

Jarosław DIAKUN, Kamil DOLIK, Mariusz SEŃCIO, Dariusz TOMKIEWICZ

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA
Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

Ocena tekstury mięsa z wykorzystaniem środowiska Matlab

Prof. dr hab. inż. Jarosław DIAKUN

Kierownik Katedry Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Obszar działalności naukowej: procesy i technologie przetwórstwa spożywczego, konstrukcja i eksploatacja urządzeń przemysłu spożywczego.



e-mail: jaroslaw.diakun@tu.koszalin.pl

Mgr inż. Mariusz SEŃCIO

Jest doktorantem w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. W 2009 roku został wszczęty przewód doktorski. Obszar jego działalności naukowej obejmuje zagadnienia związane z wpływem techniki uplastyczniania mięsa na teksturę i jakość produktu typu kebab. W obszarze jego zainteresowań znajduje się również instrumentalna i sensoryczna ocena surowców spożywczych.



e-mail: sanos3@o2.pl

Mgr inż. Kamil DOLIK

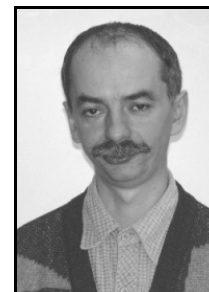
Doktorant w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Obszar jego działalności naukowej obejmuje zagadnienia związane z energetyką operacji masowania w masownicach bębnowych i mieszałkowych oraz zagadnienia dotyczące zamrażania i rozmrażania surowców spożywczych. W obszarze jego zainteresowań znajduje się również instrumentalna ocena surowców spożywczych.



e-mail: k.d.dolik@gmail.com

Dr inż. Dariusz TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Automatyka i Robotyka uzyskał w 2000 roku. W zakresie jego zainteresowań znajdują się modelowanie i identyfikacja obiektów, inteligentne układy pomiarowe, algorytmy sztucznej inteligencji, sterowanie układami o parametrach rozłożonych.



e-mail: dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl

Streszczenie

We wstępie artykułu przybliżono podstawowe informacje dotyczące oceny tekstury mięsa oraz jej znaczenia w przemyśle spożywczym. Następnie opisano przebieg przeprowadzonych badań. Opisano badany surowiec, sposób jego przygotowania, przedstawiono stanowisko badawcze oraz zastosowaną metodykę badań. Przedstawiono również sposób wyznaczania współczynnika ścięgnisto-kruchości z wykorzystaniem oprogramowania Matlab. Pokazano przykładowe wyniki badań oraz sposób ich implementacji i obróbki w środowisku Matlab.

Słowa kluczowe: tekstura mięsa, instrumentalna ocena tekstury, współczynnik ścięgnisto-kruchości, TMS-Pro, Matlab.

Meat texture evaluation in the Matlab software

Abstract

A way of applying Matlab environment in the food texture instrumental research was introduced in this article. The Matlab calculating environment is a powerful tool, which can be applied in many fields of study. This program is useful for advanced calculations and also can be used into the results' visualizations. The texture of the meat, as one of quality characteristics, is being analyzed in research centers and industrial plants. To the purpose of efficient leading the evaluation and getting reliable results a lot of different methods of estimation of the texture were developed. These methods still are being elaborated. Brand new ways of the conduct of research and interpretation of taken results are being developed with using modern tools, so like e.g. bundled software Matlab. At the beginning of this paper, a basic information about meat texture sensory and instrumental analysis methods and their meanings in food industry was introduced. Next, a step of conducted analysis was described. There's described a meat material, a way of meat preparation, test stand and analysis methodology. In the next chapter, a tendinous-tenderness indicator was introduced. This indicator has been presented in [1] and may be useful in meat research to its tendinous and tenderness level expression. In the final chapter of this paper, a way of Matlab implementation to the tendinous-tenderness indicator calculations was presented.

Keywords: meat texture, instrumental method, tendinous-tenderness indicator, TMS-Pro, Matlab.

1. Wstęp

Ocena jakości surowców i produktów odgrywa znaczącą rolę w przemyśle spożywczym. Konsumentów wymagają od producentów produktów wysokiej jakości, przy czym pojęcie jakości produktu spożywczego jest bardzo złożone. Jakość uzależniona jest nie tylko od charakteru i właściwości produktu, ale również od preferencji konsumenta [6].

Jednym z wyróżników jakości produktów mięsnych jest tekstura, definiowana jako zbiór parametrów mechanicznych, geometrycznych oraz powierzchniowych, odbieranych za pomocą receptorów dotykowych, wzrokowych oraz słuchowych [4]. Parametry tekstury mogą być oceniane różnymi metodami i na podstawie ich oceny wnioskuje się o jakości produktu. Teksturę produktu można badać w celu jak najlepszego dostosowania jej do wymagań klientów, jak i do poznania przemian tekstury produktu w toku procesu produkcyjnego (badania surowca, kolejnych półproduktów i produktu końcowego). Metody oceny parametrów tekstury produktu spożywczego dzieli się na dwie grupy: metody sensoryczne oraz metody instrumentalne [2].

W metodach sensorycznych parametry tekstury ocenia się za pomocą zmysłów człowieka. Dokładne zasady oceny poszczególnych parametrów oraz tablice odniesienia są zawarte w polskich normach. Metody sensoryczne są pracochłonne, wymagają wykształcenia całego zespołu osób oceniających, a ich wykorzystanie w warunkach przemysłowych może być problematyczne. Ponadto ich wyniki są w dużej mierze uzależnione od psychofizycznego stanu osób oceniających, przez co trudno zapewnić ich powtarzalność [5]. Metody te mają również zalety, z których najważniejszą jest uzyskiwanie bezpośredniej informacji o doznaniach, jakich doświadcza konsument podczas spożywania produktu.

Uzupełnieniem dla sensorycznych metod oceny tekstury są metody instrumentalne, w których wykorzystuje się nowoczesną aparaturę pomiarową, wspieraną przez zaawansowane oprogramowanie obliczeniowe. Przyrządy wykorzystywane do instrumentalnej oceny parametrów tekstury noszą nazwę analizatorów tekstury lub teksturometrów. Na rynku dostępnych jest wiele różnych modeli tego typu aparatów, wśród nich zarówno modele uniwersalne, jak i przeznaczone do badania konkretnego rodzaju produktu. Modele uniwersalne pozwalają na łatwy montaż różnych przy-

stawek roboczych – specjalnych elementów, które podczas pomiaru oddziałują bezpośrednio na badaną próbkę. Przystawki robocze mogą mieć różną postać – od pojedynczego ostrza nożowego po płaskie płytki oraz szczytce służące do rozciągania próbki. Dzięki tej różnorodności, za pomocą teksturometru można badać różne parametry tekstury produktu. Wartości tych parametrów zostają wyznaczone z wartości sił, przemieszczenia i czasu zarejestrowanych podczas pomiaru, a następnie wyświetlone przez oprogramowanie sterujące w postaci liczbowej oraz graficznej.

Instrumentalne metody oceny tekstury są wygodne w zastosowaniu, szybkie i nierzadko pozwalają na jednoczesny pomiar kilku różnych parametrów tekstury. Jednakże ich zastosowanie ograniczone jest głównie do oceny mechanicznych cech produktu [3]. Należy również pamiętać, że w przypadku oceny instrumentalnej jako wynik otrzymuje się zbiór wartości liczbowych, nie zaś bezpośrednią informację o doznaniach, jakich doświadczy osoba przy kontakcie z badanym produktem. Uzyskany wynik testu instrumentalnego wymaga zatem dodatkowego opracowania i interpretacji.

Wartości liczbowe pozyskane z badań na teksturometrze mogą być obrabiane również poza oprogramowaniem sterującym przyrządu. Programy zewnętrzne, takie jak Microsoft Excel czy Matlab pozwalają na zaawansowaną analizę wyników, dzięki czemu nawet z najprostszego pomiaru można pozyskać nowe, interesujące informacje. W niniejszej publikacji przedstawiono sposób wykorzystania oprogramowania Matlab do oceny współczynnika ściętno-kruchości masowanego mięsa drobiowego. Współczynnik ten pozwala określić stopień ściętności oraz kruchości mięsa i może być wykorzystany do oceny stopnia skruszenia mięsa na poszczególnych etapach obróbki technologicznej [1].

2. Materiał badany

Badania przeprowadzono na mięśniach pochodzących z nogi kurczaka, przeznaczonych na produkt typu kebab. Produkt tego typu jest bardzo popularny, a mięso z nogi kurczaka stanowi jeden z jego najważniejszych elementów. W celu zapewnienia odpowiedniego stopnia wymieszania mięsa z przyprawami oraz jego odpowiedniej kruchości, przeprowadza się operację masowania. Operacja ta nadaje mięsu odpowiednią konsystencję i przyspiesza procesy fizyko-chemiczne oraz dyfuzję przypraw i marynaty w głąb jego struktury. Obecnie w zakładach produkcji kebabu do masowania mięsa wykorzystuje się zaawansowane maszyny – masownice. W badaniu wykorzystano masownicę mieszałową MA150 firmy Inwestpol-Consulting Sp. z o.o (rys. 1).



Rys. 1. Masownica mieszałowa MA150 firmy Inwestpol-Consulting Sp. z o.o.
Fig. 1. Inwestpol-Consulting MA150 meat tumbler

Przed masowaniem surowiec mięsny poddano wstępnej obróbce, która polegała na pozbyciu się z niego elementów kostnych, chrzęstnych, ścięgien oraz skrzepów krwi. Obróbkę prowadzono ręcznie, z wykorzystaniem noży, w taki sposób, aby straty surowca były jak najmniejsze oraz aby uniknąć uszkodzenia struktury mięśni. Oczyszczony surowiec załadowano do uprzednio przygotowanego zbiornika masownicy i zalano marynatą z mieszanką przypraw smakowo-funkcjonalnych. Za pomocą panelu sterowa-

nia masownicy ustawiono odpowiedni program masowania (tab. 1). Po zakończeniu operacji surowiec pozostawiono w warunkach chłodniczych na 20 godzin. Po upływie tego czasu całość domasowano przez 5 minut i pobrano próby do badań.

Tab. 1. Wartości parametrów programu masowania
Tab. 1. Tumbling program parameters

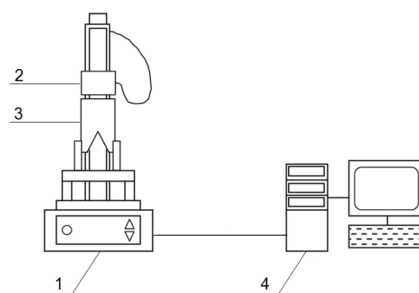
Wielkość	Jednostka	Wartość
Czas	min	90
Rodzaj zastosowanego mieszadła	-	Ramię masujące (unosząco-zgarniające)
Prędkość mieszadła	obr./min	12
Temperatura	°C	0
Stopień próżni	%	90
Kąt pochylenia	°	45
Wielkość wsadu	kg	30

3. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska pomiarowego wchodziły następujące elementy:

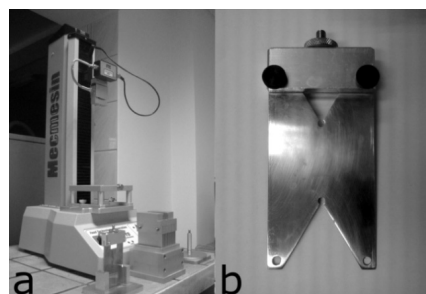
- analizator tekstury, model TMS-Pro, wyprodukowany przez firmę Food Technology Corporation,
- ogniwo siły, umożliwiające pomiar siły o maksymalnej wartości 500 N,
- przystawka robocza Warnera-Bratzlera (pojedyncze ostrze z wycięciem w kształcie trójkąta),
- komputer z zainstalowanym oprogramowaniem sterującym rejestrującym Texture Lab Pro oraz pakietem Matlab.

Schemat oraz zdjęcia stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunkach 2 oraz 3.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego do analizy tekstury. Oznaczenia: 1 – analizator tekstury TMS-Pro, 2 – ogniwo siły, 3 – przystawka robocza Warnera-Bratzlera, 4 – komputer z oprogramowaniem Texture Lab Pro i pakietem Matlab

Fig. 2. Scheme of the test stand for instrumental texture analysis. Symbols: 1 – TMS-Pro texture analysis system, 2 – 500N Load Cell, 3 – Warner-Bratzler knife fixture, 4 – computer with Texture Lab Pro and Matlab programs

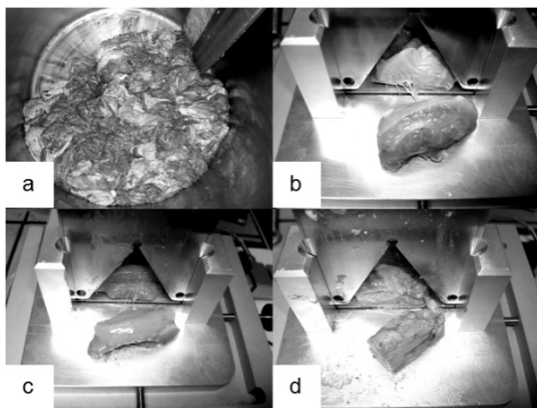


Rys. 3. Stanowisko pomiarowe. Oznaczenia: a – analizator tekstury TMS-Pro z kompletem przystawek roboczych, b – ostrze nożowe Warnera-Bratzlera
Fig. 3. Test stand. Symbols: 1 – TMS-Pro texture analysis system with fixtures, 2 – Warner-Bratzler knife fixture

4. Metodyka badań

Analizę tekstury przeprowadzono dla mięsa surowego, surowego po masowaniu z marynatą i mięsa grillowanego. Miało to na celu porównanie parametrów tekstury mięsa w różnych etapach procesu produkcyjnego. Każdorazowo analiza była prowadzona według następujących kroków:

- zmontowanie stanowiska badawczego, które polegało na zainstalowaniu ogniwa siły 500 N na głowicy teksturometru oraz ostrza nożowego Warnera-Bratzlera (rys. 3). Po zainstalowaniu tych elementów, sprawdzono ustawienie mechanicznych ograniczników ruchu głowicy teksturometru oraz podłączenia przyrządu z komputerem,
- załadowanie programu sterującego testem w oprogramowaniu Texture Lab Pro i wyzerowanie położenia ostrza noża Warnera-Bratzlera. Nóż należy ustawić w prowadnicach w taki sposób, aby podczas testu przechodził on przez szczelinę w podkładce, na której ulokowana zostaje próbka. Jeśli nóż zostanie ustawiony w niepoprawny sposób, podczas testu może dojść do kolizji ostrza z podkładką i awarii systemu, a nawet przepalenia ogniwa siły,
- przygotowanie próbek surowca, polegające na wycięciu z ud kurczaka próbek o wymiarach 40 x 40 x 10 mm za pomocą naostrzonego noża,
- pomiar temperatury próbek i ewentualne odczekanie w celu jej wyrównania. Podczas pomiaru należało zachować jednakową temperaturę próbek, aby umożliwić późniejsze porównanie uzyskanych wyników,
- umieszczenie pojedynczej próbki pod ostrzem Warnera-Bratzlera i załączenie testu. Po załączeniu następuje przecięcie próbki przez ostrze przystawki roboczej i zmierzenie wartości siły i pracy cięcia przez ogniwo siły (rys. 4). Informacje o mierzonych wielkościach są przesyłane do komputera i rejestrowane w oprogramowaniu Texture Lab Pro,
- powtórzenie pomiaru dla pozostałych próbek, zapisanie wyniku końcowego w pliku programu Texture Lab Pro oraz w pliku umożliwiającym eksport danych do programu Matlab.

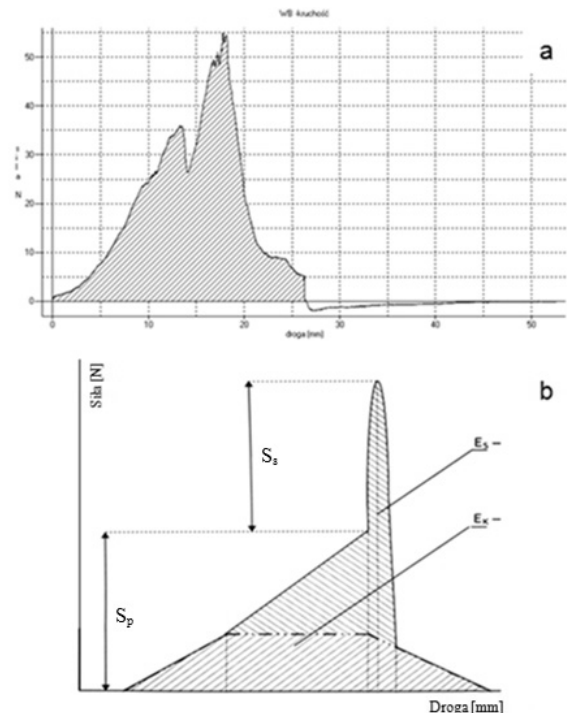


Rys. 4. Przebieg badania: mięso w zbiorniku masownicy (a) i próbki po przecięciu ostrzem Warnera-Bratzlera - surowa (b), masowana (c) i grillowana po masowaniu (d)

Fig. 4. Course of research: meat inside the tumbler (a) and the samples after Warner-Bratzler test – raw meat (b), tumbled meat (c) and grilled meat (d)

5. Wyznaczenie współczynnika ścięgnisto-kruchości w programie Matlab

Standardowo test Warnera-Bratzlera wykorzystuje się do pomiaru wartości siły i pracy podczas cięcia próbek. Jego wyniki można wykorzystać również do wyznaczenia współczynnika ścięgnisto-kruchości mięsa. Wyznaczenie to polega na obliczeniu stosunków siły i pracy cięcia według zależności podanych w [1].



Rys. 5. Przykładowe wykresy z wynikami testu Warnera-Bratzlera: a – wykres z programu Texture Lab Pro, b – model charakteru zmian siły cięcia w zależności od przemieszczenia w teście Warnera-Bratzlera [1]. Oznaczenia: S_p – siła cięcia włókien mięśniowych, S_s – siła cięcia ścięgien, E_k – praca cięcia włókien mięśniowych, E_s – praca cięcia ścięgien

Fig. 5. Warner-Bratzler result diagrams: a – a result diagram from the Texture Lab Pro program, b – the model character of changes in the force/distance in the Warner-Bratzler test [1]. S_p – tear force of muscles, S_s – tear force of tendons, E_k – tear work of muscles, E_s – tear work of tendons

Przykładowy wynik testu Warnera-Bratzlera przedstawiono na rysunku 5. Siły powstające podczas przecinania próbki można podzielić na dwa zasadnicze poziomy: siły cięcia włókien mięśniowych miofibrylarnych (S_p) oraz siły cięcia elastycznych ścięgien, powięzi, omięsnej zewnętrznej – *epimysium*, omięsnej wewnętrznej – *perimysium* oraz śródmięsnej – *endomysium* (S_s). Wartości siły cięcia włókien mięśniowych – S_p i ścięgien – S_s wykorzystuje się na pierwszym etapie wyznaczania współczynników ścięgnistości K_s oraz kruchości K_k . Jeśli w badanej próbce występuje duża ilość ścięgien, błon i powięzi, wartość S_s może znacząco przewyższyć wartość S_p . Mięso określamy wtedy mianem ścięgnistego (1.1) [1].

$$S_s > S_p \text{ to } K_s = 1, K_k = 0 \quad (1.1)$$

Przyjęto, że mięso wykazuje cechy kruchości w przypadku, gdy wartość S_s jest mniejsza od wartości S_p . Jeśli wystąpi warunek 1.2, należy przejść do drugiego etapu wyznaczania współczynników K_s i K_k , który polega na określeniu ich wartości za pomocą zależności 1.2 i 1.3 [1], przy oznaczeniach przedstawionych i opisanych na rysunku 5.

$$S_s < S_p \quad (1.2)$$

$$K_s = \frac{E_s}{E_s + E_k} \quad (1.3)$$

$$K_k = 1 - K_s \quad (1.4)$$

Określanie “na oko” wartości siły i pracy niezbędnych do określenia współczynnika ścięgnisto-kruchości niesie z sobą ryzyko popełnienia błędu. Z tego też względu, tworząc układ pomiarowy zdecydowano, że środowiskiem, w którym będzie odbywała się całość prac związanych z akwizycją i przetwarzaniem informacji będzie pakiet Matlab. Matlab pozwala nie tylko na zwiększenie dokładności odczytu danych, ale również na zmniejszenie czasochłonności prac związanych z ich opracowaniem oraz tworzeniem

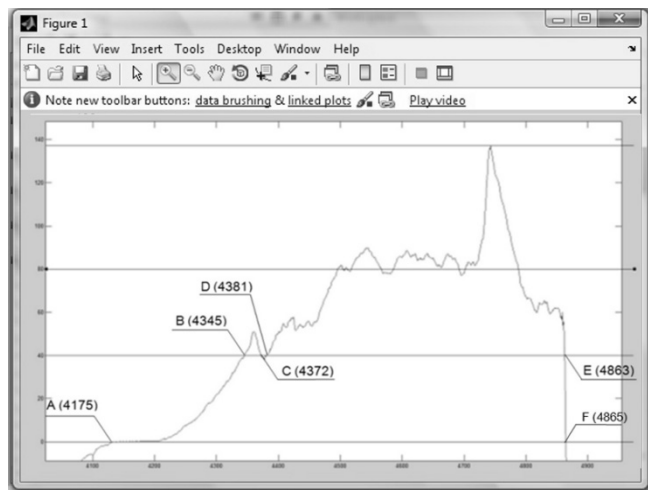
algorytmów związanych z ich numeryczną analizą. Środowisko to zawiera olbrzymią ilość gotowych procedur numerycznych związanych z przetwarzaniem danych zawartych w tzw. toolboxach. Ponadto w środowisku Matlab uzyskujemy dostęp do bogatych możliwości graficznych umożliwiających wizualizację danych. W środowisku Matlab możliwe jest również tworzenie własnych funkcji dzięki jego otwartej strukturze pozwalającej w koniecznych przypadkach na rozszerzenie jego możliwości. Środowisko Matlab pozwala również na stworzenie własnego interfejsu użytkownika.

W celu oszacowania parametrów opisujących właściwości mięsa dane uzyskane z pomiaru z zastosowaniem teksturometru zostały wczytane do środowiska Matlab. Dane te zawierały informację o wartościach przemieszczenia głowicy pomiarowej i odpowiadające przemieszczeniu wartościach sił jakie powstały na skutek kontaktu pomiędzy nożem Warnera-Bratzlera a badaną próbką mięsa. W celu analizy danych został napisany skrypt pracujący w środowisku Matlab.

Po wczytaniu danych w środowisku Matlab możliwe było:

- wyświetlenie danych w postaci wykresu graficznego obrazującego zależność pomiędzy przemieszczeniem głowicy i siłami,
- wskazanie i odczytanie dokładnych wartości punktów opisujących zmianę charakteru procesu cięcia,
- na podstawie wskazanych punktów opisujących punkt początkowy oraz punkt końcowy charakterystycznego przedziału obliczenie pracy cięcia.

Do oszacowania pracy cięcia została wykorzystana funkcja umożliwiająca obliczenie całki metodą trapezów w zadanym przedziale uprzednio odczytanym na wykresie graficznym. Przykład obliczeń został zaprezentowany poniżej.

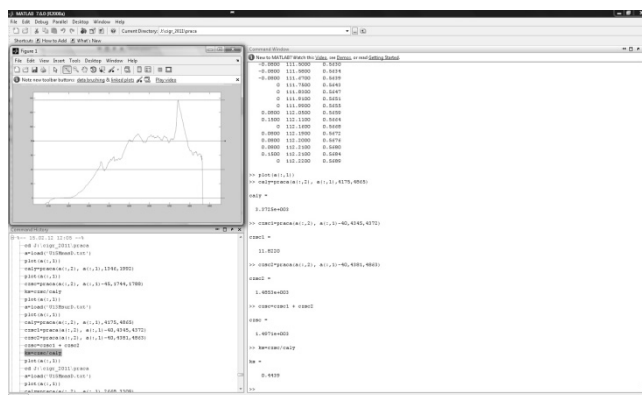


Rys. 6. Zależność siły cięcia od przemieszczenia ostrza Warnera-Bratzlera wykresiona przez program Matlab. Na wykresie oznaczono punkty wykorzystane do obliczenia wartości współczynnika ścięgnisto-kruchości (oznaczenie literowe i wartość odczytana z osi przesunięcia w nawiasie)

Fig. 6. Cutting force/Warner-Bratzler knife distance relation in the Matlab window. On the graph a characteristic points used in a tendinous-tenderness indicator calculations was marked (a letter mark and distance value)

Rysunek 6 przedstawia pierwszy etap skryptu – po załadowaniu danych uzyskanych z testu Warnera-Bratzlera do programu Matlab został utworzony wykres, na którym zaznaczono poziomy sił cięcia (linie poziome) i punkty graniczne do obliczania pracy cięcia (punkty od A do F). Na podstawie stosunku wartości sił S_p i S_s ustalono, że $S_p > S_s$, co dało podstawę do prowadzenia dalszych obliczeń. Wartości otrzymane w punktach A ÷ F wpisano do formuły skryptu w programie Matlab (rys. 7). W pierwszej kolejności obliczono całkowitą wartość pracy pomiędzy punktem A i punktem F. Następnie obliczono wartość pracy cięcia ścięgien, błon i powięzi E_s . W omawianym przykładzie wartość E_s musiała być wyliczona dwuetapowo – dla oddzielnego pikku między punktami B i C oraz dla zakresu od punktu D do punktu E. Całkowitą wartość E_s otrzymano po zsumowaniu obu wartości cząstkowych.

Kolejnym etapem w skrypcie było wyznaczenie wartości współczynnika ścięgnistości K_s . W przytoczonym przykładzie wyniosła ona 0,4439. Oznacza to, że próbka była w 44% ścięgnista i (zgodnie ze wzorem 1.4) w 56% krucha.



Rys. 7. Okno Matlab z procedurą obliczeń współczynnika ścięgnistości K_s
Fig. 7. Matlab window with the tendinous indicator (K_s) calculations procedure

6. Podsumowanie

Instrumentalne metody oceny tekstury są wygodne w użyciu i pozwalają na zdobycie wartościowych informacji o teksturze produktów spożywczych. Zaawansowana obróbka pozyskanych z nich danych pozwala tworzyć nowe wyróżniki jakości tekstury, takie jak przedstawiony współczynnik ścięgnisto-kruchości. W obróbce tej warto się wspomagać zewnętrznym oprogramowaniem obliczeniowym, dzięki któremu możliwe jest prowadzenie analiz niedostępnych z poziomu standardowego oprogramowania sterującego-rejestrującego teksturometru. Wykorzystanie środowiska Matlab w obróbce wyników instrumentalnej oceny tekstury pozwala na przeprowadzenie skomplikowanych obliczeń i analiz przy minimalnym nakładzie czasu. Zwiększa również dokładność prowadzonych obliczeń.

Przedstawiony współczynnik ścięgnisto-kruchości pozwala na określenie stopnia ścięgnistości i kruchości mięsa. Na jego podstawie możemy wnioskować, jaki element miał wpływ na maksymalną siłę cięcia – czy były to włókna miofibrylarne, czy tkanka łączna. Informacje tego typu mogą być przydatne przy kształtowaniu przebiegu procesów przetwórczych.

7. Literatura

- [1] Diakun J., Seńcio M. (2011): The Estimation Scale of the Meat Tendinous-Tenderness Indicator Using Warner-Bratzler Test. A Book of Abstracts, Abstract Nr 332, p. 132, A paper published in a CD associated to the Symposium, 6th International CIGR Technical Symposium, Towards A Sustainable Food Chain, Nantes, France.
- [2] Dolik K., Kubiak M. S., Seńcio M.: Analizator do pomiaru tekstury TMS-Pro – zasada działania i zastosowanie w badaniach produktów spożywczych. Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 56, nr 6/2010, s. 636-639.
- [3] Marzec A.: Tekstura żywności. Część I: Wybrane metody instrumentalne, Przemysł Spożywczy, nr 2/2008, s. 12-15.
- [4] PN-ISO 5492:1997 Analiza sensoryczna. Terminologia.
- [5] Surmacka-Szcześniak A.: Texture is a sensory property. Food Quality and Preference. 2002, 13, 215-225.
- [6] Tomkiewicz D., Kopeć A., Dolik K.: Zastosowanie metod przetwarzania obrazu do monitorowania procesu płukania farszu rybnego, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 64, nr 06/2011, s. 555-558.

otrzymano / received: 03.03.2012

przyjęto do druku / accepted: 02.04.2012

artykuł recenzowany / revised paper