

DETEKCJA USZKODZEŃ MECHANICZNYCH JABŁEK  
Z WYKORZYSTANIEM TERMOGRAFII\*

*Piotr Baranowski<sup>1</sup>, Janusz Lipecki<sup>2</sup>, Wojciech Mazurek<sup>1</sup>, Ryszard T. Walczak<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

<sup>2</sup>Katedra Sadownictwa Akademii Rolniczej, 20-950 Lublin, ul. Leszczyńskiego 58

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

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodykę pomiaru i wyniki badań wykrywania uszkodzeń mechanicznych jabłek z wykorzystaniem techniki zobrażeń termalnych. Badano trzy odmiany jabłek: Jonagold, Ligol i Gloster. Obicia jabłek uzyskiwano przez opuszczanie ich z wysokości 25 cm na gładką, ceramiczną powierzchnię. Przed i po pomiarze temperatury radiacyjnej jabłka przechowywane były w temperaturze 1,5°C. Zobrażenia termalne powierzchni jabłek z obiciem uzyskiwano kamerą AGEMA 880 LWB w trakcie 12 minutowej sesji ogrzewania owocu w temperaturze otoczenia 25°C. Na każdym termogramie wybrano dwie powierzchnie, jedna obejmowała powierzchnię obicia owocu a druga powierzchnię nienaruszoną mechanicznie. Uzyskane przebiegi zmian temperatury obu powierzchni w czasie ogrzewania wykazały dla badanych trzech odmian występowanie różnic temperatury między częścią obitą i nie obitą w zakresie od 0,5°C do 1,5°C. Najwyższe różnice temperatury stwierdzono dla odmiany Jonagold a najniższe dla odmiany Gloster, co wynika z różnej jędrności tkanek tych odmian.

**Słowa kluczowe:** termografia dynamiczna, uszkodzenia mechaniczne owoców, właściwości cieplne owoców

#### WSTĘP

Rosnące zainteresowanie producentów żywności jakością produktów pochodzenia roślinnego sprzyja poszukiwaniu nowych, obiektywnych metod detekcji ich uszkodzeń. Podstawowymi cechami, jakie powinny spełniać fizyczne metody określania uszkodzeń owoców są: bezinwazyjność i prostota działania [17]. Niewątpliwie taką metodą jest termografia, która w sposób zdalny i bezkontaktowy umożliwia w czasie rzeczywistym uzyskiwanie rozkładów temperatury na powierzchni badanych obiektów. Metoda ta

---

\*Pracę wykonano częściowo w ramach projektu badawczego nr 3PO6R 092 22 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002-2004.

polega na obserwacji i zapisie rozkładu promieniowania w zakresie podczerwieni termalnej, emitowanego przez dowolne ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Urządzenia termograficzne (termowizory) wizualizują to promieniowanie, w wyniku czego otrzymuje się mapę termalną badanego obiektu.

W ostatnich kilku latach prowadzone są badania nad wykorzystaniem termografii do określania jakości produktów pochodzenia roślinnego. Dotyczą one określania cech fizjologicznych materiałów roślinnych na podstawie charakterystyk cieplnych, np. określanie zdolności kiełkowania nasion na podstawie badania temperatury ich powierzchni we wczesnej fazie pęcznienia [2], określanie odporności roślin na stres wodny, solny, tlenowy lub temperaturowy [1,3,6,9,13,20]. W przypadku badania jakości owoców metoda termografii okazała się użyteczna podczas przechowywania i technologii ich przetwarzania. Stosowane są metody i systemy kontroli czasu suszenia owoców pozwalające określić moment, w którym proces powierzchniowego suszenia kończy się a rozpoczyna się wysychanie skórki owocu [5]. Analiza obrazów termalnych owoców, często w połączeniu z analizą zobrażeń w świetle widzialnym, jest wykorzystywana do oceny średnicy owoców w sadzie, a więc do wczesnego szacowania plonu [12]. Termografia wykorzystywana jest również do określania stresu owoców po zbiorze przy różnej intensywności ich transpiracji [7,8]. Prowadzone są także prace nad określaniem dojrzałości i mączystości jabłek oraz różnic własności mechanicznych między odmianami z wykorzystaniem pomiaru termograficznego [8]. Wykorzystanie termografii oraz spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni pozwoliło na określenie współczynników emisyjności produktów rolniczych i sadowniczych. Stwierdzono, że współczynnik emisyjności powierzchni owoców i powierzchni liści zawierają się w zakresie 0,95-0,98 [7,8].

Istotnym zagadnieniem w określeniu jakości jabłek i w trakcie sortowania jest opracowanie metody detekcji obić owoców powstających podczas ich zbioru i transportu. Do detekcji uszkodzeń mechanicznych jabłek stosuje się różne metody, takie jak zobrażenia rentgenowskie [13,16], rezonans magnetyczny [21], analiza promieniowania odbitego w bliskiej podczerwieni [10,15,18], zobrażenia hyperspektralne (od 0,43 do 0,9  $\mu\text{m}$  z rozdzielczością spektralną 0,374  $\mu\text{m}$ ) [14].

Istnieją metody klasyfikacji owoców wykorzystujące zobrażenia w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni (do 3  $\mu\text{m}$ ) [4,11], umożliwiające wykrywanie uszkodzeń mechanicznych i zaburzeń fizjologicznych odwzorowujących się na powierzchni. Stworzone zostały nawet wizyjne systemy sortowania, przeprowadzające pełnospektralną analizę koloru różnych odmian owoców i warzyw [18]. Metody te korzystają z zaawansowanych procedur przetwarzania i analizy obrazów, z sieciami neuronowymi włącznie. Większość z opracowanych do tej pory metod detekcji obić owoców wykazuje niedostatki, szczególnie w przypadku ciemnego koloru skórki owoców lub niewielkich powierzchni obić. Dlatego obserwuje się rosnące zainteresowanie metodą zobrażeń termalnych do wczesnego wykrywania obić owoców. Prace

Varitha i in. [16] wskazują na występowanie innej temperatury powierzchni jabłka obitego niż części bez obicia, co autorzy wiążą z hipotezą, iż tkanki po obiciu zmieniają swoje właściwości cieplne (dyfuzyjność cieplna) na skutek utraty w nich wilgoci i powstawania skorkowaciałej tkanki o mniejszej gęstości. Autorzy ci dokonali obserwacji temperatury jabłek po silnym obiciu (upuszczenie jabłka z wysokości 0,46 m) i przechowywaniu ich w temperaturze 26°C przy wilgotności 50%.

Celem niniejszej pracy było zbadanie przydatności metody termografii dynamicznej do wykrywania niewielkich uszkodzeń mechanicznych tkanki jabłek spowodowanych słabym obiciem (upuszczanie owoców z wysokości 25 cm) oraz określenie czasu, po jakim uszkodzenia te najlepiej odwzorowują się dla wybranych trzech odmian jabłek.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na jabłkach: Jonagold, Ligol i Gloster. Owoce badano bezpośrednio po zbiorze w roku 2004. Materiał badawczy obejmował 30 jabłek każdej z odmian.

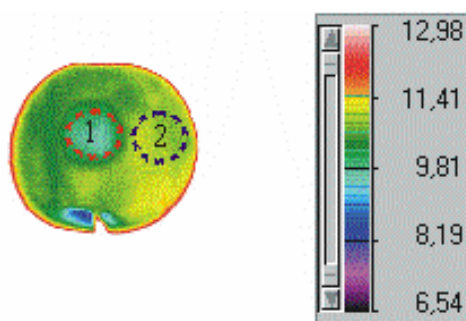
Obicia jabłek uzyskiwano przez upuszczanie ich z wysokości 25 cm na gładką, ceramiczną powierzchnię. Przed i po pomiarze temperatury radiacyjnej jabłka przechowywane były w temperaturze 1,5°C przez okres około jednej doby. Zobrazowania termalne powierzchni jabłek z obiciem uzyskiwano kamerą AGEMA 880 LWB pracującą w zakresie 8-13µm. Dodatkowo system pomiarowy wyposażony był w kamerę CCD pracującą w zakresie światła widzialnego. System ten pozwala na odczyt temperatury radiacyjnej z dokładnością 0,1°C. Interfejs i oprogramowanie tego systemu zostały opracowane w Instytucie Elektroniki Politechniki Łódzkiej [19]. Dokonywano 12 minutowych rejestracji temperatury radiacyjnej powierzchni poszczególnych owoców z obiciami w trakcie ogrzewania ich w temperaturze otoczenia 25°C.

Pomiary temperatury radiacyjnej owoców prowadzono w ustalonych i kontrolowanych warunkach zewnętrznych. Wymagało to termostatowania laboratorium oraz instalacji czujników temperatury powietrza, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego. Wszystkie serie pomiarowe przeprowadzono w temperaturze powietrza 25°C, przy wilgotności względnej 60%, w świetle dziennym.

Pomiary prowadzono z odległości 1,5 m. Kamery ustawiono pionowo nad obiektem badań. Dokonywano rejestracji sekwencji obrazów w odstępach czasowych co 0,5 minuty. Korzystając z danych literaturowych przyjęto dla wszystkich zobrazowań wartość współczynnika emisyjności jabłek równą 0,98.

Jędrność oznaczano penetrometrem włoskiej firmy Facchini, model FT 327, przy użyciu końcówki o średnicy 11,3 mm. Na każdym jabłku wykonano trzy

pomiary (przy szypułce, w części środkowej owocu i przy kielichu). Wartość oznaczeń jędrności podano w kG. Zawartość ekstraktu oznaczano przy użyciu refraktometru Abbego firmy Zeiss w temperaturze 20°C. Każde jabłko poddane było 2 oznaczeniom – po jednym z obu przeciwległych stron. Zawartości ekstraktu podano w %.



**Rys. 1.** Przykładowy termogram jabłka z zaznaczonymi przerywaną linią obszarami obejmującymi powierzchnię obitą (1) oraz nienaruszoną (2)

**Fig. 1.** An example of a thermal image of an apple with dotted lines marking bruised (1) and sound (2) surfaces



**Rys. 2.** Zdjęcie jabłka z obiciem po przekrojeniu  
**Fig. 2.** Photo of a bruised apple after cutting

Dwie, dwadzieścia sześć i pięćdziesiąt godzin po wykonaniu obicia rejestrowano dwunastominutowe sekwencje obrazów termalnych. Na każdym obrazie z sekwencji utworzono pola obejmujące fragment obitego jabłka oraz powierzchnię bez obicia (rys. 1). Dla tych powierzchni dokonano statystyki temperatury obejmującej ilość pikseli w polu, wartości ekstremalne temperatury, wartość średnią temperatury oraz jej odchylenie standardowe. Po wykonaniu wszystkich pomiarów krojono jabłka, aby określić wielkości i głębokości obić (rys. 2).

## WYNIKI BADAŃ

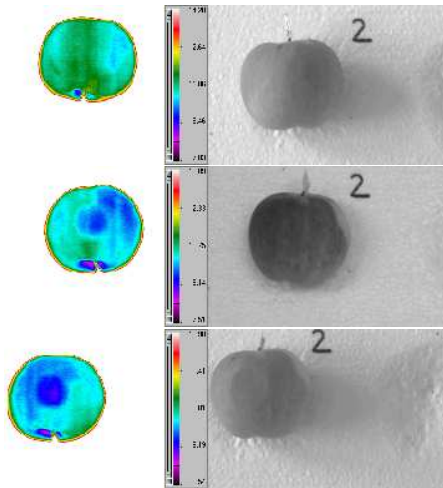
Na podstawie uzyskanych zmian temperatury radiacyjnej na powierzchni jabłek z obiciami w procesie grzania dokonano analizy wykrywalności obić na termogramach. Podstawowym założeniem było, że tkanki jabłek uszkodzonych i nieuszkodzonych mechanicznie wykazują inne właściwości cieplne i dlatego intensywność wymiany ciepła z otoczeniem jest inna w obu przypadkach. Termogramy (rys. 3, 5 i 7) przedstawiają przykłady rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni jabłek kolejno dla odmian Jonagold, Ligol i Gloster w kolejnych fazach doświad-

czenia. Dla trzech badanych odmian w pierwszej fazie po obiciu (2 godziny) nie stwierdzono na termogramach wyraźnego kontrastu termicznego między ustalonymi polami. Pojawił się on w poszczególnych zobrazeniach sekwencji wykonanych po 26 i 50 godzinach. Szczególnie w ostatniej fazie eksperymentu (po 50 godzinach) kontrast termalny był bardzo wyraźny, szczególnie dla badanych jabłek odmiany Jonagold i Ligol. Należy przy tym podkreślić, że ślad obicia w wielu przypadkach występował tylko na termogramach i nie był w ogóle zauważalny na zdjęciach wykonanych w świetle widzialnym (prawa część rysunków 3, 5 i 7).

Za podstawowy wskaźnik wykrywalności obić na termogramie przyjęto różnicę średniej temperatury wszystkich pikseli pola obejmującego uszkodzoną część jabłka oraz pola części nieuszkodzonej. Dla wszystkich badanych jabłek oraz trzech terminów obserwacji, tj. po 2, 26 i 50 godzinach od powstania obić, wykonano wykresy przebiegu średnich wartości temperatury dla badanych pól oraz przebiegu różnic średnich wartości temperatury dla tych pól. Rysunki 4, 6 i 8 przedstawiają takie wykresy dla trzech jabłek badanych odmian. Stwierdzono, że niezależnie od odmiany oraz terminu po obiciu, średnia temperatura obitej części jabłka była niższa od części z tkanką nieuszkodzoną. Słupki na wykresach przebiegów temperatury obu pól przedstawiają przedziały zmian temperatury dla wszystkich pikseli w obrębie tych pól. W wielu przypadkach różnice temperatury między częścią obitą i nie obitą były tak duże, że nie występowały wspólne przedziały temperatury między tymi polami i w związku z tym nie było konieczne stosowanie szczegółowych analiz statystycznych i metod przetwarzania obrazu do identyfikacji obić.

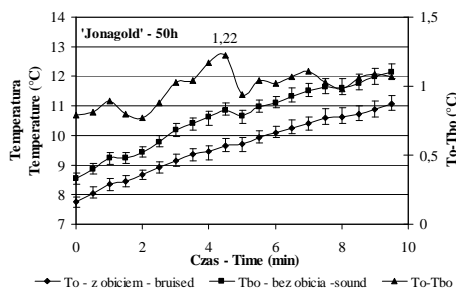
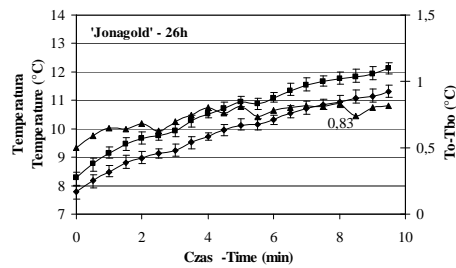
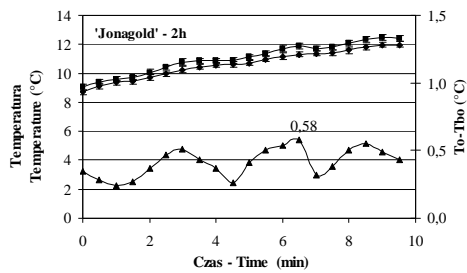
Z trzech wykresów wykonanych dla zobrażeń uzyskanych 2 godziny po obiciu wynika, że obicia w tych przypadkach nie mogą być wykrywane, gdyż prawie zawsze zakresy zmian temperatury pokrywają się. Z kolei termogramy uzyskane 26 i 50 godzin po obiciu wskazują, że z wyjątkiem odmiany Gloster zakresy temperatur w obrębie wybranych pól nie nakładają się, co pozwala precyzyjnie identyfikować obicia na obrazach termalnych. Przebiegi różnic średnich wartości temperatury radiacyjnej wybranych pól (dodatkowa oś na rysunkach 4, 6 i 8) zawierają informacje o zróżnicowaniu temperatury w poszczególnych fazach ogrzewania się badanych owoców, a dodatkowo nad punktem maksimum różnic temperatury podano jej wartość liczbową.

Dla wszystkich badanych jabłek w pierwszej fazie doświadczenia (2 godz. po obiciu) różnice średniej temperatury między wyznaczonymi polami nie przekraczały  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Dla kolejnego terminu pomiarowego (26 godz. po obiciu) różnice te osiągnęły maksymalną wartość  $1,3^{\circ}\text{C}$ . Dla tych dwóch terminów zdecydowanie najmniejsze różnice średnich wartości temperatury wystąpiły dla odmiany Gloster (maksymalnie do  $0,8^{\circ}\text{C}$ ). Największe różnice średniej temperatury wybranych pól wystąpiły po 50 godzinach od obicia jabłek dla odmian Jonagold i Ligol.



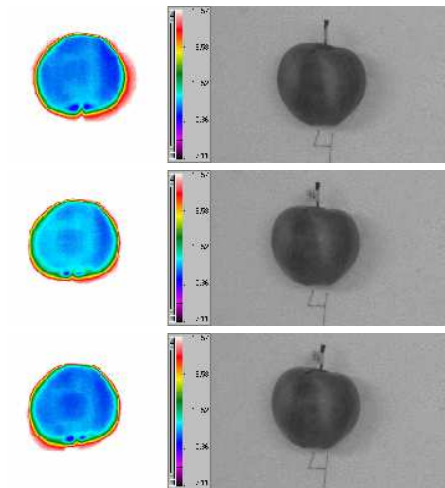
**Rys. 3.** Termogramy (z lewej) oraz obraz w świetle widzialnym (z prawej) obitego jabłka Jonagold, kolejno od góry; dwie, dwadzieścia sześć i pięćdziesiąt godzin po obiciu.

**Fig. 3.** Thermograms (left) and visible light images (right) of bruised Jonagold apple, in two, twenty six and fifty hours after bruising (from top to bottom)



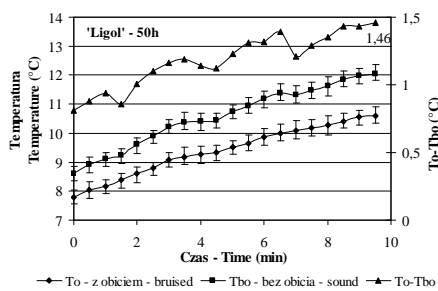
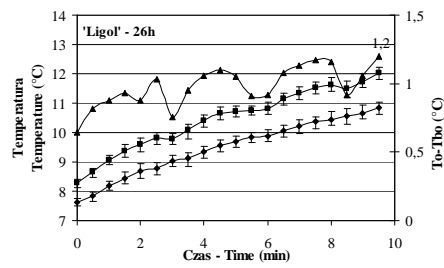
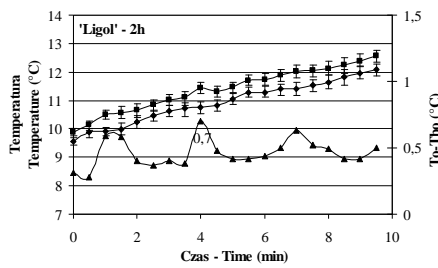
**Rys. 4.** Zmiany temperatury radiacyjnej miejsca obitego ( $T_o$ ) i bez obicia ( $T_{bo}$ ) w czasie ogrzewania jabłka Jonagold w temperaturze otoczenia  $25^{\circ}\text{C}$  oraz przebieg różnic temperatury między badanymi fragmentami jabłka ( $T_o-T_{bo}$ )

**Fig. 4.** Changes of radiation temperature of bruised  $T_o$  and sound tissue during the heating of Jonagold apple in ambient temperature of  $25^{\circ}\text{C}$ , and the course of temperature differences of these parts of apple ( $T_o-T_{bo}$ )



**Rys. 5.** Termogramy (z lewej) oraz obraz w świetle widzialnym (z prawej) obitego jabłka Ligol, kolejno od góry; dwie, dwadzieścia sześć i pięćdziesiąt godzin po obtłuczeniu.

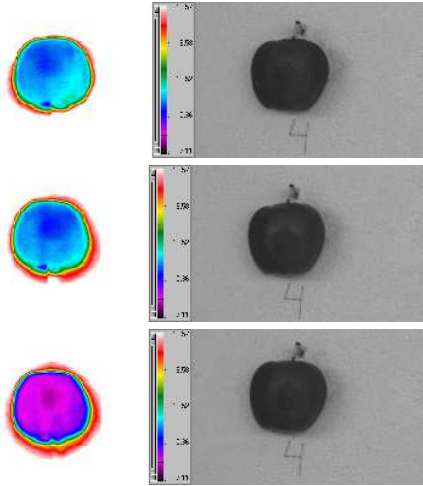
**Fig. 5.** Thermograms (left) and visible light images (right) of bruised apple Ligol, in two, twenty six and fifty hours after bruising (from top to bottom)



—●—  $T_o$  - z obtłuciem - bruised —■—  $T_{bo}$  - bez obtłucia - sound —▲—  $T_o - T_{bo}$

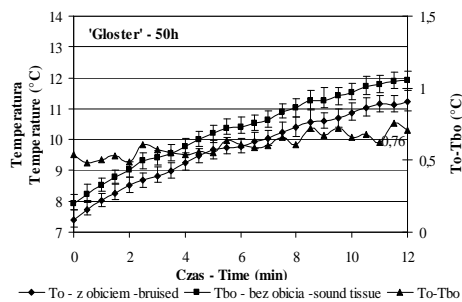
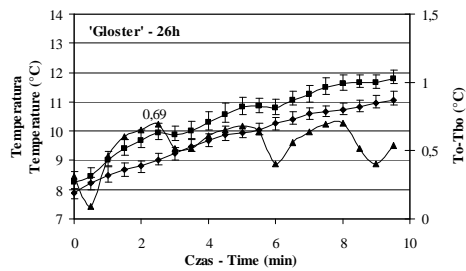
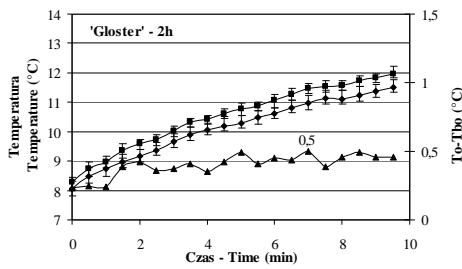
**Rys. 6.** Zmiany temperatury radiacyjnej miejsca obitego ( $T_o$ ) i bez obtłucia ( $T_{bo}$ ) w czasie ogrzewania jabłka Ligol w temperaturze otoczenia 25°C oraz przebieg różnic temperatury otoczenia 25°C oraz przebieg różnic temperatury między badanymi fragmentami jabłka ( $T_o - T_{bo}$ )

**Fig. 6.** Changes of radiation temperature of bruised ( $T_o$ ) and sound tissue ( $T_{bo}$ ) during the heating of Ligol apple in ambient temperature of 25°C and the course of temperature differences of these parts of apple ( $T_o - T_{bo}$ )



**Rys. 7.** Termogramy (z lewej) oraz obraz w świetle widzialnym (z prawej) obitego jabłka Gloster, kolejno od góry; dwie, dwadzieścia sześć i pięćdziesiąt godzin po obiciu.

**Fig. 7.** Thermograms (left) and visible light images (right) of bruised Gloster apple, in two, twenty six and fifty hours after bruising (from top to bottom)



**Rys. 8.** Zmiany temperatury radiacyjnej miejsca obitego ( $T_o$ ) i bez obicia ( $T_{bo}$ ) w czasie ogrzewania jabłka Gloster w temperaturze otoczenia 25°C oraz przebieg różnic temperatury między badanymi fragmentami jabłka ( $T_o-T_{bo}$ )

**Fig. 8.** Changes of radiation temperature of bruised ( $T_o$ ) and sound tissue ( $T_{bo}$ ) during the heating of Gloster apple in ambient temperature of 25°C and the course of temperature differences of these parts of apple ( $T_o-T_{bo}$ )



**Tabela 1.** Zestawienie wartości parametrów uwzględnianych przy identyfikacji obić jabłek trzech odmian uzyskanych na podstawie rozkładów temperatury radiacyjnej wszystkich badanych jabłek w 50 godzin po obiciu

**Table 1.** Comparison of the values of parameters taken into account in identification of apple bruises of three apple varieties, obtained on the basis of radiation temperature measured 50 hours after bruising in all the investigated apples

Odmiana Variety	Czas ogrzewania się do wystąpienia największej różnicy temperatury Heating time till the highest temperature difference is reached (min)	Maksymalna stwierdzona różnica temperatury Highest temperature difference (°C)	Średnia		Ilość zidentyfikowanych obić Percentage of identified bruises (%)
			Jędrność owoców Mean fruit firmness (kG)	Zawartość ekstraktu Mean extract content (%)	
Jonagold	4,5	1,25	4,8	11,9	100
Ligol	9,5	1,46	5,9	11,3	95
Gloster	8,5	0,98	5,6	13,9	85

W tabeli 1 przedstawiono zestawione dla wszystkich przebadanych jabłek wartości czasu w rejestrowanej sekwencji, po którym wystąpiły największe różnice temperatury oraz ich wartości dla badanych odmian. Odmiany Jonagold i Ligol wykazały występowanie różnic temperatury między częścią obitą i nie obitą wyższych niż 1°C. Jednocześnie stwierdzono największą wykrywalność śladu termalnego obicia na powierzchni jabłka w przypadku odmiany Jonagold (procent zidentyfikowanych obić). Porównanie średniej jędrności oraz zawartości ekstraktu w jabłkach badanych odmian wykazuje najwyższą średnią wartość ekstraktu w jabłkach odmiany Gloster, jednocześnie przy wysokiej jędrności. Po przekrojeniu jabłek tej odmiany po eksperymencie stwierdzano najmniejszy obszar i głębokość uszkodzenia tkanki. Wyniki te wskazują na konieczność kontynuowania badań związku jędrności i zawartości ekstraktu z podatnością na obicia tej odmiany.

#### WNIOSKI

1. Obserwacja termograficzna jabłek z mechanicznymi uszkodzeniami tkanki umożliwia identyfikację obszaru uszkodzenia. Ślad termalny obitej części jabłka powstaje w wielu przypadkach zanim uszkodzenie to można zauważyć w świetle widzialnym.

2. Różnica temperatury powierzchni między zdrową a uszkodzoną mechanicznie częścią jabłka w procesie ogrzewania się owoców do temperatury pokojo-

wej (od 1,5 do 25°C) zależy od czasu, jaki upłynął od momentu uszkodzenia oraz od czasu grzania. Dla jabłek badanych odmian Jonagold, Ligol i Gloster największe różnicowania temperatury między częścią obitą i zdrową występowały po 26 i 50 godzinach od momentu uszkodzenia. W czasie pierwszych kilku godzin po obiciu zróżnicowanie to jest na tyle niewielkie, że nie może być stosowane w kontroli obić tą metodą.

3. Spośród badanych trzech odmian jabłka Gloster wykazywały najmniejsze różnice temperatury między częścią obitą i nieuszkodzoną. Jabłka tej odmiany charakteryzowały się najwyższą zawartością ekstraktu przy wysokiej jędrności.

4. W celu opracowania metody automatycznej selekcji jabłek ze względu na obicia konieczne jest kontynuowanie tych badań na większej liczbie odmian i przy szczegółowej analizie właściwości cieplnych tkanki jabłek.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Zastosowanie termografii do badania stresu wodnego roślin i ewapotranspiracji rzeczywistej. *Acta Agrophysica*, 21, 1999.
2. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** The use of thermography for pre-sowing evaluation of seed germination capacity. *Proceedings of the International Conference on Quality in Chain*, 6-9 July Wageningen, The Netherlands, Editors Tijskens&Vollebregt, *Acta Horticulturae*, 604, (2), 459-465, 2003.
3. **Chaerle L., De Boever F., Van Der Straeten D.:** Infrared detection of early biotic and wound stress in plants. *Termology International*, 12/3, 100-106, 2002.
4. **Dobrzański, jr B., Rybczyński R.:** Colour change of apple as a result of storage, shelf-life and bruising. *Int. Agrophysics*, 16, (4), 261-268, 2002.
5. **Fito P.J., Ortolá M.D., De los Reyes R., Fito P., De los Reyes E.:** Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography. *J. Food Engin.*, 61, 287-290, 2004.
6. **Fuller M.P., Wisniewski M.:** The use of infrared thermal imaging in the study of ice nucleation and freezing of plants. *J. Therm. Biol.*, 23 (2), 81-89, 1998.
7. **Hellebrand H.J., Linke M., Beuche H., Brehme U., Geyer S., Dammer K.H.:** Application of Infrared Imaging in Agriculture and Horticulture. *International Workshop for Young Scientists BioPhys Spring*, 2003.
8. **Hellebrand H.J., Linke M., Beuche H., Herold B., Geyer M.:** Horticultural products evaluated by thermography. *AgEng*, Warwick, 26-26, 2000.
9. **Jacobi K.K., MacRae E.A., Hetherington S.E.:** Postharvest heat disinfestations treatment of mango fruit. *Scientia Horticulturae*, 89, 171-193, 2001.
10. **Kuczyński A.P., Varoquaux P., Souty M.:** Reflectance spectra of 'ready-to-use' apple products for determination of enzymatic browning. *Int. Agrophysics*, 7, 85-92, 1993.
11. **Pajuelo M., Baldwin G., Rabal H., Cap N., Arizaga R., Trivi M.:** Bio-speckle assessment of bruising in fruits. *Optics and Lasers in Engineering*, 40, 13-24, 2003.
12. **Stajanko D., Lakota M., Hocevar M.:** Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42, 31-42, 2004.

13. **Suzuki K., Tajima T., Takano S., Asano T., Hasegawa T.:** Nondestructive methods for identifying injury to vapor heat-treated papaya, *J. Food Sci.*, 59, 855-857, 875, 1994.
14. **Upchurch B.L., Affeldt H.A., Hruschka W.R., Norris K.H., Troop J.A.:** Spectrophotometric study of bruises on whole, "Red Delicious" apples. *Transactions of the ASAE*, 33 (2), 585-589, 1990.
15. **Upchurch B.L., Throop J.A., Aneshansley D.J.:** Influence of time, bruise-type, and severity on near-infrared reflectance from apple surfaces for automatic bruise detection. *Transactions of the ASAE*, 37 (5), 1571-1575, 1994.
16. **Varith J., Hyde G.M., Baritelle A.L., Fellman J.K., Sattabongkot T.:** Non-contact bruise detection in apples by thermal imaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4, 211-218, 2003.
17. **Walczak R.T., Baranowski P., Mazurek W.:** Application of thermography in agrophysics, Training Course for Young Research Workers "Physicochemical and Physical Methods of Studies of Soil and Plant Materials. Theory and Practice", IAPAS, Lublin, 27.11-2.12, 111-117, 2003.
18. **Wen Z., Tao Y.:** Dual-camera NIR/MIR imaging for stem-end/clayx identification in apple defect sorting. *Transaction of the ASAE*, 43 (2), 449-452, 2000.
19. **Więcek B., Zwolenik S.:** Multichannel thermography systems for real-time and transient thermal process application. *Quantitative Infrared Thermography QIRT'98*, Politechnika Łódzka, 7-10.09, 322-325, 1998.
20. **Workmaster B.A., Palta J.P., Wisniewski M.:** Ice nucleation and propagation in cranberry uprights and fruit using infrared video thermography. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124(6), 619-625 1999.
21. **Zion B., Chen P., McCarthy M.:** Detection of bruises in magnetic resonance images of apples. *Comput Electron Agric.*, 13, 289-99, 1995.

## DETECTION OF APPLE BRUISES WITH THE USE OF THERMOGRAPHY

*Piotr Baranowski<sup>1</sup>, Janusz Lipecki<sup>2</sup>, Wojciech Mazurek<sup>1</sup>, Ryszard T. Walczak<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

<sup>2</sup>Department of Pomology Agricultural University ul. Leszczyńskiego 58, 20-068 Lublin  
e-mail: pbaranow@demeter.ipan.lublin.pl

**Abstract.** This paper presents methodology of measurement and the results of investigations on detection of mechanical damage to apples with the use of thermography. Three varieties of apples were studied: Jonagold, Ligol and Gloster. Apples were bruised by dropping them from 0.25 m onto a smooth, ceramic surface. Before and after the measurement of radiation temperature, apples were stored at the temperature of 1.5°C. Thermal images of apple surface with bruises were obtained with the use of AGEMA 880 LWB system during 12-minute session of heating of apples at ambient temperature of 25°C. In each thermogram two surfaces were selected, first covering the bruised surface of the fruit and second, the surface of sound tissue. The obtained courses of temperature changes of both surfaces during the heating process showed, for all the studied varieties, the occurrence of temperature differences between bruised and sound parts in the range of 0.5-1.5°C. The highest differences of radiation temperature were noticed for Jonagold variety and the lowest for Gloster variety, which is determined by the highest differences in firmness between these two varieties.

**Key words:** dynamic thermography, fruit bruise, fruit heat properties