

LABORATORYJNE BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ WYKORZYSTANIA  
TEMPERATURY POWIERZCHNI OWOCÓW DO OKREŚLANIA  
INTENSYWNOŚCI PAROWANIA JAKO ISTOTNEGO PARAMETRU  
OCENY JAKOŚCI OWOCÓW\*

*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, Akademia Rolnicza, ul. Leszczyńskiego 58, 20-950 Lublin  
e-mail: pbaranow@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** Transpiracja odgrywa istotną rolę w bilansie wodnym owoców. W warunkach transportu i przechowywania owoców nawet krótkotrwałe zmiany temperatury otoczenia mają wpływ na intensywność transpiracji, a w konsekwencji na jakość owoców. Niniejsza praca przedstawia zastosowanie metody termografii do określania intensywności parowania z owoców. Obiektem badań były jabłka odmian: Jonagold, Ligol i Gloster oraz śliwki odmian: Top, Bluefire i President. Pomiary temperatury radiacyjnej owoców prowadzono dla trzech wartości temperatury otoczenia, tj. 11, 18 i 23°C w ciągu kolejnych trzech dób. Do rejestracji rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni owoców wykorzystano system składający się z kamery termograficznej AGEMA 880 LWB (8-13 μm) oraz kamery CCD pracującej w zakresie światła widzialnego. W warunkach doświadczenia stwierdzono występowanie różnic między temperaturą radiacyjną powierzchni owoców a temperaturą powietrza dochodzących nawet do 2,3°C zarówno dla jabłek jak i dla śliwek. Współczynniki transpiracji jabłek i śliwek badanych odmian dla trzech wartości temperatury otoczenia (11, 18 i 23°C) różniły się istotnie. Dla jabłek wynosiły one od 0 do  $1 \cdot 10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup>, natomiast dla śliwek od 0 do  $7 \cdot 10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup>.

**Słowa kluczowe:** termografia, transpiracja owoców, współczynnik transpiracji

## WSTĘP

Warunki przechowywania i transportu owoców mają duży wpływ na ich jakość. Nieodpowiednia temperatura, wilgotność względna powietrza i skład gazowy atmosfery powodują straty masy owoców poprzez proces transpiracji i oddychania [13,14]. Stwierdzono, że kilkuprocentowy ubytek masy jabłek może niekorzystnie wpłynąć na ich wygląd, a zatem ich wartość handlową [12]. Transpiracja odgrywa zasadniczą rolę

---

\* Praca częściowo finansowana z projektu badawczego KBN nr 3PO6R 092 22.

w bilansie wodnym owocu. W ostatnich latach prowadzone są badania nad transpiracją owoców w trakcie wzrostu, jak również ich przechowywania [4-9]. Badania te dotyczą wpływu warunków klimatycznych i glebowych w sadzie, takich jak wilgotność względna powietrza, radiacja słoneczna, intensywność ruchu powietrza, ilość opadów [3,10,11,13,14]. Stwierdzono, że lokalizacja i nasłonecznienie poszczególnych części owoców w istotny sposób modyfikują tempo transpiracji. Odnotowano również związek między transpiracją liści a transpiracją owoców.

Budowa fizjologiczna owocu jak i stadium jego rozwoju, a szczególnie różnice grubości skórki i wielkości kielicha mogą prowadzić do wzrostu o 60% transpiracji owoców [12].

Bilans wodny owocu jest określony poprzez transport wody do owocu, poprzez wsteczny przepływ z owocu do innych części rośliny oraz przez transpirację z kutykuli w przypadku, gdy skórka owocu nie zawiera aparatów szparkowych [8].

Podstawową metodą określania transpiracji z owoców jest mierzenie ubytków wody przypadających na jednostkę powierzchni owocu w jednostce czasu. Zakładając, że głównym motorem transportu pary wodnej z owocu do atmosfery jest gradient prężności pary wodnej między skórką owocu a otaczającym powietrzem, można zastosować pierwsze prawo dyfuzji Ficka dla warunków stacjonarnych w postaci

$$E_{toa} = P_v \cdot VPD_{oa} \quad (1)$$

$$VPD_{oa} = e_o - e_a \quad (2)$$

gdzie:  $E_{toa}$  – gęstość strumienia transpiracji z owocu ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $P_v$  – współczynnik dyfuzji molekularnej pary wodnej między owocem a otaczającym powietrzem ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ ),  $VPD_{oa}$  – niedosyt prężności pary wodnej między powierzchnią owocu a otaczającym powietrzem (kPa),  $e_o$  – prężność pary wodnej wewnątrz owocu (kPa),  $e_a$  – prężność pary wodnej w powietrzu (kPa).

Wewnątrz kutykuli prężność pary wodnej jest bliska nasyceniu, dlatego:

$$e_o = e^*(T_o) \quad (3)$$

gdzie:  $e^*$  – prężność pary wodnej nasyconej (kPa) w temperaturze powierzchni owocu  $T_o$  (K).

Jak wynika z równań 1 i 3 temperatura powierzchni owoców jest istotnym parametrem niezbędnym do wyznaczenia niedosytu prężności pary wodnej pomiędzy powierzchnią owocu i otaczającym go powietrzem, a co za tym idzie do wyznaczenia transpiracji z owocu. Wielu badaczy próbowało uprościć równanie ze względu na brak możliwości pomiaru temperatury powierzchni owocu. Przyjęli oni, że temperatura ta równa jest dla każdych warunków temperaturze otaczającego powietrza, co prowadzi

do równania wyrażającego transpirację postaci:

$$E_{ta} = \frac{\rho c_p}{L\gamma} k_a VPD_a \quad (4)$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość powietrza ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $L$  – ciepło utajone parowania (równe  $2448000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  $\gamma$  – stała psychrometryczna ( $\text{kPa}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $k_a$  – współczynnik transpiracji ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $VPD_a$  – niedosyt prężności pary wodnej w powietrzu ( $\text{kPa}$ ).

Równanie (4) jest stosowalne wyłącznie w warunkach braku turbulencyjnego ruchu powietrza i radiacji słonecznej, a więc np. dla przechowalni owoców.

Celem niniejszej pracy było określenie zmian tempa transpiracji z owoców trzech odmian jabłek i trzech odmian śliwek w kontrolowanych warunkach zewnętrznych przy trzech poziomach wartości temperatury otoczenia z wykorzystaniem termograficznego pomiaru temperatury parującej powierzchni owoców.

#### MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań były jabłka odmian: Jonagold, Ligol i Gloster oraz śliwki odmian: Top, Bluefre i President (30 owoców każdej odmiany). Materiał badawczy pochodził z sadu bezpośrednio po zbiorze w roku 2004.

Przed rozpoczęciem serii pomiarowej owoce przechowywane były w temperaturze  $1,5^\circ\text{C}$  przez pięć dni. Następnie przeniesiono je do termostatowanego pomieszczenia. W ciągu trzech dób kolejno prowadzono pomiary temperatury radiacyjnej owoców dla trzech poziomów temperatury otoczenia, tj. 11, 18 i  $23^\circ\text{C}$ . Do rejestracji rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni owoców wykorzystano system składający się z kamery termograficznej AGEMA 880 LWB (8-13  $\mu\text{m}$ ) oraz kamery CCD pracującej w zakresie światła widzialnego [1,2,15].

Zobrazowania powierzchni wykonywane były z wysokości 1,5 m, a kamery były ustawione pionowo nad obiektem badań. Dokonywano pojedynczych rejestracji temperatury radiacyjnej powierzchni poszczególnych owoców co 2-3 godziny. Współczynnik emisyjności owoców 0,98 przyjęto z danych literaturowych. Owoce oświetlane były tylko w momencie wykonywania pomiaru temperatury radiacyjnej jak i podczas ich ważenia słabym światłem sztucznym. Prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniu była mniejsza niż  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Po każdej rejestracji termograficznej oznaczano masę poszczególnych owoców z dokładnością 0,001 g.

Bezpośrednio po zakończeniu serii pomiarowej temperatury radiacyjnej oznaczono jędrność owoców penetrometrem Facchini, model FT 327 (końcówka o średnicy 11,3 mm) oraz zawartość ekstraktu przy użyciu refraktometru Abbego firmy Zeiss w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ .

W trakcie prowadzenia eksperymentu była rejestrowana w piętnastominutowych odstępach czasowych temperatura i wilgotność względna powietrza oraz temperatura punktu rosy i ciśnienie powietrza. Czujniki umieszczone były w odległości kilkunastu centymetrów od owoców.

W celu wyznaczenia powierzchni owoców dokonano dla każdego z nich pomiarów średnicy w płaszczyznach poziomej i pionowej przy użyciu suwmiarki. Przyjęto, że średnia wartość tych dwóch odczytów stanowi średnicę kuli, której powierzchnię przyjęto jako powierzchnię owocu.

Zmiana masy owoców w czasie posłużyła do wyliczenia ubytków wody UW oraz transpiracji  $E_t$  z owoców wg wzorów:

$$UW = \frac{\Delta m}{m_0} \cdot \frac{1}{t} \quad (5)$$

$$E_t = \frac{\Delta m}{t \cdot S} \quad (6)$$

gdzie:  $\Delta m$  – różnica masy owocu między kolejnymi ważeniami (kg),  $m_0$  – masa początkowa owocu (kg),  $t$  – czas między kolejnymi ważeniami (s),  $S$  – powierzchnia owocu ( $m^2$ ).

W celu porównania wyników pomiaru transpiracji z zastosowaniem równań 1 oraz 4 zarejestrowano przebiegi rozkładu temperatury radiacyjnej na powierzchni poszczególnych owoców i na tej podstawie obliczono niedosyty prężności pary wodnej  $VPD_{oa}$  oraz  $VPD_a$  według wzorów:

$$VPD_{oa} = e^*(T_o) - e(T_a) \quad (7)$$

$$VPD_a = e^*(T_a) - e(T_a) \quad (8)$$

gdzie:  $e^*(T_o)$  oraz  $e^*(T_a)$  – prężności pary wodnej nasyconej odpowiednio w temperaturze powierzchni owocu  $T_o$  i powietrza  $T_a$ , natomiast  $e(T_a)$  – aktualna prężność pary wodnej w temperaturze powietrza  $T_a$ .

Prężności pary wodnej nasyconej  $e^*$  (kPa) z równań 7 i 8 w zależności od temperatury  $T$  ( $^{\circ}C$ ) wyliczono wg metody Tetensa:

$$e^* = \exp\left(\frac{16,78 \cdot T - 117}{T + 237,3}\right) \quad (9)$$

Występująca w równaniu 4 stała psychrometryczna  $\gamma$  (kPa·K<sup>-1</sup>) liczona była wg wzoru:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot p}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (10)$$

gdzie:  $c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu (J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>),  $p$  – ciśnienie atmosferyczne (kPa),  $\varepsilon$  – stosunek masy cząsteczkowej wody do masy cząsteczkowej powietrza suchego równy 0,622,  $\lambda$  – ciepło utajone parowania (J·kg<sup>-1</sup>).

Gęstość powietrza  $\rho$  (kg·m<sup>-3</sup>) liczona była z wykorzystaniem temperatury wirtualnej  $T_v$  (K) wg wzorów:

$$\rho = \frac{1000 \cdot p}{T_v \cdot R} \quad (11)$$

$$T_v = \frac{T_a}{1 - 0,378 \cdot \frac{e(T_a)}{p}} \quad (12)$$

gdzie:  $R$  – stała gazowa 286,9 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>, pozostałe symbole jak wyżej.

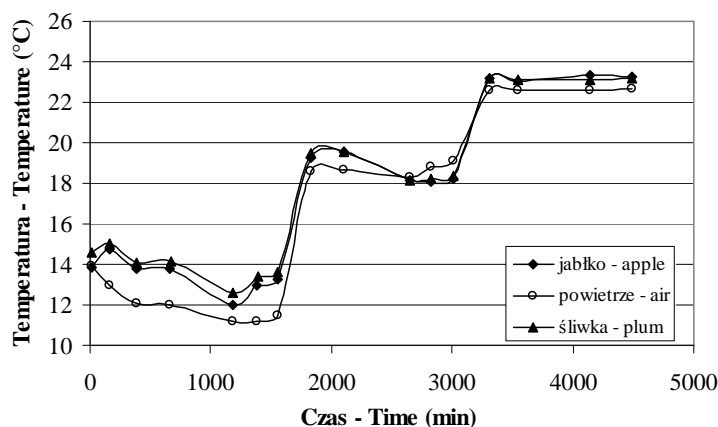
Prężność pary wodnej w temperaturze powietrza  $e(T_a)$  liczona była jako prężność pary wodnej nasyconej w temperaturze punktu rosy  $T_d$ :

$$e(T_a) = e^*(T_d) \quad (13)$$

Wartości transpiracji obliczone metodą wagową oraz wartości niedosytów prężności pary wodnej pozwoliły porównać współczynniki transpiracji  $k_{oa}$  oraz  $k_a$ , wyliczone odpowiednio z równań 1 oraz 4.

## WYNIKI BADAŃ

Uzyskane termogramy rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni owoców jabłek i śliwek poddane zostały analizie polegającej na wydzieleniu powierzchni owoców i wyliczeniu dla nich średniej temperatury, wartości ekstremalnych i odchylenia standardowego temperatury. Przebiegi rozkładu temperatury radiacyjnej owoców porównano z analogicznymi przebiegami temperatury otaczającego owoce powietrza dla trzech zakresów odpowiednio 11,18 i 23°C. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe przebiegi powyższych wielkości dla jabłek i śliwek na tle temperatury otaczającego je powietrza.



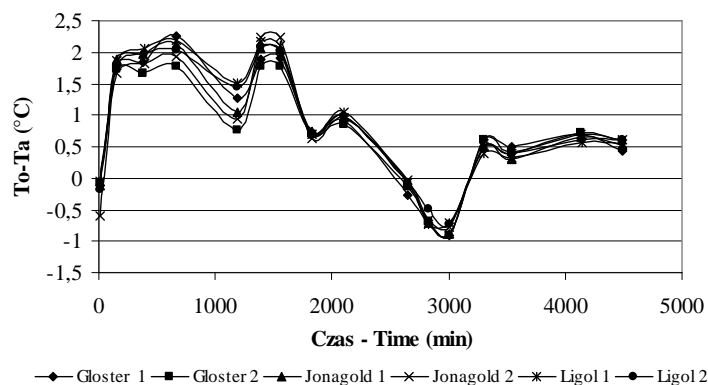
**Rys. 1.** Przykładowe przebiegi wartości temperatury powietrza oraz temperatury radiacyjnej powierzchni jabłek i śliwek podczas doświadczenia

**Fig. 1.** Examples of courses of air temperature and two fruit surface radiation temperature during the experiment

Na wykresie tym widać okresy czasu odpowiadające poszczególnym etapom badania owoców i odpowiadające im zakresy temperatur. Dokładniejsza analiza przebiegu różnic temperatury badanych owoców i temperatury otaczającego je powietrza przedstawiona jest na rysunkach 2 i 3. Stwierdzono, że w najniższym zakresie temperatury przechowywania owoców ( $11^{\circ}\text{C}$ ) różnice te są największe i sięgają do  $2,3^{\circ}\text{C}$  zarówno dla jabłek jak i dla śliwek. Jednocześnie można stwierdzić, że w tym zakresie temperatury otoczenia, w przypadku jabłek, chwilowe wartości różnic  $T_o - T_a$  między poszczególnymi owocami są największe (rys. 2). Natomiast w przypadku śliwek największe różnice  $T_o - T_a$  między poszczególnymi owocami – do  $0,6^{\circ}\text{C}$  – występują w zakresie najwyższych temperatur otoczenia ( $23^{\circ}\text{C}$ ), co przedstawia rysunek 3.

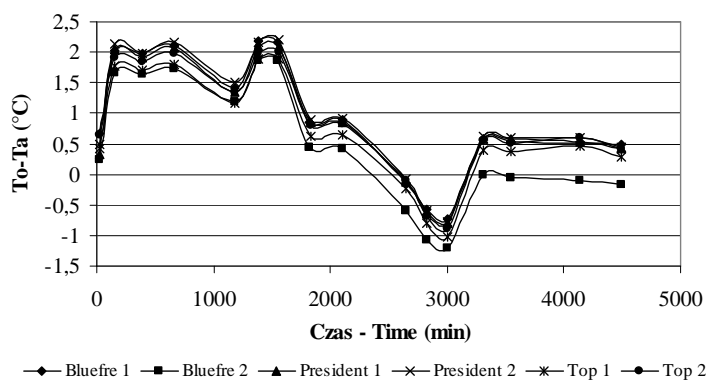
Wyniki pomiaru transpiracji jabłek (rys. 4) oraz śliwek (rys. 5) metodą wagową wskazują na odmienną intensywność tego procesu dla obu rodzajów owoców. Dla trzech badanych zakresów temperatury otoczenia wielkość zmian transpiracji jabłek zawiera się w przedziale od  $1,3$  do  $6,6 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast dla śliwek od  $2$  do  $36 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Zarówno dla jabłek jak i dla śliwek, najwyższe zaobserwowane wartości transpiracji stwierdzono w temperaturze otoczenia  $23^{\circ}\text{C}$ , a najniższe w temperaturze  $11^{\circ}\text{C}$ . Jabłka odmiany Ligol oraz śliwki odmiany President wykazywały najniższe wartości transpiracji. W temperaturze otoczenia  $23^{\circ}\text{C}$  występowały najwyższe różnice transpiracji między poszczególnymi rodzajami owocami. Wśród śliwek zdarzały się owoce (dwa najwyższe przebiegi na rys. 5), które wykazywały kilkakrotnie wyższe wartości transpiracji od pozostałych.

Stwierdzono w nich wycieki soku na powierzchnię owocu. Owoce śliwek po pomiarach termograficznych w trzech zakresach temperatury otoczenia i ważeniach nie nadawały się do pomiarów penetrometrycznych.



**Rys. 2.** Przebiegi różnic temperatury jabłek ( $T_o$ ) i temperatury powietrza ( $T_a$ ) dla trzech badanych odmian (każda w dwóch powtórzeniach oznaczonych 1 i 2) w trakcie doświadczenia

**Fig. 2.** Courses of differences of apple surface temperature ( $T_o$ ) and air temperature ( $T_a$ ) for three studied varieties (each variety in two replications assigned as 1 and 2) during the experiment

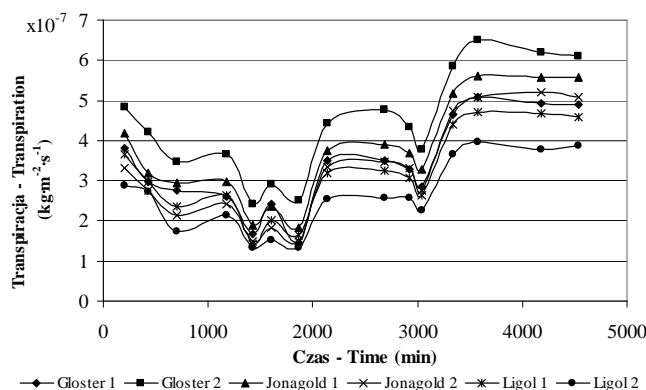


**Rys. 3.** Przebiegi różnic temperatury śliwek ( $T_o$ ) i temperatury powietrza ( $T_a$ ) dla trzech badanych odmian (każda w dwóch powtórzeniach oznaczonych 1 i 2) w trakcie doświadczenia

**Fig. 3.** Courses of differences of plum surface temperature ( $T_o$ ) and air temperature ( $T_a$ ) for three studied varieties (each variety in two replications assigned as 1 and 2) during the experiment

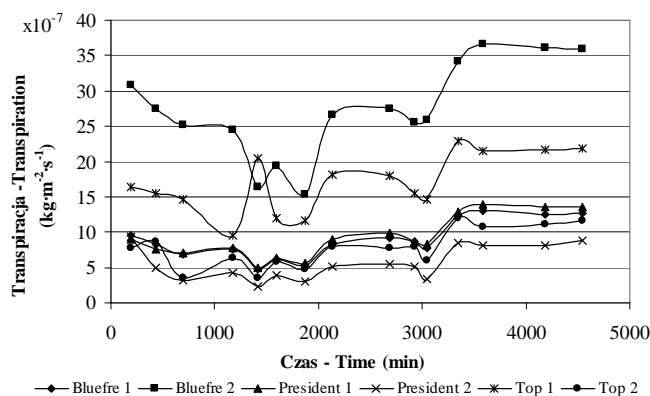
Pomiar temperatury radiacyjnej powierzchni owoców, pomiary parametrów otaczającego owoce powietrza oraz uzyskane metodą wagową wartości intensywności parowania były podstawą do porównania współczynników transpiracji obliczonych

przy założeniu, że temperatura otoczenia równa się temperaturze owocu (współczynnik  $k_a$ ) – równanie 4 oraz przy założeniu, że niedosyt prężności pary wodnej determinujący transpirację zależy od różnicy temperatur powierzchni owocu i powietrza (współczynnik  $k_{oa}$ ) – równanie 2.



**Rys. 4.** Zmiany w czasie transpiracji owoców jabłek badanych odmian (każda w dwóch powtórzeniach oznaczonych 1 i 2) dla trzech poziomów temperatury otoczenia

**Fig. 4.** Transpiration changes in time for investigated varieties (each variety in two replications assigned as 1 and 2) of apples for three levels of ambient temperature



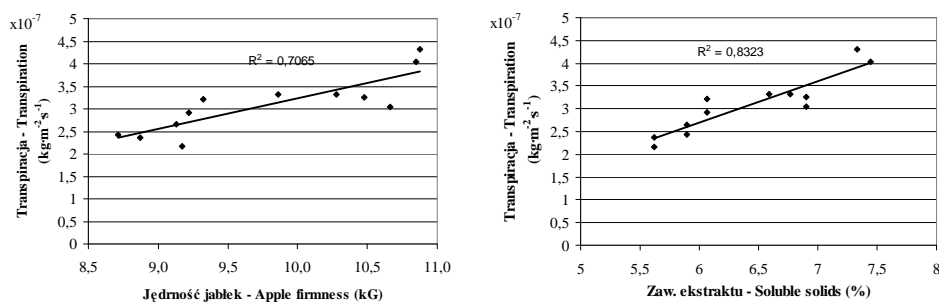
**Rys. 5.** Zmiany w czasie transpiracji owoców śliwek badanych odmian (każda w dwóch powtórzeniach oznaczonych 1 i 2) dla trzech poziomów temperatury otoczenia

**Fig. 5.** Transpiration changes in time for investigated varieties (each variety in two replications assigned as 1 and 2) of plums for three levels of ambient temperature

Pomiary jędrności owoców i zawartości ekstraktu prowadzone były w temperaturze otoczenia 20°C, dlatego do porównania tych dwóch parametrów z inten-



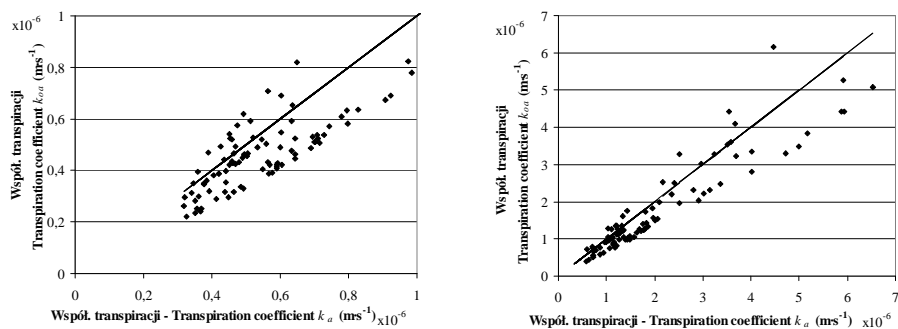
sywnością transpiracji wzięto jej średnie wartości dla poszczególnych jabłek uzyskane dla temperatury otoczenia 18°C (najbardziej zbliżonej do tej w jakiej prowadzono pomiary jędrności i zawartości ekstraktu).



**Rys. 6.** Zależność intensywności transpiracji z owoców jabłek od jędrności (lewa strona) i od zawartości ekstraktu (prawa strona)

**Fig. 6.** Transpiration intensity from apples vs. their firmness (left) and soluble solids content (right)

Wykresy zależności jędrności, zawartości ekstraktu i transpiracji wraz z dopasowanymi liniami regresji liniowej przedstawia rysunek. Wynika z niego, że wraz ze spadkiem jędrności jabłek i zawartości w nich ekstraktu spada intensywność transpiracji. Współczynniki determinacji  $R^2$  dla obydwu modeli regresji liniowej są dla tych zależności stosunkowo wysokie i wynoszą odpowiednio 0,71 i 0,83.



**Rys. 7.** Porównanie współczynników transpiracji wyznaczonych na podstawie równania 1 ( $k_{oa}$ ) oraz równania 4 ( $k_a$ ) dla owoców jabłek (z lewej) i śliwek (z prawej)

**Fig. 7.** Comparison of transpiration coefficient determined on the basis of eq. 1 ( $k_{oa}$ ) and eq. 4 ( $k_a$ ) for apples (left) and plums (right)

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie wartości współczynników transpiracji  $k_a$  i  $k_{oa}$  dla jabłek i śliwek. Prosta oznaczona linią ciągłą na wykresie oznacza sytuację, gdy  $k_a = k_{oa}$ . Stwierdzono, że współczynniki transpiracji wyznaczone obiema metodami dla jabłek zawierają się od 0 do  $10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup> natomiast dla śliwek od 0 do  $7 \cdot 10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup>. Wraz ze wzrostem wartości współczynników transpiracji wzrasta rozproszenie punktów względem prostej  $k_a = k_{oa}$ . Świadczy to o rozbieżności wyników określania transpiracji otrzymanych obiema metodami tym większej im wyższe wartości osiąga transpiracja z owoców, zarówno jabłek jak i śliwek.

Aby określić błąd szacowania współczynnika transpiracji wynikający z uproszczenia, że temperatura parującej powierzchni owocu i temperatura otaczającego powietrza są sobie równe, policzono średni kwadratowy błąd *RMS* (Root Mean Squared error) oraz maksymalny błąd względny  $\delta_{\max}$  liczone wg wzorów:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_{(oa)i} - k_{(a)i})^2} \quad (14)$$

$$\delta_{\max} = \max \left| \frac{k_{(oa)i} - k_{(a)i}}{k_{(oa)i}} \right| \cdot 100\% \quad (15)$$

gdzie:  $k_{(oa)i}$  – i-ta wartość współczynnika  $k_{oa}$ ,  $k_{(a)i}$  – i-ta wartość współczynnika  $k_a$ ,  $n$  – liczebność próby.

**Tabela 1.** Wyniki analizy statystycznej średniego kwadratowego błędu *RMS* oraz maksymalnego błędu względnego  $\delta_{\max}$  dla współczynników transpiracji

**Table 1.** Results of statistical analysis of root mean square error *RMS* and maximum relative error  $\delta_{\max}$  for transpiration coefficients

Owoc	$n$	<i>RMS</i> (m·s <sup>-1</sup> )	$\delta_{\max}$ (%)
Jabłka – Apples	90	$1,24 \cdot 10^{-7}$	52,3
Śliwki – Plums	90	$5,64 \cdot 10^{-7}$	51,6

Analiza statystyczna przedstawiona w tabeli 1 wskazuje, że średni kwadratowy błąd *RMS* dla współczynników transpiracji jest wyższy w przypadku śliwek.

Maksymalny błąd względny  $\delta_{\max}$  zarówno dla jabłek jak i śliwek przyjmuje wartość około 50%, co świadczy o istotnej modyfikacji współczynnika transpiracji w przypadku, gdy niedosyt prężności pary wodnej pomiędzy parującą powierzchnią owocu a otaczającym powietrzem zastępuje się niedosytem prężności pary wodnej w powietrzu. Dlatego wykorzystanie termografii w badaniach transpiracji z owoców w warunkach przechowywania może mieć wpływ na poprawę dokładności szacowania intensywności ubytków wody z owoców.

## WNIOSKI

1. Pomiar temperatury radiacyjnej powierzchni owoców może być wykorzystywany do kontroli warunków ich przechowywania i monitorowania intensywności transpiracji.
2. W warunkach doświadczenia stwierdzono występowanie różnic między temperaturą radiacyjną powierzchni owoców a temperaturą powietrza dochodzących nawet do 2,3°C zarówno dla jabłek jak i dla śliwek.
3. Współczynniki transpiracji jabłek i śliwek badanych odmian dla trzech wartości temperatury otoczenia (11, 18 i 23°C) różnią się istotnie. Dla jabłek wynoszą od 0 do  $10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup>, natomiast dla śliwek od 0 do  $7 \cdot 10^{-6}$  m·s<sup>-1</sup>.
4. Stosowane w literaturze uproszczenie szacowania transpiracji, polegające na pomiarze niedosytu prężności pary wodnej w powietrzu zamiast niedosytu prężności pary wodnej pomiędzy parującą powierzchnią owocu a otaczającym powietrzem może prowadzić do istotnych błędów, co wynika z przeprowadzonej w pracy analizy statystycznej współczynników transpiracji.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Baranowski P., Mazurek W., Walczak R.T.:** Zastosowanie termografii do badania stresu wodnego roślin i ewapotranspiracji rzeczywistej. *Acta Agrophysica*, 21, 1999.
2. **Chaerle L., Van Der Straeten D.:** Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health. *Biochemica et Biophysica Acta*, 1519, 153-166, 2001.
3. **Chen H., De Baerdemaeker J.:** Optimization of Impact Parameters for Reliable Excitation of Apples During Firmness Monitoring. *J. Agric. Eng. Res.*, 61, 275-285, 1995.
4. **De Belie N., Jancsok K.Tu.P., De Baerdemaeker J.:** Preliminary study on the influence of turgor pressure on body reflectance of red laser light as a ripeness indicator for apples. *Postharvest Biology and Technology*, 16, 279-284, 1999.
5. **Fito P.J., Ortola 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 Eng.*, 287-290, 2004.
6. **Hertog M.L.A.T.M., Ben-Arie R., Roth E., Nicolai B.M.:** Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 79-91, 2004.
7. **Jacobi K.K., MacRae E.A., Hetherington S.E.:** Postharvest heat disinfestations treatment of mango fruit. *Scientia Horticulturae* 89, 2001, 171-193.
8. **Leonardi C., Baille A., Guichard S.:** Predicting transpiration of shaded and non-shaded tomato fruits under greenhouse environments. *Scientia Horticulturae*, 84, 297-307, 2000.
9. **Leonardi Ch., Guichard S., Bertin N.:** High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 84, 285-296, 2000.
10. **Lewicki P.P., Lukaszuk A.:** Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *J. Food Eng.*, 45, 119-126, 2000.
11. **Lipecki J., Berbeć S.:** Soil management in perennial crops: orchards and hop gardens. *Soil & Tillage Res.*, 43, 169-184, 1997.

12. **Maguire K.M., Banks N.H., Lang A.:** Sources of variation in water vapour permeance of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 11-17, 1999.
13. **Newman G.M., Price W.E., Woolf L.A.:** Factors influencing the drying of prunes. 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying. *Food Chemistry*, 57(2), 241-244, 1996.
14. **Paul R.E.:** Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 263-277, 1999.
15. **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", IA PAS, Lublin, 27.11-2.12.2003

LABORATORY STUDIES ON THE USE OF FRUIT SURFACE  
TEMPERATURE FOR DETERMINATION OF TRANSPIRATION RATE  
AS AN IMPORTANT PARAMETER OF FRUIT QUALITY

*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.** Transpiration plays an important role in the water balance of fruit. In the conditions of transport and storage of fruit, even short term changes of ambient temperature influence the intensity of transpiration and, in consequence, the fruit quality. This paper presents the application of thermography for the determination of transpiration intensity of fruits. The object of the study were apples of three varieties: Jonagold, Ligol and Gloster and plums of three varieties: Top, Bluefre and President. The measurement of radiation temperature was performed for three values of ambient temperature, i.e. 11, 18 and 23°C during three successive days. To register the distribution of radiation temperature of fruit surface, a system was used, consisting of an AGEMA 880 LWB (8-13 μm) thermographic camera and a CCD camera working in the range of visible light. In the conditions of the experiment, differences between radiation temperature of the fruit surface and the air temperature were noticed, reaching up to 2.3°C, both for apples and plums. Transpiration coefficients of apples and plums of the investigated varieties for three various ambient temperatures (11, 18 and 23°C) differ significantly. For apples they fall in the range of 0 to 10<sup>-6</sup> m s<sup>-1</sup> and for plums from 0 to 7·10<sup>-6</sup> m s<sup>-1</sup>.

**Key words:** thermography, fruit transpiration, transpiration coefficient