

Dr inż. Krzysztof DASIEWICZ  
Mgr inż. Marta CHMIEL  
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

# WYKORZYSTANIE KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW WIZYJNYCH W TECHNOLOGII ŻYWNOCI®

## Część I

*Celem artykułu jest prezentacja wyników przeglądu zastosowania komputerowych systemów wizyjnych wykorzystywanych w przemyśle spożywczym, ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu owocowo-warzywnego, zbożowo-młynarskiego i piekarskiego. Ponadto przedstawiono zasadę działania komputerowych systemów wizyjnych, opisano przykładowe stanowisko oraz algorytm postępowania w poszczególnych etapach analizy obrazu. Natomiast w części II artykułu przedstawione zostaną aspekty związane z wykorzystaniem komputerowych systemów wizyjnych do oceny jakości mięsa i jego przetworów oraz złożonych produktów spożywczych.*

### WSTĘP

Komputerowe systemy wizyjne (ang. *computer vision systems* – CVS) są stosunkowo młodą techniką badawczą, a pierwsze doniesienia z tego zakresu pochodzą z lat sześćdziesiątych XX wieku. Przez lata obserwowano wzrastające zainteresowanie tą techniką, a obecnie znalazła ona zastosowanie w różnych obszarach naukowych i w praktyce przemysłowej. Aplikacje komputerowych systemów wizyjnych można spotkać w medycynie i biologii (do automatycznej analizy i rozpoznawania obrazów mikroskopowych, rentgenowskich, ultrasonograficznych, komputerowej tomografii), geodezji, kartografii i geografii (do automatycznego przetwarzania znacznych ilości danych, do analizy zdjęć lotniczych i satelitarnych), komunikacji (do wykrywania obecności, kierunku i natężenia ruchu pojazdów, określania ilości pojazdów czekających na skrzyżowaniach, automatycznego wykrywania kolizji i wypadków), kryminalistyce (do analizy odcisków palców, wykrywania w obrazie cech i szczegółów nierozróżnialnych ludzkim wzrokiem), laboratoriach badawczych (do analizy obrazów mikroskopowych, kontroli materiałów i jakości wyrobów) oraz wojskowości, plastyce, telewizji i filmie.

Produkcja żywności jest wieloetapowym procesem technologicznym, który wymaga ciągłej kontroli oraz nadzoru nad prawidłowym jego przebiegiem. Zarówno kontrola, jak i reagowanie na nieprawidłowości możliwe są dzięki ciągłej obserwacji i pomiarom różnych parametrów surowca, półproduktu, jak i samego przebiegu procesu technologicznego. Wiele informacji o surowcu, produkcji lub procesie dostarcza ocena wzrokowa przeprowadzana przez pracowników zakładu. Ona jednak jest obciążona subiektywnym odczuciem. Wynikać to może z dużej liczby zbiorów podlegających ocenie, ich ruchu oraz zmęczenia oka. Zastąpienie oka ludzkiego systemem optycznym stało się możliwe wraz z rozwojem kamer telewizyjnych oraz techniki komputerowej [17, 21]. Kontrola jakości w połączeniu ze wzrastającym stopniem automatyzacji we wszystkich sferach produkcji wymaga szybkich i obiektywnych metod oceny jakości produktów spożywczych. Wynikiem tego jest wprowadzenie do przemysłu technik opartych na komputerowym przetwarzaniu obrazu. Wykonanie fotografii badanego surowca oraz przeprowadzenie analizy

obrazu za pomocą odpowiednich aplikacji komputerowych pozwala na szybkie określenie jego jakości.

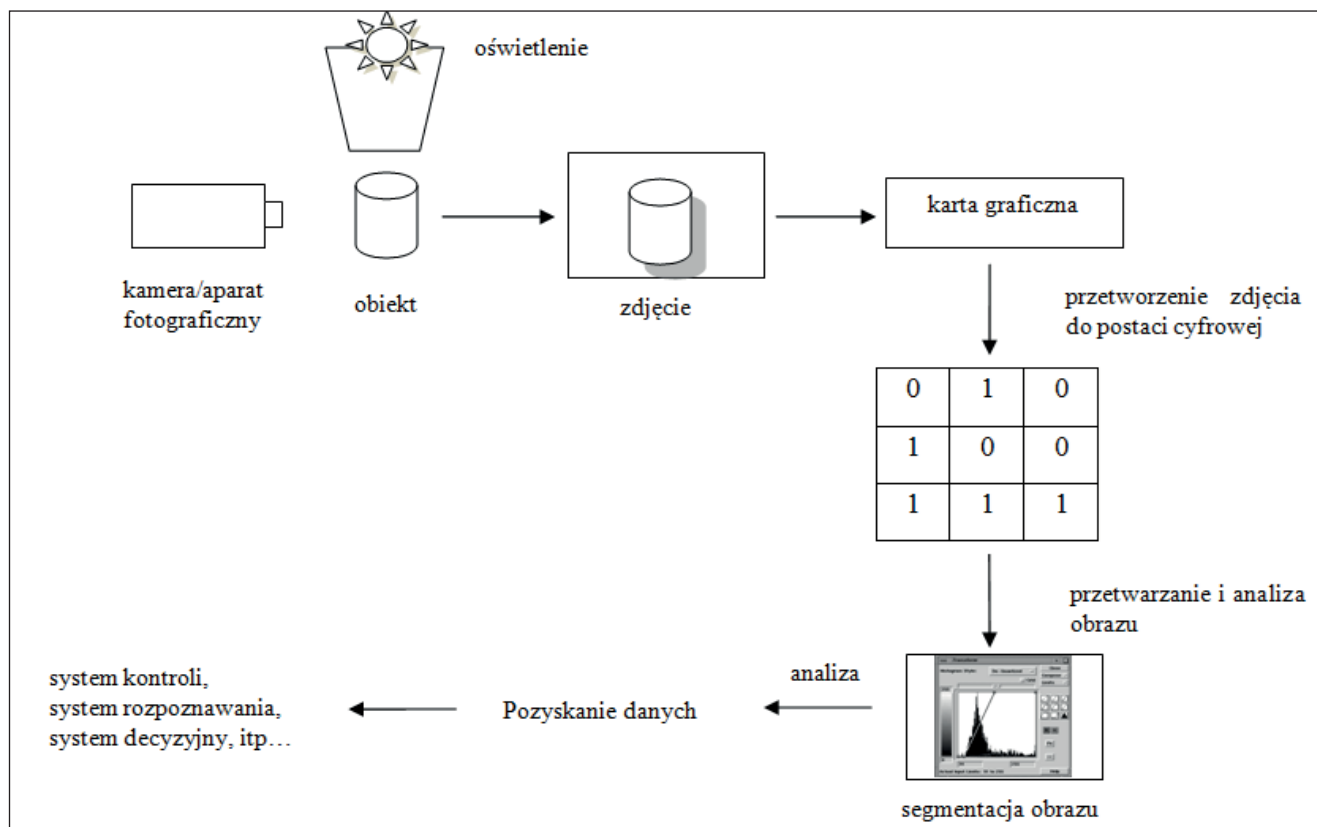
Komputerowe systemy wizyjne coraz częściej używane są w rolnictwie i przemyśle spożywczym do oceny zarówno surowców, półproduktów, wyrobów gotowych, jak również do kontroli prawidłowości przebiegu procesu produkcyjnego. O ich zastosowaniu decydują cechy komputerowych systemów wizyjnych: obiektywność, szybkość, powtarzalność, nieinwazyjność pozwalające na zastąpienie tradycyjnych, subiektywnych metod oceny [8].

### KOMPUTEROWE SYSTEMY WIZYJNE – WIADOMOŚCI OGÓLNE

Analiza obrazu jest zbiorem metod postępowania, które umożliwiają obróbkę i analizę cech obrazu zapisanego w postaci danych cyfrowych. Zasada działania CVS polega na wprowadzeniu do komputera informacji o obrazie, a następnie określeniu jego parametrów geometrycznych lub też innych jego cech, np.: barwy lub poziomów jasności. Typowy schemat działania CVS z zastosowaniem aparatów analogowych przedstawiono na rysunku 1. Obecnie, procesy wykonywane przez kartę graficzną, czyli przetworzenie zdjęcia do postaci cyfrowej, realizowane są przez aparat cyfrowy [6, 7].

Stanowisko CSV powinno składać się z 3 głównych elementów: źródła światła, aparatu fotograficznego (lub kamery) oraz oprogramowania do przetwarzania i analizy obrazu. Proces analizy obrazu jest kilkuetapowy.

Jednym z etapów, bezpośrednio wpływającym na jakość zdjęć, a zatem na dokładność uzyskiwanych wyników, jest proces pozyskiwania zdjęć. W etapie tym rejestrowany jest obraz za pomocą kamery lub aparatu cyfrowego. Istotną rolę odgrywa w tym przypadku rodzaj oświetlenia. Dobranie odpowiedniego oświetlenia pozwala min. zredukować odbicia, czy też powstające cienie. Ważnym czynnikiem wpływającym na jakość zdjęć są również warunki ich wykonywania. Stanowisko do pozyskiwania zdjęć powinno zapewnić standardowe, powtarzalne warunki. Istotne z punktu widzenia jakości obrazu są jednakowe warunki ekspozycji aparatu fotograficznego: czułość ISO, wartość przesłony, czas naświetlania zdjęcia, itp. [15, 27].



Rys. 1. Zasada działania komputerowych systemów wizyjnych.

Obrazy wprowadzone do pamięci komputera podlegają następnie przetwarzaniu. W procesie tym uzyskuje się obraz w postaci mozaiki punktów tzw. pikseli, będących zbiorem informacji dotyczących jasności i kolorów. Do przetwarzania i analizy obrazów barwnych można zastosować jeden z modeli kolorów, np.: RGB, który używany jest w cyfrowym przetwarzaniu obrazów. Identyfikacja barwy w tym modelu jest trójką składowych Red, Green, Blue (czerwona, zielona, niebieska). Dla potrzeb komputerowego przetwarzania obrazów zostały stworzone również inne modele barw. Ich podstawową zaletą jest ułatwienie odbioru odpowiedniej barwy. Są to modele HSV/HSB i HSL, określające odcień barwy H (ang. *Hue*), nasycenie S (ang. *Saturation*) oraz wartość/jasność V/B (ang. *Value, Brightness*) lub L - jaskrawość (ang. *Lightness*) [19, 29].

Kolejnym etapem w procesie analizy obrazu może być wydzielenie obiektów (segmentacja). Proces ten polega na podziale obrazu na fragmenty odpowiadające poszczególnym widocznym na obrazie obiektom. Pozwala to na usuwanie z nich niepożądanych elementów i ich konturów. Automatyczna segmentacja jest jednym z najtrudniejszych etapów analizy obrazu. Segmentacja obrazu żywności jest wciąż nierozwiązanym problemem, ze względu na złożoność struktury badanego obiektu. Ostatnim etapem jest dokonanie pomiarów wydzielonych obiektów przez system komputerowy. Uzyskane w ten sposób informacje są przekazywane do systemów sterowania procesem produkcyjnym (kontroli, rozpoznania lub decyzji) [6, 7].

W ocenie jakości żywności przy pomocy CVS najczęściej wykorzystywane są takie cechy obiektów, jak: barwa, wielkość, kształt i tekstura. Barwa jest pierwszym i jednym z najważniejszych wrażeń odbieranych przez konsumenta.

Dlatego też analiza barwy surowca i produktu jest najczęściej stosowana w ich ocenie. Natomiast analiza rozmiaru wykorzystywana jest do oceny zmian kształtu i wymiaru surowców podczas procesu produkcyjnego, jak i oceny gotowych produktów. Systemy te stosowane są przede wszystkim dla owoców i warzyw o kształcie podłużnym, takich jak: banany czy ogórki [19, 29].

W technologii żywności CVS wykorzystywane są m.in. do oceny jakości owoców i warzyw, zbóż, czy też oceny mięsności i klasyfikacji tusz dużych zwierząt rzeźnych, oceny jakości mięsa. Systemy te stosowane są również do oceny jakości produktów gotowych m. in. wyrobów piekarskich, makaronów, spożywczych produktów złożonych, np. pizzy [10, 11, 29].

## ZASTOSOWANIE CVS DO OCENY JAKOŚCI OWOCÓW I WARZYW

Wygląd zewnętrzny ma ogromne znaczenie w marketingu i sprzedaży wszystkich produktów żywnościowych, w tym również owoców i warzyw. Wielkość, kształt, barwa, czy też występowanie przebarwień, skaz i służeń na powierzchni wpływają na podejmowanie decyzji o ich zakupie. Wygląd zewnętrzny jest przez konsumenta często kojarzony z jakością kupowanego produktu, dlatego też istotne jest, aby w sposób obiektywny dokonać oceny powierzchni tego surowca.

Komputerowe systemy wizyjne wykorzystuje się do obiektywnego wykrywania przebarwień, zniekształceń, uszkodzeń mechanicznych, służeń oraz innych defektów tekstury owoców i warzyw oraz kontroli jakości sortowania i klasyfikacji odmianowej. Zapewnia to automatyczną klasyfikację i standaryzację surowca oraz eliminuje żmudną pracę

inspektora. Zastosowanie tej metody pozwala na wykrywanie porażenia pleśnią, czy też uszkodzeń spowodowanych przez przymrozki. System ten znalazł również zastosowanie do automatycznej kontroli oraz przyspieszenia sortowania surowców. Klasyfikacja i sortowanie przy pomocy CVS odbywa się na podstawie analizy barwy i/lub kształtu [1, 7].

Barwa jako kryterium klasyfikacji z powodzeniem została wykorzystana do wykrywania, np. przebarwień jabłek odmiany „Jonagold”. Program komputerowy porównywał wartości R, G, B każdego piksela obrazu badanego jabłka ze stworzoną bazą zawierającą informacje o barwie „zdrowych”, poprawnie wybarwionych owoców [4, 16, 26]. Na podstawie badań Tao i wsp. [25] wykazano, że CVS może dokonywać z dokładnością około 90% sortowania jabłek odmiany „Golden Delicious” na owoce o barwie zielonej bądź żółtej. Autorzy wykorzystali układ składający się z dwóch oddzielnych systemów oświetlenia, ośmiu kamer oraz jednego panelu sterowania. Szybkość klasyfikacji online wynosiła 3600 jabłek/min. Ze względu na dużą dokładność oraz szybkość działania tego typu systemy instalowane są na szeroką skalę w przemyśle do sortowania jabłek, jak i owoców cytrusowych. Poza analizą barwy CVS stosowane są również do określania właściwości fizyko-chemicznych owoców i warzyw. Połączenie bliskiej podczerwieni i CVS pozwoliło na określenie z 78% dokładnością zawartości cukru w jabłkach [23] oraz kwasowości i zawartości cukru w pomarańczach. W tym drugim przypadku zdjęcia pomarańczy poddano analizie obrazu. Określono takie cechy jak: kształt, barwę oraz teksturę owoców [5, 14].

Komputerowe systemy wizyjne wykorzystane zostały także do wykrywania szklistości miąższu jabłek, czyli choroby fizjologicznej powstającej przed zbiorem owoców. Choroba ta ma postać wodnistych obszarów w miąższu jabłek. Partie miąższu stają się przesiąknięte i przezroczyste wskutek nagromadzenia się cieczy w przestworach międzykomórkowych [4, 7].

Na podstawie analizy kształtu i rozmiaru sortowano świeże truskawki. Wykorzystany w badaniach system sortował truskawki na trzy klasy według kształtu i pięć klas w oparciu o rozmiar owoców z 94-98 % dokładnością [3, 20].

Kolejnym przykładem zastosowania CVS jest ocena oraz klasyfikacja pomidorów na podstawie ich barwy. System klasyfikujący oraz sortujący surowiec analizuje jednocześnie wybarwienie oraz jednorodność barwy, ilość przebarwień, a także poprawność kształtu pomidorów. Na tej podstawie istnieje możliwość określenia stopnia dojrzałości oraz twardości pomidorów, a dodatkową opcją jest obserwowanie zmiany barwy pomidorów w trakcie przechowywania [13].

Jak wskazują badania wielu autorów ocenę jakości na podstawie barwy określonej metodą CVS przeprowadza się także dla wielu innych owoców i warzyw, np.: papryki, mango, kokosów, papai, brzoskwiń, soi, oraz ziemniaków [6, 7, 29].

System klasyfikacji ziemniaków na podstawie barwy określonej metodą CVS rozróżniał z 90% dokładnością bulwy ziemniaka o prawidłowym kolorze od bulw zielonych. W systemach tych określane są cztery podstawowe cechy ziemniaków: masa, kształt, barwa oraz średnica przekroju. Opracowany system wizyjny jest w stanie przetwarzać do 50 obrazów na sekundę [7].

## WYKORZYSTANIE CVS DO OCENY JAKOŚCI ZBÓŻ, MAKI, WYROBÓW PIEKARSKICH I CUKIERNICZYCH

Zarówno w przemyśle zbożowo – młynarskim, jak i w innych gałęziach przemysłu spożywczego ważną rolę odgrywa jakość surowca. Jest ona różnie postrzegana przez handlowca, technologa, żywieniowców, czy konsumenta, dlatego też istotnym jest jej właściwe zdefiniowanie. Ostatnie dziesięciolecia przyniosły ogromny postęp w rozwoju narzędzi służących temu celowi. Opracowane liczne aplikacje komputerowych systemów wizyjnych dotyczą m. in. oceny jakości ziarna zbóż, wykrywania zanieczyszczeń, określania gatunku zbóż, określania ilości otrąb po procesie przemiału, oceny jakości mąki, a także oceny jakości pieczywa i produktów piekarskich [19, 28].

Pierwsze doniesienia wykorzystania CVS dotyczyły odróżnienia zanieczyszczeń (głównie nasion chwastów) od ziarna zbóż [6, 11, 29]. W późniejszym okresie, wraz z rozwojem technik komputerowych opracowano systemy pozwalające na określenie udziału poszczególnych gatunków zbóż w mieszaninie. Czynnikiem różnicującym w przypadku mieszaniny ziaren mogą być cechy morfologiczne i/lub barwa obiektu. Wśród mieszaniny pszenicy, żyta, pszenżyta, jęczmienia systemy wizyjne są w stanie zidentyfikować ziarna pszenicy z 99% dokładnością. Pozostałe ziarna, takie jak: soja, owies, kukurydza były identyfikowane z blisko 100% dokładnością. W przypadku analizy barwy ziaren tego samego gatunku zastosowanie CVS, w oparciu o bazę danych zawierającą informację na temat barwy i kształtu, pozwoliło na odróżnienie 10 odmian handlowych pszenicy [6, 11].

Systemy wizyjne wykorzystane zostały do opracowania metody szacowania ilościowego oraz określania właściwości fizycznych ziaren zbóż, np. kukurydzy. Na podstawie CVS oceniano barwę, rozmiar, kształt, ilość złamań i pęknięć oraz twardość ziaren. Należy przy tym dodać, że analizy te wykonywane są w trybie on-line [7, 11].

Analizę obrazu zastosowano również do oceny ilości otrąb w mące. Komputerowy system wizyjny umożliwił szybkie i dokładne wykrycie składników pozabielmowych w produkcie. Komputerowe systemy wizyjne znacznie przyspieszają prowadzenie analiz i pozwalają na szybkie i łatwe określenie stopnia zanieczyszczenia mąki. Zastosowanie komputerowej aplikacji np. LEAF pozwala na określenie procentowej zawartości zanieczyszczeń w masie mąki. Uzyskiwane wyniki nie odbiegają od otrzymanych za pomocą analizy sitowej, która jest czasochłonna i pracochłonna. Istnieje również możliwość analizowania rozmieszczenia i wielkości porów w wyrobach piekarskich. Ponadto zastosowano CVS do oceny jakości mięksiszu chleba [2, 24].

Na podstawie badań Davidson'a [9] opracowano system automatycznej klasyfikacji ciastek czekoladowych. Do ocenianych cech należały: wielkość, kształt, barwa pieczonego ciastka. System z 96% dokładnością klasyfikował badane objekty.

Komputerowe systemy wizyjne zastosowano również do oceny jakości makaronów [12], a także do sortowania i kontroli jakości chipsów oraz frytek [18, 19, 22].

## PODSUMOWANIE

Komputerowe systemy wizyjne stosowane są, jako obiektywne i szybkie metody oceny jakości produktów spożywczych. W ocenie surowców oraz produktów stosowana jest analiza barwy, jak również kształtu i tekstury. Jak przedstawiono w artykule, w przemyśle owocowo-warzywnym, zbożowo – młynarskim, piekarskim i cukierniczym analiza z wykorzystaniem CVS obejmuje m.in. obiektywne wykrywanie przebarwień, zniekształceń, defektów tekstury owoców i warzyw, ocenę jakości ziarna zbóż, wykrywanie zanieczyszczeń, ocenę jakości mąki, a także ocenę jakości pieczywa i produktów piekarskich.

## LITERATURA

- [1] **ABBOTT J.A. 1999.** *Quality measurements of fruits and vegetables.* Postharvest Biology and Technology, (15), 207-225.
- [2] **ABDULLAH M.Z., ABDUL-AZIZ S., DOS-MOHAMED A.M. 2000.** *Quality inspection of bakery products using color-based machine vision system.* Journal of Food Quality, (23), 39-50.
- [3] **BATO P.M., NAGATA M., CAO Q.X., HIYOSHI K., KITAHARA T. 2000.** *Study on sorting for strawberry using machine vision (part 2): development of sorting system with direction and judgment functions for strawberry (Akihime variety).* Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, (62) 2, 101-110.
- [4] **BENNEDESEN B.S., PETERSON D.L., TABB A. 2005.** *Identifying defects in images of rotating apples.* Computers and Electronics in Agriculture, (48), 92-102.
- [5] **BLASCO J., ALEXOS N., MOLTÓ E. 2007.** *Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm.* Journal of Food Engineering, (81) 3, 535-543.
- [6] **BROSNAN T., SUN D.W. 2004.** *Improving quality inspection of food products by computer vision – a review.* Journal of Food Engineering, (61), 3-16.
- [7] **BROSNAN T., SUN D.W. 2002.** *Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review.* Computers and Electronics in Agriculture, (36), 193-213.
- [8] **CHMIEL M., DASIEWICZ K. 2009.** *Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do szacowania zawartości tłuszczu w drobnym mięsie wołowym.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 19/34, 1, 61-64.
- [9] **DAVIDSON V.J., RYKS J., CHU T. 2001.** *Fuzzy models to predict consumer ratings for biscuits based on digital features.* IEEE Transactions on Fuzzy Systems, (9) 1, 62-67.
- [10] **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.
- [11] **DU C.J., SUN D.W. 2004.** *Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation.* Trends in Food Science & Technology, (15), 230-249.
- [12] **HATCHER D.W., SYMONS S.J., MANIVANNAN U. 2004.** *Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and color.* Journal of Food Engineering, (61), 109-117.
- [13] **KONDO N., NISHITSUJ Y., LING P.P., TING K.C. 1996.** *Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting.* Transactions of the ASAE, 39 (6), 2331-2338.
- [14] **KONDO N. 1995.** *Quality evaluation of orange fruit using neutral networks.* Food Processing Automation IV Proceedings of the FPAC Conference. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA.
- [15] **LANG B. 2003.** *Fotografia cyfrowa,* Helion.
- [16] **LEEMAS V., MAGEIN H., DESTAIN M.F. 1998.** *Defects segmentation on "Golden Delicious" apples by using colour machine vision.* Computers and Electronics in Agriculture, (20), 117-130.
- [17] **MALAMAS E.N., PETRAKIS E.G.M., ZERVAKIS M., PETIT L., LEGAT J.D. 2003.** *A survey on industrial vision systems, applications and tools.* Image and Vision Computing, (21), s. 171-188.
- [18] **MARIQUE, T., KHAROUBI P., BAUFFE P., DUCATILLON C. 2003.** *Modeling of fried potato chips color classification using image analysis and artificial neural network.* Journal of Food Science, (68), 2263-2266.
- [19] **MENDOZA F., DEJMEK P., AGUILERA J. M. 2006.** *Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis.* Postharvest Biology and Technology, (41), 285-295.
- [20] **NAGATA M., CAO Q., BATO P.M., SHRESTHA B.P., KINOSHITA O. 1997.** *Basic study on strawberry sorting system in Japan.* ASAE Annual International Meeting Technical Papers, Paper No. 973095, ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA.
- [21] **O'SULLIVAN M.G., BYRNE D.V., MARTENS H., GIDSKEHAUG L.H., ANDERSEN H.J., MARTENS M. 2003.** *Evaluation of prok colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis.* Meat Science, (65), 909-918.
- [22] **PEDRESCHI F., MERRY D., MENDOZA F., AGUILERA, J.M. 2004.** *Classification of potato chips using pattern recognition.* Journal of Food Science, 2004, (69), 264-270.
- [23] **STEINMETZ V., ROGER J.M., MOLTO E., BLASCO J. 1999.** *Online fusion of colour camera and spectrophotometer for sugar content prediction of apples.* Journal of Agricultural Engineering Research, (73), 207-216.
- [24] **SZWEDZIAK K., SOBKIEWICZ J. 2006.** *Określenie zanieczyszczeń w mące za pomocą komputerowej analizy obrazu.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, (2), 24-26.
- [25] **TAO Y., HEINEMANN P.H., VARGHESE Z., MORROW C.T., SOMMER H.J. 1995.** *Machine vision for colour inspection of potatoes and apples.* Transactions of the ASAE, 38 (5), 1555-1561.
- [26] **THROOP J.A., ANESHANSLEY D.J., ANGER W.C., PETERSON, D.L. 2005.** *Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system.* Postharvest Biology and Technology, (36), 281-290.

- [27] **WOJNAR L., MAJOREK M. 1994.** *Komputerowa analiza obrazu.* Fotobit Design, Kraków, 1994.
- [28] **YADAV B.K., JINDAL V.K. 2001.** *Monitoring milling quality of rice by image analysis.* Computers and Electronics in Agriculture, (33), 19-33.
- [29] **ZHENG C., SUN D.W., ZHENG L. 2006.** *Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection – a review.* Trends in Food Science & Technology, (17), 642-655.

## COMPUTER VISION SYSTEMS IN FOOD TECHNOLOGY

### Part I

#### SUMMARY

*An article reviews the application of computer vision systems used in food industry especially in fruit and vegetable, grain-milling and baking industries. In addition, the article gives an overview of computer vision systems, describes sample measurement station and algorithm in various stages in image analysis. Aspects related with using computer vision systems for quality evaluation of meat and meat products and complex food products will be presented in Part II of the paper.*