

## WYZNACZANIE PROGU OBICIA JABŁEK

*Zbigniew Stropek, Krzysztof Gołacki, Paweł Rowiński*

Zakład Teorii Maszyn i Automatyki, Katedra Podstaw Techniki,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin  
e-mail: zbigniew.stropek@up.lublin.pl

**Streszczenie.** W artykule podjęto próbę określenia wrażliwości na obicia jabłek w warunkach obciążeń udarowych na podstawie wskaźnika wytrzymałościowego zwanego progiem obicia. Próg obicia definiowany jest jako wysokość spadku, przy której pojawia się stłuczenie próbki o określonej masie, kształcie i powierzchni udaru. Aby wyznaczyć próg obicia użyto metody dwukrotnego uderzenia dla spadków z wysokości od 4 do 22 mm. Do przeprowadzania badań udarowych zastosowano stanowisko pomiarowe wykorzystujące zasadę działania wahadła przy czym elementem uderzającym w nieruchomy czujnik siły było jabłko. Wyznaczono wartości progu obicia jabłek odmiany Melrose. Określono wpływ czterotygodniowego okresu przechowywania oraz masy jabłek na wartości progu obicia i parametry przebiegu siły reakcji. W wyniku przeprowadzenia pomiarów okazało się, iż wnioskowanie o wartości progu obicia na podstawie rozbieżności przebiegów siły, zmierzonych podczas eksperymentu, nie jest wystarczające. Zaproponowano korektę założeń metodycznych polegającą na uzupełnieniu metody wyznaczania progu obicia o analizę symetrii krzywych siły reakcji w czasie.

Słowa kluczowe: próg obicia, jabłko, udar, wrażliwość na obicia

### WSTĘP

Zmechanizowanie procesów produkcji roślinnej przyspieszyło i zwiększyło ilość wytworzonej żywności. Spowodowało to jednocześnie wzrost liczby produktów uszkodzonych w tych procesach. W przypadku jabłek wyprodukowanych w Polsce straty wywołane uszkodzeniami mechanicznymi szacuje się na poziomie 15% ich masy. Dodatkowo do tego należy doliczyć 5% straty masy jabłek występujących podczas zbioru i wstępnych etapów przetwarzania oraz około 5% strat podczas przeładunku i przekazania do obrotu handlowego (Rybczyński 2007).

Stąd też potrzeba badania i opisu przebiegów oraz skutków trwałego odkształcenia miąższu (tkanki) jabłek w warunkach udaru. Poznanie mechanizmów powstawania uszkodzeń w warunkach obciążeń dynamicznych pozwoli na lepsze wnioskowanie w zakresie minimalizacji strat i podwyższenia jakości produktów.

Do badań podatności materiałów roślinnych na uszkodzenia najbardziej odpowiednie są wskaźniki zależne nie tylko od zmian fizjologicznych w uszkodzonych tkankach (Knee i Miller 2002) lub kształtu krzywej przebiegu uderzenia (Lichtensteiger i in. 1988), ale przede wszystkim określane na podstawie wytrzymałości materiału (Bajema i Hyde 1998, Mathew i Hyde 1997). Jednym z tych wskaźników jest próg obicia definiowany jako wysokość spadku, przy której pojawia się stłuczenie próbki o określonej masie, kształcie i powierzchni udaru. Aby wyznaczyć próg obicia użyto metody wielokrotnego zrzutu jabłek z systematycznie zwiększanej wysokości. Polega ona na dwukrotnym zrzucaniu badanego owocu z danej wysokości i zwiększaniu jej o założoną wartość aż do uzyskania maksymalnej wysokości zrzutu, która w tym przypadku wynosiła 22 mm. Jej wartość ustalono na podstawie badań wstępnych oraz analizy procesów technologicznych. W wyniku badań wstępnych stwierdzono, że ponad 95% jabłek osiągnęło próg obicia poniżej 22 mm. Natomiast analiza procesów technologicznych wykazała, że jabłka najczęściej narażone są na spadki z wysokości poniżej dwudziestu kilku milimetrów (Dobrzański i in. 2006).

Podczas każdego zrzutu rejestrowano przebieg siły reakcji w czasie. Dla następujących po sobie zrzutów z tej samej wysokości nie powodujących jeszcze zniszczenia tkanki jabłka rejestrowane przebiegi siły reakcji będą się na siebie nakładały. Natomiast jako próg obicia należy przyjąć wartość wysokości spadku, przy której pojawiają się znaczne rozbieżności między kolejnymi przebiegami krzywych siły reakcji rejestrowanych podczas kolejnych zrzutów.

Celem pracy była walidacja założeń metodycznych oraz wyznaczenie wpływu kilku wybranych czynników na przebieg siły reakcji próbki i wartości progu obicia. W wyniku przeprowadzonych pomiarów okazało się, iż wnioskowanie o progu obicia na podstawie rozbieżności przebiegów siły, zmierzonych podczas eksperymentu, nie jest wystarczające. Związane jest to z niejednorodnością badanych jabłek. W związku z tym zaproponowano korektę założeń metodycznych polegającą na uzupełnieniu metody wyznaczania progu obicia o analizę symetrii krzywych siły reakcji w czasie.

#### MATERIAŁ BADAWCZY I STANOWISKO POMIAROWE

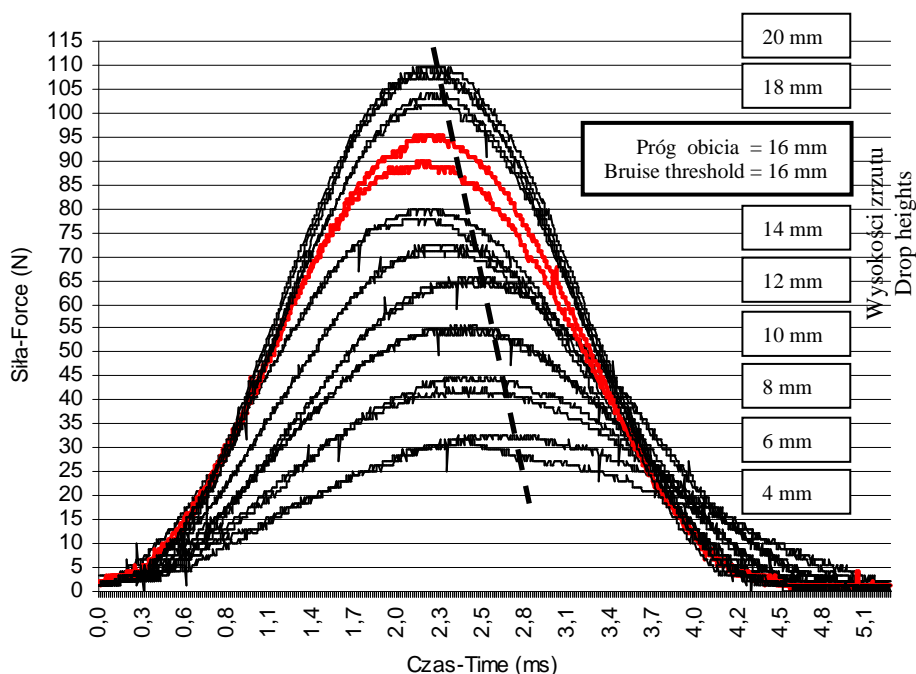
Badania przeprowadzono w 2006 roku na jabłkach odmiany Melrose. Łącznie testowano 50 jabłek. Serie pomiarowe wykonywane były co 7 dni po 10 jabłek przez okres 28 dni licząc od daty zbioru. Jabłka bezpośrednio po zbiorze umiesz-

czono w pomieszczeniu w celu stabilizacji ich temperatury, a następnie po 12 godzinach przechowywania rozpoczęto pomiary. Przed właściwym testem udarowym wykonywano pomiary masy i maksymalnej średnicy owocu.

W stanowisku pomiarowym do przeprowadzania badań udarowych wykorzystano zasadę działania wahadła przy czym elementem uderzającym było jabłko. Wahadło składało się z pary podtrzymujących żyłek o długości 1 m i urządzenia mocującego owoc do wahadła w postaci plastikowej płytki i dwóch trzpieni, które były wbijane w jabłko. Czujnik siły wkręcony był w tuleję przesuwną, która następnie za pomocą połączenia zaciskowego tworzyła jedną całość z grubą stalową płytą na stałe przytwierdzoną do betonowej ściany. Dodatkowo do czujnika siły wkręcono tytanowy talerzyk o niewielkiej masie i o średnicy odpowiadającej polu obicia owocu. Tuleja przesuwna oraz połączenie zaciskowe umożliwiało takie ustawienie owocu względem talerzyka aby położenie wahadła z przytwierdzonym jabłkiem w chwili uderzenia miało położenie pionowe, tym samym uzyskiwano prostopadły kierunek siły uderzenia do powierzchni uderzenia. Stanowisko było także wyposażone w śruby regulacyjne, które pozwalały na takie ustawienie belki będącej osią obrotu wahadła, aby zapewnić, żeby wypadkowa siła uderzenia przechodziła przez środek masy owocu, co skutkowało tym, że spełnione były warunki zderzenia centralnego w osi czujnika. Jabłko umieszczone na żądanej wysokości zrzutu i utrzymywane za pomocą pompy ssącej było następnie zwalniane poprzez jej wyłączenie. Wysokość zrzutu była określana za pomocą skali z naniesionymi wielkościami odpowiadającymi określonym wartościom swobodnego spadku. Do precyzyjnego określenia momentu rozpoczęcia pomiaru zastosowano bramkę laser-detektor. Pomiar siły podczas uderzenia realizowano za pomocą piezoelektrycznego czujnika siły, model 2311-10 o czułości  $2,27 \text{ mV} \cdot \text{N}^{-1}$  i zakresie pomiarowym  $\pm 2200 \text{ N}$  (Informacja techniczna 1999). Działanie czujnika polega na pomiarze ładunku elektrycznego, wytwarzanego przez odkształcane elementy piezoelektryczne. Czujnik ma konstrukcję monolityczną i jest wyposażony w wewnętrzne obwody elektroniczne, zamieniające ładunek elektryczny piezoelementu na sygnał napięciowy. Z czujnikiem współpracował rejestrator mikroprocesorowy, który przesyłał dane do komputera. Częstotliwość próbkowania rejestratora mikroprocesorowego wynosiła 153,6 kHz.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Przykładowe przebiegi siły reakcji w czasie przedstawiono na rysunku 1. W większości przypadków możliwe było określanie progu obicia na podstawie rozbieżności krzywych siły reakcji. Najniżej położone, nienakładające się krzywe świadczą o występowaniu uszkodzeń o charakterze trwałym (progu obicia). Przykładowa wysokość krytyczna była równa 16 mm.



**Rys. 1.** Typowe przebiegi siły reakcji podczas uderzenia dla jabłek odmiany Melrose  
**Fig. 1.** Typical reaction force courses during the impact for Melrose variety apples

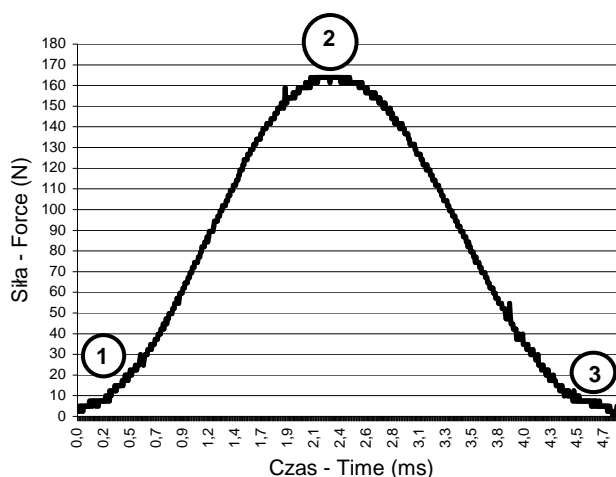
Zaznaczona na wykresie linia kreskowa pokazuje przesunięcie maksymalnej wartości siły dla poszczególnych krzywych reakcji w kierunku krótszych czasów. Pochylenie tej linii wynika ze wzrostu prędkości początkowej dla poszczególnych wysokości zrzutu. Im wyższa wysokość zrzutu tym wyższa prędkość początkowa jabłek i krótszy czas trwania impulsu siły. Dlatego jabłko zrzucane z wyższej wysokości osiąga szybciej maksimum siły.

W przypadku braku znacznej rozbieżności krzywych, próg obicia wyznaczano na podstawie asymetrii przebiegów siły reakcji.

Bez względu na wysokość zrzutu dla każdej krzywej można określić trzy charakterystyczne punkty (rys. 2):

1. moment kontaktu jabłka z czujnikiem, w którym wartość siły zaczyna narastać,
2. moment, w którym siła osiąga wartość maksymalną, a następnie zaczyna maleć,
3. moment, w którym jabłko odrywa się od czujnika, a wartość siły równa się 0.

W związku z powyższym, fragment krzywej siły reakcji między punktem 1 a 2 to część narastająca a między 2 a 3 to część opadająca.

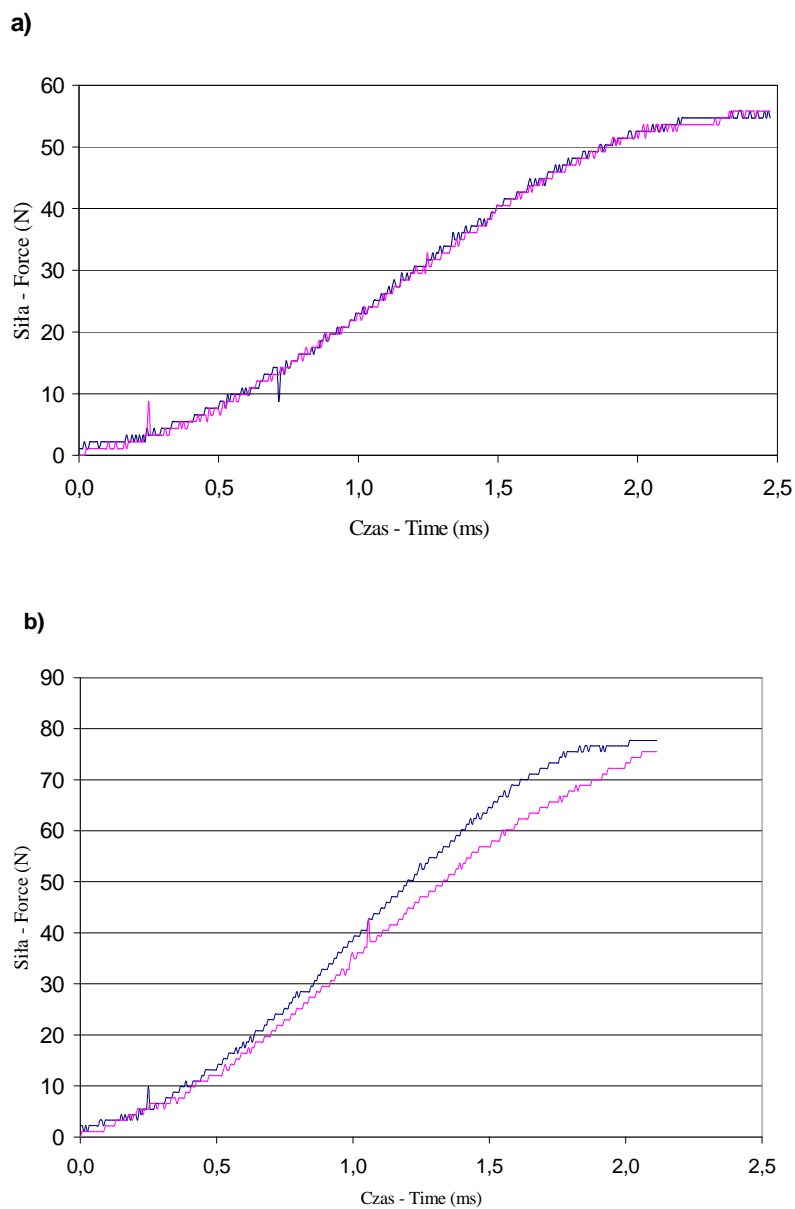


**Rys. 2.** Typowy kształt przebiegu siły reakcji w czasie, zarejestrowany podczas uderu o płaską sztywną powierzchnię

**Fig. 2.** Typical shape of reaction force course in time recorded during impact against rigid, flat surface

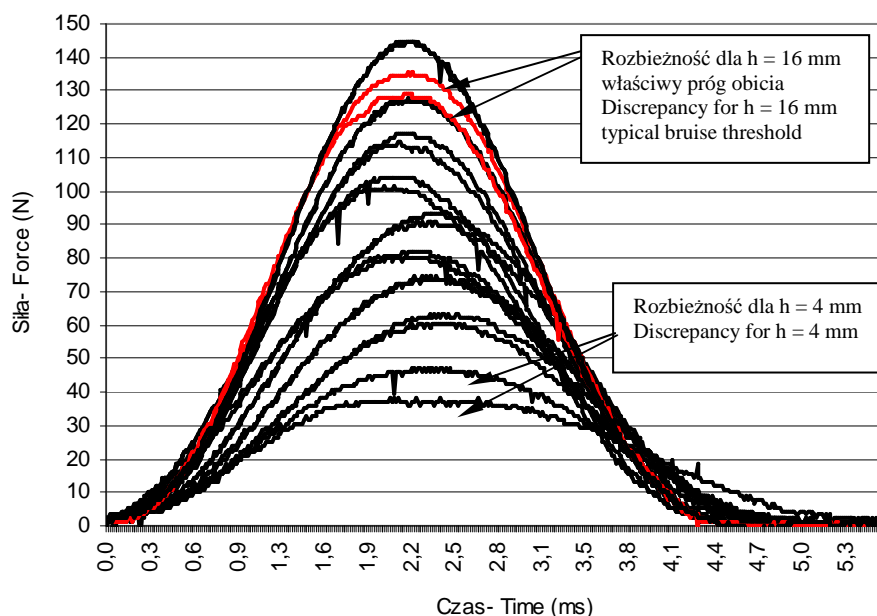
Przebiegi, w których część narastająca krzywej siły reakcji nakładała się z częścią opadającą traktowano jako symetryczne (rys. 3a) w innym wypadku jako asymetryczne (rys. 3b). Symetria i asymetria przebiegów jest związana z charakterem deformacji. Przebiegi symetryczne świadczą o występowaniu odkształceń sprężystych przed osiągnięciem progu obicia czyli przed wysokością zrzutu, przy której napężenie osiąga wartość krytyczną. W momencie przekroczenia progu obicia zniszczona tkanka jabłka ulega dalszym odkształceniom plastycznym w fazie narastania siły czego konsekwencją są niższe asymetryczne przebiegi drugiej części krzywej siły reakcji.

Przy szacowaniu wartości progu obicia należy zwrócić również uwagę na przebiegi siły uzyskane dla początkowych wysokości zrzutu. Zauważono, że w przypadku niektórych jabłek przy niskich wysokościach zrzutu (4, 6 mm) występują znaczne rozbieżności krzywych odpowiedzi. Przyjęto, że jeżeli dla wysokości zrzutu 4 lub 6 mm występują znaczne rozbieżności krzywych siły reakcji należy określać próg obicia na podstawie wyższych poziomów wartości siły oraz poprzez analizę symetrii krzywych odpowiedzi. Taki sposób wyznaczania progu obicia zastosowano w przypadku przebiegu krzywych jak na rysunku 4. Należy przyjąć, że rozbieżności krzywych przebiegu siły reakcji wynikają albo z braku sferyczności jabłek, albo z nieregularności lokalnej, lub z faktu uderu w biologicznie słaby punkt jabłka. W tym przypadku konieczne jest uzyskanie wyższego poziomu wartości siły w celu wywołania niszczących naprężeń w obrębie pola kontaktu.



**Rys. 3.** Przykłady lustrzanego odbicia fragmentu opadania krzywej oraz nałożenia na fragment narastania, poniżej progu obicia (symetryczne), powyżej progu obicia (asymetryczne)

**Fig. 3.** Examples of mirror reflection of curve falling fragment and imposition on increasing fragment, below the bruise threshold (symmetrical), above the bruise threshold (asymmetrical)



**Rys. 4.** Przykład wyznaczania progu obicia dla jabłka, w przypadku gdy zarejestrowano rozbieżność krzywych siły reakcji przy zrzucie z 4 lub 6 mm

**Fig 4.** Example of bruise threshold determination for apple when variance of the reaction force curves was recorded at the drop from 4 or 6 mm.

Wyznaczono także średnie maksymalnej wartości siły reakcji i czas jej osiągnięcia dla poszczególnych wartości progu obicia w kolejnych tygodniach badań (rys. 5).

Strzałka skierowana górną w górę dla piątego tygodnia badań (rys. 5, 6) informuje o tym, że ponad 70% jabłek osiągało próg obicia powyżej przyjętego zakresu pomiarowego.

Zgodnie z przewidywaniem, średnia wartość siły w kolejnych tygodniach malała. Tkanka jabłek w miarę upływu czasu staje się bardziej wysuszona, i tym samym bardziej podatna na odkształcenia. Świadczy o tym również czas trwania udaru, który wydłużał się z każdym tygodniem przechowywania (rys. 6). Z każdym tygodniem przechowywania jabłka stawały się bardziej miękkie i miały coraz mniej napiętą skórę, a to sprawiało, że tkanka była mniej sprężysta.

Dodatkowo czas trwania udaru może być parametrem służącym do określania czy przebieg siły jest symetryczny czy też nie. Posługując się całkowitym czasem trwania impulsu  $t_i$  i czasem osiągnięcia maksymalnej wartości siły  $t_{Fmax}$  można przyjąć, że:

- przebieg jest symetryczny gdy:

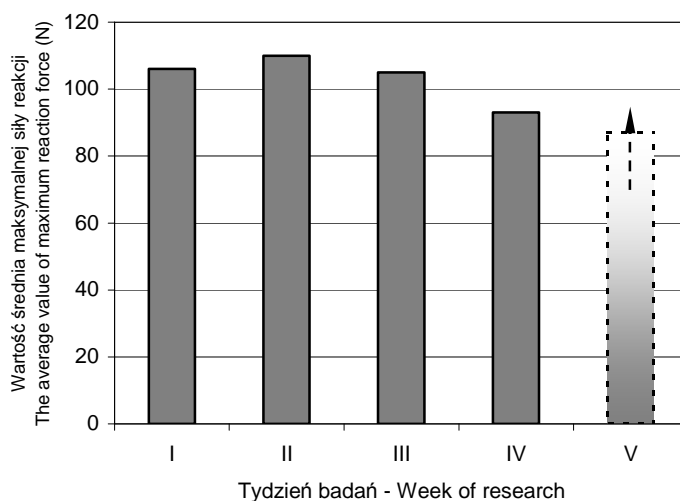
$$t_{F_{max}} = t_{ti}/2, \quad (1)$$

- przebieg jest asymetryczny gdy:

$$t_{F_{max}} \neq t_{ti}/2. \quad (2)$$

Z rysunku 5 wynika, że średnia wartość siły w drugim tygodniu badań jest większa niż w pierwszym. Przyczyną tego są różnice w średniej wartości masy jabłek. W drugim tygodniu badań była ona wyższa niż w pierwszym. Natomiast średni czas osiągnięcia siły (rys. 6) pozostaje dla pierwszego i drugiego tygodnia na tym samym poziomie. Na tej podstawie można stwierdzić, że średni czas osiągnięcia maksymalnej wartości siły ( $t_{F_{max}}$ ) dla średnich wartości progu obicia może być również ważnym parametrem charakteryzującym jabłko podczas przechowywania.

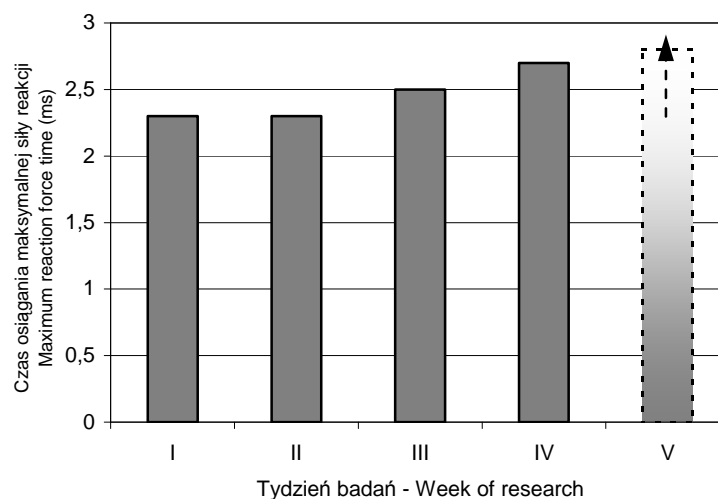
Z danych przedstawionych na rysunku 5 wynika że, dla jabłek odmiany Melrose próg obicia znajduje się w przedziale maksymalnych wartości siły reakcji od ok. 90 N do 110 N. W zakresie tym szukano znacznych rozbieżności krzywych przebiegów siły reakcji uzyskiwanych dla poszczególnych wysokości zrzutu. Już wstępna analiza potwierdziła wpływ masy na wysokość zrzutu, przy której występuje próg obicia (rys. 7).



**Rys. 5.** Średnie wartości maksymalnej siły reakcji dla poszczególnych wartości progu obicia w kolejnych tygodniach badań

**Fig. 5.** Average values of maximum reaction force for separate bruise threshold values in the successive weeks of the research





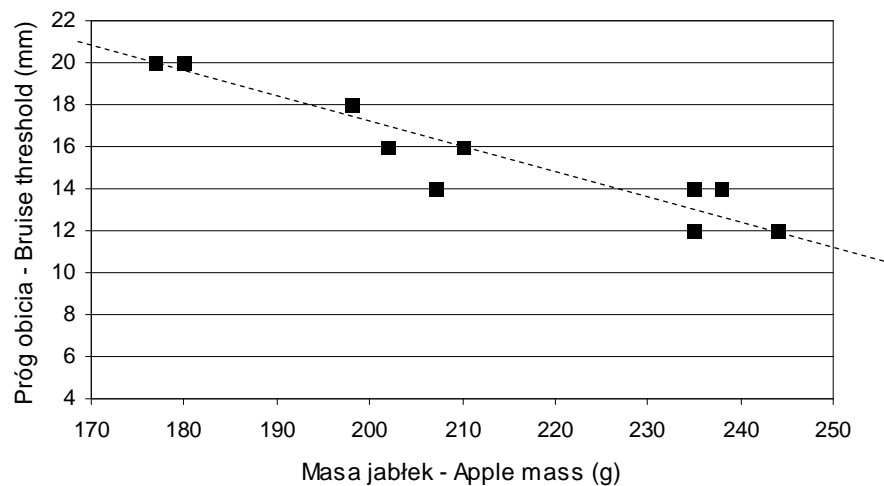
**Rys. 6.** Średnie wartości czasu osiągnięcia maksymalnej wartości siły reakcji dla poszczególnych wartości progu obicia w kolejnych tygodniach badań

**Fig. 6.** Average values of maximum reaction force time for separate bruise threshold values in the successive weeks of the research

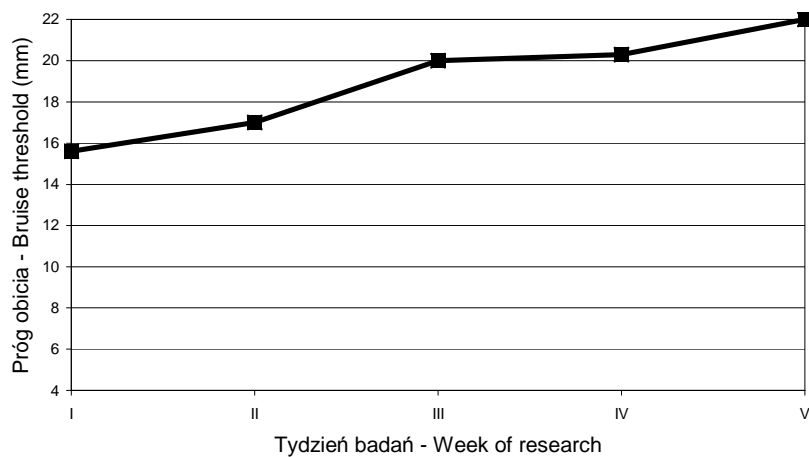
Na rysunku 7 widać zróżnicowanie wartości progu obicia w funkcji masy. Najwyższą wartość progu osiągają jabłka o najmniejszej masie poniżej 180 g. Dla tych jabłek wysokość zrzutu, przy której rejestrowano znaczne rozbieżności krzywych przebiegu siły w czasie przy założonym poziomie siły, to  $\geq 20$  mm. Jabłka o masie z zakresu 190 g do 230 g osiągały próg obicia na poziomie 14-18 mm. Najniższą wartość progu obicia zawierającą się w zakresie między 12 mm a 14 mm zarejestrowano dla jabłek o najwyższej masie  $>230$  g. Potwierdziła to także analiza symetrii przebiegów siły poniżej jak i powyżej progu obicia. Zróżnicowanie wartości progu obicia względem masy jabłek wynika z faktu, iż osiągnięcie przez jabłko o mniejszej masie zakładanego poziomu wartości siły, przy założeniu zbliżonej wartości maksymalnego pola kontaktu, wymaga uniesienia go na wyższą wysokość zrzutu niż jabłka o większej masie.

Rysunek 8 przedstawia średnie wartości progu obicia w poszczególnych tygodniach okresu przechowywania (shelflife). W kolejnych tygodniach masa ma coraz mniejszy wpływ na próg obicia. Od czwartego tygodnia próg obicia wychodzi poza zakres przyjętej w eksperymencie maksymalnej wysokości zrzutu – 22 mm, czyli z punktu widzenia procesów technologicznych, podczas których

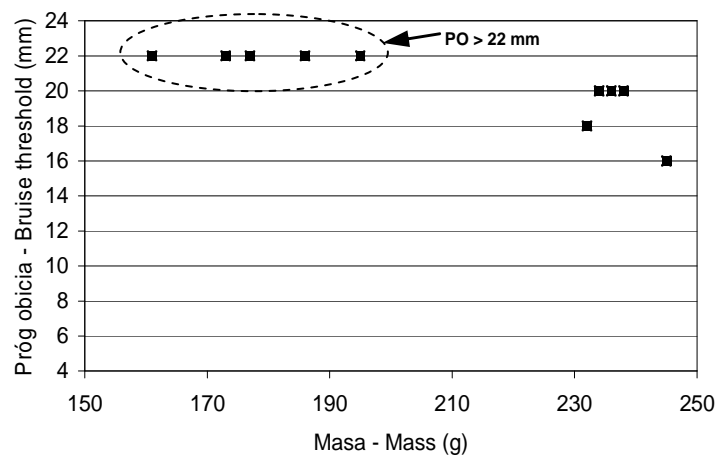
najwięcej jabłek ulega zniszczeniu w wyniku spadku z o wiele niższych wysokości, przestaje być istotny (rys. 9).



**Rys. 7.** Zależność pomiędzy wartością progu obicia a masą jabłek w I-szym tygodniu badań  
**Fig. 7.** Relationship between bruise threshold value and apple mass in the first week of the research



**Rys. 8.** Średnie wartości progu obicia w poszczególnych tygodniach  
**Fig. 8.** Average bruise threshold values in particular weeks



**Rys. 9.** Wartość progu obicia jabłek o różnych masach w IV-tym tygodniu badań

**Fig. 9.** Bruise threshold values in relation to the mass for apple in the fourth week of the research

#### WNIOSKI

1. Stwierdzono wzrost średniej wartości progu obicia w okresie czterotygodniowego wtórnego przechowywania (shelflife).
2. Uwzględnienie asymetrii przebiegu siły reakcji podczas uderzenia okazało się przydatne przy określaniu właściwej wartości progu obicia.
3. Próg obicia powinien być określany powyżej pewnego poziomu energii uderzenia zależnego nie tylko od masy i prędkości, ale również od promienia krzywizny jabłka.

#### PIŚMIENICTWO

- Bajema R.W., Hyde G. M., 1998. Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. *Transactions of the ASAE*, 41(3), 1399-1405.
- Dobrzański B. jr., Rabcewicz J., Rybczyński R., 2006. *Handling of Apple*. B. Dobrzański Institute of Agrophysics Polish Academy of Science.
- Informacja techniczna: "ISOTRON Force Sensor – ENDEVCO model 2311-10". 1999.
- Knee M., Miller A. R., 2002. Mechanical injury. Knee M. (Ed.), *Fruit Quality and its Biological basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield, 157-179.
- Lichtensteiger M. J., Holmes R. G., Hamdy M. Y., Blaisdel J. L., 1988. Impact parameters of spherical viscoelastic objects and tomatoes. *Transactions of the ASAE*, 31(2), 733-740.
- Mathew R., Hyde G. M., 1997. Potato impact damage thresholds. *Transactions of the ASAE*, 40(3), 705-709.
- Rybczyński R., 2007. Jędrność jabłek w warunkach obrotu handlowego. *Acta Agrophysica*, 152, 10(2), 437-444.

## DETERMINATION OF THE BRUISE THRESHOLD OF APPLES

*Zbigniew Stropek, Krzysztof Gołacki, Paweł Rowiński*

Department of Machine Theory and Automatics, University of Life Sciences in Lublin  
ul. Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin  
e-mail: zbigniew.stropek@up.lublin.pl

**Abstract.** In the study the bruise susceptibility of apples in impact loading condition on the basis of strength index called bruise threshold was determined. The bruise threshold is defined as a drop height at which bruise of a sample at a specific mass, shape and impact surface appears. To establish the bruise threshold twofold impact was applied for drops at height range from 4 to 22 mm. To carry out the impact research, a pendulum device was used, in which an apple was an impactor which struck at a rigid force sensor. The bruise threshold values were determined for apples of Melrose variety. The influence of four-week storage time and apple mass was established on the bruise threshold values and the parameters of reaction force course. As a result of the measurements carried out, it turned out that concluding the bruise threshold value on the basis of variance of the force courses measured during the experiments is not sufficient. A correction was suggested for the methodical assumptions, consisting in bruise threshold method complementing the analysis of reaction force in time.

**Keywords:** bruise threshold, apple, impact, bruise susceptibility