

## BADANIA WRAŻLIWOŚCI JABŁEK NA STŁUCZENIA PRZY OBCIĄŻENIACH O CHARAKTERZE UDAROWYM

*Piotr Komarnicki, Roman Stopa*

*Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań wpływu obciążeń o charakterze udarowym na wrażliwość jabłek na stłuczenia przy zmiennych wartościach wysokości zrzutu i ilości uderzeń. Wyznaczono wartości impulsów sił, pola powierzchni styku oraz nacisków powierzchniowych w funkcji wysokości i ilości stłuczeń. Wykonano dokumentację fotograficzną, która posłużyła do przeprowadzenia komputerowej analizy obrazów w celu wyznaczenia objętości zniszczonej tkanki oraz przedstawienia oceny jakościowej wrażliwości jabłek na stłuczenia. Pomiary przy obciążeniach udarowych przeprowadzono za pomocą aparatury firmy Tekscan na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym, którego działanie oparte było na zasadzie wahadła. Analiza zmian objętości deformacji w funkcji sił chwilowych podczas uderzenia wykazała, że przy wzroście obciążenia z 57 N do 106 N następuje gwałtowny wzrost wartości objętości z 363 do 6233 mm<sup>3</sup>. Analiza nacisków powierzchniowych potwierdziła występowanie maksymalnych wartości dla pierwszych uderzeń jabłek, największą zaś wartość wynoszącą 0,256 MPa uzyskano dla wysokości zrzutu równej 250 mm. Niezależnie od wysokości zrzutu, po dziesięciu uderzeniach naciski powierzchniowe stabilizują się na poziomie 0,160 MPa. Stwierdzono, że badane jabłka wykazują dużą wrażliwość pod wpływem obciążeń o charakterze udarowym. Oszacowano wysokość zrzutu około 30 mm, którą można uznać za wartość niewywołującą odkształceń o charakterze plastycznym.

**Słowa kluczowe:** wrażliwość na stłuczenia, udar, naciski powierzchniowe, objętość deformacji, jabłko

### Wprowadzenie

W Polsce uzyskuje się wysoką jakość jabłek produkowanych w sadach, która często w wyniku nieodpowiedniej dbałości podczas zbioru, transportu owoców do przechowalni nie zostaje zachowana do momentu sprzedaży konsumentowi. 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 (Rabaciewicz, 2003). Jabłka stanowią materiał biologiczny, w którym uszkodzenia mechaniczne, takie jak stłuczenia, zgniecenia są trudne do wy-

eliminowania. Możliwe jest jednak zminimalizowanie strat powstałych w wyniku obić. Wyeliminowanie ich wymaga np. zastosowania pojazdów posiadających dodatkowe elementy tłumiące drgania podczas transportu, użycia większych pojemników oraz wyposażenia ich wewnątrz w materiały izolacyjne (np. pokrycie pianką), mające bezpośredni kontakt z materiałem roślinnym. W zdecydowanej większości przypadków uszkodzenia mechaniczne są efektem obciążeń zmiennych o charakterze udarowym (Gołacki i Rowiński, 2006).

Z uwagi na charakterystyczny kulisty lub owalny kształt produktów rolniczych, znaczący wpływ na rodzaj i wielkość uszkodzenia mają obciążenia kontaktowe, polegające na działaniu siły skupionej na stosunkowo małą powierzchnię. Najczęściej prowadzone są badania doświadczalne z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej zmierzające do określenia zależności zmian pola powierzchni kontaktu jabłka pod wpływem zmiennych sił zewnętrznych (Herold i in., 2001; Stopa i in., 2012).

Lewis i in. (2008) do badania obszarów kontaktowych jabłek i naprężeń pod wpływem obciążeń, które mogą wystąpić m.in. w pojemnikach magazynowych używanych podczas zbiorów, zastosowali technikę ultradźwiękową. Wyniki wykorzystali do określenia progów dopuszczalnych obciążenia, powyżej których dochodzi do uszkodzeń materiału biologicznego. Opracowywane są także różne metody detekcji uszkodzeń mechanicznych jabłek, w tym zobrazowania rentgenowskie, rezonans magnetyczny, analiza promieniowania odbitego w bliskiej podczerwieni (Baranowski i in., 2005). W celu oszacowania obić jabłek Zapp i in. (1989) oraz Sober i in. (1990) wykorzystywali elektroniczne modele owoców, które upuszczali na różne powierzchnie z takiej samej wysokości, wiążąc właściwości udaru z wielkościami obić. W literaturze znany jest sposób określenia energii obicia jabłek poprzez wykorzystanie techniki wielokrotnego zrzucania owoców z ustalonej wysokości i rejestrowania energii pochłoniętej podczas kolejnych odbić (Bajema i Hyde, 1998). Według autorów właściwym wskaźnikiem do badania podatności na uszkodzenia mechaniczne wydaje się być wrażliwość jabłek na obicia. Jej ocenę należałoby oprzeć na podstawie wyznaczonych objętości obitych obszarów, a także wielkości nacisków powierzchniowych, które uzależnione są od wartości sił oddziałujących na niewielką powierzchnię. Metoda ta może pozwolić wyznaczyć wartości dopuszczalne naprężeń, niepowodujące dalszych deformacji tkanek, oraz ocenić stopień odporności na stłuczenia.

## **Cel pracy**

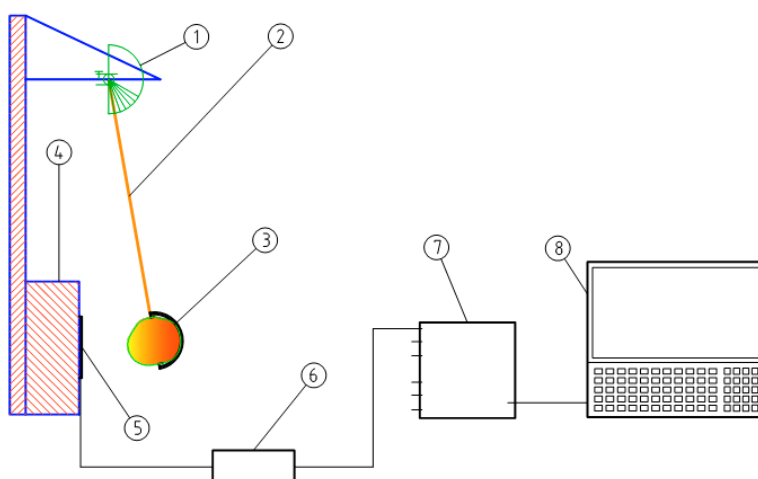
Celem pracy było przedstawienie wpływu obciążeń o charakterze udarowym na wrażliwość jabłek na stłuczenia przy zmiennych wartościach wysokości zrzutu i liczby uderzeń. Realizacja powyższego celu wymagała:

- wyznaczenia wartości impulsów sił, powierzchni kontaktu oraz nacisków powierzchniowych w funkcji wysokości i liczby stłuczeń,
- wykonania zdjęć fotograficznych oraz przeprowadzenia komputerowej analizy obrazów w celu wyznaczenia objętości zniszczonej tkanki,
- przedstawienia oceny jakościowej wrażliwości jabłek na stłuczenia.

## Metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły jabłka odmiany *Lobo* przechowywane w temperaturze 3°C i wysokiej względnej wilgotności powietrza 90-95% przez dwa miesiące od terminu zbioru. Materiał starannie wyselekcjonowano pod względem geometrycznym i masowym. Jabłka pobrane do badań posiadały zbliżone kształty odpowiadające zakresom: wymiarowym (maksymalne średnice zewnętrzne od 80-85 mm), wagowym (masy 190-200 g). Przy pomocy jędrnościomierza ręcznego wyznaczono stopień dojrzałości jabłek, dla których wskaźnik jędrności dla badanych partii mieścił się w zakresie 45-50 N. Badania przeprowadzono

w laboratorium agrofizyki Instytutu Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Pomiary przy obciążeniach udarowych przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym i zbudowanym stanowisku badawczym, którego działanie oparte było na zasadzie wahadła, co przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – kątomierz, 2 – ciężko wahadła, 3 – uchwyt owocu, 4 – nieruchoma płyta zderzaka, 5 – ultra cienki czujnik nacisku, 6 – uchwyt czujnika, 7 – wielokanałowy rozdzielacz sygnału, 8 – komputer PC

Figure 1. Diagram of the measurement stand: 1 – protractor, 2 – pendulum band, 3 – fruit grip, 4 – stationary bumper panel, 5 – ultra-thin sensor of pressure, 6 – sensor grip, 7 – multi-channel signal separator, 8 – PC

Sztywna konstrukcja stanowiska badawczego składała się z ramy, której dolny fragment stanowiła nieruchoma płaska płyta pełniąca funkcję zderzaka. Powyższa konstrukcja pozwalała na redukcję efektu powstawania drgań w chwili uderzenia owocu o zderzak. Element uderzający zbudowano z ramienia wykonanego z włókna węglowego ułożyskowanego w górnej części, natomiast w dolnej części umieszczono uchwyt, w którym utwierdzano owoc. Test obciążenia udarowego jabłek przeprowadzono dla zmiennych wartości

kątów pochylenia początkowego ramienia wahadła  $\alpha$ . Stanowisko wyposażono w kątomierz umocowany na stałe, dzięki któremu regulowano kąt ramienia co  $10^\circ$  w zakresie od  $10^\circ$  do  $60^\circ$ . Zakres kątów wahadła odpowiadał wysokościami zrzutu  $\Delta h_z$  od 8 mm do 250 mm (tabela 1).

Tabela 1

*Parametry wysokości zrzutu przy danym kącie wychylenia wahadła*

Table 1

*Parameters of the drop height at a given angle of pendulum deflection*

$\alpha$ ( $^\circ$ )	10	20	30	40	50	60
$\Delta h_z$ (mm)	8	30	67	109	179	250

Do wyzwalania pomiaru w określonym zakresie wychylenia wahadła zastosowano zasuwę włącznika elektromagnetycznego. Po każdym odbiciu jabłka od nieruchomej płyty ramię zatrzymywano ręcznie, po czym umieszczano ponownie na zasuwie. Pomiary przeprowadzono seriami po 10 uderzeń przypadającymi na jeden owoc, dla poszczególnych kątów ramienia (wysokości uderzenia) i w 5 powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano obróbce statystycznej w arkuszu kalkulacyjnym. Średnia masa uderzająca w płytę zderzaka wynosiła około 500 g, natomiast długość wahadła liczona od osi obrotu do środka uchwytu owocu wynosiła 500 mm.

Na powierzchni zderzaka zamocowano czuły, ultracienki czujnik nacisku High Speed firmy Tekscan, zbudowany z układu równomiernie rozmieszczonych sensorów na powierzchni aktywnej matrycy. Czujnik posiadał powierzchnię o wymiarach 71,1x71,1 mm, grubość 0,2 mm, średnią gęstość sensorów wynoszącą 3,9/cm<sup>2</sup> i zakres pomiarowy nacisku do 8,27 MPa. Transmisja danych do komputera PC odbywała się za pomocą wielokanałowego portu podłączonego bezpośrednio do specjalnego uchwytu, wewnątrz którego umieszczano czujnik nacisku. System wraz z oprogramowaniem I-Scan umożliwiał zbieranie i analizowanie danych z częstotliwością próbkowania dochodzącą do 5 kHz. Dzięki jednoczesnej rejestracji wartości impulsów sił chwilowych oraz pola powierzchni kontaktu owocu z nieruchomą płytą zderzaka możliwe było wyznaczenie nacisków powierzchniowych w chwili uderzenia, wg poniższej zależności (1):

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

gdzie:

$F$  – siła (N),

$A$  – pole powierzchni kontaktu obiektu z czujnikiem (mm<sup>2</sup>).

Po przeprowadzeniu badań udarowych uszkodzone jabłka przechowano w temperaturze pokojowej przez okres 1 doby, po którym dokonano pomiarów objętości zniszczonej tkanki jabłek. Jabłka użyte w doświadczeniu zostały przekrojone na pół przez środek obszarów objętych obiciem. Badania deformacji tkanki owoców przeprowadzono przy pomocy aparatu fotograficznego w temperaturze powietrza 25°C, przy wilgotności względnej 60%, w świetle dziennym. Aparat fotograficzny umieszczano na statywie pionowo nad

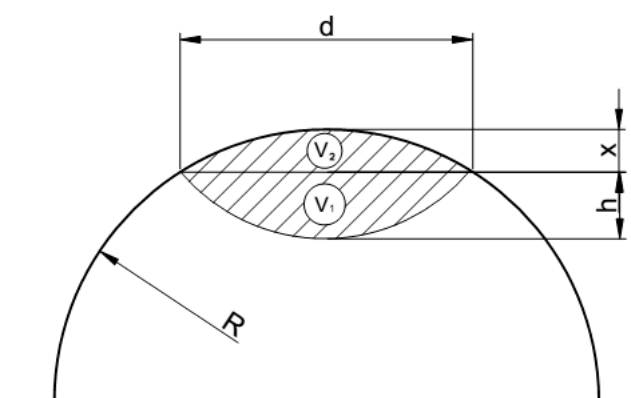
obiektem badań, dzięki czemu zapis zdjęć otrzymywano ze stałej odległości wynoszącej 0,5 m. Dla celów obliczeniowych na każdym obrazie umieszczano liniał na wysokości badanego obiektu. Przeprowadzono komputerową analizę deformacji jabłek, poddając zdjęcia obróbce fotograficznej w oprogramowaniu Inkscape, wykorzystując filtrację kolorów. Uzyskane obrazy importowano do programu AutoCAD, za pomocą którego zwymiarowano rzeczywiste wartości głębokości obszarów obejmujących powierzchnię stłuczoną. Posługując się metodyką opracowaną przez Holta i Schoorl'a (1977) (rys. 2), opisaną także w pracy Bajemy i in. (1998) przedstawiono sposób wyznaczania objętości stłuczenia materiału o kształcie kulistym zgodnie z poniższymi zależnościami (2) i (3):

$$V_1 = \frac{\pi h}{24}(3d^2 + 4h^2) \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{\pi x}{24}(3d^2 + 4x^2) \quad (3)$$

gdzie:

- $V_{1,2}$  – objętość deformacji poniżej, powyżej powierzchni styku,
- $d$  – średnica powierzchni styku,
- $h$  – głębokość stłuczenia poniżej powierzchni styku,
- $x$  – głębokość stłuczenia powyżej powierzchni styku.



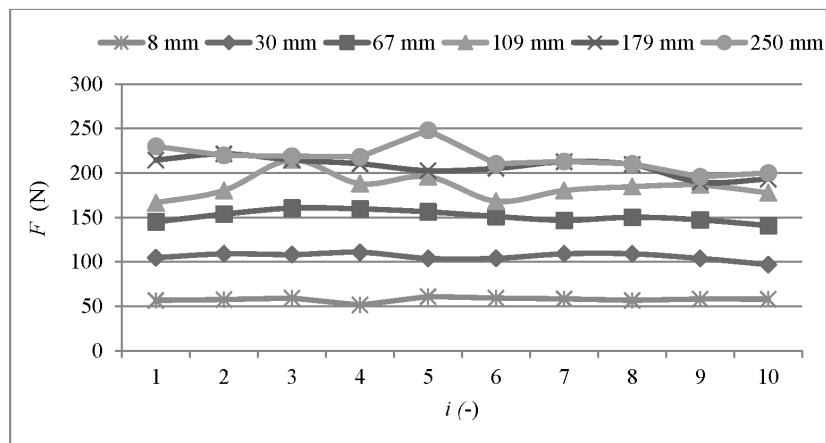
Rysunek 2. Metoda wyznaczania objętości deformacji  
Figure 2. Determination method of the deformation volume

Źródło: (opracowano na podstawie Holt i Schoorl, 1977)

Całkowitą objętość deformacji  $V_{def}$  obliczono jako sumę objętości obicia poniżej oraz powyżej powierzchni styku. Ocenę jakościową wrażliwości jabłek na stłuczenia opisano na podstawie obliczonej objętości deformacji w funkcji wysokości uderzenia oraz siły chwilowej.

## Analiza wyników badań

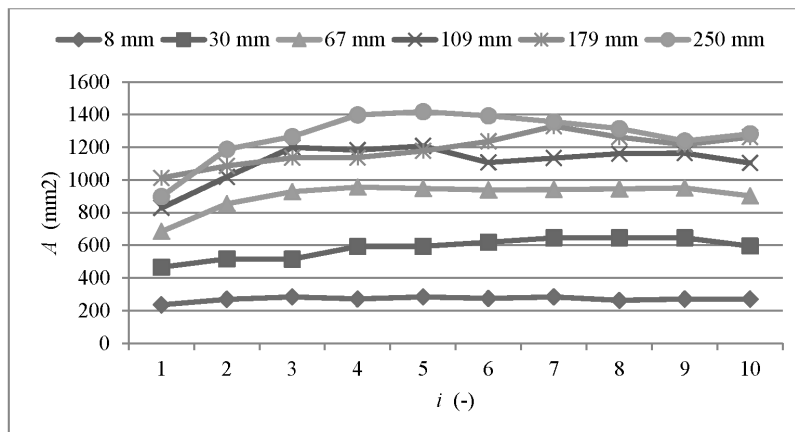
Na rysunku 3 zaprezentowano wyniki testów obciążeń uderowych całych jabłek, dla których analizowano rozkłady wartości średnich sił chwilowych przy badanych wysokościach zrzutu  $\Delta h_z$  w funkcji ilości uderzeń.



Rysunek 3. Rozkłady impulsów wartości średnich sił chwilowych dla wyznaczonych wysokości zrzutu  $\Delta h_z$  w funkcji liczby uderzeń  $i$   
 Figure 3. Distribution of impulses of average temporary forces values for determined drop height  $\Delta h_z$  as the function of impacts number  $i$

Przeprowadzona analiza wykazała wzrost wartości sił podczas zwiększania wychylenia ramienia wahadła (wysokości zrzutu jabłek) średnio od 57,51 N dla  $\Delta h_z=8$  mm do maksymalnie 227,38 N dla  $\Delta h_z=250$  mm. Zbadano wpływ liczby uderzeń na zmiany wartości sił chwilowych dla przyjętych wysokości zrzutu. Jabłka zrzucane z wysokości 8 mm oraz 30 mm przyjmowały praktycznie niezmiennie wartości sił nacisku dla dziesięciu kolejnych uderzeń, równych odpowiednio 57 N oraz 106 N. Utrzymywanie się wartości sił na wyrównanym poziomie należy uzasadnić sprężystymi właściwościami, jakimi charakteryzowała się nieuszkodzona tkanka jabłka, szczególnie dla mniejszych wysokości zrzutu. Przedstawione rozkłady impulsów sił cechowały się zaś rosnącą nierównomiernością wartości dla poszczególnych uderzeń wraz ze wzrostem wysokości zrzutu. Najwyższą stabilność wartości sił chwilowych dla dziesięciu uderzeń uzyskano dla zrzutu owocu z wysokości 8 mm, o czym świadczy obliczona statystycznie wartość wskaźnika zmienności na poziomie 3,8%, natomiast największą nierównomiernością cechował się rozkład dla wysokości zrzutu 109 mm, dla którego wskaźnik zmienności wynosił 7,5%. W związku z powyższym można przypuszczać, że liczba uderzeń jabłka o nieruchomą płytę zderzaka nie ma znaczącego wpływu na zmiany wartości sił chwilowych.

Nieco odmienny charakter przebiegów otrzymano dla wyznaczonej powierzchni kontaktu jabłek podczas dziesięciu kolejnych uderzeń w nieruchomą płaszczyznę zderzaka (rys. 4).

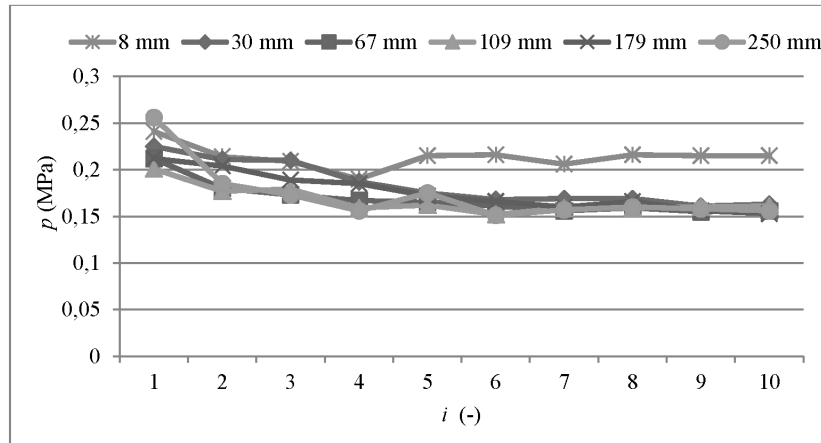


Rysunek 4. Przebiegi wartości powierzchni kontaktu dla wyznaczonych wysokości zrzutu  $\Delta h_z$  w funkcji liczby uderzeń  $i$

Figure 4. Courses of contact surface value for determined drop height  $\Delta h_z$  as the function of impacts number  $i$

W badaniach zaobserwowano podobieństwo zachowania się rozkładów, w których przy pierwszych czterech uderzeniach następował stopniowy wzrost wartości pola powierzchni stłuczenia do wartości maksymalnej, aż do ustabilizowania się wartości na stałym poziomie podczas kolejnych uderzeń. Zjawisko to powtarza się szczególnie dla wysokości zrzutu 67, 109 oraz 250 mm, dla których odnotowano odpowiednio maksymalne wartości powierzchni kontaktu 956, 1198 oraz 1417 mm<sup>2</sup>. Mechanizm stopniowego zwiększania się powierzchni stłuczenia można wytłumaczyć tym, że w momencie pierwszego kontaktu owocu z nieruchomą płytą zderzaka podczas udaru następuje inicjacja fali naprężenia, która rozprzestrzenia się w badanym jabłku, powodując powstawanie deformacji o charakterze plastycznym, aż do jej ustabilizowania się podczas kolejnych uderzeń. W wyniku kilkukrotnego gwałtownego działania siły chwilowej zniszczeniu ulegają coraz to większe obszary powierzchni styku, aż do osiągnięcia maksimum. Dla wysokości zrzutu  $\Delta h_z=8$  mm nie zaobserwowano takiego zachowania materiału (utrzymana była stała wartość powierzchni kontaktu średnio 270 mm<sup>2</sup>), gdyż deformacja miała charakter sprężysty. Dlatego też można sądzić, że wysokość zrzutu około 30 mm można uznać jako wartość dopuszczalną niewywołującą odkształceń o charakterze plastycznym. Powyższa obserwacja zmian wielkości powierzchni kontaktu podczas kilkukrotnych uderzeń pozwoliła na ocenę zachowania materiału świadczącą o występowaniu zniszczeń trwałych, wywołanych zbyt dużą siłą, a tym samym – o wrażliwości owoców na stłuczenia.

Na podstawie wyznaczonych sił chwilowych oraz powierzchni kontaktu obliczono naciski powierzchniowe w formie przebiegów dla badanych wysokości zrzutu w zależności od ilości uderzeń. Zilustrowane na rysunku 5 przebiegi krzywych nacisków powierzchniowych wskazują na podobieństwo ich charakteru.



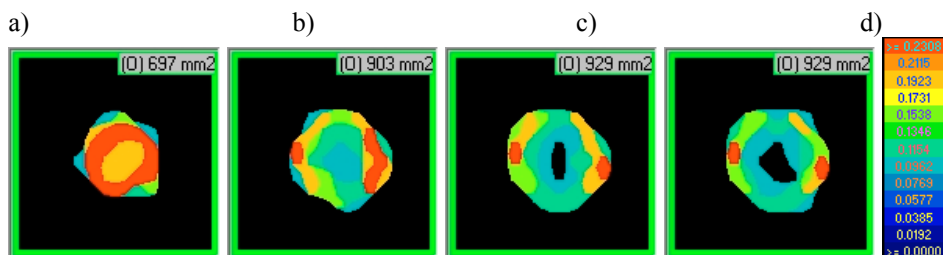
Rysunek 5. Przebiegi nacisków powierzchniowych  $p$  dla wyznaczonych wysokości zrzutu  $\Delta h_z$  w funkcji liczby uderzeń  $i$   
 Figure 5. Courses of surface pressures  $p$  for determined drop height  $\Delta h_z$  as the function of impacts number  $i$

W pierwszych czterech uderzeniach następował spadek wartości nacisków, aż do osiągnięcia ustabilizowanego poziomu. Taki charakter przebiegów można wyjaśnić stopniowym wzrostem pola powierzchni kontaktu przy zachowaniu stałej wartości siły. Kolejne uderzenia stabilizowały już wartość nacisków powierzchniowych, które ze względu na wyrównanie się wielkości powierzchni kontaktu, asymptotycznie zmierzały do wartości na poziomie 0,160 MPa. Należy nadmienić, że pomimo oddziaływania czterokrotnie większej siły

w momencie uderzenia, naciski powierzchniowe nie uległy zmianie w znaczący sposób. Po czwartym uderzeniu następował proporcjonalny wzrost siły nacisku oraz pola powierzchni styku. Badania wykazały, że maksymalne wartości nacisków powierzchniowych odnotowano dla pierwszych uderzeń obiektu o nieruchomą płytę zderzaka, największą zaś wartość uzyskano dla wysokości zrzutu równej 250 mm, która wyniosła 0,256 MPa.

Zmiany szczytowych wartości powierzchni styku zobrazowane na warstwicach nacisków powierzchniowych po pierwszym, czwartym, ósmym i dziesiątym udarze z wysokości 67 mm przedstawiono na rysunku 6. Analiza warstwic dla czterech wybranych wysokości zrzutu wykazała wzrost pola powierzchni kontaktu do ustalonej wartości około 929 mm<sup>2</sup>, natomiast zmniejszeniu uległy wartości nacisków powierzchniowych do wartości około 0,16 MPa. Średnie wartości nacisków dla wszystkich uderzeń na tej wysokości wyniosły 0,166 MPa, co zilustrowano przy pomocy analizy statystycznej w tabeli 2. W fazie pierwszego uderzenia zauważyć można koncentrację nacisków w centralnej strefie styku. Powyższy rozkład nacisków może świadczyć o niewielkich wartościach deformacji plastycznych tkanki jabłek w obszarze największych obciążeń (w środku powierzchni styku) i przewadze deformacji sprężystych, powodujących odbicie jabłka od nieruchomej płyty zderzaka. Komórki jabłka, będące w obszarze styku, będą zatem brać udział w oddawaniu energii sprężystej skupionej w chwili zderzenia.





Rysunek 6. Zmiany maksymalnych wartości powierzchni kontaktu na warstwicach nacisków powierzchniowych po: a) pierwszym uderzeniu przy 0,212 MPa, b) czwartym uderzeniu przy 0,167 MPa, c) ósmym uderzeniu przy 0,159 MPa, d) dziesiątym uderzeniu przy 0,158 MPa; dla trzeciego impulsu – wysokości zrzutu 67 mm

Figure 6. Changes of maximum values of the contact surface on surface pressure contour lines after: a) first impact at 0.212 MPa, b) fourth impact at 0.167 MPa, c) eighth impact at 0.159 MPa, d) tenth impact at 0.158 MPa; for the third impulse – drop height 67 mm

Tabela 2

Wyniki analizy statystycznej wyznaczonych parametrów dla wysokości zrzutu 67 mm

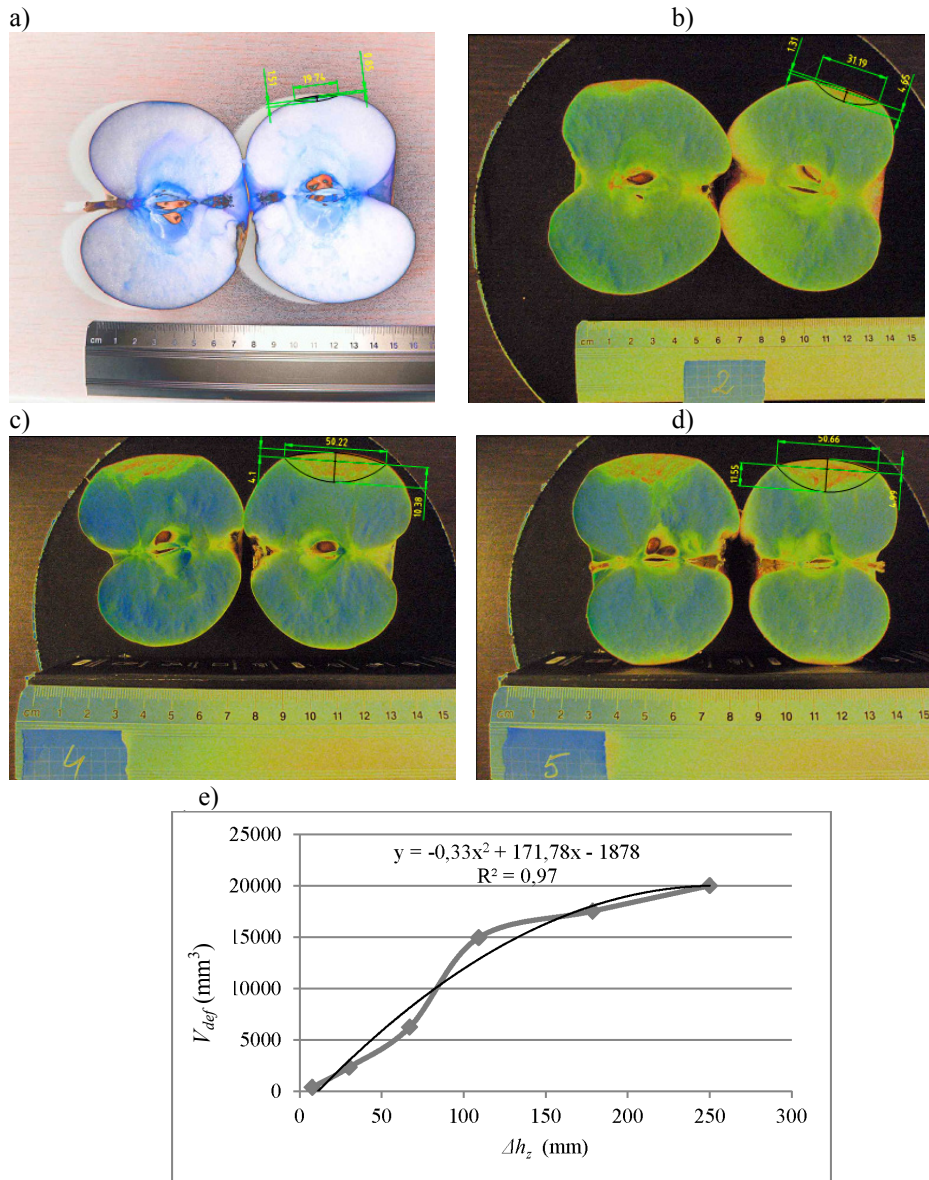
Table 2

Results of the statistical analysis of the determined parameters for the drop height 67 mm

Parametry	Średnia	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Minimum dla poziomu ufności 95%	Maksimum dla poziomu ufności 95%
Siła $F$ (N)	151,761	5,394	0,763	140,773	162,515
Pole kontaktu $A$ (mm <sup>2</sup> )	906,139	77,251	10,925	684,264	956,030
Nacisk $p$ (MPa)	0,166	0,016	0,002	0,155	0,216

Kolejne występujące po sobie udary (czwarty, ósmy oraz dziesiąty) cechuje bardziej nierównomierny rozkład nacisków. Występowaniem maksymalnych stref nacisków objęte zostały obrzeża powierzchni kontaktu, niewypełnionym zaś obszarem była środkowa strefa styku. Świadczy to o zaniku właściwości sprężystych komórek w tych miejscach, które nie brały udziału w przenoszeniu obciążenia, ulegając trwałym odkształceniom. W wyniku sił chwilowych – nagłego wzrostu ciśnienia płynów komórkowych i przy braku swobody ich przemieszczania się w przestrzeniach międzykomórkowych dochodziło do degradacji komórek i deformacji materiału o charakterze plastycznym.

Na rysunkach 7a, b, c, d przedstawiono finalne obrazy stłuczeń jabłek po dziesięciu uderzeniach z wysokości 8, 30, 109 oraz 179 mm. Na podstawie wcześniej omówionej metodyki stanowią one podstawę do wyznaczenia objętości deformacji owoców.



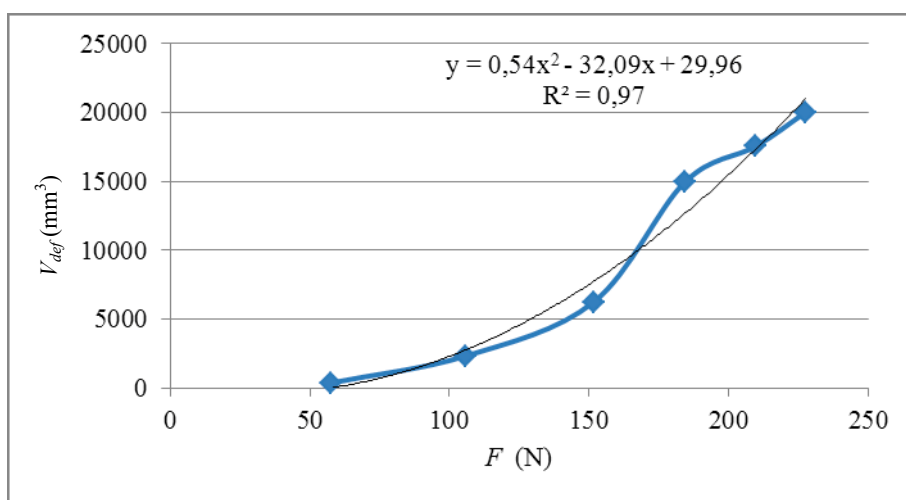
Rysunek 7. Końcowe obrazy stłuczeń jabłek po 10 uderzeniach z wysokości: a) 8 mm, b) 30 mm, c) 109 mm, d) 179 mm; e) przebieg zmian objętości deformacji w zależności od wysokości zrzutu

Figure 7. Final views of apples bruises after 10 impacts from the height: a) 8 mm, b) 30 mm, c) 109 mm, d) 179 mm; e) course of changes of deformation volume in relation to the drop height

Wyniki komputerowej analizy obrazów pozwoliły uzyskać czytelne i kontrastowe obszary objęte obiciem, w których wyodrębniono po dwa odcinki kuli połączone ze sobą płaszczyzną okręgu o określonej średnicy. Przedstawione obrazy na rysunkach 7a oraz 7b wskazują na zwiększanie się deformacji po uderzeniach, które rozpraszają się w stosunkowo niewielkiej objętości podpowierzchniowo, nie wywołując pęknięć w strukturze wewnętrznej materiału.

Udar z wysokości 109 i 179 mm powodował kolejne przyrosty wartości objętości deformacji, które wywoływały już pęknięcia struktury wewnętrznej, widoczne wzdłuż przecięcia owocu (rys. 7d). Przeprowadzona analiza zmian objętości deformacji w funkcji wysokości zrzutu wykazała gwałtowny – ponad sześciokrotny wzrost wartości objętości z 363 mm<sup>3</sup> do 2330 mm<sup>3</sup> od początkowej wysokości udaru równej 8 mm do 30 mm (rys. 7e). Maksymalną wartość zmierzonej objętości zniszczenia uzyskano dla wysokości zrzutu jabłka 250 mm, która wynosiła 20022 mm<sup>3</sup>.

Wykonane badania wykazały, że wraz ze zmianą wysokości zrzutu zmianie ulegają siły chwilowe. Wpływ średnich wartości tych sił na objętości deformacji jabłek przedstawiono na rysunku 8.



Rysunek 8. Przebieg zmian objętości deformacji w zależności od średnich wartości sił chwilowych w miejscu kontaktu

Figure 8. Course of changes of deformation volume in relation to average values of temporary forces at the contact spot

W fazie stopniowego wzrostu obciążenia od wartości 57 N do 106 N zauważono nagły przyrost objętości stłuczenia z poziomu 363 do 6233 mm<sup>3</sup>. Powyższe wyniki świadczą o niewielkiej odporności jabłek na stłuczenia, o której decyduje niska wytrzymałość tkanek miększych. Można stwierdzić zatem, że badane jabłka wykazują dużą wrażliwość pod wpływem obciążeń o charakterze udarowym.

## Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że liczba uderzeń jabłek nie ma znaczącego wpływu na zmiany uzyskiwanych średnich wartości sił chwilowych w miejscu kontaktu.
2. Obserwacja zmian wielkości powierzchni kontaktu podczas kilkukrotnych uderzeń pozwoliła na ocenę zachowania materiału, świadcząca o występowaniu zniszczeń trwałych, wywołanych zbyt dużą siłą, a tym samym – o wrażliwości owoców na stłuczenia. Oszacowano wysokość zrzutu około 30 mm, którą można uznać za wartość dopuszczalną, niewywołującą odkształceń o charakterze plastycznym.
3. Przeprowadzona analiza zmian objętości deformacji w funkcji sił chwilowych w miejscu kontaktu wykazała, że przy wzroście obciążenia z 57 N do 106 N następuje gwałtowny wzrost wartości objętości z 363 mm<sup>3</sup> do 6233 mm<sup>3</sup>.
4. Analiza nacisków powierzchniowych potwierdziła występowanie maksymalnych wartości dla pierwszych uderzeń jabłek, największą zaś wartość wynoszącą 0,256 MPa uzyskano dla wysokości zrzutu równej 250 mm. Niezależnie od wysokości zrzutu, po dziesięciu uderzeniach naciski powierzchniowe stabilizują się na poziomie 0,160 MPa.
5. Przeprowadzone badania świadczą o niewielkiej odporności jabłek na stłuczenia, o której decyduje niska wytrzymałość tkanek miąższu. Można stwierdzić zatem, że badane jabłka wykazują dużą wrażliwość pod wpływem obciążeń o charakterze udarowym.

## Literatura

- Holt, J.E.; Schoorl, D. (1977). Bruising and energy dissipation in apples. *Journal of Textures Studies*, 7, 421-432.
- Bajema, R. W.; Hyde, G. M.; Baritelle, A. L. (1998). Temperature and strain rate effects on the dynamic failure properties of potato tuber tissue. *Transaction of the ASAE*, 41(3), 733-740.
- Bajema, R. W.; Hyde, G. M. (1998). Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. *Transaction of the ASAE*, 41(5), 1399-1405.
- Stopa, R.; Stępień, B., Komarnicki, P., Porczyk, M.(2012). Wpływ wielokrotnego obciążania korzenia marchwi na wartość nacisków powierzchniowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 315-324.
- Gołacki, K.; Rowiński, P. (2006). Dynamiczne metody pomiaru własności mechanicznych owoców i warzyw. *Acta Agrophysica*, vol. 8, 1, 69-82.
- Rabaciewicz, 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>.
- 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.; Canty, 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.
- Baranowski, P.; Lipecki J.; Mazurek, W.; Walczak R. T. (2005). Detekcja uszkodzeń mechanicznych jabłek z wykorzystaniem termografii. *Acta Agrophysica*, vol. 6, 1, 19-29.
- Zapp, H. R.; Ehlert, S. H.; Brown, G. K.; Armstrong, P. R.; Sober, S. S. (1989). Instrumented sphere performance: dynamic measurements and demonstration. *ASAE Paper*, No 89-0008, St Joseph, Michigan.
- Sober, S. S.; Zapp, H. R.; Brown, G. K. (1990). Simulated packing line impacts for apple bruise prediction. *Trans ASAE*, 33, 629-636.

## INVESTIGATION OF APPLES SENSITIVITY TO BRUISING AT IMPACT LOADING

**Abstract.** The paper presents results of research on the influence of impact loading on sensitivity of apples to bruising at variable values of the drop height and the number of impacts. Values of power impulses, contact surface area and surface pressure as the function of height and the number of bruises were determined. Photographic documentation was prepared, which served for carrying out a computer analysis of images in order to determine the volume of the damaged tissue and for presenting the assessment of quality sensitivity of apples to impact. Measurements at impact loading were carried out with the use of Tekscan apparatus on a specially constructed research stand, whose operation was based on the pendulum principle. Analysis of volume changes of deformation as the function of temporary powers during impact proved that at the increase of loading from 57 N to 106 N a violent increase of the volume value from 363 do 6233 mm<sup>3</sup> took place. Analysis of surface pressures confirmed occurrence of maximum values for first impact to apples, whereas the highest value of 2.256 MPa was obtained for the drop height amounting to 250 mm. Independently from the drop height, after ten impacts, surface pressures stabilize at the level 0.160 MPa. It was determined that the investigated apples prove high sensitivity under the influence of impact loading. The drop height was estimated to be 30 mm, which may be recognized as the value, which does not cause plastic deformations.

**Key words:** sensitivity to bruising, impact, surface pressures, deformation volume, apple

**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