

Dr Sławomir JANAS¹

Dr hab. inż. Małgorzata KOWALSKA², prof. UTH Radom

¹ Wydział Nauk Ekonomicznych i Prawnych

² Wydział Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa, Katedra Chemii
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu

METODY TERMOGRAWIMETRYCZNE W BADANIACH ZAWARTOŚCI WODY PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH[®]

Thermogravimetric methods for testing the water content of food products[®]

Słowa kluczowe: zawartość wody, mikrofałe, promieniowanie podczerwone, waga suszarka.

W artykule przedstawiono trzy metody badawcze, które są wykorzystywane do określania ilości wody jaka znajduje się w strukturze produktu spożywczo. Była to metoda suszenia konwekcyjnego, metoda wykorzystująca promieniowanie podczerwone (IR) oraz metoda z zastosowaniem promieniowania mikrofalowego. Poprzez badanie empiryczne określono dokładność, precyzję i czas analizy zastosowanych metod wskazując na możliwość ich aplikacji w przemyśle spożywczym. Celem przeprowadzonych badań było zdefiniowanie optymalnej metody badania zawartości wody z uwzględnieniem metrologicznych aspektów takich jak dokładność i precyzja badania.

Keyword: water content, microwaves, infrared radiation, moisture analyzer.

The article presents three research methods that are used to determine the amount of water which is found in the structure of a food product. The first one is a method of convective drying, the second, a method using infrared radiation (IR), and the third, a method using microwave radiation. Through empirical research, the accuracy, precision and time of analysis of the applied methods were determined indicating the possibility of their application in the food industry. The aim of the study was to define the optimal method for testing water content, taking into account metrological aspects such as accuracy and precision of the study.

WSTĘP

Obecnie automatyzacja wielu procesów produkcyjnych żywności jest odpowiedzią na konsumpcyjny charakter większości społeczeństw. Wyeliminowanie z cyklu produkcyjnego czynnika ludzkiego pozwala na uzyskanie wysokiej wydajności produkcji przy relatywnie niskiej cenie jednostkowej produktu. Współcześnie konkurencyjna gospodarka rynkowa cechuje się brakiem barier wejścia na rynek dla nowych produktów, co może skutkować ich nadmiarem. W takim przypadku to konsument w znacznej mierze decyduje o sukcesie rynkowym produktu (tzw. rynek konsumenta), dokonując oceny produktu w aspekcie ekonomicznym jak i w zakresie poziomu w jakim produkt zaspokaja jego potrzeby [10]. Jakość produktów spożywczych jest efektem zastosowania procesu wytwarzania o ściśle zdefiniowanych parametrach technologicznych w zakresie jakości oraz ilości składników tworzących produkt. Dotyczy to również wody, której ilość w produkcji jest limitowana poprzez co uzyskuje się trwałą w długim okresie produkt o pożądanym przez konsumentów cechach sensorycznych [6, 13]. Z drugiej strony informacja o zawartości wody może być wykorzystywana podczas oceny stabilności mikrobiologicznej oraz wartości odżywczej produktu [22].

Zaplanowana jakość produktu jest zazwyczaj weryfikowana podczas kontroli, która jest ostatnim etapem w procesie jego wytwarzania. Zawsze istnieje niebezpieczeństwo uzyskania produktu o zbyt niskiej jakości – głównie ze względu na niestabilność parametrów procesu technologicznego. Z tego względu obecnie na znaczeniu zyskuje idea według której jakość powinna być „wbudowana” w produkt. Praktyczna realizacja takiej idei wymaga weryfikacji jakości produktu podczas istotnych etapów jego wytwarzania. Jest to zgodne z ideą podejścia procesowego, która jest podstawą większości obecnie stosowanych systemów zarządzania jakością.

Woda to istotny składnik większości produktów spożywczych, który stanowi integralną część ich struktury. Jej ilość powinna być kontrolowana, ponieważ nadmiar wody w produkcji inicjuje przemiany hydrolityczne i oksydacyjne [4] obniżające jakość produktu. Z tego powodu kluczowym elementem w procesie wytwarzania produktu spożywczo jest wykorzystanie szybkiej i rzetelnej metody badania zawartości wody, która pozwalałaby na efektywne prowadzenie działań korygujących. Ich zadaniem jest utrzymanie i zabezpieczenie jakości produktu oraz ograniczanie ryzyka strat ekonomicznych producenta.

Zawartość wody w produktach spożywczych wyznacza się najczęściej wykorzystując tzw. metody termogravimetryczne [3], w których rejestruje się masę produktu przed ogrzewaniem a następnie po jego suszeniu w ustalonej temperaturze w założonym czasie. Wyniki pomiarów masy produktu mokrego oraz suchego są wystarczające dla wyliczenia zawartości wody w produkcie czy też całkowitej suchej pozostałości. Należy zauważyć, że metody termogravimetryczne badania zawartości wody podane w dokumentach normatywnych (PN-EN) wymagają dość długiego czasu badania (nawet około 4 godzin). Z tego względu nie mają one zastosowania w ocenie zawartości wody produktów będących w cyklu produkcyjnym. Metody te mogą jednak być stosowane przez laboratoria w procesie walidacji [16] i doskonalenia innych metod badawczych.

Znacznie krótszy czas prowadzenia analizy zawartości wody względem czasu jaki wymaga metoda normatywna, uzyskuje się przy zastosowaniu metody wykorzystującej promieniowanie podczerwone. W tej metodzie wzrost temperatury analizowanego produktu następuje w wyniku absorpcji promieniowania podczerwonego przez strukturę produktu, który to proces wspomaga konwekcja czyli efekt przenoszenia ciepła przez ośrodek jakim jest gorące powietrze. Do transmisji ciepła wykorzystywane są fale o długości od 0,78 μm do 1000 μm [12, 9, 14]. Promieniowanie podczerwone w przeszłości było wykorzystywane w przemyśle spożywczym do odwadniania produktów, ale raczej jako uzupełnienie innych metod, głównie suszenia konwekcyjnego [1, 11, 21]. Badanie zawartości wody w produktach spożywczych wykorzystujące promieniowanie podczerwone należy do radiacyjnych metod badania zawartości wody [15] podobnie jak metody, które wykorzystują promieniowanie mikrofalowe [17].

Najkrótszy czas prowadzenia analizy zawartości wody w produkcie spożywczym uzyskuje się obecnie przy zastosowaniu mikrofal. Jest to również metoda termogravimetryczna, jednakże wzrost temperatury w strukturze produktu spowodowany jest oddziaływaniem mikrofal ze związkami polarnymi zawartymi w strukturze produktu (głównie woda). Podczas reorientacji dipoli cząstek wody oraz rozrywania wiązań wodorowych między cząsteczkami generuje się ciepło w wyniku tarcia molekularnego [2]. Czas trwania analizy zawartości wody jest zależny od struktury produktu, jego składu chemicznego oraz mocy i częstotliwości padających mikrofal [8, 18].

Celem artykułu jest przedstawienie uzyskanych wyników badań zawartości wody dla margaryny jakie otrzymano stosując różne metody termogravimetryczne oraz wskazanie dokładnych metod jakie można zastosować w przemyśle spożywczym.

MATERIAŁ

W badaniach wykorzystano margarynę MR do smarowania pieczywa (producent Kruszwica).

METODY BADANIA

Zawartość wody w badanym produkcie wyznaczono metodą normatywną, metodą suszenia promieniowaniem podczerwonym oraz metodą wykorzystującą promieniowanie mikrofalowe.

1. Metoda normatywna

Badanie zawartości wody w margarynie zrealizowano według zaleceń normy PN-EN ISO 3727-1 „Masło. Oznaczenie zawartości wody, suchej masy beztłuszczowej i tłuszczu. Część 1: Oznaczenie zawartości wody. Metoda odwoławcza”. Zawartość wody w produkcie wyliczono z zależności:

$$w_m = \frac{(m_1 - m_4) - (m_1 - m_3)}{(m_2 - m_0)} \times 100\%$$

gdzie: w_m – zawartość wody w próbce, wyrażona jako ułamek masowy w procentach.

m_0 – masa przygotowanego naczynia w gramach.

m_1 – masa przygotowanego naczynia, użytego w próbie „ślepej” przed suszeniem w gramach.

m_2 – masa próbki analitycznej i naczynia przed suszeniem w gramach.

m_3 – masa naczynia użytego w próbie „ślepej” po suszeniu w gramach.

m_4 – masa próbki analitycznej i naczynia po suszeniu w gramach

2. Metoda badania zawartości wody w produkcie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego (IR)

Urządzeniem pomiarowym wykorzystanym w badaniu była wagosuszarka MA 50.X2.A produkcji Radwag Wagi Elektroniczne, Polska. Jest to urządzenie za pomocą którego możliwa jest rejestracja zmian masy produktu w czasie jego ogrzewania. Po umieszczeniu produktu w ilości 2,5 g ÷ 3,0 g wewnątrz komory suszenia następowała automatyczna rejestracja jego masy a zamknięcie komory suszenia inicjowało proces ogrzewania produktu do zadanej temperatury. Źródłem ciepła wagosuszarki był promiennik podczerwieni zainstalowany w górnej części komory suszenia. Stabilne pod względem temperatury środowisko w którym analizowano produkt uzyskiwano w wyniku sprzężenia między źródłem ciepła a czujnikiem temperatury umieszczonym również w komorze suszenia. W czasie analizy wyświetlacz wagosuszarki pokazywał aktualną zawartość wody w produkcie, którą wagosuszarka wyliczyła automatycznie na podstawie różnicy masy produktu wilgotnego oraz po jego wysuszeniu według zależności:

$$\%MC = 100 \cdot \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right)$$

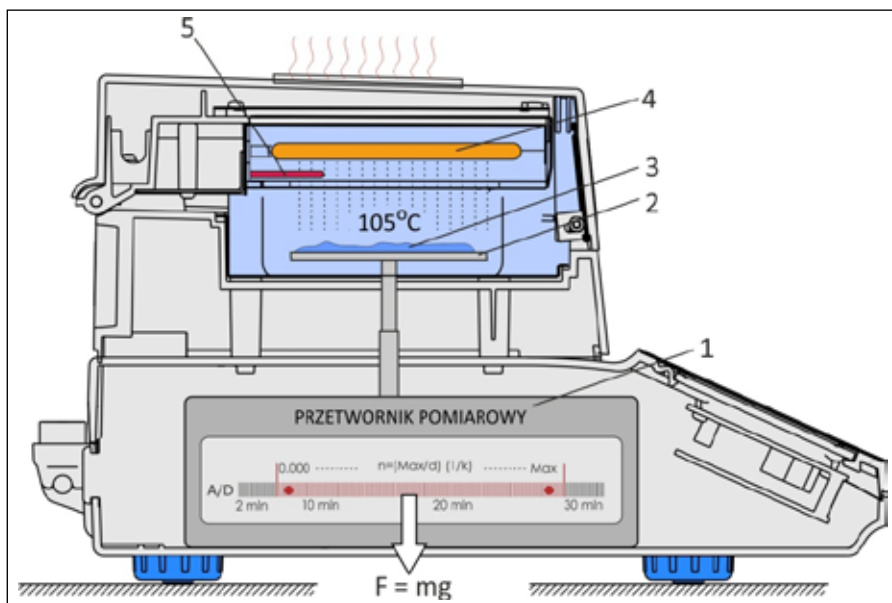
gdzie: %MC – zawartość wody w produkcie

m_1 – masa produktu w stanie wilgotnym

m_2 – masa produktu w stanie suchym.

Budowę wagosuszarki z wyszczególnieniem jej kluczowych elementów zaprezentowano na rys. 1.

Pomiar masy produktu był realizowany przez monolityczny przetwornik pomiarowy zainstalowany w dolnej części wagosuszarki. Rozdzielczość pomiarowa przetwornika (1) wynosiła ponad 36 milionów działek elementarnych (specyfikacja producenta) co umożliwiło przeprowadzenie dokładnej analizy zmian masy produktu. Idea mierzenia masy produktu polegała na pomiarze siły grawitacyjnej (F) w powiązaniu z wartością przyspieszenia grawitacyjnego (g).



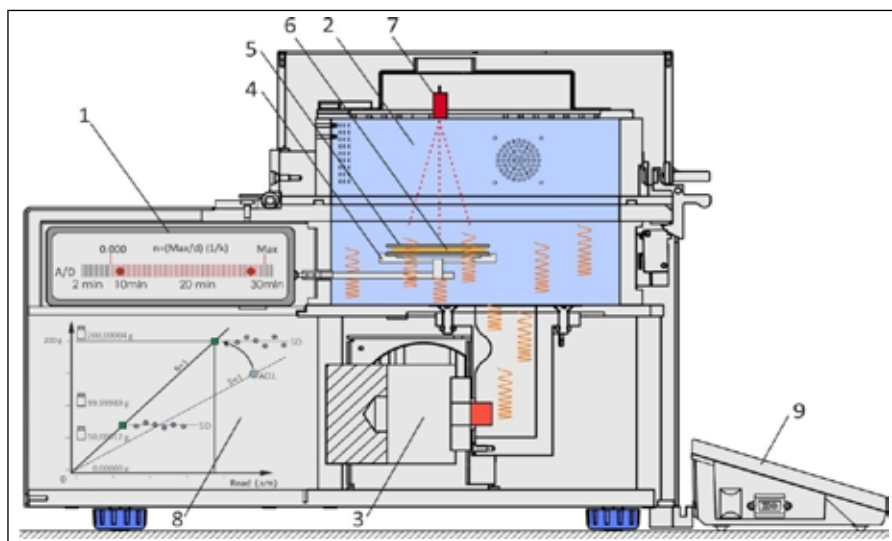
Rys. 1. Budowa wagosuszarki MA 50.X2.A.

Fig. 1. Construction of a MA 50.X2.A moisture analyzer.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

W górnej części komory suszenia znajdowało się źródło ciepła (4) oraz czujnik temperatury (5). Produkt był umieszczany na szalce (2), która była połączona trwale z przetwornikiem pomiarowym. Po uruchomieniu procesu suszenia środowisko komory wagosuszarki było nagrzewane do temperatury 110°C. Czujnik temperatury (5) rejestrował aktualną temperaturę jaka panowała we wnętrzu komory suszenia. Pozwalało to na płynne sterowanie pracą źródła promieniowania IR. Wraz z upływem czasu obserwowano dynamiczną zmianę masy produktu, co było powiązane ze wzrostem temperatury w strukturze produktu oraz absorpcją promieniowania podczerwonego [19, 5].



Rys. 2. Budowa wagosuszarki mikrofalowej PMV 50.

Fig. 2. Construction of a PMV 50 microwave moisture analyzer.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Analiza zawartości wody była prowadzona automatycznie z możliwością obserwacji krzywej suszenia, dynamiki zmian masy produktu oraz aktualnej zawartości wody. Proces wyznaczania zawartości wody był kończony automatycznie, gdy wagosuszarka zarejestrowała stabilność masy końcowej produktu w zakresie 1 miligramu w czasie 60 sekund. Było to jednoznaczne z całkowitym usunięciem wody z produktu. Na podstawie masy początkowej produktu (przed suszeniem) oraz jego masy po zakończeniu analizy, wagosuszarka automatycznie wyliczyła zawartości wody w produkcie. Wartość ta była eksponowana na wyświetlaczu urządzenia. Podczas badań produkt był analizowany w trzech wariantach: bezpośrednio na szalce wagosuszarki (s), na podłożu z piasku kwarcowego (p) i po umieszczeniu na filtrze z włókna szklanego (f) o średnicy $f = 90$ mm. Celem tych modyfikacji było wskazanie takiej metody suszenia, która zapewnia najkrótszy czas analizy przy zachowaniu dokładności oraz precyzji oznaczenia.

3. Metoda badania zawartości wody w produkcie z wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego

W czasie badań zawartości wody wykorzystano wagosuszarkę mikrofalową serii PMV produkcji Radwag Wagi Elektroniczne, Polska. Urządzenie to było wyposażone w taki sam moduł do pomiaru masy (1) jak wagosuszarka MA 50.X2.A. Głównym elementem wagosuszarki PMV 50 był magnetron (3) z układem falowodu zainstalowany w dolnej części urządzenia. Budowę tego urządzenia zaprezentowano na rys. 2.

Produkt (6) w ilości ok. 2.0 g w postaci cienkiej warstwy był umieszczany pomiędzy dwoma filtrami z włókna szklanego (5), które następnie umieszczano na szalce (4) wagosuszarki. Masę netto produktu rejestrowano przed rozpoczęciem analizy. Po rozpoczęciu analizy wzrost temperatury produktu był efektem absorpcji mikrofal, które w strukturze produktu wywoływały efekt dipolowy cząstek wody. Maksymalną temperaturę produktu ustalono na 100°C i w czasie analizy była ona monitorowana w sposób ciągły przez czujnik temperatury (7) zainstalowany w górnej części komory suszenia. Konstrukcja falowodu wagosuszarki PMV zapewniała jednorodne pole mikrofal w całej objętości komory suszenia (2), dzięki czemu uzyskano dynamiczną zmianę masy produktu oraz krótki czas analizy. Informacja o aktualnej temperaturze produktu i jego masie była wykorzystywana

do płynnego sterowania mocą mikrofal. Dzięki temu uzyskano sprzężenie zwrotne, które zabezpieczało produkt przed nadmiernym wzrostem temperatury. Poprawność ważenia produktu przed analizą oraz zmienność jego masy podczas analizy była monitorowana i przetwarzana przez układy regulacji (8), które sygnał pomiarowy przekazywały do urządzeń WE/WY takich jak drukarka oraz wyświetlacz wagosuszarki (9). Analizę zawartości wody w produkcie prowadzono do momentu, gdy układ wagowy (1) zarejestrował zmienność masy produktu nie większą niż 1 mg w czasie 10 sekund, co było tożsame z całkowitą desorpcją wody ze struktury produktu. Zawartość wody w produkcie wagosuszarka wyliczała automatycznie na podstawie masy produktu wilgotnego oraz suchego według takiej samej zależności jak wagosuszarka MA 50.X2.A.

REZULTATY I Dyskusja

W pierwszym etapie wykonano badanie zawartości wody w margarynie metodą znormalizowaną PN-EN ISO 3727-1. Wynik uzyskany w tej metodzie był punktem odniesienia dla oceny dokładności metody wykorzystującej promieniowanie podczerwone oraz mikrofalowe. Badając zawartość wody w margarynie metodą normatywną uzyskano wynik 19.33% z odchyleniem standardowym 0.02%. Otrzymany wynik był zgodny z tym co prezentowali autorzy [7], według których zawartość wody w margarynie zawiera się od 16 % do 20%. Według innych autorów [20] faza wodna w tłuszczach przeznaczonych do smarowania stanowi od 15% do 20% całkowitej masy produktu.

Analiza zawartości wody produktu z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego (wagosuszarka MA 50.X2.A) była wykonana w trzech wariantach przy zachowaniu stałej masy produktu oraz takich samych parametrów prowadzenia analizy. Wyniki jakie uzyskano zaprezentowano w tabeli 1.

Najlepszą zbieżność wyniku zawartości wody z wynikiem zawartości wody jaki otrzymano metodą normatywną uzyskano, gdy produkt był analizowany bezpośrednio na szalce wagosuszarki (19.23 %). Różnica dokładności dla tego wariantu badania wyniosła 0.10 % przy odchyleniu standardowym ± 0.26 %. Całkowity średni czas analizy produktu umieszczonego bezpośrednio na szalce wagosuszarki wyniósł prawie 10 minut. Średnia zawartość wody w produkcie analizowanym po umieszczeniu go na piasku kwarcowym to 19.07 %. Dokładność metody tego wariantu badania wyniosła 0.26 % przy odchyleniu standardowym ± 0.15 %. Średni czas potrzebny dla wykonania analizy zawartości wody (około 7 minut) był nieco krótszy niż w przypadku analizy prowadzonej bezpośrednio na szalce wagosuszarki. Najmniejszą dokładnością cechowała się metoda badania zawartości wody w której produkt był umieszczony na filtrze z włókna szklanego. Uzyskano średnią zawartość wody w produkcie 18.94 % co było tożsame z odchyleniem dokładności względem metody normatywnej 0.39 %. W tym wariancie metody badania uzyskano najmniejsze odchylenie standardowe w serii pomiarów ± 0.11 %, ponad dwukrotnie mniejsze niż wówczas, gdy produkt był analizowany bezpośrednio na szalce. Średni czas wymagany dla zrealizowania analizy wyniósł 5 minut 34 sekundy i był prawie dwukrotnie krótszy względem czasu badania produktu umieszczonego bezpośrednio na szalce.

Tabela 1. Zawartość wody w margarynie – metoda wykorzystująca promieniowanie podczerwone (wagosuszarka MA 50.X2.A)

Table 1. Water content in margarine - method using infrared radiation (MA 50.X2.A moisture analyzer)

L.p.	% MC (s)	% MC (p)	%MC (f)
1	19.297	19.248	19.055
2	19.519	19.076	19.155
3	19.527	19.064	18.925
4	19.030	19.31	18.989
5	19.602	19.234	18.796
6	19.138	18.851	18.921
7	18.815	18.989	19.013
8	19.000	18.933	18.903
9	19.244	18.961	18.808
10	19.116	19.038	18.868
$\bar{x}_{MC} =$	19.23	19.07	18.94
$S_{MC} =$	0.26	0.15	0.11
$t_{MC} =$	09:56	07:04	05:34

- Legenda: (s) – analiza produktu na szalce
 (p) – analiza produktu po umieszczeniu na piasku kwarcowym
 (f) – analiza produktu umieszczonego na filtrze z włókna szklanego
 \bar{x}_{MC} – wartość średnia zawartości wody w produkcie
 S_{MC} – odchylenie standardowe z serii pomiarów
 t_{MC} – średni czas analizy

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Wyniki zawartości wody w produkcie z wykorzystaniem wagosuszarki mikrofalowej zostały zaprezentowane w tabeli 2.

Średnia zawartość wody w produkcie badanym metodą mikrofalową wyniosła 18.73 %, tym samym stwierdzono rozbieżność dokładności tej metody względem wyniku zawartości wody jaki uzyskano metodą normatywną 0.60 %. Precyzja pomiarów wyrażona poprzez odchylenie standardowe z serii pomiarów wyniosła ± 0.16 %, co było wartością zbliżoną dla precyzji metod badania zawartości wody wykorzystujących promieniowanie podczerwone. Badając zawartość wody w produkcie metodą mikrofalową uzyskano najkrótszy średni czas badania 2 minuty 19 sekund i był on ponad 4 – krotnie krótszy względem czasu badania produktu umieszczonego bezpośrednio na szalce wagosuszarki. Porównanie dokładności i precyzji zastosowanych metod badania zawartości wody w margarynie zaprezentowano na rys. 3.

Tabela 2. Zawartość wody w margarynie – metoda wykorzystująca promieniowanie mikrofalowe (wagoszuszarka PMV 50)

Table 2. Water content in margarine - a method using microwave radiation (PMV 50 moisture analyzer)

L.p.	%MC (f-f)
1	18.838
2	18.732
3	18.790
4	18.874
5	18.942
6	18.849
7	18.587
8	18.615
9	18.429
10	18.637
$\bar{x}_{MC} =$	18.73
$S_{MC} =$	0.16
$t_{MC} =$	02:19

Legenda: (f-f) – analiza produktu umieszczonego pomiędzy dwoma filtrami z włókna szklanego
 \bar{x}_{MC} – wartość średnia zawartości wody w produkcie
 S_{MC} – odchylenie standardowe z serii pomiarów
 t_{MC} – średni czas analizy

Źródło: Badania własne
Source: The own study

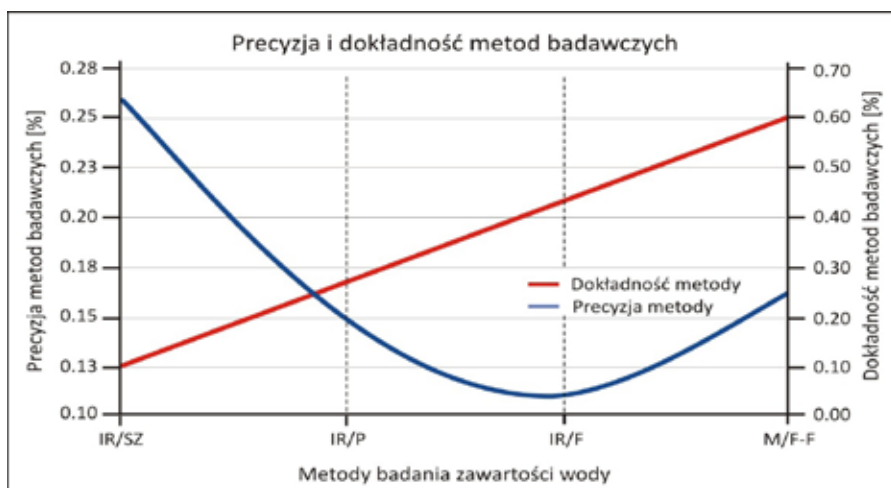
Wybór metody badania zawartości wody w przemyśle spożywczym wymaga uwzględnienia nie tylko dokładności ale również precyzji pomiarów. Uwzględniając te uwarunkowania stwierdzono, że optymalną metodą badania zawartości wody w margarynie była metoda wykorzystująca promieniowanie podczerwone w której produkt był umieszczony na podłożu z piasku kwarcowego. Dała ona dokładność 0.26 % przy precyzji pomiarów 0.15 %. Innym istotnym parametrem aplikacyjnym metody badawczej jest całkowity czas potrzebny do realizacji pojedynczego badania. Porównując czasy badania zastosowanych metod stwierdzono, że metoda badania zawartości wody wykorzystująca promieniowanie mikrofalowe była najkrótsza. Zestawienie tabelaryczne czasów prowadzenia analizy oraz dokładności pomiaru zaprezentowano w tabeli 3.

Tabela 3. Czas badania zawartości wody w margarynie zależnie od zastosowanej metody

Table 3. Time of water content in margarine, depending on the method used

	Metody badania zawartości wody				
	PN-EN ISO 3727-1	MA 50.X2.A (warianty metody)			PMV 50
		SZ	P	F	
Zawartość wody [%]	19.33	19.23	19.07	18.94	18.73
Dokładność pomiaru [%]	x	0.10	0.26	0.39	0.60
Czas analizy [min:s]	120:00	09:32	7:04	05:34	02:19

Źródło: Badania własne
Source: The own study



Rys. 3. Dokładność i precyzja metod badania zawartości wody.

Fig. 3. The accuracy and precision of methods for testing the water content.

Legenda:

IR/SZ – analiza produktu umieszczonego bezpośrednio na szalce (MA 50.X2.A)
 IR/P – analiza produktu umieszczonego na piasku kwarcowym (MA 50.X2.A)
 IR/F – analiza produktu umieszczonego na filtrze z włókna szklanego (MA 50.X2.A)
 M/F-F – analiza produktu umieszczonego pomiędzy filtrami z włókna szklanego (PMV 50)

Źródło: Badania własne
Source: The own study

PODSUMOWANIE

Na podstawie zrealizowanych badań zawartości wody w margarynie stwierdzono, że możliwe do zastosowania w przemyśle spożywczym są wszystkie prezentowane metody. Wybór konkretnego wariantu metody powinien być uzależniony od parametru, który jest istotny podczas prowadzenia badania. Ze względu na skrócenie czasu badania zasadne jest zastosowanie metody wykorzystującej promieniowanie mikrofalowe (PMV 50). Możliwa jest wówczas szybka reakcja technologów w przypadku stwierdzenia znaczących odchyżeń w jakości produktu. Z metrologicznego punktu widzenia powinno się stosować metodę wykorzystującą promieniowanie podczerwone w której produkt jest umieszczany na podłożu z piasku kwarcowego. Jeżeli nadrzędnym celem jest prostota metody (brak elementów dodatkowych), zastosować należy metodę suszenia produktu bezpośrednio na szalce wagoszuszarki. Zaprezentowane

metody badawcze promieniowania podczerwonego oraz mikrofalowa mogą być doskonalone w zakresie metodyki jak i dokładności prowadzonych badań zawartości wody.

LITERATURA

- [1] **ADAK N., H. NURSEL, E. CAN. 2017.** „Infrared drying of strawberry”. *Food Chemistry* 219: 109–116.
- [2] **AL-HARAHSEH M., H. ALA'A AL-MUHTASEB, T.R.A. MAGEE. 2009.** „Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration”. *Chemical Engineering and Processing* 48: 524–531.
- [3] **BRADLEY JR R. L. 2010.** „Moisture and total solids analysis. In *Food Analysis*” Springer US: 85–104.
- [4] **DROZDOWSKI. 2007.** „Lipidy. W *Chemia żywności. Sacharydy, lipidy i białka*”. red. Z.E. Sikorski. Warszawa: WNT: 73–144.
- [5] **ERTEKIN C., G. SADIYE, H. NURSEL, G. AYSEGUL, N. ADAK, B. SENGUL O. 2014.** „Drying of Strawberries with Infrared Dryer”. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*: 1–7.
- [6] **ISENGARD H-D. 2001.** „Water content, one of the most important properties of food”. *Food Control* 12 (7): 395–400.
- [7] **JURIAANSE A.C., I. HEERTJE. 1988.** „Microstructure of Shortenings, Margarine and Butter – A Review”. *Food Structure* 7 (2) Article 8.
- [8] **KAMIŃSKA A., W. CIESIELCZYK. 2011.** „Kinetyka suszenia mikrofalowego wybranych warzyw i owoców”. *Inż. Ap. Chem.* 50 (1): 19–20.
- [9] **KATHIRAVAN K., H. K. KHURANA, S. JUN, J. IRUDAYARAJ, A. DEMIRCI. 2008.** „Infraed Heating In Food Processing: An Overview”. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 2–13.
- [10] **KICIŃSKA J. 2009.** „Psychologiczno-społeczne determinanty zachowań młodych nabywców na rynku dóbr konsumpcyjnych”. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 4(14): 85–94.
- [11] **KUMAR K. P, A. KAR. 2012.** „Heat pump assisted drying of agricultural produce - an over view”. *J Food Sci Technol* 49 (2): 142–160.
- [12] **NOWAK D. 2005.** „Promieniowanie podczerwone jako źródło ciepła w procesach technologicznych. Część I” *Przemysł Spożywczy* 5: 42–43, 51.
- [13] **PAŁACHA Z. 2011.** „Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2(2): 24–29.
- [14] **RATTI C., A. S. MUJUMDAR. 2006.** „Infrared Drying in *Handbook of Industrial Drying*”. Fourth Edition red. Mujumdar A.S. Taylor & Francis Group, LLC.
- [15] **RIADH M. H., S. A. B. AHMAD, M. H. MARHABAN, A. C. SOH. 2015.** „Infrared Heating in Food Drying: An Overview”. *Drying Technology* 33: 322–335.
- [16] **SAKAIN., T. HANZAWA. 1994.** „Applications and advances in far-infrared heating in Japan”. *Trends in Food Science & Technology* 5 (11): 357–362.
- [17] **SHRAMA G. P., R. C. VERMA, P.B. PATHARE. 2005.** „Thin-layer infrared radiation drying of onion slices” *Journal of Food Engineering* 67: 361–366.
- [18] **SOYSAL Y. 2004.** „Microwave Drying Characteristics of Parsley”. *Biosystems Engineering* 89 (2): 167–173.
- [19] **TOGRUL H. 2006.** „Suitable drying model for infrared drying of carrot”. *Journal of Food Engineering* 77: 610–619.
- [20] **WRIGHT A. J., M. G. SCANLON, R. W. HARTEL, A. G. MARANGONI. 2001.** „Rheological properties of milk fat and butter”. *Journal of Food Science* 66 (8): 1056–1071.
- [21] **VISHWANATHAN K. H., H. U. HEBBAR, K. S. M. S. RAGHAVARAO. 2010.** „Hot Air Assisted Infrared Drying of Vegetables and Its Quality”. *Food Sci. Technol. Res.*, 16 (5): 381–388.
- [22] **ŻONTAŁA K., J. ŁOPACKA, A. LIPIŃSKA, U. RAFAŁSKA. 2015.** „Metody termicznej analizy żywności ze szczególnym uwzględnieniem różnicowej kalorymetrii skaningowej”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2 (25/47): 97–104.