

## DETEKCJA OBIEĆ JABŁEK ODMIANY ‘SZAMPION ARNO’ W ZAKRESIE ŚWIATŁA WIDZIALNEGO

*Bohdan Dobrzański jr.*<sup>1,2</sup>, *Tomasz Lipa*<sup>1</sup>, *Magdalena Kapłan*<sup>1</sup>, *Iwona Szot*<sup>1</sup>,  
*Piotr Baryła*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Sadownictwa i Szkółkarstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Leszczyńskiego 58, 20-068 Lublin

<sup>2</sup> Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie  
Doświadczalna 4, 20-290 Lublin  
e-mail: bdob@ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** W trakcie transportu, przeładunku i obrotu handlowego jabłka często ulegają uszkodzeniom, wśród których obicia i odgniecenia miąższu są najczęstszą przyczyną trwałych, widocznych zmian barwy na powierzchni owocu, wpływających na niższą ocenę konsumencką. Celem badań była parametryczna ocena zmian barwy wywołanej obiciem w okresie obrotu handlowego jabłek. Obicia wywołano obciążeniem udarowym o wartości energii: 0,74; 1,32 i 2,06 J. Badania prowadzono na jabłkach klonu ‘Szampion Arno’, określając parametr jasności  $L^*$  i chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$  zgodnie ze standardem CIE  $L^*a^*b^*$ . Zaobserwowano, że na jaśniejszej stronie o barwie podstawowej obicia owoców o ciemniejszej barwie są w większym stopniu widoczne w okresie obrotu handlowego. Parametr jasności  $L^*$  barwy podstawowej w tym okresie maleje od wartości 74,47 do 39,21, świadcząc o ciemnieniu miejsca obicia owocu, podobnie jak udział barwy żółtej, który potwierdzają malejące wartości parametru  $b^*$  na całej powierzchni owocu. Natomiast parametr chromatyczności  $a^*$ , reprezentujący czerwony kolor obicia od strony barwy podstawowej, wzrasta w zakresie od 6,8 do 29,68, uwiadaczając podskórne brązowienie tkanki. Ciemnienie obić opisane parametrem jasności  $L^*$  jest mniej widoczne na powierzchni rumieńca – zmiany tego parametru maleją w zakresie od 41,28 do 27,82. Natomiast już po 6 dniach trudno zaobserwować różnice parametryczne jasności pomiędzy obiciem a barwą rumieńca. Generalnie, barwa rumieńca jabłek klonu ‘Szampion Arno’ jest bardziej wyrównana i parametr chromatyczności  $a^*$  wskazuje na nieznaczne zróżnicowanie barwy czerwonej (47,32-34,79), a obicia stają się bardziej widoczne od strony przeciwnej, na co wskazuje wzrost udziału barwy czerwonej (parametr  $a^*$  od 7,86 do 27,38), który zależy od wartości energii udaru. Jednak już po 2 dniach zmiany barwy obić na stronie przeciwnej do rumieńca (strona barwy podstawowej jabłek) wywołują negatywną ocenę jakości.

**Słowa kluczowe:** jabłka, obicia, obrót handlowy, barwa, jasność, chromatyczność, CIE  $L^*a^*b^*$

## WSTĘP

Wygląd owoców ma zasadnicze znaczenie podczas klasyfikacji jakościowej, jednak ocena barwy zależna jest nie tylko od upodobań konsumentów, ale na ocenę ma wpływ jednorodność, czyli zróżnicowanie barwy podstawowej i rumieńca oraz powtarzalność barwy w populacji. Na ocenę barwy ma też istotny wpływ wielkość rumieńca i intensywność wysycenia barwą czerwoną, a także stan dojrzałości oraz występowanie defektów i uszkodzeń, takich jak nacięcia, skaleczenia skórki, obicia (Kader 1999, Dobrzański i in. 2006, 2008).

Kader (1999) był jednym z pierwszych, który stwierdził, że barwa jabłek, oprócz ich wielkości, jest jedną z ważniejszych cech decydujących o wizualnej klasyfikacji jakościowej dokonywanej przez konsumenta. Potwierdzili to również w swoich badaniach Dobrzański i Rybczyński (2000, 2002), którzy prowadzili ocenę barwy owoców kilku odmian jabłoni. Jabłka odmian jesiennych i zimowych są bezpośrednio po zbiorze transportowane do przechowalni, w której warunki zapewniają utrzymanie dobrej jakości przez wiele miesięcy. Jednak jabłka przeznaczone do obrotu handlowego, po okresie przechowywania chłodniczego, znajdują się w warunkach, które ulegają drastycznym zmianom, a owoce w tym okresie narażone są na obicia i trwałe odgniecenia (Blahovec 1999, Sinobas i in. 1991) oraz otarcia (Brusewitz i Bartsh 1989), których skutkiem są zmiany barwy miąższu widoczne po pewnym okresie na powierzchni owocu. Widocznym skutkiem obicia jest powstawanie barwy brązowej, wywołanej procesem oksydacji uszkodzonej wewnętrznie tkanki, której intensywność zależna jest od czasu i właściwości transparentnych skórki oraz wysycenia barwy.

Dobrzański i in. (2006) zauważyli, że obrót handlowy (shelf-life) jest tym szczególnym okresem przechowywania, w którym owoce wielokrotnie zostają przesypane i znajdują się najczęściej w nieodpowiedniej temperaturze, co utrudnia zachowanie ich jakości. Szczególnie podwyższona temperatura powoduje, że skutki defektów oraz uszkodzeń są eksponowane po krótkim czasie, a powstałe odgniecenia o widocznym przebarwieniu wpływają negatywnie na ocenę konsumentką owoców, a zarazem obniżenie ich wartości handlowej (Dobrzański i Rybczyński 2002, Dobrzański i in. 2003, 2006).

Już od dłuższego czasu prowadzone są badania nad opracowaniem metody wykrywania obić oraz odgnieceń jabłek (Studman i Ouyang 1997, Chen i Mohri 1997, Dobrzański i Rybczyński 2002, Dobrzański i in. 2003). Metody te oparte są na pomiarze światła odbitego od powierzchni owocu i przechodzącego przez jego skórę owocu oraz rejestracji przenoszonych długości fal w zakresie światła widzialnego. Od pewnego czasu również Xing i in. (2005), Baranowski i in. (2012), Garrido-Novell i in. (2012) oraz Huang i in. (2015) prowadzą badania z wykorzystaniem hipersektoralnego obrazowania do wczesnego wykrywania obić i innych defektów

jabłek. Metodę detekcji termalnej uszkodzeń wykorzystali Bennedsen i Wei Qu (1996), a także Baranowski i in. (2008, 2009) oraz Baranowski i Mazurek (2009). Najbardziej obiecujące wyniki otrzymali Chen i Mohri (1997) oraz Studman i Ouyang (1997), którzy opierali się na cyfrowej obróbce obrazu światła odbitego. Rozwój cyfrowych urządzeń rejestrujących pozwala doskonalić metody analizy obrazu, które mogą być wykorzystywane do oceny defektów barwy w systemach sortujących on-line (Huang i in. 2015, Lu i Lu 2018, Moallem i in. 2017).

Mimo że ocena barwy ma ogromne znaczenie w badaniach jakości owoców, często jednak w praktyce dokonywana jest wizualnie z wykorzystaniem wzorców i szablonów (Dobrzański i in. 2006). Metody te nie są pozbawione błędów, związane z indywidualnym postrzeganiem barw światła i ich niejednoznacznym sposobem określania, zwłaszcza w różnych warunkach oświetlenia i dla różnych źródeł światła.

Wśród odmian jabłoni odmiana 'Szampion' zajmuje znaczącą pozycję na polskim rynku (Lipa i Szot 2012), jednak znana jest powszechna opinia wśród sadowników, że odmiana ta wytwarza owoce o niejednorodnym prążkowanym wybarwieniu, a na zróżnicowanie wybarwienia mają wpływ takie czynniki jak: stanowisko, warunki pogodowe, nawożenie czy podkładka, które w istotny sposób różnicują plon i jakość owoców tej odmiany (Kaplan i in. 2013, Kiczorowski i in. 2018). Dobrzański i in. (2003, 2008) potwierdzili znaczące zróżnicowanie wybarwienia owoców tej odmiany, rejestrując ciemnienie i barwę obić w trakcie obrotu.

Dwie polskie firmy szkółkarskie (Gospodarstwo Szkółkarskie A.S. Nowakowscy i Szkółkarstwo Sadownicze A.R. Nowakowscy) na bazie odmiany 'Szampion' wyselekcjonowały klony, które posiadają owoce bardziej i równomiernie wybarwione. Klony te zostały zarejestrowane przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (2017) pod nazwą 'Szampion Reno' w 2005 roku i 'Szampion Arno' w 2006 roku. Dlatego postanowiono przeprowadzić badania owoców jednej z tych odmian, które posiadają zdecydowanie mocniej wybarwiony i mniej zróżnicowany rumieniec w porównaniu do jabłek podstawowej odmiany 'Szampion'.

Stąd celem badań było określenie parametrów jasności i chromatyczności barwy jabłek odmiany 'Szampion Arno', metodą niezależną od warunków oświetlenia, oraz wyznaczenie widocznych zewnętrznych zmian powodowanych uszkodzeniem i obiciem owoców w trakcie przechowywania w warunkach obrotu handlowego na tle skórki owoców z obu stron, tj. od strony rumieńca i przeciwległej strony o zabarwieniu podstawowym.

## MATERIAŁ I METODA

'Szampion Arno' jest odmianą wyselekcjonowaną przez Annę i Ryszarda Nowakowskich, którzy dokonali wpisu do Listy Odmian Roślin Sadowniczych (2017) w 2006 roku i są właścicielami firmy szkółkarskiej zachowującej tę

odmianę. Owoce do badań odmiany ‘Szampion Arno’ pochodziły z sadu produkcyjnego o powierzchni 9 ha, położonego w miejscowości Stryjno k. Lublina, a drzewka tej odmiany posadzone na podkładce M.9 w rozstawie 3,3×1,2 m, na glebie brunatnej wytworzonej z gliny zwięzłej, klasy bonitacyjnej IVa, zawierającej 20-30% części splawianych, na kwaterze o powierzchni 1 ha. W sadzie międzyrzędzia stanowiła koszona murawa, a w rzędzie utrzymywano ugór herbicydowy. Ochrona przeciwko chorobom i szkodnikom, uwzględniająca system Integrowanej Produkcji, oparta była na aktualnym programie ochrony roślin sadowniczych. Badania przeprowadzono w 5 roku po posadzeniu, a 20 września 2015 roku zebrano owoce, które następnie przechowywano przez okres 5 miesięcy w chłodni z kontrolowaną atmosferą (2,5% – O<sub>2</sub> i 2,09% – CO<sub>2</sub>), w temperaturze 1,5°C.

**Tabela 1.** Warunki termiczne oraz opady w okresie wegetacji 2005 roku (dane ze Stacji Meteo umieszczonej w sadzie)

**Table 1.** Temperature conditions and precipitation at 2015 vegetation season (data from Weather Station located in orchard)

Miesiąc Month	Temperatura / Temperature (°C)				Opady / Rainfall (mm)	
	min	max	średnia mean	long-term average	mies. month	long-term average
kwiecień	-1,4	23,9	7,9	7,4	39,2	39,1
maj	2,5	26,6	12,6	13,0	92,6	57,2
czerwiec	5,6	32,3	17,1	16,4	15,4	65,9
lipiec	7,4	34,5	19,4	17,9	11,3	73,6
sierpień	6,2	36,2	21,8	17,2	6,0	71,1
wrzesień	2,9	34,6	14,7	12,9	71,4	51,4
październik	-5,6	22,2	6,6	7,9	47,6	40,5

Źródło: Stacja Meteo, Stryjno 2015 (51°03'11.87"N 22°50'49.29"E) / Source: Weather Station, Stryjno 2015 (51°03'11.87"N 22°50'49.29"E)

Po okresie przechowywania chłodniczego jabłek owoce poddawano dwustronnemu (od strony rumieńca i przeciwległej strony) obciążeniu udarowemu metalową sztywną płytką o masie 165 g. Masa płytki odpowiadała średniej masie jabłek tej odmiany i gwarantowała zakładany poziom dostarczonej energii, zależnej tylko od prędkości udarowej, zapewniając powtarzalną trwałą deformację miąższu, odpowiadającą swobodnemu spadkowi jabłka z różnych wysokości (20-51 cm). Badania prowadzono przy prędkości: 3,0; 4,0 i 5,0 m·s<sup>-1</sup>, co odpowiadało energii kinetycznej: 0,74; 1,32 i 2,06 J. Dla każdego poziomu dostarczonej energii wykonano po piętnaście testów udarowych, a następnie jabłka przetrzymywano w temperaturze 15°C.

Miąższ jabłek tej odmiany wykazywał mniejszą skłonność do ciemnienia bezpośrednio po uszkodzeniu, co gwarantowało możliwość określenia czasu i dynamiki tego procesu w okresie symulowanego obrotu (shelf-life). Zgodnie z metodyką opracowaną przez Dobrzańskiego i in. (2003), pomiary parametrów barwy jabłek

przeprowadzono na powierzchni rumieńca oraz na przeciwległej stronie owocu o barwie zasadniczej, w miejscach deformacji postaciowej spowodowanej udarem, śledząc proces ciemnienia w trakcie całego badanego okresu obrotu handlowego. W okresie tym rejestrowano dynamikę zmian barwy spowodowaną obiciem w pierwszym tygodniu codziennie, a następnie dziewiątego, trzynastego i siedemnastego dnia.

W badaniach wykorzystano kolorymetr firmy Braive Instruments model „6016 supercolor™”. Urządzenie to umożliwia pomiar parametrów barwy według różnych standardów, a zasada działania opisana została wcześniej przez Dobrzańskiego i Rybczyńskiego (2000) oraz Dobrzańskiego i in. (2003). Pomiary wykonywano zgodnie ze standardem CIE L\*a\*b\*, który umożliwia rejestrację światła odbitego w zakresie pasm o częstotliwości promieniowania odpowiadającej czułości czopków wzrokowych, czyli w zakresie odpowiadającym bliskiej percepcji ludzkiego wzroku. Parametry jasności oraz chromatyczności określano na powierzchni 95 mm<sup>2</sup> i zgodnie ze standardem CIE L\*a\*b\*, parametr jasności L\* przyjmuje wartości w zakresie od 0 (czerń) do 100 (biel), natomiast skala parametrów chromatyczności przyjmuje wartości od -80 do +80. Zmiany barwy od zielonej do czerwonej opisuje parametr a\*, a zmiany barwy od niebieskiej do żółtej opisuje parametr b\*. Pomiar za pomocą kolorymetru Braive polega na podziale światła odbitego wchodzącego do urządzenia na trzy wiązki, które przechodząc przez specjalne filtry absorbujące oraz światłoczułe układy, zamieniają energię świetlną na sygnał elektryczny, który następnie przesyłany jest do mikroprocesora. Po uwzględnieniu rodzaju oświetlenia (światłem D<sub>65</sub> o ciepłocie 6500K i standardowy obserwator 2°) mikroprocesor przetwarza sygnał na współrzędne przestrzeni w kilku standardach, z których CIE L\*a\*b\* wykorzystano w niniejszej pracy.

Badania prowadzono po pięciomiesięcznym okresie przechowywania chłodniczego w sezonie 2015/2016. Dla wszystkich poziomów energii udaru wartości parametrów barwy obitych owoców poddano analizie regresji, wyznaczając najlepiej dopasowaną krzywą oraz 95% pasy ufności dla wartości średniej pomiaru w punktach w całym badanym okresie obrotu (shelf-life) oraz oddzielnie dla każdego poziomu dostarczonej energii udaru.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe było oszacowanie zróżnicowania parametrów barwy jabłek odmiany ‘Szampion Arno’ oraz obserwowanie zmian barwy w kolejnych dniach obrotu handlowego, wywołane mechanicznym obciążeniem udarowym, powodującym proces ciemnienia miąższu. Kolorymetr Braive „6016 supercolor™” posiada własne źródło światła, dzięki czemu pomiary stają się niezależne od warunków, w których dokonuje się pomiaru parametrów barwy.

Na podstawie wartości parametru jasności  $L^*$  jabłek należy stwierdzić, że owoce odmiany 'Szampion Arno' od strony rumieńca były zdecydowanie ciemniejsze od owoców standardowej odmiany 'Szampion'. Parametr jasności  $L^*$  owoców odmiany 'Szampion Arno' od strony rumieńca (rys. 1) zawierał się w przedziale od 26,2 do 40,03, a w przypadku odmiany 'Szampion' parametr ten wynosił od 39,21 do 74,47 (Dobrzański i in. 2003).

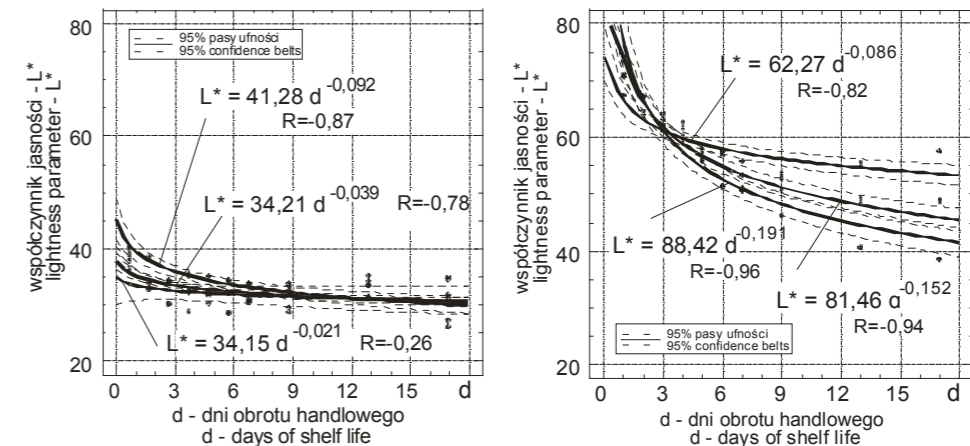
Analizując ciemnienie miejsc obitych od strony rumieńca, można zauważyć wpływ dostarczonej energii uderzenia w pierwszych dniach po obiciu. Po jednym dniu od wywołania uszkodzenia energią 0,74 J parametr jasności  $L^*$  przyjmował wartość 41,28, podczas gdy energia 1,32 i 2,06 J powodowała zbliżone ciemnienie i parametr ten przyjmował wartości odpowiednio 34,15 i 34,21. Dla wszystkich poziomów energii owoce sukcesywnie ciemniały, jednak przebiegi zależności potęgowej oraz 95% pasy ufności wskazują, że z jednej strony jasność owoców już po trzech dniach jest zbliżona, niezależnie od dostarczonej energii, a z drugiej strony jest też zbliżona do stopnia jasności rumieńca jabłek nieobitych odmiany 'Szampion Arno'.

Stąd można wyciągnąć wniosek, że obicia owoców odmiany 'Szampion Arno' są trudne do zweryfikowania na powierzchni rumieńca. Do podobnych wniosków doszli też Dobrzański i in. (2003), którzy badając obicia jabłek odmiany 'Szampion', zauważyli, że po kilku dniach barwa obicia była zbliżona dla wszystkich klas wybarwienia, jednak w pierwszych dniach po obiciu widoczne były różnice. Dodatkowo, dzięki uzyskanym wynikom można stwierdzić, że wybarwienie rumieńca owoców klonu 'Szampion Arno' jest mocniejsze i bardziej wyrównane od rumieńca jabłek odmiany 'Szampion', co potwierdza wartość handlową tego klonu.

Obserwując jednak proces ciemnienia po stronie przeciwnej o zabarwieniu podstawowym, można zauważyć bardzo szybkie zmiany parametru jasności  $L^*$ , co potwierdzają również gwałtownie malejące zależności potęgowe o ujemnych współczynnikach potęgowych i współczynnikach korelacji (-0,82 -0,94 i -0,96 w przypadku energii uderzenia odpowiednio (0,74; 1,32 i 2,06 J). Na stronie o zabarwieniu podstawowym ciemnienie miąższu na skutek trwałych deformacji i odkształceń powodowanych energią uderową było widoczne już po jednym dniu, przez semitransparentną skórę jabłek.

Porównując wyniki do uzyskanych przez Dobrzańskiego i in. (2003) dla odmiany 'Szampion', można stwierdzić, że barwa podstawowa jabłek tej odmiany była nieznacznie ciemniejsza i proces ciemnienia jabłek po obiciu przebiegał podobnie. Zaobserwować jednak można wpływ wartości energii uderzenia na proces ciemnienia skórki na stronie o zabarwieniu podstawowym. Energia 0,74 J wywołała proces ciemnienia, który opisano zależnością potęgową:  $L^* = 62,27 \cdot d^{-0,086}$ , a energia 2,06 J powoduje ciemnienie opisane zależnością:  $L^* = 88,42 \cdot d^{-0,191}$ . Można zauważyć, że ciemnienie obić po stronie o zabarwieniu podstawowym jest łatwo rejestrowane za pomocą pomiaru parametru jasności  $L^*$  w systemie CIE  $L^*a^*b^*$  i różnice są

istotne statystycznie już w pierwszych 2-3 dniach po obiciu, mimo że w pierwszych dniach obicia wizualnie nie były widoczne. Dalsze ciemnienie było już widoczne, co również potwierdziły malejące wartości współczynnika  $L^*$ , a wpływ wielkości dostarczonej energii w trakcie uderzenia jest widoczny na wykresach (rys. 2).



**Rys. 1.** Parametr jasności  $L^*$  wskazujący ciemnienie obić na tle rumieńca jabłek odmiany 'Szampion Arno' w okresie obrotu

**Rys. 2.** Parametr jasności  $L^*$  wskazujący ciemnienie obić na tle barwy podstawowej jabłek odmiany 'Szampion Arno' w okresie obrotu

**Fig. 1.** Lightness factor  $L^*$  indicating darkening of bruising on blush of 'Szampion Arno' apples at shelf-life

**Fig. 2.** Lightness factor  $L^*$  indicating darkening of bruising on base color of 'Szampion Arno' apples at shelf-life

Analizując metody stosowane przez innych autorów, można zauważyć, że parametr jasności wykorzystali Moallem i in. (2017), stosując algorytm komputerowy do oceny jabłek odmiany 'Golden Delicious', gdzie w sześciu krokach prowadzili segmentację defektów i szczegółów morfologicznej budowy, a usuwane były obrazy odbiegające od barwy skórki jabłek, w tym piksele o innej barwie niż jabłko. Jako pierwsze usuwane było tło z obrazu wejściowego, a w dalszych krokach szypułka, gniazdo i ordzawienia. Elementy te były zastępowane zerowym parametrem jasności, czyli całkowitą czernią. Metoda ta pozwala klasyfikować jabłka pod względem wybarwienia, jednak ocena obić jest niejednokrotnie mylona z ordzawieniem. Niestety, metoda ta pozwala tylko na klasyfikację jabłek o jednorodnym wybarwieniu, jakie posiadają owoce odmiany 'Golden Delicious', a dokładność sięga w tych badaniach 89,2%.

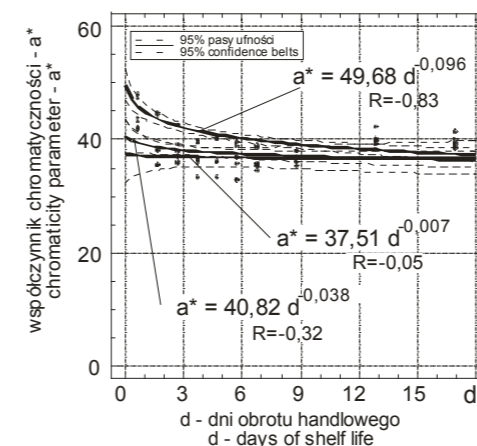
Odmianę tę również badali Garrido-Novell i in. (2012), którzy do oceny zmian wybarwienia stosowali system RGB oraz metodę obrazowania w zakresie hiperspektralnym (900-1700 nm) i wykorzystali ten system do oceny poziomu dojrzałości jabłek przechowywanych w różnych warunkach w okresie przydatności do spożycia. W badaniach zastosowali aparat cyfrowy Nikon Coolpix L3, z matrycą

CCD 6.2 Mpx do badania w systemie RGB i zastosowali halogen 60 W jako oświetlenie do hyperspektralnego obrazowania: za pomocą spektrofotometru Specim (ImSpector V10E) w zakresie NIR (900-1700 nm) z rozdzielczością widma 5 nm. Autorzy twierdzą, że uzyskali większy potencjał obrazowania hyperspektralnego w porównaniu z konwencjonalnym obrazowaniem RGB. Należy jednak stwierdzić, że obrazy przesyłane do matrycy aparatu cyfrowego i stosowanie dodatkowego źródła światła, jak też rejestrowanie za pomocą spektrofotometru obarczone są wpływem światła występującego w pomieszczeniu o nieznanym paśmie. Dlatego interpretacja wyników obarczona jest błędem wpływu różnego źródła światła na wartości światła odbitego od owoców. Dodatkowo, obrazy rejestrowane przez matryce CCD rejestrują obraz w systemie RGB, opisującym źródło światła, a nie w systemie CMYK, czyli w systemie, w którym odtwarzany jest obraz światła odbitego, więc interpretacja może być odmienna od postrzegania barw przez człowieka.

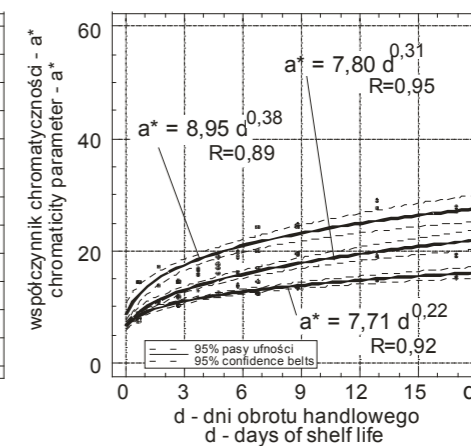
Natomiast stosowana przez autorów niniejszej pracy metoda pomiaru parametrów światła odbitego od powierzchni owoców następuje podczas szczelnego kontaktu z owocem, a stosowane źródło światła  $D_{65}$  jest standardem o ciepłocie 6500 K, odpowiadającym warunkom oświetlenia naturalnego, zaś pomiar za pomocą spektrofotometru Braive nie jest obciążony błędem i wpływem stosowania złożonego oświetlenia kilku źródeł światła. Dlatego rejestracja parametru jasności  $L^*$  jest obiecującą metodą detekcji obić, pozbawioną wpływu dodatkowego źródła oświetlenia.

Detekcję obić badali Baranowski i in. (2012), używając szerokiego pasma promieniowania w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni (400-1000 nm), podczerwieni o krótkiej długości fali (1000-2500 nm) oraz wykorzystali kamerę termowizyjną, rejestrującą w zakresie podczerwieni o średniej długości fali (3500-5000 nm). Dzięki temu uzyskali szeroką hyperspektralną charakterystykę przebiegów światła odbitego od powierzchni owocu. Badaniem objęli pięć odmian, wśród których przebiegi w zakresie pasma (900-1000 nm), czyli fragmentów zakresów bliskiej podczerwieni i podczerwieni o krótkiej długości fali, dla odmiany 'Szampion' wyraźnie odbiegały od pozostałych. Przebiegi charakterystyk spektralnych w tym zakresie pozwoliły zaobserwować różnice pomiędzy jabłkami nieuszkodzonymi a obiciami powierzchniowymi i głębokimi. Jednak w zakresie światła widzialnego trudno zaobserwować większe różnice, za wyjątkiem wąskiego pasma ok. 700 nm, czyli zakresu barwy czerwonej.

Analizując parametr chromatyczności  $a^*$ , można zauważyć, że udział barwy czerwonej w rumieńcu jabłek odmiany 'Szampion Arno' był na poziomie od 37,3 do 47,8 i były to zdecydowanie większe wartości niż dla jabłek odmiany 'Szampion', w przypadku której parametr ten od strony rumieńca zawierał się w przedziale od 14,9 do 42,3 (Dobrzańskiego i in. 2003).



**Rys. 3.** Parametr chromatyczności  $a^*$  wskazujący barwę czerwoną obić w okresie obrotu handlowego na tle rumieńca skórki jabłek odmiany 'Szampion Arno'



**Rys. 4.** Parametr chromatyczności  $a^*$  wskazujący ciemnienie obić na tle barwy podstawowej jabłek odmiany 'Szampion Arno' w okresie obrotu

**Fig. 3.** Chromaticity factor  $a^*$  indicating red color of bruising on the blush of 'Szampion Arno' apples at shelf-life

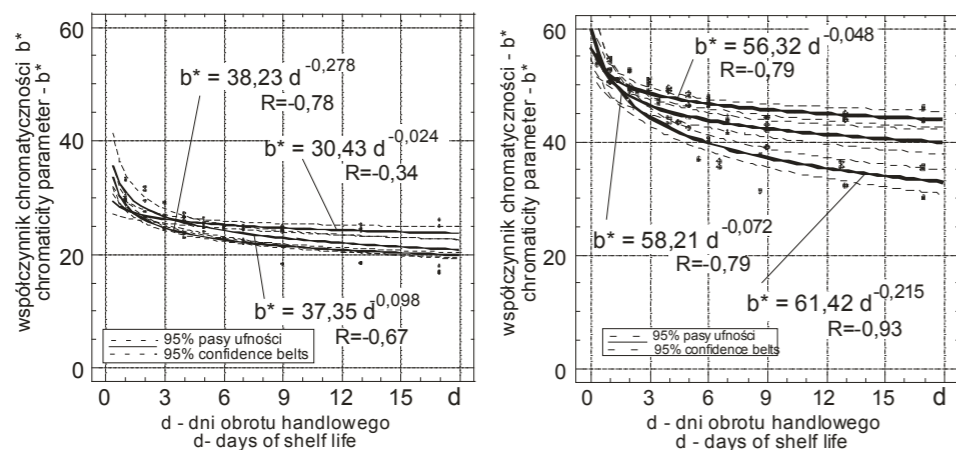
**Fig. 4.** Chromaticity factor  $a^*$  indicating darkening of bruising on base color of 'Szampion Arno' apples at shelf-life

Dane też potwierdzają, że zabarwienie rumieńca klonu 'Szampion Arno' jest bardziej wyrównane, natomiast barwa jabłek odmiany 'Szampion' jest mocno zróżnicowana. Dlatego też obicie na powierzchni jabłek 'Szampion Arno' trudno zauważyć, nawet przy pomocy rejestracji parametru chromatyczności  $a^*$ , odpowiadającego za udział barwy czerwonej.

Ciekawym zjawiskiem jest fakt, że ciemnienie owoców po obiciu, określone parametrem jasności  $L^*$ , już od 3 dnia było na stałym poziomie (rys. 1), natomiast udział barwy czerwonej na powierzchni obicia w pierwszych 6 dniach malał, a następnie zwiększał się, uzyskując najwyższe wartości parametru  $a^*$  po okresie 2 tygodni przechowywania po obiciu udarowym (rys. 3). Świadczy to o złożonej barwie uszkodzonej tkanki, w której czerwona barwa jest tylko składową procesu ciemnienia tkanki.

Natomiast pomiary współczynnika chromatyczności  $a^*$  na tle barwy podstawowej potwierdzają, że barwa czerwona jest główną składową procesu brunatnienia uszkodzonego miąższu i już od pierwszego dnia po uszkodzeniu można zaobserwować wzrost tego parametru (rys. 4). O ile barwa podstawowa jabłek nieuszkodzonych odmiany 'Szampion Arno' przyjmowała wartości w zakresie od 7,71 do 8,95, to w zależności od wielkości energii trwałej deformacji udarowej, wartość parametru  $a^*$ , po 9-12 dniach przyjmuje wartości 15,4 dla  $E = 074$  J; 19,7 dla  $E = 1,32$  J i 27,3 dla  $E = 2,06$  J.

Równocześnie można stwierdzić, że jabłka odmiany ‘Szampion Arno’ zdecydowanie różniły się wybarwieniem rumieńca i barwy podstawowej, a wartość parametru  $a^*$  rumieńca była średnio większa o ok. 20 (rys. 3 i 4).



**Rys. 5.** Parametr chromatyczności  $b^*$  wskazujący barwę żółtą obić w okresie obrotu handlowego na tle rumieńca skórki jabłek odmiany ‘Szampion Arno’  
**Fig. 5.** Chromaticity factor  $b^*$  indicating yellow color of bruising on the blush of ‘Szampion Arno’ apples at shelf-life.

**Rys. 6.** Parametr chromatyczności  $b^*$  wskazujący barwę żółtą obić na tle barwy podstawowej jabłek odmiany ‘Szampion Arno’ w okresie obrotu.  
**Fig. 6.** Chromaticity factor  $b^*$  indicating yellow color of bruising on base color of ‘Szampion Arno’ apples at shelf-life.

Na rysunkach 5 (rumieniec) i 6 (barwa podstawowa) przedstawione są wyniki pomiaru parametru chromatyczności  $b^*$ , który przedstawia żółtą składową barwy. Można łatwo stwierdzić, że udział barwy żółtej w rumieńcu jest znacznie mniejszy niż po stronie przeciwnej, reprezentującej barwę podstawową. Ciemniejsza strona rumieńca jest reprezentowana przez udział barwy czerwonej (parametr chromatyczności  $a^*$ ) i udział czerni (parametr jasności  $L^*$ ), natomiast barwa podstawowa w mniejszym stopniu wysycona czernią i czerwienią jest reprezentowana przez barwę żółtą, której udział przedstawia parametr chromatyczności  $b^*$ . W jabłkach nieuszkodzonych parametr  $b^*$  zawierał się w zakresie od 53,6 do 56,1, potwierdzając wysoki udział barwy żółtej (rys. 6), lecz proces ciemnienia spowodował, że w trakcie brązowienia tkanki obserwowano zastępowanie barwy żółtej (parametr chromatyczności  $b^*$ ) przez barwę czerwoną (parametr chromatyczności  $a^*$  – rys. 4) i czerń (parametr jasności  $L^*$  – rys. 2). W tym przypadku również na tle barwy podstawowej jabłek odmiany ‘Szampion Arno’ można zaobserwować różnice w procesie ciemnienia, powodowane różnymi poziomami energii udaru (rys. 6).

## WNIOSKI

1. Metoda pomiaru parametrów jasności  $L^*$  i chromatyczności  $a^*$  i  $b^*$ , w warunkach szczelnego kontaktu urządzenia z powierzchnią owocu jest jedną z metod, umożliwiającą pomiar w warunkach powtarzalnego źródła światła i wyniki nie są obciążone błędem spowodowanym wpływem źródła światła z otoczenia, który często występuje podczas pomiaru innymi metodami, z wykorzystaniem hiperspektralnych kamer oraz kamer termowizyjnych i aparatów cyfrowych wyposażonych w matryce CCD czy CMOS, gdzie rejestrowane jest odbicie światła od owocu z pewnej odległości.

2. Badania z wykorzystaniem systemu CIE  $L^*a^*b^*$  pozwalają zaobserwować zmiany barwy obitych jabłek klonu ‘Szampion Arno’ oraz wpływ energii udarowej na proces ciemnienia i uwidocznienie fizyczne tego procesu poprzez semitransparentną skórkę, a zmiany te w trakcie obrotu handlowego po przechowywaniu opisują zależności potęgowe.

3. Wgniecenia owocu nazywane obiciem, a wywołane udarem o energii 2,06 J, odpowiadającej spadkowi jabłka z wysokości ok. 50 cm, powodują trwałą deformację z uszkodzeniem komórek miąższu, natomiast energia 0,74 J i 1,32 J nie powoduje trwałej deformacji i miąższ pod wpływem tej energii zachowuje się sprężyste lub semi-sprężyste i w tym przypadku ciemnienie następuje wolniej, o czym świadczą parametry równań potęgowych opisujących to zjawisko.

4. Parametr jasności barwy zasadniczej i rumieńca skórki jabłek klonu ‘Szampion Arno’ wskazuje na wyraźnie ciemniejszą stronę rumieńca, dlatego na tej stronie owocu parametr jasności  $L^*$  nie różnicuje owoców uszkodzonych i nieuszkodzonych. Skutki te, również trudne są do zaobserwowania na powierzchni rumieńca jabłek o intensywnej barwie czerwonej, jaką posiadają jabłka klonu ‘Szampion Arno’, za pomocą pomiaru parametru chromatyczności  $a^*$ .

5. Barwa rumieńca owoców klonu ‘Szampion Arno’ składa się z intensywnych komponentów koloru, wśród których czerwień jest dominującą składową, co potwierdzają wysokie wartości parametru  $a^*$ , sięgające nawet 47,8, i owoce tego klonu posiadają bardziej wyrównany rumieniec w stosunku do podstawowej odmiany ‘Szampion’.

6. Natomiast jasność, określana parametrem  $L^*$  na stronie o wybarwieniu podstawowym, pozwala zaobserwować zmiany właściwości optycznych skórki, a dzięki częściowej transparenacji uwidacznia się ciemnienie uszkodzonej tkanki miąższu jabłek, wywołane mechanicznym obciążeniem udarowym. Proces ciemnienia miąższu wpływa w efekcie na ocenę zewnętrzną barwy skórki, a zarazem ocenę konsumentką jakości owoców.

## PIŚMIENNICTWO

- Baranowski P., Lipecki J., Mazurek W., Walczak R.T., 2008. Detection of watercore in 'Gloster' apples using thermography. *Postharvest Biol. Technol.*, 47, 358-366, doi:10.1016/j.postharvbio.2007.07.014
- Baranowski P., Mazurek W., 2009. Detection of physiological disorders and mechanical defects in apples using thermography. *Int. Agrophys.*, 23, 9-17.
- Baranowski P., Mazurek W., Witkowska-Walczak B., Sławiński C., 2009. Detection of early apple bruise with the use of pulsed-phase thermography. *Postharvest Biol. Technol.*, 53, 91-100, doi:10.1016/j.postharvbio.2009.04.006
- Baranowski B., Mazurek W., Woźniak J., Majewska U., 2012. Detection of early bruises in apples using hyperspectral data and thermal imaging. *J. Food Engin.*, 110, 345-355, doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.12.038
- Bennedden B.S., Wei Qu., 1996. Detection of bruise damages on apples by thermal properties. Paper 96F-026, *AgEng'96*, Madrid, 2, 860-861.
- Blahovec J., 1999. Bruise resistance coefficient and bruise sensitivity of apples and cherries. *Int. Agrophys.*, 13(3), 315-322.
- Brusewitz G.H., Bartsh J.A., 1989. Impact parameters related to post harvest bruising of apples. *Transactions of the ASAE*, 32, 953-957, doi:10.13031/2013.31097
- Chen Y.B., Mohri K., 1997. Image analysis of bruised Orin apples. 5th Int. Symp. on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, Davis, California, USA, S12(2), 1-6.
- Dobrzański, jr. B., Rabczewicz J., Rybczyński R., 2006. Handling of apple. Centre of Excellence Agrophysics. IA PAN. pp. 1-234. ISBN: 83-89969-55-6.
- Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., 2000. Interpretacja fizyczna oceny barwy w zastosowaniu do klasyfikacji jakościowej jabłek. *Acta Agroph.*, 37, 17-27.
- Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., 2002. Colour change of apples as a result of storage, shelf-life, and bruising. *Int. Agrophys.*, 16(4), 261-268.
- Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., 2008. Influence of packing method on colour perception improving the appearance of fruit and vegetables. *Res. Agric. Engin.*, 54(2), 97-103, doi:10.17221/4/2008-RAE
- Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., Dobrzańska A., Wójcik W., 2001. Some physical and nutritional quality parameters of storage apple. *Int. Agrophys.*, 15(1), 13-18.
- Dobrzański, jr. B., Rybczyński R., Puchalski C., 2003. Zmiany parametrów barwy skórki jabłek obitych przechowywanych w okresie obrotu handlowego. *Acta Agroph.*, 83, 71-81.
- 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. *J. Food Engin.*, 113, 281-288, doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.05.038
- Huang W., Li J., Wang Q., Chen L., 2015. Development of a multispectral imaging system for online detection of bruises on apples. *J. Food Engin.*, 146, 62-71, doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.09.002
- Kader A.A., 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae*, 485, 203-208, doi:10.17660/ActaHortic.1999.485.27
- Kaplan M., Baryła P., Krawiec M., Kiczorowski P., 2013. Effect of N Pro technology and seactiv complex on growth, yield quantity and quality of 'Szampion' apple trees. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 12(6), 45-56.
- Kiczorowski P., Kiczorowska B., Krawiec M., Kaplan M., 2018. Influence of different rootstocks on basic nutrients, selected minerals, and phenolic compounds of apple CV. 'Šampion'. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 17(4), 167-180, doi:10.24326/asphc.2018.4.15

- Lipa T. Szot I., 2012. Odmianoznawstwo jabłoni. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Lista odmian roślin sadowniczych, 2017. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Słupia Wielka.
- Lu Y., Lu R., 2018. Detection of surface and subsurface defects of apples using structured-illumination reflectance imaging with machine learning algorithms. An ASABE Meeting Presentation, Detroit, Michigan, July 29-August 1, doi:10.13031/aim.201800536
- Moallem P., Serajoddin A., Pourghassem H., 2017. Computer vision-based apple grading for golden delicious apples based on surface features. *Information Processing In Agriculture*, 4, 33-40, doi:10.1016/j.inpa.2016.10.003
- Sinobas L.R., Ruiz-Altisent M., de la Plaza Perez J.L., 1991. Bruise development and fruit response of pear (c.v. 'Blanquilla') under impact conditions. *J. Food Engineering*, 14, 289-301, doi:10.1016/0260-8774(91)90019-O
- Studman C., Ouyang Li., 1997. Bruise measurement by image analysis. 5th Int. Symp. on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, Davis, California, USA, S12(5), 1-7.
- Xing J., Bravo C., Jancsok P., Ramon H., De Baerdemaeker J., 2005. Bruise detection on Golden Delicious apples by using hyperspectral imaging with multiple wavebands. *Biosys. Eng.*, 90(1), 27-36, doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.08.002

## DETECTION OF BRUISING OF 'SZAMPION ARNO' APPLE AT VISIBLE LIGHT

*Bohdan Dobrzański jr.*<sup>1,2</sup>, *Tomasz Lipa*<sup>1</sup>, *Magdalena Kaplan*<sup>1</sup>, *Iwona Szot*<sup>1</sup>, *Piotr Baryła*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pomology and Nursery Department, University of Life Sciences Lublin  
Leszczyńskiego 58, 20-068 Lublin, Poland  
bdob@ipan.lublin.pl

<sup>2</sup> Bohdan Dobrzański Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences  
Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, Poland  
e-mail: bdob@ipan.lublin.pl

**Abstract.** During transport, reloading and handling, apples are often damaged, among which bruises are the most common cause of permanent, visible changes in colour on the surface of the fruit. Discoloration of the apple skin affects the consumer assessment. The aim of the research was a parametric assessment of bruises colour on apple skin at shelf life, after impact loading at 0.74 J; 1.32 J, and 2.06 J. The tests were carried out on 'Szampion Arno' apples specifying lightness parameter L\* and chromaticity parameters a\* and b\* in accordance with the CIE L\*a\* b\* standard. It was observed that the brighter side of the base colour of fruit blended to a greater degree the changes of colour during the shelf life. In that period, the lightness parameter L\* of the base colour decreased from 74.47 to 39.21, proving darkening of fruit, similarly to the yellow colour which decreased over the entire surface of the fruit, while the chromatic parameter a\*, representing the red colour, rose from 6.8 to 29.68, so that darkening of flesh was visible on the opposite side. The darkening of bruises described by the lightness parameter L\* on the blush of fruits was reduced to a lesser extent, from 41.28 to 27.82, and after 6 days of shelf life the differences between blush and bruises were invisible.

The chromaticity parameter  $a^*$  was also confirmed by the reduction of the red colour on the surface of the blush, in the range from 47.32 to 34.79, however, bruising was more visible on the base colour of fruit, as this parameter  $a^*$  increased from 7.86 to 27.38. Generally, the colour of bruised apple on the surface of the blush was more even, however, after 2 days of shelf life, the base colour of apples evoked a negative quality assessment.

**Key words:** apples, bruising, shelf-life, color, lightness, chromaticity, CIE  $L^*a^*b^*$