

PRÓBA OKREŚLENIA NACISKÓW POWIERZCHNIOWYCH JABŁEK W SKRZYŃCE JEDYNCE W ASPEKCIE JEJ PRZYDATNOŚCI DO TRANSPORTU I PRZECHOWYWANIA

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki zmian nacisków powierzchniowych jabłek umieszczonych w skrzynce w zależności od obciążenia – wysokości warstwy. W pierwszej kolejności wykonane zostały testy ściskania całych jabłek, prowadzone aż do zniszczenia – momentu osiągnięcia granicy wytrzymałości biologicznej. Na podstawie krzywych ściskania sił w funkcji przemieszczenia $F = f(\Delta L)$ ustalono zakresy sił powodujących lokalne zniszczenia struktury wewnętrznej owoców oraz wyznaczono maksymalne siły niszczące F_{max} . Przy pomocy aparatury Tekscan wyznaczono naciski powierzchniowe jabłek w warunkach statycznych dzięki jednoczesnemu rejestrowaniu sił ściskających i odpowiadających im powierzchni kontaktu z powierzchnią czujnika umieszczonego na spodzie skrzynki. Analiza średnich rozkładów sił w wybranych 5 punktach wykazała ich zróżnicowany charakter. Maksymalne wartości sił otrzymano dla środkowej strefy skrzynki – wynosiły 6,83 N przy pełnym obciążeniu skrzynki trzema warstwami jabłek. Wzrost powierzchni kontaktu jabłek ze ściankami bocznymi powodował zmniejszenie nacisków powierzchniowych do wartości 0,034 MPa, natomiast w miejscach przylegania jabłek do siebie (strefie centralnej dna skrzynki) zmniejszona powierzchnia styku determinowała wzrost nacisków do 0,082 MPa. Przeprowadzone badania w warunkach statycznych obciążeń trzema warstwami jabłek wskazują, że skrzynka „jedyńka” stanowi dobry obiekt do przechowywania i transportu.

Słowa kluczowe: naciski powierzchniowe, siła, jabłka, skrzynka, warstwa, złożo

Wstęp

Jabłka stanowią jeden z ważniejszych produktów ogrodnictwa w Polsce. Produkcja roczna wynosi około 3 mln ton, przy czym zbiory obejmują blisko 70% owoców uzyskanych ogółem. Ciągły wzrost kosztów produkcji, niska cena skupu oraz wymagania konsumentów powodują, że plon z hektara musi być coraz większy, aby produkcja stawała się opłacalna. Jakość owoców staje się czynnikiem decydującym o możliwości ich sprzedaży, w związku z czym doskonalone są techniki kontroli i sterowania jakością. Zwiększone

wymagania konsumentów związane z względnym nasyceniem rynku owocami oraz konkurencją owoców importowanych zmuszają producentów do poprawy ich jakości oraz minimalizowania strat (Kuczyński, 2003; Rudziński, 2011; Rybczyński, 2007). Wysoka jakość jabłek uzyskiwana w polskich sadach nie zawsze przekłada się na jakość produktu oferowanego konsumentowi. Jedną z przyczyn jest często niewłaściwe traktowanie owoców podczas zbioru i transportu do przechowalni. Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że błędy na tym etapie produkcji są źródłem poważnych uszkodzeń mechanicznych owoców, wpływających nie tylko na jakość jabłek, ale także osłabiających ich przydatność do przechowywania (Rabacewicz, 2003). Uszkodzenia mechaniczne, występujące w łańcuchu od producenta do konsumenta, stanowią znaczną przyczynę utraty jakości owoców. Uszkodzenia są na ogół skutkiem uderzeń, wibracji podczas takich procesów, jak zbiór, transport, sortowanie i przechowywanie luzem. Na wielkość uszkodzeń jabłek w czasie transportu wpływają przede wszystkim: podatność odmiany na uszkodzenia, metoda transportu oraz rodzaj opakowania, do którego zbierane są owoce. Najczęściej jabłka składowane są od kilku do kilkunastu warstw w różnej wielkości pojemnikach. Im większa jest liczba warstw, tym większe naciski oddziałują na materiał. Największe naciski występują w najniższych strefach pojemników. Często owoce z dolnej warstwy po przechowaniu są zdeformowane i posiadają wyraźne uszkodzenia widoczne na powierzchni w postaci ciemno zabarwionych odcisków, które są następstwem pęknięć komórek miąższu (Czerko, 2010).

Dotychczasowe wyniki badań koncentrują się często na ocenie zachowania materiału biologicznego w warunkach dynamicznych (Fischer i in., 1990, 1992). Świeże owoce zgromadzone w pojemnikach poddaje się sztucznym wibracjom, mającym na celu symulowanie rzeczywistych warunków podczas transportu. Jakość owoców oceniana jest poprzez wyznaczenie przedziału częstotliwości drgań, które powodują maksymalne uszkodzenia. Efekty zabiegów wibracji określano na podstawie klasyfikacji analiz koloru, jędmności, wydajności produkcji etylenu.

Pomiary sił mechanicznych, wywieranych na owoce umieszczone w drewnianych skrzynkach, przeprowadzili w symulatorach drgań Acican i in. (2007). Wykazali wpływ sił mechanicznych na wielkość uszkodzeń przy spadku swobodnym oraz obliczyli wartości sił działających na skrzynkę podczas transportu. Badacze zaobserwowali znaczące różnice między uszkodzeniami w dolnej i górnej warstwie owoców. Berardinelli i in. (2005) prowadzili doświadczenia symulacji drgań w kilku różnych miejscach na podłodze naczepy pojazdu. Mierzono przyspieszenia w różnych pozycjach na podłodze kolumny skrzyń, których efektami były uszkodzenia objawiające się zaciemnieniami skórki owoców. Zauważono znaczące różnice pojawiające się między wymiarami uszkodzeń w zależności od pozycji na podłodze naczepy, gdzie najwyższe wartości odnotowano w różnych miejscach oraz dla różnych odmian owoców. Model symulowanego pojazdu drogowego, który umożliwił przewidywanie uszkodzeń mechanicznych, wykorzystali w swoich badaniach Jones i in. (1991). Model zastosowano do obliczenia energii pochłoniętej przez materiał biologiczny. Przeprowadzono badania parametryczne, w których wartości obciążenia były przewidywane w odniesieniu do jabłek przewożonych w pojemnikach, w różnych miejscach na hipotetycznej ciężarówce poruszającej się w całym zakresie prędkości.

Badania zachowania materiału w warstwie, w warunkach obciążeń statycznych przeprowadzili Studman i Geyer (2002). Przy pomocy stalowych kul ułożonych w stosie opracowano komputerowy model, który umożliwił wyznaczenie rozkładu nacisków dla przewi-

dywanych przedmiotów okrągłych lub jabłek. Model przewidywał, że obciążenia poszczególnych kulek mogą być wiele razy większe niż średnie obciążenie, którego można by oczekiwać przy ciśnieniu rozłożonym równomiernie pomiędzy wszystkimi potencjalnymi sferami na dolnej warstwie stosu.

Doniesienia literaturowe wskazują na niewielką ilość opracowań dokumentujących badania nacisków powierzchniowych owoców w stosach nieruchomych.

Cel badań

Celem pracy było zaprezentowanie wyników zmian nacisków powierzchniowych jabłek umieszczonych w skrzynce w zależności od obciążenia – wysokości warstwy. Postanowiono zbadać rzeczywiste obciążenia występujące podczas składowania jabłek w pojemnikach transportowanych ręcznie. Realizacja powyższego celu wymagała:

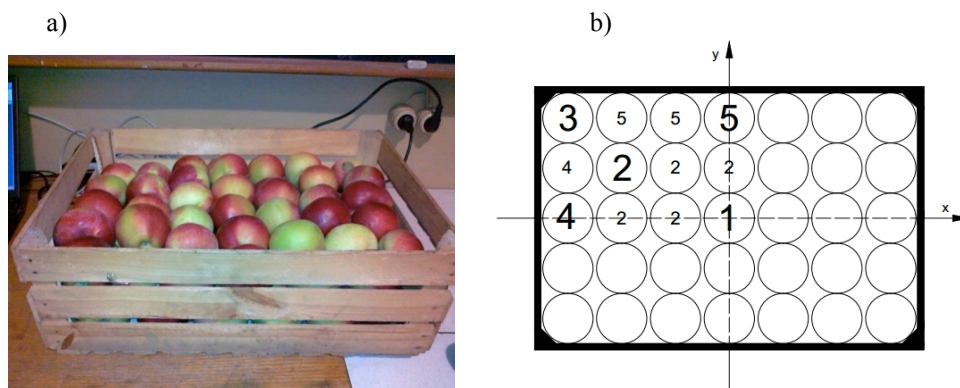
- przeprowadzenia testów ściskania całych owoców w celu określenia lokalnych uszkodzeń oraz maksymalnych sił niszczących,
- wyznaczenia panujących sił oraz powierzchni kontaktu,
- wyznaczenia rozkładów nacisków powierzchniowych w różnych miejscach skrzynki.

Przedmiot i metoda badań

Wytypowanym materiałem badawczym były jabłka odmiany *Lobo* przechowywane w temperaturze 3°C i wysokiej względnej wilgotności powietrza 90-95% przez dwa miesiące od terminu zbioru. Z wybranej partii starannie wyselekcjonowano materiał pod względem geometrycznym i masowym. Jabłka pobrane do badań posiadały zbliżone kształty odpowiadające zakresom: wymiarowym (maksymalne średnice zewnętrzne od 75-85 mm), wagowym (masy 180-200 g). Badania przeprowadzono w laboratorium agrofizyki Instytutu Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

W pierwszej kolejności wykonane zostały testy ściskania całych jabłek, prowadzone aż do zniszczenia – momentu osiągnięcia granicy wytrzymałości biologicznej. Na podstawie krzywych ściskania sił w funkcji przemieszczenia $F = f(\Delta L)$ ustalono zakresy sił ściskających, działających na powierzchni około 775 mm², powodujących lokalne zniszczenia struktury wewnętrznej owoców, oraz wyznaczono maksymalne siły niszczące F_{max} odniesione do powierzchni 1433 mm². Pomiary wykonano w pięciu powtórzeniach. W pracy zaprezentowane zostały uśrednione krzywe. Testy ściskania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON 5566 z głowicą tensometryczną klasy 0,5 o zakresie pomiarowym do 1 kN, przy prędkości przemieszczenia 1,8 mm·min⁻¹. Przesunięcie głowicy rejestrowano z dokładnością do 0,01 mm. Zmiany sił w materiale rejestrowano w odstępach co 0,1 sekundy trwania procesu. Maszyna wytrzymałościowa była podłączona do komputera PC wyposażonego w oprogramowanie Bluehill 2, które umożliwiała sterowanie przebiegiem testów oraz zapisem wyników.

Zasadniczym etapem badań były pomiary nacisków powierzchniowych przeprowadzone w warunkach obciążeń statycznych dla jabłek umieszczonych w skrzynce. Do badań wybrano najbardziej popularny i uniwersalny rodzaj skrzynek („jedynek”) wykorzystywanych szeroko w transporcie owoców (rys. 1a).

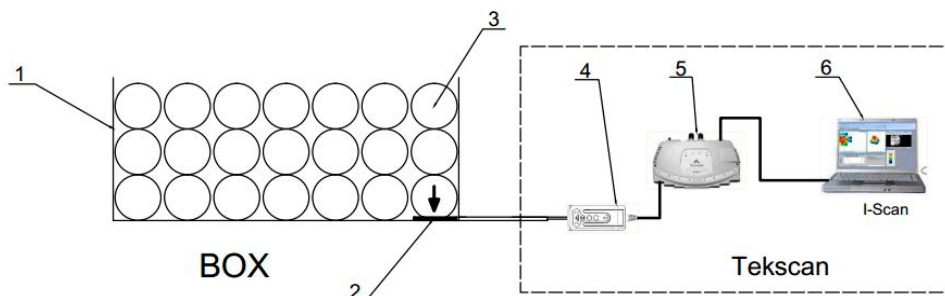


Rysunek 1. Skrzynka użyta do badań: a) widok ogólny, b) schemat rozmieszczania punktów pomiarowych: nr 1-5 kolejność zmian położenia czujnika nacisków
 Figure 1. A box used for the research: a) general view, b) schematic representation of measurement points: no. 1-5 order of changes of pressure sensors location

Podstawowe parametry użytej skrzynki wynosiły odpowiednio: wymiary geometryczne 600x400x250 mm, dopuszczalna nośność 20 kg, materiał – drewno świerkowe. Wnętrze skrzynki wyłożono papierem, na którym układano jabłka w trzech kolejnych warstwach. W skrzynce jabłka umieszczano w pozycji bocznej. Pod wpływem obciążenia jabłka wywierały nacisk na umieszczony pod nimi czujnik. Podczas przebiegu badań zmieniano położenie czujnika, wykonując 5 pomiarów na powierzchni spodniej skrzynki (foliowy czujnik umieszczano w położeniu poziomym na dnie bezpośrednio pod jabłkami), co zaprezentowano schematycznie na rysunku 1b. W pracy przyjęto kilka uproszczeń:

- skrzynka stanowi obiekt symetryczny względem dwóch prostopadłych osi,
- oddziaływania występujące między sąsiednimi jabłkami są do siebie zbliżone (punkty nr 2),
- naciski jabłek położonych przy ściankach bocznych (pozostałe punkty 4 i 5) są do siebie zbliżone.

Podczas badań rejestrowano rozkłady nacisków powierzchniowych jabłek, wykorzystując do tego przenośny system firmy Tekscan. System pomiarowy składał się z kontaktowego, ultracienkiego czujnika nacisku o powierzchni aktywnej 7022 mm², grubości 0,2 mm oraz zakresie pomiarowym do 2,4 MPa. Transmisja danych do komputera PC odbywała się za pomocą wielokanałowego portu, podłączonego bezpośrednio do specjalnego uchwytu, wewnątrz którego umieszczano czujnik nacisku, co zilustrowano na rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego: 1 – drewniana skrzynka, 2 – dotykowy czujnik nacisku, 3 – jabłka, 4 – uchwyt czujnika, 5 – wielokanałowy port, 6 – komputer PC wraz z oprogramowaniem I-Scan

Figure 2. Schematic representation of the measurement system: 1 – wooden box, 2 – touch-sensitive pressure sensor, 3 – apples, 4 – sensor handle, 5 – multi-channel port, 6 – PC with I-Scan software

Stosowane podczas badań oprogramowanie I-Scan umożliwiało przetwarzanie i analizowanie badanych sił, obrazów pól powierzchni oraz wynikowych nacisków powierzchniowych w funkcji czasu. Pomiar powierzchni obarczony był błędem czujnika wynoszącym 4%. Oprogramowanie pozwalało na obserwację w czasie rzeczywistym obrazów nacisków powierzchniowych, zmieniających się pod wpływem obciążania kolejnymi warstwami jabłek. Rejestracja obrazów nacisków powierzchniowych dla poszczególnych warstw odbywała się przy częstotliwości próbkowania do 1 kHz i przebiegała około 12 sekund. Wyznaczenie nacisków powierzchniowych jabłek w warunkach statycznych możliwe było dzięki równoległej i ciągłej rejestracji sił nacisku oraz pola powierzchni stykających się obiektów w funkcji czasu.

System Tekscan wyliczał naciski powierzchniowe p , wynikające z następującej zależności (1):

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

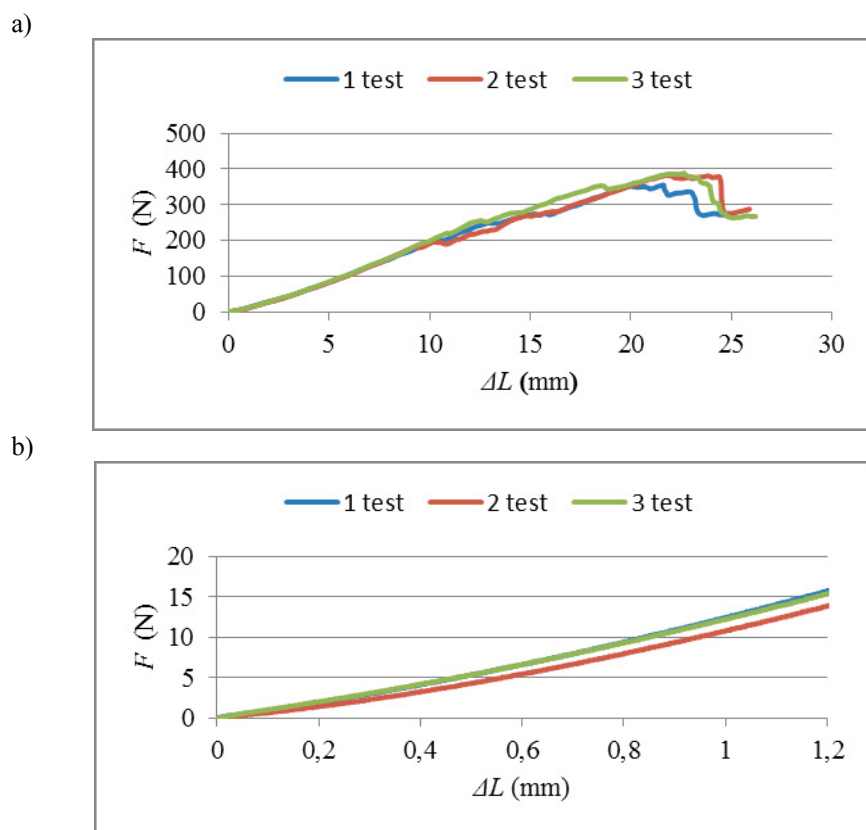
gdzie:

- F – siła obciążająca (N),
- A – pole powierzchni styku obiektu z czujnikiem (mm^2).

Pomiary nacisków powierzchniowych dla pięciu wyznaczonych punktów rozmieszczenia czujnika wykonano w 5 powtórzeniach, które następnie podlegały obróbce statystycznej.

Analiza wyników badań

Na rysunku 3 przedstawiono rozkłady obciążeń w funkcji przemieszczeń dla wybranych krzywych otrzymanych w teście ściskania jabłek.



Rysunek 3. Rozkłady obciążeń w funkcji przemieszczeń dla wybranych krzywych otrzymanych w teście ściskania jabłek: a) całkowite przebiegi ściskania prowadzone do zniszczenia owoców b) początkowy etap ściskania do 20 N

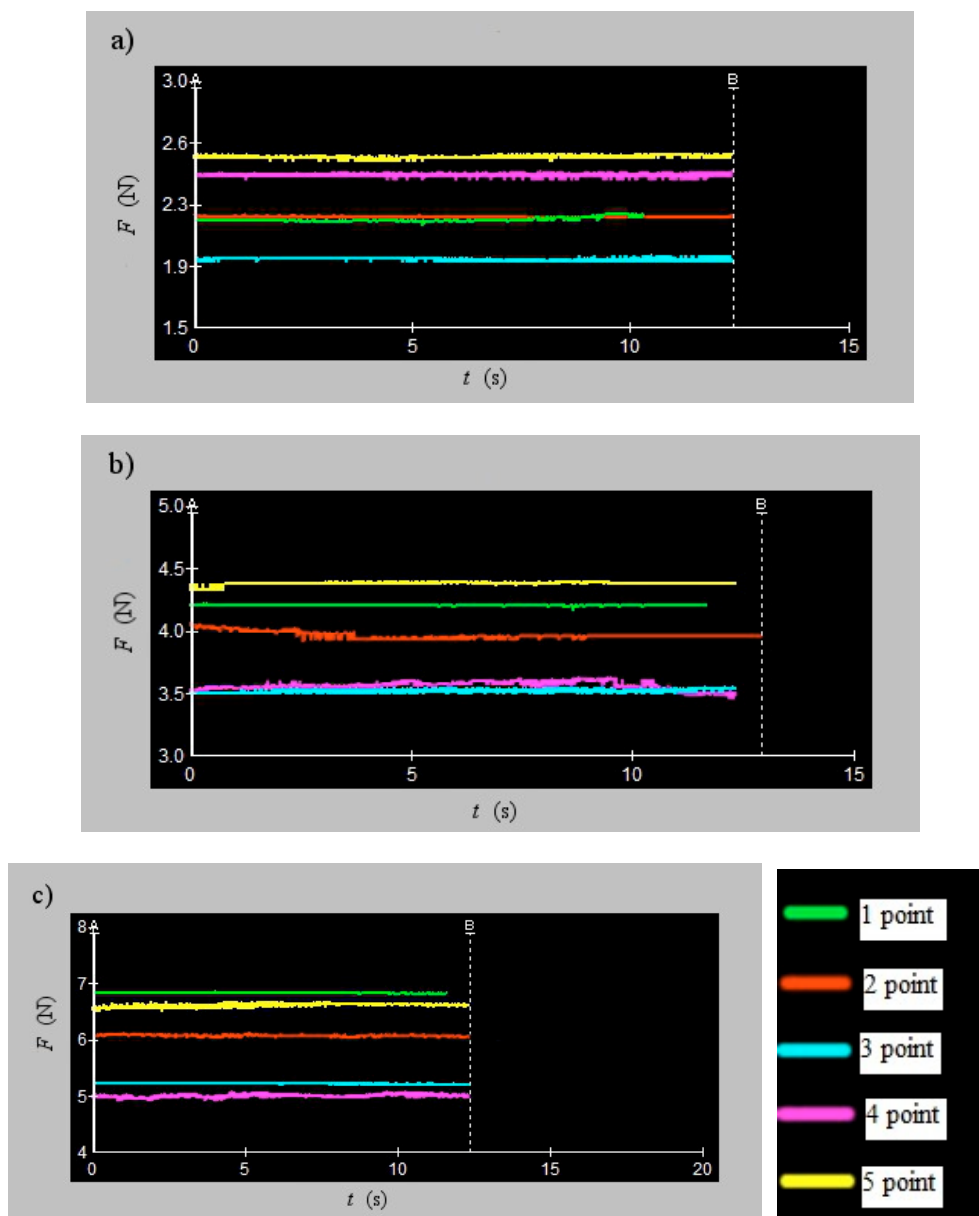
Figure 3. Distribution of loads as the function of relocations for the selected curves obtained in the compression test of apples: a) total compression course carried out to the moment of damage to apples b) initial stage of compression to 20 N

Przeprowadzone pomiary pozwoliły ustalić maksymalny zakres sił ściskających dla jabłek *Lobo* przy 350-400 N działających na powierzchni styku o wartości 1433 mm² oraz lokalnych zniszczeń w okolicach 200 N przy powierzchni oddziaływania 775 mm² (rys. 3a). Wartości obciążeń, powyżej których zachodzą procesy intensywnego niszczenia struktury tkanki mięksisowej jabłek, stanowiły 40-50% ich wartości maksymalnych. Przebieg początkowej fazy ściskania (do 20 N) przebiegał stabilnie, nie zauważono chwilowego spadku obciążenia wynikającego z deformacji struktury (rys. 3b).

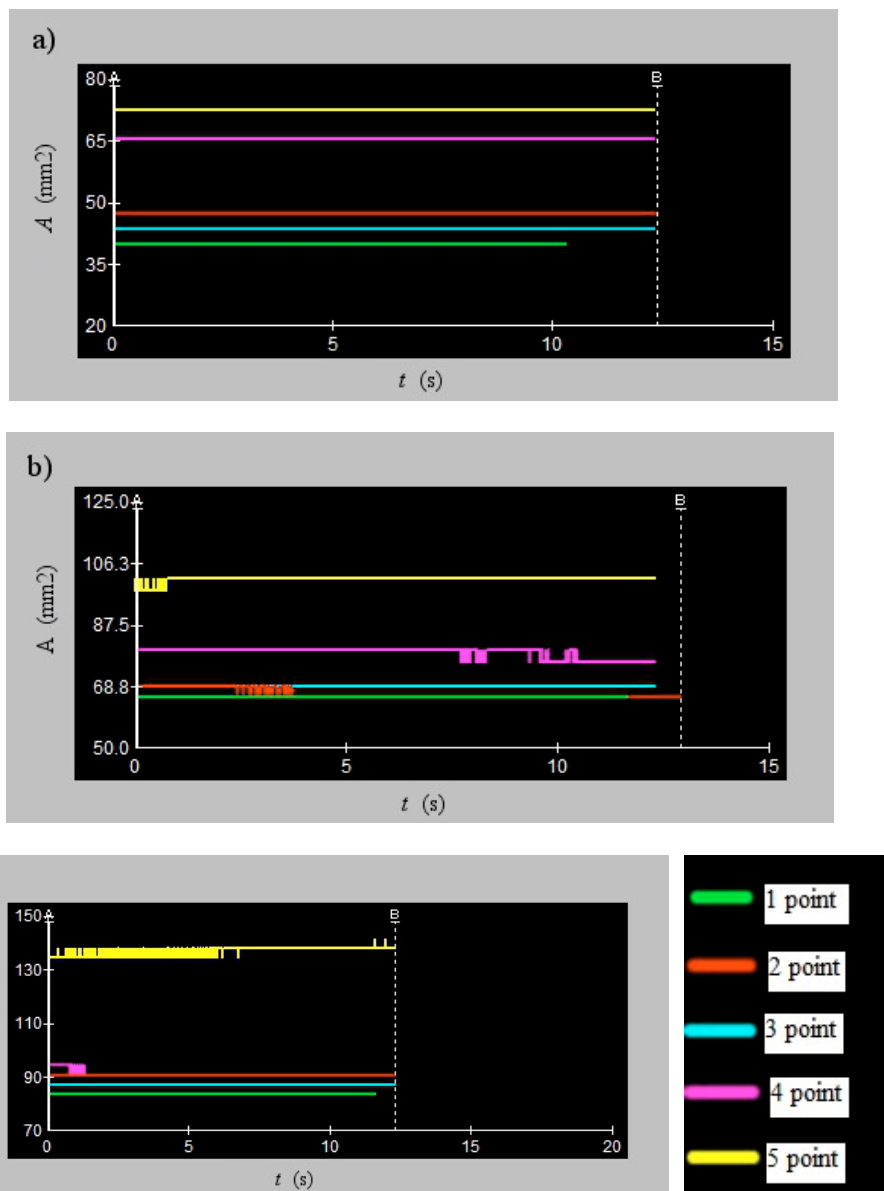
Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi średnich sił ściskających w czasie około 12 sekund, w pięciu badanych punktach pomiarowych, w zależności od obciążenia warstwą jabłek. Poniższe rozkłady wskazują na ich zróżnicowany charakter, dla których najwyższe wartości sił nie przekroczyły 7 N i uzyskano je dla punktu pomiarowego 1 (przebieg zielony – rys. 4c) przy obciążeniu trzema warstwami jabłek. Wyznaczone przebiegi sił nacisku były stabilne w czasie. W zależności od liczby warstw jabłek, wielkości zarejestrowanych sił nacisku wzrastały dla każdego z punktów pomiarowych. Zmienny charakter uzyskanych wartości sił w poszczególnych punktach pomiarowych można uzasadnić wpływem oddziaływania jabłek na twarde, boczne ścianki skrzynki (punkty 3 i 4, rys. 1b) lub miękkie sąsiadujące ze sobą owoce (punkty 1 i 2, rys. 1b). Uzyskane maksymalne wartości sił nacisku jabłek umieszczonych wielowarstwowo w skrzynce „jedynce” wskazują na bezpieczny zakres obciążeń z punktu widzenia lokalnych zniszczeń struktury.

Rozkłady powierzchni kontaktu również wykazywały zmienny charakter dla poszczególnych punktów pomiarowych (rys. 5). Na rysunku 5c zaprezentowano przebiegi średnich pól powierzchni kontaktu, wśród których najwyższe wartości występowały przy obciążeniu trzema warstwami w punkcie piątym i wynosiły 135 mm². Przeprowadzone pomiary wykazały najmniejsze wartości powierzchni kontaktu w centralnej strefie skrzynki (w punkcie pierwszym), natomiast dla punktów czwartego oraz piątego, w miejscu gdzie występował kontakt jabłka z boczną ścianką, obserwowano najwyższe wartości pól powierzchni. Zauważono również podobny przebieg zmian wartości pól kontaktu dla punktu drugiego oraz trzeciego niezależnie od zwiększania obciążenia kolejnymi warstwami jabłek (rys. 5a, b, c). Przeprowadzone pomiary pozwalają stwierdzić, że zmienność powierzchni kontaktu jabłek umieszczonych w skrzynce będzie wpływać na wartość nacisków powierzchniowych.

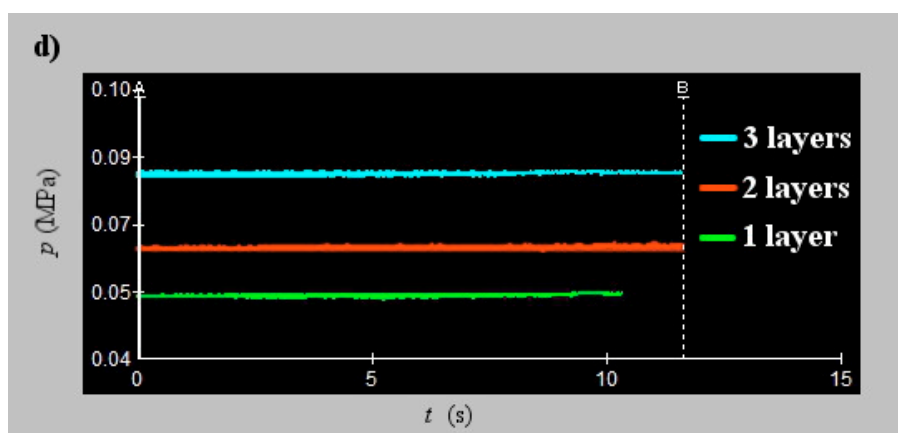
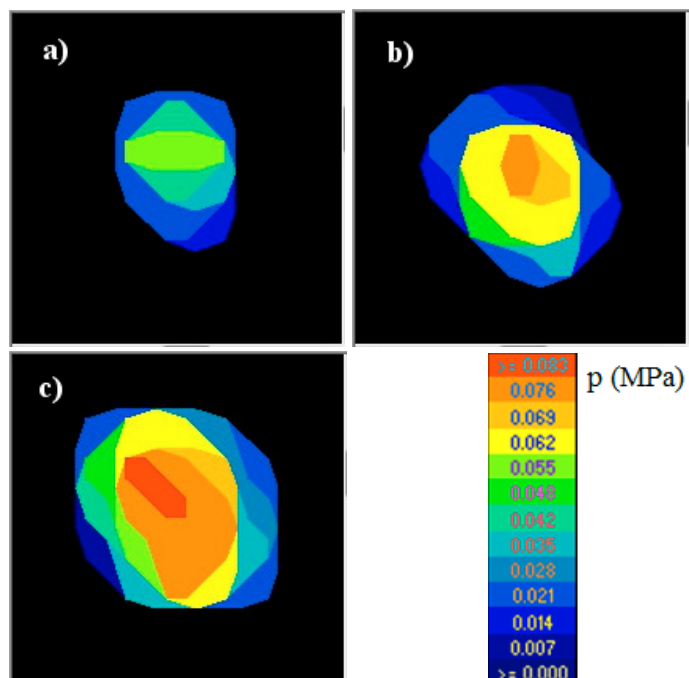
Wyniki średnich sił ściskających oraz powierzchni kontaktu umożliwiły wyznaczenie średnich nacisków powierzchniowych dla przykładowego punktu pierwszego, który przedstawiono na rysunku 6. Obrazy warstwiczne, zilustrowane na rysunkach 6a, 6b, 6c, wskazują na koncentrację nacisków w środkowej strefie zarejestrowanej powierzchni. Najniższe wartości nacisków powierzchniowych występowały dla pierwszej warstwy jabłek i nie przekraczały 0,05 MPa (rys. 6d). Wraz ze wzrostem obciążenia warstwami jabłek wzrastają stopniowo naciski powierzchniowe, osiągając dla trzech warstw maksymalne wartości 0,082 MPa.



Rysunek 4. Przebiegi średnich sił ściskających w wybranych pięciu punktach pomiarowych: a) dla jednej warstwy, b) dla dwóch warstw, c) dla trzech warstw
 Figure 4. Course of average compression forces in the selected five measurement points: a) for one layer, b) for two layers, c) for three layers



Rysunek 5. Rozkłady średnich pól powierzchni kontaktu w funkcji czasu: a) dla jednej warstwy, b) dla dwóch warstw, c) dla trzech warstw
 Figure 5. Distribution of average surface area of contact as the function of time: a) for one layer, b) for two layers, c) for three layers



Rysunek 6. Średnie naciski powierzchniowe dla punktu 1: a) warstwicę dla pierwszej warstwy, b) warstwicę dla dwóch warstw, c) warstwicę dla trzech warstw, d) rozkład nacisków w funkcji czasu przy zmiennym obciążeniu warstw

Figure 6. Average surface pressures for point 1: a) contour lines for the first layer, b) contour lines for two layers, c) contour lines for three layers, d) distribution of pressures as the function of time at the variable loading of layers

Z uwagi na statyczny charakter obciążeń przebiegi wartości nacisków w wyznaczonym czasie nie ulegały dużym zmianom i charakteryzowały się niewielkim stopniem rozproszenia, o czym świadczą niskie wartości odchyłeń standardowych (tab. 1).

Tabela 1

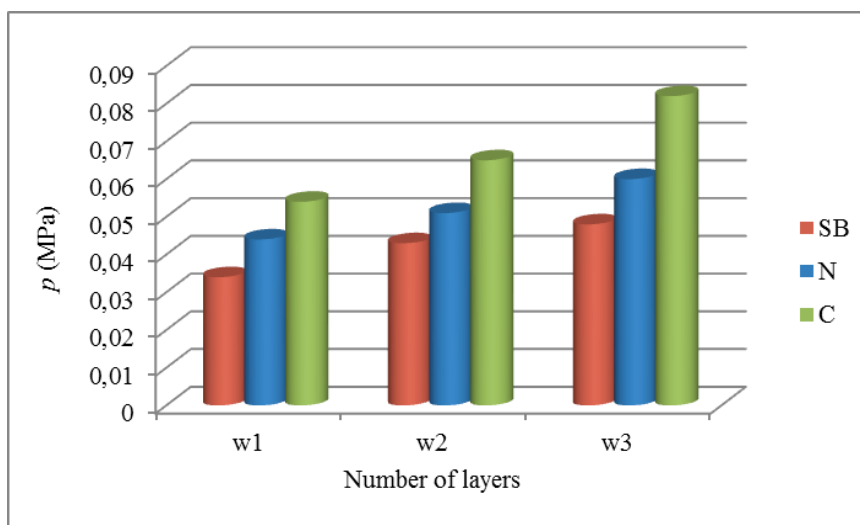
Wyniki analizy statystycznej dla wybranego punktu pomiarowego nr 1

Table 1

Results of the statistical analysis for the selected measurement point no 1

Naciski powierzchniowe przy obciążeniu warstwami (MPa)	Średnia	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Dolna granica przedziału ufności 95%	Górna granica przedziału ufności 95%
p ₁	0,05423	0,00039	1,24E-05	0,0532	0,054
p ₂	0,06479	0,00052	1,62E-05	0,0639	0,066
p ₃	0,0814	0,00048	1,50E-05	0,0805	0,082

Na rysunku 7 przedstawiono zmiany nacisków powierzchniowych w różnych strefach kontaktu owoców w zależności od obciążeń warstwami jabłek. Najwyższe wartości nacisków powierzchniowych zaobserwowano dla jabłek umieszczonych w centrum dna skrzynki w zakresie 0,054-0,082 MPa, natomiast najniższe zauważono w strefach ścianek bocznych, uzyskując wartości 0,034-0,048 MPa.



Rysunek 7. Rozkład nacisków powierzchniowych w różnych strefach kontaktu w zależności od obciążenia warstwą jabłek: SB – dla ścianek bocznych, N – dla narożników skrzynki (punkt 3), C – dla centrum powierzchni skrzynki (punkt pomiarowy 1)

Figure 7. Distribution of surface pressures in different spheres of contact depending on the loading of the layer of apples: SB – for side walls, N – for box corners (point 3), C – for the centre of the box surface (measurement point 1)

W centralnej strefie skrzynki występowały największe siły ściskające między jabłkami przy relatywnie niewielkich wartościach pól powierzchni kontaktu. Odwrotna sytuacja miała miejsce przy bocznych ściankach, gdzie mniejsze siły oddziaływały na większe powierzchnie kontaktu. Można zatem sądzić, że wzrost powierzchni kontaktu jabłek ze ściankami bocznymi powodował zmniejszenie nacisków powierzchniowych, natomiast w miejscach przylegania jabłek do siebie (strefie centralnej dna skrzynki) zmniejszona powierzchnia kontaktu determinowała wzrost nacisków.

Przeprowadzone badania wykazały, że podczas ułożenia materiału w stos na spodniej warstwie występują nierównomierności rozkładu obciążenia, a w rezultacie także – nacisków powierzchniowych. Jest to ważne zagadnienie z punktu widzenia przechowywania materiału biologicznego w warstwach w różnego rodzaju pojemnikach drewnianych lub wykonanych z tworzyw sztucznych, dlatego należy dalej je zgłębiać.

Wnioski

Przeprowadzone badania nasuwają następujące wnioski:

1. Przeprowadzone testy ściskania wykazały podobny charakter przebiegu krzywych, dla których zakres maksymalnych sił ściskających wynosił 350-400 N przy powierzchni kontaktu wynoszącej 1433 mm², natomiast lokalne zniszczenia struktury zaobserwowano na poziomie 200 N przy powierzchni oddziaływania 775 mm². W początkowej fazie ściskania (do 20 N) nie zauważono chwilowego spadku obciążenia.
2. Analiza średnich rozkładów sił ściskających w miejscu kontaktu jabłek w wybranych 5 punktach wykazała ich zróżnicowany charakter. Maksymalne wartości sił otrzymano dla punktu pomiarowego nr 1, które wynosiły 6,83 N, występujących na powierzchni kontaktu 83 mm², przy pełnym obciążeniu skrzynki trzema warstwami jabłek.
3. Analiza warstw nacisków powierzchniowych pozwoliła wyznaczyć najwyższe wartości, które wyniosły 0,082 MPa dla punktu pomiarowego nr 1.
4. Wzrost powierzchni kontaktu jabłek ze ściankami bocznymi powodował zmniejszenie nacisków powierzchniowych, natomiast w miejscach przylegania jabłek do siebie (strefie centralnej dna skrzynki) zmniejszona powierzchnia styku determinowała wzrost nacisków.
5. Przeprowadzone badania w warunkach statycznych obciążeń trzema warstwami jabłek wskazują, że skrzynka „jedyńka” stanowi dobry obiekt do przechowywania i transportu.

Literatura

- Acıcan, T.; Alibaş, K.; Özelkök, I. S. (2007). Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. *Biosystems Engineering, Volume 96*, Issue 2, 239-248.
- Berardinelli, A.; Donati, V.; Giunchi, A.; Guarnieri, A.; Ragni, L. (2005). Damage to pears caused by simulated transport. *Journal of Food Engineering, Volume 66*, Issue 2, 219-226.
- Czerko, Z. (2010). Uszkodzenia ziemniaków podczas przechowywania w wysokich pryzmach. *Ziemiak Polski*, 2, 49-51.

- Fischer, D.; Craig, W.; Ashby, B. H. (1990). Reducing transportation damage to grapes and strawberries. *Journal of Food Distribution Research*, Volume 21, 193-202.
- Fischer, D.; Craig, W.; Watada, A. E.; Douglas W.; Ashby, B. H. (1992). Simulated in-transit vibration damage to packaged fresh market grapes and strawberries. *Applied Engineering in Agriculture*, Volume 8(3), 363-366.
- Jones, C. S.; Holt, J. E.; Schoorl, D. (1991). A model to predict damage to horticultural produce during transport. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 50, 259-272.
- Kuczyński, A. P. (2003). Ocena jędrności przechowywanych jabłek przy zastosowaniu statystycznej metody redukcji wymiarów w modelu. *Acta Agrophysica*, Volume 2, 4, 787-802.
- Rabacewicz, J. (2003). Uszkodzenia jabłek w transporcie z sadu do przechowalni. Hasło Ogrodnicze, nr 09. Pozyskano z: <http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=1286>
- Rudziński, R. (2011). Zasady przechowywania i magazynowania towarów pochodzenia rolniczego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Administracja i Zarządzanie*, T. 15, 88, 113-126.
- Rybczyński, R. (2007). Jędrność jabłek w warunkach obrotu handlowego. *Acta Agrophysica*, vol. 10, 2, 437-443.
- Studman, C. J.; Geyer, M. (2002). PH-Postharvest Technology: Modelling the load distribution of stacked apples and other spherical objects. *Biosystems Engineering*, Volume 82, Issue 1, 65-72.

AN ATTEMPT TO DETERMINE SURFACE PRESSURES OF APPLES IN THE SINGLE BOX IN THE ASPECT OF ITS USEFULNESS FOR TRANSPORT AND STORAGE

Abstract. The paper presents results of changes of surface pressures of apples placed in the box depending on the load- the height of a layer. Firstly, compression tests of whole apples were carried out to the level of damage - the moment of reaching the biological resistance limit. Based on curves of forces compression as the function of relocation $F = f(\Delta L)$, scopes of forces, which cause local damage to the inside structure of fruit, and the maximum destruction forces were determined F_{max} . With the use of Tekscan apparatus, surface pressures of apples were determined in the static conditions due to simultaneous registering of compression forces and the responding surface of contact with the surface of the sensor placed at the bottom of the box. Analysis of the average forces distribution in the selected 5 points proved their varied nature. The maximum values of forces for a middle sphere of the box were obtained and they amounted to 6.83 N at a full loading of the box with three layers of apples. Increase of the contact surface of apples with side walls caused decrease of the surface pressure to the value of 0.034 MPa, whereas in the places of adherence of apples (central sphere of the bottom of the box), a decreased contact surface determined the increase of pressures to 0.082 MPa. The investigation, which was carried out in the conditions of static loads with three layers of apples, prove that a single box constitutes a good object for storing and transport.

Key words: surface pressures, force, apples, box, layer, bed

Adres do korespondencji:

Piotr Komarnicki: e-mail: piotr.komarnicki@up.wroc.pl

Instytut Inżynierii Rolniczej

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

ul. Chełmońskiego 37/41

51-630 Wrocław