

---

Badania zawartości wody w produktach spożywczych  
z wykorzystaniem wagosuszarek serii  
**MA.X2** (promieniowanie IR) oraz  
**PMV** (promieniowanie mikrofalowe)



Sławomir Janas

Laboratorium Badawcze firmy Radwag

## **Wstęp.**

Masowa produkcja żywności jest obecnie efektem konsumpcyjnego charakteru życia współczesnych społeczeństw. Wytwarzanie żywności często odbywa się szybko w liniach produkcyjnych pracujących w sposób automatyczny lub półautomatyczny. W efekcie otrzymuje się produkt masowy o zdefiniowanych cechach jakościowych, którego jakość i cena jest akceptowalna przez konsumenta. Należy jednakże zauważyć, że wraz z rozwojem technologii informatycznych rośnie również świadomość konsumentów (Kicińska 2009). Oczekują oni nie tylko względnie niskiej ceny produktu, ale również produktu, którego jakość jest trwała w długim okresie czasu. Uzyskanie w procesie produkcji wysokiej jakości produktu wymaga zastosowania podejścia procesowego (ISO 9001:2015). Według tej zasady jakość jest „wbudowana w produkt” (TQM), a konsekwencją zastosowania w procesie produkcji tego typu zarządzania jakością produktu jest konieczność weryfikacji jakości produktu na poszczególnych etapach jego wytwarzania. Kontrola jest prowadzona w kierunku czystości mikrobiologicznej, stabilności czy też zawartości wody w produkcie.

Woda jest jednym z najważniejszych składników wielu produktów spożywczych (Bradley R.L. Jr. 2010). Jak podają autorzy (Isengard 2001, Pałacha 2011) jakość, trwałość oraz cechy sensoryczne produktu są zależne od ilości wody jaką posiada produkt. Tym samym ilość wody w produkcie powinna być ściśle zdefiniowana i kontrolowana w procesie jego wytwarzania. Niekontrolowane zwiększenie ilości wody w produkcie spożywczym prowadzi zazwyczaj do przemian hydrolitycznych i oksydacyjnych co z kolei powoduje zmianę cech fizykochemicznych produktu. W konsekwencji tego jakość produktu ulega obniżeniu, skraca się czas jego przydatności do spożycia. Z tego powodu pożądane są szybkie i dokładne metody pozwalające na weryfikację ilości wody w produkcie, takie jakie oferują wagosuszarki serii **MA** oraz **PMV** produkcji **Radwag Wagi Elektroniczne**.

Znormalizowane metody badania zawartości wody (masy suchej) produktu są podane w dokumentach normatywnych (EN). Metodyki badania tam przedstawione pozwalają na uzyskiwanie wyników dokładnych, jednakże nie mają one zastosowania w przemyśle spożywczym podczas kontroli międzyoperacyjnej ze względu na zbyt długi czas potrzebny na wykonanie badania (ok. 2 – 4 godzin). Rozwiązaniem skutecznym szybkim i nowoczesnym stosowanym w międzyoperacyjnej kontroli zawartości wody są wagosuszarki **MA** oraz **PMV** produkcji **Radwag**.

Efektywne i skuteczne zastosowanie tych urządzeń do kontroli zawartości wody w produkcie wymaga przeprowadzenia walidacji metody badawczej. W efekcie przeprowadzenia walidacji uzyskuje się szybką, tanią i łatwą w aplikacji metodę badania zawartości wody o dokładności porównywalnej z dokładnością metody znormalizowanej. Proces walidacji można zrealizować samodzielnie lub przy współpracy z firmą Radwag. Warunkiem koniecznym jest wówczas przesłanie informacji o badanym produkcie oraz dostarczenie produktu do Laboratorium Badawczego. Efektem walidacji wykonanej przez Radwag jest tzw. karta produktu zawierająca wyniki z badań oraz wskazówki związane z opracowaną metodą badawczą.

Analiza zawartości wody w produkcie może być realizowana z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego – wagosuszarki serii MA.R2; MA.X2; MA.3Y lub z wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego – wagosuszarka PMV. Obydwie metody badania należą do

radiacyjnych metod badania zawartości wody i znajdują zastosowanie w przemyśle spożywczym do badania produktów o konsystencji stałej, półpłynnej czy też płynnej (Sakai and Hanzawa 1994; Shrama, Verma and Pathare 2005; Soysal Y. 2004; Togrul 2006). Badania zawartości wody metodą znormalizowaną oraz z wykorzystaniem wagosuszarek **MA. 50 X2** oraz **PMV** przeprowadzono dla następujących produktów:

- jogurt naturalny,
- mleko pasteryzowane o zawartości tłuszczu 2%,
- serek homogenizowany waniliowy,
- serek śmietankowy z oliwkami,
- margarynę do smarowania pieczywa.

## METODY ZNORMALIZOWANE

### a. Jogurt naturalny

Przed pobraniem próbki do badań jogurt wymieszano celem uzyskania homogenicznej struktury w całej objętości produktu. Następnie produkt w ilości około 3 gramów umieszczono w szklanym naczyniu na wstępnie przesuszonym piasku kwarcowym. Temperatura prowadzenia analizy wynosiła 105°C, a czas 3 godziny. Zawartość wody w produkcie wyliczono z zależności:

$$W_w = \frac{m_w - m_s}{m_w} \cdot 100 \%$$

gdzie:  $m_w$  – masa próbki wilgotnej,  
 $m_s$  – masa próbki suchej.

### b. Mleko pasteryzowane

Procedura postępowania w oznaczaniu zawartości wody w mleku była taka sama jak dla jogurtu naturalnego.

### c. Serek homogenizowany waniliowy

Badanie zawartości wody w produkcie wykonano na podstawie PN-EN ISO 5534. Zawartość wody w produkcie wyliczono z zależności:

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

gdzie:  $w_t$  – ogólna zawartość masy suchej w próbce, wyrażona jako ułamek masowy w %,  
 $m_0$  – masa przygotowanego naczynia w gramach,  
 $m_1$  – masa próbki analitycznej i naczynia przed suszeniem w gramach,  
 $m_2$  – masa próbki analitycznej i naczynia po suszeniu w gramach,  
 $m_3$  – masa naczynia użytego w próbie „ślepej” w gramach, dla tego samego czasu suszenia jak  $m_2$ ,  
 $m_4$  – masa przygotowanego naczynia użytego w próbie ślepej w gramach.

#### **d. Serek śmietankowy z oliwkami**

Zastosowano taką samą metodę badania jak dla serka homogenizowanego waniliowego.

#### **e. Margaryna do smarowania pieczywa MR**

Zawartość wody w margarynie do smarowania pieczywa wyznaczono według metody podanej w normie 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  $w_m$  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.

# Wagosuszarka MA 50.X2

## Metoda badania zawartości wody z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego (IR)

Wagosuszarki serii MA 50.X2.A to nowoczesne narzędzie przeznaczone do badań zawartości wody w różnych produktach. MA 50.X2.A posiada przetwornik pomiarowy wysokiej rozdzielczości oraz intuicyjny panel operatora zbudowany w oparciu o 5" kolorowy wyświetlacz typu „touch screen”. Seria wagosuszek MA.X2.A posiada innowacyjny system automatycznego otwierania i zamykania komory suszenia uruchamiany przy użyciu czujników ruchu lub za pomocą przycisku ekranowego. Ergonomia pracy użytkownika jest zagwarantowana poprzez wygodny interfejs użytkownika, przyciski szybkiego dostępu (hot-Key), pola informacyjne oraz etykiety jako elementy programowalne pozwalają na swobodną konfigurację panelu operatora. Proces suszenia może być zrealizowany dla dowolnej temperatury lub być powiązany z konkretnym produktem wykorzystując poniższe bazy danych:

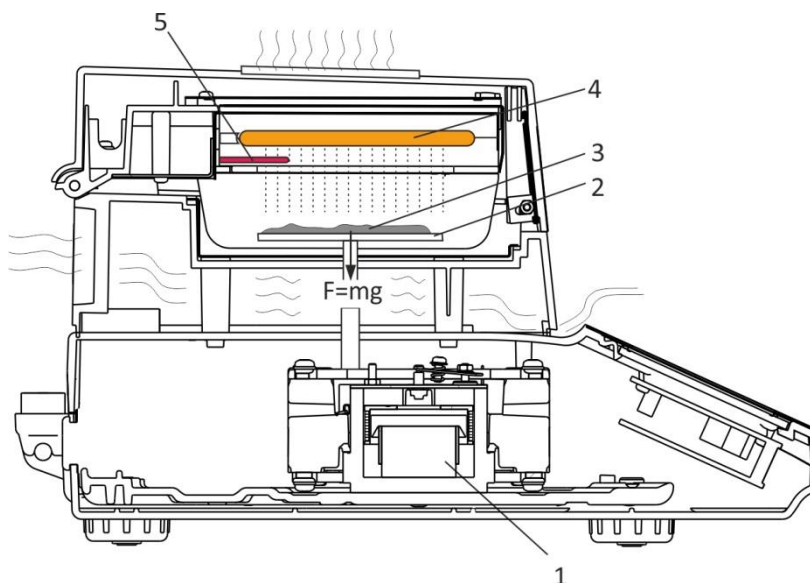
- użytkowników (do 100 użytkowników)
- towarów (do 5000 towarów)
- klienci (do 100 klientów)
- pomiarów (50 000 rekordów)
- opakowań (do 100 opakowań)
- programów suszenia (do 200 programów)
- raportów z suszenia (do 5000 raportów)
- warunków środowiskowych (do 10000 rekordów)



Rysunek 1. Możliwości funkcjonalne wagosuszarki MA 50.X2.A

Wykorzystanie interfejsu USB umożliwia szybkie przenoszenie i kopiowanie wyników pracy (pomiar, raporty, bazy danych) do komputera lub innej wagosuszarki. Zarządzanie danymi jest również możliwe w trybie on-line, poprzez zdalny dostęp do wagi i jej bazy danych. Współpraca z komputerowym systemem E2R umożliwia zewnętrzne zarządzanie danymi, podnosząc do maksimum efekty i wydajność pracy.

Zawartość wody w badanych produktach wyznaczono metodą różnicową czyli z uwzględnieniem różnicy masy produktu wilgotnego oraz masy produktu po jego wysuszeniu. Analiza zmian masy produktu była prowadzona w sposób ciągły w komorze suszenia wagosuszarki. Jest to cecha charakterystyczna metod stosowanych w wagosuszarkach produkcji **Radwag** dzięki której uzyskuje się relatywnie krótki czas analizy. Schemat wagosuszarki MA 50.X2.A produkcji Radwag Wagi Elektroniczne, Polska, zaprezentowano rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat wagosuszarki MA 50.X2.A. Opracowanie własne

Za dokładny pomiar masy analizowanego produktu jest odpowiedzialny jest elektromagnetyczny przetwornik masy (1). Pomiar masy produktu odbywa się według zależności:

$$F = mg$$

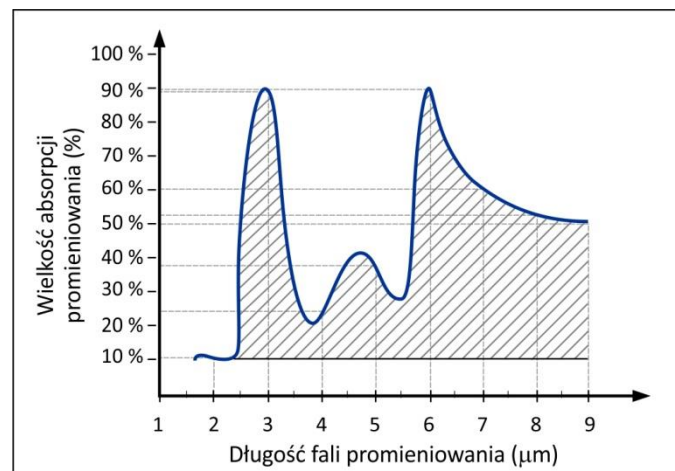
$m$  – masa produktu,

$g$  – przyspieszenie ziemskie w miejscu badania

Zmienność masy produktu w czasie jego ogrzewania jest analizowana przez układy przetwarzania danych, które pracują zgodnie z unikalnym algorytmem opracowanym przez inżynierów firmy **Radwag**. Analiza sygnału pomiarowego jest szybka i dokładna eliminując z sygnału pomiarowego ewentualne zakłócenia w pomiarze masy produktu. Poprzez to pomiar masy produktu jest zawsze dokładny, co stanowi podstawę do uzyskania dokładności w analizie zawartości wody produktu.

Zwiększenie temperatury produktu celem wyizolowania i określenia wody wolnej znajdującej się w jego strukturze odbywa się w komorze suszenia. Wewnątrz komory suszenia znajduje się szalka wagosuszarki (2), która jest trwale połączona z przetwornikiem pomiarowym (1). Podczas produkcji wagosuszarka jest skalowana za pomocą wzorców masy z uwzględnieniem spójności pomiarowej. Poprzez to możliwe jest powiązanie siły grawitacyjnej z wzorcem masy jakim jest 1 kilogram. Dzięki temu po umieszczeniu produktu (3) na szalce wagosuszarki (2) możliwe jest przedstawienie siły grawitacyjnej ( $F = mg$ ) na wyświetlaczu wagosuszarki w postaci wyniku ważenia wyrażonego w gramach.

Wzrost temperatury produktu (3) uzyskuje się poprzez dokładne sterowanie źródłem ciepła, (4), które jest umieszczone w górnej części komory suszenia wagosuszarki. W przypadku wagosuszarek serii MA.X2.A docelowa temperatura suszenia jest uzyskiwana w całej przestrzeni komory suszenia. Ciepło do analizowanego produktu jest dostarczane w wyniku konwekcji oraz promieniowania IR. Jak podają autorzy (Kathiravan, Khurana, Jun, Irudayaraj and Demirci 2008; Nowak 2005) suszenie produktów z wykorzystaniem promieniowania IR można prowadzić w dość szerokim zakresie długości fali od 0,78  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ . Należy jednakże zauważyć, że produkty spożywcze najlepiej absorbują promieniowanie IR o długości fali od 3  $\mu\text{m}$  i 6  $\mu\text{m}$  (rysunek 3)



Rysunek 3. Absorpcja promieniowania przez produktu spożywcze.

Długość fali promieniowania IR jaką emituje promiennik podczerwieni jest ściśle zależna od temperatury promiennika IR (Riadh, Ahmad, Marhaban 2015). Z tego powodu w wagosuszarkach produkcji **Radwag** zainstalowano autorski algorytm sterowania źródłem ciepła. Dzięki temu uzyskuje się wysoką stabilność temperatury w której jest analizowany produkt. W standardowym wykonaniu źródło ciepła wagosuszarek MA.X2.A emituje promieniowanie IR o długości fali ok. 3  $\mu\text{m}$ , poprzez co suszenie produktu jest szybkie i efektywne. Czujnik temperatury (5) zainstalowany w górnej części komory suszenia przekazuje informację o aktualnej temperaturze suszenia do układu sterowania źródłem ciepła, dzięki czemu uzyskano stabilne temperaturowo środowisko, w którym umieszczony jest produkt. Wraz z upływem czasu temperatura analizowanego produktu wzrasta, głównie w wyniku absorpcji promieniowania (Togrul 2006; Ertekin i in. 2014). Jak podają autorzy (Ratti, Mujumdar 2006; Adak, Heybeli and Ertekin 2017), szybkość i skuteczność procesu suszenia jest zależna nie tylko od długości emitowanej fali promieniowania podczerwonego, ale również od

zdolności produktu do absorpcji promieniowania co należy uwzględnić w ocenie prowadzonego procesu.

Zawartość wody w badanych produktach jest prezentowana na wyświetlaczu wagosuszarki MA 50.X2.A w sposób dynamiczny w postaci wyniku lub wykresu (krzywa suszenia). Na podstawie masy wilgotnego produktu oraz jego masy po zakończeniu analizy program wagosuszarki automatycznie wylicza zawartości wody (masy suchej) w produkcie według zależności:

$$\%M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% \quad \text{lub} \quad \%D = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \%$$

gdzie:     %M – zawartość wody w produkcie (wilgotność względna)  
          %D – zawartość masy suchej (wilgotność bezwzględna)  
           $m_1$  – masa produktu wilgotnego, przed rozpoczęciem analizy  
           $m_2$  – masa produktu suchego, po zakończeniu analizy



## Wagosuszarka PMV 50

### Badanie zawartości wody z wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego

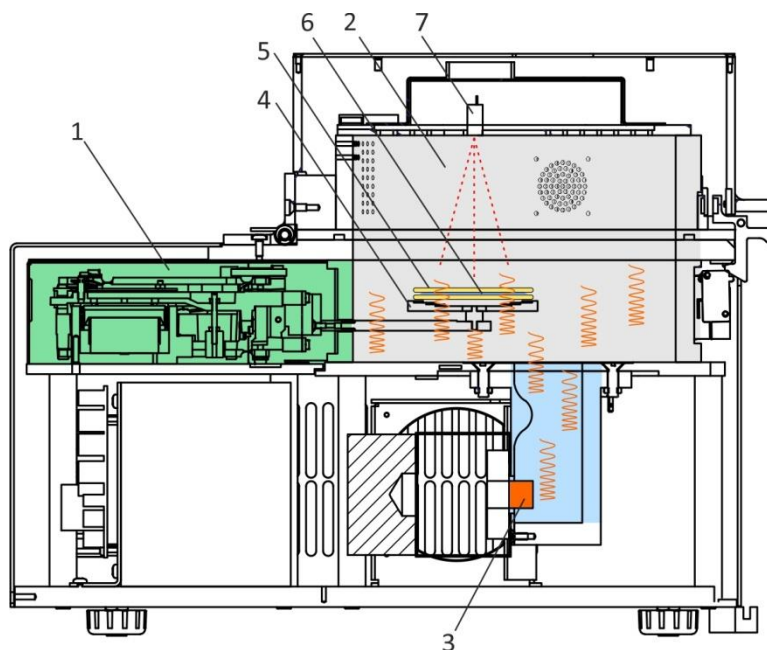
Wagosuszarka **PMV** firmy Radwag jest najnowszym rozwiązaniem wykorzystującym promieniowanie mikrofalowe do badań zawartości wody w produktach spożywczych i innych produktach w których zawartość wody zawiera się w zakresie od 8 % do 100 %. Wzrost temperatury produktu uzyskuje się w wyniku absorpcji promieniowania mikrofalowego przez związki polarne jakie znajdują się w produkcie (głównie woda). W wyniku absorpcji promieniowania następuje reorientacja dipoli związków polarnych, co prowadzi do tarcia molekularnego (Al-Harabsheh M, Al-Muhtaseb and Magee 2009). Konsekwencją tego procesu jest szybki wzrost temperatury w całej objętości produktu, dzięki czemu uzyskuje się krótki czas analizy. Efektywność i skuteczność procesu suszenia jest zależna nie tylko od mocy i częstotliwości emitowanych mikrofal, ale także od struktury produktu oraz jego składu chemicznego (Soysal 2004; Kamińska i Ciesielczyk 2011). Wagosuszarka mikrofalowa **PMV** to nowoczesne i wydajne urządzenie pomiarowe, które oferuje:

- krótki czas suszenia (max 2 – 5 minut)
- bazę produktów, programów suszenia, zrealizowanych procedur suszenia
- analizę statystyczną dla pomiarów zawartości wody wybranego produktu
- interakcyjne menu z możliwością definiowania przycisków, pól informacyjnych, poziomów dostępu do menu wagosuszarki itp.
- Interakcyjne czujniki zbliżeniowe
- wizualizację procesu suszenia w postaci krzywej suszenia,
- export / Import bazy towarów, programów suszenia, innych danych,
- komunikację poprzez RS 232, USB, Ethernet, WiFi



Rysunek 4. Wagosuszarka mikrofalowa PMV 50

Schemat wagosuszarki mikrofalowej **PMV 50**, produkcji **Radwag Wagi Elektroniczne**, Polska z wyszczególnieniem głównych podzespołów został zaprezentowany na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat wagosuszarki mikrofalowej PMV 50.

## ZASADA DZIAŁANIA WAGOSUSZARKI MIKROFALOWEJ

Pomiar masy analizowanego produktu realizuje magnetoelektryczny układ wagowy (1), który składa się z wyselekcjonowanych elementów monolitycznych poprzez co układ wagowy jest stabilny nawet przy niestabilnych warunkach zewnętrznych. W komorze suszenia (2) znajduje się szalka (4), na której pomiędzy dwoma filtrami z włókna szklanego (5) umieszcza się produkt (6). Magnetron (3) emituje mikrofałe, które w produkcie (6) wywołują efekt dipolowy cząstek wody. Powoduje to wzrost temperatury produktu, która jest monitorowana przez czujnik podczerwieni (7) zainstalowany w górnej części komory suszenia (2). Maksymalna temperatura jaką może osiągnąć produkt jest indywidualną cechą każdego produktu i jest to jeden z parametrów suszenia. Czujnik temperatury (7) rejestruje aktualną temperaturę produktu a informacja ta jest wykorzystywana poprzez układ sterowania mocą magnetronu (3). Wraz ze spadkiem temperatury analizowanego produktu (desorpcja wody z produktu powoduje zmniejszenie się tarcia molekularnego), moc emitowanych mikrofal jest płynnie dopasowywana do dynamiki zachodzącego procesu.

Analiza zawartości wody w produkcie jest realizowana do momentu, gdy spełniony będzie warunek stabilności masy produktu w czasie – podobnie w przypadku wagosuszarki MA 50.X2.A, co jest jednoznaczne z całkowitą desorpcją wody ze struktury produktu.

Zawartość wody (%M) w badanych produktach, tj.: jogurt naturalny, mleko, serek homogenizowany waniliowy, serek śmietankowy z oliwkami, margaryna z wykorzystaniem wagosuszarek PMV 50 wyliczono z zależności:

$$\%M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% \quad \text{lub} \quad \%Dm = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \%$$

gdzie: %M – zawartość wody w produkcie (wilgotność względna)  
 % D – zawartość masy suchej (wilgotność bezwzględna)  
 $m_1$  – masa produktu wilgotnego, przed rozpoczęciem analizy  
 $m_2$  – masa produktu suchego, po zakończeniu analizy

## REZULTATY I DYSKUSJA

Pierwszym etapem badań było wyznaczenie zawartości wody w produktach z wykorzystaniem metod referencyjnych. W każdej metodzie przeprowadzono badania dla trzech próbek tego samego produktu. Informacja o rzeczywistej zawartości wody badanych produktów była punktem wyjścia dla optymalizacji metody wykorzystującej promieniowanie podczerwone (**MA 50.X2.A**) oraz metody bazującej na promieniowaniu mikrofalowym (**PMV 50**). Wyniki zawartości wody jakie uzyskano analizując produkty metodami referencyjnymi zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość procentowa wody w produktach - metoda referencyjna

Jogurt Primo	Mleko 2%	Serek waniliowy	Serek śmietankowy	Margaryna MR
87,09	89,06	72,96	65,06	19,33

Wyniki zawartości wody jakie uzyskano badając produkty metodą mikrofalową oraz z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego zaprezentowano w tabeli 2 i 3.

Tabela 2. Zawartość wody w produktach badanych metodą mikrofalową (wagosuszarka PMV 50)

	Zawartość wody [%] – metoda mikrofalowa				
	Jogurt Primo	Mleko 2%	Serek waniliowy	Serek śmietankowy	Margaryna MR
1.	86.66	89.26	72.46	65.79	19.14
2.	86.75	89.21	72.96	65.74	19.00
3.	86.89	89.06	72.98	65.66	19.24
4.	86.53	89.11	73.17	65.86	18.99
5.	86.88	89.07	73.02	65.35	18.93
6.	86.43	88.97	73.60	65.46	18.61
7.	86.12	88.76	72.77	65.56	18.47
8.	86.73	88.84	72.38	65.52	18.87
9.	86.58	89.30	72.15	65.41	18.93
10.	86.91	89.12	72.27	65.47	18.88
$\bar{x}$	86.65	89.07	72.78	65.58	18.91
SD	0.25	0.17	0.46	0.17	0.23

Tabela 3. Zawartość wody w produktach badanych metodą promieniowania podczerwonego (wagosuszarka MA 50.X2.A)

Zawartość wody [%] – promieniowanie IR					
	Jogurt Primo	Mleko 2%	Serek waniliowy	Serek śmietankowy	Margaryna MR
1.	86.82	89.50	72.84	64.96	19.39
2.	87.01	89.41	72.91	64.92	19.43
3.	87.22	89.42	72.64	65.25	19.35
4.	87.06	89.44	72.79	64.84	19.27
5.	86.91	89.05	72.78	64.76	19.22
6.	86.95	89.39	72.88	65.18	19.34
7.	86.98	89.14	72.89	64.78	19.28
8.	87.22	89.33	72.89	64.95	19.34
9.	87.02	89.40	72.76	65.48	19.26
10.	86.99	89.13	72.87	64.76	19.23
$\bar{x}$	87.02	89.32	72.82	64.99	19.31
SD	0.13	0.16	0.08	0.24	0.07

Jednym z najważniejszych parametrów prowadzonego badania była precyzja pomiarów, którą wyrażono za pomocą odchylenia standardowego. Wartość odchylenia standardowego może być pomocna, wówczas gdy uzyskany wynik zawartości wody odnosi się do limitów produkcyjnych lub też w przypadku szacowania niepewności wyznaczenia zawartości wody w produkcie. Oczywiście im mniejsza wartość odchylenia standardowego tym lepsza precyzja wykonanych pomiarów. Największe zróżnicowanie w precyzji pomiarów stwierdzono dla serka waniliowego (0,46%) i jogurtu (0,25%) gdy produkty te były badane metodą promieniowania mikrofalowego (wagosuszarka PMV) oraz dla serka śmietankowego (0,24%) gdy w analizie zastosowano promieniowanie podczerwone (wagosuszarka MA 50.X2.A). Stwierdzono jednakże, że wykazane różnice w precyzji pomiarów nie są istotne statystyczne w ocenie jakości tych produktów. Dla serka waniliowego w serii pomiarów uzyskano rozbieżności między wynikiem maksymalnym a minimalnych 1.45 %, a dla jogurtu zarejestrowano rozbieżność wyników 0.79 %.

Dokładność pomiarów zawartości wody wykonanych metodami mikrofalową oraz z zastosowaniem promieniowania podczerwonego wyliczono jako różnicę między wartościami średnimi zawartości wody jakie otrzymano badając te produktu metodą IR oraz mikrofalową a wynikami jaki uzyskano badając te produktu metodami referencyjnymi. Wyniki zaprezentowano w tabeli 4.

Tabela 4. Dokładność pomiaru zawartości wody w produktach zależnie od zastosowanej metody badania

Metoda referencyjna	PMV 50			MA 50.X2.A	
	Zawartość wody	Zawartość wody	Dokładność Pomiaru	Zawartość wody	Dokładność Pomiaru
Jogurt Primo	87.09	86.65	0.44	87.02	0.07
Mleko 2%	89.06	89.07	0.01	89.32	0.26
Serek wanil.	72.96	72.78	0.18	72.82	0.14
Serek śmietan.	65.06	65.58	0.52	64.99	0.07
Margaryna MR	19.33	18.91	0.42	19.31	0.02

Stwierdzono, że najlepszą dokładność w metodzie mikrofalowej uzyskano badając mleko (odchylenie 0,01%) oraz serek waniliowy (0,18 %). Największą rozbieżność wyniku zawartości wody względem wyniku uzyskanego metodą referencyjną (odchylenie 0,52%) stwierdzono dla serka śmietankowego z oliwkami. Produkt ten nie był homogeniczny, ponieważ zawierał duże kawałki oliwek, co miało wpływ na wynik prowadzonej analizy. W analizie zawartości wody metodą promieniowania podczerwonego (IR) najlepszą dokładność pomiaru stwierdzono dla margaryny (odchylenie 0,02%). Znacznie większe odchylenie dokładności uzyskano dla mleka (odchylenie 0,26%). Stwierdzono, że z metrologicznego punktu widzenia były to istotne różnice, ale nie mają one znaczenia, gdy ocena jakości produktu jest wykonywana w przemyśle spożywczym, który wykorzystuje w ocenie jakości produktu wartości krytyczne.

Jednym z ważniejszych aspektów użytkowych stosowanych metod był czas potrzebny dla wykonania oznaczenia zawartości wody. Badając ten parametr stwierdzono, że niezależnie od rodzaju badanego produktu czas analizy był zawsze krótszy, gdy wzrost temperatury produktu był efektem działania mikrofal (**wagosuszarka PMV 50**) względem czasu jaki był wymagany, gdy produkt był badany z wykorzystaniem promieniowania IR. Wyniki dla czasów prowadzenia analizy przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Czas prowadzenia oznaczenia zawartości wody metodą z wykorzystaniem mikrofal oraz metodą wykorzystującą promieniowanie podczerwone

Produkt	PMV 50 (mikrofa)	MA 50.X2.A (IR)
	Czas analizy [min:s]	
Jogurt Primo	03:47	15:32
Mleko 2%	02:55	12:43
Serek waniliowy	04:57	09:35
Serek śmietankowy	03:25	08:35
Margaryna MR	02:05	10:25

## PODSUMOWANIE

Stosując metodę wykorzystującą mikrofałe w badaniu zawartości wody uzyskano znaczne skrócenie czasu analizy względem metody bazującej na promieniowaniu podczerwonym. Analiza była nawet 5-krotnie krótsza gdy badano margarynę, 4-krotnie dla jogurtu i mleka, 2,5-krotnie krótsza w badaniu serka śmietankowego oraz 2-krotnie krótsza dla serka waniliowego.

Analiza dokładności pomiarów zawartości wody wykazała, że możliwa jest dalsza optymalizacja metod badawczych w zakresie parametrów suszenia jak i procedur związanych z przygotowaniem produktu do suszenia. Kierunki zmian powinny dotyczyć skrócenia procesu suszenia dla wagosuszarki mikrofalowej przy zachowaniu akceptowalnej dokładności i precyzji prowadzonych pomiarów. Dla wagosuszarki MA 50.X2.A możliwa jest optymalizacja procesu suszenia w kierunku zastosowania zróżnicowanych długości fali promieniowania podczerwonego. Ze względu na szybkość suszenia wagosuszarka PMV 50 jest zalecanym i preferowanym urządzeniem, które może być stosowane do szybkich oznaczeń zawartości wody.

### Spis rysunków

Rysunek 1.	Możliwości funkcjonalne wagosuszarki MA 50.X2.A.....	5
Rysunek 2.	Schemat wagosuszarki MA 50.X2.A. Opracowanie własne.....	6
Rysunek 3.	Absorpcja promieniowania przez produktu spożywcze.....	7
Rysunek 4.	Wagosuszarka mikrofalowa PMV 50.....	9
Rysunek 5.	Schemat wagosuszarki mikrofalowej PMV 50.....	10

### Spis tabel

Tabela 1.	Zawartość procentowa wody w produktach - metoda referencyjna.....	11
Tabela 2.	Zawartość wody w produktach badanych metodą mikrofalową (wagosuszarka PMV 50).....	11
Tabela 3.	Zawartość wody w produktach badanych metodą promieniowania podczerwonego (wagosuszarka MA 50.X2.A).....	12
Tabela 4.	Dokładność pomiaru zawartości wody w produktach zależnie od zastosowanej metody badania..	13
Tabela 5.	Czas prowadzenia oznaczenia zawartości wody metodą z wykorzystaniem mikrofal oraz metodą wykorzystującą promieniowanie podczerwone.....	13

## PARAMETRY SUSZENIA

<b>Jogurt Primo</b>	<b>MA 50.X2.A</b>	<b>PMV 50</b>
Temperatura	suszenia: 120°C	produktu: 100°C
Moc mikrofal	-	80 %
Profil	Standardowy	Standardowy
Zakończenie analizy	Auto 2	Auto 2
Masa produktu	ok. 2 g	ok. 1.3 g
Czas analizy (min:s.)	15:32	03:47

<b>Mleko 2 %</b>	<b>MA 50.X2.A</b>	<b>PMV 50</b>
Temperatura	suszenia: 120°C	produktu: 100°C
Moc mikrofal	-	100 %
Profil	Standardowy	Standardowy
Zakończenie analizy	Auto 3	Auto 1
Masa produktu	ok. 3 g	ok. 1 g
Czas analizy (min:s.)	12:43	02:55

<b>Serek waniliowy</b>	<b>MA 50.X2.A</b>	<b>PMV 50</b>
Temperatura	suszenia: 105°C	produktu: 100°C
Moc mikrofal	-	100 %
Profil	Standardowy	Standardowy
Zakończenie analizy	Auto 3	Auto 1
Masa produktu	ok. 2 g	ok. 2 g
Czas analizy (min:s.)	09:35	04:57

<b>Serek śmietankowy</b>	<b>MA 50.X2.A</b>	<b>PMV 50</b>
Temperatura	suszenia: 105°C	produktu: 100°C
Moc mikrofal	-	60 %
Profil	Standardowy	Standardowy
Zakończenie analizy	Auto 3	Auto 1

Masa produktu	ok. 3 g	ok. 2.5 g
Czas analizy (min:s.)	08:35	03:25

<b>Margaryna MR</b>	<b>MA 50.X2.A</b>	<b>PMV 50</b>
Temperatura	suszenia: 105°C	produktu: 100°C
Moc mikrofal	-	100 %
Profil	Standardowy	Standardowy
Zakończenie analizy	Auto 2	Auto 1
Masa produktu	ok. 5 g	ok. 1.8 g
Czas analizy (min:s.)	10:25	02:05



## LITERATURA

1. Adak N., N. Heybeli, C. Ertekin. 2017. „Infrared drying of strawberry”. *Food Chemistry* 219 : 109-116.
2. Al-Harashsheh M., A.H. 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 R.L. Jr. 2010. „Moisture and total solids analysis”. In *Food Analysis*, Springer US, 85-104.
4. Ertekin C., S. Gozlekci, N. Heybeli, A. Gencer, N. Adak, B.S. Oksal. 2014. „Drying of Strawberries with Infrared Dryer”. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering* 1-7.
5. Isengard H.-D. 2001. „Water content, one of the most important properties of food”. *Food Control* 12(7) : 395-400.
6. Kamińska A., W. Ciesielczyk. 2011. „Kinetyka suszenia mikrofalowego wybranych warzyw i owoców”. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 50 (1) : 19-20.
7. 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.
8. Kicińska J. 2009. „Psychologiczno-społeczne determinanty zachowań młodych nabywców na rynku dóbr konsumpcyjnych”. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 4(14) : 85-94.
9. Nowak D. 2005. „Promieniowanie podczerwone jako źródło ciepła w procesach technologicznych. Część I”. *Przemysł Spożywczy* 5 : 42-43,51.
10. Pałacha Z. 2011. „Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2(2) : 24-29.
11. Ratti C., A.S. Mujumdar. 2006. „Infrared Drying” in *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition pod redakcją A.S. Mujumdar. Taylor & Francis Group, LLC.
12. Riadh M.H., S.A.B. Ahmad, M.H. Marhaban, A. Che Soh. 2015. „Infrared Heating in Food Drying: An Overview”. *Drying Technology* 33 : 322-335.
13. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania, poz. 1979.
14. Sakai N., T. Hanzawa. 1994. „Applications and advances in far-infrared heating in Japan”. *Trends in Food Science & Technology* 5(11) : 357-362
15. 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.
16. Soysal Y. 2004. „Microwave Drying Characteristics of Parsley”. *Biosystems Engineering* 89 (2) : 167-173.
17. Togrul H. 2006. „Suitable drying model for infrared drying of carrot”. *Journal of Food Engineering* 77 : 610-619.



**RADWAG WAGI ELEKTRONICZNE**  
**TESTING LABORATORY**

Mass and moisture content measurements, validation of weighing instruments and systems  
compliance with requirements of USP, GMP, GLP, measurement procedures  
test methods, OIML certification  
[www.radwag.com](http://www.radwag.com)

---