



Badanie jakości wybranych produktów spożywczych

Instrumentalny test analizy profilu tekstury

Mariusz S. Kubiak*, Kamil Dolik**

Instrumentalne metody oceny tekstury produktów spożywczych coraz bardziej zyskują na znaczeniu zarówno w przemyśle spożywczym, jak i specjalistycznych instytutach badawczych. Ich zaletami są: szybkość pozyskiwania danych, możliwość jednoczesnego pozyskiwania informacji o kilku różnych właściwościach tekstury oraz niezależność uzyskiwanych wyników od stanu psycho-fizycznego osób obsługujących aparaturę. W artykule skupiono się na przedstawieniu możliwości wykorzystania instrumentalnego testu Analizy Profilu Tekstury (TPA) dla różnych rodzajów produktów spożywczych: mięsa, pieczywa oraz owoców. Omówiono zostało stanowisko pomiarowe, przykładowe parametry testu dla poszczególnych rodzajów produktów oraz otrzymane wyniki badań.

Wstęp

Pojęcie tekstury żywności funkcjonuje w świadomości społecznej dopiero od kilkunastu lat, choć w badaniach naukowych posługiwano się już od dawna narzędziami przy właściwościach sensorycznych i w ocenie jakości żywności. Takie hasło nie funkcjonowało ani w czterotomowym wydaniu uniwersalnego słownika języka polskiego z 2003 roku ani w siedmiotomowej nowej encyklopedii powszechnej z 1997 roku.

Pojęcie tak istotne dla przetwórstwa spożywczego było wieloletnim tematem obszaru badań jednego z największych autorytetów z dziedziny tekstury żywności, dr Aliny Surmackiej-Szcześniak (2002), która zdefiniowała teksturę, jako sensoryczną i funkcjonalną manifestację struktural-

nych, mechanicznych i zmysłów wzroku, słuchu, dotyku i kinestezji. Wynika z niej, że tekstura jest właściwością sensoryczną i tylko człowiek używając ruchu szczęk i języka jest w stanie postrzegać ją i opisywać. Natomiast istniejące urządzenia do pomiaru tekstury, które mierzą określone parametry fizyczne, i są odniesione do oceny sensorycznej, ponieważ są istotnym czynnikiem wpływającym na percepcję tekstury żywności. Korelacja pomiędzy pomiarami instrumentalnymi i analizą sensoryczną jest zatem niekiedy powiązana, co przekłada się na pełniejszą interpretację wyników właściwości sensorycznych danych produktów. Zatem tekstura jest właściwością wielowymiarową i wynika z jej struktury molekularnej, mikroskopowej

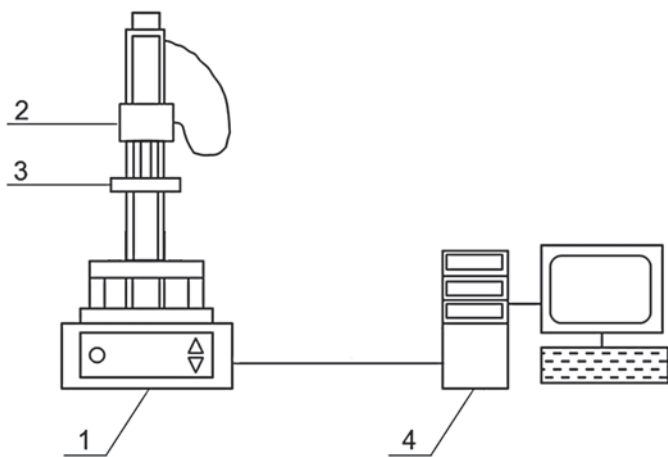
i makroskopowej. Składa się na nią cała gama cech, takich jak np.: elastyczność, twardość, wilgotność, przeżuwalność oraz wiele innych istotnych parametrów, które mają indywidualne odniesienie do produktów spożywczych.

Wyniki badanych produktów spożywczych pod kątem tekstury mogą się charakteryzować dużą zmiennością testów mechanicznych, co wskazuje na większą czułość pomiarów instrumentalnych w porównaniu z oceną tekstury przez konsumenta. Celem artykułu było przedstawienie zasady działania Specjalistycznego Systemu Pomiaru Tekstury TMS-Pro (Texture Measurement System – Pro), jego możliwości oraz metoda prowadzenia analiz związanych z badaniem jakości wybranych produktów spożywczych.

Instrumentalny test analizy profilu tekstury

Stanowisko pomiarowe stanowi teksturometr TMS-Pro, firmy Food Technology Corporation (rys. 1). Jego zaletą jest wszechstronność. Dzięki szerokiej gamie przystawek roboczych teksturometr TMS-Pro pozwala na badanie cech tekstury dowolnych produktów spożywczych w różnym układzie rozpoznania dla indywidualnych cech teksturalnych [www.foodtechcorp.com]. Dostępne przystawki pozwalają na poddawanie badanych produktów obciążeniom ściskającym, ściskającym, gnącym lub rozciągającym.

Wartości sił, jakie mogą być rejestrowane przez przyrząd podczas testu, uzależnione są od rodzaju zainstalowanego ogniwa siły i mogą maksymalnie osiągnąć do 1500 N.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do analizy tekstury. Oznaczenia: 1 - analizator tekstury TMS-Pro, 2 - ogniwo siły, 3 - przystawka robocza do testu TPA, 4 - stacja robocza z oprogramowaniem sterującym Texture Lab Pro [opracowanie własne]

Zakres ten pozwala analizować teksturę produktów o zróżnicowanej twardości, od miększego świeżo wypieczonego pieczywa po twarde warzywa, takie jak: marchew, buraki czy kalarepa.

Dodatkową zaletą systemu TMS-Pro jest oprogramowanie sterująco-rejestrujące Texture Lab Pro, które pozwala użytkownikowi na tworzenie własnych programów do analizowania tekstury produktów. Za pomocą odpowiedniego panelu Texture Lab Pro możliwe jest, w prosty sposób, określenie parametrów przebiegu testu: rodzaju odkształcenia,

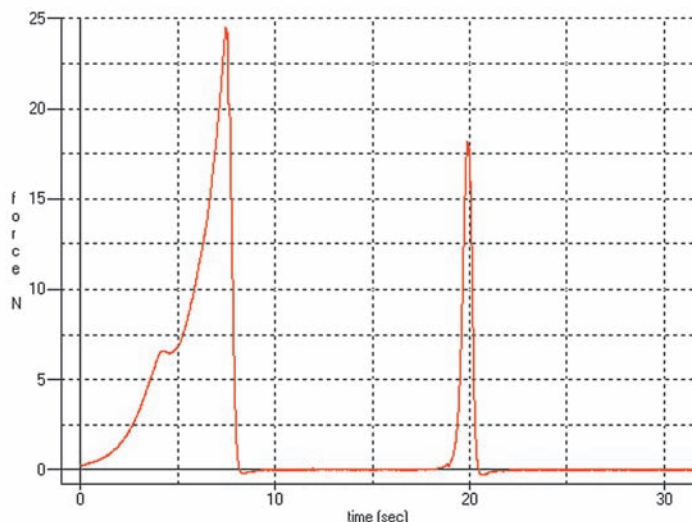
szybkości posuwu głowicy przyrządu w poszczególnych fazach testu, ilości i rodzaju rejestrowanych i obliczanych wyników [Dolik i in. 2010]. Nie jest przy tym wymagana zaawansowana wiedza z zakresu informatyki, która w wielu przypadkach może stanowić barierę w samodzielnym eksploataowaniu tego rodzaju urządzeń. System TMS-Pro jest na tyle wszechstronny, że z powodzeniem może zostać zastosowany również do zadań niezwiązanych z analizą tekstury, np. do oceny wycieku z mięsa [Tomkiewicz i in. 2012].

W artykule zaprezentowane zostały przykładowe wyniki analiz TPA dla trzech różnych typów produktów spożywczych: schabu, pieczywa pszennego oraz jabłek. Test Analizy Profilu Tekstury (TPA) jest jednym z najpopularniejszych testów stosowanych w analizie tekstury żywności. W jego trakcie próbka poddana zostaje podwójnemu ścisłowi przez płaską płytkę, której średnica jest większa niż średnica próbki. Test TPA stanowi imitację operacji, jakim produkt jest poddawany w szczęce człowieka podczas przeżuwania, kompresji, która zachodzi w jamie ustnej [Bourne 2002]. Do jego zalet należą szybkość oraz możliwość jednoczesnego pozyskania informacji na temat głównych (tj. twardość, spójność, odbojność znana jako elastyczność) oraz wtórnych (tj. żujność) cech tekstury [Breene 1975]. Jednak większość przyrządów pomiarowych prowadzi kompresję żywności ze stałą, stosunkowo małą prędkością (rzędu 20 cm/min) w porównaniu z kompresją, jaka zachodzi w jamie ustnej przy zmiennej prędkości i raczej szybko (w przypadku żucia mięsa prędkość ta wynosi od 200 do 400 cm/min) [Tornberg i in. 1985].

Ponieważ poszczególne rodzaje produktów różnią się między sobą właściwościami, dla każdego z nich test TPA jest opisany parametrami o odmiennych wartościach. Zestawienie wartości parametrów warunkujących przebieg testu TPA dla testowanych produktów przedstawiono w tabeli 1. Przy opracowywaniu parametrów testu posiłkowano się pracami: Bourne'a (2002), Migdała i in. (2007), Pałki i in. (2010) – dla schabu, Novotni i in. (2011), Vulicevica i in. (2004) – dla pieczywa i Zdunka (2008) – dla jabłek. Wyniki testu TPA w oprogramowaniu Texture Lab Pro przedstawiane są w postaci graficznej (rys. 2) oraz liczbowej. Przebieg wykresu wynikowego testu TPA jest charakterystyczny, występują w nim dwa piki, odpowiadające kolejno pierwszemu i drugiemu cyklowi ścisłania próbki. Piki na wykresach wynikowych różnych produktów spożywczych mogą różnić się takimi parametrami, jak wysokość i szerokość. Uzależnione jest to od wartości parametrów zapisanych w programie testu (szybkość, głębokość ścisłania), wielkości próbek oraz od rodzaju badanego produktu. Niezależnie od tych czynników, w przebiegu wykresu wynikowego testu TPA charakterystyczne jest, że maksymalna siła uzyskiwana w pierwszym cyklu ścisłania ma wartość większą, niż siła uzyskiwana w drugim cyklu ścisłania. Wynika to m.in. z niedoskonałej sprężystości produktów spożywczych. W przypadku materiału mocno sprężystego piki uzyskiwane w pierwszym

Tabela 1. Podstawowe parametry testu TPA dla wybranych produktów spożywczych [opracowanie własne]

parametr testu	jednostka	rodzaj produktu		
		schab	pieczywo pszenne	jabłko
próg wyczuwalności próbki	[N]	0,5	0,2	0,5
prędkość pierwszej kompresji próbki	[mm/s]	1,0	2,0	0,3
stopień pierwszej kompresji próbki	[%]	70,0	40,0	20,0
prześój głowicy między naciskami	[s]	3,0	3,0	3,0
prędkość drugiej kompresji próbki	[mm/s]	2,0	2,0	0,3
stopień pierwszej kompresji próbki	[%]	70,0	40,0	20,0



Rys. 2 Modelowy wykres wyników testu TPA. Oznaczenia: T_1 – czas pierwszego odkształcenia próbki, T_2 – czas drugiego odkształcenia próbki, S_1 – pole powierzchni pod krzywą sił w pierwszym cyklu odkształcenia, S_2 – pole powierzchni pod krzywą sił w drugim cyklu odkształcenia, F_1 – maksymalna wartość siły zarejestrowana w pierwszym cyklu ściskania, F_2 – maksymalna siła zarejestrowana w drugim cyklu ściskania [opracowanie własne]

i drugim cyklu ściskania posiadałyby taką samą wysokość. W oprogramowaniu Texture Lab Pro wyniki wyświetlane są również w postaci wartości liczbowych, które są obliczane automatycznie, a do obliczeń wykorzystywane są wartości zarejestrowanych sił oraz wartości parametrów wpisanych w programie testu. Szczegółowo procedury obliczeniowe poszczególnych parametrów tekstury zestawiono w tabeli 2. Do dalszych analiz najczęściej nie wykorzystuje się wszystkich zarejestrowanych lub

obliczonych przez program wartości parametrów tekstury. Z wyświetlonej listy wybierane są takie parametry, które mają istotny wpływ na teksturę produktu, przykładowo dla mięsa będą to twardość, żuwalność i ściętność, a dla owoców: twardość i spójność. Oprócz ustawienia parametrów testu, w celu uzyskania miarodajnych wyników istotne jest odpowiednie przygotowanie próbek. Sposób przygotowania próbek jest odmienny w zależności od rodzaju produktu i rodzaju prowadzonego testu, istotne

Tabela 2. Przykładowe formuły obliczeniowe wartości parametrów tekstury w teście TPA [Balejko 2007]

parametr tekstury	wzór	jednostka
twardość	F1	N
sprężystość	$L2 \cdot L1^{-1}$	[m]
spójność	$S2/S1$	-
żuwalność	$F1 \cdot S2 \cdot S1^{-1} \cdot L2 \cdot L1^{-1}$	[J]

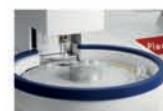


Pomiary w laboratorium chemicznym

Rozwiązania METTLER TOLEDO do laboratorium obejmują automatyczne pomiary analityczne, wydajne opracowywanie procesów chemicznych oraz automatyzację pomiarów laboratoryjnych i procesów produkcyjnych. Dodatkowe usługi gwarantują zgodność z oficjalnymi normami oraz spójne i dokładne dane pomiarowe.

Produkty i rozwiązania

- Automatyzacja badań chemicznych
- Wagi, ważenie laboratoryjne
- Instrumenty analityczne
- Pipety i końcówki
- Analiza termiczna



www.mt.com

METTLER TOLEDO

jednak jest, aby próbki tego samego produktu były jak najbardziej do siebie zbliżone pod względem wymiarów. W systemie TMS-Pro do testu TPA wykorzystywane są przetworniki siły o dużej czułości, przez co nawet drobna różnica w wielkości próbek może znacząco zróżnicować wyniki testu i powodować powstawanie dużych błędów pomiaru. Przed przystąpieniem do preparowania próbek warto odnieść się do literatury, w której często podawane są informacje dotyczące ich kształtu, wymiarów i sposobu przygotowania, co skraca indywidualny tok postępowania.

Wymiary próbek schabu wykorzystywanych w teście TPA mają kształt walca o średnicy 16 mm i wysokości 10 mm [Migdał i in. 2007]. Próbki wycinane są z mięśni, poprzecznie do kierunku przebiegu włókien. Powinny być pozbawione elementów chrzęstnych, kostnych oraz tkanki skórnej. Próbka układana jest na podstawie teksturometru w taki sposób, aby włókna mięśniowe ułożone były wzdłużnie do kierunku ściskania. W badaniach wykorzystano próbki schabu, wykrojone z najdłuższego mięśnia grzbietu (*m. longissimus dorsi*), który był przechowywany

w temperaturze -18°C przez okres 14 dni, a następnie rozmrożony i poddany obróbce termicznej (gotowaniu) do osiągnięcia wewnątrz temperatury ok. 80°C . Przed testem próbki mięsa zostały doprowadzone do temperatury 20°C . Zachowanie jednakowej temperatury próbek jest istotne, ponieważ jej zróżnicowanie wpływa na zafałszowanie otrzymanych wyników.

Próbki pieczywa mają najczęściej wymiary $50 \times 50 \times 25$ mm i preparowane są z centralnej części miękiszu pieczywa [Vulicevic i in. 2004]. Mogą być wykrojone jako próbki jednolite lub utworzone z dwóch nałożonych na siebie plastrów miąższu o wysokości 12,5 mm każdy [Novotni i in. 2011]. Ważne jest, aby były pozbawione skórki i warstw przyskórkowych, były nieukruszone oraz nie posiadały defektów w postaci większych przestrzeni powietrznych. Warstwy przyskórkowe i defekty znacznie wpływają na zafałszowanie wyników testu. W badaniach wykorzystano próbki miękiszu pieczywa pszennego pozyskanego metodą odroczonego wypieku. Próbki owoców takich jak jabłko i gruszka preparuje się z miąższu, z pominięciem

skórki i warstw okalających gniazdo nasienne. Próbki mogą mieć kształt prostopadłościenny lub też kształt walca (przykładowo o wysokości 11 mm i średnicy 13 mm) [Zdunek 2008]. Próbki powinny być pobrane ze zdrowej tkanki, pozbawionej nadgnięć, zbić i ciał obcych. W badaniach wykorzystano świeże, dojrzałe jabłka odmiany Gloster.

W przypadku wszystkich wymienionych rodzajów produktów spożywczych istotne jest, aby świeżo spreparowane próbki były możliwie szybko poddawane analizie tekstury. Długotrwałe wystawienie próbek na działanie temperatury i powietrza powoduje zmiany w parametrach ich tekstury: próbki pieczywa ulegają wysuszeniu i stają się bardziej sztywne, natomiast próbki jabłek i gruszek wiotczeją. Zmiany te przekładają się następnie na zafałszowanie wyniku pomiaru i mogą prowadzić do błędnych wniosków.

Omówienie wyników

Przykładowe wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono graficznie na rysunku 3 oraz w tabeli 3.

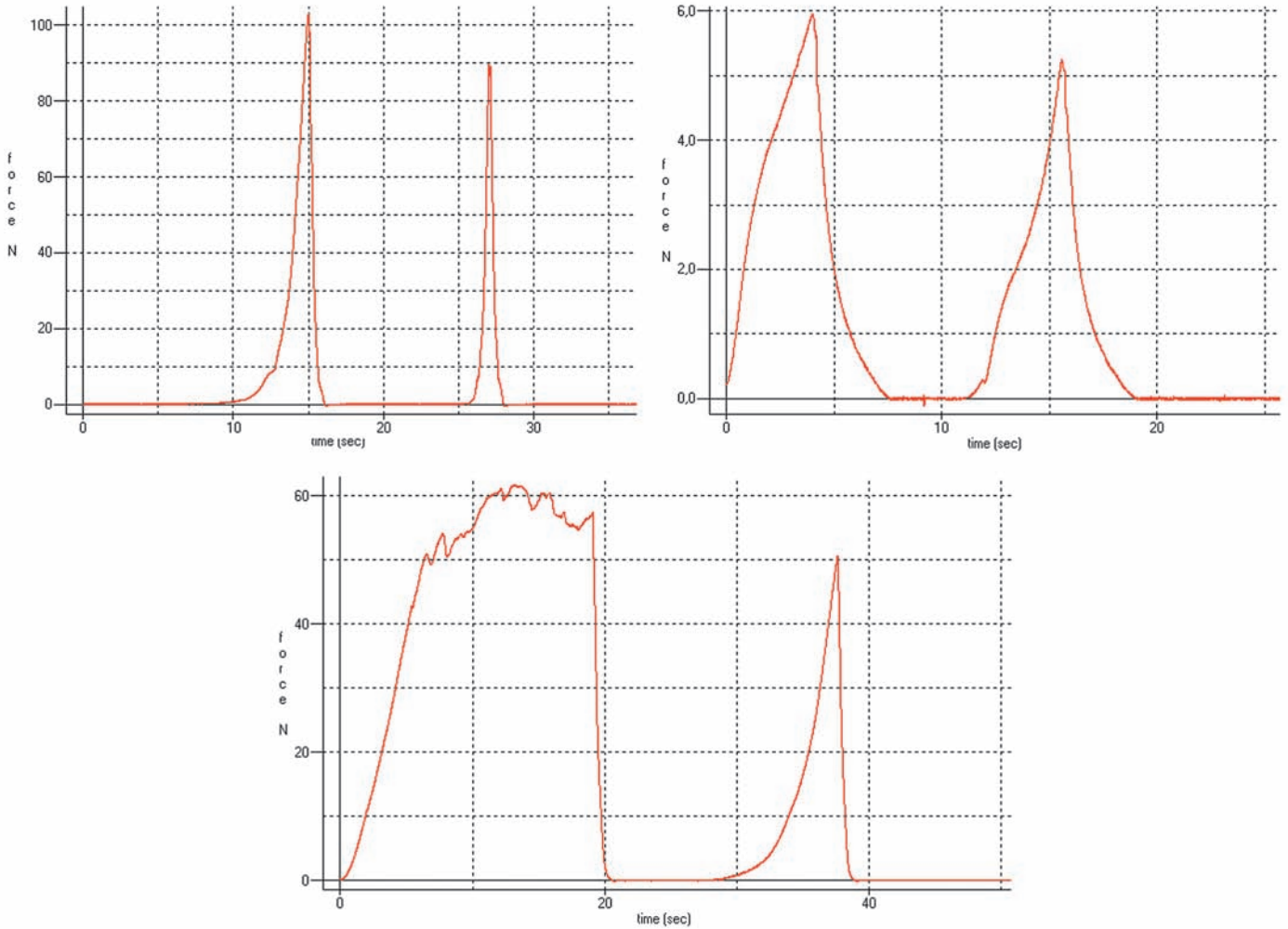
Na rysunku 3 wyraźnie widoczne są różnice w przebiegach wykresów. W przypadku

schabu i jabłek uzyskano wyższe wartości sił w pierwszym i drugim cyklu ściskania, niż w przypadku pieczywa, co związane jest ze strukturą tkankową. Dla każdego z rodzajów produktu odnotowano różne czasy nacisku na próbkę. Ogólny trend (maksymalna siła podczas drugiego cyklu ściskania niższa od maksymalnej siły w pierwszym cyklu) jest jednak zachowany dla każdego z trzech analizowanych produktów względem pierwszego i drugiego cyklu ściskania.

Migdał i in. (2007) przeprowadzili badania tekstury najdłuższego mięśnia grzbietu pochodzącego z tuczników skarmianych paszą w zróżnicowanych przedziałach czasowych. Badania dotyczyły schabu poddanego obróbce termicznej poprzez pieczenie. W porównaniu do nich uzyskano zbliżone wartości siły, lecz niższe wartości pozostałych parametrów tekstury. Różnica w uzyskanych wynikach, względem wyników przedstawionych przez Migdała i in. (2007) oraz w wielu innych publikacjach, powodowana jest odmienną obróbką surowca mięsnego. Tkanka mięśniowa poddana odmiennym parametrom obróbki termicznej powoduje zmienną strukturę włókien mięśniowych oraz ich właściwości fizycznych. Wykres wynikowy dla schabu ma charakterystyczny przebieg, brak załamania krzywych sił może świadczyć o czystości prób i braku chrząstek oraz odłamków kostnych, które mogłyby zakłócać odczyt wartości parametrów podczas testu.

Tabela 3. Przykładowe wyniki testu TPA dla schabu, pieczywa pszennego i jabłek [opracowanie własne]

parametr tekstury	rodzaj produktu		
	schab	pieczywo	jabłko
twardość [N]	$98,21 \pm 5,09$	$8,15 \pm 1,94$	$62,02 \pm 4,52$
sprężystość	$0,17 \pm 0,01$	$0,94 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,08$
spójność	$0,20 \pm 0,02$	$0,72 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,06$
żujność [N]	$6,53 \pm 8,27$	$3,45 \pm 0,45$	$6,74 \pm 2,31$
ścięgnistość [mm]	$20,26 \pm 0,88$	-	-



Rys. 3. Wykresy wynikowe testu TPA dla schabu (A), pieczywa pszennego (B) oraz jabłek (C) [opracowanie własne]

Otrzymane wyniki dla pieczywa przedstawione przez autorów mają zbliżone wartości do wyników zaprezentowanych przez Szczepańską i Dolika (2012), gdzie badano pieczywo z odroczonego wy-

pieku o różnym dodatku inuliny. W początkowym okresie ściskania próbki, przed osiągnięciem maksymalnej siły, zauważyć można było nieznaczne wypuklenie krzywej sił. Również w ba-

daniach przeprowadzonych przez autorów niniejszej publikacji otrzymane wartości parametrów tekstury miękiszu są zbliżone do wyników przedstawianych przez naukowców zajmujących

się zmianą tekstury pieczywa w różnym ujęciu. Większą różnicę uzyskano tylko w przypadku parametru siły, który charakteryzował się największym rozrzutem w wartościach uzyskanych

– Na co muszą uważać dwie sole nad przepaścią?
– Aby się nie strącić.

(źródło: [https://www.facebook.com/CheChemiczneZarty/posts/247905935364620?stream_ref=5](https://www.facebook.com/CheChemyczneZarty/posts/247905935364620?stream_ref=5))

facebook.com/labportal/

we wcześniejszych pracach autorów. Wynikać to może z niejednorodnej struktury próbek, która charakteryzuje się różnorodną wielkością przestrzeni powietrznych w samym miększu. Dodatki, zmienne technologie oraz parametry obróbki stwarzają uzyskanie produktu gotowego o całkowicie odmiennych cechach teksturalnych.

Wyniki przedstawione na wykresie dla jabłek (rys. 3a) mają zbliżone wartości do tych, jakie uzyskał Zdunek (2008). W okresie pierwszego ściskania zamiast pojedynczego pik (jak w przypadku schabu i pieczywa) zostaje zarejestrowany cały ich szereg (przy czym do oceny twardości wykorzystuje się pik najwyższy, oznaczający maksymalną siłę ściskania). Szumy zarejestrowane podczas pierwszego cyklu ściskania wynikają z makropęknięć powstających w strukturze ściskanego produktu pod wpływem przyłożonej siły. Makropęknięcia mają wpływ na niższą wartość siły uzyskiwaną w drugim cyklu ściskania [Zdunek 2008], co zresztą zostało odnotowane w badaniach. Twardość jabłek kształtowała się na poziomie zbliżonym do wyników uzyskanych przez Zdunka (2008), około 60 N dla jabłek świeżych.

Podsumowanie

Przedstawiony instrumentalny test TPA jest testem uniwersalnym, który pozwala na szybką analizę wybranych parametrów tekstury, który można łatwo zaadaptować do analizy różnych produktów spożywczych. W literaturze

dla każdego rodzaju produktu podawane są odmienne parametry określające program przebiegu testu. W oparciu o dane literaturowe możliwość stworzenia własnego programu umożliwia porównanie wyników własnych z wynikami uzyskanymi w innych ośrodkach badawczych.

Stosunkowo wysoka zmienność parametrów mechanicznych w surowcach/produktach, wynika między innymi z tego, że badane artykuły spożywcze są materiałami niejednorodnymi i anizotropowymi. Rozrzut uzyskanych wyników między wynikami podawanymi w literaturze może być upatrywany w czułości pomiarów cech mechanicznych z wykorzystaniem różnego typu aparatury pomiarowej.

Instrumentalny test TPA stanowi doskonałe uzupełnienie testów sensorycznych, pozwala uzyskać miarodajne informacje na temat tekstury produktów, całkowicie niezależne od stanu czy preferencji osób prowadzących analizę.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi Dolacie z Zakładu Inżynierii i Projektowania Procesów Produkcyjnych, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, za cenne merytoryczne wskazówki w trakcie opracowywania zagadnienia związanego z analizą profilu tekstury i wybraniem odpowiednich testów do badania jakości surowców i produktów spożywczych.

Literatura

[1] Bourne M. C., *Food texture and viscosity: concept and me-*

asurement. Second Ed. Food Sci. Technol., Inter. Series, Acad. Press, New York 2002..

[2] Breene W. M., *Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation.* J. Texture Stud. 1975, nr 6, s. 53-82.

[3] Dolik K., Kubiak M. S., Seńcio M., *Analizator do pomiaru tekstury TMS-Pro – zasada działania i zastosowanie w badaniach produktów spożywczych.* „Pomiary Automatyka Kontrola” 2010, 56(6), s. 636-639.

[4] Migdał W., Wojtysiak D., Pałka K., Natonek-Wiśniewska M., Duda I., Nowocień A., *Skład chemiczny i parametry tekstury wybranych tuczników rasy polskiej białej zwisłouchej ubijanych w różnym wieku.* „Żywność. Nauka. Technologia. Jakość” 2007, nr 6(55), s. 277-284.

[5] Novotni D., Curic D., Galic K., Skevin D., Nederal S., Kraljic K., Gabric D., Jezek D., 2011, *Influence of frozen storage and packaging on oxidative stability and texture of bread produced by different processes,* “Food Science and Technology” 2011, nr 44, April, s. 643-649.

[6] Pałka K., Migdał W., Wojtysiak D., Natonek-Wiśniewska M., Dudkiewicz A., Muzyczka K., Wantuch M., Bauerek E., *Wpływ rasy i wieku świń na właściwości modelowych farszów mięsnych i kiełbas,* „Żywność. Nauka. Technologia. Jakość” 2010, nr 1(68), s. 80-92.

[7] Szczepańska K., Dolik K., *Wpływ dodatku inuliny na teksturę miększu pieczywa pszennego,* „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego” 2012, nr 2, s. 66-69.

[8] Szcześniak-Surmacka A., *Texture is a sensory property,* “Food Quality and Preference” 2002, nr 13(3), s. 215-225.

[9] Tomkiewicz D., Seńcio M., Dolik K., *Układ pomiarowy do określenia parametrów tekstury mięsa na podstawie pomiaru zmian prędkości wycieku wody,* „Pomiary Automatyka Kontrola” 2012, nr 58(10), s. 01-904.

[10] Tornberg E., Fjellner-Modig S., Ruderus H., Glantz P., Randow K., Stafford D., *Clinically recorded masticatory patterns as related to the sensory evaluation of meat and meat products.* “Journal of Food Science” 1985, nr 50(4), s. 1059-1066.

[11] Vulicevic I.R., Abdel-Aal E-S.M., Mittal G.S., Lu X, *Quality and storage life of par-baked frozen breads,* “Food Science and Technology” 2004, nr 37 (March), s. 205-2013.

[12] Zdunek A., *Instrumentalna metoda oceny wybranych cech tekstury jabłek na podstawie emisji akustycznej,* „Acta Agrophysica” 2008, tom 155, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie.

[13] www.foodtechcorp.com

*Mariusz S. Kubiak dr inż.,
**Kamil Dolik mgr inż. – *Wyższa Szkoła Hotelarstwa i Gastronomii w Poznaniu, ul. Nieiszawska 19, 61-022 Poznań,
**Politechnika Koszalińska, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego; e-mail: mariuszkubiak_27@hotmail.com

Artykuł został opublikowany w czasopiśmie „Nauki Inżynierskie i Technologie” 2013, nr 3(10)