

Krzysztof Gołacki, Paweł Rowiński  
Zakład Teorii Maszyn i Automatyki  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## ASPEKTY METODYCZNE WYZNACZANIA WRAŻLIWOŚCI JABŁEK NA OBICIA

### Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę możliwości wykorzystania technik pomiaru progu obicia i energii obicia jako parametrów charakteryzujących odporność na obicia jabłek. Badania doświadczalne przeprowadzono na urządzeniu działającym na zasadzie wahadła. Stwierdzono wysoką czułość obu technik co pozwoliło między innymi na różnicowanie owoców świeżych i po przechowaniu. Przyjęta wysokość zrzutu 50 mm umożliwiła osiągnięcie stabilizacji powierzchni obicia już przy piątym udarze. Proponowane techniki pozwalają także na określenie wartości maksymalnego naprężenia dynamicznego przenoszonego przez tkanki jabłka bez wywoływania dalszych zniszczeń.

**Słowa kluczowe:** obciążenia dynamiczne, próg obicia, energia obicia, jabłko

### Wprowadzenie

Obciążenia dynamiczne produktów rolniczych podczas zbioru, transportu i wstępnych etapów przetwarzania są przyczyną ogromnych strat materialnych producentów i przetwórców. Do strat należy zaliczyć nie tylko ubytki ilościowe masy uszkodzonych produktów lecz także straty jakościowe produktów „lekko uszkodzonych”, które tracą swoją wartość jako towar na rynku konsumenckim lub jako surowiec przemysłowy. Obciążenie dynamiczne to przyczyna zdecydowanej większości uszkodzeń mechanicznych owoców i warzyw. Dla przykładu można przytoczyć fakt, że spadek z wysokości 5 cm powoduje uderzenie z prędkością ok.  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  co z kolei w przypadku owoców i warzyw wywołuje falę ciśnienia w materiale, a zatem obciążenie o charakterze dynamicznym. Przebieg jak i skutki obciążenia dynamicznego różnią się znacznie od przebiegów i skutków obciążenia zadanego w warunkach quasi-statycznych jakie mają miejsce w szeroko stosowanych testach wytrzymałościowych.

W literaturze światowej istnieje ponad dwieście prac dotyczących badań dynamicznych jednakże prace te koncentrują się często na analizie skutków uderzeń. Inna grupa prac bazująca na przebiegach siły i przyspieszenia podczas uderzenia to prace, w których wyznacza się umowne wskaźniki służące do porównywania wytrzymałości na obciążenie badanych owoców i warzyw [Pang i in. 1996; Yen, Wan 2003; Lang 1994; Mathew i in. 1997; Paglia i in. 2004]. Szybki rozwój techniki pomiarowej w ostatnich latach, a w szczególności opracowanie konstrukcji czujników siły o dużej sztywności, małowymiarowych czujników przyspieszenia oraz szybkich kart pomiarowych umożliwia pomiar z dostateczną dokładnością przebiegów sił, przemieszczeń, przyspieszeń oraz monitoring fali ciśnienia rozprzestrzeniającej się w próbce podczas rzeczywistych warunków uderzenia [Baritelle, Hyde 2000; Bajema i in. 1998]. Tych też zagadnień dotyczy niewielka ilość prac, których wyniki są na tyle wiarygodne, że mogą posłużyć do budowy modelu matematycznego ruchu próbki podczas zjawiska uderzenia.

Pomimo czynionych wysiłków brak jest nadal satysfakcjonującego opisu teoretycznego reakcji tkanki roślinnej na obciążenie o charakterze dynamicznym. Brak jest także uniwersalnych metod i technik do oceny wrażliwości produktów rolniczych na obciążenia uderzeniowe. Poznanie mechanizmów i warunków powstawania uszkodzenia w warunkach obciążenia dynamicznego jest zatem niezwykle ważne z punktu widzenia producenta, przetwórcy a także konstruktora maszyn gdyż może się przyczynić do podniesienia efektywności ich pracy, a także obniżyć koszty dla konsumenta. Celem pracy było zaproponowanie i zweryfikowanie metody badawczej do oceny wrażliwości na obciążenie jabłek odmiany Melarosa.

### **Założenia i uwagi metodyczne**

W typowych testach technicznych do badań dynamicznych stosowane są urządzenia wprowadzające próbkę w drgania osiowe lub skrętne co pozwala na wyznaczenie parametrów charakteryzujących zdolność do magazynowania i rozpraszania energii. Metody te sprawdzają się w przypadku niewielkich odkształceń próbek. Dużych odkształceń unika się ze względu na efekty bezwładności. Niewielka ilość badań wykonywana była przy zastosowaniu stałej prędkości odkształcenia lub przemieszczenia i wydaje się, że ten typ badań jest odpowiedni dla materiałów roślinnych gdyż pozwala na lepszą analizę skutków uderzenia. Metoda ta była stosowana przez autorów niniejszego artykułu do wyznaczenia funkcji relaksacji naprężeń ściskających i ścinających dla kilku materiałów roślinnych [Gołacki, Stropek 2001; Gołacki, Stropek 2002]. Jednakże wymienione wyżej testy nie zakładały przebiegu obciążenia identycznego z naturalnym jaki ma miejsce podczas spadku lub uderzenia elementami maszyn.

Obciążenie klasyfikujemy jako dynamiczne gdy jego przyłożenie powoduje rozchodzenie się w materiale naprężenia w postaci fali. Dla porównania praktyczna definicja quasi-statycznych warunków obciążenia mówi, że prędkość elementu odkształcającego musi być na tyle niska aby nie było istotnej różnicy pomiędzy wartościami sił kontaktu na początku i na końcu próbki w tym samym czasie podczas trwania obciążenia. Zgodnie z tą definicją obciążenie dynamiczne wystąpi przy różnych prędkościach progowych w różnych materiałach zależnie od ich gęstości i sztywności.

W przypadku obciążeń dynamicznych mamy do czynienia z dwoma aspektami tych obciążeń o naturze fizycznej i chemicznej. Aspekt fizyczny to mechaniczne zniszczenie tkanek. Aspekt chemiczny to brunatnienie i ciemne plamy będące wynikiem udaru mechanicznego wystarczającego do zmieszania substratu i enzymu. Jeśli tych substancji nie uwolni się wystarczająca ilość nie dojdzie do odbarwienia. Do badań wrażliwości materiałów roślinnych na uszkodzenia potrzebne są obiektywne wskaźniki, których wartości nie będą zależne od zmian fizjologicznych w uszkodzonych tkankach. Na podstawie analizy literatury i dotychczasowych badań własnych do oceny wrażliwości na obicia odpowiednie i obiektywne są wskaźniki bazujące na wytrzymałości materiału. Spośród nich można wyróżnić próg obicia oraz odporność na obicia a także wskaźnik dodatkowy maksymalne ciśnienie dynamiczne przenoszone przez tkanki bez wywoływania dalszych uszkodzeń. Próg obicia to wysokość spadku, przy której pojawia się stłuczenie próbki o określonej masie, kształcie i powierzchni udaru. Odporność na obicie to stosunek energii obicia do objętości obicia czyli energia obicia na jednostkę objętości. Te dwa wskaźniki są konieczne do pełnego określenia wrażliwości na obicia. Technika określania progu obicia polega na wielokrotnym (dwu lub trzykrotnym) zrzucaniu owocu z tej samej wysokości i podwyższaniu tej wysokości aż do uzyskania wyraźnych rozbieżności pomiędzy krzywymi odpowiedzi świadczących o trwałym uszkodzeniu produktu. Metoda ta bazuje całkowicie na wytrzymałości materiału. Technika określania odporności na obicia polega na wielokrotnym zrzucaniu owocu z tej samej wysokości aż do ustabilizowania wysokości odbicia. Metoda ta pozwala także na wyznaczenie maksymalnego ciśnienia przenoszonego przez tkanki bez wywoływania kolejnych uszkodzeń. Zaproponowane techniki wydają się być odpowiednie dla jabłek gdyż owoce te posiadają raczej niski współczynnik Poissona a zatem podczas udaru nie należy spodziewać się ich drgań a raczej zniszczenia tkanek w okolicy powierzchni udaru. Poza tym jabłka ulegają zniszczeniu raczej na skutek działania sił ściskających a nie ścinających w przeciwieństwie np. do korzeni marchwi, w przypadku których, ze względu na współczynnik Poissona bliski 0,5 stosowanie wymienionych wyżej technik byłoby nieodpowiednie.

Badania testowe progu obicia i odporności na obicie przeprowadzono na stanowisku pomiarowym wykonanym w Zakładzie Teorii Maszyn i Automatyki AR w Lublinie. Stanowisko działało na zasadzie wahadła i zapewniało między innymi możliwość regulacji wysokości zrzutu od 2 do 320 mm (prędkość początkowa uderzenia do  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), rejestrację przebiegu siły reakcji próbki podczas udaru oraz pomiar przyspieszenia próbki.

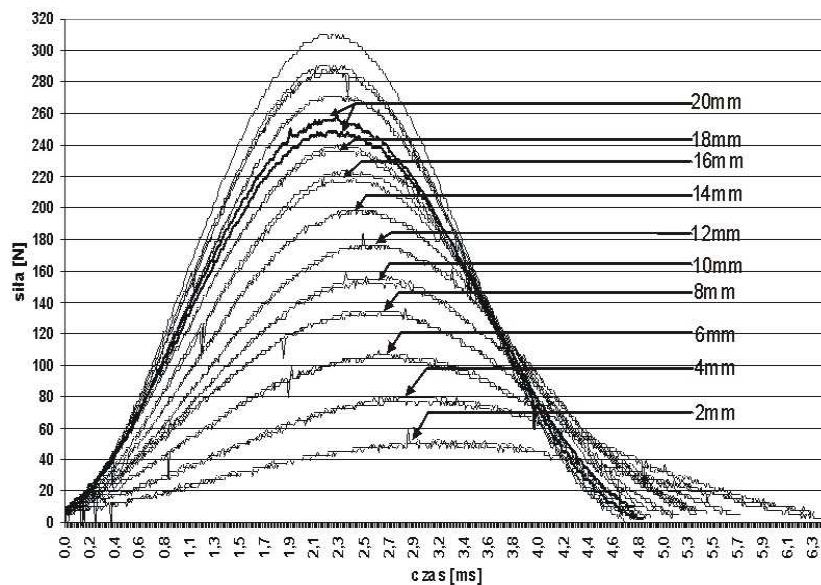
Pomiar siły realizowano za pomocą przymocowanego do kowadła piezoelektrycznego czujnika siły ENDEVCO – model 2311-10 o zakresie  $\pm 2200\text{N}$ . Do pomiaru przyspieszenia użyto piezoelektrycznego czujnika tej samej firmy model 7259A-10. Oba czujniki podłączono do karty pomiarowej przesyłającej dane do komputera. Częstotliwość próbkowania karty na jednym kanale pomiarowym wynosiła do 75kHz (przy dwóch kanałach aktywnych) a maksymalna ilość danych pomiarowych nie mogła przekraczać 128K.

Do wyzwania pomiaru zastosowano bramkę laser – detektor. Oprogramowanie karty umożliwia: kalibrację wejść pomiarowych, testowanie przekaźnika wyzwalającego pomiar, start pomiaru i zapisywanie danych w formacie xls. Badania testowe przeprowadzono na jabłkach odmiany Melarosa o zbliżonej średnicy ok. 8 cm i masie ok. 210 g. Wykonano pomiary progu obicia oraz energii obicia przy kilkakrotnym zrzucaniu owocu z tej samej wysokości. Serie testowe powtarzano podczas trzech tygodni przechowywania jabłek w temperaturze pokojowej.

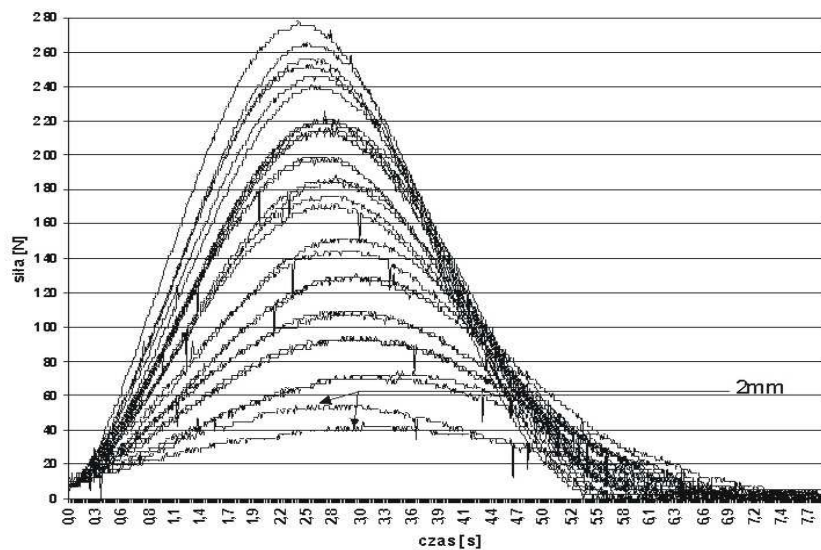
### **Wyniki badań testowych**

Typowe przebiegi siły reakcji jabłek w teście określania progu obicia zaprezentowano na rys. 1. Dla wszystkich zastosowanych wysokości zrzutu (od 2 mm do 26 mm) zarejestrowano po dwie krzywe odpowiedzi. Jak wynika z rysunku do wysokości zrzutu 18 mm nie ma znaczących rozbieżności pomiędzy przebiegami siły reakcji co świadczy o nie wystąpieniu obicia czyli deformacji o charakterze plastycznym. Rozbieżność stwierdzono przy wysokości 20 mm zatem próg obicia dla badanego owocu to wysokość z przedziału 18 mm do 20 mm. Rozbieżności przebiegu krzywych reakcji dla wyższych wysokości nie są istotne z punktu widzenia określania progu obicia.

Przebiegi o podobnym charakterze zarejestrowano dla jabłek po przechowaniu. Przykład przebiegów, na których nie można opierać wnioskowania przedstawia rys. 2. Pomimo prawidłowego mocowania jabłka i wcześniejszego sprawdzenia stanu powierzchni kontaktu z czujnikiem rozbieżność krzywych odpowiedzi wystąpiła już przy 2 mm. Należy przypuszczać, że rozbieżność ta wynika z istnienia mikrouszkodzeń powstałych wcześniej w miejscu przyjętym do udaru podczas wykonywania testu.



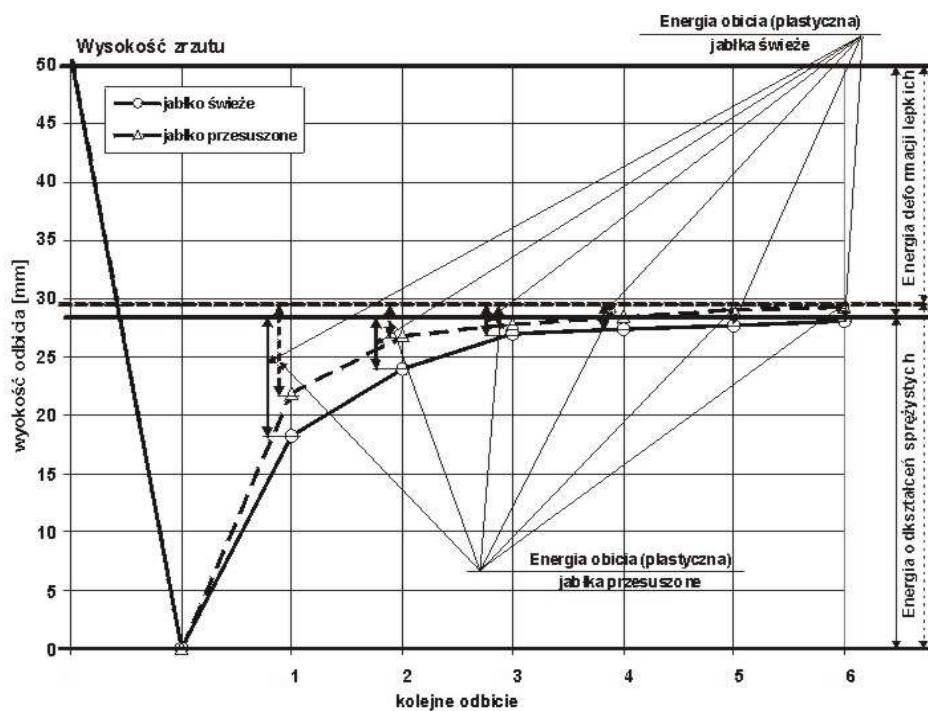
Rys. 1. Technika określania progu obicia dla jabłek świeżych odmiany Melarosa  
Fig. 1. The technique for determining bruise threshold in fresh apples – Melarosa variety



Rys. 2. Krzywe reakcji jabłka wcześniej uszkodzonego.  
Fig. 2. Force - response curves of earlier damaged apple

Analizując rysunki 1 i 2 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem energii uderzenia wartość maksimum siły reakcji osiągnana jest po krótszym czasie. Fakt ten równoznaczny jest ze zjawiskiem skracania się czasu kontaktu jabłka z powierzchnią uderu i świadczy o sprężystym lub lepkosprężystym zachowaniu się badanego materiału.

Równolegle prowadzone były testy mające na celu wyznaczenie energii obicia. Badanie przeprowadzono na 10 jabłkach świeżych i 10 jabłkach po przechowaniu dla wysokości zrzutu 50 mm. Każde jabłko zostało poddane sześciu uderom, a wysokości odbicia rejestrowano kamerą cyfrową. Na podstawie uzyskanych nagrań sporządzono wykresy wysokości odbicia i określono wartości energii obicia. Rys. 3 przedstawia porównanie przebiegów wartości średnich wysokości odbicia dla jabłek świeżych i po 10 dniach przechowywania w temperaturze pokojowej.



Rys. 3. Porównanie przebiegów wysokości odbicia dla jabłka świeżego i jabłka przesuszonego

Fig. 3. Comparison of rebound heights courses for fresh and over dried apple

Otrzymane krzywe umożliwiają podział energii uderzenia na energię odkształceń sprężystych, lepkich i energię (plastyczną) obicia. Na podstawie tej ostatniej można wyznaczyć odporność na obicia. Wysokość pierwszego odbicia była wyższa dla jabłek po przechowaniu. Wysokość odbicia dla jabłek po przechowaniu stabilizowała się po trzecim uderzeniu natomiast w przypadku jabłek świeżych dopiero po piątym.

### **Podsumowanie**

Na podstawie przeglądu literatury i przeprowadzonych badań testowych można stwierdzić, że zaproponowana technika wyznaczania progów obicia może być zastosowana w przypadku jabłek. Jabłka spełniają teoretyczne warunki skutecznego zastosowania omawianej techniki ponieważ charakteryzują się niską wartością odkształceń krytycznych, niską wartością współczynnika Poissona (ok. 0,3) w konsekwencji czego uszkodzenia powstają blisko powierzchni udaru. Można zatem przyjąć, że energia odkształceń plastycznych rozprasza się w niewielkiej objętości pod powierzchnią skórki i nie powoduje drgań lub głębokich pęknięć owocu.

Kolejna technika – wyznaczania energii obicia – również okazała się skuteczna w przypadku jabłek. Przyjęta wysokość zrzutu 50 mm pozwoliła na uzyskanie stabilizacji powierzchni obicia już przy piątym udarze dla jabłek świeżych. Możliwe jest zatem ustalenie asymptoty krzywej wysokości odbicia i wyznaczenie odcinków, których suma długości stanowi wartość składnika energii odkształceń o charakterze plastycznym rys. 3. Obie techniki pozwalają na różnicowanie jabłek świeżych i przechowywanych co świadczy o ich czułości.

### **Bibliografia**

Baritelle A., Hyde G.M. 2000. Strain rate and size effects on pear tissue failure. Transaction of the ASAE, 43(1): 95-98.

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.

Gołacki K., Stropek Z. 2001. Wyznaczenie właściwości lepkosprężystych miąższu jabłek na podstawie testu relaksacji naprężeń. Acta Agrophysica 58:89-96.

Gołacki K., Stropek Z. 2002. Wybrane lepkosprężyste właściwości bulw ziemniaka na podstawie testu relaksacji naprężeń. Inżynieria Rolnicza 2(35), 25-35.

Lang Z. 1994. The influence of Mass and velocity on the maximum allowable impact energy of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57: 213-216.

Mathew R., Hyde G.M. 1997. Potato impact damage threshold. *Transaction of the ASAE*, 40(3): 705-709.

Paglia G., Menesatti P., Solaini S. 2004. Determination of impact bruising susceptibility of new apple cultivars. *Proceedings of CIGR International Conference – Beijing*, 1-8.

Pang D.W., Studman C.J., Banks N.H., Baas P.H. 1996. Rapid assessment of the susceptibility of apples to bruising. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64: 37-47.

Yen M., Wan Y. 2003. Determination of textural indices of guava fruit using discriminate analysis by impact force. *Transaction of the ASAE*, 46(4): 1161-1166

## **METHODICAL ASPECTS OF DETERMINING BRUISE SUSCEPTIBILITY OF APPLES**

### **Summary**

The paper contains a feasibility study for techniques of measuring bruise threshold and bruise energy as the parameters characterizing resistance of apples to bruise. The experiments were made with the aid of a pendulum-based apparatus. High sensitivity of both techniques was found, which made it possible to distinguish between fresh and stored fruits. The 50 mm fall height assumed allowed to achieve stabilisation of bruise surface only at the fifth impact. Proposed techniques allow also to determine the maximum dynamic stress, transferred by an apple tissues without further damage.

**Key words:** dynamic loads, bruise threshold, bruise energy, apple