



Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Wydział Inżynierii Produkcji  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych

**Dr inż. Tomasz Guz**

## **AUTOREFERAT**

---

**Załącznik nr II** do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego  
w dziedzinie Nauk Rolniczych, w dyscyplinie Inżynieria Rolnicza

Lublin 2019



## Spis treści

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Dane personalne .....                                                                                                                                                                                          | 4  |
| 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej .....                                                                                       | 4  |
| 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....                                                                                                                                         | 4  |
| 4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) ..... | 5  |
| 4.1. Określenie osiągnięcia .....                                                                                                                                                                                 | 5  |
| 4.2. Wprowadzenie .....                                                                                                                                                                                           | 5  |
| 4.3 Cel i zakres pracy .....                                                                                                                                                                                      | 10 |
| 4.4. Materiał i metody badań .....                                                                                                                                                                                | 10 |
| 4.5 Wyniki badań .....                                                                                                                                                                                            | 13 |
| 4.6. Podsumowanie i wnioski .....                                                                                                                                                                                 | 24 |
| 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....                                                                                                                                                       | 28 |
| 5.1. Osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia doktora .....                                                                                                                                                           | 28 |
| 5.2. Osiągnięcia po uzyskaniu stopnia doktora .....                                                                                                                                                               | 30 |
| 5.3. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne, popularyzatorskie oraz informacja o współpracy międzynarodowej .....                                                                                                 | 32 |
| 6. Zestawienie liczbowe osiągnięć .....                                                                                                                                                                           | 33 |
| 6.1. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego .....                                                                                                                                                                | 33 |

### 1. Dane personalne

**Imię i nazwisko:** Tomasz Guz

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

*Uzyskany tytuł:* magister inżynier

Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Techniki Rolniczej

*Kierunek:* mechanizacja rolnictwa

*Specjalność:* eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłu rolno-spożywczego

*Temat pracy dyplomowej magisterskiej:* „Badanie wpływu osmozy na cechy zamrożonych owoców”

*Promotor:* prof.dr hab. Helena Lis

*Data obrony:* 25.09.1991 r.

*Uzyskany stopień:* doktor nauk rolniczych

Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Techniki Rolniczej

*Dyscyplina naukowa:* inżynieria rolnicza

*Specjalność:* inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego

*Tytuł pracy doktorskiej:* „Wpływ warunków przechowywania oraz obróbki termicznej na zmiany cech fizycznych i sensorycznych jabłek”

*Promotor:* Prof. dr hab. Józef Grochowicz

*Recenzenci:* Doc. Dr hab. Bohdan Dobrzański

Prof. dr hab. Franciszek Kluza

*Data obrony:* 24.06.2003 r.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

|                       |                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|
| 01.03.1995-30.09.2003 | <i>Stanowisko:</i> asystent                                 |
|                       | Akademia Rolnicza w Lublinie                                |
|                       | Wydział Techniki Rolniczej                                  |
|                       | Katedra Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego; |
| 01.10.2003-31.10.2018 | <i>Stanowisko:</i> adiunkt                                  |
|                       | Akademia Rolnicza/Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie       |
|                       | Wydział Inżynierii Produkcji                                |
|                       | Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych;                    |
| 01.10.2018-obecnie    | <i>Stanowisko:</i> starszy wykładowca                       |
|                       | Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie                         |
|                       | Wydział Inżynierii Produkcji                                |
|                       | Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych.                    |



#### 4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

##### 4.1. Określenie osiągnięcia

##### a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem, stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest monografia pod tytułem: „*Wykorzystanie wybranych narzędzi optycznych oraz komputerowej analizy obrazu do wyznaczania wartości indeksu skrobiowego w jabłkach*”. Seria Monografie i Rozprawy, Inżynieria Rolnicza, ISBN 978-83-64377-24-2

##### b) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wykaz ważniejszych oznaczeń:

KAO – komputerowa analiza obrazu

AC – analiza obrazu z aparatu cyfrowego

SK – analiza obrazu ze skanera

CB – analiza obrazu z kamery monochromatycznej

OW – ocena wzrokowa wartości indeksu skrobiowego

S – wartość indeksu skrobiowego

IS – indeks Streifa

IJ – indeks De Jagera

F – jędrność owoców (N)

R – wartość ekstraktu refraktometryczna (Brix)

$p_w$  – pole zajęte przez kompleks skrobi z jodem ( $\text{mm}^2$ )

$p_c$  – pole całego plastra ( $\text{mm}^2$ )

$S_{100, 110, \dots, 140}$  – wartość indeksu S obliczona po filtracji obrazów progami 100, 110, ... 140

$SP_0, P_30, P_60, P_90$  – wartość indeksu obliczona z obrazu wykonanego przez filtr polaryzacyjny o kącie skręcenia  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$

$t_{100, 110, \dots, 140}$  – wartość progu filtracji równa 100, 110, ... 140

##### 4.2. Wprowadzenie

Tradycyjne metody oceny dojrzałości zbiorczej owoców, stosowane dawniej w przechowywaniu są obecnie stosowane bardzo rzadko. Opierały się one na obserwacji takich symptomów zmiany stanu owoców jak wybarwienie skórki, barwę nasion, łatwość odchodzenia owoców od krótkopędów, odliczanie liczby dni od pełni kwitnienia, czy też metoda zwaną T (Bulens i in. 2012).

Biorąc pod uwagę fakt, że większość owoców przeznaczonych jest do długotrwałego przechowywania w obiektach o zmienionym składzie atmosfery, precyzja oceny stadium dojrzałości wyznaczonego tymi metodami jest niewystarczająca. Metody te nie uwzględniają warunków klimatycznych panujących podczas dojrzewania owoców przed zbiorem (Łysiak, 1998a). Często też wybarwienie skórki owoców pojawia się wcześniej, zanim osiągną one stan dojrzałości zbiorczej. Największą jednak wadą tradycyjnych metod wyznaczenia terminu zbioru jest to, że przy ich

*T. Gu*

wykorzystaniu nie jest oceniany faktyczny stan rozwoju fizjologicznego owoców (Rutkowski, 1997). Ocena tego stanu jest podstawowym warunkiem prawidłowo wyznaczonego terminu zbioru owoców przeznaczonych do długotrwałego przechowywania, szczególnie, gdy będzie się ono odbywać w warunkach zmienionego stanu atmosfery (Skrzyński, 1996). W takich przypadkach owoce powinny znajdować się w stanie dojrzałości zbiorczej. Gdy owoce nie osiągną tego stanu, są bardziej podatne na szereg chorób przechowalniczych, takich jak oparzelizna powierzchniowa, czy choroby wywołane nadmiarem  $\text{CO}_2$ , który w dużych stężeniach jest obecny w nowoczesnych komorach przechowalniczych. Przy zbyt zaawansowanym stanie dojrzałości owoce nadają się tylko do krótkotrwałego przechowywania w warunkach chłodni zwykłej. W tym przypadku zwykle następuje szybki ich rozpad wewnętrzny. Można tego uniknąć, stosując metody oznaczania lub też prognozowania dojrzałości zbiorczej z dużą precyzją (Tomala, 1995b). Procedura postępowania zakłada w takich przypadkach zbiór owoców w tak oznaczonym stadium dojrzałości, w którym są one zdolne do procesów życiowych po oddzieleniu ich od organizmu macierzystego. Zakłada się również, że stan dojrzałości zbiorczej umożliwia dalszy rozwój owoców w ściśle kontrolowanych warunkach. Dojrzałość konsumpcyjną osiągają one już po opuszczeniu przechowalni w warunkach wtórnego ich przechowywania w sieci dystrybucyjnej lub u konsumenta. Stan dojrzałości zbiorczej owoców nie może być oceniany metodami, które nie uwzględniają zmian zachodzących w ich strukturze wewnętrznej. Stosowanie w zamian nawet najprostszych, dostępnych metod pomiarowych, pod warunkiem prawidłowego ich przeprowadzenia, zapewnia precyzyjne określenie tego stanu, a tym samym zbiór owoców w optymalnym dla danej odmiany terminie (Łysiak, 1998b).

Wśród metod analitycznych stosowanych w ocenie stadium dojrzałości owoców ziarnkowych jest wyznaczanie stężenia etylenu w gniazdach nasiennych. Inną metodą jest indukowanie etylenu w owocach zamkniętych w hermetycznych naczyniach. Indukcja etylenu pozwala na precyzyjne prognozowanie dojrzałości zbiorczej z wyprzedzeniem 7-10 dni przed osiągnięciem optimum w czasie zbioru. Niestety, należy zaznaczyć, że metody te wymagają specjalistycznej aparatury i wykwalifikowanego personelu. Są kosztowne i niedostępne w praktyce sadowniczej. Istnieją również metody, które są, ze względu na prostotę wykonywanych oznaczeń, możliwe do wykonania w warunkach polowych. Wśród nich znajdują się takie metody jak pomiar jędrności, który można wykonać za pomocą prostego i taniego jędrnościomierza ręcznego. Inną metodą oceny dojrzałości jest pomiar ekstraktu soku komórkowego, wykonywany refraktometrem optycznym lub elektronicznym. Prosty i niezawodny sposób oceny stanu dojrzałości owoców ziarnkowych jest też test skrobiowy, który, ze względu na nieskomplikowaną procedurę, może być przeprowadzony bez użycia nawet najprostszych przyrządów. Oznaczenie polega na naniesieniu roztworu jodu w roztworze potasu na pokrojone równoleżnikowo połowy owoców. Otrzymane w wyniku reakcji kompleksy jodu ze skrobią podlegają porównaniu z tablicami (fotografiami) wzorcowymi, i po ich ocenie, nadaje mu się wartość w skali od 1 do 10. Wartość oceny tego testu, wyrażona indeksem skrobiowym, może być stosowana tylko jak jedyny i niezależny wskaźnik informujący o stanie dojrzałości owoców danej odmiany. Indeks skrobiowy może być też, wraz z jednoczesnym pomiarem jędrności oraz ekstraktu, ważnym składnikiem indeksów zbiorczych Streifa i De Jegera. Wskaźniki te mają tę właściwość, że podają informację o trzech równolegle przebiegających zjawiskach: rozpadzie skrobi, mięknięciu miąższu oraz wartości ekstraktu w soku komórkowym. Ze względu na dużą ilość informacji są one uważane za pewne i niezawodne wskaźniki, które mogą być stosowane w praktyce.

Indeks skrobiowy stanowi wskaźnik, który jest stosowany samodzielnie lub jako element składowy indeksów zbiorczych. Do wyznaczenia pozostałych wskaźników są używane przyrządy o ściśle określonym przez producentów dopuszczalnym błędzie pomiarowym. W przypadku indeksu skrobiowego trudno jest oszacować jego wartość, zważywszy, że jest on oceniany subiektywnie przez sadowników w przypadkowych warunkach oświetlenia, jako przybliżoną wartość otrzymaną poprzez porównanie z tablicami wzorcowymi. Dane literaturowe (Peirs i in. 2002) wskazują, że błędy oceny tego wskaźnika w zależności od osoby oceniającej oraz warunków oznaczenia mogą sięgać do 60%. Mając na uwadze niezawodność i pewność metody skrobiowej, istnieje jednak potrzeba jej udoskonalenia, gdyż podstawowym jej mankamentem jest właściwa interpretacja testu tak, by osiągnąć pewne i jednoznaczne wyniki jego oznaczenia. Ze względu na łatwą dostępność tego testu i prostotę oznaczeń, koniecznym staje się opracowanie metody obiektywnego odczytu jego wartości, by zwiększyć precyzję oznaczenia tego ważnego wskaźnika. Dotychczas nie istnieje procedura

normalizacyjna, w której określono warunki rejestracji obrazu ani metodyka wyodrębnienia istotnych dla pomiaru fragmentów obrazu niniejsza praca podejmuje próbę opracowania takiej metodyki

Zbiór owoców jabłoni w terminie, który został wyznaczony błędnie prowadzi do poważnych strat ich wartości i przydatności do przechowywania (Łysiak 1998a). Stopień dojrzałości owoców wpływa na zawartość składników wykrywanych organoleptycznie, takich jak воск (Ju, Blamlage 2001), którego zawartość wzrasta wraz z rozwojem owocu, podobnie jak substancji aromatycznych (Girard, Lau 1995). Obserwuje się ponadto utratę jędrności (Vilanova i in. 2014), szybsze brązowienie owoców zbyt wcześnie zebranych (Song, Bangerth, 1996). Opóźnienie zbioru owoców powoduje podczas ich przechowywania wzrost szybkości syntezy etylenu (Bulens i in. 2012), co przyspiesza mięknięcie tkanki owoców. Owoce dojrzewające w sadzie wykazują różne stadia syntezy etylenu w zależności od dostępu światła. Solovchenko i in. (2011) wykazali, że synteza etylenu w owocach zachodzi szybciej w owocach położonych od strony nasłonecznionej niż od strony zacienionej. Jabłka rosnące w zacienionych partiach drzew są ponadto bardziej podatne na oparzenie słoneczne (w temp. 46-49°C) (Hengari i in. 2014), przy czym wielkość tego zjawiska uzależniona była od odmiany badanych owoców. Owoce zebrane zbyt wcześnie są narażone na uszkodzenia wywołane nadmiarem CO<sub>2</sub>, które występują w chłodniach z kontrolowaną atmosferą (CA) i ULO (Ultra Low Oxygene) (Rutkowski i in. 2003). Zapobieganie uszkodzeniom takim jak oparzelizna powierzchniowa może być wykonywane za pomocą środków chemicznych, np. DPA (Whitaker 2000). Villanova i in. (2014) wykazali, że odporność na odkształcenia i okaleczenia owoców jest związana ściśle z ich dojrzałością i warunkami przechowywania. Uszkodzeniom mechanicznym ulegają przede wszystkim owoce bardzo zaawansowane w rozwoju (Yang i in. 2013). Inną konsekwencją opóźnienia zbioru jest zwiększone ryzyko chorób przechowalniczych (Tomala 2002), które jest zależne od odmiany jabłek.

W ostatnich latach obserwowany jest wzrost zainteresowania opracowaniem metod ingerencji w szybkość syntezy etylenu, a tym samym regulację szybkości dojrzewania owoców przed zbiorem (Deng i in. 2013), jak i podczas przechowywania (Zambrano-Zaragoza i in. 2014). Jedną z metod opóźnienia syntezy etylenu jest krótkotrwałe przechowywanie zebranych owoców w komorach o wysokim (17%) stężeniu CO<sub>2</sub> (Gorny i in. 2002).

Rozwój owoców jabłoni, które są organizmami klimakterycznymi (Baranowski i in. 2012), skutkuje także, oprócz wytwarzaniem etylenu i mięknięciem owoców także innymi symptomami dojrzewania. Jednym z nich jest emisja lotnych substancji zapachowych, które, w zależności od stopnia dojrzałości powstają w różnym tempie i intensywności (Escheveria i in. 2004). Owoce zebrane zbyt wcześnie charakteryzują się opóźnionym syntetyzowaniem aromatów (Song, Bangerth 1996). Obecność gazów i aromatów charakterystycznych dla dojrzewających owoców jest wykrywana między innymi przez urządzenia zwane „elektronicznym nosem” (Pathange i in. 2006). Owoce zbierane w różnych terminach, w przedziale od 158 do 180 dni od pełnego kwitnienia charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem substancji lotnych (Vanoli i in. 1995).

Innym wskaźnikiem stopnia dojrzałości owoców jest wybarwienie skórki (Bertone i in. 2012). Niektóre substancje, takie jak chlorofil (Bertone i in. 2012), antocyjany (Reay 1999) oraz karotenoidy (Merzlyak, Solovchenko 2002) podczas dojrzewania owoców ulegają przemianom, co skutkuje zmianami barwy. Nie jest ona zawsze dobrym wskaźnikiem ich stanu fizjologicznego, gdyż pełne wybarwienie skórki może pojawić się przed osiągnięciem dojrzałości zbiorczej (Rutkowski i in. 2003). Pomiary barwy odbywają się najczęściej na niewielkiej powierzchni skórki, która nie zawsze niesie pełną informację o rozkładzie barw na całej powierzchni owocu np. mango (Kang i in. 2008). Podobnie dzieje się w przypadku jabłek, których liczne odmiany cechują się zróżnicowanym rumieńcem (Garrido-Novell i in. 2012). Obecnie trwają prace nad wykorzystaniem tej cechy owoców do szacowania ich plonów poprzez segmentację obrazu owoców w ich naturalnym środowisku (Wang i in. 2012), do klasyfikacji jakościowej przed zbiorem (Moreda i in. 2012) lub do automatycznego ich zbioru (Ji i in. 2012). Barwa i wielkość owoców niektórych odmian to cechy o wysokiej dodatniej korelacji (Stajanko i in. 2004). Producenci owoców często opóźniali ich zbiór, w celu osiągnięcia owoców o większej masie i intensywnym wybarwieniu. Popełniali jednak błąd, polegający na wprowadzeniu ich w stan zaawansowanej dojrzałości, co dyskwalifikowało je do długotrwałego przechowywania (Tomala 1995b).



Wysokie wymagania i oczekiwania konsumentów, dotyczące jakości żywności, wymuszają konieczność obiektywnej i szybkiej kontroli surowców i produktów przemysłu spożywczego. Ocena jakości wykonywana za pomocą zmysłów człowieka jest obciążona subiektywizmem, a także jest podatna na szereg błędów powodowanych znużeniem i monotonią wykonywanych czynności. Dlatego pojawiła się konieczność adaptacji do celów badawczych i aplikacyjnych znanego już od lat 60-tych (Brosnan, Sun 2004) systemu analizy obrazu. Systemy obserwacji komputerowej (ang. „computer vision”) stanowią połączenie komputera, kamery, systemu oświetlenia (opcjonalnie), oprogramowania do przechwytywania, zapisu, archiwizacji oraz przetwarzania obrazów (Du, Sun 2006).

Systemy komputerowej analizy obrazu są postrzegane jako zintegrowane układy bezkontaktowego wykrywania i oceny przedmiotów, zjawisk, procesów, które często będąc niewidoczne z zewnątrz (Belin i in. 2013) poprzez zastosowanie zaawansowanych metod obrazowania dostarczają niezbędnych informacji o strukturze wewnętrznej badanego surowca (Li i in. 2019). Ze względu na szerokie możliwości obrazowania zastosowanie systemów wizyjnych w rolnictwie jest znaczące, plasując je oraz przemysł spożywczy w pierwszej dziesiątce gałęzi przemysłu, w których znalazły one zastosowanie (Unay i in. 2011). Komputerowa analiza obrazu jest zespołem czynności, które prowadzą do otrzymania dokładnych wartości liczbowych na podstawie danych otrzymanych z obliczeń charakterystyki obrazu wcześniej zapisanego w pamięci komputera (Moreda i in. 2012). Wśród nich są przykładowo pole powierzchni obiektu, długość linii brzegowej, wymiary maksymalne, średnice rzutowe na oś X, Y, współczynniki kształtu oraz inne charakterystyki obiektów umieszczonych w obrazie (Guz 2009). Podobnie jak podczas obserwacji wzrokowej, systemy wizyjne potrzebują oświetlenia, które może być dobrane do różnych zastosowań, spełniając przy tym specyficzne wymagania stawiane podczas analizy uzyskanych obrazów. Właściwie zaprojektowane oświetlenie pomaga zredukować niepotrzebne odbłaski, cienie oraz szumy obrazu, które powodują błędy w ocenie badanego obiektu oraz znacznie wydłużają czas analizy (Szczypiński, Zapotoczny, 2012). Oświetlenie używane w systemach wizyjnych może pracować w świetle odbitym (Guz 2006) lub przechodzącym (Guz 2010), stosowanym w celu otrzymania obrazu zarysu obiektów, pozbawionego cieni, który wykorzystuje się do dokładnych pomiarów cech geometrycznych.

Barwa obiektów różnego pochodzenia może być precyzyjnie analizowana za pomocą technik komputerowych, używanych w systemach analizy obrazu. Zestawy te wyposażone są w specyficzne dla danego zastosowania programy oferujące szerokie możliwości pomiarowe, wśród których można znaleźć: pomiary długości obiektów, pola ich powierzchni, pomiary kątów, obwodu, kształtu, lokalizacji obiektów w polu pomiarowym i wiele innych. Wśród nich często wykorzystuje się te możliwości systemów, które polegają na ocenie różnic w zabarwieniu poszczególnych fragmentów obrazu, co często jest skutkiem zmian zachodzących w produkcie (Ji i in. 2012). W pracach, w których narzędziem badawczym jest system wizyjny rzadko spotyka się korzystanie z wszystkich dostępnych, charakterystycznych dla danego oprogramowania możliwości pomiarowych. Wielu badaczy koncentruje się na wykonaniu niektórych oznaczeń, głównie cech geometrycznych, wykorzystując jedynie niektóre instrumenty programu. Tymczasem oznaczenia wykonane zgodnie z obowiązującymi standardami ( $L^*a^*b$  lub RGB) pozwalają przy ocenie barwy osiągnąć wysokie współczynniki korelacji z wynikami uzyskanymi przy ocenie wzrokowej (Xing i in. 2007).

Owoce, które zaliczane są do organizmów klimakterycznych wykazują wzrost produkcji etylenu (Song, Bangerth 1996) podczas rozwoju, który związany jest ze zwiększoną intensywnością oddychania (Toivonen 2008). Istnieje ścisła zależność między dojrzałością owoców a szybkością produkcji etylenu (Fan i in. 2011). Owoce niedojrzałe nie produkują etylenu lub wytwarzają go niewielkich ilościach (Bulens i in. 2012). Wzrost szybkości produkcji etylenu, który następuje podczas zbliżania się terminu zbioru informuje o osiągnięciu przez owoce stanu dojrzałości zbiorczej (Rutkowski i in. 2003). W celu oznaczenia stężenia etylenu w próbce konieczne jest użycie chromatografu gazowego (Tomala 2002). Dostęp do takiego sprzętu jest, w warunkach produkcji sadowniczej bardzo utrudniony, lub najczęściej niemożliwy.

Dobrym przykładem wykorzystania zjawiska syntezy etylenu w ocenie dojrzałości jabłek jest metoda indukowanego etylenu (Tomala 2004). Pozwala ona z pewnym wyprzedzeniem wyznaczyć czas osiągnięcia przez owoce stanu dojrzałości zbiorczej, a tym samym – termin ich zbioru (Łysiak 1998b). W metodzie tej wykorzystywane jest zjawisko szybszego dojrzewania owoców zerwanych z drzew w porównaniu z tymi, które na nich pozostały.

*H. Guz* 8

Metoda indukowanego etylenu jest jedną z metod prognozowania dojrzałości zbiorczej owoców (Tomala 1999). Dokonując pomiaru stężenia etylenu w gniazdach nasiennych można je oznaczyć tylko w czasie rzeczywistym, otrzymując jedynie informację o chwilowym stanie dojrzałości owoców. Wyniki oceny stanu fizjologicznego owoców uzyskane tą metodą nie zawsze są potwierdzone innymi metodami. W celu precyzyjnego i pewnego wyznaczenia terminu zbioru liczni autorzy (Rutkowski i in. 2008) zalecają wykonanie również innych oznaczeń stanu dojrzałości owoców.

Jednym z głównych kryteriów wyboru najlepszego owocu jest, oprócz wyglądu, aromatu, smaku, soczystości, zwięzłości także parametr zwany jędrnością (Kruczyńska i in. 2001). Jędrność jest definiowana jako parametr tekstury, wyrażający opór materiału podczas deformacji. Pomiar jędrności można wykonać za pomocą prostych przyrządów (Johnson i in. 2002a). Charakteryzuje ona wytrzymałość owoców na uszkodzenia mechaniczne, jak i jest parametrem określającym zmiany jakościowe tkanki owocu podczas dojrzewania (Fan i in. 2011). Pomiar tego parametru jest jedną z metod oceny dojrzałości zbiorczej jabłek. Według wielu autorów (Rutkowski i in. 2008) owoce przeznaczone do konsumpcji powinny mieć jędrność w przedziale 50-60 N. Takie owoce mają zwykle zwarty miąższ i postrzegane są jako twarde (Konopacka i in. 1997). Pomiar jędrności, ze względu na prostotę i szybkość oznaczenia, cieszy się dużą popularnością (Łysiak 1998b).

Ważnym wskaźnikiem dojrzałości owoców jest zawartość ekstraktu, czyli stężenie składników rozpuszczalnych w wodzie, które są składnikami soku komórkowego (Skrzyński 1997). Ekstrakt oznaczany jest najczęściej za pomocą różnej konstrukcji refraktometrów. Najczęściej spotykany typ refraktometru to refraktometr podręczny, w którym pomiar polega na wyciśnięciu soku na pryzmat i dociśnięciu warstewki cieczy szkiełkiem dociskowym. Warstewkę cieczy obserwuje się w świetle przechodzącym. Dokładność pomiaru tego typu przyrządów wynosi ok. 0,2 Brix. Refraktometry specjalistyczne osiągają dosadność pomiaru do 0,0001 Brix. Wyznaczenie ekstraktu owoców nie jest jednoznaczne z ostateczną oceną stadium dojrzałości owoców. Jest on ważną składową indeksów zbiorczych, które dają pełniejszą informację o stanie rozwoju owoców, poprzez obserwację kilku zjawisk towarzyszących ich dojrzewaniu (De Jager 1994; Streif 1996).

Ocena stanu fizjologicznego owoców przed zbiorem za pomocą pomiaru tylko jednego wskaźnika bywa ryzykowna i może skutkować błędną decyzją o zbiorze (Streif 1996). Aby zwiększyć pewność i obiektywność oceny stanu surowca zaleca się jednoczesne analizowanie 3-6 wskaźników. Popularność zdobyły indeksy zbiorcze oparte na pomiarze jędrności, ekstraktu i stopnia rozkładu skrobi w owocach. W latach 90-tych XX w. rozpoczęto stosowanie takich wskaźników, wśród których najbardziej znane to indeks Strefa (*IS*) oraz indeks De Jagera (*IJ*) (Rutkowski 2001). W metodzie Streifa oblicza się wskaźnik dojrzałości zbiorczej jabłek w postaci liczby będącej wynikiem jednoczesnego pomiaru jędrności, ekstraktu oraz stopnia rozpadu skrobi (Streif 1996).

Oznaczanie indeksu Streifa wymaga pobrania 20-30 owoców, które nie różnią się wielkością i pochodzą z różnych drzew kwatery danej odmiany. Wskaźnik ten jest wiarygodnym, zmniejszającym do minimum ryzyko popełnienia błędów, wynikających z przypadkowego i często nietypowego przebiegu dojrzewania owoców, który może zakłócić przebieg zmian jednej ze składowych tego indeksu, jeżeli będzie ona stosowana jako jedyny wskaźnik w ocenie dojrzałości surowca (Skrzyński 1997).

Drugim znanym wskaźnikiem zbiorczym dojrzałości owoców jest indeks De Jagera (*IJ*) (De Jager, Roelofs 1996). Pomimo prostoty wykonania oznaczenia zawartości skrobi poprzez reakcję barwną z jodem pojawia się jeszcze jeden, istotny problem, polegający na właściwej interpretacji otrzymanych w ten sposób obrazów „wzoru skrobiowego”. Według badaczy zajmujących się tym zagadnieniem (Peirs i in. 2002), oznaczenia dojrzałości jabłek przy użyciu tablic porównawczych (wzorcowych), spowodowane subiektywnością postrzegania przez oceniających obarczone są dużym błędem, które, popełniane przez oceniających, dochodzą do 60%. Średnie wartości błędów oszacowania wartości indeksu skrobiowego wynoszą ok. 50% dla odmian o promieniowym typie rozpadu skrobi, oraz ok. 43 % dla odmian o rozpadzie kołowym. Największe rozrzuty wyników zanotowano dla obrazów, gdzie indeks skrobiowy wynosił 5, 6 lub 7 w 10-stopniowej skali. Jest to faza rozpadu skrobi, która dla wielu odmian jabłek występuje w stanie dojrzałości zbiorczej, którego trafne wskazanie jest podstawą do właściwego przechowywania zebranych owoców (De Long i in. 1999). Podobne rozbieżności w interpretacji obrazów indeksu skrobiowego zauważył Guz (2005, 2006, 2009, 2010), który porównywał wartości oznaczeń tego wskaźnika metodą tradycyjną

wykonywaną przez panel oceniający z wartościami uzyskanymi metodami komputerowej analizy obrazu.

Wobec braku standardów wypracowanych przy ocenie tego wskaźnika, który ogranicza się jedynie do opisu metodyki wykonania testu skrobiowego, pozostawiając wyznaczenie jego wartości subiektywnym wskazaniom oceniających, niezwykle ważne jest opracowanie nowej, obiektywnej metody oznaczania tego ważnego wskaźnika. Jest on jednym z niewielu dostępnych dla sadowników testów, który możliwy jest do przeprowadzenia w warunkach produkcji sadowniczej, oraz opiera się na obserwacji rozpadu skrobi, który jest wiarygodnym wskaźnikiem dojrzałości. Ze względu na swoją wagę i użyteczność powinien doczekać się doprecyzowania metodyki jego wyznaczania poprzez odchodzenie od tablic wzorcowych, które nie dają pewności precyzji jego oznaczeń. Spostrzeżenia te stały się podstawą koncepcji badawczej niniejszej pracy.

#### 4.3 Cel i zakres pracy

W pracy podjęto próbę opracowania metodyki precyzyjnego i obiektywnego obliczania wartości indeksu skrobiowego  $S$ . Ten ważny wskaźnik szacowany jest dotychczas metodą wzrokowego porównania próbek owoców z tablicami wzorcowymi, będącymi fotografiami przekrojów owoców zabarwionych kompleksem jodowo-skrobiowym.

Celem pracy było sprawdzenie przydatności metod komputerowej analizy obrazu w obliczaniu wartości indeksu skrobiowego. W ramach badań wykonywano testy skrobiowe owoców jabłoni o kołowym i promieniowym typie rozpadu skrobi na powierzchni ich przekroju w szerokim przedziale terminów zbioru. Obrazy rejestrowano wybranymi metodami cyfrowego zapisu obrazu. W czteroletnim cyklu pierwszej części eksperymentu stosowano trzy narzędzia optyczne, służące rejestracji obrazów zabarwionych plastrów owoców:

- kamerę CCD rejestrującą czarno-białe obrazy plastrów (CB),
- aparat cyfrowy, rejestrujący obrazy barwne (AC),
- skaner (SK).

Drugi, trzyletni etap pracy dotyczył tylko metody zapisu obrazów barwnych otrzymanych aparatem cyfrowym (AC). Uwzględniono w nim następujące warianty zapisu obrazów cyfrowych, które wpływały na zmiany interpretowanych tą metodą wartości indeksu  $S$ :

- zapis obrazów w różnej temperaturze barwy,
- obliczanie wartości indeksu skrobiowego z obrazów otrzymanych w składowych R, G oraz B, w różnej temperaturze barwy,
- obliczanie wartości indeksu skrobiowego otrzymanych przy różnych progach filtracji obrazu,
- usuwanie odbłasków w obrazach podczas ich zapisu z użyciem filtra polaryzacyjnego,
- zapis obrazów z użyciem światła odbitego oraz przechodzącego.

Odrębnym zadaniem tej części eksperymentu było wyznaczenie indeksów zbiorczych Streifa i De Jagera, w których indeks skrobiowy  $S$  obliczany był przy różnych progach filtracji podczas analizy obrazu cyfrowego.

#### 4.4. Materiał i metody badań

W czteroletnim, wstępnym cyklu badawczym (lata 2004-2007) surowcem badawczym były jabłka dwóch odmian: Gloster i Jonagold, pochodzące z Sadu Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, zlokalizowanego w dzielnicy Felin. Były one oceniane pod kątem przebiegu rozpadu skrobi metodą tradycyjną (OW) oraz trzema metodami z wykorzystaniem technik optycznych (CB, AC, SK) i komputerowej analizy obrazu (KAO). W tej części eksperymentu sprawdzono przydatność zastosowanych technik zapisu obrazu do obliczania indeksu skrobiowego oraz ich podatność na powstawanie artefaktów, które utrudniają jego prawidłową interpretację.

Druga część eksperymentu (lata 2011-2013) polegała na badaniu wpływu wybranych sposobów modyfikacji sygnału wejściowego z aparatu cyfrowego (AC), takich jak:

- zmiana temperatury barwowej światła (jabłka odmian Gloster i Jonagold),
- wygaszanie odbłasków na powierzchni tworzącej obraz rozmieszczenia skrobi za pomocą filtra polaryzacyjnego (jabłka odmian Gloster, Jonagold)

 10

- analiza zmian wartości indeksu skrobiowego przy zastosowaniu zmiennych progów filtracji obrazu (jabłka odmian Gloster i Jonagold)
- obliczanie indeksu skrobiowego z obrazów plastrów fotografowanych w świetle przechodzącym (jabłka odmian Melrose, Gloster, Jonagold, Rubin)
- obliczanie indeksów zbiorczych Streifa i De Jegera.

Zbiór dokonywano między 253 a 285 dniem roku w odstępach 4-dniowych, w godzinach między 8 a 10 rano. Owoce pobierano z wytypowanych 5 drzew danej odmiany, znajdujących się w tej samej kwaterze. Z każdego drzewa zbierano po 4 owoce, rosnące na wysokości 1,5-2 m nad poziomem gruntu. Testy skrobiowe wykonywane po 285 dniu roku przeprowadzano na owocach przechowywanych, również w odstępach 4 dniowych, aż do zaniku skrobi wykrywanej testem skrobiowym.

Zabarwione plastry owoców układano na płycie skanera (Epson 600), a następnie skanowano z rozdzielczością 300 dpi. Otrzymane obrazy zapisywano w pamięci komputera i przekazywano do dalszych analiz. Zabarwione plastry owoców rejestrowano również za pomocą aparatu cyfrowego (metoda AC), który zamocowany był na statywie do reprodukcji umieszczonym w światłoszczelnej, wentylowanej komorze.

Komora była wyposażona w dwa źródła światła: zestaw 6 żarówek o mocy 60 W każda, dający światło o temperaturze barwowej 2800 K oraz ekran luminescencyjny o wymiarach 110x140 mm emitujący światło o stałej temperaturze barwowej, wynoszącej 5500 K.

W uchwycie statywu mocowano lustrzany aparat cyfrowy z matrycą CCD o wielkości wynoszącej 10 Mpix, wyposażony w obiektyw makro 2,8/60mm, który wykazywał znikomą dystorsję oraz niewielki poziom aberracji chromatycznej, co zapewniało wierne odwzorowanie barw. Aparat ten był wyposażony w system ręcznej korekty barw dla źródeł światła w zakresie temperatur barwy światła 2500 – 10000K (400 – 100 Mired).

Ekspozycję, ze względu na wysoki kontrast fotografowanych obiektów, ustawiano w trybie manualnym, po uprzedniej korekcie barwnej wykonanej za pomocą filtrów konwersyjnych.

Jedną z sekwencji zdjęć była wykonywana również za pomocą filtra polaryzacyjnego kołowego. Filtr ten, mocowany na obiektywie w obrotowej oprawie umożliwiał eliminowanie odbłasków pochodzących z wilgotnych plastrów owoców, które powodowały niepożądane „rozjaśnienie” również w miejscach zabarwionych obecnością skrobi. Po ustaleniu kąta ustawienia, przy którym osiągnęto maksymalne wygaszanie odbłasków, część obrotowa filtra została unieruchomiona w celu osiągnięcia powtarzalnych wyników w następnych seriach zdjęć. Zdjęcia wykonywano przy ustawieniu przetwornika obrazu na temperaturę barwową 5500 K. Miały one rozmiar 2592x3060 pikseli. Czułość matrycy, ze względu na ryzyko pojawienia się niepożądanych szumów, była ustawiona na najniższą wartość, czyli 100 ISO.

Zdjęcia plastrów wykonywano jednocześnie przy użyciu dwóch źródeł światła: światła przechodzącego, które jednocześnie stanowiło białe, jednolite tło dla zabarwionych plastrów oraz światło żarówek, których natężenie ustawiono na poziomie 1000 lx. Poziom oświetlenia był mierzony za pomocą światłomierza Seconic Flash Master L358. Barwa oświetlenia była oceniana za pomocą światłomierza z kolorymetrem Seconic Color Meter C500.

Zmianę temperatury barwowej światła przeprowadzano za pomocą filtrów konwersyjnych (B+W) o oznaczeniach KB 6 oraz KB 15, które wkręcano w oprawę obiektywu, fotografując przez nie plastry owoców. W ten sposób otrzymywano stały, ustawiony precyzyjnie poziom przesunięcia (podwyższenia) temperatury barwowej fotografowanych obiektów.

Jedną z sekwencji zdjęć była wykonywana również za pomocą filtra polaryzacyjnego kołowego. Filtr ten, mocowany na obiektywie w obrotowej oprawie umożliwiał eliminowanie odbłasków pochodzących z wilgotnych plastrów owoców, które powodowały niepożądane „rozjaśnienie” również w miejscach zabarwionych obecnością skrobi. Po ustaleniu kąta ustawienia, przy którym osiągnęto maksymalne wygaszanie odbłasków, część obrotowa filtra została unieruchomiona w celu osiągnięcia powtarzalnych wyników w następnych seriach zdjęć. Zdjęcia wykonywano przy ustawieniu przetwornika obrazu na temperaturę barwową 5500 K. Miały one rozmiar 2592x3060 pikseli. Czułość matrycy, ze względu na ryzyko pojawienia się niepożądanych szumów, była ustawiona na najniższą wartość, czyli 100 ISO.

Zdjęcia plastrów wykonywano jednocześnie przy użyciu dwóch źródeł światła: światła przechodzącego, które jednocześnie stanowiło białe, jednolite tło dla zabarwionych plastrów oraz

*f. Gum*

światło żarówek, których natężenie ustawiono na poziomie 1000 lx. Poziom oświetlenia był mierzony za pomocą światłomierza Seconic Flash Master L358. Barwa oświetlenia była oceniana za pomocą światłomierza z kolorymetrem Seconic Color Meter C500.

Zmianę temperatury barwowej światła przeprowadzano za pomocą filtrów konwersyjnych (B+W) o oznaczeniach KB 6 oraz KB 15, które wkręcano w oprawę obiektywu, fotografując przez nie plastry owoców. W ten sposób otrzymywano stały, ustawiony precyzyjnie poziom przesunięcia (podwyższenia) temperatury barwowej fotografowanych obiektów.

Analiza obrazu polegała na filtracji zapisanego obrazu filtrem dolnoprzepustowym, którego wartość ustalano doświadczalnie poprzez porównanie pola powierzchni, jakie zajmuje kompleks jodowo-skrobiowy, z polem powierzchni obrysowanym przez linie powstające podczas pomiaru przy danej wartości progu. Jeżeli pola te pokrywały się, to ta wartość progu filtracji była używana konsekwentnie podczas następnych sesji pomiarowych. Taką samą procedurę przeprowadzono w celu wyodrębnienia z obrazu całej powierzchni plastra. Przy zachowaniu tych samych, powtarzalnych warunków oświetlenia, filtracja odbywała się automatycznie po wyświetleniu zapisanych wcześniej obrazów. Po wykonaniu filtracji program zliczał pola powierzchni całego plastra, jak również powierzchnię zajętą przez kompleks skrobi z jodem. Korzystano z obliczonych w programie pól powierzchni:

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

gdzie:

$S$  – wartość indeksu skrobiowego,

$P_w$  – pole zajęte przez kompleks skrobi z jodem (mm<sup>2</sup>),

$P_c$  – pole całego plastra (mm<sup>2</sup>).

W eksperymencie wykonywano oznaczanie indeksu De Jegera oraz indeksu Streifa w oparciu o obliczone wartości indeksu skrobiowego. W tym celu, ze względu na konieczność pomiaru kilku wskaźników, w latach 2011 oraz 2012 równoległe z oznaczeniem wartości indeksu skrobiowego wykonywano oznaczenia zawartości ekstraktu w soku komórkowym dojrzewających owoców oraz ich jędrność. W celu oznaczenia ekstraktu pobierano próbki miąższu z 3-5 owoców, które następnie ścisano, a wyciekający sok komórkowy zbierano do zlewki, mieszano i pobierano kilka kropli do refraktometru. Pomiar ekstraktu wykonywano za pomocą refraktometru Atago z dokładnością do 0,1°Brix. Pomiar wykonywano w 5 powtórzeniach.

Oznaczanie jędrności owoców wykonano przy użyciu teksturometru TAXT. Plus, wyposażonego w głowicę pomiarową pracującą w zakresie 0-500 N Indeks Streifa (1996) ma postać:

$$IS = \frac{F}{R \times S} \quad (2)$$

gdzie:

$F$  – jędrność miąższu (N),

$R$  – ekstrakt (°Brix),

$S$  – wartość indeksu skrobiowego (1-10).

Postać indeksu De Jagera (1996) jest następująca:

$$IJ = \frac{F \times (11 - S)}{R} \quad (3)$$

gdzie:

$F$  – jędrność miąższu (N),

$R$  – ekstrakt (°Brix),

$S$  – wartość indeksu skrobiowego (1-10).

Podczas obliczania błędów bezwzględnych oznaczania wartości indeksu skrobiowego posłużono się opracowaną samodzielnie metodą obliczania błędów. Polegała ona na obliczaniu wartości różnic pomiędzy wartościami indeksu  $S$ , uzyskiwanych poprzez filtrację obrazu programami od  $t_{100}$  do  $t_{140}$ , czyli różnicami między wartościami indeksu od  $S_{100}$  do  $S_{140}$ , i wartości bazowej  $S_{120}$ .

W przypadku analizy odchyień powstałych w wyniku błędnego użycia progu filtracji dla obrazów czarno-białych, czy też błędnego odczytu histogramów podczas analizy obrazów barwnych posłużono się odmienną metodyką obliczeń. Założono, że poszczególni operatorzy mogą popełniać błędy oznaczania progu filtracji z pewnym odchyleniem od wartości prawidłowej. W 8-bitowym kodowaniu kolorów, czy odcieni obrazu czarno-białego, przyjmującego 256 możliwych wartości (0-255), po ustaleniu metodą porównania zarysów konturów obiektów, które zostały odfiltrowane jako właściwy wzór skrobiowy z rzeczywistym obrazem plastra, który nałożono na obwódkę linii krawędziowej rysowaną podczas pomiaru, ustalano próg filtracji. Założono, że operatorzy, wykonujący pomiar mogą pomylić się o  $\pm 5$  lub  $\pm 10$  wartości odcieni w skali barw w porównaniu do wartości bazowej  $t_{120}$ . Na tej podstawie przeprowadzono symulację nowych wartości indeksu skrobiowego, obliczonego według „błędnych” wartości progów filtracji, oraz obliczano błędy względne indeksu skrobiowego oraz indeksów zbiorczych Streifa i De Jagera.

Wyniki otrzymane w pracy poddane były dwuczynnikowej analizie wariancji w module ANOVA pakietu STATISTICA 7,1 oraz STATISTICA 10,0. Przedstawiono je w formie graficznej oraz tabelarycznej przy wykorzystaniu w/w pakietów. Istotność różnic między otrzymanymi zbiorami wartości sprawdzono za pomocą testu Tukeya, po uprzednim sprawdzeniu parametryczności rozkładu za pomocą testu Levena. Zmienne o rozkładzie nieparametrycznym były analizowane testem Kruskala-Wallisa.

Równania regresji indeksu skrobiowego w funkcji czasu były analizowane i porównywane we wstępnym, czteroletnim cyklu badawczym według metodyki Jamishidiana i in. (2005), wyznaczając istotność różnic przebiegu między prostymi.

#### 4.5 Wyniki badań

W analizowanym przedziale nie było statystycznie istotnych ( $\alpha=0,05$ ) różnic w interpretacji wartości indeksu skrobiowego, która dla tej odmiany (Gloster) powinna wynosić podczas zbioru 2–3. W opisywanym doświadczeniu zbiór owoców powinien odbywać się między 269 a 281 dniem roku. Przedział taki wynika z interpretacji tego wskaźnika za pomocą użytych metod rejestracji obrazu skrobi na przekrojach owoców. Ważnym powodem wyboru takiego przedziału była także obserwacja terminów zbioru owoców w latach poprzedzających eksperyment. Ocena wzrokowa (metoda tradycyjna) oparta na prezentacji obrazów zapisanych za pomocą skanera 5 osobom oceniającym wykazuje istotnie wyższe wartości indeksu skrobiowego ( $S$ ) niż te, uzyskane metodami KAO. Według wskazań tej metody zbiór powinien odbywać się między 261 a 273 dniem roku.

Przyspieszony termin zbioru skutkował wyższą podatnością owoców na choroby przechowalnicze, głównie oparzelizną powierzchniową i uszkodzenia wywołane dużym stężeniem  $\text{CO}_2$  w komorach przechowalniczych (Tomala 1995b, Łysiak 1998). Innym, istotnym skutkiem wczesnego zbioru, jest słabe wykształcenie owoców i mniejsza ich masa i wymiary (Rutkowski i in. 2003). Analizę wariancji podczas porównania wartości metody wzrokowej z metodami KAO w badanym przedziale zbioru owoców przeprowadzono, ze względu na nieparametryczny rozkład wartości indeksu  $S$ , oznaczonego metodą wzrokową, testem Kruskala-Wallisa.

W końcowych terminach zbioru (289 – 305) wartości  $S$  były zaniżane przez artefakty nienależące do powierzchni zajmowanej przez „wzór skrobiowy” przy zastosowaniu metody SK. Pojawiały się one tam, gdzie skanowane przedmioty były bryłami a nie powierzchniami płaskimi. Tak było w przypadku oświetlania plastra owocu o grubości 5 mm. Pojawiał się wówczas cień, którego jasność mieści się w zakresie, jaki miał kompleks jodu ze skrobią i był on identyfikowany jako jego „dodatkowa” powierzchnia. Wprowadzało to systematyczny błąd pomiarowy, który ujawniał się gdy powierzchnia zajmowana przez kompleks była mała. Przy wysokich wartościach  $S$  w końcowej fazie eksperymentu obecność takich artefaktów istotnie zakłócało dokładność pomiaru. Przy niskich wartościach indeksu skrobiowego nie zauważono istotnego wpływu tego czynnika na interpretację wartości tego wskaźnika.

Ze względu na warunki wykonywania obrazu za pomocą skanera (SK), efekt „zaniżania” wartości indeksu skrobiowego poprzez obecność cienia plastra był już widoczny w rozpatrywanym przedziale terminów zbioru. Przebieg zmian wartości  $S$  obliczonego za pomocą histogramów obrazów ze skanera odbiegał od przebiegu zmian wartości tego wskaźnika, otrzymanych za pomocą pozostałych metod KAO. W analizowanym przedziale indeks skrobiowy wykazywał istotnie niższe wartości w porównaniu z metodą CB. Zależność ta obserwowana była dla wszystkich terminów

zbioru. Wartości średnie indeksu skrobiowego ( $S$ ) interpretowanego za pomocą aparatu cyfrowego (AC) wykazywały wartości wyższe od średniej uzyskanej za pomocą skanera (SK). Tylko wartości otrzymane tymi dwiema metodami (AC oraz SK) w ostatnim terminie zbioru wykazywały istotne statystycznie różnice. Pomimo braku istotności różnic w ocenie  $S$  terminy zbioru owoców obliczone tymi metodami różniły się o ok. 4 dni. W dalszych terminach zbioru (289 – 305 dzień roku) objętych eksperymentem, różnica w ocenie  $S$  była na tyle duża, że powodowałaby przesunięcie zbioru o 8 dni. W praktyce sadowniczej nie ma to znaczenia, gdyż nie wykonuje się zbioru owoców przeznaczonych do długotrwałego przechowywania w tym przedziale czasu.

Owoce odmiany Jonagold reprezentują „promieniowy” zanik skrobi na powierzchni przekroju. Rozpad skrobi obserwowano na całej powierzchni, co objawiało się stopniowym jej zanikiem wzdłuż promienia kołowego przekroju owocu, w postaci jasnych obszarów miąższu, które zajmowały coraz większą powierzchnię. Zbiór owoców tej odmiany, które przeznaczone są do długotrwałego przechowywania, zaleca się wykonywać, gdy wartość indeksu skrobiowego ( $S$ ) znajduje się w przedziale 5 do 7. Oznacza to, że 50 do 70% powierzchni przekroju owoców nie wykazuje już zabarwienia ciemnogrnatowym kompleksem jodu ze skrobią. W doświadczeniu analizowano wartości tego wskaźnika interpretowanego poprzez ich obliczenie na podstawie analizy obrazów metodami KAO, które następnie porównywano z wartościami uzyskanymi metodą tradycyjną (OW). Szczegółowe analizy przeprowadzono dla wyników otrzymanych w przedziale dni zbioru od 265 do 281 dnia roku. Zakres ten ustalono na podstawie wieloletnich obserwacji terminów zbioru owoców tej odmiany. Ze względu na nieparametryczny rozkład wartości  $S$  otrzymanych metodą OW posłużono się w tym przypadku testem Kruskala-Wallisa. Z przebiegu zmian wartości  $S$  w tym przedziale wynika, że osiągał on wyższe wartości od tych, które obliczono metodami KAO.

Wartości  $S$  otrzymane metodą OW były wyższe średnio o 1 stopień względem tych, otrzymanych metodami KAO, co oznacza, że udział powierzchni pozbawionej zabarwienia był szacowany według metody OW jako o 10% większy. Uwzględniając skomplikowane rozmieszczenie „wzoru skrobiowego” w owocach Jonagold, które należą do grupy odmian o promieniowym modelu rozpadu skrobi, taki błąd był prawdopodobny (Peirs i in. 2002). Ocena indeksu skrobiowego w metodzie OW, oprócz postrzegania optycznego, posiada także aspekt psychologiczny, którego nie można pominąć. Ocena wzrokowa jest postrzeganiem zmysłowym, które podlega licznym zaburzeniom i subiektywnemu postrzeganiu zjawisk. Wśród błędów popełnianych przez obserwatora można wymienić złudzenia kontrastu i orientacji (Li, Guo 1995) oraz złudzenia postrzegania kształtów przedmiotów (De Witt i in. 2015). Owoce o „promieniowym” zaniku skrobi, wykrywanej w teście skrobiowym, mogą być zbierane, gdy indeks skrobiowy przekroczy wartość 5 (Brookfield 1997, Peirs i in. 2002). Podczas zbioru niektórych odmian dopuszcza się, że jego wartość zbliża się do 8. Tak jest w przypadku owoców odmian Jester i Arlett. Większość odmian, reprezentujących promieniowy typ rozpadu skrobi na przekroju owocu powinna być zbierana, gdy wartości te mieszczą się w przedziale 5-7. W przypadku owoców Jonagold wartością optymalną podczas zbioru jest 6, która została osiągnięta, po uwzględnieniu wyników oznaczeń wszystkich metod stosowanych w doświadczeniu, między 273 a 282 dniem roku. Uwzględniając możliwość wcześniejszego ich zbioru, gdy wartość  $S$  przekroczy 5, przedział analizowany w doświadczeniu rozszerzono w zakresie od 265 do 281 dnia roku, co było zgodne z wieloletnimi obserwacjami terminu zbioru tych owoców.

Tabele 1 i 2 przedstawiają powiązania między równaniami regresji prostych obrazujących przebieg zmian  $S$  w funkcji czasu. Zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Janishidiana i in (2005) wyznaczono wartości prawdopodobieństwa (Tab. 3 i 4) w przebiegu porównywanych par prostych. Współczynniki te, dla prostych obrazujących przebiegi zmian  $S$  w dwu sezonach zbiorczych, wyznaczonych tą samą metodą wskazują duże zróżnicowanie podobieństw równań prostych regresji. Analizując dane z tabeli 3 daje się zauważyć, że przebieg prostych otrzymanych za pomocą programu, będącego składową oprogramowania systemu Supervist (używanego tylko w metodzie CB), charakteryzował się największą zgodnością. Wykazano to przez sumowanie współczynników prawdopodobieństwa zgodności przebiegu par prostych, przy których porównania prostych dla tej metody wykazywały najwyższe wartości. Niższe niż w metodzie CB wartości współczynników zgodności zaobserwowano dla metod oceny AC oraz SK. Tradycyjna metoda oceny indeksu skrobiowego (OW), ze względu na błędy wynikające z subiektywnej oceny osób wyznaczających jej wartości uzyskała najniższą sumę prawdopodobieństw. Wśród 6 par porównań przebieg prostych jednej pary różniły się istotnie, gdy obiektami ocenianymi były przekroje owoców Gloster. Gdy

oceniano owoce Jonagold tylko równania prostych jednej pary nie różniły się istotnie. Pozostałe były istotnie różne na poziomie  $\alpha=0,05$ .

Tabela 1. Równania regresji zmian indeksu skrobiowego  $S$  podczas dojrzewania owoców Gloster

| Rocznik | Metoda | Równanie regresji     | $R^2$ |
|---------|--------|-----------------------|-------|
| 2004    | CB     | $S = 0,140t - 35,570$ | 0,946 |
|         | AC     | $S = 0,144t - 36,409$ | 0,958 |
|         | SK     | $S = 0,119t - 30,104$ | 0,979 |
|         | OW     | $S = 0,158t - 39,320$ | 0,981 |
| 2005    | CB     | $S = 0,134t - 33,478$ | 0,970 |
|         | AC     | $S = 0,136t - 34,480$ | 0,971 |
|         | SK     | $S = 0,108t - 27,246$ | 0,942 |
|         | OW     | $S = 0,157t - 38,811$ | 0,984 |
| 2006    | CB     | $S = 0,134t - 33,024$ | 0,940 |
|         | AC     | $S = 0,125t - 31,983$ | 0,930 |
|         | SK     | $S = 0,106t - 26,568$ | 0,964 |
|         | OW     | $S = 0,146t - 36,231$ | 0,979 |
| 2007    | CB     | $S = 0,132t - 32,799$ | 0,990 |
|         | AC     | $S = 0,154t - 39,481$ | 0,960 |
|         | SK     | $S = 0,114t - 28,329$ | 0,972 |
|         | OW     | $S = 0,144t - 34,905$ | 0,991 |

Tabela 2. Równania regresji zmian indeksu skrobiowego  $S$  podczas dojrzewania owoców Jonagold

| Rocznik | Metoda | Równanie regresji     | $R^2$ |
|---------|--------|-----------------------|-------|
| 2004    | CB     | $S = 0,110t - 24,288$ | 0,996 |
|         | AC     | $S = 0,138t - 32,042$ | 0,984 |
|         | SK     | $S = 0,149t - 35,014$ | 0,988 |
|         | OW     | $S = 0,142t - 31,995$ | 0,996 |
| 2005    | CB     | $S = 0,163t - 39,223$ | 0,987 |
|         | AC     | $S = 0,124t - 28,748$ | 0,984 |
|         | SK     | $S = 0,124t - 28,493$ | 0,974 |
|         | OW     | $S = 0,130t - 29,179$ | 0,980 |
| 2006    | CB     | $S = 0,117t - 26,416$ | 0,983 |
|         | AC     | $S = 0,127t - 29,674$ | 0,982 |
|         | SK     | $S = 0,109t - 25,586$ | 0,949 |
|         | OW     | $S = 0,151t - 35,350$ | 0,993 |
| 2007    | CB     | $S = 0,127t - 28,956$ | 0,994 |
|         | AC     | $S = 0,138t - 31,622$ | 0,987 |
|         | SK     | $S = 0,121t - 27,566$ | 0,991 |
|         | OW     | $S = 0,131t - 28,623$ | 0,993 |

Tabela 3. Zestawienie wartości prawdopodobieństwa zgodności przebiegu  $S$  otrzymanych wg równań regresji odmiany Gloster

| Porównywane roczniki | Metoda |      |      |      |
|----------------------|--------|------|------|------|
|                      | AC     | CB   | OW   | SK   |
| 2004/2005            | 0,82   | 0,32 | 0,78 | 0,39 |
| 2004/2006            | 0,01   | 0,04 | 0,20 | 0,64 |
| 2004/2007            | 0,82   | 0,33 | 0,19 | 0,31 |
| 2005/2006            | 0,04   | 0,52 | 0,06 | 0,74 |
| 2005/2007            | 0,59   | 0,99 | 0,42 | 0,03 |
| 2006/2007            | 0,01   | 0,49 | 0,02 | 0,15 |
| Suma Total           | 2,31   | 2,69 | 1,67 | 2,26 |



Tabela 4. Zestawienie wartości prawdopodobieństwa zgodności przebiegu  $S$  otrzymanych wg równań regresji odmiany Jonagold

| Porównywane roczniki | Metoda |       |      |      |
|----------------------|--------|-------|------|------|
|                      | AC     | CB    | OW   | SK   |
| 2004/2005            | 0,003  | 0,00  | 0,00 | 0,09 |
| 2004/2006            | 0,0001 | 0,67  | 0,00 | 0,00 |
| 2004/2007            | 0,006  | 0,103 | 0,15 | 0,02 |
| 2005/2006            | 0,43   | 0,00  | 0,00 | 0,00 |
| 2005/2007            | 0,00   | 0,00  | 0,00 | 0,64 |
| 2006/2007            | 0,00   | 0,29  | 0,00 | 0,00 |
| Suma Total           | 0,44   | 1,063 | 0,15 | 0,75 |

Wyniki umieszczone w tabeli 4 wskazują na mniejszą zbieżność przebiegów prostych wyrażających przebieg dojrzewania owoców Jonagold. Można przypuszczać, że owoce tej odmiany są bardziej wrażliwe na zmiany parametrów klimatu podczas dojrzewania lub też, ze względu na sposób rozpadu skrobi w owocach i skomplikowaną postać „wzoru skrobiowego” oznaczanie wartości  $S$  jest trudniejsze zarówno metodą tradycyjną, jak i metodami KAO. Według tabeli 2, w której umieszczono równania regresji oraz współczynniki dopasowania prostych (determinacji) są wysokie (0,94-0,99). Użycie równań w tej postaci jest w tym przypadku dobrym przybliżeniem rzeczywistego przebiegu doświadczenia. Modele liniowe zmian indeksu skrobiowego były potwierdzone wcześniejszymi badaniami (Reid 1982; Peirs i in. 2002). Owoce jabłoni odmiany Jonagold są tymi, w których rozpad skrobi przebiega według schematu charakteryzującego się promieniowym zanikiem tego polisacharydu, który jest widoczny w postaci zanikających granatowych plam na przekroju owocu. W tym przypadku długość linii rozgraniczającej pola zajęte przez skrobię od obszarów, w których już nie jest ona wykrywana, jest długa, co może mieć wpływ na dokładność oznaczania wartości  $S$ , nawet przy precyzyjnym ustaleniu wartości progu filtracji. W takim przypadku identyfikacja obiektu, która polega na obliczaniu jego pola powierzchni, jako udziału procentowego w całym obrazie, jest zależna od błędu, jaki został popełniony podczas ustalania progu filtracji.

Zmiana temperatury barwy oświetlenia może powodować różnice w ocenie tych samych obiektów poddawanych analizie w różnych warunkach oświetlenia. Skład spektralny światła decyduje o wrażeniu barwy odbieranej przez obserwatora, szczególnie, gdy różnice w składzie widmowym światła są duże. W eksperymencie z zastosowaniem zmiennej temperatury barwowej światła, filtrację obrazów zabarwionych plastrów owoców wykonywano przy zastosowaniu standardowej wartości progu, wynoszącej 120 dla rozkładu jaskrawości punktów w obrazach, obserwowanych w systemie barw RGB. Wartość progu filtracji była ustalona na poziomie 120 również dla obrazów obserwowanych w różnych wariantach temperatury barwy: 2800K, 3400K oraz 4800K. Zmiany barwy oświetlenia żarówek o temperaturze barwy 2800 K, dokonywano za pomocą filtrów konwersyjnych KB 6 oraz KB 15.

Istotne zmniejszenie obliczonej wartości indeksu skrobiowego uzyskanej po zmianie temperatury barwowej następowało po jej wzroście do 4800K. Różnice w ocenie  $S$ , wynosiły między  $S_{T28}$  a  $S_{T48}$  nawet 1,5 stopnia (Tab. 5). Zaniżanie wartości tego wskaźnika po zwiększeniu temperatury oświetlenia może spowodować opóźnienie decyzji o zbiorze owoców, gdyż wartości indeksu  $S$ , przy których powinien nastąpić zbiór, są interpretowane jako prawidłowe z dużym opóźnieniem, co sprzyja decyzji o spóźnionym zbiorze przy zbyt zaawansowanym stanie rozwoju fizjologicznego owoców. Zmiana wartości indeksu skrobiowego spowodowana filtracją światła przez niebieskie filtry konwersyjne KB wiąże się ze zmianą składu spektralnego światła przepuszczanego przez filtr. Skutkuje to pozornym rozszerzeniem się powierzchni zajętej przez granatowe kompleksy jodu ze skrobią, co bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie wartości  $S$ . Efekt ten jest podobny do tego przypadku, gdy podczas filtracji obszaru pierwotnego nastąpi przesunięcie progu filtracji o zaledwie kilka poziomów jasności.

Przebieg zmian wartości indeksu skrobiowego dla owoców odmiany Jonagold w systemie RGB, wskazuje, że zmiana temperatury barwy światła wpływa istotnie na wartość  $S$ , przy czym jej wzrost od 2800K do 4800 K powoduje zmniejszenie wartości  $S$ .



Tabela 5. Wyniki analizy wariancji indeksu skrobiowego owoców Gloster przy zmiennej temperaturze barwy oświetlenia dla składowej RGB

| Dzień zbioru | Temp. barwowa [K] | S        | Temp. barwowa [K] | S        | Temp. barwowa [K] | S          |
|--------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|------------|
| 265          | 2800              | 3,56 a,b | 3400              | 3,57 c,d | 2800              | 3,2 a,b,c  |
|              | 3400              | 3,2 b    | 4800              | 2,79 a   | 4800              | 2,79 a     |
| 269          | 2800              | 4,03 a,c | 3400              | 4,03 b,d | 2800              | 3,6 b,c,d  |
|              | 3400              | 3,6 a,b  | 4800              | 2,89 a   | 4800              | 2,89 a     |
| 273          | 2800              | 4,05 a,c | 3400              | 4,05 b,d | 2800              | 3,57 b,c,d |
|              | 3400              | 3,57 a,b | 4800              | 3,0 a    | 4800              | 3,0 a      |
| 277          | 2800              | 4,29 c   | 3400              | 4,29 b   | 2800              | 3,61 c,d   |
|              | 3400              | 3,61 a,b | 4800              | 3,1 a,c  | 4800              | 3,1 a,b    |
| 281          | 2800              | 4,32 c   | 3400              | 4,32 b   | 2800              | 3,81 d     |
|              | 3400              | 3,81 a,c | 4800              | 3,2 a,c  | 4800              | 3,2 a,b,c  |

Różnice te wynoszą w tym przedziale temperatur barwowych 2 stopnie  $S$  w terminie zbioru od 265 dnia roku, do ok. 1,7 stopnia w 281 dniu roku, by w końcowych terminach, występujących poza „oknem zbioru” przyjmować wartości nieistotnie mniejsze podczas stosowania zwiększonej do 4800 K temperatury barwy oświetlenia. Analiza statystyczna przeprowadzona została w przedziale najbardziej prawdopodobnego terminu zbioru, który dla tej odmiany przypada między 265 a 281 kalendarzowym dniem roku. W przedziale tym różnice w ocenie  $S$  były istotne (Tab. 6), co oznacza, że błędy popełniane przy ocenie  $S$  mogą powodować przesunięcie terminu zbioru wynoszące nawet 7 dni, co może powodować zmianę dojrzałości owoców w takim stopniu, że istotnie wpłynie ona na ich przydatność przechowalniczą.

Tabela 6. Wyniki analizy wariancji indeksu skrobiowego owoców Jonagold przy zmiennej temperaturze barwy oświetlenia dla składowej RGB

| Dzień zbioru | Temp. barwowa [K] | S          | Temp. barwowa [K] | S        | Temp. barwowa [K] | S        |
|--------------|-------------------|------------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| 265          | 2800              | 5,70 a     | 3400              | 4,78 b   | 2800              | 5,70 a,c |
|              | 3400              | 4,78 e     | 4800              | 3,70 e   | 4800              | 3,70 f   |
| 269          | 2800              | 6,08 a,b,c | 3400              | 5,31 c,d | 2800              | 6,08 a,d |
|              | 3400              | 5,31 e,f   | 4800              | 4,30 f   | 4800              | 4,30 g   |
| 273          | 2800              | 6,57 c,d   | 3400              | 5,88 a   | 2800              | 6,57 d,e |
|              | 3400              | 5,88 a,b   | 4800              | 4,91 b,c | 4800              | 4,91 b   |
| 277          | 2800              | 6,82 d     | 3400              | 6,28 a   | 2800              | 6,82 e   |
|              | 3400              | 6,28 b,c   | 4800              | 5,39 d   | 4800              | 5,39 b,c |
| 281          | 2800              | 7,59 g     | 3400              | 6,91 g   | 2800              | 7,59 h   |
|              | 3400              | 6,91 d     | 4800              | 5,87 a   | 4800              | 5,87 a   |

Światło niespolaryzowane padając na powierzchnię niemetalową ulega częściowemu odbiciu oraz załamaniu, pod warunkiem, że jest to struktura przepuszczająca światło. Część światła padającego na taką powierzchnię ulega odbiciu, pozostała część stanowi tzw. odbłaski, które są światłem spolaryzowanym. W praktyce mamy do czynienia z licznymi odbłaskami, które pojawiają się niezależnie od zmiany kierunku oświetlenia, ponieważ w większości przypadków stosuje się wielopunktowe źródła oświetlenia lub też światło emitowane jest z dużej powierzchni, w związku z tym pada ono pod wieloma kątami. Powstające w związku z tym odbłaski zakłócają czytelność odbioru stanu obserwowanej powierzchni (Brown 2011; Li i in. 2018).

Podczas obserwacji zabarwionych jodem, wilgotnych powierzchni owoców występują zarówno odbłaski, jak również punkty i obszary, w których pojawia się całkowite wewnętrzne odbicie światła. Oba te zjawiska powodują, że część obszaru zabarwionego kompleksem jodu ze skrobią stwarza złudzenie jaśniejszego, maskując rzeczywisty stan poszczególnych punktów i obszarów obrazu. Punkty, w których występuje zjawisko całkowitego odbicia są nieusuwalne za pomocą filtra polaryzacyjnego, natomiast odbłaski, przy odpowiednim jego ustawieniu mogą być prawie całkowicie usunięte (Chen i in. 2012).

Nawet niewielkie skrócenie filtra ( $30^\circ$ ) względem położenia wyjściowego powoduje zauważalne, choć nieistotne zmiany odczytu  $S_{p30}$  względem  $S$  w analizowanym przedziale czasu, w którym nastąpi prawdopodobny zbiór owoców. Dalsze zwiększanie kąta skrócenia płaszczyzny polaryzacji powodowało wygaszanie kolejnych obszarów pokrytych odbłaskami. Rezultatem tego było zmniejszenie wartości indeksu  $S$  interpretowanego w obrazie zapisanym z tak użytym filtrem polaryzacyjnym. Podobnie jak w poprzednim ustawieniu filtra przy dużych wartościach  $S$  różnice w jego ocenie w świetle filtrowanym w porównaniu do obrazów, które fotografowano bez filtra były mniejsze w początkowych terminach zbioru. W rozpatrywanym przedziale prawdopodobnego zbioru owoców różnice  $S_{p60}$  i  $S_{p90}$  oznaczane przy obu ustawieniach filtra, względem  $S_{p0}$  były już istotne (Tab. 7). Gdy stopień rozpadu skrobi był zaawansowany, różnice wartości wskaźnika obliczone na podstawie obrazów uzyskanych przez filtr polaryzacyjny, oraz tych, które obliczono bez jego użycia były mniejsze. Wiąże się to z tym, że w początkowych terminach zbioru kompleks skrobiowy zajmował dużą powierzchnię, na której również pojawiały się odbłaski, co przy ich wygaszaniu istotnie wpływało na wartość indeksu  $S$  obliczonego przy tej samej wartości progu filtracji obrazu (Tab. 7).

Tabela 7. Wyniki testu Tukey'a w zależności od kąta skrócenia płaszczyzny polaryzacji (Gloster)

| Dzień zbioru | Kąt polaryzacji( $^\circ$ ) | $S$        | Kąt polaryzacji ( $^\circ$ ) | $S$          | Kąt polaryzacji( $^\circ$ ) | $S$        |
|--------------|-----------------------------|------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| 269          | 0                           | 3,56 d,e   | 0                            | 3,56 e,f     | 0                           | 3,56 a,c   |
|              | 30                          | 3,24 d     | 60                           | 2,92 g       | 90                          | 2,69 f     |
| 273          | 0                           | 4,02 b     | 0                            | 4,02 a,b     | 0                           | 4,02 a,b   |
|              | 30                          | 3,72 d,e,f | 60                           | 3,43 e,g     | 90                          | 3,22 c     |
| 277          | 0                           | 4,40 a,b,c | 0                            | 4,40 a,b,c,d | 0                           | 4,40 b,d,e |
|              | 30                          | 4,12 b,c   | 60                           | 3,84 a,e,f   | 90                          | 3,64 a,c   |
| 281          | 0                           | 4,71 a     | 0                            | 4,71 c,d     | 0                           | 4,71 d,e   |
|              | 30                          | 4,44 a,b,c | 60                           | 4,18 a,b,c   | 90                          | 3,98 a,b   |
| 285          | 0                           | 4,91 a     | 0                            | 4,91 d       | 0                           | 4,91 e     |
|              | 30                          | 4,65 a,c   | 60                           | 4,42 b,c,d   | 90                          | 4,22 b,d   |

Przy ocenie wartości  $S$  przy zastosowaniu filtra polaryzacyjnego duże znaczenie ma, oprócz kąta ustawienia, również dobór próby owoców, co szczególnie widać przy eksperymencie z udziałem owoców odmiany Jonagold. Analiza przebiegu zmian indeksu  $S$  dla owoców tej odmiany po użyciu filtra polaryzacyjnego wykazała, że zastosowanie tego przyrządu nie zmienia istotnie  $S$  w przedziale, w którym znajduje się prawdopodobny termin zbioru. W analizowanej próbie zanotowano duże rozrzuty wartości indeksu  $S$  w poszczególnych terminach zbioru, co rzutowało na wyniki analizy statystycznej. Wykazała ona brak istotnego wpływu wygaszania odbłasków z powierzchni owoców na jego wartość (Tab. 8). Z praktycznego punktu widzenia różnice te jednak występują, ponieważ wartość indeksu  $S$  jest średnią arytmetyczną z próby 10-20 losowo wybranych owoców. Dotychczasowa procedura oznaczania indeksu  $S$  nie precyzuje, jaka powinna być wartość rozrzutu w próbie, zalecając jedynie obliczenie średniej arytmetycznej z pojedynczych pomiarów. Użycie filtra polaryzacyjnego powodowało, przy maksymalnym wygaszaniu odbłasków, osiąganym skróceniem filtra o  $90^\circ$ , zmniejszenie wartości  $S_{p0}$  do  $S_{p90}$  o ok. 0,6 stopnia.

*f. Gu*

Tabela 8. Wyniki testu Tukey'a w zależności od kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji (Jonagold)

| Dzień zbioru | Kąt polaryzacji(°) | S          | Kąt polaryzacji(°) | S        | Kąt polaryzacji(°) | S          |
|--------------|--------------------|------------|--------------------|----------|--------------------|------------|
| 265          | 0                  | 5,43 a     | 0                  | 5,43 a,d | 0                  | 5,43 b,c,d |
|              | 30                 | 5,21 a     | 60                 | 4,98 a   | 90                 | 4,82 b     |
| 269          | 0                  | 5,69 a     | 0                  | 5,69 a,d | 0                  | 5,69 c,d   |
|              | 30                 | 5,48 a     | 60                 | 5,26 a   | 90                 | 5,11 b,c   |
| 273          | 0                  | 6,50 a,b   | 0                  | 6,50 b,e | 0                  | 6,50 a,e   |
|              | 30                 | 6,33 b     | 60                 | 6,15 d,e | 90                 | 6,03 d,e   |
| 277          | 0                  | 6,89 b,c,d | 0                  | 6,89 b,c | 0                  | 6,89 a     |
|              | 30                 | 6,73 b,c,d | 60                 | 6,58 b,c | 90                 | 6,47 a     |
| 281          | 0                  | 7,28 d     | 0                  | 7,28 c   | 0                  | 7,28 f     |
|              | 30                 | 7,14 c,d   | 60                 | 7,01 b,c | 90                 | 6,91 a,f   |

Analiza zmian wartości wskaźnika skrobiowego wywołanych zastosowaniem zmiennych progów filtracji prowadzi do stwierdzenia, że niewielka zmiana progu filtracji, wynosząca  $\pm 5$  jednostek nie skutkuje istotnymi różnicami w interpretacji obliczonej wartości indeksu  $S$  (Tab. 9).

Różnica wartości indeksu  $S$ , obliczona z wartości średnich w poszczególnych terminach zbioru wynosiła od 0,3 do 0,4 stopnia, przy zawyżonym o 5 wartości poziomów jasności progu filtracji ( $t_{125}$ ), oraz wyższe o 0,4-0,5 stopnia, gdy próg filtracji był o 5 jednostek niższy ( $t_{115}$ ) od wartości bazowej. Zwiększenie odchylenia progu filtracji o  $\pm 10$  lub  $\pm 20$  poziomów powodowało już istotne względem  $S_{120}$  różnice wartości ( $S_{100}$ ,  $S_{110}$ ,  $S_{130}$  oraz  $S_{140}$ ), uzyskanych przy tak dużej rozpiętości progów filtracji. Obniżenie progu filtracji o 10 jednostek w skali jasności powodowało zmniejszenie się filtrowanej powierzchni, co skutkowało zawyżaniem wartości wskaźnika nawet o 1,6 stopnia. Wykorzystanie tak obliczonych wartości indeksu  $S$  w wersji  $S_{110}$  wywołuje wrażenie, że optymalna wartość indeksu została już osiągnięta, co skłonić może do decyzji o zbyt wczesnym zbiorze owoców, które w tym stadium dojrzałości nie nadają się do długotrwałego przechowywania. Jeszcze większe „przyspieszenie” terminu zbioru wywołane było korzystaniem z wartości indeksu obliczonego w wersji  $S_{100}$ .

Tabela 9. Zmiany wartości  $S$  przy zmiennym progu filtracji owoców Gloster, test Tukeya

| Dzień zbioru | Wartość Progu | S            | Wartość Progu | S        | Wartość progu | S        |
|--------------|---------------|--------------|---------------|----------|---------------|----------|
| 269          | 115           | 3,11 c,d,e   | 110           | 4,10 g   | 100           | 5,01 g   |
|              | 120           | 2,72 a,b,c   | 120           | 2,72 c,d | 120           | 2,72 d   |
|              | 125           | 2,29 a       | 130           | 1,76 a   | 140           | 1,40 a   |
| 273          | 115           | 3,39 d,e,f   | 110           | 4,10 g   | 100           | 5,19 g,h |
|              | 120           | 2,99 b,c,d   | 120           | 2,99 d,e | 120           | 2,99 d,e |
|              | 125           | 2,59 a,b     | 130           | 2,09 a,b | 140           | 1,73 a,b |
| 277          | 115           | 3,59 f,g     | 110           | 4,58 h   | 100           | 5,58 h,i |
|              | 120           | 3,09 c,d,e   | 120           | 3,09 d,e | 120           | 3,09 d,e |
|              | 125           | 2,81 b,c     | 130           | 2,40 b,c | 140           | 1,94 b   |
| 281          | 115           | 3,88 g,h     | 110           | 5,0 h,i  | 100           | 5,98 i,j |
|              | 120           | 3,41 d,e,f,g | 120           | 3,41 e,f | 120           | 3,41 e,f |
|              | 125           | 3,01 b,c,d   | 130           | 2,69 c,d | 140           | 2,20 b,c |
| 285          | 115           | 4,30 h       | 110           | 5,39 i   | 100           | 6,19 j   |
|              | 120           | 3,80 f,g     | 120           | 3,80 f,g | 120           | 3,80 f   |
|              | 125           | 3,49 e,f,g   | 130           | 3,10 d,e | 140           | 2,62 c,d |

Filtracja obrazu rozpadu skrobi w owocach Jonagold przy użyciu zmiennych wartości progu, nie powoduje istotnych zmian różnic w ocenie indeksu  $S$  wówczas, gdy różnica między progiem bazowym, wynoszącym 120 a pozostałymi progami wynosiła  $\pm 5$  wartości poziomów jasności

obrazowej (Tab. 10). Zwiększenie progu filtracji o 5 poziomów jasności skutkowało obniżeniem wartości indeksu  $S$  średnio o 0,4 – 0,5 stopnia w 10 stopniowej skali wskaźnika  $S$ . Podobny zakres zmian zanotowano przy obniżaniu progu filtracji o 5 poziomów jasności z tą różnicą, że wartości indeksu  $S_{115}$  były wyższe od wartości bazowej  $S_{120}$ . Gdy wartość rozrzutu między filtrowanymi obrazami wynosiła  $\pm 10$  poziomów jasności punktów wokół wartości bazowej, różnice wartości indeksu  $S$  ( $S_{110}$  i  $S_{130}$ ), liczone w oparciu o nowe progi filtracji, były istotnie różne na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  od wartości bazowej  $S_{120}$ .

Tabela 10. Zmiany wartości  $S$  przy zmiennym progu filtracji owoców Jonagold, test Tukeya

| Dzień zbioru | Wartość Progu | $S$            | Wartość Progu | $S$          | Wartość progu | $S$        |
|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|------------|
| 265          | 115           | 4,45 c,d,e,f,g | 110           | 5,10 f,g,h   | 100           | 5,52 h,i,j |
|              | 120           | 3,86 a,b,c     | 120           | 3,86 a,b,c,d | 120           | 3,86 c,d,e |
|              | 125           | 3,46 a         | 130           | 3,16 a       | 140           | 2,81 a     |
| 269          | 115           | 4,74 e,f,g,h   | 110           | 5,29 g,h     | 100           | 5,75 i,j,k |
|              | 120           | 4,18 b,c,d,e   | 120           | 4,18 b,c,d,e | 120           | 4,18 d,e,f |
|              | 125           | 3,80 a,b       | 130           | 3,51 a,b     | 140           | 3,11 a,b   |
| 273          | 115           | 4,98 g,h       | 110           | 5,60 h,i     | 100           | 6,03 j,k,l |
|              | 120           | 4,52 d,e,f,g   | 120           | 4,52 d,e,f   | 120           | 4,52 e,f,g |
|              | 125           | 4,00 a,b,c,d   | 130           | 3,76 a,b,c   | 140           | 3,39 a,b,c |
| 277          | 115           | 5,28 h,i       | 110           | 5,75 h,i     | 100           | 6,28 k,l   |
|              | 120           | 4,86 f,g,h     | 120           | 4,86 e,f,g   | 120           | 4,86 f,g,h |
|              | 125           | 4,32 b,c,d,e,f | 130           | 3,97 b,c,d   | 140           | 3,65 b,c,d |
| 281          | 115           | 5,72 i         | 110           | 6,08 i       | 100           | 6,51 l     |
|              | 120           | 5,18 h,i       | 120           | 5,18 f,g,h   | 120           | 5,18 g,h,i |
|              | 125           | 4,72 e,f,g,h   | 130           | 4,28 c,d,e   | 140           | 4,00 c,d,e |

Zmniejszenie granicy progu o 10 wartości powodowało, że w przedziale, w którym zawiera się prawdopodobny termin zbioru obliczone wartości  $S_{110}$  były istotnie wyższe, niż te, uzyskane jako  $S_{120}$ , czyli wartość indeksu dla progu bazowego. Różnice wartości  $S_{110}$  i  $S_{120}$  wynosiły w tym przedziale od 0,9 do 1,2 stopnia  $S$ . Gdy próg filtracji był podwyższony o 10, to wartości  $S_{130}$  były niższe średnio o 0,7 – 0,9 stopnia  $S$ .

Dalsze zwiększanie rozrzutu progów filtracji wokół wartości progu bazowego, a tym samym hipotetyczne założenie błędów oznaczenia progu filtracji wynoszącym  $\pm 20$  stopni jasności wokół wartości bazowej skutkowało już dużymi różnicami wartości  $S_{100}$  oraz  $S_{130}$ , które wynosiły w badanym przedziale terminów zbioru owoców aż 1,2-1,5 stopnia.

Ważnym czynnikiem wpływającym na postrzeganie rejestrowanych obrazów jest oświetlenie, które, odpowiednio ustawione, umożliwia ujawnienie szczegółów przedmiotów niosących istotne z punktu widzenia analizy obrazu informacje.

W terminach zbioru od 253 do 269 dnia roku wartości indeksu  $S$  obliczone po filtracji obrazów wykonanych w świetle przechodzącym są wyższe niż te, uzyskane w świetle odbitym. W terminach zbioru od 285 do 297 lub 305 dnia roku wartości indeksu  $S$  uzyskane metodą światła przechodzącego uzyskują niższe wartości. W przedziale terminów zbioru, traktowanych jako prawdopodobne „okno zbioru”, czyli między 265 a 281 dniem roku dla odmian Rubin i Jonagold, oraz między 269 a 285 dniem roku dla odmian Melrose i Gloster, przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji. Wyniki analizy statystycznej umieszczono w tabelach 11 i 12. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono istotnych różnic w ocenie  $S$  proponowanymi metodami dla odmian Melrose i Gloster. Wyjątek stanowią tu dwa terminy zbioru owoców Gloster (269 oraz 271 dzień roku) oraz pierwszy termin (269 dzień roku) w „oknie zbioru” odmiany Melrose (Tab. 11).

Tabela 11. Porównanie wartości  $S$  owoców Melrose i Gloster obliczonego metodą światła odbitego (O) i przechodzącego (P) test Tukey'a

| Dzień zbioru | Melrose |        | Gloster |          |
|--------------|---------|--------|---------|----------|
|              | Metoda  | $S$    | Metoda  | $S$      |
| 269          | O       | 3,57 b | O       | 2,71 c   |
|              | P       | 4,32 a | P       | 3,4 a,b  |
| 273          | O       | 4,03 a | O       | 2,91 c,d |
|              | P       | 4,23 a | P       | 3,51 a,b |
| 277          | O       | 4,05 a | O       | 3,19 a,d |
|              | P       | 4,3 a  | P       | 3,49 a,b |
| 281          | O       | 4,28 a | O       | 3,4 a,b  |
|              | P       | 4,4 a  | P       | 3,58 a,b |
| 285          | O       | 4,34 a | O       | 3,71 b   |
|              | P       | 4,39 a | P       | 3,41 a,b |

Poza przedziałem terminów należących do „okna zbioru” wartości indeksu  $S$  interpretowane były w podobny sposób u wszystkich badanych odmian owoców. W terminach wcześniejszych niż ten przedział (od 253 do 269 dnia roku) wartości indeksu  $S$  obliczone z obrazów rejestrowanych w świetle przechodzącym były istotnie wyższe od tych, liczonych z obrazów próbek owoców zapisanych w świetle odbitym. Prawdopodobną przyczyną takiej interpretacji indeksu  $S$  było użycie silnego oświetlenia przechodzącego, które rozjaśniało obszary graniczne między „wzorem skrobiowym” a powierzchnią wolną od skrobi. Rozjaśnienie słabo zabarwionych obszarów granicznych powodowało, że przyjmowały one wyższe wartości jaskrawości, niż użyty w analizie obrazu próg filtracji. W rezultacie otrzymano powierzchnię „wzoru skrobiowego” mniejszą niż rzeczywiste pole zajęte przez skrobie, co skutkowało obliczeniem zawyżonej wartości indeksu  $S$ .

Tabela 12. Porównanie wartości  $S$  owoców Jonagold i Rubin obliczonego metodą światła odbitego (O) i przechodzącego (P) test Tukey'a

| Dzień zbioru | Jonagold |            | Rubin  |            |
|--------------|----------|------------|--------|------------|
|              | Metoda   | $S$        | Metoda | $S$        |
| 265          | O        | 3,71 g     | O      | 4,69 c     |
|              | P        | 4,32 a     | P      | 5,29 a,b   |
| 269          | O        | 4,3 a      | O      | 4,91 b,c   |
|              | P        | 4,57 a,b   | P      | 5,48 a,b   |
| 273          | O        | 4,91 b,c,d | O      | 5,19 a,b,c |
|              | P        | 4,74 a,b,c | P      | 5,58 a     |
| 277          | O        | 5,39 d,e,f | O      | 5,4 a,b    |
|              | P        | 5,18 c,d,e | P      | 5,49 a,b   |
| 281          | O        | 5,9 f      | O      | 5,69 a     |
|              | P        | 5,63 e,f   | P      | 5,5 a,b    |

Jabłka odmian o zróżnicowanym typie rozpadu skrobi charakteryzują się też różnymi wartościami indeksu zbiorczego  $IS$ , przy których powinien nastąpić ich zbiór. Dla owoców Gloster wartość ta wynosi od 3 do 4. Odmiany o niskiej zawartości skrobi podczas zbioru osiągają również niższe wartości indeksu Streifa podczas zbioru. Dla odmiany Jonagold jego wartość powinna mieścić się w przedziale od 0,8 do 0,9 [Streif, 1996].

Obniżenie progu filtracji powoduje pozorne „zwiększenie się” jego wartości. I tak wartości indeksu  $S_{100}$ ,  $S_{110}$  i  $S_{115}$  użyte w obliczeniu indeksu Streifa ( $IS$ ), sugerują przyspieszenie zbioru owoców Gloster. Zbiór powinien odbyć się między 253 a 261 dniem roku (Tab. 13), co jest dla tej odmiany terminem zbyt wczesnym. Biorąc pod uwagę, że pozostałe wskaźniki, wchodzące w skład indeksu zbiorczego, zostały obliczone poprawnie, przy użyciu certyfikowanych instrumentów pomiarowych, użycie do analizy obniżonego progu filtracji obrazu powoduje poważne błędy podczas zbioru. Tabela 13 prezentuje też przebieg zmian tych wartości przy różnych wartościach indeksu skrobiowego, którego zmiany wywołane były przesunięciem progu filtracji obrazu. Obserwując zaznaczone w niej

wartości indeksu Streifa, które mieszczą się w przedziale zalecanym podczas zbioru jabłek tej odmiany, można stwierdzić, że zmienny próg filtracji w zakresie 100 – 140 powodował duży rozrzut terminów zbioru w zakresie od 253 do 277 dnia roku. Zgodnie z wartościami  $IS$  otrzymanymi w doświadczeniu, optymalnym progiem filtracji była wartość  $t_{130}$  oraz  $t_{140}$ . Dla tych wartości progu uzyskano  $IS$  w prawdopodobnym przedziale terminów zbioru, w których następuje zbiór owoców tej odmiany, czyli między 273 a 277 dniem roku.

Tabela 13. Zmiany wartości indeksu Streifa owoców Gloster spowodowane zmiennym progiem filtracji obrazów

| Dzień zbioru | $IS_{100}$ | $IS_{110}$ | $IS_{115}$ | $IS_{120}$ | $IS_{125}$ | $IS_{130}$ | $IS_{140}$ |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 253          | 3,06       | 4,45       | 5,89       | 9,37       | 11,14      | 14,39      | 21,60      |
| 257          | 2,57       | 3,40       | 4,44       | 5,70       | 8,54       | 10,87      | 15,70      |
| 261          | 2,06       | 2,55       | 3,32       | 4,32       | 5,38       | 7,08       | 9,87       |
| 265          | 1,70       | 2,11       | 2,74       | 3,33       | 4,00       | 5,19       | 7,18       |
| 269          | 1,46       | 1,78       | 2,35       | 2,68       | 3,19       | 4,14       | 5,20       |
| 273          | 1,34       | 1,69       | 2,04       | 2,32       | 2,68       | 3,31       | 3,99       |
| 277          | 1,22       | 1,48       | 1,89       | 2,19       | 2,42       | 2,82       | 3,49       |
| 281          | 1,06       | 1,27       | 1,63       | 1,85       | 2,10       | 2,35       | 2,87       |
| 285          | 0,98       | 1,13       | 1,41       | 1,60       | 1,74       | 1,96       | 2,32       |
| 289          | 0,84       | 0,95       | 1,10       | 1,27       | 1,43       | 1,55       | 1,86       |
| 293          | 0,75       | 0,80       | 0,88       | 1,00       | 1,12       | 1,26       | 1,48       |
| 297          | 0,66       | 0,69       | 0,73       | 0,80       | 0,91       | 1,03       | 1,25       |

Jonagold jest z kolei odmianą jabłek, której zbiór powinien przypadać przy znacznie niższych wartościach  $IS$ . Optymalny przedział indeksu zbiorczego Streifa wynosi dla nich 0,8 – 0,9. Analizując wyniki w tabeli 14 można zauważyć, że wartość  $IS$  dla odmiany Jonagold, która umożliwia jej zbiór była osiągana późno. Dla większości wartości otrzymanych po filtracji obrazów indeksu skrobiowego progami o wysokiej wartości, czyli powyżej 120, wartości  $IS$  obliczone z użyciem wartości  $S$  uzyskanych przy tym poziomie progu filtracji, przyjmują wartości optymalne za późno. Termin zbioru wyznaczony przy tym poziomie filtracji  $S$  przypada najwcześniej na 281 dzień roku, a więc ok. 8 X, co dla tej odmiany jest terminem późnym i występuje sporadycznie. W analizowanym sezonie przechowalniczym 2011/12, w którym wykonano pomiary, zbiór owoców rozpoczęto 30 IX.

Tabela 14. Zmiany wartości indeksu Streifa owoców Jonagold spowodowane zmiennym progiem filtracji obrazów

| Dzień zbioru | $IS_{100}$ | $IS_{110}$ | $IS_{115}$ | $IS_{120}$ | $IS_{125}$ | $IS_{130}$ | $IS_{140}$ |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 253          | 1,5        | 1,6        | 1,8        | 2,2        | 2,5        | 2,8        | 3,1        |
| 257          | 1,3        | 1,5        | 1,7        | 1,9        | 2,1        | 2,4        | 2,6        |
| 261          | 1,2        | 1,3        | 1,5        | 1,7        | 1,9        | 2,0        | 2,3        |
| 265          | 1,0        | 1,1        | 1,2        | 1,3        | 1,5        | 1,6        | 1,7        |
| 269          | 0,9        | 1,0        | 1,1        | 1,1        | 1,3        | 1,4        | 1,5        |
| 273          | 0,9        | 1,0        | 1,0        | 1,2        | 1,3        | 1,4        | 1,5        |
| 277          | 0,8        | 0,8        | 0,9        | 0,9        | 1,0        | 1,1        | 1,2        |
| 281          | 0,7        | 0,7        | 0,8        | 0,8        | 0,9        | 1,0        | 1,1        |
| 285          | 0,6        | 0,6        | 0,6        | 0,7        | 0,7        | 0,8        | 0,9        |
| 289          | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,6        | 0,7        | 0,7        |
| 293          | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,6        | 0,6        |
| 297          | 0,4        | 0,4        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,6        |

Indeks De Jagera ( $IJ$ ) opiera się na tych samych wskaźnikach  $S$ ,  $F$  oraz  $R$ , na podstawie których obliczany jest indeks Streifa. Ich wartości dla poszczególnych odmian umieszczono w tabelach 15 oraz 16. Ze względu na inną postać wyrażenia, które definiuje ten indeks zbiorczy, inny jest jego przebieg oraz uzyskiwane wartości. Indeks De Jagera przyjmuje też inne przedziały wartości optymalnych, przy których powinno wykonywać się zbiór owoców przeznaczonych do długotrwałego przechowywania. Przedziały wartości indeksu  $IJ$ , dopuszczalne podczas zbioru wynoszą dla owoców

Gloster gdy mieści się on w zakresie od 50 do 60, natomiast Jonagold przy  $IJ$  osiągającym wartości 25 do 35.

Tabela 15. Wyniki obliczeń indeksu De Jagera odmiany Gloster dla różnych progów filtracji obrazu

| Dzień zbioru | $IJ_{100}$ | $IJ_{110}$ | $IJ_{115}$ | $IJ_{120}$ | $IJ_{125}$ | $IJ_{130}$ | $IJ_{140}$ |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 253          | 80         | 92         | 98         | 105        | 107        | 109        | 112        |
| 257          | 70         | 79         | 86         | 91         | 96         | 98         | 101        |
| 261          | <u>59</u>  | 66         | 73         | 78         | 81         | 85         | 88         |
| 265          | <u>50</u>  | <u>58</u>  | 64         | 69         | 72         | 75         | 79         |
| 269          | 44         | <u>50</u>  | <u>58</u>  | <u>60</u>  | 64         | 68         | 70         |
| 273          | 40         | 48         | <u>53</u>  | <u>56</u>  | 58         | 62         | 64         |
| 277          | 37         | 44         | 50         | <u>54</u>  | <u>56</u>  | <u>58</u>  | 62         |
| 281          | 32         | 38         | 45         | 48         | <u>51</u>  | <u>53</u>  | <u>56</u>  |
| 285          | 29         | 34         | 41         | 44         | 46         | 48         | <u>51</u>  |
| 289          | 25         | 28         | 33         | 37         | 40         | 41         | 45         |
| 293          | 21         | 23         | 26         | 30         | 33         | 36         | 39         |
| 297          | 17         | 18         | 21         | 24         | 27         | 31         | 35         |

Wyniki analizy  $IJ$  dla odmiany Gloster (Tab. 15) wskazują, że optymalny termin, przy progu filtracji obrazu, mieszczącym się w przedziale od  $t_{100}$  do  $t_{140}$ , wynosił od 261 do 285 dnia roku. Przedział ten był niemal identyczny z tym, w którym dokonywano analiz statystycznych zmian indeksu  $S$  we wcześniejszych podrozdziałach pracy. Może to oznaczać, że taki przedział progów filtracji obrazu daje wysokie prawdopodobieństwo prawidłowego ustalenia wartości indeksu skrobiowego, będącego jedynym wskaźnikiem składowym indeksów zbiorczych, który oznacza się bez użycia instrumentów pomiarowych. Ocena wykorzystania narzędzi optycznych do jego obliczania jest jednym z głównych celów niniejszej pracy

W owocach odmiany Jonagold, które charakteryzują się odmiennym typem rozpadu skrobi, występuje inna zależność. Przedział wartości progów filtracji, a tym samym wartości  $IJ$  otrzymanych na podstawie obliczonego według nich indeksu  $S$  wskazują, że zastosowanie podczas filtracji progów  $t_{125}$  i wyższych, powodowało przesunięcie decyzji o zbiorze do tego stopnia, że owoce takie nadawałyby się tylko do krótkotrwałego przechowywania. Tutaj korzystniejsze byłoby stosowanie niższych wartości progów filtracji, w celu precyzyjnego zdefiniowania  $S$ , wchodzącego w skład indeksu zbiorczego (Tab. 16). Z danych w tej tabeli wynika, że obniżenie progów do ok. 110 dałoby bardziej wiarygodne wyniki.

Tabela 16. Wyniki obliczeń indeksu De Jagera odmiany Jonagold dla różnych progów filtracji obrazu

| Dzień zbioru | $IJ_{100}$ | $IJ_{110}$ | $IJ_{115}$ | $IJ_{120}$ | $IJ_{125}$ | $IJ_{130}$ | $IJ_{140}$ |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 253          | 44         | 49         | 53         | 58         | 63         | 65         | 67         |
| 257          | 41         | 44         | 49         | 53         | 56         | 58         | 61         |
| 261          | 37         | 40         | 44         | 48         | 51         | 53         | 56         |
| 265          | <u>29</u>  | 32         | 36         | 38         | 41         | 43         | 45         |
| 269          | <u>26</u>  | <u>29</u>  | 32         | 34         | 37         | 39         | 41         |
| 273          | 27         | <u>29</u>  | <u>32</u>  | <u>35</u>  | 38         | 40         | 42         |
| 277          | 21         | 24         | <u>26</u>  | <u>28</u>  | <u>31</u>  | 33         | 36         |
| 281          | 17         | 20         | 21         | 23         | <u>26</u>  | <u>30</u>  | <u>33</u>  |
| 285          | 13         | 15         | 16         | 17         | 21         | <u>24</u>  | <u>27</u>  |
| 289          | 8          | 9          | 10         | 11         | 15         | 19         | 22         |
| 293          | 7          | 8          | 9          | 9          | 13         | 16         | 18         |
| 297          | 6          | 7          | 8          | 8          | 11         | 13         | 15         |

*T. Gm*

#### 4.6. Podsumowanie i wnioski

Próby wykorzystania narzędzi optycznych w celu oceny jakości jabłek były podejmowane w licznych publikacjach [Peirs i in. 2000; Peirs i in. 2002; Peirs i in. 2005; Quing i in. 2007; Solovchenko i in. 2011; Solovchenko i in. 2012; Linker i in. 2012; Hengari i in. 2014; Jarolmasjed i in. 2016; Cardenas-Perez i in. 2017]. Dojrzałość jabłek jest oceniana od dawna za pomocą nielicznej, lecz wiarygodnej grupy testów, które precyzyjnie opisują przemiany podczas ich dojrzewania. Do najważniejszych wśród nich należą zawartość etylenu w gniazdach nasiennych, zawartość skrobi, jędrność miąższu oraz zawartość ekstraktu. [Łysiak 1998a]. Wśród nich występują te, w których badacze starali się ustalić związek między zmianami jakości występującymi w miąższu owoców, a stanem ich powierzchni.

Wyniki badań Doerflinger i in. (2015) wskazują, że nie ma korelacji między zmianami barwy skórki owocu a stężeniem skrobi w miąższu jabłek oraz szybkością syntezy etylenu. Według Brookfielda i in. (1997), zanik zabarwienia skrobi jodem następuje przy stężeniu 2-3 mg/g miąższu owocu. Pozostała jej część mimo obecności w tkance owocu, jest pomijana podczas analizy wyniku testu skrobiowego. Dlatego też głównymi czynnikami, wpływającymi na wartość indeksu  $S$  jest całkowita zawartość skrobi w jabłkach oraz szybkość jej rozpadu podczas ich dojrzewania (Doerflinger i in. 2015). Oba te czynniki są z kolei zależne od odmiany jabłek, sezonu zbioru, lokalizacji sadu oraz warunków klimatycznych panujących w sadzie (Rutkowski i in. 2005; Mika i in. 2007). Podczas obiektywnej oceny indeksu  $S$  występowały także trudności wynikające z niezgodności jego wartości, przedstawionej na fotografiach tablic wzorcowych, z wartościami uzyskanymi w wyniku ich weryfikacji za pomocą narzędzi optycznych (Peirs i in. 2002; Doerflinger i in. 2015).

Kolejnym problemem, który pojawiał się podczas oceny indeksu skrobiowego jest zbyt rozbudowana, 10-stopniowa skala jego wartości (Brookfield i in. 1997). Podobne obserwacje poczynili Peirs i in. (2002), określając ocenę zawartości skrobi metodą wzrokową, z użyciem 10-stopniowej, tradycyjnej skali jako „niepewną”, natomiast wyniki uzyskane poprzez analizę obrazów cyfrowych jako „obiektywne”. Autorzy ci proponują uproszczenie tablic wzorcowych do 5-stopniowej skali. Nawet skala 6-stopniowa używana dawniej przez Reida i in. (1982), ilustrowała większe różnice zawartości skrobi między stopniami indeksu  $S$ , co ułatwiało prawidłowe przyporządkowanie zabarwionych owoców do obrazów wzorcowych.

Według Szalaya i in. (2013) zawartość skrobi, wyrażona indeksem skrobiowym, jest najbardziej wiarygodnym wskaźnikiem procesu dojrzewania jabłek. Jednak wyniki obserwacji przebiegu ich dojrzewania, mimo obfitego materiału badawczego (24 odmiany), przeprowadzona tylko w jednym sezonie, należy wg autorów, traktować z ostrożnością. Szczególnie dotyczy to oznaczania optymalnego terminu zbioru oraz długości przedziału „okna zbioru”. Wyniki badań umieszczone w pracy obejmowały 7 sezonów przechowalniczych, w tym 4 sezony, traktowane jako pierwszy, wstępny etap badań. Celem tego etapu była wstępna ocena przydatności narzędzi optycznych użytych do obliczeń indeksu skrobiowego.

W początkowej fazie doświadczeń dokonano porównania wartości indeksu skrobiowego oznaczonego różnymi metodami, począwszy od tradycyjnej (OW), z wykorzystaniem skanera (SK), kamery czarno-białej CCD (CB) i aparatu cyfrowego w systemie RGB (AC). Wyznaczono równania regresji ilustrujące zmiany  $S$  w 4 kolejnych sezonach zbioru z wykorzystaniem analizy istotności różnic tychże równań dla poszczególnych metod. W podsumowaniu tej części doświadczenia można sformułować następujące wnioski:

- Najwyższe wskaźniki zgodności przebiegu równań regresji, obrazujących zmiany indeksu  $S$ , osiągnięto metodą analizy zdjęć czarno-białych (CB), niezależnie od sposobu rozpadu skrobi w owocach.
- Dla owoców reprezentujących kołowy typ rozpadu skrobi (Gloster) współczynniki zgodności przebiegu równań regresji przyjmowały wyższe wartości niż dla owoców o promieniowym rozkładzie skrobi (Jonagold).
- Najniższe wartości sumarycznych współczynników zgodności charakteryzujących przebieg zmian indeksu  $S$  w czterech kolejnych latach zbioru osiągnięto porównując równania regresji otrzymane

metodą OW. Przebiegi zmian tego wskaźnika uzyskane za pomocą tablic wzorcowych (OW) były obciążone błędami wynikającymi z indywidualnej percepcji osób oceniających.

- Wartości indeksu skrobiowego uzyskiwane metodą tradycyjną (OW) były istotnie wyższe w porównaniu z tymi, uzyskanymi metodami KAO. Dotyczyło to oceny wartości  $S$  jabłek odmiany Jonagold oraz Gloster, co sugerowałoby wcześniejszy ich zbiór przy posługiwaniu się tą metodą oceny w porównaniu z metodami KAO.
- Indeks skrobiowy nie zmieniał się istotnie, gdy jego wartości obliczono z wykorzystaniem analizy obrazu zdjęć czarno-białych (CB), wykonanych aparatem cyfrowym (AC) oraz skanerem (SK). Zależność ta obserwowana była w zakresie prawdopodobnego „okna zbioru”. Wyjątek stanowił tu wariant oceny metodą SK, przy którym dla niektórych sezonów zbioru (Gloster 2005, 2007, Jonagold 2006) wartości  $S$  obliczone tą metodą były istotnie niższe w rozpatrywanym przedziale zbioru.

W drugim etapie badań zwrócono szczególną uwagę na możliwości, jakie daje metoda zapisu obrazu aparatem (AC). W tej części doświadczenia zauważono następujące prawidłowości:

- Zmiana temperatury barwowej w przedziale 2800K-4800K powodowała, przy zachowaniu stałego progu filtracji obniżenie wartości indeksu skrobiowego. Zmiany te są nieistotnie niższe przy wartości 4800K w całym przedziale spodziewanych terminów zbioru.
- Podczas analizy zmian indeksu skrobiowego można posłużyć się, zamiennie z obrazami RGB, wersjami obrazów uzyskanych ze składowej G (zielonej). Wartości  $S$  obliczone poprzez analizę obrazów monochromatycznych nieistotnie różnią się od wartości uzyskanych poprzez filtrację obrazów barwnych tym samym progiem w skali jasności.

Kolejnym przykładem modyfikacji obrazu cyfrowego było użycie filtra polaryzacyjnego w celu redukcji odbłasków, będących światłem spolaryzowanym. W tej części badań poczyniono następujące spostrzeżenia:

- Podczas obserwacji owoców Gloster skrócenie płaszczyzny polaryzacji o kąt 60-90° skutkowało redukcją odbłasków na powierzchni próbek w takim stopniu, że wartość indeksu  $S$  obliczona przy takich ustawieniach filtra zmniejszała się istotnie.
- Niższe wartości indeksu skrobiowego uzyskane w wyniku „wygaszenia” odbłasków skutkowało tym, że optymalne wartości indeksu  $S$ , zalecane podczas zbioru osiągnąć były później. Przesunięcie terminu zbioru wskutek zmniejszania się wartości  $S$  po wygaszaniu odbłasków wynosiło dla owoców Gloster od 3 dni przy skróceniu płaszczyzny polaryzacji o 30° do 8 dni przy skróceniu płaszczyzny polaryzacji o 90°.
- Użycie filtra polaryzacyjnego przy analizie próbek owoców Jonagold nie wykazywało istotnych statystycznie zmian wartości indeksu skrobiowego nawet przy maksymalnym kącie skrócenia płaszczyzny polaryzacji.

Jednym z prawdopodobnych błędów oznaczeń wartości indeksu skrobiowego metodami KAO jest użycie niewłaściwego progu filtracji, co skutkuje znaczącymi odchyleniami wartości indeksu  $S$  obliczonych na podstawie zmienionych progów filtracji.

- Filtracja obrazów z odchyleniami  $\pm 5$  stopni wokół wartości bazowej nie skutkowała istotnymi statystycznie różnicami w interpretacji wartości indeksu skrobiowego. Rozpiętość różnic wartości tego wskaźnika wynosiła w tym przypadku ok. 0,8 stopnia indeksu  $S$  dla owoców Gloster, oraz 1 stopień indeksu  $S$  dla Jonagolda.
- Dla odmiany o kołowym rozpadzie skrobi (Gloster) korzystniejsze było podwyższenie progu filtracji powyżej wartości bazowej ( $S_{120}$ ), gdyż dla tych wartości ( $S_{125}$ ) indeks skrobiowy przyjmował optymalne wartości w najbardziej prawdopodobnym przedziale terminów zbioru. Odmiany owoców o promieniowym rozpadzie skrobi osiągały optymalne wartości indeksu  $S$  po filtracji progiem  $t_{115}$ , a więc nieco niższym niż w owocach o kołowym rozpadzie skrobi.

Jednym z możliwych sposobów analizy obrazu indeksu skrobiowego jest obserwacja próbek w świetle przechodzącym przez próbkę owoców zabarwionych kompleksem jodowo-skrobiowym. Wymaga to specjalnego przygotowania próbek poprzez cięcie na dość cienkie plastry. Podczas prześwietlania próbek ujawniają się ponadto elementy struktury owocu, takie jak wiązki przewodzące

*H. Gen*

oraz zarysy gniazd nasiennych. Wyniki uzyskane z wykorzystaniem tej metody oświetlenia nie są jednoznaczne i skłaniają do następujących wniosków:

- W terminach zbioru, w przedziale od 269 do 285 dnia roku nie zaobserwowano istotnych różnic w ocenie wartości indeksu skrobiowego dla owoców odmiany Gloster. Różnice w ocenie wartości  $S$  wynosiły 0,1 do 0,7 stopnia dla odmiany Melrose oraz 0,2 do 0,7 dla owoców Gloster.
- Jabłka odmian o promieniowym rozpadzie skrobi (Jonagold, Rubin), wykazywały w terminach zbioru od 265 do 281 dnia roku podobne różnice w interpretacji indeksu skrobiowego, wynoszące 0,2 – 0,7 stopnia dla Jonagolda i 0,1 – 0,6 dla Rubina. Potwierdza to też wynik analizy statystycznej, której wyniki wskazują na brak istotnych różnic między wartościami uzyskanymi obiema metodami oświetlenia próbek.

Do najbardziej znanych indeksów zbiorczych zaliczany jest indeks Streifa ( $IS$ ) oraz indeks De Jagera ( $IJ$ ). Oba te wskaźniki były brane pod uwagę przy oznaczeniu dojrzałości owoców. Oto najważniejsze wnioski, które sformułowano po opracowaniu tej części doświadczenia:

- Optymalne wartości indeksu Streifa ( $IS$ ), dla odmian o kołowym rozpadzie skrobi były osiągane przy nieco wyższych niż bazowa, wartościach progu filtracji, wynoszących  $t_{125}$  oraz  $t_{130}$ . Dynamika zmian tego zbiorczego wskaźnika dojrzałości w odmianie o promieniowym rozpadzie skrobi (Jonagold), jest mniejsza niż w jabłkach odmiany Gloster. W oparciu o uzyskane wyniki, przedziały optymalnego terminu zbioru są osiągane przy wartości indeksu  $S$  otrzymanego filtrem o wartości niższej niż 120. Optymalną wartością progu filtracji był próg  $t_{110}$ .
- Obserwacja zmian wartości indeksu De Jagera ( $IJ$ ) wskazuje, że ustalanie optymalnej wartości progów filtracji wykazuje podobną prawidłowość jak w przypadku indeksu Streifa ( $IS$ ). Obrazy próbek odmian o kołowym rozpadzie skrobi były, w celu wyznaczenia wartości indeksu  $S$ , filtrowane progiem o wartości  $t_{125}$ , a próbki owoców o rozpadzie promieniowym – progami o wartości mniejszej niż bazowa ( $t_{120}$ ), czyli  $t_{110}$  oraz  $t_{115}$ . Taka procedura umożliwiała pewniejszy pomiar wskaźnika  $IS$  oraz  $IJ$ , który powiązany jest z innymi wskaźnikami, które wyznaczone były urządzeniami o sprawdzonej dokładności pomiaru.

## Wybrana bibliografia

- Baranowski P., Mazurek W., Wozniak J., Majewska U., (2012). Detection of early bruises in apples using hyperspectral data and thermal imaging. *Journal of Food Engineering* 110, 345–355.
- Belin É., Rousseau D., Boureau T., Caffier V., (2013). Thermography versus chlorophyll fluorescence imaging for detection and quantification of apple scab. *Computers and Electronics in Agriculture* 90, 159–163.
- Bertone E., Venturello A., Leardi R., Geobaldo F., (2012). Prediction of the optimum harvest time of 'Scarlet' apples using DR-UV-Vis and NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 69, 15–23.
- Brookfield P., Murphy P., Harker R., MacRae E., (1997). Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biology and Technology* 11, 23–30.
- Brosnan T., Sun D. W., (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering* 61, 3–16.
- Brown T. G., (2011): Unconventional Polarization States: Beam Propagation, Focusing, and Imaging. *Progress in Optics*, Vol. 56, 81–129.
- Bulens I., Van de Poel B., Hertog L. M., De Proft M. P., Geeraerd A. H., Nicolai B. M., (2012). Influence of harvest time and 1-MCP application on postharvest ripening and ethylene biosynthesis of 'Jonagold' apple. *Postharvest Biology and Technology* 72, 11–19.
- Cardenas-Perez S., Chanona-Perez J., Mendez-Mendez J.V., Calderon-Dominguez G., Lopez-Santiago R., Perea-Flores M. J., Arzate-Vazquez I. (2017). Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering* 159, 46–58.
- De Jager A., Roelofs F. P., (1996). Prediction of optimum harvest date of Jonagold. . In de Jager A., Johnson D., Hohn E., (Eds.) *COST 94, 9-10 June 1994. The postharvest treatment of fruit and vegetables: Determination and prediction of optimum harvest date of apple and pears*. Lofthus, Norway, pp. 21–32.
- De Jager A., (1994). Jak w Holandii wyznaczamy termin zbioru. *Biuletyn Towarzystwa Rozwoju Sadów Kartowych. Sad Kartowy* 3, s. 14–20.



- De Long J. M., Prange R. K., Harrison P., Schofield R. A., De Ell J. R., (1999). Using the Streif Index as a final harvest window for controlled atmosphere storage of apples. *Hort Science* 34(7), 1251-1255.
- Deng L., Pan X., Chen L., Shen L., Sheng J., (2013). Effects of preharvest nitric oxide treatment on ethylene biosynthesis and soluble sugars metabolism in 'Golden Delicious' apples. *Postharvest Biology and Technology* 84, 9-15.
- Doerflinger F. C., Miller W. B., Nock J. F., Watkins C. B. (2015). Relationships between starch pattern indices and starch concentrations in four apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 110, 86-95.
- Du C. J., Sun D. W., (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering* 72, 39-55.
- Echeverria G., Fuentes T., Graell J., Lara I., López M. L., (2004). Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology A comparison of two seasons. *Postharvest Biology and Technology* 32, 29-44.
- Fan L., Song J., Forney C. F., Jordan M. A., (2011). Fruit maturity affects the response of apples to heat stress. *Postharvest Biology and Technology* 62, 35-42.
- Garrido-Novell C., Pérez-Marin D., Amigo J. M., Fernández-Novales J., Guerrero J. E., Garrido-Varo A., (2012). Grading and color evolution of apples using RGB and hyperspectral imaging vision cameras. *Journal of Food Engineering* 113, 281-288.
- Girard B., Lau O. U., (1995). Effect of maturity and storage on quality and volatile production of 'Jonagold' apples. *Food Research International*, vol. 28, No 5, 465-471.
- Gorny J. R., Hess-Pierce B., Cifuentes R. A., Kader A. A., (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology* 24, 271-278.
- Guz T., (2005). Oznaczanie indeksu skrobiowego jabłek metodą komputerowej analizy obrazów. *Inżynieria Rolnicza* 11 (71), 163-170.
- Guz T., (2006). Komputerowa analiza obrazów w ocenie rozkładu skrobi podczas dojrzewania jabłek. *Inżynieria Rolnicza* 7(82), 199-207.
- Guz T., (2009). The use of image analysis to estimate harvest ripeness of apples. *TEKA Kom. Mpt Energ. Roln OL PAN*, Vol 9, 61-68.
- Guz T., (2010). Harvest date determined by different methods of starch index readings and texture changes during apple storage. *TEKA Kom. Mpt Energ. Roln OL PAN*, Vol 10, 74-81.
- Hengari S., Theron K. L., Midgley S. J. E., Steyn W. J., (2014). The effect of high UV-B dosage on apple fruit photosystems at different fruit maturity stages. *Scientia Horticulturae* 170, 103-114.
- Jamishidian F., Zhang Y., Liu W., Jamishidian M. (2005). A software including some new developments in multiple comparison and simultaneous confidence bands for linear regression models. *Journal of Statistical Software* 12, (2), 1-23.
- Ji W., Zhao D., Cheng F., Xu B., Zhang Y., Wang J., (2012). Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot. *Computers and Electrical Engineering* 38, 1186-1195.
- Johnston J. W., Hewett E. W., Hertog L. M., Harker F. R., (2002). Harvest date and fruit size affect postharvest softening of apple fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77 (3), 355-360.
- Ju Z., Bramlage W. J., (2001). Developmental changes of cuticular constituents and their association with ethylene during fruit ripening in 'Delicious' apples. *Postharvest Biology and Technology* 21, 257-263.
- Kang S. P., East A. R., Trujillo F. J., (2008). Colour vision system evaluation of bicolour fruit: A case study with 'B74' mango. *Postharvest Biology and Technology* 49, 77-85.
- Konopacka D., Płocharski W., Rutkowski K. P., Szymczak J., (1997). Wpływ jędrności jabłek i gruszek na ocenę sensoryczną ich tekstury i możliwości przewidywania optymalnej jakości. *Seminarium pracowników Katedry Sadownictwa i Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa. Lublin, Wydawnictwo AR Lublin* s. 134-137.
- Kruczyńska D., Rutkowski K. P., Czyżczyk A., (2001). Comparison of fruit quality, maturity and storability of "'Gala'" and red-coloured "'Gala'" mutants (*Malus domestica* Borkh.). *Folia Hort.* 13/2, 83-88.
- Li J., Luo W., Wang Z., Fan S., (2019). Early detection of decay on apples using hyperspectral reflectance imaging combining both principal component analysis and improved watershed segmentation method. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 235-246.
- Li Y., Zhang H., Liu W., Yan C., (2018). Polarization radiometric calibration method for multichannel polarization camera. *Optic- International Journal for Light and Electron Optics*, 172, 980-987.
- Łysiak G., (1998a). Ocena metod określania dojrzałości zbiorczej jabłek. *Zeszyty naukowe AR w Krakowie. Sesja Naukowa* z. 57 s. 509-513.
- Łysiak G., (1998b). Wstępna ocena pięciu metod określania dojrzałości zbiorczej jabłek. *XXXVII Ogólnopolska Konferencja Sadownicza. Skierniewice. Wydawnictwo I SiK*, s. 296-299.
- Merzlyak M. N., Solovchenko A. E., (2002). Photostability of pigments in ripening apple fruit: a possible photoprotective role of carotenoids during plant senescence. *Plant Science* 163, 881-888.
- Moreda G.P., Muñoz M.A., Ruiz-Altisent M., Perdignes A., (2012). Shape determination of horticultural produce using two-dimensional computer vision – a review. *Journal of Food Engineering* 108, 245-261.
- Opara L. U., (2007). Bruise susceptibilities of 'Gala' apples as affected by orchard management practices and harvest date. *Postharvest Biology and Technology* 43, 47-54.
- Pathange L. P., Mallikarjunan P., Marini R. P., O'Keefe S., Vaughan D., (2006). Non-destructive evaluation of apple maturity using an electronic nose system. *Journal of Food Engineering* 77, 1018-1023.
- Peirs A., Scheerlinck N., Perez A. B., Jancsó P., Nicolai B. M., (2002). Uncertainty analysis and modelling of the starch index during apple fruit maturation. *Postharvest Biology and Technology* 26, 199-207.
- Reay P. F., (1999). The role of low temperatures in the development of the red blush on apple fruit ('Granny Smith'). *Scientia Horticulture* 79, 113-119.
- Rutkowski K. P., Michalczuk B., Konopacki P., (2008). Nondestructive determination of 'Golden Delicious' apple quality and harvest maturity. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* Vol. 16, 39-52.



- Rutkowski K. P., (2001). Jak określić optymalny termin zbioru jabłek w 2001 roku. *XL Ogólnopolski Zjazd Sadowników. Skierniewice. Wydawnictwo ISiK* s. 65-69.
- Rutkowski K. P., (1997). Czynniki decydujące o terminie zbioru jabłek i zalety jego ustalania. *XXXVI Ogólnopolski Zjazd Sadowników. Skierniewice, Wydawnictwo ISiK*, s. 72-75.
- Rutkowski K. P., Miszczak A., Plocharski W., (2003). The influence of storage conditions and harvest date on quality of 'Elstar' apples. *Acta Horticulturae* 600, 809-812.
- Skrzyński J. (1997). Możliwości określenia optymalnego terminu zbioru jabłek. *II Ogólnopolskie Spotkanie Sadowników w Grójcu. Grójec, Skierniewice. Wydawnictwo ISiK* s. 12-21.
- Skrzyński J., (1996). Optimum harvest date study of 4 apple cultivars in southern Poland. In de Jager A., Johnson D., Hohn E., (Eds.) COST 94, 9-10 June 1994. *The postharvest treatment of fruit and vegetables: Determination and prediction of optimum harvest date of apple and pears. Lofthus, Norway*, pp. 61-66.
- Solovchenko A., Kozhina L., Nazarov Y., Gudkovsky V., (2011). Relationships between internal ethylene and optical reflectance in ripening Antonovka apples grown under sunlit and shaded conditions. *Postharvest Biology and Technology* 59, 206-209.
- Song J., Bangerth F., (1996). The effect of harvest date on aroma compound production from 'Golden Delicious' apple fruit and relationship to respiration and ethylene production. *Postharvest Biology and Technology* 8, 259-269.
- Stajanko D., Lakota M., Hočevár M., (2004). 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.
- Streif J., (1996). Optimum harvest date for different apple cultivars in the 'Bodensee' area. In De Jager A., Johnson D., Hohn E., (Eds.) COST 94, 9-10 June 1994. *The postharvest treatment of fruit and vegetables: Determination and prediction of optimum harvest date of apple and pears. Lofthus, Norway*, pp. 15-20.
- Szczypiński P. M., Zapotoczny P., (2012). Computer vision algorithm for barley kernel identification, orientation estimation and surface structure assessment. *Computers and Electronics in Agriculture* 87, 32-38.
- Toivonen P. M. A., (2008). Influence of harvest maturity on cut-edge browning of 'Granny Smith' fresh apple slices treated with anti-browning solution after cutting. *LWT - Food Science and Technology* 41, 1607-1609.
- Tomala K., (1995a). Choroby i uszkodzenia owoców. *IV Spotkanie Sadownicze Sandomierz. Wydawnictwo Agrosan*.
- Tomala K., (1995b). Prognozowanie zdolności przechowalniczej i określenie terminu zbioru jabłek. *Fundacja Rozwój SGGW*.
- Tomala K., (1999) Co wpływa na jakość przechowalniczą jabłek. Cz. 4. Termin zbioru. *Sad Nowoczesny* 8/1999.
- Tomala K., (2002). Przygotować jabłka do przechowywania. *Hasło Ogrodnicze* 09/2002.
- Tomala K., (2004). Jabłka zbieramy na podstawie oceny stanu fizjologicznego. *Owoce, Warzywa, Kwiaty* 16/2004.
- Tomala K., Andziak J., Jeziorek K., Dziuban R., (2008). Influence of rootstock on the quality of 'Jonagold' apples at harvest and after storage. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research Vol. 16*, 31-38.
- Treder W., Mika A. Krzewińska D., (2010). Relations between tree age, fruit load and ear fruit weight. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research Vol. 18(2)*, 139-149.
- Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M. F., Debeir O., (2011). Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 75, 204-212.
- Vanoli M., Visai C. Rizzolo A., (1995). The influence of harvest date on the volatile composition of 'Starkspur Golden' apples. *Postharvest Biology and Technology* 6, 225-234.
- Vilanova L., Vinas I., Torres R., Usall J., Buron-Moles G., Teixidó N., (2014). Increasing maturity reduces wound response and lignification processes against *Penicillium expansum* (pathogen) and *Penicillium digitatum* (non-host pathogen) infection in apples. *Postharvest Biology and Technology* 88, 54-60.
- Wang Q., Wang H., Xie L., Zhang Q., (2012). Outdoor color rating of sweet cherries using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 87, 113-120.
- Whitaker B. D., (2000). DPA treatment alters a-farnesene metabolism in peel of 'Empire' apples stored in air or 1.5% O<sub>2</sub> atmosphere. *Postharvest Biology and Technology* 18, 91-97.
- Xing J., Saeyns W., De Baerdemaeker J., (2007). Combination of chemometric tools and image processing for bruise detection on apples. *Computers and Electronics in Agriculture* 56, 1-13.
- Yang X., Song J., Campbell-Palmer L., Fillmore S., Zhang Z., (2013). Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 78, 55-66.
- Zambrano-Zaragoza M. L., Mercado-Silva E., Del Real L. A., Gutiérrez-Cortez E., Cornejo-Villegas M. A., Quintanar-Guerrero D., (2014). The effect of nano-coatings with  $\alpha$ -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut 'Red Delicious' apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 22, 188-196.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 5.1. Osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia doktora

Od rozpoczęcia pracy w 1995 roku włączyłem się w działalność badawczo-dydaktyczną Katedry Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego (od 2004 roku Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych). Początkowo zajmowałem się głównie działalnością



dydaktyczną, wdrażając się stopniowo w prace naukową. Mój pierwszy udział w konferencji naukowej miał miejsce w Szkole Letniej w Zawoi, w dniach 24-26.05. 1995 roku. Podczas V Szkoły Zimowej w Zakopanem (14-16.02. 1996) wygłosiłem pierwsze doniesienie, które prezentowało niewielki fragment wyników badań programu badawczego, realizowanego wówczas w katedrze (IIIB-1). Brałem również czynny udział w licznych konferencjach krajowych w języku polskim oraz obcym (K-1, K-4), w czasie których wygłosiłem referaty.

W związku z moimi zainteresowaniami techniką zapisu obrazu w formie elektronicznej, jak i tradycyjnej, dokonałem modernizacji istniejącego w katedrze systemu analizy obrazu SUPERVIST. Pierwszym zadaniem badawczym, które zrealizowałem w ramach badań własnych TKI/BW/1 (*Rozwój nowych metod pomiarowych i technik w przetwarzaniu surowców na żywność i pasze*) było opracowanie i weryfikacja metodyki oznaczania składu sypkich mieszanin dwuskładnikowych. Badania te wykonano za pomocą zmodyfikowanego systemu analizy obrazu, w którym zamontowano nowe oświetlenie i specjalna obudowę światłoszczelną. Zostały one uwieńczone doniesieniem na konferencji (IIIB-2) i publikacją (D-2). Następnie kontynuowano prace dotyczące przetwarzania surowców ziarnistych, w szczególności obłuskiwaniem nasion gryki (B-3, D-3). Innym kierunkiem badań z wykorzystaniem systemu analizy obrazu była próba jego wykorzystania do analizy procesu cięcia warzyw korzeniowych (D-4). Prowadzone były również próby wykorzystania techniki optycznej do oceny jakości procesu płatkowania przetworów zbożowych (D-6, D-7).

W roku 2001 nawiązałem współpracę z nowoczesnym gospodarstwem sadowniczym zlokalizowanym w miejscowości Góry k. Nałęczowa. Na terenie gospodarstwa funkcjonowały nowe komory przechowalnicze pracujące w systemie ULO. Bezpośrednim celem nawiązanej współpracy było pozyskanie do badań surowca bardzo dobrej jakości, który byłby dostępny przez kilka miesięcy, zgodnie z przyjętym harmonogramem prac badawczych w planowanym przewodzie doktorskim. Innym celem było zapoznanie się z technikami zbioru i przechowywania stosowanymi we współczesnym przechowalnictwie. Podstawowym zadaniem badawczym była ocena możliwości wykorzystania kwarantanny termicznej jabłek podczas ich przechowywania chłodniczego (TKI/BW/1 zadanie samodzielne: *ocena możliwości wykorzystania kwarantanny termicznej jabłek podczas przechowywania chłodniczego*). Obszarami zainteresowań były: ocena wpływu warunków i czasu przechowywania jabłek na zmiany ich cech wytrzymałościowych i organoleptycznych.

Wyniki badań były podstawą do opracowania części doświadczalnej rozprawy doktorskiej. W dniu 24.10.2001 Rada Wydziału Techniki Rolniczej wszczęła mój przewód doktorski, który zakończono 26.06.2003 roku. Część wyników badań, które nie zostały

wykorzystane w rozprawie została opublikowana po doktoracie (K-1, B-5, D-8, D-9, D-16, D-18).

## 5.2. Osiągnięcia po uzyskaniu stopnia doktora

Cykl badawczy w rozprawie doktorskiej trwał w sezonach przechowalniczych 2001/02 oraz 2002/03. W tym czasie zapoznałem się z metodyką oceny dojrzałości zbiorczej owoców przeznaczonych do długotrwałego przechowywania. Termin zbioru był wyznaczany na podstawie wyników testu skrobiowego, czyli reakcji barwnej jodu ze skrobią, podczas której tworzy się kompleks jodowo-skrobiowy obrazujący rozmieszczenie skrobi w owocach. Na podstawie informacji uzyskanych w gospodarstwach sadowniczych oraz analizie literatury w czasopiśmie naukowych stwierdziłem, że tradycyjna metoda wyznaczania wartości indeksu skrobiowego jest niepewna i mało precyzyjna. Polega ona na porównaniu otrzymanych w wyniku reakcji barwnej kompleksów jodu ze skrobią z tablicami wzorcowymi, co sprawia, że subiektywna ocena tego wskaźnika obarczona jest dużymi błędami. Podjąłem się opracowania własnej metodyki akwizycji i obliczania wartości tego ważnego wskaźnika (TKI/BW/1 zadanie samodzielne: *Próba zastosowania metod komputerowej analizy obrazów w ocenie wartości indeksu skrobiowego*). Wykorzystałem urządzenia optyczne łatwo dostępne, czyli skaner, aparat cyfrowy, oraz kamerę CCD (czarno-białą).

Wynikiem tych działań są publikacje (A-7, D-10, D-11, D-17, D-19) oraz monografia, w której analizowano wyniki wieloletnich badań, które były prezentowane na konferencjach naukowych (II K-2, K-3, K-4, B-9, III B-10, B-13), lecz, ze względu na to, że stanowią część badawczą monografii pt. „Wykorzystanie wybranych narzędzi optycznych oraz komputerowej analizy obrazu do wyznaczania wartości indeksu skrobiowego w jabłkach”, do tej pory nie zostały opublikowane.

W 2005 nawiązałem współpracę Katedrą Zastosowań Matematyki Akademii Rolniczej w Lublinie (od 2008 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie). Efektem współpracy był szereg publikacji (D-23, D-33, D-41, D-54). Wyniki badań dotyczące zmian właściwości mięszu jabłek podczas kwarantanny termicznej, które wykonywałem po doktoracie posłużyły do opublikowania ich w formie publikacji (D-9, D-13, D-14), oraz przyczyniły się do przygotowania rozprawy doktorskiej w Katedrze Zastosowań Matematyki. Bardzo cennym elementem współpracy z w/w jednostką jest możliwość wykorzystania doświadczenia pracowników naukowych w celu opracowania wyników badań, co też miało miejsce podczas opracowania statystycznego wyników badań w mojej monografii.



W 2007 roku ukończyłem szkolenie praktyczne, organizowane przez Centralne laboratorium Aparaturowe Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie). Szkolenie było realizowane w dniach 5.01.-30.03.2007 roku w zakresie preparatyki materiałów do badań techniką mikroskopii świetlnej.

W latach 2009-2011 byłem współwykonawcą projektu badawczego nr N N313 013336 „Badania modelowe zmian właściwości fizycznych i oporów przepływu w trakcie przechowywania zbóż śrut”, 2009-2011. W trakcie trwania projektu badawczego zajmowałem się badaniami laboratoryjnymi oporu przepływu powietrza przez złoża materiałów ziarnistych oraz śrut. Jednym z moich zadań badawczych był udział w opracowaniu stanowiska badawczego. W tym celu zbadałem stan wiedzy w zakresie metodyki badań modelowych silosów oraz obliczania oporów przepływu powietrza podczas przewietrzania silosów. Efektem działań całego zespołu badawczego było opracowanie wzoru użytkowego PL 66315 Y1: „Urządzenie do badania przepływu płynu przez materiał ziarnisty” oraz szereg publikacji (D-21, D-22, D-26, D-27, D-28, D-30, D-32, D-39, D-40, D-42). Moim podstawowym zadaniem badawczym w ramach projektu badawczego była ocena zmian cech geometrycznych ziarniaków oraz śrut podczas przechowywania w różnych warunkach stanu naprężeń. Wykorzystałem tu umiejętności wykonywania zdjęć makro i mikroskopowych, co zaowocowało powstaniem szeregu publikacji ilustrujących wyniki badań tego zadania badawczego (D-24, D-25, D-34, D-35).

Zdobyte umiejętności wykorzystałem przy realizacji badań własnych (D-20), jak również we współpracy z innymi jednostkami badawczymi. W latach 2012-2013 nawiązałem współpracę z Katedrą Anatomii Zwierząt Wydziału Weterynaryjnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Zaowocowało to powstaniem publikacji (A-1, A-3).

Umiejętność obsługi mikroskopów świetlnych, jak również wykorzystania zapisanych obrazów w celu ich analizy, ułatwiło mi nawiązanie współpracy z innymi jednostkami badawczymi. W latach 2010 do chwili obecnej współpracuje z katedrą Chłodnictwa i Energetyki, Katedrą Techniki Ciepłej i Inżynierii Procesowej oraz Katedrą Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz. W wyniku współpracy z w/w jednostkami badawczymi ukazały się publikacje (A-10, A-12, D-56, D-57).



### 5.3. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne, popularyzatorskie oraz informacja o współpracy międzynarodowej

Realizacja procesu dydaktycznego jest ważnym elementem mojej pracy zawodowej. Obejmuje ona zarówno proces przygotowania modułów, jak również realizację już istniejących. W trakcie mojej pracy prowadziłem zajęcia (wykłady i ćwiczenia) z następujących przedmiotów: „Maszynoznawstwo przemysłu owocowo-warzywnego”, „Maszyny przemysłu spożywczego”, „Inżynieria przetwórstwa owocowo-warzywnego”, „Procesy technologiczne w przetwórstwie owoców i warzyw”, „Inżynieria nawozów sztucznych”, „Transport surowców i produktów spożywczych”, „Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie”. Jestem autorem modułów do przedmiotów: „Procesy technologiczne w przetwórstwie owoców i warzyw”, „Inżynieria nawozów sztucznych”.

Zdobyte w trakcie pracy zawodowej praktyczne umiejętności językowe (certyfikat City&Guilds w 2008 roku) pozwoliły mi zgłoszenie swojego udziału do prowadzenia zajęć w języku angielskim. Opracowałem w tym języku moduł kształcenia, który z roku na rok cieszy się dużą popularnością wśród studentów uczestniczących w wymianie międzynarodowej. W latach od 2013 do chwili obecnej prowadzę przedmiot „Food engineering operations in fruit and vegetable industrial plants” w ramach programu ERASMUS+.

Byłem promotorem 26 prac magisterskich oraz 20 inżynierskich realizowanych na Wydziale Inżynierii Produkcji, a także recenzentem 21 prac magisterskich oraz 15 inżynierskich realizowanych na tym wydziale.

Biorę również czynny udział w popularyzacji nauki w ramach X, XI, XII, XIII, XIV oraz XV Lubelskiego Festiwalu Nauki w latach 2012-2018. Przygotowałem prezentacje i pokazy związane z wykorzystaniem mikroskopu badawczego w nauce i technice. Dotychczas przeprowadziłem projekty pt. „Obserwacje mikroświata” (X, XI, XII edycja) oraz „Multimedialna obserwacja mikroskopowa” (XIII, XIV, oraz XV edycja).



## 6. Zestawienie liczbowe osiągnięć

### 6.1. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy związany jest z oceną właściwości fizycznych surowców pochodzenia roślinnego, ważnych podczas ich długotrwałego przechowywania. W opublikowanych przeze mnie pracach zastosowałem nowe metody modyfikacji cech tekstualnych jabłek (kwarantanna termiczna), które mają na celu zwiększenie trwałości i poprawę ich przydatności do przechowywania. Jednym z kierunków prowadzonych badań jest opracowanie nowej metody oceny wskaźnika dojrzałości tych owoców do zbioru. Tematyka prowadzonych przeze mnie prac związana jest też z wykorzystaniem analizy obrazu mikro i makroskopowego w ocenie efektów procesów przetwarzania surowców na żywność i pasze.

Obejmuje łącznie 89 pozycji, w tym 7 to oryginalne prace indeksowane w bazie *Journal Citation Reports* (JCR), 69 publikacji opublikowanych w czasopismach recenzowanych. Spośród 69 prac oryginalnych, 30 prac napisano w języku angielskim (A), a 39 w języku polskim (P).

**Tabela 1.** Syntetyczne zestawienie całego dorobku naukowego

| Rodzaj publikacji/osiągnięcia                              | Język | Przed doktoratem |          |         | Po doktoracie |          |         | Łącznie |
|------------------------------------------------------------|-------|------------------|----------|---------|---------------|----------|---------|---------|
|                                                            |       | Indywidualne     | Zbiorowe | Łącznie | Indywidualne  | Zbiorowe | Łącznie |         |
| Oryginalne prace twórcze                                   |       |                  |          |         |               |          |         |         |
| W czasopismach z <i>Impact Factor</i>                      | A     | 0                | 0        | 0       | 0             | 3        | 3       | 3       |
|                                                            | P     | 0                | 0        | 0       | 0             | 4        | 4       | 4       |
| Prace oryginalne opublikowane w czasopismach recenzowanych | A     | 0                | 0        | 0       | 5             | 17       | 22      | 22      |
|                                                            | P     | 1                | 6        | 7       | 3             | 25       | 28      | 35      |
| Inne prace                                                 |       |                  |          |         |               |          |         |         |
| Rozdziały w monografiach                                   | A     | 0                | 0        | 0       | 0             | 5        | 5       | 5       |
|                                                            | P     | 0                | 0        | 0       | 0             | 0        | 0       | 0       |
| Prace popularno-naukowe                                    | P     | 0                | 0        | 0       | 0             | 0        | 0       | 0       |
| Łącznie                                                    |       | 1                | 6        | 7       | 8             | 54       | 62      | 69      |
| Inne osiągnięcia                                           |       |                  |          |         |               |          |         |         |
| Patenty                                                    | A     | 0                | 0        | 0       | 0             |          |         |         |
|                                                            | P     | 0                | 0        | 0       | 0             | 0        | 0       | 0       |

**Tabela 2.** Punktacja opublikowanych prac wg MNiSW

| Nazwa czasopisma                                             | Liczba publikacji | IF <sup>a</sup> | Suma punktów MNiSW        |               |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
|                                                              |                   |                 | zgodnie z rokiem wydania* | w roku 2019** |
| <b><u>Czasopisma wyróżnione w bazie JCR</u></b>              |                   |                 |                           |               |
| Journal of Food Science                                      | 1                 | 1,815           | 30                        | 30            |
| Veterinary Medicine                                          | 1                 | 0,195           | 15                        | 15            |
| Przemysł Chemiczny                                           | 4                 | 1,596           | 60                        | 60            |
| Folia Biologica                                              | 1                 | 0,809           | 20                        | 20            |
| <b><u>Publikacje indeksowane w bazie Web of Science</u></b>  |                   |                 |                           |               |
| Agric. Sci. Procedia                                         | 1                 | -               | 15                        | 15            |
| Agric. Sci. Procedia                                         | 1                 | -               | 15                        | 15            |
| Agric. Sci. Procedia                                         | 1                 | -               | 15                        | 15            |
| Agric. Sci. Procedia                                         | 1                 | -               | 15                        | 15            |
| Agric. Sci. Procedia                                         | 1                 | -               | 15                        | 15            |
| <b><u>Pozostałe czasopisma punktowane</u></b>                |                   |                 |                           |               |
| Econtechmod                                                  | 1                 | -               | 12                        | 12            |
| Inżynieria Rolnicza                                          | 32                | -               | 164                       | 320           |
| Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa              | 12                | --              | 86                        | 96            |
| Motrol                                                       | 1                 | -               | 4                         | 6             |
| Logistyka                                                    | 5                 | -               | 20                        | 0             |
| J.Res. Appl. Agric. Eng.                                     | 1                 | -               | 12                        | 12            |
| Technical Science                                            | 1                 | -               | 6                         | 6             |
| Colloquium Biometricum                                       | 1                 | -               | 5                         | 5             |
| Episteme                                                     | 2                 | -               | 9                         | 10            |
| Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego                    | 1                 | -               | 4                         | 0             |
| <b><u>Rozdziały w monografiach</u></b>                       | 5 (0)             | -               | 0                         | 0             |
| <b><u>Publikacje punktowane łącznie</u></b>                  | <b>40</b>         | <b>4,415</b>    | <b>522</b>                | <b>667</b>    |
| <b><u>Publikacje punktowane łącznie przed doktoratem</u></b> | 7                 | 0               | 28                        | 70            |
| <b><u>Publikacje punktowane łącznie po doktoracie</u></b>    | 62                | 4,415           | 496                       | 597           |

\*Punktacja MNiSW określona według roku wydania publikacji

\*\*Punktacja MNiSW określona według aktualnie obowiązującej listy z dnia 26 października 2017

<sup>a</sup>IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2018 podano ostatni dostępny IF<sub>2017</sub> według JCR**SUMA PUNKTÓW UZYSKANYCH ZA DOTYCHCZASOWE PUBLIKACJE:**

|                                                                     |              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| Całkowita liczba punktów MNiSW zgodnie z rokiem wydania publikacji: | <b>522</b>   |
| Całkowita liczba punktów MNiSW zgodnie z aktualną listą czasopism:  | <b>667</b>   |
| Sumaryczny IF zgodnie z rokiem wydania publikacji wg JCR:           | <b>4,415</b> |

