

## WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PRZECHOWYWANYCH JABLEK – WERYFIKACJA TESTÓW \*

*R. Rybczyński, B. Dobrzański, jr*

Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

e-mail: rryb@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie:** W ostatnich latach powstało wiele technik oceny jakości owoców, a metody te zazwyczaj bazują na pomiarze różnych właściwości fizycznych. Jędrność jest jedną z cech, która jest często używana do opisu jakości owoców. Zazwyczaj jędrność owoców w trakcie ich rozwoju obniża się nieznacznie, a dopiero w okresie dojrzewania i przechowywania proces ten nabiera dynamiki. Autorzy zastosowali do oceny jablek różne testy dla określenia ich podstawowych właściwości mechanicznych oraz zaproponowali parametr powiązany z ich jędrnością pozwalający na ocenę jakości owoców przechowywanych w różnych warunkach i terminach. Badania wykonano na owocach zimowej odmiany jablek Jonagold.

**Słowa kluczowe:** jabłka, właściwości mechaniczne, przechowywanie

### WSTĘP

Dla większości owoców jędrność skorelowana jest z ich dojrzałością, a spadek jędrności owoców w trakcie ich rozwoju jest nieznaczny. Proces ten nabiera przyspieszenia dopiero w okresie dojrzewania i przechowywania, a przejrzale i uszkodzone owoce stają się bardzo miękkie. Tak więc jędrność może być użyta jako kryterium przy sortowaniu produktów rolniczych na różne grupy dojrzałości czy do oddzielenia przejrziałych i uszkodzonych owoców od zdrowych [5,8,12].

---

\* Praca wykonana częściowo w ramach projektu badawczego Nr 5 P06F 012 19 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Ocena jędrności opiera się o test Magness-Taylor, który został dokładnie opisany i znormalizowany dla jabłek i gruszek, test ten jednak polega na pomiarze tylko maksymalnej siły podczas penetracji miąższu bez rejestracji deformacji i jej przebiegu. Dodatkowo, siła ta nie zawsze odpowiada wytrzymałości mechanicznej tkanki [4].

W ostatnich latach opracowano wiele nowych przyrządów i technik pomiarowych przydatnych przy ocenie jakości owoców. Chen [1] przedstawił przegląd metod pomiaru takich jak: gęstości, jędrności, charakterystyk wibracji, promieniowania X i gamma, optycznych, elektrycznych i NMR, które bazują na pomiarze fizycznych właściwości. Wiele z tych metod opiera się o bardzo zaawansowane rozwiązania techniczne. Jednak wielu badaczy uważa, iż część z tych technik ma małą przydatność w badaniach jakości, gdyż nie otrzymano wysokiej korelacji wyników uzyskanych za pomocą tych metod z jędrnością owoców mierzoną tradycyjną metodą [2,3,6,7,9,11].

Dlatego celem pracy było określenie podstawowych właściwości mechanicznych jabłek oraz zaproponowanie parametru powiązanego z ich jędrnością pozwalającego na ocenę jakości owoców odmian zimowych przechowywanych w różnych warunkach i terminach.

## MATERIAŁ I METODY

W niniejszej pracy wyznaczono różne parametry mechaniczne jabłek zimowej odmiany Jonagold, której owoce w celu większego zróżnicowania właściwości mechanicznych, przechowywano w trzech różnych temperaturach przez okres do 30 tygodni. Sposób przygotowania materiału do badań oraz umocowania próbek w aparaturze pomiarowej wykonano zgodnie z metodyką opisaną przez autorów [10].

Przeprowadzono następujące testy mechaniczne:

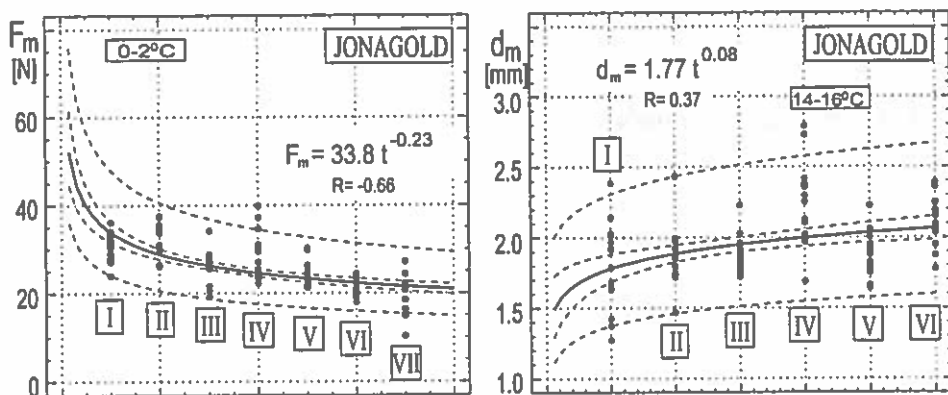
- ściskania cylindrycznej próbki miąższu,
- rozrywania wycinka skórki,
- penetracji całego owocu,
- zginania belki miąższu pokrytego skórka od strony elementu przenoszącego obciążanie.

Do tego celu użyto maszynę wytrzymałościową Instron, stosując stałą prędkość przesuwu głowicy pomiarowej; 10 mm/min, a wykres siła-przemieszczenie rejestrowano do uszkodzenia próbki. Wartości siły odpowiadające zakresowi deformacji sprężystej użyto do wyznaczenia modułu sprężystości.

Uzyskane wyniki (siła, deformacja i praca zniszczenia oraz moduł sprężystości), poddano analizie statystycznej, a wnioskowanie przeprowadzono przy poziomie istotności  $\alpha = 0.05$ .

#### WYNIKI

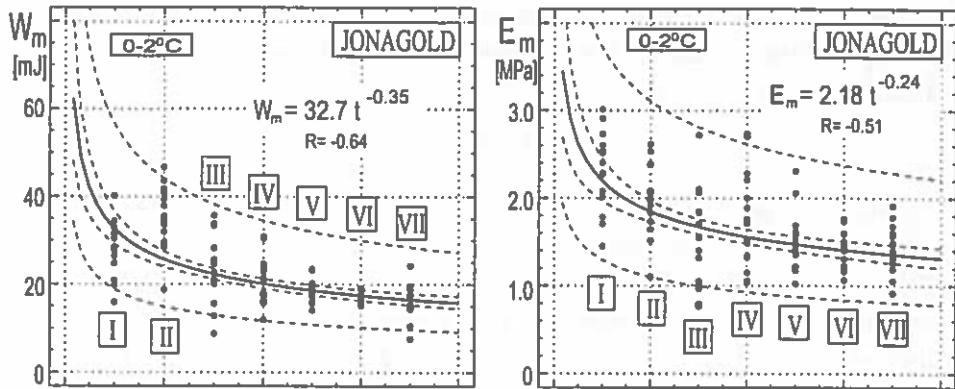
Wytrzymałość na ściskanie mięszu  $F_m$  (Rys. 1) przechowywanych jablek odmiany Jonagold charakteryzowała się tendencją spadkową, którą opisuje funkcja potęgowa ( $F_m = 33.8 t^{-0.23}$  przy  $R = -0.66$  dla temperatury  $0 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Dla dwóch pozostałych temperatur przechowywania zaobserwowano podobne zależności, jednak zaobserwowano istotny statystycznie spadek wartości badanego parametru już po 5-ciu tygodniach, a dalsze przechowywanie powodowało powolne obniżenie wartości siły.



Rys. 1. Siła  $F_m$  oraz deformacja  $d_m$  próbki walcowej mięszu przechowywanych jablek.

Fig. 1. The force  $F_m$  and deformation  $d_m$  of cylindrical flesh sample of storage apple.

Deformacja powodująca uszkodzenie mięszu  $d_m$  wykazywała lekką tendencję wzrostową w trakcie przechowywania dla warunków  $14-16^\circ\text{C}$  i mieściła się w zakresie  $1.8-2.3$  mm (Rys. 1). Zaś w pozostałych warunkach przechowywania nie stwierdzono jego istotnego wpływu na wyznaczony parametr, o czym świadczą bliskie zeru współczynniki korelacji  $R$ .



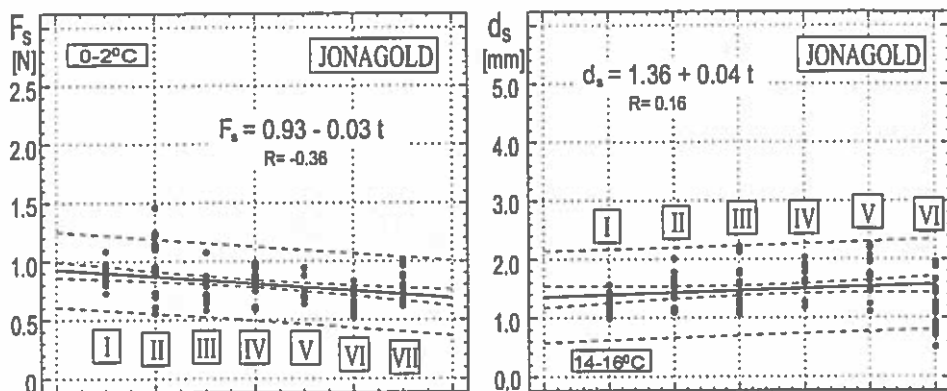
Rys. 2. Praca  $W_m$  oraz moduł sprężystości  $E_m$  próbki walcowej mięszu przechowywanych jabłek.  
 Fig. 2. The work deformation  $W_m$  and elasticity modulus  $E_m$  of cylindrical flesh sample of storage apple.

Praca potrzebna do uszkodzenia walcowej próbki mięszu  $W_m$  wyznaczona w teście ściskania bezpośrednio po zbiorze wynosiła 28 mJ (Rys. 2). U jabłek przechowywanych w temperaturze 14-16°C i 6-8°C zaobserwowano gwałtowny spadek wartości badanego parametru już po 5-ciu tygodniach. Owoce przechowywane w temperaturze 0-2°C charakteryzowały się stałą tendencją spadkową wielkości energii uszkodzenia próbki, uzyskując wartość 16 mJ dla ostatniego terminu badań. Zależność pracy zniszczenia  $W_m$  od czasu przechowywania  $t$  opisuje funkcja potęgowa:  $W_m = 32.7t^{-0.35}$  dla 0-2°C przy wartości współczynnika  $R = -0.64$ .

Moduł sprężystości mięszu jabłek  $E_m$  wyznaczony w teście ściskania pomiędzy równoległymi płytkami bezpośrednio po zbiorze przyjmował wartość równą 2.32 MPa. Uzyskane wartości modułu sprężystości charakteryzowały się znacznym spadkiem wartości już po 5-ciu tygodniach od daty zbioru, szczególnie dla wyższych temperatur przechowywania. W następnych terminach badań ich wielkość utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Jednak owoce przechowywane w temperaturze 0-2°C charakteryzowały się stałą tendencją spadkową wielkości badanego parametru, czego ilustracją jest uzyskana zależność potęgowa:  $E_m = 2.18t^{-0.24}$  przy  $R = -0.51$  (Rys. 2).

Siła potrzebna do rozerwania wycinka skórki jabłek  $F_s$ , bezpośrednio po zbiorze wynosiła dla badanej odmiany - 0.88 N. W trakcie przechowywania dla większości terminów, rejestrowane siły nie różniły się statystycznie pozostając

na tym samym poziomie (niezależnie od temperatury przechowywania). Na przykład, przez cały okres przechowywania w temperaturze  $0\pm 2^{\circ}\text{C}$  skórka jabłek odmiany Jonagold charakteryzowała się podobną wytrzymałością na rozciąganie, a wartości siły  $F_s$  zawierały się w zakresie  $0.80\pm 0.88$  N. Współczynnik korelacji  $R=-0.36$ , regresji prostoliniowej  $F_s=0.93-0.03t$  (Rys. 3), potwierdza słabą zależność wytrzymałości na rozciąganie skórki jabłek od czasu przechowywania w tej temperaturze. W wyższych zakresach temperatur zaobserwowano nieznaczny wzrost wartości badanego parametru przy spadku bezwzględnej wartości współczynników korelacji.



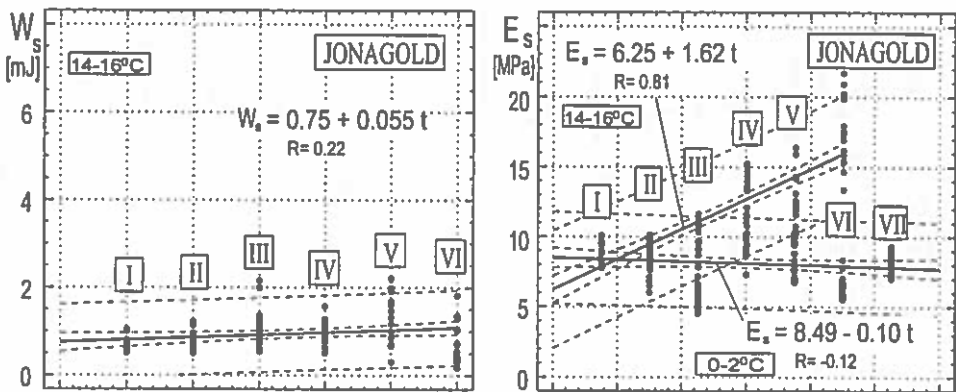
Rys. 3. Siła  $F_s$  oraz deformacja  $d_s$  wycinka skórki przechowywanych jabłek.

Fig. 3. The force  $F_s$  and deformation  $d_s$  of skin sample of storage apple.

Deformacja powodująca rozerwanie wycinka skórki jabłek  $d_s$  wykazywała lekką tendencję wzrostową w trakcie przechowywania, opisaną funkcjami prostoliniowymi o współczynnikach korelacji mieszczących się w zakresie od 0.16 do 0.18 w zależności od warunków przechowywania. Niemniej jednak wielkości uzyskane nawet w ostatnich terminach i dla warunków  $14\pm 16^{\circ}\text{C}$  (Rys. 3) nie różniły się istotnie w stosunku do wartości uzyskanych bezpośrednio po zbiorze.

Stwierdzono wzrost wartości pracy rozerwania wycinka skórki owocu  $W_s$  w trakcie przechowywania, co opisuje przedstawiona na rysunku 4, prosta  $W_s=0.75+0.055t$  przy  $R=0.22$ . Niski poziom wartości współczynników korelacji mieszczący się w zakresie od 0.1 do 0.29 związany jest z małymi różnicami pomiędzy wielkościami badanego parametru w trakcie przechowywania.

Wyznaczony w teście rozciągania moduł sprężystości  $E_s$  przyjmował bezpośrednio po zbiorze wartość 9.13 MPa. Jedynie przechowywanie w temperaturze  $14\div 16^\circ\text{C}$  spowodowało większe parowanie wody i wysychanie skórki co wywołało istotny statystycznie wzrost wartości modułu sprężystości już po 15 tygodniach (Rys. 4). Uzyskane wartości modułu sprężystości  $E_s$  dla skórki jabłek badanej odmiany w temperaturze  $6\div 8^\circ\text{C}$  wykazywały również nieznaczną tendencję wzrostu podczas kolejnych tygodni przechowywania, co opisuje zależność:  $E_s = 7.80 + 0.32t$  przy  $R = 0.32$ . Średnie wartości modułu dla jabłek z przechowalni o temperaturze  $0\div 2^\circ\text{C}$  przez cały okres przechowywania utrzymywały się na podobnym poziomie ( $8.20\div 9.13$  MPa), wyniki uzyskane w skrajnych terminach nie różniły się istotnie, a współczynnik korelacji  $R = -0.12$  bliski zera świadczy o braku zależności modułu sprężystości od czasu przechowywania w tej temperaturze (Rys. 4).



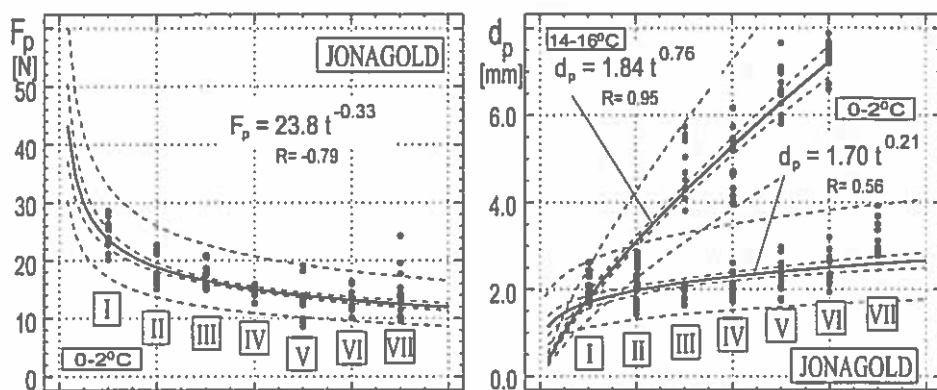
Rys. 4. Praca  $W_s$  oraz moduł sprężystości  $E_s$  skórki przechowywanych jabłek.

Fig. 4. The work deformation  $W_s$  and elasticity modulus  $E_s$  of skin sample of storage apple.

Średnia wartość siły przebiccia skórki jabłek zarejestrowana w teście penetracji bezpośrednio po zbiorze wynosiła 24.68 N. W trakcie przechowywania w całym zakresie stosowanych temperatur rejestrowane siły istotnie statystycznie różniły się już po 5-ciu tygodniach i malały wraz z upływem czasu. W przypadku warunków  $0\div 2^\circ\text{C}$  współczynnik korelacji  $R$  wynosił  $-0.79$  dla zależności potęgowej:  $F_p = 23.8t^{-0.33}$  siły w funkcji czasu (Rys.5).

Wpływ warunków przechowywania na utratę jędrności owoców, zwłaszcza dla wyższych temperatur, potwierdzają rosnące wartości deformacji  $d_p$  w trakcie

przebiecia skórki. Wpływ czasu przechowywania zaobserwowano nie tylko w jego pierwszym okresie, ale i w kolejnych terminach badań. Średnia wartość deformacji zarejestrowana w teście penetracji bezpośrednio po zbiorze wynosiła -2.02 mm. Najwyższą utratę jędrności jablek zaobserwowaną dla temperatury przechowywania 14÷16°C wyraża funkcja potęgowa  $d_p = 1.84t^{0.76}$  przy  $R=0.95$  (Rys.5), a parametry tej zależności świadczą o silnym wpływie warunków przechowywania. Jednak dopiero po 30-tu tygodniach przechowywania w warunkach 0÷2°C zaobserwowano istotny wzrost wartości deformacji  $d_p$  owoców (Rys. 5).



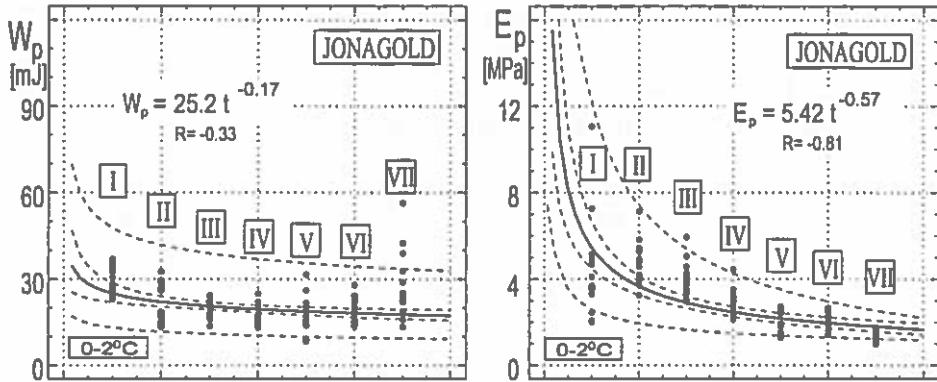
Rys. 5. Siła  $F_p$  i deformacja  $d_p$  uzyskana w teście penetracji przechowywanych jablek.

Fig. 5. The penetration force  $F_p$  and deformation  $d_p$  of storage apple.

W trakcie przechowywania dla zakresu temperatur 0÷2°C rejestrowana praca  $W_p$  penetracji różniła się istotnie statystycznie tylko po 5 tygodniach. Niemniej jednak zaobserwowano spadek wartości badanego parametru wraz z upływem czasu, czego wyrazem jest ujemny współczynnik  $R=-0.33$  otrzymany dla funkcji potęgowej opisującej ten proces (Rys.6). Inaczej zależności te przebiegały w pozostałych warunkach. W miarę upływu czasu, zaobserwowano szczególnie wyraźny wzrost wartości pracy  $W_p$  dla warunków przechowywania 14÷16°C (Rys. 7).

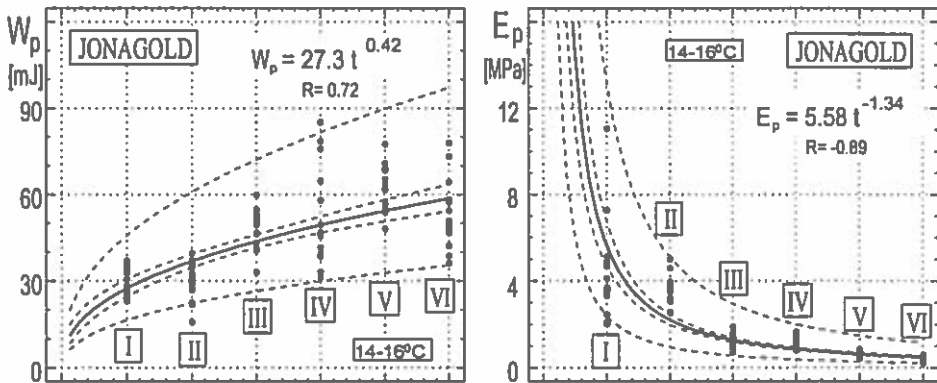
Średnie wartości modułu sprężystości  $E_p$  wyznaczone w zakresie niewielkiej deformacji w teście penetracji wynosiły bezpośrednio po zbiorze - 4.42 MPa. W trakcie przechowywania owoców w podwyższonej temperaturze wyznaczone wartości modułu sprężystości różniły się istotnie po 10 tygodniach, a zmiany wraz ze wzrostem czasu opisuje funkcja potęgowa  $E_p = 5.58t^{1.34}$  przy  $R=-0.89$  dla 14÷16°C (Rys. 7). Przechowywanie w temperaturze 0÷2°C powodowało słabszy

spadek wartości badanego parametru (Rys. 6). Jednak wartości współczynników otrzymane dla wyznaczonych zależności potęgowych, świadczą wyraźnie o wpływie czasu przechowywania na wyznaczany parametr.



Rys. 6. Praca  $W_p$  i moduł sprężystości  $E_p$  uzyskane w teście penetracji przechowywanych jabłek w temperaturze 0-2°C.

Fig. 6. Work of penetration  $W_p$  and elasticity modulus  $E_p$  of storage apple at 0-2°C.

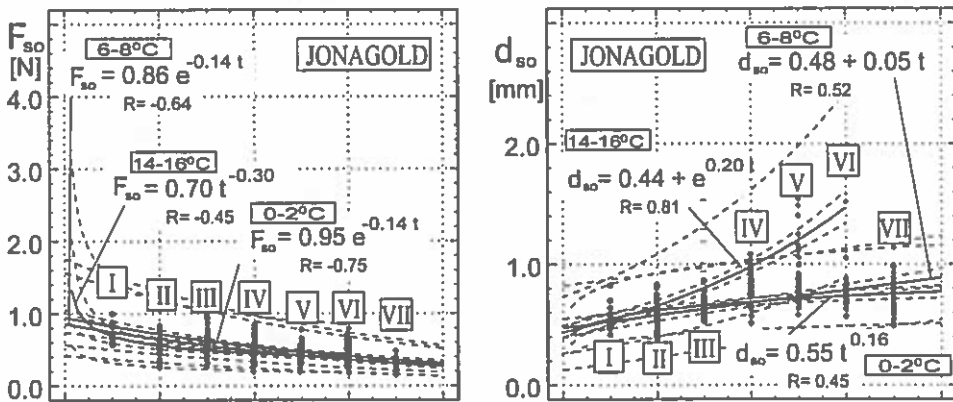


Rys. 7. Praca  $W_p$  i moduł sprężystości  $E_p$  uzyskane w teście penetracji przechowywanych jabłek w temperaturze 14-16°C.

Fig. 7. Work of penetration  $W_p$  and elasticity modulus  $E_p$  of storage apple at 14-16°C.



W trakcie przechowywania w całym zakresie stosowanych temperatur rejestrowane wartości maksymalnej siły  $F_{so}$  zginania belki nie różniły się istotnie statystycznie, niemniej jednak malały wraz z upływem czasu (Rys. 8). Wpływ przechowywania na wartość badanego parametru opisują zależności, dla których ujemne współczynniki korelacji zawierały się w przedziale  $-0.45 \div -0.75$ . Natomiast w wypadku deformacji  $d_{so}$  stwierdzono istotny statystycznie wzrost wartości dla owoców przechowywanych w warunkach  $14 \div 16^\circ\text{C}$ , opisany zależnością w funkcji czasu:  $d_{so} = 0.44 e^{0.20t}$  dla  $R = 0.81$  (Rys.8). W pozostałych temperaturach przechowywania badany parametr miał tendencję wzrostową w funkcji czasu, a współczynniki korelacji mieściły się w zakresie od 0.45 do 0.52.

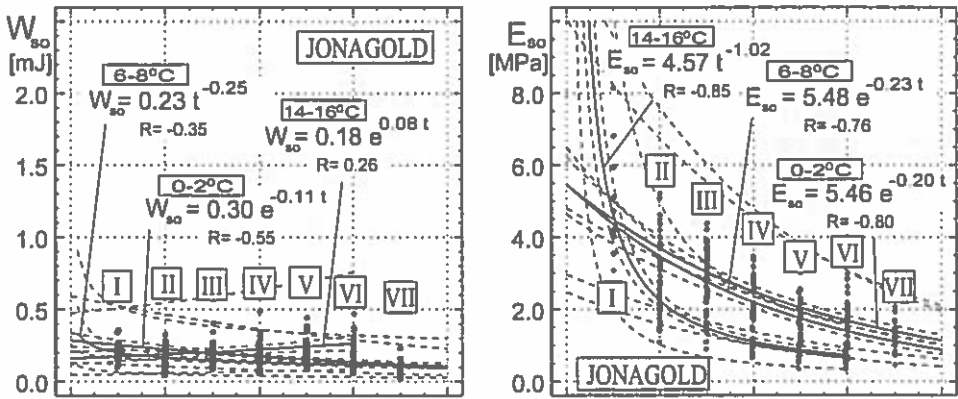


Rys. 8. Siła  $F_{so}$  i deformacja  $d_{so}$  uzyskana w teście zginania wycinka tkanki jabłek przechowywanych w różnych temperaturach.

Fig. 8. The bending force  $F_{so}$  and deformation  $d_{so}$  of apple sorage at different temperature.

W trakcie przechowywania w temperaturze  $14 \div 16^\circ\text{C}$ , rejestrowana praca uszkodzenia badanej próbki miała nieznaczną tendencję wzrostową opisaną zależnością:  $W_{so} = 0.18 e^{0.08t}$  dla  $R = 0.26$  (Rys. 9). W pozostałych warunkach, w miarę upływu czasu, obserwowano spadek wartości badanego parametru. Niemniej jednak dość niski poziom wartości współczynników korelacji uzyskany dla funkcji opisujących zmiany wielkości pracy uszkodzenia badanej próbki wskazuje na niewielkie różnice pomiędzy wielkościami badanego parametru w trakcie przechowywania. W zakresie odkształceń, takich przy których może wystąpić zgniecenie przypowierzchniowej warstwy owocu, stwierdzono istotne zróżnicowanie modułu sprężystości belki  $E_{so}$  w trakcie przechowywania na co

wskazują współczynniki funkcji wykładniczej badanego parametru w czasie  $t$ :  $E_{so}=5.46e^{-0.20 t}$  dla  $R=-0.80$  ( $0\div 2^{\circ}\text{C}$ ),  $E_{so}=5.48e^{-0.23 t}$  dla  $R=-0.76$  ( $6\div 8^{\circ}\text{C}$ ) oraz  $E_{so}=4.57e^{-1.02 t}$  dla  $R=-0.85$  ( $14\div 16^{\circ}\text{C}$ ) (Rys. 9). Wysoki poziom wartości współczynników korelacji uzyskany dla zależności opisujących zmiany wielkości modułu sprężystości związany jest z różnicami pomiędzy wielkościami badanego parametru w trakcie przechowywania. Warunki  $14\div 16^{\circ}\text{C}$  powodują w początkowym okresie wyraźny i trwały spadek sprężystości badanych owoców. Zaś w pozostałych warunkach przechowywania dochodzi również do obniżenia poziomu sprężystości, niemniej proces ma przebieg bardziej płynny.



Rys. 9. Praca  $W_{so}$  i moduł sprężystości  $E_{so}$  uzyskana w teście zginania wycinka tkanki jabłek przechowywanych w różnych temperaturach.

Fig. 9. The work at bending  $W_{so}$  and elasticity modulus  $E_p$  of apple storage at different temperature.

#### WNIOSKI

- Zastosowane metody badania właściwości mechanicznych jabłek: ściskanie miąższu, rozrywanie skórki, test penetracji oraz zginania pozwalają na wyznaczenie: wytrzymałości tkanki owocu, deformacji i pracy podczas obciążania oraz modułu sprężystości.
- Jędrność owoców odwzorowana wartościami wyznaczonych parametrów w trakcie przechowywania maleje; szczególnie w pierwszym okresie po zbiorze. Podczas dalszego przechowywania jędrność nadal spada, choć już w mniejszym stopniu przy czym wyraźniejszą utratę jędrności jabłek odmiany Jonagold zaobserwowano w temperaturze  $14\div 16^{\circ}\text{C}$ .

- Największe zróżnicowanie sprężystości jabłek w okresie przechowywania stwierdzono przy użyciu testu penetracji (w zakresie deformacji sprężystej) i zginania belki. Zaś parametry określone przy pomocy tych metod, a w szczególności moduł sprężystości najlepiej odzwierciedlają zmiany jędrności jabłek.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Chen P.:** Quality evaluation technology of agricultural products. Proc. of ICAME'96, Seoul, Korea, Vol. I, 171-190, 1996.
2. **Dobrzański jr. B., Rybczyński R.:** Stress-strain relationship for fruit firmness estimation. Acta Horticulture, No 485, 117-123, 1999.
3. **Dobrzański jr. B., Rybczyński R., Gołacki K.:** Quality parameter of storage apple as a firmness. International Agrophysics, 14(2), 149-158, 2000.
4. **Dobrzański jr B.,** - praca zbiorowa pod red.: Opracowanie agrofizycznych podstaw ograniczania strat i poprawy cech jakościowych owoców. Projekt Badawczy Zamawiany KBN, Nr PBZ-51-02, Spraw. Mer., IA PAN, Lublin, 1-401, 1997.
5. **Fekete A.:** Elasticity: a measure of fruit firmness. ASAE Paper No. 93-6598, Chicago, pp. 1-7, 1993
6. **Fekete A., Felföldi J.:** Fruit firmness tester. AgEng'94, Milano, Report N. 94-G-060: 1-7, 1994.
7. **Gołacki K.:** Some application of viscoelastic characteristic of plant materials with a high level of water content. Agricultural Engineering, 32(3), 25-32, 2000.
8. **Kader, A.A.:** Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Horticulture, No 485, 203-208, 1999.
9. **Plocharski, W.J., Konopacka, D.:** The relation between mechanical and sensory parameters of apples. Acta Horticulture, No 485, 309-318, 1999
10. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B.:** The mechanical properties of apple after storage. Acta Horticulture, No 485, 319-324, 1999.
11. **Shmulevich I., Galili N., Rosenfeld D.:** Firmness testing device based on fruit acoustic response. AgEng Milano, Report N. 94-G-080: 1-9, 1994.
12. **Studman C.J.:** Quality in fresh fruit - Meaning, measurement and maintenance. AgEng'94 Milano, 897-898, Report N. 94-G-067, 1-9, 1994.

## THE MECHANICAL PROPERTIES OF STORAGE APPLE – TESTS VERIFYIFICATION

*R. Rybczyński, B. Dobrzański, jr*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
e-mail: rryb@demeter.ipan.lublin.pl

**Summary:** In recent years, several techniques for quality evaluation based on the detection of various physical properties of fruit have been developed. Firmness is one of the property that is commonly used as a criterion of fruit quality. The fruit firmness decreases gradually during maturation and decreases rapidly during ripening and storage. The authors used the different mechanical tests to detect the basic mechanical properties of fruit. The elasticity parameter determined at deformation limit related to firmness was proposed to estimate quality of storage apple. Verification of this technique was made on the Jonagold apples.

**Keywords:** apple, mechanical properties, storage