

## ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD ANALIZY OBRAZU PODCZAS OBSERWACJI ROZPADU SKROBI W JABŁKACH

Dorota Domagała

*Katedra Zastosowań Matematyki, Akademia Rolnicza w Lublinie*

Tomasz Guz

*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Akademia Rolnicza w Lublinie*

**Streszczenie.** Praca przedstawia metodykę obliczania indeksu skrobiowego (IS) jabłek przez analizę obrazów rejestrowanych podczas rozpadu skrobi w tych owocach. Wobec rosnących wymagań jakości owoców potrzebne jest obok doskonalenia metod ich przechowywania opracowanie precyzyjnej i powszechnie dostępnej metody oceny stanu dojrzałości fizjologicznej. Dojrzałość owoców w czasie zbioru ma często decydujący wpływ na przebieg zmian w surowcu podczas przechowywania a tym samym na końcową jego jakość. Obecnie stosowane, precyzyjne i kosztowne metody oceny stanu fizjologicznego nie są dostępne dla sadowników ze względu na wysoki koszt aparatury jak i skomplikowaną procedurę oznaczeń. W pracy zaproponowano użycie trzech powszechnie dostępnych urządzeń wideo-komputerowych rejestrujących obrazy skrobi oraz metodykę oznaczenia stopnia jej rozpadu.

**Słowa kluczowe:** jabłka, indeks skrobiowy, analiza obrazu, dojrzałość zbiorcza

### Wykaz oznaczeń

- IS – indeks skrobiowy
- CB – analiza zdjęć wykonanych kamerą monochromatyczną (SUPERVIST)
- AC – analiza zdjęć wykonanych aparatem cyfrowym
- SK – analiza zdjęć wykonanych skanerem
- OW – tradycyjna metoda oceny (wzrokowa)

### Wstęp

Ostateczny efekt przechowywania owoców zależy od wielu czynników a ocena wszystkich zabiegów związanych z utrzymaniem ich jakości jest możliwa dopiero po długotrwałym składowaniu. Zachowanie optymalnych warunków składowania nie zapewnia jeszcze dobrej jakości surowca. Wśród czynników, które kształtują jakość owoców i które możemy kontrolować jest precyzyjne wyznaczenie optymalnego terminu ich zbioru [Tomala 2002]. Przechowywanie owoców metodami KA i ULO wymaga dużej dokładności w ocenie ich

stanu dojrzałości ze względu na to, że tylko owoce znajdujące się w fazie dojrzałości zbiorczej mają zdolność adaptacji do zmienionego stanu atmosfery w tego typu komorach przechowalniczych [Rutkowski 2001].

W celu wyznaczenia dojrzałości owoców jabłoni należy stosować metody analityczne, które zapewniają niezbędną precyzję oceny ich stanu. Metody te są na ogół trudno dostępne dla sadowników, gdyż wymagają stosowania kosztownej aparatury (np. podczas pomiaru stężenia etylenu w gniazdach nasiennych). Inne wymagają pomiaru kilku parametrów jednocześnie (stężenie etylenu, ekstrakt i jędrność owoców) [Łysiak 1998]. W ostatnich latach pojawiają się próby wykorzystania fal ultradźwiękowych do oceny dojrzałości owoców oraz oceny zmian barwy podczas ich dojrzewania [Mizrach i in 2000]. Metody te nie są jeszcze uznane za pełnoprawne i pewne w tego typu oznaczeniach.

Wśród metod dostępnych, tanich i łatwych do przeprowadzenia jest test skrobiowy. Opiera się on na obserwacji rozkładu skrobi, który następuje podczas dojrzewania owoców jabłoni. Obserwując to zjawisko stwierdzono ścisłą zależność między udziałem skrobi a stopniem dojrzałości owoców. Opracowano specjalne tablice wzorcowe, które w sposób umowny, służą do wyznaczenia tzw. indeksu skrobiowego, który jest funkcją zawartości skrobi w owocu na przekroju prostopadłym do jego osi [Tomala 1995]. Ciemnogranatowe kompleksy, które powstają w wyniku reakcji jodu ze skrobią wyznaczają miejsca zajęte przez skrobię, które następnie porównuje się z fotografiami wzorców i nadaje się oznaczenie w skali od 1 do 10. Oznaczenie powierzchni zajętej przez skrobię (wartość IS jest od niej uzależniona) jest trudne ze względu na złożoną postać deseni skrobiowych spotykanych w różnych odmianach. O precyzji oznaczenia decyduje ponadto jakość oświetlenia próbki w miejscu pomiaru oraz indywidualna i subiektywna percepcja oceniającego [Peirs i in 2002]. Stosowanie takiej uproszczonej procedury powoduje, że oznaczenia są wykonywane z dużym błędem. Istnieje potrzeba zwiększenia dokładności i pewności pomiaru poprzez zastosowanie nowoczesnych metod odczytu i obliczania wartości indeksu skrobi.

## **Cel pracy**

Celem pracy było obliczenie wartości indeksu skrobiowego za pomocą dostępnych powszechnie metod cyfrowej analizy obrazów. Wyznaczono różnice wskazań wartości IS uzyskanych metodami CB, AC, SK oraz OW.

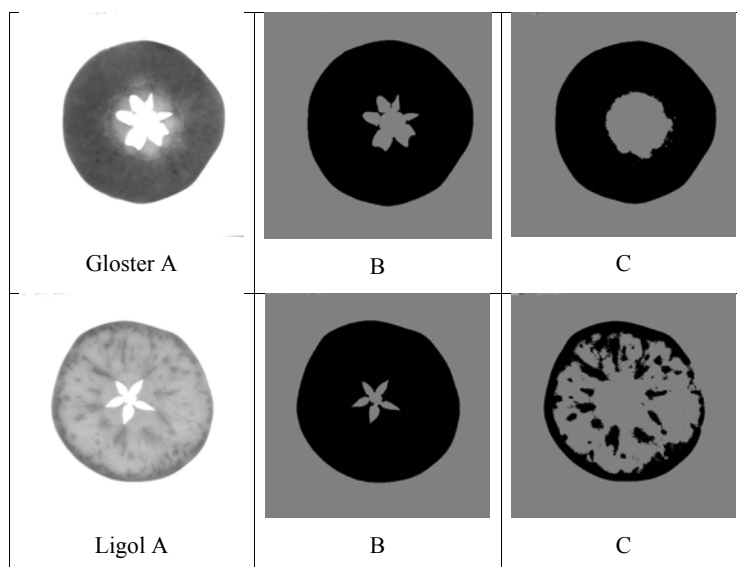
## **Metodyka badań**

Zbiór surowca do badań następował sukcesywnie w odstępach 4-dniowych. Przeprowadzono go w dniach 19.09 – 17.11. 2005 roku, obserwując rozpad skrobi aż do całkowitego jej zaniku (rys. 1). Test skrobiowy wykonywano na owocach świeżych lub na owocach przechowywanych. Test wykonywano na 15 owocach danej odmiany i terminie zbioru.



Rys. 1. Rozpad skrobi w owocach odmiany Ligol  
Fig. 1. Starch decomposition in fruits of Ligol variety

Po wykonaniu standardowego testu skrobiowego w roztworze  $5\text{g J}_2 + 20\text{g KJ}\cdot 1000\text{ ml}^{-1}$  wody i osuszeniu próbek wycinano plastry z „wzorem skrobiowym”, które następnie rejestrowano za pomocą cz-b kamery CCD sprzężonej z zestawem komputerowym w systemie SVISTMET. Następnie, w tych samych warunkach oświetlenia, wykonywano zdjęcia aparatem cyfrowym (barwne). Ostatnim etapem archiwizacji obrazów próbek było skanowanie powierzchni przeciętych i zabarwionych plastrów. Wykonano też ocenę wzrokową (5 osób oceniających), która polegała na porównaniu ich z tablicami wzorcowymi [Plantpress, Kraków 2003] i szacowaniu wartości indeksu skrobiowego w skali od 1 do 10. Cyfrowe obrazy zabarwionych plastrów archiwizowano i przeznaczono do dalszych analiz za pomocą programu SUPERVIST (Rys. 2).



Rys. 2. Przebieg oznaczania IS z wykorzystaniem systemu SUPERVIST: A - obraz próbki, B - binarny obraz całego plastra, C - binarny obraz wzoru skrobiowego  
Fig. 2. IS designation process using SUPERVIST system: A - sample image, B - binary image of the whole slice, C - binary image of starch pattern

Zapis obrazów próbek przeprowadzono z jednakową rozdzielczością (300 dpi), zwracając szczególną uwagę na otrzymanie jednolitego, białego obrazu tła, które ułatwiało identyfikację obiektów. Bawne obrazy zarejestrowane za pomocą aparatu oraz skanera były analizowane w programie Photoshop z wykorzystaniem tej samej procedury oznaczeń. Po analizie histogramów rozkładu luminancji obrazu wyznaczano pole powierzchni zajętej przez skrobię oraz pole powierzchni całego plastra. Wartości indeksu skrobiowego jako udział pól powierzchni zajętej przez skrobię obliczano ze wzoru:

$$IS = 10 \left( 1 - \frac{P_w}{P_c} \right) \quad (1)$$

gdzie:

- IS – wartość indeksu skrobiowego,
- $P_w$  – pole powierzchni zajętej przez skrobię [cm<sup>2</sup>],
- $P_c$  – pole powierzchni plastra [cm<sup>2</sup>].

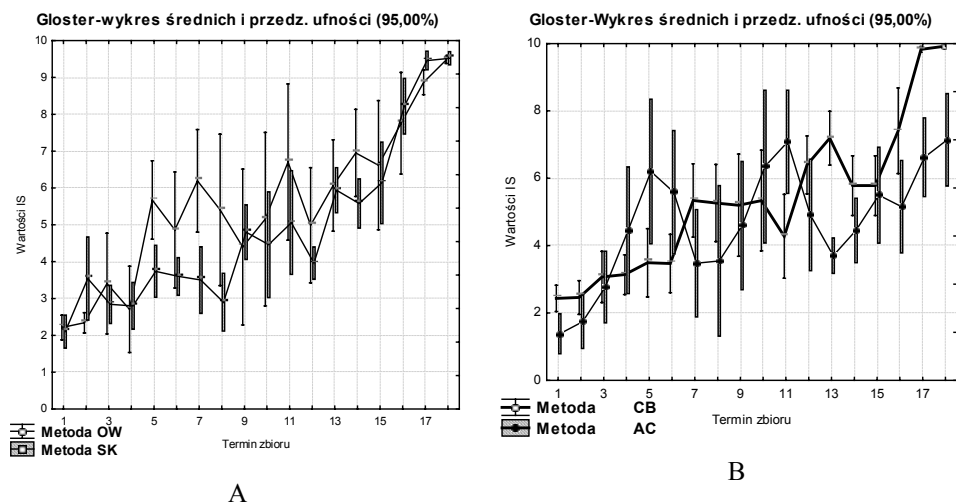
## Wyniki badań

Na początku przeprowadzono porównanie otrzymanych wartości IS dla różnych metod rejestracji obrazu wzoru skrobiowego w odniesieniu do próby zerowej (OW) oraz wyniki uzyskane poszczególnymi metodami analizy obrazów – CB, AC oraz SK (tab. 1). Obliczone zgodnie z wzorem (1) wartości IS były porównywane w ten sposób, że obliczano różnice odczytu IS dla poszczególnych metod w odniesieniu do próbki „0” tj. oceny wzrokowej. W porównaniu uwzględniano wartości średnie uzyskane od oceniających (5 osób). Podobnie porównywano różnice interpretacji IS metodami analizy obrazów. Z otrzymanych różnic wyznaczono średnie wartości dla wszystkich terminów zbioru. Różnice w ocenie IS podczas zestawienia z próbą OW dla odmiany Gloster wynosiły 0,63 0,64 oraz 0,46 i były wyższe niż dla odmiany Ligol (-0,39 0,01 0,24).

Tabela 1. Wartości średnie różnic w ocenie IS metodami stosowanymi w eksperymencie  
Table 1. Average values of differences in IS assessment by methods used in the experiment

Gloster					Ligol				
	CB	AC	SK	OW		CB	AC	SK	OW
CB	0	-0,18	-0,17	-0,63	CB	0	0,4	0,63	0,39
AC	0,18	0	-0,18	-0,64	AC	-0,4	0	0,23	-0,01
SK	0,17	0,18	0	-0,46	SK	-0,63	-0,23	0	-0,24
OW	0,63	0,64	0,46	0	OW	-0,39	0,01	0,24	0

Dokładność pomiaru tego parametru odniesiona do wartości w metodzie OW jest trudna w ocenie, gdyż IS wyznaczany tradycyjnie jest obciążony dużym błędem [Peirs 2002]. Analizując otrzymane wyniki zauważyć można, że odmiana Ligol wykazuje mniejsze różnice w zestawieniu IS otrzymanych metodami stosowanymi w doświadczeniu.



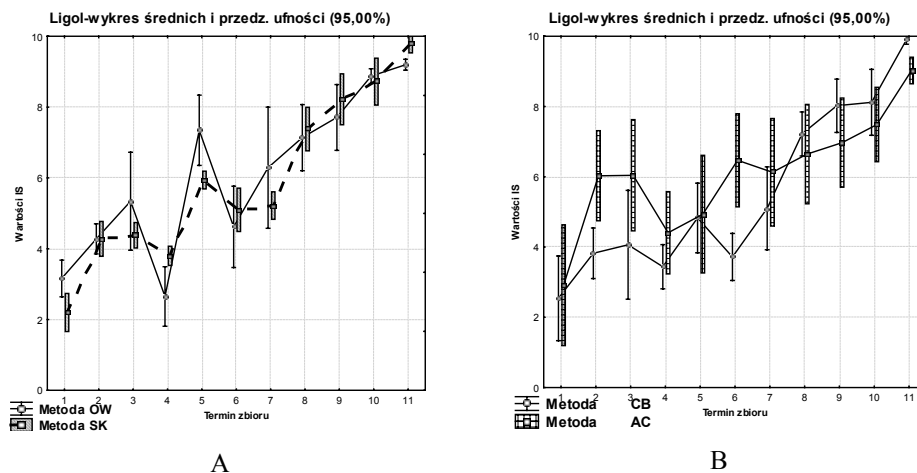
Rys. 3. Porównanie zmian wartości IS w odmianie Gloster  
Fig. 3. Comparison of IS value changes for Gloster variety

Różnice w oznaczeniu IS metodami analizy obrazu były mniejsze niż te, otrzymane w zestawieniu z metodą OW. Dla odmiany Gloster wynosiły one średnio 0,17-0,18 jednostki IS. Przypuszczać należy, że mogą być one stosowane do oceny IS dla tej grupy odmian (wysokoskrobiowych). Dla odmiany Ligol różnice te wynosiły 0,23-0,63 jednostki IS. Wartości średnie wyznaczono z około 270 pomiarów (Gloster) oraz około 170 pomiarów (Ligol). Niska zawartość skrobi w owocach Ligol pozwoliła na wykonanie oznaczeń tylko w 11 terminach zbioru.

Ze względu na dość duże zróżnicowanie zawartości skrobi w owocach zebranych w tym samym terminie otrzymano szerokie przedziały ufności wartości IS dla większości terminów zbioru. Przebieg zmian wartości IS przedstawiono na rys. 3-4.

Po obliczeniu zawartości skrobi otrzymano duże rozrzuty wartości IS, wynikające ze zróżnicowania jej zawartości w próbkach owoców. Rezultatem tego jest rozszerzenie przedziałów ufności. Metoda pozyskiwania informacji (CB lub AC) nie miała istotnego statystycznie wpływu na wynik pomiaru. Istotne różnice uzyskiwano najczęściej w końcowych terminach zbioru (rys. 3B). Podobne zależności uzyskano w zestawieniu wyników obu metod analizy obrazów barwnych.

Z przeprowadzonej analizy wariancji wynika, że nie ma istotnych ( $\alpha = 0,05$ ) różnic w ocenie wartości IS biorąc pod uwagę termin zbioru jak i metodę oceny. Obliczone wartości funkcji F zawsze większe od wartości krytycznych (tab. 2)



Rys. 4. Porównanie zmian wartości IS w odmianie Ligol  
Fig. 4. Comparison of IS value changes for Ligol variety

Tabela 2. Wyniki analizy wariancji (Genstat 5.0)  
Table 2. Results of variance analysis (Genstat 5.0)

Czynnik zm.	Gloster					Ligol				
	n	S. kw	Śr.kw.	F <sub>Kr</sub>	F <sub>obl.</sub>	n	S.kw	Śr.kw.	F <sub>Kr</sub>	F <sub>obl.</sub>
Termin	17	32,037	1,885	0,26	1,66	10	15,946	1,565	0,25	1,85
Metoda	3	50,077	16,692	2,31	2,62	3	15,523	5,174	0,80	2,62
Termin*Metoda	51	170,53	3,344	0,46	1,38	30	49,346	1,645	0,25	1,49
Reszty	648	4679,422	7,221			396	2565,198	6,478		
Ogółem	719	4932,066				439	2646,013			

## Wnioski

1. Mniejsze różnice między średnimi wartościami IS wyznaczonymi metodami analizy obrazu otrzymano dla odmiany Ligol
2. W zestawieniu z próbą OW większą zbieżność wartości otrzymanych tą metodą z metodami analizy obrazu otrzymano dla odmiany Ligol (0,01-0,39). Dla owoców odmiany Gloster wynosiły one 0,46-0,64.
3. Wartości IS obliczone poszczególnymi metodami wykazywały różnice nieistotne, które mogą wynikać jedynie z różnego sposobu oświetlenia próbek. Brak istotności różnic oceny stosowanymi w doświadczeniu metodami może wynikać też z dużej nierównomierności surowca (zawartości skrobi) w obrębie próby pobranej do badań
4. Uzyskane wyniki nie dają podstawy do odrzucenia żadnej z proponowanych metod analizy obrazu do stosowania ich w ocenie IS.

## **Bibliografia**

- Lysiak G.** 1998. Wstępna ocena pięciu metod określania terminu dojrzałości zbiorczej jabłek. XXXVII Ogólnopolska Naukowa Konferencja Sadownicza. Skierniewice, Wydawnictwo ISiK. s. 296-299.
- Mizrach, Flitzanov U., Akerman M., Zauberman G.** 2000. Monitoring avocado softening in low temperature storage using ultrasonic measurements. *Computers and Electronics in Agriculture* 26. s. 199-207.
- Peirs A., Scheerlinck N., Perez A. B., Jancsó P., Nicolai B. M.** 2002. Uncertainty analysis and modelling the starch index during apple fruit maturation. *Postharvest Biology and Technology* 26. s. 199-207.
- Rutkowski K.** 2001. Błędy popełniane przy określaniu terminu zbioru i podczas przechowywania jabłek. Ogólnopolska Konferencja. Skierniewice. Wydawnictwo ISiK. s. 69-74.
- Tomala K.** 1995. Prognozowanie zdolności przechowalniczej i określenie terminu zbioru jabłek. Fundacja Rozwój SGGW. s. 5-24.
- Tomala K.** 2002. Dlaczego termin zbioru owoców jest taki ważny *Owoce, warzywa, kwiaty* 16. s. 24-26.

## **AN APPLICATION OF SELECTED METHODS OF IMAGE ANALYSIS DURING THE OBSERVATION OF STARCH DECOMPOSITION IN APPLES**

**Summary.** The paper presents a methodology of calculating starch index (IS) of apples by the analysis of images recorded during starch decomposition in these fruits. In the face of growing fruit quality requirements apart from improving fruit storage methods, it is necessary to develop a precise and commonly available method of assessing the physiological ripeness state. Fruit ripeness during crop time has often a decisive effect on the process of changes undergoing in raw material during storage, and thereby on its final quality. Currently used, precise and expensive methods of assessing the physiological state are not available for fruit-growers, due to high cost of equipment and complex designation procedure. The authors proposed using three commonly available video computer equipment recording starch images and methodology of designating a degree of starch decomposition.

**Key words:** apples, starch index, image analysis, collective ripeness

**Adres do korespondencji:**

Dorota Domagała; e-mail: dorota.domagala@ar.lublin.pl  
Katedra Zastosowań Matematyki  
Akademia Rolnicza w Lublinie  
ul. Akademicka 13  
20-951 Lublin