

## OCENA ZMIAN JĘDRNOŚCI JABŁEK W CZASIE PRZECHOWYWANIA

*Tomasz Hebda, Andrzej Złobacki*

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
ul. Balicka 120, 30-149 Kraków  
e-mail: Tomasz.Hebda@ur.krakow.pl

**Streszczenie.** W pracy dokonano oceny zmian jędrności jabłek podczas przechowywania w różnych warunkach. Jabłka przechowywano w chłodni oraz w piwnicy. Badanie jędrności jabłek przeprowadzono przy pomocy maszyny wytrzymałościowej MTS sprzężonej z komputerem. Test polegał na pomiarze siły i deformacji w zakresie odkształceń niszczących. Dodatkowo badano twardość skórki w próbie przebicia. Analizę wyników przeprowadzono, wykonując wieloczynnikową analizę wariancji dla danych uzyskanych z testu ściskania oraz pomiaru jędrności. Zmiennymi niezależnymi były: miejsce przechowywania, kształt próbki i okres przechowywania. Przeprowadzono testy Duncana i wyodrębniono grupy homogeniczne. Podjęto próbę opisaną zmian jędrności badanych owoców od okresu przechowywania i wyodrębniono krzywą teoretyczną o najlepszym stopniu dopasowania do rzeczywistych wyników. Określono wartości sił maksymalnych w testach ściskania oraz przebicia skórki jabłka. Stwierdzono, że w przypadku owoców przechowywanych w chłodni przełomowym miesiącem był grudzień, kiedy zaobserwowano spowolnienie utraty jędrności, która w ciągu dwóch pierwszych miesięcy przechowywania znacznie spadała oraz, że największe zmiany jędrności skórki jabłek zanotowano dla prób przechowywanych w piwnicy.

**Słowa kluczowe:** przechowywanie owoców, jędrność jabłek, odkształcenia niszczące

### WSTĘP

Podstawowym warunkiem do uzyskania dobrego produktu po okresie przechowywania jest jego jakość w momencie zbioru i trwałość przechowalnicza. Zasadniczy wpływ na to mają przede wszystkim czynniki klimatyczne, właściwości drzewa, nawożenie i system uprawy, stosowanie pestycydów i regulatorów wzrostu, termin zbioru oraz uszkodzenia mechaniczne (Bohdziewicz 2006, Rybczyński 2007). Dla osiągnięcia tego celu niezbędne jest spełnienie dwóch podstawowych warunków:

1. do przechowywania powinny być brane owoce najwyższej jakości, zbierane w optymalnym stadium dojrzałości zbiorczej,
2. owocom należy zapewnić optymalne warunki przechowywania (Jakubczyk, Uziak 2005).

W literaturze przedstawiono wiele metod badania jakości owoców (Puchalski 2001, Łapczyńska-Kordon, Krzysztofik 2008, Nadulski i inn. 2012) biorąc pod uwagę stopień uszkodzenia próbki. Wyróżnia się badania niszczące i nieniszczące. Wśród tych pierwszych znajdują się m.in. próby na przebicie, próby ściskania oraz próby uderzenia. Badania nieniszczące to przede wszystkim: metody akustyczne, ultradźwięki a także protonowy rezonans magnetyczny.

Celem pracy było określenie wpływu okresu i warunków przechowywania jabłek na ich właściwości fizyczne. Zakres pracy obejmował pomiar maksymalnej siły uzyskanej w teście ściskania próbek w kształcie walca i kostki sześcienniej oraz przebicia skórki przechowywanych jabłek.

#### MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Owoce do badań pochodziły od bezpośredniego producenta jabłek odmian deserowych, którego sady znajdują się w miejscowości Dębowiec, w woj. podkarpackim. Jabłka zostały pobrane do badań podczas zbioru owoców w pierwszej połowie października. Badania wykonano na jabłkach odmiany Gloster, przechowywanych w piwnicy i chłodni, w drewnianych skrzynkach. Były one przeprowadzone bezpośrednio po zbiorze i w okresie czteromiesięcznego przechowywania (od października 2012 r. do lutego 2013 r.), w cyklu trzytygodniowym. Temperatura w chłodni została obniżona do około 5°C przy wilgotności względnej 95%±2%. Powietrze do masy jabłek dostarczano przez kanały wentylacyjne umieszczone w podłodze. Natomiast piwnica, zagłębiona w ziemi była nieogrzewana, dzięki czemu w momencie złożenia w niej owoców temperatura powietrza była podobna do temperatury panującej w chłodni. Pozwoliło to na założenie, że materiał wyjściowy do badań był jednorodny pod względem wilgotności. Piwnica nie posiadała systemu wentylacyjnego

Pierwsze badanie- świeżych owoców, po zbiorze przed złożeniem do miejsc przechowywania, odbyło się 8 października 2012 r., ostatnie przeprowadzono 2 lutego 2013 r. Do badań przygotowywano dwa rodzaje próbek: w kształcie sześcienu o boku 10 mm oraz walca o średnicy 10 mm i wysokości 15 mm. Miejsca poboru próbek z owoców zostały przyjęte według literatury (Nadulski 2009, 2012, Hebda i in. 2012). Dodatkowo badano odporność skórki na przebicie. Dla tego testu przygotowywano po 20 próbek (sztuk całych jabłek z każdego miejsca przechowywania). Badanie jędrności jabłek przeprowadzono przy pomocy maszyny wytrzymałościowej MTS sprzężonej z komputerem. Test polegał na pomia-

rze wartości siły i deformacji w zakresie odkształceń niszczących. Do badań użyto dwóch metalowych płytek, ułożonych równolegle względem siebie. Wykonano po 20 powtórzeń dla obu próbek z każdego miejsca przechowywania. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów siła-przemieszczenie.

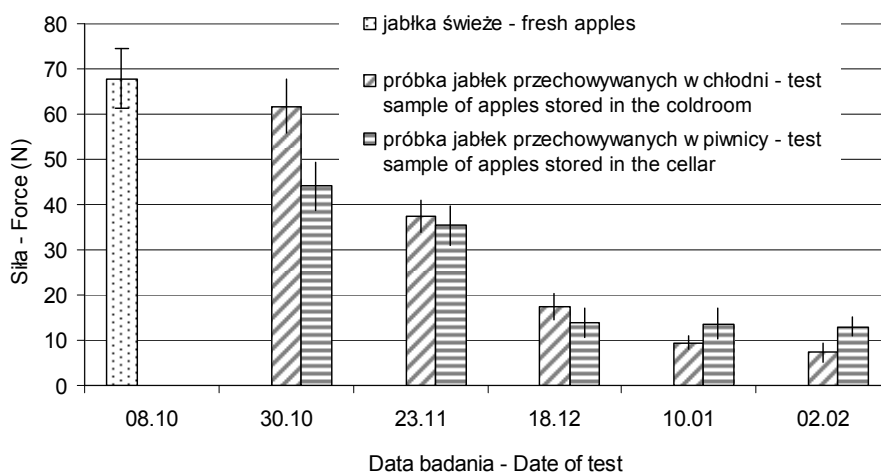
Drugi test polegał na wprowadzaniu wgłębnika w jabłko ze skórką. Do badań zastosowano penetrator w kształcie walca o średnicy 10 mm. Materiał badany umieszczano w podobny sposób jak w poprzednim teście – na dolnej nieruchomej płycie. Po uruchomieniu testu głowica tensometryczna poruszała się w dół, aż do momentu przebicia skórki jabłka. Moment ten, podobnie jak w poprzednim teście, charakteryzował się widocznym na wykresie spadkiem wartości rejestrowanej siły. Program na bieżąco analizował wyniki testów, przedstawiając je na wykresie siła-przemieszczenie. W badaniach wykorzystano głowicę tensometryczną o zakresie pomiarowym 250 N, która pozwala na rejestrację siły co 0,001 N. W obu testach czujnik poruszał się z prędkością 10 mm·min<sup>-1</sup>.

#### WYNIKI

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany jędrności sześciennych próbek jabłek przechowywanych w piwnicy. Średnia siła potrzebna do zniszczenia świeżej próbki wynosiła 67,89 N. Największy spadek jędrności notuje się w pierwszym okresie przechowywania, tuż po złożeniu jabłek do piwnicy. W ciągu trzech tygodni, od 8 do 30 października, wartość siły potrzebnej do zniszczenia próbki spadła o ponad 20 N (do 44,07 N). W ciągu kolejnych trzech tygodni wartość siły nadal zmniejszała się, następowało to jednak mniej dynamicznie niż w pierwszym okresie przechowywania. W trakcie badań prowadzonych w drugiej połowie listopada średnia wartość siły uzyskanej w teście ściskania wyniosła 35,37 N. Od 18 grudnia 2012 r. zaobserwowano, że jędrność jabłek już nie zmniejsza się, siła osiągnęła wartość około 13 N i oscyluje wokół niej przez kolejne 6 tygodni.

Na rysunku można wyodrębnić dwa okresy: pierwszy od października do połowy grudnia, kiedy to spadek wartości notowanej siły jest znaczny oraz drugi - od połowy grudnia do lutego, kiedy następuje jej stabilizacja.

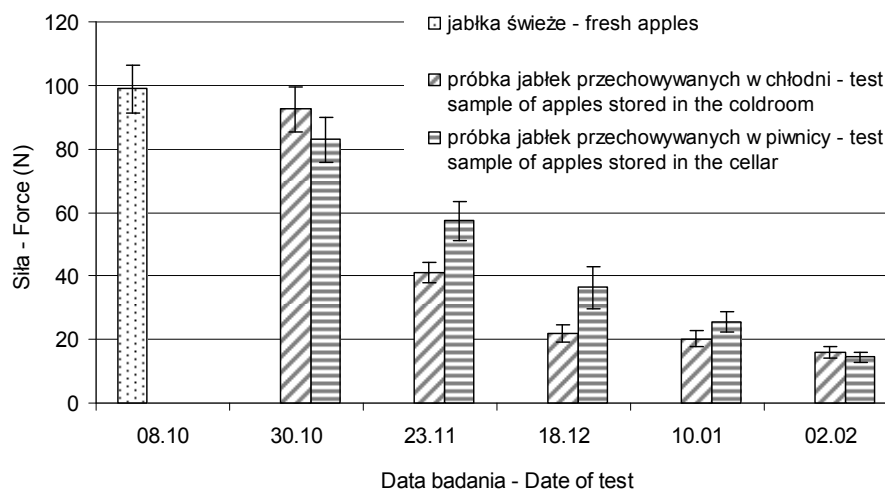
W przypadku badania próbek pobranych z jabłek przechowywanych w chłodni największy spadek wartości badanej siły następuje między drugim a trzecim badaniem (między 30 października a 23 listopada), spada ona o prawie 24 N (spadek ponad 30 N w stosunku do pierwszego badania). Kolejny duży skok zauważa się między trzecim a czwartym badaniem – zmniejszenie wartości siły o prawie 20 N. Podobnie jak na poprzednim wykresie, począwszy od czwartego badania, zmiany w jędrności jabłek są już niewielkie, następuje pewna stabilizacja. W styczniu i lutym wartość siły potrzebnej do zniszczenia próbek spadła poniżej 10 N, osiągając w ostatnim badaniu wartość 7,27 N.



**Rys. 1.** Wartości siły niszczącej w teście ściskania sześciennych próbek jabłek  
**Fig. 1.** Values of destruction force in compressive test of cubical apple samples

Porównując wyniki otrzymane dla próbek sześciennych można zauważyć, iż w początkowym okresie jabłka przechowywane w piwnicy szybciej traciły jędrność (spadek badanej siły jest prawie czterokrotnie większy) od owoców przechowywanych w chłodni. Pod koniec listopada wartość badanej siły, w obu przypadkach, waha się pomiędzy 35 a 40 N. W przypadku jabłek przechowywanych w piwnicy od połowy grudnia następuje stabilizacja, badana siła spada tylko nieznacznie.

Rysunek 2 przedstawia wyniki uzyskane podczas ściskania próbek o kształcie walca, wyciętych z jabłek przechowywanych w piwnicy. Pierwszy słupek przedstawia wynik uzyskany w próbie ściskania walca wyciętego ze świeżego jabłka przed złożeniem do piwnicy. Siła potrzebna do jego zniszczenia wynosi 98,92 N, jest zatem znacznie większa od siły potrzebnej do zniszczenia świeżej próbki sześciennych, która wynosiła niecałe 70 N. Wartość mierzonej siły zmniejszała się wraz z okresem przechowywania. Spadek ten cechował się pewną równomiernością – siła spadała średnio o 15 N w ciągu trzech tygodni. Jak widzimy na wykresie (rys. 3), największy spadek wystąpił między 30 października a 23 listopada, wyniósł on ponad 25 N z 82,87 na 57,33 N. Ostatecznie na początku lutego, w ostatnim badaniu, mierzona siła osiągnęła wartość 14,39 N. Jak wynika z analizy spadek siły w ostatnim okresie wyniósł prawie 85% w porównaniu z próbką świeżą.



**Rys. 2.** Wartości siły niszczącej w teście ściskania walcowych próbek jabłek

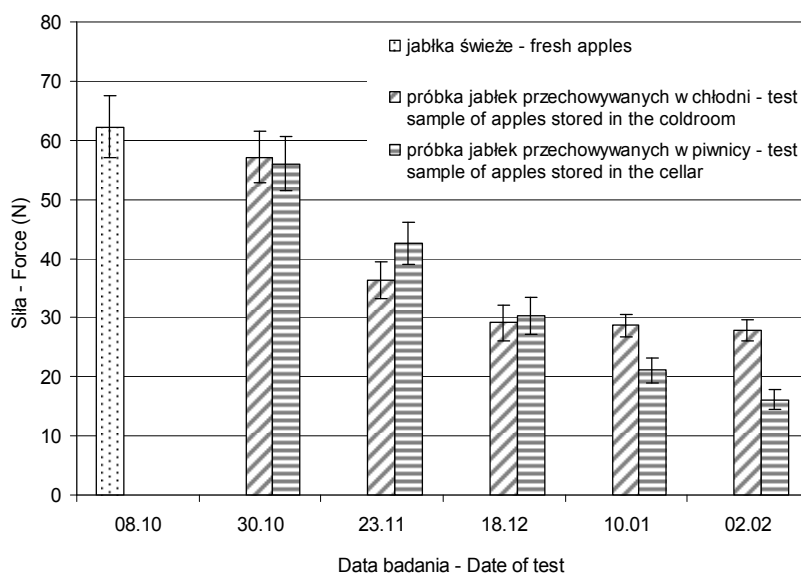
**Fig. 2.** Values of destruction force in compressive test of cylindrical apple samples

Analizując wyniki testu ściskania próbek walcowych pobranych z jabłek przechowywanych w chłodni, można zauważyć, że w ciągu pierwszych trzech tygodni (między 8 a 30 października) wartość badanej siły spadła zaledwie o 6 N. Największy jej spadek zauważono po kolejnych trzech tygodniach, kiedy osiągnęła ona wartość 41,08 N, zmniejszając się o ponad 51 N. Od czwartego badania (18 grudnia) można dostrzec pewną stabilizację – siła osiągnęła wartość 21,77 N i w ciągu kolejnych 6 tygodni (do 2 lutego) zmniejszyła się zaledwie o około 6 N.

Porównując wykresy dla próbek walcowych zauważyć można, że spadek wartości siły w przypadku owoców przechowywanych w piwnicy jest bardzo równomierny. Natomiast dla jabłek przechowywanych w chłodni występuje dość duża różnica w otrzymanych wynikach, szczególnie w pierwszym okresie przechowywania. Podobnie jak w przypadku próbek w kształcie kostki, w pierwszym okresie przechowywania owoce umieszczone w piwnicy miały mniejszą jędrność. Mimo tego, w ostatnim teście badana siła uzyskała podobną wartość dla owoców z obu miejsc przechowywania.

Rysunek 3 obrazuje wyniki uzyskane w teście badania odporność skórki na przebicie. Analogicznie jak na poprzednich wykresach pierwszy wynik przedstawia siłę potrzebną do przebicia skórki jabłka przed złożeniem do miejsca przechowywania. Siła ta wynosiła 62,25 N. Podobnie jak w przypadku testów na ściskanie próbek, wartość tej siły zmniejszała się w ciągu całego okresu przechowywania. Jak widać na wykresie, największy spadek zanotowano między drugim a trzecim badaniem (30 października, a 23 listopada), wartość siły zmniejszyła się

o ponad 13 N, czyli o prawie 20 N w stosunku do jabłka świeżego. W połowie grudnia wartość siły potrzebnej do przebiccia skórki wyniosła 30,21 N. W ciągu kolejnych trzech tygodni zmniejszyła się, osiągając wartość 21,15 N. Najmniejszy spadek siły zaobserwowano w ostatnim okresie przechowywania (między 10 stycznia a 2 lutego), wynosił on zaledwie 5 N. Ostatecznie siła osiągnęła wartość 16,13 N.



**Rys. 3.** Wartości siły w próbie przebiccia skórki jabłek

**Fig. 3.** Values of force in apple skin puncture test

Oceniając odporność na uszkodzenia skórki jabłek przechowywanych w chłodni, zaobserwowano, że w ciągu pierwszych trzech tygodni analizowanego okresu wartość siły potrzebnej do przebiccia skórki zmniejszyła się tylko nieznacznie – zaledwie o 5 N (z 62,25 do 57,11 N). W listopadzie nastąpił największy notowany spadek mierzonej siły, w trzecim badaniu osiągnęła ona wartość 36,27 N. Po okresie dość gwałtownego zmniejszenia wartości siły nastąpiła pewna stabilizacja. W połowie grudnia wartość siły spadła poniżej 30 N, osiągając po kolejnych 6 tygodniach przechowywania wartość 27,87 N. Owoce w chłodni do połowy badanego okresu przechowywania dość znacznie traciły jędrność. Natomiast od połowy grudnia spadek ten był już tylko nieznaczny. W lutym siła osiągnęła wartość około 28 N, czyli prawie dwukrotnie wyższą niż dla jabłek przechowywanych w piwnicy. Można więc wnioskować, że warunki panujące w chłodni po-

zwoliły na utrzymanie skórki jabłek w stanie pożądanej twardości do końca okresu przechowywania.

Analizę wyników przeprowadzono wykonując wieloczynnikowe testy analizy wariancji dla danych uzyskanych z testu ściskania oraz pomiaru odporności skórki na przebicie. Do obliczeń zastosowano program Statistica for Windows v.10.0 (procedura Anova). Zmiennymi niezależnymi były: miejsce przechowywania, kształt próbki i czas przechowywania. Jak wynika z danych zamieszczonych tabeli 1, analiza wariancji wykazała wysoką istotność wszystkich badanych czynników.

**Tabela 1.** Trójczynnikiowa analiza wariancji bez interakcji dla testu ściskania

**Table 1.** Analysis of variance of three way classification without interactions for compression test

Efekt Effect	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degree of freedom	Średni kwadrat Mean square	F	P
Wyraz wolny Absolute term	1455742	1	1455742	4826,5	0,000
Miejsce przechowywania Storage place	12273	1	12273	40,69	0,000
Kształt próbki Shape of sample	36119	2	18060	59,88	0,000
Czas przechowywania Storage time	316873	5	63375	210,1	0,000
Błąd – Error	261498	867	302		

Kolejnym etapem opracowania wyników było przeprowadzenie trójczynnikiowego testu Duncana, dla każdego czynnika: miejsca przechowywania, kształtu próbki i czasu przechowywania. Poniższa tabela (Tab. 2) przedstawia wyniki obliczeń statystycznych dla czynników głównych. W przypadku czynnika miejsce przechowywania oraz kształt próbki nie zaobserwowano grup jednorodnych. Świadczy to o zróżnicowaniu jędrności badanych próbek przechowywanych w piwnicy i w chłodni. Natomiast dla czynnika czas przechowywania grupa jednorodna wystąpiła pomiędzy dwoma ostatnimi terminami badania jędrności.

Przeprowadzone testy statystyczne potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, zaobserwowane w trakcie prowadzenia badań i analizowania ich wyników.

Na kolejnym etapie obliczeń podjęto próbę opisanie zmian jędrności badanych owoców w zależności od okresu przechowywania, dla każdego z prowadzonych testów. Najlepszy stopień dopasowania krzywych teoretycznych do rzeczy-

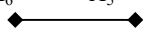
wistej jędrności owoców (ocenyanych poprzez współczynnik determinacji  $R^2$ ) uzyskano dla funkcji następującej postaci:

$$y = a \cdot \ln(x) + b \quad (1)$$

gdzie:  $y$  – jędrność (N),  $x$  – okres przechowywania,  $a$ ,  $b$  – stałe modelu.

Wyniki tej aproksymacji przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 2.** Test Duncana dla średnich uzyskanych dla poszczególnych czynników głównych  
**Table 2.** Duncan's test for the means obtained for individual main factors

Czynnik – Factor	Grupy homogeniczne – Homogeneous groups					
Miejsce przechowywania Storage place	$X_2$		$X_1$			
	$X_1 = 45,09 \text{ N}$		$X_2 = 41,17 \text{ N}$			
			: $X_1 = \text{chłodnia} - \text{coldroom}$		$X_2 = \text{piwnica} - \text{cellary}$	
Kształt próbki Shape of sample	$X_1$		$X_3$		$X_2$	
	$X_1 = 33,04 \text{ N}$		$X_2 = 51,26 \text{ N}$		$X_3 = 45,08 \text{ N}$	
	$X_1 = \text{próbka w kształcie kostki} - \text{cubical sample}$ $X_2 = \text{próbka w kształcie walca} - \text{cylindrical sample}$ $X_3 = \text{próba przebicia skórki penetratorem} - \text{puncture test}$					
Czas przechowywania Storage time	$X_6$	$X_5$	$X_4$	$X_3$	$X_2$	$X_1$
						
	gdzie – where: $X_1 = 78,04 \text{ N}$ $X_2 = 68,18 \text{ N}$ $X_3 = 42,85 \text{ N}$ $X_4 = 28,18 \text{ N}$ $X_5 = 22,59 \text{ N}$ $X_6 = 18,92 \text{ N}$					
	$X_1 \div X_6$ : czas badań – time of testing: $X_1 = \text{jablka świeże} - \text{fresh apples}$ $X_2 = 30.X.$ ; $X_3 = 23.XI$ ; $X_4 = 18.12$ ; $X_5 = 10.01$ ; $X_6 = 02.02$					

\* – różnice nieistotne podkreślono – \* - insignificant differences underlined

**Tabela 3.** Wyniki estymacji nieliniowej dla badanych próbek  
**Table 3.** Results of non-linear estimation for tested samples

Próba – Sample	Stałe modelu – model constants		R (%)
Ściskania próbek sześciennych Compression of cubical samples	–38,34	75,55	91,99
Ściskania próbek walcowych Compression of cylindrical samples	–53,71	107,29	89,16
Przebicia skórki Skin puncture	–22,18	64,54	90,37



## WNIOSKI

1. Największe wartości sił potrzebnych do deformacji jabłek zanotowano podczas pierwszego badania (08.10.2012 r.). Wynosiły one odpowiednio dla próbek w kształcie kostki i walca 67,89 (N) i 98,92 (N), a dla penetratora 62,25 (N).
2. W przypadku owoców przechowywanych w chłodni przełomowym miesiącem był grudzień. Zaobserwowano spowolnienie utraty jędrności, która w ciągu dwóch pierwszych miesięcy przechowywania znacznie spadała.
3. Największe zmiany odporności na przebicie skórki jabłek zanotowano dla prób przechowywanych w piwnicy.

## PIŚMIENNICTWO

- Bohdziewicz J., 2006. Właściwości mechaniczne warzyw o kształcie kulistym, *Inżynieria Rolnicza* 5(80), 49-57.
- Hebda T., Fraczek J., Łapczyńska-Kordon B., 2012 Wpływ czasu przechowywania na wybrane cechy jakościowe selera. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 3(6), 65-77.
- Jakubczyk E., Uziak D., 2005. Charakterystyka instrumentalnych metod badania właściwości mechanicznych wybranych owoców i warzyw, *Inżynieria Rolnicza*, Nr 11(71), 181-189.
- Łapczyńska-Kordon B., Krzysztofik B., 2008, Wpływ sposobów i czasu przechowywania na właściwości fizyczne jabłek. *Inżynieria Rolnicza*. 2(100), 121-128.
- Nadulski R., 2009. Wpływ czasu i warunków przechowywania jabłek na ich wybrane właściwości mechaniczne, *Inżynieria Rolnicza*, 2(111), 107-116.
- Nadulski R., Guz T., Strzałkowska K., 2012. Dynamika zmian wybranych cech teksturalnych jabłek podczas wtórnego przechowywania. *Inżynieria Rolnicza*, 3(138), 147-155.
- Puchalski C., 2001, Metodyczne aspekty badania tarcia i jędrności jabłek pod kątem oceny ich jakości, *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 275, Kraków, 593-596.
- Rybczyński R., 2007, Jędrność jabłek w warunkach obrotu handlowego. *Acta Agrophysica*, 10(2), 447-443.

## ESTIMATION OF CHANGES FIRMNESS APPLES DURING STORAGE

*Tomasz Hebda, Andrzej Złobek*

Department of Mechanical Engineering and Agrophysics,  
Faculty of Production and Power Engineering, University of Agriculture in Krakow  
ul. Balicka 120, 30-149 Kraków  
e-mail: Tomasz.Hebda@ur.krakow.pl

**Abstract.** The paper presents an estimation of changes of apples firmness during storage in various conditions. Apples were stored in a cold-room and in a cellar. The apple firmness tests were carried out on an MTS strength tester connected to a computer. The tests consisted in the measurement of the values of strength and deformation in the range of destructive deformation. Additionally

the hardness of skin was tested in puncture tests. Analysis of the results was conducted by means of multifactorial analysis test with multiple repetitions for all compression tests and measurements of firmness. The independent variables were the place of storage, the shape of sample and the period of storage. The Duncan test showed homogenous groups. The changes of firmness and period of storage were described and the theoretical curves with the best fit to the actual results. The maximum values of force in the compression tests and in the apple skin puncture tests were determined. In the case of apples stored in the cold-room December was the decisive month when a slow down of the firmness changes was observed. The largest changes of apple skin strength were noted for the samples stored in the cellar.

**Keywords:** storage of fruit, firmness of apples, destructive deformations