

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

WYKORZYSTANIE KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZU DO SZACOWANIA ZAWARTOŚCI TŁUSZCZU W DROBNYM MIĘSIE WOŁOWYM®

Celem prezentowanych badań jest ocena możliwości zastosowania komputerowej analizy obrazu do szacowania zawartości tłuszczu w drobnym mięsie wołowym pozyskanym z wykrawania i obróbki karkówki, dolnej zrazowej i skrzydła. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że jednoznaczne zdefiniowanie pól białych i czerwonych jest bardzo trudne, a dążenie do uzyskania jak najniższego udziału pól nierozpoznanych, może prowadzić do uzyskania pogorszenia dokładności szacowania. Pomimo zweryfikowania procesu „nauki” i wyliczenia dzięki temu wyższych współczynników korelacji pomiędzy udziałem pól białych a zawartością tłuszczu, konieczne jest prowadzenie dalszych badań nad przydatnością metody komputerowej analizy obrazu do szacowania jakości drobnego mięsa na większej populacji próbek.

WSTĘP

W przemyśle mięsnym istotnym problemem jest niejednorodność surowca. Mięsa drobne cechują się dużą zmiennością zawartości tłuszczu i właściwości technologicznych. Ocena wzrokowa tych parametrów stosowana w zakładach mięsnych, nie spełnia zazwyczaj zadania standaryzacji surowca (obciążona jest znaczącym błędem). Prowadzi to do niestandardowości produkowanych wyrobów oraz strat ekonomicznych ponoszonych przez zakład. Potrzeba udoskonalenia systemu klasyfikacji mięsa drobnego, spowodowała konieczność poszukiwania obiektywnych i jednocześnie pozwalających na szybkie uzyskanie wyników, metod określających jego jakość. Te wymagania spełnia komputerowa analiza obrazu (KAO). Zaletami komputerowego systemu analizy są: szybkość i powtarzalność, nieinwazyjność, łatwość obsługi, możliwość pomiaru całego obiektu lub przygotowanych z niego preparatów mikroskopowych. Zdjęcia produktów żywnościowych wprowadzone do systemu komputerowego mogą być przechowywane, przetwarzane i wyświetlane w formie macierzy, z których można uzyskać informacje o cechach obrazu [2, 5, 6, 10, 11]. Do coraz szerszego stosowania tej metody przyczyniły się zarówno postęp w dziedzinie technik informatycznych (obniżenie cen komputerów przy jednoczesnym wzroście ich mocy obliczeniowej), jak i postęp techniczny, który dokonał się w dziedzinie fotografii i umożliwił zastosowanie techniki cyfrowej do rejestrowania obrazów [2, 9].

Metoda KAO znalazła w przemyśle mięsnym szerokie zastosowanie. Może być wykorzystywana zarówno do badania mięsności tusz i półtuszy [1], jak i do oceny jakości mięsa wieprzowego [4, 6, 10], wołowego [3, 16], czy drobiowego [17]. Prowadzone od lat badania nad zastosowaniem KAO do szacowania zawartości tłuszczu oraz oceny jakości drobnego mięsa wieprzowego potwierdziły jej skuteczność. Na podstawie wyników badań określono optymalne warunki wykonywania pomiarów, wpływ rodzaju surowca i operacji jednostkowych na możliwość szacowania wybranych wyróżników jakości technologicznej [4, 6, 12]. Wyniki uzyskane m. in. przez Dasiewicza i Szymańskiego [4] wykazały istotne korelacje pomiędzy udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą

Soxhleta. Według tych autorów [4] metoda KAO może być wykorzystywana do szacowania zawartości tłuszczu w drobnym mięsie wieprzowym kl. II, po ujednorodnieniu poprzez rozdrobnienie.

Niewiele danych dotyczy szacowania zawartości tłuszczu i jakości drobnego mięsa wołowego.

Celem artykułu jest określenie możliwości zastosowania komputerowej analizy obrazu do szacowania zawartości tłuszczu w drobnym mięsie wołowym pozyskanym z wykrawania i obróbki wybranych elementów.

METODYKA BADAŃ I WYNIKI

Materiał do badań stanowiło drobne mięso wołowe pozyskane w warunkach przemysłowych z wykrawania i obróbki karkówki, dolnej zrazowej i skrzydła.

Badania przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy z zakresu KAO, przeprowadzono na terenie zakładu rozbiorowego. Stanowisko pomiarowe stanowiła prostopadłościenna skrzynka, wykonana ze sklejki, którą pokryto białą, matową farbą. W dolnej części skrzynki zamontowano drzwiczki w sposób umożliwiający łatwe wprowadzanie i wyjmowanie pojemnika z mięsem, oraz gwarantujący zabezpieczenie układu przed dostępem światła z hali. W pokrywie zainstalowano oświetlenie, które stanowiły 4 halogeny o mocy 35 W każdy. Sposób rozmieszczenia lamp gwarantował równomierne rozproszenie światła podczas wykonywania zdjęć. W centralnej części pokrywy znajdował się otwór, w którym umieszczono obiektyw aparatu cyfrowego Olympus 1400L. Moc oświetlenia dobrano w taki sposób, aby natężenie światła odbitego od powierzchni biało-czerwonej w konstruowanym układzie zawierało się w granicach 18-19 lux.

Analizie poddano po 10 próbek mięsa wołowego każdego z trzech badanych elementów. Masa pojedynczej próbki wynosiła około 5 kg. Drobne mięso wołowe przekładano do pojemnika pomiarowego i po wyrównaniu powierzchni umieszczano w stanowisku pomiarowym, gdzie wykonano zdjęcia aparatem cyfrowym przy oświetleniu halogenowym na tle zielonym (zastosowane warunki wykonywania zdjęć uznano za optymalne na podstawie wcześniej wykonanych badań).

Następnie z każdego pojemnika pobierano reprezentatywną próbkę mięsa (około 500 g) do oznaczeń fizykochemicznych. W tym celu badany surowiec dwukrotnie rozdrobniono w wylku laboratoryjnym z zastosowaniem siatki o średnicy otworów 3 mm i dokładnie wymieszano, a następnie oznaczono metodami odwoławczymi jego podstawowy skład chemiczny: zawartość białka [13], wody [14] i tłuszczu [15].

Na podstawie analizy wykonanych zdjęć program Carne 2.2. [8] wydzielił, a następnie poddał analizie ilościowej pola białe przedstawiające tkankę tłuszczową i łączną, oraz pola czerwone – mięso chude, obliczając ich procentowy udział w stosunku do całkowitej analizowanej powierzchni mięsa. Miejsca o parametrach niezdefiniowanych zostały zakwalifikowane do obszaru nierozpoznanego. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej [6] wykorzystując program STATGRAPHIC 4.1. oraz funkcje statystyczne programu Microsoft Excel. Obliczono współczynniki korelacji pomiędzy zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta a udziałem pól białych wyznaczonych metodą komputerowej analizy obrazu każdego elementu osobno oraz dodatkowo dla całej badanej populacji drobnego mięsa wołowego.

W celu scharakteryzowania surowca określono jego podstawowy skład chemiczny stosując metody odwoławcze. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotny wpływ rodzaju elementu na zawartość podstawowych składników chemicznych (wody, białka i tłuszczu). Średnia zawartość wody w badanym mięsie pozyskanym z karkówki wynosiła 74,5% i była istotnie wyższa od stwierdzonej w dolnej zrazowej i skrzydle, gdzie ilość tego składnika wynosiła odpowiednio 55,6 i 66,0%. Średnia zawartość białka kształtowała się na zbliżonym poziomie dla mięsa pozyskanego z dolnej zrazowej i skrzydła (odpowiednio 17,9 i 18,0%), natomiast istotnie wyższą jego ilością charakteryzowało się mięso pozyskane z karkówki (średnio 19,4%). Istotnie niższą zawartość tłuszczu oznaczono w mięsie pozyskanym z karkówki (średnia zawartość 5,0%), natomiast najwyższą w mięsie pozyskanym z dolnej zrazowej, średnio 25,4%. Średnia zawartość tłuszczu w badanym mięsie wołowym pozyskanym ze skrzydła wynosiła 15,1%.

Oszacowanie zawartości tłuszczu metodą komputerowej analizy obrazu wymaga określenia udziału pól białych na fotografiach cyfrowych badanego mięsa. Pola białe oznaczone metodą komputerowej analizy obrazu odpowiadają tkance tłuszczowej i łącznej. W celu oszacowania zawartości tłuszczu metodą KAO stworzono w procesie „nauki” A trzy bazy danych (osobna baza dla każdego z elementów). Nauka programu analizującego polegała na wskazaniu odpowiednich

obszarów na fotografiach cyfrowych odpowiadających tkance mięśniowej oraz tłuszczowej i łącznej, w wyniku czego program opracował postać funkcji segmentującej surowiec na podstawie informacji o jego barwie i nasyceniu na fotografii cyfrowej. „Naukę” przeprowadzono na wszystkich zdjęciach, dążąc do uzyskania jak najmniejszej ilości pól nierozpoznanych w trakcie analizy (poniżej 2%). Wykorzystując otrzymane bazy danych przeprowadzono komputerową analizę obrazu.

Udział pól białych wyznaczonych metodą KAO był istotnie zróżnicowany w zależności od rodzaju badanego elementu – najwyższy w mięsie pozyskanym z dolnej zrazowej (39,8%), natomiast najniższy w mięsie pozyskanym z karkówki (22,3%, tab. 1).

Tabela 1. Porównanie udziału pól białych, czerwonych i nierozpoznanych uzyskanych w procesie „nauki” A i B

	„nauka” A								
	karkówka			dolna zrazowa			skrzydło		
	PB	PCZ	PN	PB	PCZ	PN	PB	PCZ	PN
x	22,3 ^a	76,0	1,7	39,8 ^b	54,4	5,9	31,1 ^c	65,9	3,0
s	2,8	2,8	0,4	2,7	3,6	1,3	2,5	2,3	0,6
min	17,5	80,4	2,4	43,9	59,5	8,2	33,7	70,3	4,4
max	27,6	70,4	1,2	36,1	49,2	4,5	26,2	62,6	1,8
	„nauka” B								
	karkówka			dolna zrazowa			skrzydło		
	PB	PCZ	PN	PB	PCZ	PN	PB	PCZ	PN
x	12,3 ^{a'}	77,4	10,4	38,8 ^{b'}	50,3	11,0	29,9 ^{c'}	61,2	12,8
s	1,4	2,2	1,3	4,5	4,6	1,1	4,3	4,1	1,3
min	9,7	73,7	8,3	30,9	42,7	9,1	18,9	56,2	10,9
max	14,9	81,2	12,2	45,2	59,2	12,6	34,6	72,0	14,7

a, a' – średnie w wierszach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,05$

x – średnia

s – odchylenie standardowe

min – wartość minimalna

max – wartość maksymalna

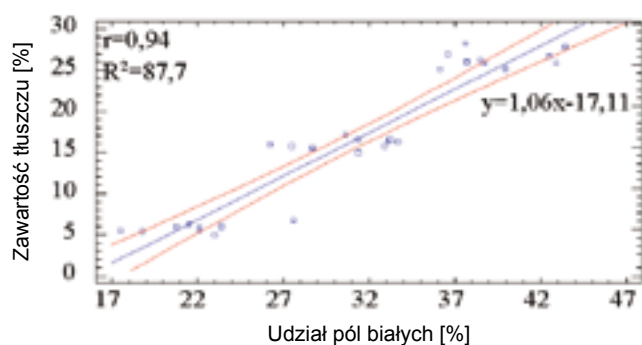
PB – udział pól białych, [%]

PCZ – udział pól czerwonych, [%]

PN – udział pól nierozpoznanych, [%]

W celu określenia możliwości zastosowania KAO do szacowania zawartości tłuszczu w badanym drobnym mięsie wołowym pochodzącym z wykrawania i obróbki karkówki, dolnej zrazowej i skrzydła przeprowadzono analizę korelacji pomiędzy udziałem pól białych a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta. Analizę przeprowadzono dla każdego rodzaju elementu osobno, ponadto dla całej populacji próbek badanego mięsa wołowego. Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała istotnych zależności pomiędzy udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu wyznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta dla drobnego mięsa wołowego pozyskanego z poszczególnych elementów. Wyliczone współczynniki korelacji kształtowały się na poziomie od $r = -0,03$ dla mięsa pozyskanego ze skrzydła,

$r = -0,11$ dla mięsa pozyskanego z dolnej zrazowej, do $r = 0,23$ dla mięsa pozyskanego z karkówki. Natomiast w przypadku całej populacji próbek drobnego mięsa wołowego przeprowadzona analiza wykazała istotne korelacje pomiędzy udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta. Wyliczone współczynniki korelacji i determinacji wynosiły odpowiednio $r = 0,94$ i $R^2 = 87,7$ (rys. 1). Analiza otrzymanych zależności wykazała, że niezależnie od rodzaju badanego elementu, przy tej samej zawartości tłuszczu (oznaczonej metodą Soxhleta) wyliczony udział pól białych (metodą komputerowej analizy obrazu) cechował się dużym rozrzutem wartości. Sugeruje to, że szacowanie udziału pól białych jest obarczone błędem.



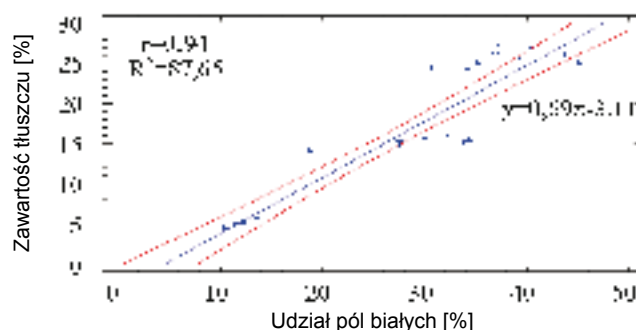
Rys. 1. Krzywa korelacji pomiędzy udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną metodą Soxhleta w drobnym mięsie wołowym („nauka” A).

Istnienie trzech rozłącznych chmur punktów (rys. 1) sugeruje, że program jest zbyt wrażliwy. Na niektórych obszarach fotografii program traktuje daną powierzchnię jako tłuszcz pomimo tego, że jest to tkanka mięśniowa natomiast na innych, jako tkankę mięśniową (duży rozrzut wyników udziału pól białych). Przykładowo dla mięsa pozyskanego z karkówki, dla próbek o zawartości tłuszczu wynoszącej ok. 5% oznaczonej odwoławczą metodą Soxhleta, udział pól białych oznaczonych metodą KAO daje rozrzut wartości od ok. 17 do 24%. Istotnym problemem w poprawnej klasyfikacji udziału pól białych i czerwonych na fotografiach są także obszary obrazujące kawałki tkanki mięśniowej z cienką warstwą tłuszczu lub tkanki łącznej o zabarwieniu różowo-czerwonym. Program powinien traktować te obszary zarówno jako tkankę tłuszczową i jako tkankę mięsną w odpowiedniej proporcji zależnej od nasycenia czerwieni. Takie podejście określane jest mianem logiki rozmytej (ang. *fuzzy logic*) w odróżnieniu od logiki dyskretnej a konkretnie trójwartościowej, jaka została zastosowana przez program analizujący.

Ponownie przeprowadzono proces „nauki” programu analizującego. W procesie „nauki” B wskazywano pola białe jednoznacznie reprezentowane przez tłuszcz, a pola czerwone jako tkankę mięśniową. Pola reprezentowane przez tkankę tłuszczową o zabarwieniu różowym oraz mięśniową pokrytą tkanką łączną stanowiły pola nierozpoznane. Skutkiem takiej procedury było uzyskanie niższych wartości udziału pól białych oraz wyższych udziału pól nierozpoznanych (tab. 1). Istotnie niższy udział pól białych stwierdzono dla mięsa pozy-

skanego z karkówki, które cechowało się najniższą zawartością tłuszczu, charakteryzującego się jednolitą białą barwą.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wyliczono współczynniki korelacji pomiędzy udziałem pól białych oznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta. Wyliczone współczynniki korelacji były wyższe w porównaniu z uzyskanymi przy użyciu baz danych stworzonych podczas „nauki” A niezależnie od rodzaju badanego elementu. Kształtowały się one odpowiednio: dla mięsa pozyskanego z karkówki $r = 0,49$, dolnej zrazowej $r = 0,35$ i skrzydła $r = 0,67$. Podobnie współczynniki korelacji i determinacji wyliczone dla całej badanej populacji były istotnie wysokie i wynosiły odpowiednio: $r = 0,94$ i $R^2 = 87,7$ (rys. 2). Na podstawie analizy wyników uzyskanych w „nauce” B stwierdzono niższy rozrzut dla mięsa pozyskanego z karkówki i skrzydła. Dla dolnej zrazowej – surowca, który charakteryzował się najwyższą zawartością tłuszczu, w dużej mierze cechującym się różowoczerwoną barwą, zaobserwowano duży rozrzut wartości. Dla próbek o zawartości tłuszczu ok. 24% wynosił on od ok. 30 do 45% (rys. 2) i wynika z zakwalifikowania jako pola czerwone fragmentów tkanki tłuszczowej o barwie różowo-czerwonej. Sugeruje to, iż metoda komputerowej analizy obrazu może być stosowana jedynie dla elementów mięsa o jednoznacznym białym zabarwieniu tkanki tłuszczowej. Szacowanie zawartości tłuszczu metodą komputerowej analizy obrazu prowadzone dla tkanki tłuszczowej o zabarwieniu różowoczerwonym lub mięsa pokrytego tkanką łączną powoduje istotne zafałszowanie wyników.



Rys. 2. Krzywa korelacji pomiędzy udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną metodą Soxhleta w badanym drobnym mięsie wołowym („nauka” B).

PODSUMOWANIE

Mięso jest materiałem biologicznym o bardzo złożonej strukturze. Zróżnicowane barwy zarówno tkanki mięśniowej, jak i tłuszczowej a dodatkowo występowanie tkanki łącznej, która pokrywając częściowo tkankę mięśniową powoduje, że rozróżnienie na obrazie poszczególnych rodzajów tkanek jest bardzo trudne. Dlatego bardzo istotnym etapem komputerowej analizy obrazu jest proces „nauki” programu analizującego. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że jednoznaczne zdefiniowanie pól białych i czerwonych jest bardzo trudne, a dążenie do uzyskania jak najniższego poziomu ilości pól nierozpoznanych, może prowadzić do uzyskania błędnych wyników, pomimo zweryfikowania procesu „nauki” i wyliczenia wyższych współczynników korelacji pomiędzy

udziałem pól białych a zawartością tłuszczu. Wydaje się, że konieczne jest prowadzenie dalszych badań nad przydatnością metody komputerowej analizy obrazu do szacowania jakości drobnego mięsa na większej populacji próbek.

LITERATURA

- [1] Borggaard C., Madsen N.T., Thodberg H.H.: In – line Image Analysis In The Slaughter Industry, Illustrated by Blef Carcass Classification, Meat Science, 1996, (43), s. 151-163.
- [2] Brosnan T., Sun D.W.: Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review, Computers and Electronics in Agriculture, 2002, (36), s. 193-213.
- [3] Dasiewicz K.: Badania nad zastosowaniem komputerowej analizy obrazu do oceny jakości mięsa wołowego, Praca doktorska, Zakład Technologii Mięsa, SGGW, 2001.
- [4] Dasiewicz K., Szymański P.: Optymalizacja warunków szacowania (metodą komputerowej analizy obrazu) tłuszczu w drobnym mięsie wieprzowym klasy II. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 2005, (2), s. 44-47.
- [5] Du Ch – J., Sun D.W.: Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review, Journal of Food Engineering, 2006, (72), s. 39-55.
- [6] Fautitano L., Huff P., Teuscher F., Garipey C., Wegner J.: Application of computer image analysis to measure pork marbling characteristics, Meat Science, 2005, (69), s. 537-543.
- [7] Gawęcki J., Wagner W.: Podstawy metodologii badań doświadczalnych w nauce o żywieniu i żywności, PWN, Warszawa 1984.
- [8] Instrukcja obsługi programu komputerowego Carne 2.2, 2004.
- [9] Long B.: Fotografia cyfrowa, Helion, 2003, s. 31-35, 244.
- [10] Lu J., Tan J., Shatadal P., Gerrard D.E.: Evaluation of pork color using computer vision, Meat Science, 2000, (56), s. 57-60.
- [11] Makała H.: Komputerowa analiza obrazu w ocenie surowców i gotowej żywności, Przemysł Spożywczy, 1995, 49, (5), s. 158, 163.
- [12] Pisula A., Dasiewicz K., Flis A.: Próba zastosowania komputerowej analizy obrazu do oceny jakości drobnego mięsa wieprzowego kl. II., Roczniki Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego tom XLI, 2004, s. 53-62.
- [13] PN-75/A-04018 (1975) – Oznaczanie zawartości azotu metodą Kiejdahla i przeliczanie na białko.
- [14] PN-ISO 1442:2000 (2000) – Oznaczanie zawartości wody.
- [15] PN-ISO 1444:2000 – Oznaczanie zawartości tłuszczu wolnego.
- [16] Powalka A.: Optymalizacja metody komputerowej analizy obrazu do szacowania jakości drobnego mięsa wołowego klasy II, Praca magisterska, Zakład Technologii Mięsa SGGW, 2007.
- [17] Słowiński M., Majewska M., Dasiewicz K.: Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do oceny zawartości tłuszczu w mięsie kurcząt, Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, (1), 2007, s. 13-16.

THE USE OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS TO ESTIMATE FAT CONTENT IN BEEF TRIMMINGS

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the possibility of using Digital Image Analysis for estimating fat content of beef trimmings obtained from chuck, bottom rump and top round. Results proved that marking off white and red spots is very difficult. The attempt to obtain very low percentage of unrecognized spots could lead to decreased accuracy of analysis. Verifying the "learning" process resulted in higher coefficients of correlation between contribution of white spots and fat content. However it is necessary to continue research on using Digital Image Analysis for estimating quality of beef meat larger population of samples should be analysed.