie ok. 500 sekund od rozpoczęcia testu. Można więc przyjąć, że założony czas trwania testu jest wystarczający do określenia wartości nacisków powierzchniowych jabłek przy długotrwałym obciążeniu w warunkach stałej wartości obciążenia.



Rysunek 9. Zmiany wartości nacisków powierzchniowych w centralnej strefie styku jako funkcja czasu

Figure 9. Changes of values of the surface pressures in the central contact zone as the function of time



Rysunek 10. Zmiany wartości nacisków powierzchniowych w granicznej strefie styku jako funkcja czasu

Figure 10. Changes of values of the surface pressures in the border contact zone as the function of time

Wyniki pomiarów pod względem jakościowym są zgodne z wynikami badań podanymi przez Herolda (2001). W swoich badaniach wykazał on występowanie maksymalnych wartości nacisków powierzchniowych na granicy styku jabłka z elementem obciążającym i minimalnych w strefie centralnej. Nie podał jednak uzyskanych wartości nacisków w poszczególnych strefach styku.

Wnioski

1. Wartości nacisków powierzchniowych są wyraźnie zróżnicowane na powierzchni styku jabłka z elementem obciążającym i ulegają zmianie w trakcie testu pełzania w związku z tym operowanie wartością średnich nacisków obliczanych jako stosunek siły nacisku do całkowitej powierzchni styku może prowadzić do błędnych wniosków.
2. W początkowej fazie testu rozkład nacisków powierzchniowych ma kształt typowy dla zagadnień kontaktowych dla materiałów sprężystych – maksymalne wartości znajdują się w strefie centralnej. W końcowej fazie testu wartość nacisków powierzchniowych w strefie centralnej ulega obniżeniu przy jednoczesnym wzroście w strefie granicznej.
3. Wyraźnie wzrasta powierzchnia styku o maksymalnych wartościach nacisków powierzchniowych z początkowych 35% na początku testu do 75% na końcu.

Literatura

- Gołacki, K.; Bobin, G. (2008). Zastosowanie techniki chmi do wyznaczania odporności na obicia jabłek odmiany melrose. *Inżynieria Rolnicza* 9(107), s. 91.
- Herold, B.; Geyer, M.; Studman, C.J. (2001). Fruit contact pressure distributions—equipment. *Comput. Electron. Agric.* 32, 167-179.
- Lewis, R.; Yoxall, A.; Marshall, M.B.; Cauty, L.A. (2008). Characterizing pressure and bruising in apple fruit. *Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, Mappin Street, Sheffield S1 3JD, United Kingdom*, Wear, 264 37-46.
- Nadulski, R. (2009). Wpływ czasu i warunków przechowywania jabłek na ich wybrane właściwości mechaniczne. *Inżynieria Rolnicza*, 2(111), 107-116.
- Plocharski, W. J.; Konopacka, D. (1999). The relations between mechanical and sensory parameters of apples. *Acta Horticulture*, 485, 309-318.
- Plocharski, W. J.; Konopacka, D.; Zwierz, J. (2000). Comparison of Magness-Taylor's pressure test with mechanical, non-destructive methods of apples and pears firmness measurements. *Int. Agrophysics*, 14, 311-318.
- Rabelo, G.F.; Fabbro, I.M.; Linares, A.W. (2001). Contact stress area measurement of spherical fruit. *Proceedings of Sensors in Horticulture III*, 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, 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*, 291-340 Chapter 3.
- Van Zeebroeck, M.; Van Linden, V.; Ramon, H.; De Baerdemaeker, J.; Nicolai, B. M.; Tijskens, E. (2007). Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biol. Technol.* 45, 157-167.
- Van Zeebroeck, M.; Tijskens, E.; Liedekerke, P.V.; Deli, V.; Baerdemaeker, J.D.; Ramon, H. (2003). Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using pendulum device. *Journal of sound and vibration*. 266(3), 465-480.

CHANGE OF SURFACE PRESSURES OF APPLES IN THE CREEP TEST

Abstract. The results of the measurements of the surface pressures including the time factor in the test of radial compression between flat panels with the use of the testing machine Instron 5566 were presented. Contour layers and distribution of the surface pressures in different stages of creep test were determined. It was proved that the average values of the surface pressures are subject to minimum changes during the whole test. Distribution of pressures on the surface of apple contact with the loading element undergoes a significant change. In the initial stage of the test, distribution of the surface pressures has a typical shape for contact issues - maximum values are in the central sphere. Value of the surface pressures in the central sphere decreases with time at the simultaneous increase in the border sphere. The contact surface with the maximum surface pressures clearly increases.

Key words: surface pressures, apple, compression, time factor, creep.

Adres do korespondencji:

Małgorzata Młotek; e-mail: malgorzata.porczyk@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław