
**Doskonalenie pomiaru zawartości wody w produktach
spożywczych z wykorzystaniem metody wagosuszarkowej
bazującej na promieniowaniu IR**

mgr Janas Sławomir

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Promotor pracy: Prof. UTH, dr hab. inż. Małgorzata Kowalska

Promotor pomocniczy: dr Monika Żuchowska-Grzywacz

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

Wydział Nauk Ekonomicznych i Prawnych



Radom 2019

SPIS TREŚCI

1. Plan rozprawy doktorskiej	4
2. Uzasadnienie wyboru tematu	7
3. Cel, teza oraz hipotezy rozprawy doktorskiej	11
4. Materiał i metody badawcze	13
5. Struktura pracy doktorskiej	26
6. Wyniki i dyskusja	28
7. Bibliografia	36

1. Plan rozprawy doktorskiej

1.	Streszczenie.....	11
2.	Wprowadzenie.....	13
3.	Metody eliminacji wody w produktach spożywczych.....	17
3.1	Suszenie konwekcyjne.....	19
3.1.1	Kinetyka suszenia konwekcyjnego.....	20
3.1.2	Urządzenia stosowane w suszeniu konwekcyjnym.....	24
3.1.3	Zalety i wady suszenia konwekcyjnego.....	26
3.2.	Suszenie z wykorzystaniem mikrofal.....	27
3.2.1.	Kinetyka suszenia mikrofalowego.....	28
3.2.2	Urządzenia stosowane w suszeniu mikrofalowym.....	29
3.2.3	Zalety i wady suszenia za pomocą mikrofal.....	29
3.3.	Suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego (IR).....	31
3.3.1.	Kinetyka suszenia promieniowania IR.....	32
3.3.2	Urządzenia stosowane w suszeniu promieniowaniem podczerwonym.....	33
3.3.3	Zalety i wady suszenia z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego.....	34
3.4.	Suszenie sublimacyjne.....	35
3.4.1.	Kinetyka suszenia sublimacyjnego.....	36
3.4.2.	Urządzenia stosowane w suszeniu sublimacyjnym.....	38
3.4.3.	Zalety i wady suszenia sublimacyjnego.....	40
3.5.	Suszenie hybrydowe.....	41
4.	Charakterystyka urządzenia typu „wagosuszarka” w oznaczeniach zawartości wody w produktach spożywczych.....	43
4.1	Kryterium zakończenia procesu suszenia.....	45
4.2	Źródła ciepła w procesie suszenia.....	46
4.3	Proces walidacji urządzenia i metody badania.....	47
5.	Inne metody badania zawartości wody w produktach spożywczych.....	49
6.	Znaczenie metod wyznaczania zawartości wody dla Systemów Zarządzania Jakością...	52
7.	Cel i zakres pracy.....	53
8.	Materiał badawczy.....	55
9.	Metody badawcze.....	60
9.1.	Metody referencyjne (M1).....	61
9.2.	Metoda wagosuszkowa (M2) bazująca na promieniowaniu IR.....	67
9.3.	Badanie zmian masy.....	73

9.4. Pomiary biometryczne	74
9.5. Metody sensoryczne	75
9.6. Metody badania tekstury - badania twardości.....	77
9.7. Metody statystyczne	78
10. Wyniki i dyskusja	80
10.1. Badania zawartości wody w orzechach laskowych.....	81
10.2. Badanie zawartości wody w serach topionych	94
10.3. Badanie zawartości wody w margarynie	104
10.4. Badanie zawartości wody dla produktu przemiału (mąki)	112
10.5. Badanie zawartości wody w produktach ciastkarskich	119
10.5.1 Badania tekstury produktów S5	130
10.5.2 Analiza sensoryczna produktów S5	136
10.6. Badanie zawartości wody w suszu owocowym	146
10.7. Badanie zawartości wody w przetworach mleczarskich	155
10.8. Badanie zawartości wody dla owoców liofilizowanych.....	166
11. Ekonomiczne aspekty wdrożenia metody M2	184
12. Aspekty innowacyjne w badaniach zawartości wody metodą wagosuszarkową.....	185
13. Podsumowanie i wnioski	186
14. Bibliografia	194
15. Wykaz dorobku naukowego	215

2. Uzasadnienie wyboru tematu

Współcześnie nie jest problemem wyprodukowanie produktu, ale jego efektywna sprzedaż. Sprostanie temu wyzwaniu wymaga od producenta wiele wysiłku począwszy od analizy rynku poprzez dobór właściwych parametrów dla procesu wytwarzania produktu po zastosowanie adekwatnych narzędzi marketingowych celem dotarcia do jak największej grupy odbiorców. Kluczem do uzyskania sukcesu rynkowego jest jakość produktu rozumiana jako niezmiennosc jego cech jakościowych w długim okresie czasu przy wysokim poziomie akceptacji konsumentów.

Naturalnym składnikiem mającym znaczący wpływ na jakość produktów spożywczych jest woda. Stanowi ona integralną część struktury każdego produktu spożywczego, jednakże nadmiar wody w produkcji jest zjawiskiem niepożądanym, ponieważ prowadzi do przemian hydrolitycznych i oksydacyjnych. W ich efekcie cechy fizykochemiczne produktu ulegają degradacji co skutkuje obniżeniem jakości produktu. Z tego powodu ilość wody w produkcji musi być limitowana i kontrolowana w czasie jego wytwarzania. Obecnie zarządzanie jakością produktu nie sprowadza się do tylko do końcowej oceny jego cech jakościowych, ale do weryfikowania jakości produktu w czasie jego wytwarzania. Informacja o rzeczywistej ilości wody w produkcji spożywczym musi być zatem uzyskana szybko i dokładnie, co pozwala na natychmiastową reakcję technologów w przypadku stwierdzenia znaczących odchyłeń w procesie wytwarzania produktu.

Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom podjęto badania zmierzające do opracowania skutecznej i dokładnej metodyki badania zawartości wody w produktach spożywczych. Opracowaną metodykę badania zawartości wody dla tych produktów zweryfikowano poprzez porównanie otrzymanych wyników zawartości wody z wynikami jakie otrzymano badając te same produkty metodami referencyjnymi. Na podstawie tych porównań określono dokładność opracowanych metod badawczych co było podstawowym wymaganiem dla ich komercyjnych wdrożeń.

W badaniach zastosowano wagosuszarke, która automatycznie rejestrowała zmiany masy produktu realizując jednocześnie cykl jego ogrzewania promieniowaniem podczerwonym. W wyniku jednoczesnej analizy zmian masy i temperatury produktu otrzymano zdecydowanie krótszy czas prowadzenia analizy zawartości wody względem czasu

jaki wymagany jest w badaniu zawartości wody metodami referencyjnymi. Dzięki temu opracowana metoda badania zawartości wody z wykorzystaniem wagosuszarki możliwa była do zastosowania w badaniach produktów pobranych bezpośrednio z linii produkcyjnej jak i w innych badaniach weryfikujących jakość produktów na podstawie zawartości wody.

Takim produktem były m in. orzechy laskowe dla których zweryfikowano i udoskonalono metodę badania zawartości wody wykorzystującą promieniowanie podczerwone. Orzechy laskowe tuż po zbiorach zawierają znaczne ilości wody, nawet ponad 30 %, co jest zjawiskiem niekorzystnym ponieważ prowadzi to przemian oksydacyjnych i powstawania pleśni. Z tego powodu orzechy laskowe po zbiorach wymagają odwodnienia, dzięki czemu znacznie wydłuża się ich okres przydatności do spożycia przy zachowaniu akceptowalnej przez konsumentów jakości. W efekcie walidacji otrzymano pełną procedurę postępowania pozwalającą na prowadzenia badań zawartości wody w orzechach laskowych szybko, dokładnie i precyzyjnie. Opracowanie i udoskonalenie metody pomiaru zawartości wody w orzechach laskowych pozwoliło na skrócenie czasu badania do 20 minut. Tak krótki czas badania pozwala na szybką reakcję w przypadku wystąpienia nieoczekiwanych zmian warunków przechowalniczych mających wpływ na zawartość wody w orzechach laskowych.

Innym obszarem jaki poddano badaniu była sfera wytwarzania produktów. Jak wiadomo woda jest tym składnikiem, którego ilość w znacznym stopniu determinuje jakość produktu. Działy kontroli jakości, technolodzy produkcji w przemyśle spożywczym są zatem zainteresowani takimi metodami badania zawartości wody, które będą ergonomiczne i niezawodne. Wymagania te uwzględniono doskonaląc metodę badania całkowitej zawartości masy suchej dla serów topionych. Kluczowym aspektem było uzyskanie bardzo krótkiego czasu analizy około 8 minut, co czyni z opracowanej metody efektywne narzędzie dla monitoringu jakości wytwarzanego produktu. Prowadzone badania zawartości wody w tłuszczach twardych (margaryna do smarowania pieczywa) pozwoliły na zdefiniowanie nowej metody badawczej pod kątem metrologicznym. Podobnie jak w przypadku metodyki dotyczącej serów topionych uzyskano relatywnie krótki czas prowadzenia analizy (około 12 minut). Aspektem nowatorskim było zastosowanie piasku kwarcowego jako podłoża nośnego dla analizowanego produktu, poprzez co uzyskano efekt objętościowego ogrzewania produktu. Dzięki temu precyzja i dokładność pomiarów zawartości wody w margarynie była porównywalna z precyzją i dokładnością jaką uzyskano badając ten sam produkt metodą znormalizowaną.

Produktami, które w szczególnym stopniu muszą być chronione przez absorpcją i desorpcją wody są ciastka kruche. W procesie produkcji ciastek ustalona jest optymalna zawartość wody poprzez co produkt uzyskuje wymagane cechy jakościowe. Dystrybucja ciastek od producenta poprzez sieć sprzedaży do klienta zazwyczaj jest procesem dość długim. W tym czasie mogą zachodzić zmiany w jakości ciastek będące efektem zmienności zawartości wody. Zdiagnozowanie tego problemu wymaga przeprowadzenia badań z wykorzystaniem większej liczby próbek produktu. Wymagana jest zatem szybka metoda badania cechująca się dokładnością, taka jaką opracowano w ramach prowadzonych badań. Niezależnie od rodzaju badanego ciastka (herbatniki, krakersy, biszkopty) uzyskano całkowity czas analizy około 3 minut.

Uniwersalność opracowanej metodyki badania zawartości wody wykorzystano aplikując tę metodę do badań zawartości wody w produktach mleczarskich. Badaniami objęto serki homogenizowane oraz serki śmietankowe. Obecnie produkcja takich produktów mleczarskich odbywa się w sposób całkowicie zautomatyzowany poprzez co uzyskuje się produkt masowy o relatywnie niskiej cenie jednostkowej. Ze względu na masowość produkcji, weryfikacja jakości produktu w kontekście zawartości wody powinna być przede wszystkim szybka, ale i dokładna. W ramach badań doświadczalnych opracowano procedurę badania zawartości wody w produktach mleczarskich, która spełnia te kryteria. Czas potrzebny dla zrealizowania badania zawartości wody wyniósł około 6 – 7 minut.

Zastosowanie w metodyce promieniowania podczerwonego czyni z opracowanej metody elastyczne narzędzie dla prowadzenia badań również w innych obszarach, takich jak przetwórstwo owoców i warzyw. Naturalne owoce zawierają zbyt dużo wody, żeby możliwe było utrzymanie ich wysokiej jakości w długim okresie czasu. Jedną z metod konserwacji owoców jest proces odwadniania, który jest destrukcyjny pod względem częściowej utraty jakości produktu. Z drugiej strony jest dość prostym i tanim procesem technologicznym, dzięki któremu uzyskuje się susz owocowy o niskiej zawartości wody (2 % - 8 %).

Znacznie ograniczenie start jakościowych owoców w efekcie suszenia uzyskuje się stosując proces liofilizacji. Po tym procesie zawartość wody w owocach wynosi maksymalnie kilka procent a produkt uzyskuje delikatną wewnętrzną strukturę o dużej higroskopijności. Uwzględniając specyficzne cechy produktów liofilizowanych przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych w wyniku których wskazano pewne i stałe parametry prowadzenia analizy

zawartości wody dla truskawki, aroni, jabłka w proszku, bazylii, kukurydzy, maliny.

Stwierdzono, że opracowana metoda badania zawartości wody w produktach spożywczych jest dokładna i efektywna poprzez co może być wykorzystywana w przemyśle spożywczym. Należy jednakże stwierdzić, że opracowana metoda badania zawartości wody jest uzupełnieniem metod znormalizowanych, dlatego też jej zastosowanie zawsze wymaga przeprowadzenia walidacji oraz doskonalenia również w zakresie przygotowania produktu do analizy.

3. Cel, teza oraz hipotezy rozprawy doktorskiej

Celem prezentowanej rozprawy doktorskiej było dopracowanie metody oznaczania zawartości wody wykorzystującej wagosuszkę jako urządzenia za pomocą którego możliwe jest uzyskanie powtarzalnych i szybkich pomiarów zawartości wody w produktach spożywczych wykonywanych w czasie kontroli międzyoperacyjnych oraz podczas rutynowych badań laboratoryjnych. Obecnie przemysł spożywczy wykorzystuje w analizach zawartości wody wagosuszkę, jednakże nie zostały dla nich wskazane dokładne i walidowane metody badawcze. Stanowi to lukę badawczą w tym obszarze, a zaistniały problem został określony i poddany badaniom w tej dysertacji. Założeniem pracy było więc ustalenie również stałych i dokładnych procedur postępowania dla wybranych produktów spożywczych.

Tezą pracy doktorskiej było wykazanie słuszności, że urządzenie - wagosuszarka może być stosowna do dokładnych oznaczeń zawartości wody w produktach spożywczych. W kontekście analizowanego problemu sformułowano pięć hipotez badawczych:

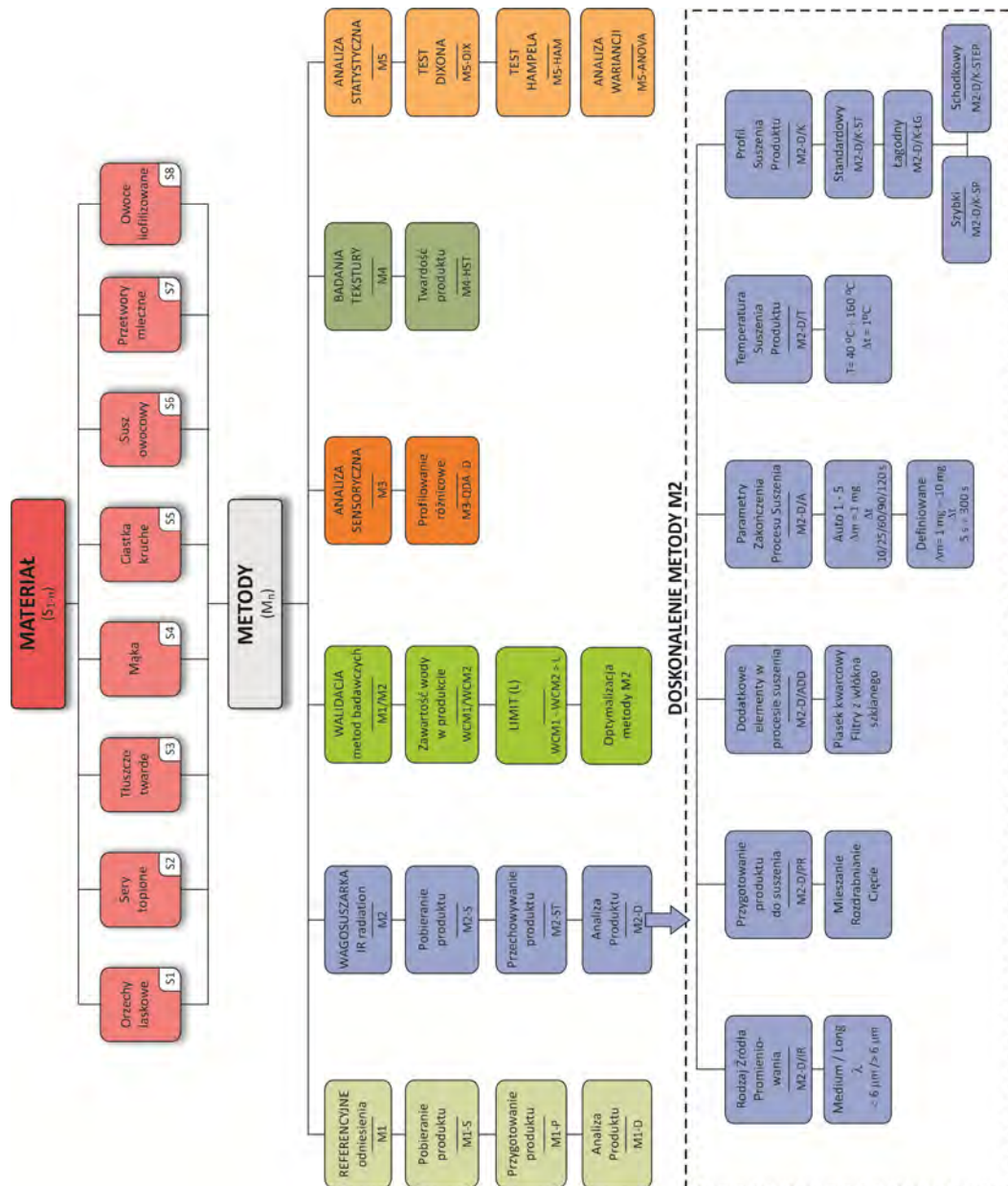
1. Metoda oznaczenia zawartości wody w produktach spożywczych za pomocą wagosuszarki jest metodą szybszą niż metoda znormalizowana.
2. Wagosuszarka jest urządzeniem uniwersalnym w zakresie badania zawartości wody w produktach spożywczych.
3. Dokładność i precyzja wagosuszarki podczas określania zawartości wody jest zbliżona do dokładności i precyzji metody znormalizowanej
4. Sposób zapewnienia jednorodnej temperatury w całej objętości suszonej próbki decyduje o dokładności wyniku zawartości wody w badanym produkcie.
5. Zastosowanie wagosuszarki jest elementem usprawniającym proces zarządzania jakością w firmie produkcyjnej.

Osiągnięcie założonego celu poza przeglądem literatury wymagało badań empirycznych, które obejmowały produkty przemysłu spożywczego a w szczególności mleczarskiego, cukierniczego i owocowo-warzywnego. Badania zostały zrealizowane w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach przemysłowych oceniając skuteczność procesów technologicznych w zakresie uzyskiwania docelowej zawartości wody w wytwarzanym produkcie.

Efektom badań zrealizowanych w ramach pracy doktorskiej są zalecenia, wskazówki oraz wytyczne dla wielu procesów analizy zawartości wody uwzględniające wymagania oraz specyfik przetwarzanych produktów. Jest to szczególnie ważne ponieważ bdy poczynione w metodyce procesów pomiaru zawartości wody mogą prowadzić do zafałszowanej oceny jakości produktu, skrocenia jego okresu przydatności do spożycia, czy też strat ekonomicznych w wyniku wycofania partii towaru jako niepełnowartościowej.

4. Materiał i metody badawcze

Badania zawartości wody wykonano dla produktów spożywczych pobranych bezpośrednio z systemów produkcji jaki i dla produktów już wprowadzonych na rynek. Ze względu na złożoność pracy dla jej przejrzystości specyfikację materiału badawczego i metod przedstawiono w postaci diagramu blokowego (rysunek 1). Dokładny opis wykorzystanych w pracy produktów spożywczych zamieszczono w tabeli 1.



Rysunek 1. Rodzaj materiału i charakterystyka metod badawczych wykorzystanych w pracy.

Tabela 1. Charakterystyka badanych produktów

Oznaczenie	Opis
S1	ORZECHY LASKOWE - do badań wykorzystano orzechy laskowe odmiany Halle (zakupione w handlu detalicznym). Podczas zakupu z dużej ilości produktu wydzielono losowo około 1 kilograma orzechów. Przed rozpoczęciem badań orzechy były kondycjonowane w warunkach laboratoryjnych w temperaturze 23°C i wilgotności względnej 45 % przez okres 5 dni.
S2	SERY TOPIONE – podczas badania wykorzystano trzy rodzaje serów topionych: ser kremowy (S2-1) firmy Hochland, składniki (informacja producenta): woda, ser (28%), mleko odtłuszczone w proszku, masło, substancje emulgujące E450, E 452, E 331, białka mleka, sól, regulator kwasowości: kwas cytrynowy, ser topiony z pomidorami (S2-2) firmy Sertop, składniki (informacja producenta): sery, woda, masło, mleko w proszku odtłuszczone, serwatka w proszku (z mleka), sole emulgujące E 450, E 452, E 339, pomidory suszone 1.7 %, sól, ser topiony kremowy z czosnkiem (S2-3) firmy SM Mlekovita, składniki (informacja producenta): ser, woda, masło, twaróg, mleko i serwatka w proszku, sole, emulgujące (E450, E451), czosnek (0.2%), sól, regulator kwasowości E339.
S3	MARGARYNA do smarowania pieczywa – o zawartości tłuszczu 80 %, producent Zakłady Tłuszczowe Kruszwica.
S4	MĄKA SZYMANOWSKA, uniwersalna, Pszenna typ 480 (Polskie Młyny S.A.). Skład (100 g): tłuszcz 1.5 g, węglowodany 73 g w tym cukry 2.2 g, błonnik 2.2 g, białka 12 g, sól < 0.01 g.

CIASTKA KRUCHE – w badaniu użyto cztery rodzaje ciastek:

biszkopty (S5-1) składniki (informacja producenta) : 35% mąka pszenna, 25% masa jajeczna pasteryzowana, cukier, woda, syrop glikozowo-fruktozowy, skrobia ziemniaczana, olej rzepakowy, substancje spulchniające E 503, sól, regulator kwasowości, kwas cytrynowy, emulgator E 471, barwnik karoteny.

S5 **herbatniki o smaku waniliowym** (S5-2) składniki (informacja producenta): mąka pszenna, cukier inwertowany, olej palmowy, woda, substancje spulchniające, węglany amonu, węglany sodu, aromat waniliowy, skrobia kukurydziana, emulgator lecytyny (z soi), sól, substancja konserwująca: pirosiarczan sodu,

krakersy (S5-3) składniki (informacja producenta): mąka pszenna, olej rzepakowy, substancje spulchniające: węglan amonu, węglan sodu, jęczmienny ekstrakt słodowy, sól, glukoza, jaja w proszku, emulgator lecytyny.

Herbatniki maślane (S5-4) składniki (informacja producenta): mąka pszenna, cukier, olej palmowy, masło z mleka (5%), syrop cukru inwertowanego, substancje spulchniające: węglan sodu i difosforany, serwatka w proszku (z mleka), mleko w proszku pełne, sól, emulgator lecytyny, regulator kwasowości: kwas cytrynowy.

SUSZ OWOCOWY – próbki otrzymano z firmy przetwórstwa owocowo-warzywnego Frubella. Badania prowadzono na następujących produktach, susz:

S6 **jabłkowy** (S6-1), **borówki** (S6-2), **wiśni** (S6-3), które pozyskano bezpośrednio z linii produkcyjnej. Były to produkty po procesie suszenia konwekcyjnego przeznaczone do końcowej kontroli jakości (zawartości wody).

PRZETWORY MLECZARSKIE – produkty otrzymano z firmy Mlekpól.

Badania przeprowadzono na następujących produktach:

serek homogenizowany truskawkowy (S7-1) składniki (informacja producenta): mleko, śmietanka, cukier, truskawka (3.5 %), białka mleka, koncentrat soku z czarnej marchwi, aromaty, barwnik: ekstrakt z papryki, kultury bakterii mlekowych,

serek homogenizowany waniliowy (S7-2) składniki (informacja producenta): mleko, śmietanka, cukier, białka mleka, aromat, kultury bakterii mlekowych,

S7 **serek homogenizowany czekoladowy (S7-3)** składniki (informacja producenta): mleko, śmietanka, cukier, kakao, białka mleka, czekolada w proszku (0.25 %), aromat, kultury bakterii mlekowych,

serek pyszny bananowy (S7-4) składniki (informacja producenta): mleko, śmietanka, cukier, białka mleka, banan (4 %), syrop glukozowo-fruktozowy z pszenicy, substancje stabilizujące: żelatyna wieprzowa (E 441), skrobia modyfikowana kukurydziana, mączka chleba świętojańskiego, guma guar, aromat, regulator kwasowości: kwas cytrynowy, barwnik: kurkumina,

serek łaciaty z chrzanem (S7-5) składniki (informacja producenta): serek śmietankowy, chrzan 8%, białka mleka, sól,

serek łaciaty z czosnkiem (S7-6) składniki (informacja producenta): serek śmietankowy, białka mleka, czosnek (1.2 %), sól, aromat,

serek łaciaty z oliwkami (S7-7) składniki (informacja producenta): serek śmietankowy, zielone oliwki (12 %), białka mleka, sól.

OWOCE LIOFILIZOWANE – producent przedsiębiorstwo Awima. Badania prowadzono na następujących produktach:

S8

Truskawka (S8-1), aronia (S8-2), jabłko w proszku (S8-3), bazylia (S8-4) kukurydza (S8-5), malina gryz (S8-6), malina proszek (S8-7)

Dla produktów S1 ÷ S8 w pierwszej kolejności wykonano badanie zawartości wody (suchej pozostałości) metodą referencyjną M1. Wynik uzyskany w metodzie M1 był punktem wyjścia do doskonalenia metody M2. Należy zauważyć, że przypadkowy dobór parametrów metody M2 skutkuje otrzymaniem przypadkowego, zazwyczaj niedokładnego wyniku zawartości wody. Dlatego zasadne w pracy było dopracowanie takich parametrów metody M2 dla każdego z przedstawianych w pracy produktów spożywczych, które pozwoliły na otrzymanie rzetelnego i powtarzalnego wyniku pomiaru.

Dla produktów, które nie mają normatywnych odniesień temperaturę suszenia przyjęto jako 105°C. Jest to temperatura w której usuwana jest z produktu tzw. woda wolna. Czas suszenia dla tego rodzaju produktów został ustalony na 3 godziny. Każdy produkt spożywczy (o ile tego wymagał) przed suszeniem był rozdrabniany, cięty na drobne kawałki. Schemat postępowania w metodach referencyjnych przedstawiono na rysunku 2



Rysunek 2. Metoda referencyjna (M1) – schemat postępowania.

Legenda:

m_1 – masa początkowa próbki przed suszeniem

m_2 – masa próbki po pierwszym suszeniu

m_3 – masa próbki po dosuszaniu (o ile tego metodyka wymaga)

$\Delta m/\Delta t$ – zmiana masy próbki podczas jej ogrzewania

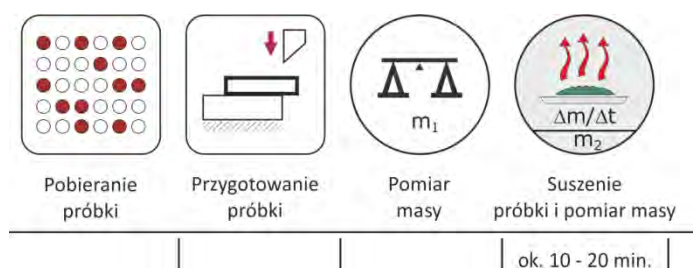
W tabeli 2 zestawiono wykaz norm i aktów prawnych metod referencyjnych (M1) wykorzystywanych w przedstawianej dysertacji.

Tabela 2. Wykaz norm oraz dokumentów referencyjnych (krótki opis)

Metoda/Produkt	Nazwa normy / specyfikacja metody
M1/S1	<p>Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1284/2002 z dnia 15 lipca 2002 r. ustanawiające normę handlową w odniesieniu do orzechów laskowych. Średnią zawartość wilgoci w ziarniaku orzecha laskowego wyliczono z zależności:</p> $\text{Wilgotność} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (1)$ <p>gdzie: M_0 – masa pustego pojemnika M_1 – masa próbki przed suszeniem M_2 – masa próbki po suszeniu</p>
M1/S2	<p>PN-EN ISO 5534, grudzień 2005. Sery i sery topione. Oznaczenie zawartości całkowitej suchej masy. Metoda Odwoławcza.</p> <p>Całkowita zawartość masy suchej produktu została wyliczona z poniższej zależności:</p> $w_t = \frac{(m_2 - m_0) - (m_3 - m_4)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \% \quad (2)$ <p>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</p>
M1/S3	<p>PN-EN ISO 3727-1, styczeń 2004. Masło. Oznaczenie zawartości wody, suchej masy beztłuszczowej i tłuszczu. Część 1: Oznaczenie zawartości wody. Metoda odwoławcza. Zawartość wody została wyliczona z poniższej zależności:</p> $w_m = \frac{(m_1 - m_4) - (m_1 - m_3)}{(m_2 - m_0)} \times 100 \% \quad (3)$ <p>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</p>

M1/S4	<p>PN-ISO 712:2002. Zboża i przetwory zbożowe. Oznaczenie wilgotności. Rutynowa metoda odwoławcza. Zawartość wilgoci wyliczono z zależności:</p>
	$w = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \times 100 \% \quad (4)$
	<p>gdzie: m_0 – masa próbki analitycznej przed suszeniem w gramach m_1 – masa próbki analitycznej po suszeniu, w gramach</p>
M1/S5	<p>PN-A-74252, styczeń 1998. Wyroby i półprodukty ciastkarskie. Metody badań. Zawartość wilgoci wyliczono z zależności:</p>
	$W_w = \frac{m_w - m_s}{m_w} \cdot 100 \% \quad (5)$
	<p>gdzie: m_w – masa próbki wilgotnej m_s – masa próbki suchej</p>
M1/S6	<p>Dla suszu owocowego nie istnieje wyspecyfikowana znormalizowana metodyka suszenia. W procedurze suszenia tego produktu przyjęto następujące czynności: rozdrobnioną próbkę produktu suszono w temperaturze 105°C w czasie 3 godzin. Po procesie suszenia próbka była stabilizowana termicznie do temperatury otoczenia. Na podstawie pomiarów masy przed i po suszeniu wyliczono zawartość wody według zależności (5)</p>
M1/S7	<p>PN-EN ISO 5534, grudzień 2005. Sery i sery topione. Oznaczenie zawartości całkowitej suchej masy. Metoda Odwoławcza. Wilgotność produktu została wyliczona z poniższej zależności (2) uwzględniając fakt, iż wartością oczekiwaną jest informacja o zawartości wody a nie całkowita zawartość masy suchej.</p>
M1/S8	<p>Znormalizowana metoda suszenia produktów liofilizowanych nie jest określona dlatego postępowanie z tym produktem wymagało określenia odpowiednich czynności i warunków. Na podstawie pomiarów masy próbki przed i po suszeniu wyliczono zawartość wody w próbce według zależności (5).</p>

Zawartość wody w produktach S1 – S8 badano również metodą wagosuszarkową (M2). W pracy wykorzystano wagosuszarkę serii MA 110.R2 produkcji Radwag Wagi Elektroniczne, Radom, Polska. Działka elementarna dla pomiaru wilgotności (zawartości wody) wynosiła 0.001 %, temperatura analizy posiadała możliwość regulacji w zakresie od 40°C do 160°C z interwałem co 1°C a masa próbki była analizowana w sposób ciągły w całym cyklu pomiarowym. Metodyka badania zawartości wody metodą M2 dotyczyła następujących czynności: pobierania, przygotowania i suszenia próbek zgodnie z opracowanym algorytmem. Graficznie interpretację metody wagosuszarkowej zaprezentowano to na rysunku 3.



Rysunek 3. Metoda wagosuszarkowa – schemat postępowania.

Legenda:

m_1 – masa początkowa próbki przed suszeniem

m_2 – stabilna masa próbki w czasie suszenia

$\Delta m/\Delta t$ – zmiana masy próbki podczas jej ogrzewania

Istotą metody z wykorzystaniem wagosuszarki jest ciągły pomiar masy próbki w czasie jej ogrzewania. Jest to zasadnicza różnica względem metod znormalizowanych, w których procesy suszenia i ważenia są kolejnymi czynnościami wykonywanymi podczas uzyskania stałej masy próbki. W metodzie z wykorzystaniem wagosuszarki rejestrowana jest masa netto próbki. Zaraz po zarejestrowaniu wyniku pomiaru masy netto rozpoczyna się automatycznie proces suszenia. Rejestrowany jest ubytek masy próbki w czasie, co jest podstawą do wyliczenia aktualnej zawartości wody czy masy suchej produktu. Gdy masa próbki w procesie suszenia osiąga stałą wartość, proces suszenia jest zakończony automatycznie. Wynik zawartości wody w produkcie jest wyliczony przez wagosuszarkę automatycznie z uwzględnieniem masy początkowej oraz masy końcowej suszonej próbki.

Wyliczona zawartość wody w produkcie jest zależna od temperatury prowadzenia analizy, wielkości masy analizowanego produktu oraz kryterium definiującego stabilność masy produktu w czasie badania zawartości wody. Dobór tych parametrów wymaga badań empirycznych dla konkretnego produktu lub grupy produktów i stanowi element doskonalenia tej metody. Charakterystykę metody z wykorzystaniem wagosuszarki dla badanych w pracy produktów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Metoda z wykorzystaniem wagosuszarki – specyfikacja parametrów suszenia

Metoda/Produkt	Nazwa normy / specyfikacja metody
M2/S1	<p>Badanie zawartości wody wykonano dla orzechów laskowych w czasie 30 dniowego cyklu ich kondycjonowania w stałych warunkach laboratoryjnych, 23°C, wilgotności 45 %. Przed badaniem usunięto łuskę i rozdrobniono orzechy do postaci kawałków mniejszych niż 2 mm. Tak przygotowany produkt wymieszano w celu uzyskania jednorodności układu. Próbkę średnie o masie 5÷6 g suszono w temperaturze 100°C. Każda z próbek była rozprowadzana równomierną warstwą na aluminiowej, jednorazowej szalce. Następnie szalka była wkładana do komory suszenia wagosuszarki, która rejestrowała masę netto próbki (m1). Proces badania zawartości wody był inicjowany automatycznie. Temperatura wewnątrz komory suszenia była dynamicznie zwiększana do wartości zadanej i była utrzymywana w czasie całego cyklu badania produktu. Doświadczalnie ustalono, że optymalnym kryterium opisującym stan w którym z próbki usunięto wodę jest zakończenie procesu Automatyczne 2 (Auto 2). Praktycznie oznacza ono to, że analiza będzie zakończona, jeżeli masa próbki będzie niezmienna w zakresie 1 mg przez okres 25 sekund. Zawartość wody była wyliczana przez wagosuszkę automatycznie zgodnie z zależnością (5)</p>

Próbki sera topionego były przechowywane w temperaturze 5°C. Każda z próbek była zapakowana w handlowe opakowania jednostkowe. Po otwarciu opakowania z bloku sera topionego pobierano niewielką ilość próbki, którą rozsmarowywano na powierzchni jednorazowej, aluminiowej szalki wagosuszarki. Próbki o masie około 1 g – 1.5 g były analizowane w temperaturze 110°C. Zdefiniowano zakończenie procesu badania zawartości wody dla próbek jako:

M2/S2

- S2-1: automatyczne 1 (Auto 1, stabilności masy próbki 1mg w czasie 10 sekund)
- S2-2: tak jak dla próbki S1
- S2-3: stabilność masy próbki 1 mg w czasie 35 sekund).

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów masy analizowanej próbki przed i po analizie wagosuszarka wyliczała wilgotność bezwzględną (zawartość masy suchej) według zależności.

$$W_b = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \% \quad (6)$$

gdzie: m_w – masa próbki wilgotnej

m_s – masa próbki suchej

M2/S3

W początkowej fazie oznaczeń zawartości wody w margarynie zastosowano taką samą metodę badania jak w metodzie znormalizowanej. Jako podłoża dla badanej próbki użyto pumeksu w ilości około 20 g, który wstępnie suszono w wagosuszarce do uzyskania stałej masy. Na tak otrzymanym podłożu umieszczono próbkę margaryny (3 g) i badano ją w temperaturze 105°C. Zakończenie procesu badania zawartości wody w produkcie określono jako automatyczne 3. Odpowiadało to stabilności masy badanego produktu w zakresie 1 mg w czasie 60 sekund. Na tym etapie badań sprawdzono również dynamikę chłonięcia wilgoci przez wysuszony pumeks. Wysuszoną próbkę umieszczono na szalce wagi analitycznej, której działka elementarna wynosiła 0.1 mg. W trybie ciągłym z interwałem 10 sekund rejestrowano automatycznie zmienność masy próbki. Następnie zmodyfikowano metodę badania zawartości wody produktu stosując jako podłoże piasek kwarcowy. Zawartość wody w badanym produkcie wagosuszarka wyliczała według zależności (5).

M2/S4

Metoda badania zawartości wody w mące polegała na określeniu zmian masy produktu przed i po suszeniu. Próbkę pobrano z większej ilości produktu i wymieszano celem osiągnięcia jednorodności w całej jej objętości. Produkt w ilości 5 g analizowano w temperaturze 105°C, zakończenie procesu suszenia zdefiniowano tak jak dla próbki S1. Wynik zawartości wody wyznaczono z zależności (5).

M2/S5

Metodyka badania ciastek polegała na okresowej kontroli zawartości wody w próbkach, które były przechowywane w opakowaniach: fabrycznym – oznaczenie P4, plastikowym box oznaczenie P3, (Polipropylen 0.2 mm), folii spożywczej – oznaczenie P2, (HDPE 10 μm), torbie papierowej – oznaczenie P1, (gramatura 80-120 g/m²). Interwał badania wynosił co 7 dni. Każda próbka przed analizą była rozdrabniana mechanicznie do postaci drobnych cząstek. Próbka o masie około 2 gramów była rozmieszczana na całej powierzchni szalki wagosuszarki w postaci warstwy o jednakowej grubości. Temperatura analizy wynosiła 102°C i była stabilizowana przez wewnętrzny czujnik temperatury zainstalowany w komorze suszenia. Całkowite usunięcie wody z badanego produktu było jednoznaczne ze stabilnością jego masy końcowej w czasie 25 sekund (Auto 2). Zawartość wody w produkcie wyliczana była z zależności (5). Jako wynik zawartości wody każdej próbki przyjęto wartość średnią z 3 oznaczeń jako:

$$w_{m-AVER} = (w_{m1} + w_{m2} + w_{m3})/3 \quad (7)$$

gdzie: w_{m-AVER} – średnia procentowa zawartość wody w próbce

w_{m1} – zawartość wody w próbce, pomiar 1

w_{m2} – zawartość wody w próbce, pomiar 2

w_{m3} – zawartość wody w próbce, pomiar 3

Próbki przed badaniem zawartości wody były przechowywane w szczelnych opakowaniach, które chroniły je przed oddziaływaniem środowiska. Przygotowanie próbek do analizy polegało na ich mechanicznym rozdrobieniu (susz jabłkowy) lub ręcznym poprzez cięcie (borówka, wiśnia,). Każdy produkt w ilości ok. 3 g – 5 g po rozdrobieniu umieszczano bezpośrednio na szalce wagosuszarki stosując poniższe parametry suszenia:

M2/S6

- **S6-1, susz jabłkowy:** temperatura analizy 90°C, zakończenie procesu analizy Auto 3.
- **S6-2, susz borówki:** temperatura analizy 85°C, zakończenie procesu analizy Auto 2.
- **S6-3, susz wiśni:** temperatura analizy 90°C, zakończenie procesu analizy Auto 2.

Zawartość wody w produktach wyliczano z zależności (5).

Przed badaniem zawartości wody produkty zostały wymieszane celem uzyskania stanu jednorodnego w całej objętości. Następnie pobierano próbkę w ilości około 1.5 g ÷ 5 g i rozsmarowywano cienką warstwą na powierzchni szalki wagosuszarki. Tak przygotowane próbki były analizowane z zastosowaniem poniższych parametrów metody M2:

SEREK HOMOGENIZOWANY

S7-1, truskawkowy: masa próbki 1.5 g ÷ 2 g, temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

S7-2, waniliowy: masa próbki 1.5 g ÷ 2 g, temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

M2/S7

S7-3, czekoladowy: masa próbki 1.5 g ÷ 2 g temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

S7-4, pyszny: masa próbki 1.5 g ÷ 2 g temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

SEREK ŚMIETANKOWY

S7-5, laciaty z chrzanem: masa próbki 2 g ÷ 5 g temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

S7-6, laciaty z czosnkiem: masa próbki 2 g ÷ 5 g temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3

S7-7, laciaty z oliwkami: masa próbki 2 g ÷ 5 g temperatura 105°C. zakończenie analizy Auto 3.

Zawartość wody w produkcie mleczarskim określono z zależności (5).

Sposób przechowywania produktów liofilizowanych wymagał wytworzenia gwarantowanych i niezmiennych w zakresie wilgoci warunków przechowywania. Zastosowanie tego rodzaju prewencji wpisywało się tym samym w ustalenie procedury pomiaru zawartości wody w produktach liofilizowanych. Owoce liofilizowane były przechowywane w szczelnych plastikowych torebkach. Torebki były otwierane tylko podczas pobierania próbek do oznaczeń zawartości wody. Następnie szczelnie je zamykano do następnego pomiaru. Analiza zawartości wody była przeprowadzana dla produktów o masie około $2\text{ g} \div 3\text{ g}$. Badanie prowadzono do uzyskania powtarzalnego wyniku określającego zawartość wody w produkcie. Przed właściwym badaniem produkty S8-1, S8-2, S8-5, S8-6 były rozdrabniane mechanicznie.

Zastosowano poniższe parametry analizy zawartości wody owoców liofilizowanych:

M2/S8

S8-1, truskawka, masa próbki $1.5\text{ g} \div 2\text{ g}$, temperatura analizy 70°C , zakończenie analizy Auto 2

S8-2, aronia, masa próbki $1.5\text{ g} \div 2\text{ g}$, temperatura analizy $70^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$, zakończenie analizy Auto 2

S8-3, jabłko, masa próbki, temperatura analizy $70^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$, zakończenie analizy Auto 2

S8-4, bazylia, masa próbki 1.5 g , temperatura analizy 80°C , zakończenie analizy Auto 3

S8-5, kukurydza, masa próbki $2\text{ g} \div 3\text{ g}$, temperatura analizy 80°C , zakończenie analizy Auto 2

S8-6, malina gryz, masa próbki $1.2\text{ g} \div 2\text{ g}$, temperatura analizy $65^{\circ}\text{C} \div 75^{\circ}\text{C}$, zakończenie analizy Auto 3

S8-7, malina proszek, masa próbki $1.5\text{ g} \div 4\text{ g}$, temperatura analizy 75°C , zakończenie analizy Auto 3

Oznaczona zawartość wody była wyliczana według zależności (5).

5. Struktura pracy doktorskiej

Struktura rozprawy doktorskiej składa się z dwóch głównych części, teoretycznej oraz badawczej których zawartość pozwoliła na zweryfikowanie tezy oraz hipotez badawczych jakie przedstawiono w związku z podjętym problemem badawczym.

Rozdział pierwszy zawiera streszczenie pracy doktorskiej. W rozdziale 2 wskazano na istotność problemu nadmiernej ilości wody w strukturze produktów spożywczych. Zwrócono również uwagę na niekorzystne zmiany jakościowe jakie mogą być efektem niekontrolowanego wzrostu lub spadku zawartości wody.

Rozdział 3 zawiera opis metod wykorzystywanych w przemysłowych procesach odwadniania produktów spożywczych. W kolejnych podrozdziałach rozdziału 3 zaprezentowano zalety i wady oraz rozwiązania konstrukcyjne suszarni dla suszenia konwekcyjnego, suszenia z wykorzystaniem mikrofal, suszenia bazującego na promieniowaniu podczerwonym, suszenia sublimacyjnego oraz suszenia hybrydowego.

Rozdział 4 opisuje zasadę działania wagosuszarki ze wskazaniem najważniejszych parametrów związanych z procesem analizy zawartości wody w produkcie, takich jak temperatura analizy, kryterium definiujące koniec procesu pomiarowego, masa produktu, źródła promieniowania podczerwonego. W rozdziale 4 omówiono znaczenie procesu walidacji w kontekście zastosowania wagosuszarki do prowadzenia analiz zawartości wody w produktach spożywczych.

W rozdziale 5 zaprezentowano inne metody stosowane do badań zawartości wody w produktach spożywczych a w rozdziale 6 przedstawiono znaczenie i miejsce metod wyznaczania zawartości wody dla Systemów Zarządzania Jakością.

Rozdział 7 zawiera cel i zakres pracy a w rozdziale 8 zaprezentowano materiał badawczy (27 produktów) jaki został wykorzystany w badaniach empirycznych.

Rozdział 9 opisuje metody badawcze jakie zostały zastosowane podczas badań. Wyprecyzowano obowiązujące zalecenia normatywne podając metody badania oraz przygotowania produktu do analizy. W tej części podano również autorskie metodyki badania produktów z zastosowaniem wagosuszarki.

Rozdział 10 zawiera wyniki badań jakie uzyskano dla produktów wyspecyfikowanych w rozdziale 8. Dla każdego produktu zrealizowano badania w kierunku optymalizacji wielkości masy analizowanego produktu, zmiennego kryterium definiującego zakończenie analizy oraz ustalenia granicznej wartości temperatury prowadzenia analizy. Badano wpływ zmienności tych czynników na dokładność pomiarów, precyzję pomiarów oraz całkowity czas

analizy.

W rozdziale 11 przedstawiono ekonomiczne aspekty praktycznego wdrożenia metody badania zawartości wody w produktach spożywczych z wykorzystaniem wagosuszarki. Proponowaną metodę badania porównano w metodą referencyjną w kontekście kosztów zakupu wyposażenia, eksploatacji oraz przestrzeni potrzebnej do organizacji miejsca pracy. Rozdział 12 opisuje aspekty innowacyjne jakie posiada metoda badania zawartości wody wykorzystującą wagosuszarkę. Zagadnienie to przedstawiono wielopłaszczyznowo uwzględniając skalę zmian, sposób finansowania, obszar innowacji jak i stosunek do środowiska przyrodniczego.

Rozdział 13 zawiera wnioski z przeprowadzonych badań w odniesieniu do każdego z badanych produktów spożywczych. We wnioskach zawarto metodyczne wskazówki, dzięki którym można prowadzić analizy zawartości wody z wykorzystaniem wagosuszarki uzyskując wyniki dokładne, precyzyjne przy krótkim czasie badania. Rozdział 14 zawiera bibliografię a rozdział 15 wykaz dorobku naukowego.

6. Wyniki i dyskusja

Najważniejszym wnioskiem a zarazem osiągnięciem pracy było uzyskanie procedur postępowania podczas przeprowadzania oznaczeń zawartości wody w wybranych produktach spożywczych. W pracy potwierdzono, że zaproponowana metoda jest metodą tanią, szybką, precyzyjną i dokładną. Jest narzędziem wspomagającym które może być wykorzystywane przez technologów oraz laborantów kontroli jakości. Metoda czynnie wpisuje się w systemy kontroli i bezpieczeństwa żywności pozwalając prowadzić procesy bez zmiany ich ciągłości (bez opóźnień) umożliwiając natychmiastowe podejmowanie działań naprawczych, bądź pozwalając prowadzić kolejne czynności bez niepotrzebnych postojów. W przedstawionej wersji metoda może być zaproponowana dla konkretnego obszaru przemysłu spożywczego. Postępowanie, charakterystykę oraz parametry opracowanej metody (M2) do oznaczania zawartości wody w wybranych produktach spożywczych przedstawiono poniżej.

1. Analiza zawartości wody w ziarniaku orzecha laskowego powinna być prowadzona w temperaturze 100°C dla masy produktu 5 g ÷ 6 g. Przed analizą produkt powinien być rozdrobniony do postaci małych kawałków o rozmiarze mniejszym niż 2 mm i rozłożony równomierną warstwą na powierzchni szalki wagosuszarki. Kryterium definiujące zakończenie analizy powinno mieć wartość Auto 2. Szacunkowe odchylenie dokładności analizy dla metody M2 jakie uzyskano w dysertacji wynosiło 0.28 % przy precyzji 0.11 %, a czas badania ok. 5 minut.
2. Analiza zawartości masy suchej w serach topionych, produkty: S2-1 (ser kremowy), S2-2 (ser z pomidorami), S2-3 (ser kremowy z czosnkiem) powinna być prowadzona w temperaturze 110°C, przy zastosowaniu kryterium zakończenia analizy Auto 1: (produkty S2-1 oraz S2-2) oraz dla kryterium stabilności masy analizowanego produktu 1 mg w czasie 35 sekund (produkt S2-3). Dokładność analizy przy zastosowaniu tych parametrów wyniosła odpowiednio, 0.18 % (S2-1), 0.30 % (S2-2), 0.14 % (S2-3). Masa produktów poddana analizie powinna się zawierać w zakresie 1.46 g ÷ 3.20 g. Znaczne zwiększenie masy analizowanego produktu do ok. 6 ÷ 7 g nie jest wskazane ze względu długi czas analizy oraz znaczące odchylenia w dokładności prowadzonej analizy.
3. Analizę zawartości wody w margarynie do smarowania można prowadzić w temperaturach od 90 °C do 105°C nanosząc badany produkt w ilości ok. 3 ÷ 6 g na piasek kwarcowy. Jednakże najmniejsze odchylenie dokładności (0.03 %) uzyskano

prowadząc analizę w 105 °C. Kryterium zakończenia analizy zostało określone jako Auto 3. Szacunkowy czas potrzebny na wyznaczenie zawartości wody w analizowanym produkcie wynosił 12 minut. Precyzja metody M2 dla tego rodzaju produktów analizowanych w temperaturach od 90 °C do 105 °C zawierała się w przedziale od 0.10 % do 0.19 %, co świadczyło o poprawnym doborze parametrów analizy zawartości wody.

4. Analizę zawartości wody w mące szymanowskiej można prowadzić w temperaturze 120°C (odchylenie dokładności 0.06 %) lub alternatywnie w temperaturze 130°C (odchylenie dokładności 0.08 %). Nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w precyzji pomiarów podczas badań zawartości wody w produkcie S4 wykonanych w tych temperaturach, jednakże nieco mniejszą wartość (0.08 %) wobec 0.19 % (130°C) stwierdzono prowadząc badania w temperaturze 120 °C. Kryterium zakończenia analizy ustalono jako Auto 3. Masa produktu zastosowana w badaniach powinna się zawierać w zakresie 3 ÷ 5 g. Czas badania zawierał się w przedziale od ok. 5 minut do ok. 7 minut.
5. Analiza produktów ciastkarskich powinna być prowadzona w temperaturze 102°C. Produkt przed analizą należy rozdrobnić (mechanicznie lub ręcznie) do postaci mialkiej. Masa produktu poddanego analizie może się zawierać w przedziale od 1.20 g do 10 g bez utraty dokładności prowadzonej analizy, jednakże przy zróżnicowanym czasie badania (od 3 min. do 18 min.). Badania należy prowadzić przy zastosowaniu kryterium zakończenia analizy Auto 2. Precyzja oznaczenia zawartości wody w produktach S5 z wykorzystaniem metody M2/S5 wyniosła maksymalnie 0.10 %.
6. Susz owocowy przed analizą wymagał ręcznego bądź mechanicznego rozdrobnienia. Badanie zawartości wody dla suszu jabłkowego należy prowadzić dla masy 2.70 g ÷ 4.20 g w temperaturze 90°C, kryterium zakończenia badania Auto 3, dla suszu borówki masa powinna wynosić ok. 5.5 g a badanie powinno prowadzić się w temperaturze 85 °C, kryterium zakończenia analizy Auto 2. Z kolei dla suszu wiśni wymagana masa produktu to ok. 1.5 g a proces powinien przebiegać w temperaturze 90°C przy kryterium zakończenia badania Automatyczne 2.

7. Zawartość wody w produktach mleczarskich należy prowadzić w temperaturze 105°C, przy kryterium zakończenia analizy Auto 3. Produkt powinien być rozprowadzony cienką warstwą na powierzchni szalki. Masa produktów S7-1 ÷ S7-4 (serki homogenizowane) powinna być w zakresie 1.60 g ÷ 5 g, a produktów S7-5 ÷ S7-7 (serki śmietankowe) w zakresie 1.60 g ÷ 7 g. Precyzja analizy zawartości wody według metody M2/S7 wynosiła od 0.08 % do 0.19 % dla produktów S7-1 ÷ S7-4 i 0.24 %, 0.50 % dla produktów S7-5 ÷ S7-7. Czas badania zawartości wody produktów S7 był zależny od wielkości masy produktu poddanego analizie i zawierał się w przedziale od ok. 6 do 16 minut (produkty S7-1 ÷ S7-4) i od ok. 6 do 26 min. (produkty S7-5 ÷ S7-7).
8. Badania zawartości wody w owocach liofilizowanych należy prowadzić dla produktów po ich wcześniejszym rozdrobnieniu. Masy produktów w badaniu powinny się zawierać w zakresie od 1.5 g do 2.5 g. Różnorodność struktury badanych produktów liofilizowanych wskazała, że nie udało ustalić jednej procedury o tych samych parametrach prowadzenia analizy.

Analizę zawartości wody w produkcie S8-1 (truskawka) należy prowadzić w temperaturze 70°C przy kryterium zakończenia analizy Auto 2. Masa produktu powinna zawierać się w zakresie 1.5 do 2 g. Dokładność badania zawartości wody w produkcie S8-1 wynosiła 0.02 % przy precyzji pomiaru 0.09 %. Czas badania zawartości wody w S8-1 zawierał się w przedziale od 5 do 8 minut. Zastosowanie większej masy analizowanego produktu (ponad 3 g) skutkowało zwiększeniem błędu pomiaru oraz wydłużeniem czasu badania.

Badania zawartości wody w produkcie S8-2 (aronia) należy prowadzić w temperaturze 70°C ÷ 80°C dla masy około 1.5 g przy zastosowaniu kryterium zakończenia analizy zawartości wody, Auto 2. Dokładność wyznaczania zawartości wody w produkcie S8-2 przy takich parametrach wyniosła 0.03 % a precyzja pomiarów 0.24 %. Czas badania wyniósł 1min. 37 sekund. Zwiększenie masy analizowanego produktu do wartości ponad 3 g nie jest zalecane ze względu na znaczne błędy dokładności (0.51 %). Alternatywnie analiza zawartości wody w produkcie S8-2 może być prowadzona w temperaturze 70°C, przy której uzyskano odchylenie dokładności 0.09 % względem wartości jaką wykazano w metodzie referencyjnej.

Masa produktu S8-3 (jabłko) w badaniu zawartości wody powinna się zawierać w przedziale 2 – 3 g, co zapewniało czas analizy od 3 do 4 minut. Temperatura badania powinna wynosić 80°C przy kryterium zakończenia badania Auto 2. Dokładność oznaczenia zawartości wody wyniosła 0.07 % przy precyzji pomiaru 0.18 %. Możliwa do zastosowania w analizie zawartości wody jest również temperatura 70°C, przy której uzyskano równie małe odchylenie (0.06 %) w dokładności prowadzonego procesu oznaczania zawartości wody.

Badanie zawartości wody w produkcie S8-4 (bazylia) należy prowadzić w temperaturze 80°C, przy kryterium zakończenia procesu Auto 3, dla masy produktu ok. 1.5 g. Dokładność pomiaru zawartości wody w produkcie S8-4 wyniosła 0.02 %, precyzja pomiaru 0.18 %, a czas analizy 2 min. 47 sekund.

Masa produktu S8-5 (kukurydza) podczas badań zawartości wody powinna się zawierać w zakresie od 2.28 g do 3.92 g. Właściwa temperatura prowadzenia analizy to 80°C a kryterium zakończenia badania Auto 3. Uzyskano odchylenie dokładności od 0.04 % do 0.10 % przy precyzji oznaczenia zawartości wody 0.12 % a czas badania zawierał się w zakresie od 4 do 10 minut. Badanie zawartości wody w produkcie S8-5 o masie ok. 1.5 g nie jest zalecane ze względu na ponad dwukrotnie większe odchylenie dokładności (0.29 %) niż te uzyskane dla produktu o masie z przedziału 2.28 g do 3.92g.

Analiza zawartości wody w produkcie S8-6 (malina gryz) powinna być prowadzona w temperaturze 65°C lub 75°C przy kryterium zakończenia analizy Auto 3. Masa produktu użytego w badaniu powinna się zawierać w przedziale od 1.15 g do 1.85 g. Dokładność analizy zawartości wody wyniosła 0.13 % a precyzja prowadzonego badania 0.11 %. Czas potrzebny do wyznaczenia zawartości wody w produkcie S8-6 wyniósł ok. 6 minut dla analizy prowadzonej w temperaturze 60°C i ponad 14 minut gdy produkt badano w 75°C. Zwiększenie temperatury prowadzenia badania do 85°C skutkowało spalaniem wierzchnich warstw produktu S8-6.

Badania zawartości wody w produkcie S8-7 (malina proszek) należy prowadzić w temperaturze 75°C, dla masy produktu 1.78 g, przy kryterium zakończeniu analizy Auto 3. Dokładność analizy zawartości wody wyniosła 0.13 % a precyzja pomiarów 0.08 %. Zwiększenie masy produktu w analizie do ponad 3 g skutkowało błędem pomiaru zawartości

wody 0.40 %. Analiza zawartości wody w produkcie S8-7 w temperaturach 85°C i 95°C nie jest zalecana ze względu na znaczne błędy prowadzonej analizy (0.39 % i 0.72 %).

W ocenie sensorycznej wykonanej po 7 dniach dla produktu S5-1 (biszkopty) przechowywanego w opakowaniach: P1 (torba papierowa, gramatura 80-120 g/cm²), P2 (folia HDPE, grubość 10 µm), P3 opakowanie typu box (PP grubość 0.2 mm) P4 (opakowanie fabryczne) stwierdzono, że najlepszą zgodność produktu S5-1 ze wzorcem referencyjnym ciastka uzyskano, gdy produkt S5-1 był przechowywany w opakowaniu P2. Zmienność deskryptorów sensorycznych produktu S5-1 przechowywanego w tym opakowaniu była najmniejsza (zapach słodki 5 %, smak słodki 5 %, twardość 5 %, kruchość 12 %, ocena ogólna 18 %). Po 28 dniach przechowywania uzyskano najmniejszą zmienność deskryptorów dla produktu S5-1 w opakowaniu P3. Dla deskryptora „ocena ogólna” który jest kompleksową oceną sensoryczną wykazano zmienność tylko 4 %. Tym samym wskazano opakowanie P3 jako najlepsze do stosowania w celu przechowywania produktu S5-1 w okresie do 28 dni.

Zmienność deskryptorów sensorycznych produktu S5-2 (herbatniki o smaku waniliowym) była na podobnym poziomie niezależnie od tego w jakim opakowaniu produkt był przechowywany. Wartość dla deskryptora „ocena ogólna” wyniosła odpowiednio 21 %; 30%; 30 %; 26 % dla produktu przechowywanego w opakowaniu odpowiednio: P1; P2; P3; P4, co nie było wystarczającą informacją dla wskazania opakowania, które najlepiej chroni produkt S5-2 przed zmianami jakościowymi w czasie przechowywania. Jednakże na podstawie zmienności wszystkich deskryptorów produktu S5-2, wskazano opakowanie P3 jako dedykowane dla przechowywania produktu S5-2 w okresie do 7 dni. Ocena sensoryczna produktu S5-2 po 28 dniach badania również potwierdziła podobną zmienność deskryptorów sensorycznych niezależnie od opakowania w jakim produkt był przechowywany. Wykazano zmianę zapachu słodkiego produktu odpowiednio 13 % (P1), 11 % (P2), 13 % (P3), 13 (P4). Nieco większe zróżnicowanie stwierdzono dla pozostałych deskryptorów. Najlepszą zgodność deskryptora „ocena ogólna” produktu S5-2 z wzorcem referencyjnym ciastka po 28 dniach przechowywania stwierdzono, gdy produkt S5-2 był przechowywany w opakowaniu P2. Tym samym wskazano opakowanie P2 jako docelowe dla przechowywania produktu S5-2 w okresie do 28 dni.

Opakowaniem, które w najlepszym stopniu chroniło produkt S5-3 (krakersy) w okresie 7 dni przechowywania przed zmianami jakościowymi było opakowanie P3. Dla produktu przechowywanego w tym opakowaniu zarejestrowano najlepszą zgodność ze wzorcem referencyjnym w zakresie twardości (brak zmian), kruchości (różnica 12 %), oceny ogólnej (różnica 25 %). Zbliżone wyniki uzyskano również dla produktu umieszczonego w opakowaniu P2. Opakowania P2 oraz P3 były to opakowania zamknięte, które zdecydowanie ograniczały interakcję produkt – środowisko. Wyniki badań oceny sensorycznej produktu S5-3 po 28 dniach przechowywania wskazały na opakowanie P2 jako te, które w najlepszym stopniu chroni produkt przed zmianami jakościowymi. Dla wszystkich deskryptorów produktu S5-3 przechowywanego w tym opakowaniu P2 stwierdzono najmniejsze odchylenia względem produktu referencyjnego. Wskazano zatem opakowanie P2 jako docelowe do przechowywania produktu S5-3 w okresie do 28 dni.

W analizie sensorycznej produktów S5-4 (herbatniki maślane) wykonanej po 7 dniach przechowywania stwierdzono najlepszą zgodność z referencyjnym wzorcem ciastka dla produktu S5-4 w opakowaniu P3. Dla produktu w tym opakowaniu nie stwierdzono zmienności dla deskryptora „zapach maślany” i stwierdzono niewielką zmienność dla deskryptorów: smak maślany (5 %), twardość (7 %), kruchość (15 %), ocena ogólna (20 %). Dla produktów umieszczonych w opakowaniach P1, P2, P4 zarejestrowano znacznie większe odchylenia w ocenie sensorycznej. Najlepszą zgodność deskryptorów „zapach maślany” i „smak maślany” z produktem referencyjnym po 28 dniach badania stwierdzono, gdy produkt S5-4 był przechowywany w opakowaniu P2 (zapach maślany, odchylenie 2 %, smak maślany, nie wykazano zmian). Różnica zmienności pozostałych deskryptorów była w zakresie 5 % dla twardości, 10 % dla kruchości oraz 8 % dla oceny ogólnej, co nie było istotne statystycznie w ocenie jakości produktu. Opakowanie P2 wskazano jako najlepsze rozwiązanie dla ochrony cech jakościowych produktu S5-4 przechowywanego w czasie 28 dni.

W sensorycznych badaniach jakości produktów S5 przechowywanych w opakowaniach P1, P2, P3, P4 stwierdzono, że opakowania P2 i P3 najlepiej zabezpieczają produkty S5 przed utratą jakości. Produkty S5 przechowywane w tych opakowaniach były właściwie izolowane od środowiska a tym samym ich zmiany jakościowe odnoszone do wzorcowego ciastka (referencyjnego) były najmniejsze.

W badaniach tekstury (badania twardości) produktu S5-1 stwierdzono, że występuje korelacja między desorpcją wody z produktu S5-1 a wzrostem jego twardości. Dla produktu S5-1 przechowywanego w opakowaniach P1, P2, P3 wykazano wzrost twardości o ok. 40 % względem początku badania. Znacznie mniejszy wzrost twardości (20 %) stwierdzono, gdy produkt był umieszczony w opakowaniu P2, które najlepiej zabezpieczało produkt przed utratą jakości.

Dla produktu S5-2 przechowywanego w opakowaniach P1, P2, P3, P4 nie stwierdzono powiązania między zmianami zawartości wody w produkcie a jego twardością. Stwierdzono spadek twardości gdy produkt S5-2 był przechowywany w opakowaniach P1 (15 %), P2 (20 %), P3 (10 %), P4 (22 %). Najmniejsze zmiany twardości produktu S5-2 wykazano, gdy produkt S5-2 był przechowywany w opakowaniu P3, zmiana twardości 10 % względem wyniku jaki uzyskano na początku badania. Wskazano zatem opakowanie P3 jako te, które w najlepszym stopniu chroni produkt przed utratą jakości w czasie jego przechowywania.

Zmiany twardości produktu S5-3 przechowywanego w okresie 28 dni nie były ściśle skorelowane ze zmianami zawartości wody jakie wykazano dla tego ciastka. Do 7 dnia badania wykazano absorpcję wody dla produktów w opakowaniach odpowiednio (P1) 0.19 %, (P2) 0.13 %, (P3) 0.28 %; (P4) 0.30 % przy zmianach twardości produktu w tym okresie (P1) -10 %, (P2) 40 %; (P3) 10 %; (P4) 30 %. Po 28 dniach badania stwierdzono niewielką zmienność zawartości wody względem początku badania produktów S5-3 odpowiednio 0.39 % (P1), 0.16 % (P2), 0.14 % (P3), 0.01 % (P4) a zmiany wzrostu twardości wykazano dla produktów S5-3 w opakowaniach P1 (18.93 %) oraz P4 (46.97 %) i spadek twardości, gdy produkty były przechowywane w opakowaniach P2 (7.82 %) i P3 (26.97 %). Stwierdzono, że opakowanie P2 najlepiej zabezpiecza produkt S5-3 przed zmianami twardości produktu.

Do 7-go dnia badania produktów S5-4 (herbatniki maślane) wyraźna absorpcja wody w ilości od 1.13 % (P2) do 2.43 % (P1) skutkowałą spadkiem twardości tylko dla produktu w opakowaniu P1 a wzrostem twardości, gdy produkt był w opakowaniach P2, P3, P2. W 28 dniowym okresie przechowywania produktów S5-4 stwierdzono absorpcję wody w ilości od 1.34 % (produkt w opakowaniu P4) do 1.84 % (produkt w opakowanie P1), co nie było skorelowane ze wzrostem twardości produktu umieszczonego w opakowaniach P2 (8.86 %) i P4 (6 %). Spadek twardości wykazano tylko dla produktów w opakowaniach P1 (-13.96 %) oraz P3 (-6.46 %), co było spójne z absorpcją wody jaką wykazano dla produktu S5-4.

Aspektem innowacyjnym przedstawionym w tej pracy było udoskonalenie metody badania zawartości wody w produktach spożywczych w zakresie dokładności oraz szybkości prowadzenia analizy. Ten aspekt jest szczególnie istotny dla technologów żywności oraz personelu technicznego, który poprzez szybki i rzetelny pomiar może modyfikować i kontrolować jakość produktu.

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że istnieje jeszcze szerokie pole w którym można pracować i dopracowywać istniejącą już metodę pozwalając w ten sposób usprawnić działanie technologów czy laborantów. Należy zauważyć, że nowe pole badawcze w zakresie doskonalenia metody wagosuszarkowej może dotyczyć zarówno szybkości prowadzenia analizy jak i znacznie lepszej dokładności pomiarów możliwych do uzyskania z zastosowaniem zróżnicowanych długości fali promieniowania IR. Ten problem badawczy jest istotny z punktu widzenia towaroznawczej oceny produktu, jednakże wymaga zastosowania bardzo czułych urządzeń do detekcji długości fali promieniowania emitowanej w czasie analizy.

Pozytywna weryfikacja wszystkich hipotez badawczych pozwala na gruncie logicznym potwierdzić przyjętą w rozprawie doktorskiej tezę.

7. Bibliografia

1. Abdelwahed W., Ghania D., Serge S., Hatem F. 2006. Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews* 58, 1688–1713.
2. Adak N., Nursel H., Can E. 2017. Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry* 219, 109–116.
3. Ansari S., Maftoon-Azad N., Farahnaky A., Hosseini E., & Badii F. 2014. Effect of moisture content on textural attributes of dried figs. *International Agrophysics*, 28, 403-412.
4. Al-Harahsheh M., Ala'a H. Al-M., T.R.A. Magee. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 524–531.
5. Alibas I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering* 96 (4), 495-502.
6. Arimi J.M., E. Duggan, M. O'Sullivan, J.G. Lyng, E.D. O'Riordan. 2010. Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): Mechanical and acoustic evaluation. *Food Research International* 43, 1650–1655.
7. Babetto A.C., Freire F.B., Barrozo M.A.S., Freire J.T. 2011. Drying of garlic slices: Kinetics and nonlinearity measures for selecting the best equilibrium moisture content equation. *Journal of Food Engineering* Volume 107, Issues 3-4, 347-352
8. Bal L., M., Abhijit K., Santosh S., & Satya N. N. 2011. Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. *International Journal of Food Science and Technology* 46, 827-833.
9. Bal K., Mielniczyk Z. 2010. Metody badania migracji szkodliwych substancji z opakowań do żywności. *Przegląd Papierniczy* 66, 459-462.
10. Banaszek J. 2009. Analiza jakościowa materiałów suszonych mikrofalowo. *Inż. Ap. Chem.* 48(3), 130-135.
11. Baryłko-Pikielna N., Matuszewska I. 2014. *Sensoryczne badania żywności*, Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków.
12. Baryłko-Pikielna N. 1995. Konsument a jakość żywności. *Żywność. Technologia. Jakość.* 4(5), 3-10.
13. Bajaj S., Urooj. A. 2006. Effect of incorporation of mint on texture, colour and sensory parameters of biscuits. *International Journal of Food Properties*, 9: 691–700.
14. Barretta D., M., Lloyd B. 2012. Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 92, 7–22.
15. Baysal T., Icier F., Seda E., Yıldız H. 2003. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *Eur Food Res Technol* 218, 68–73.
16. Begona San Martin M., Fernandez-Garchia T. (2001) Effect of modified atmosphere storage on hazelnut quality. *Journal of Food Processing Preservation* 25, 309-32.
17. Berland S., Launay B. 1994. Rheological Properties of Wheat Flour Doughs in Steady and Dynamic Shear: Effect of Water Content and Some Additives. *Cereal Chem.* 72(1),48-52.

18. Bhunia K., Sablani S., Tang J., Rasco B. 2013. Migration of Chemical Compounds from Packaging Polymers during Microwave, Conventional Heat Treatment and Storage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 523-545.
19. Biernat J., Drzewicka M., Łożna K., Hyla J., Brankowska M., Grajeta H. 2014. Skład kwasów tłuszczowych orzechów i nasion dostępnych aktualnie w handlu w kontekście prozdrowotnych zaleceń żywieniowych. *Brom. Chem. Toksykol.* XLVII 2, 121-129.
20. Bilska A., Krysztofiak K., Komorowski P. 2002, Zastosowanie spektroskopii odbiciowej w zakresie bliskiej podczerwieni do oznaczania zawartości wody w maśle. *Technologia Alimetaria* 1 (2), 109-113.
21. Błońska A., Marzec A., Kowalska H., Wróblewska I. 2012. Zmiany właściwości mechanicznych, akustycznych i sensorycznych ciasteczek owsianych w czasie przechowywania. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 571, 17–28.
22. Boruch M., Nowakowska K. (1996). *Technologia spożywczych suszów ziemniaczanych*. Wydanie II, Politechnika Łódzka, ISBN 83-86453-50-8.
23. Bradley Jr, R. L. 2010. Moisture and total solids analysis. In *Food Analysis*; Springer US, 85-104.
24. Bradley R. L., Jr, Vanderwarn M., A. 2001. Determination of Moisture in Cheese and Cheese Products. *Journal Of AOAC International* 84 (2), 570-592
25. Butt M.S., Nasir M., Akhtar S., Sharif K. 2004. Effect OF Moisture and Packaging on the Shelf Life of Wheat Flour. *Internet Journal of Food Safety* 4, 1-6.
26. Campbell B.C, Molyneux R.J., Schatzki T.F. 2003. Current research on reducing pre- and post-harvest aflatoxin contamination of US almond, pistachio and walnut. *Toxin Reviews* 22, 225-266. doi:org/10.1081/TXR-120024093.
27. Carić M., Kaláb M. 1993. Processed cheese products. In *Cheese: Chemistry, Physics And Microbiology*; Springer US. 467-505.
28. Ceglińska A., Cacak-Pietrzak G., Sobczyk M., Salwa M. 2012. Wpływ przechowywania mąki pszennej na wartość wypiekową. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 571, 29–37.
29. Chen C.W., Xie J., Yang F. X., Zhan H. L., Xu Z. W., Liu J. L., & Chen, Y. J. 2018. Development of moisture-absorbing and antioxidant active packaging film based on poly (vinyl alcohol) incorporated with green tea extract and its effect on the quality of dried eel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13374.
30. Chen X.D, Mujumdar A.S. 2009. *Drying Technologies*. In: *Food Processing*. John Wiley & Sons, New York.
31. Chlebowska-Śmigiel A., Gniewosz M. 2009. Wpływ jadalnej powłoki pullulanowej na ograniczenie zmian sensorycznych i fizykochemicznych zachodzących w orzechach laskowych podczas ich przechowywania. *Bromat. Chem. Toksykol.* XLII 3, 420-425
32. Chowdhury K., Khan S., Karim R., Obaid M., Hasan G.M.M.A. (2012). Quality and Shelf-Life Evaluation of Packaged Biscuits Marketed in Bangladesh. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.* 47, 29-42.
33. Ciemniowska H., Ratusz K. 2012. Characteristics of hazelnuts from three hazel cultivars grown in Poland. *Oilseed Crops XXXIII*: 273-283.
34. Ciurzyńska A., Lenart A. 2011. Freeze-Drying – Application in Food Processing and Biotechnology – A Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 61 (3), 165-171.

35. Chyłek E.K., Rzepecka M. 2011. Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów. *Polish Journal of Agronomy* 7, 3-13.
36. Czajkowska K., Kowalska H., Piotrowski D. 2013. Rola konsumenta w procesie projektowania nowych produktów spożywczych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* nr 575, 23–32.
37. Datta A.K., H.Ni. 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering* 51 (4), 355-364.
38. Derewiaka D., Paliwoda M., Zaręba D. 2014. Wpływ przechowywania na profil związków lotnych wybranych gatunków orzechów. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 4, #51.
39. Dujmic F., Brncic M., Karlovic S., Bosiljkov T., Ježek D., Tripalo B., Mofardin I. 2013. Ultrasound-assisted infrared drying of pear slices: textural issues. *Journal of Food Process Engineering* 36, 397–40.
40. Drozdowski B. 2007. Lipidy. W *Chemia żywności. Sacharydy, lipidy i białka*. Red. Z.E. Sikorski. WNT, Warszawa. 73-144.
41. Ejdys J., Kobylińska U., Lulewicz-Sas A. 2012. Zintegrowane systemy zarządzania jakością, środowiskiem i bezpieczeństwem pracy. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok*.
42. Erle U., Schubert H. 2001. Combined Osmotic and microwave-vacuum dehydration of Apple and strawberries. *J. Food Eng.* 49, 193-199.
43. Ercisli S., Ozturk I., Kara M., Kalkan F., Seker H., Duyar O., Erturk Y. 2011. Physical properties of hazelnuts. *Int. Agrophys.* 25, 115-121.
44. Ertekin C., Gozlekci S., Heybeli N., Gencer A., Adak N., Sengul B. 2014. Drying of Strawberries with Infrared Dryer. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*, 1-7.
45. Eshtiaghi M.N., Stute R., & Knorr D. 1994. High-pressure and freezing pretreatment effects on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *Journal of Food Science* 59, 1168-1170.
46. Feng. H., Tang J. 1998. Microwave Finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed. *Journal of Food Science* 63 (4), 679-683.
47. Flink J.M. 1977. Energy analysis in dehydration processes. *Food Technol.* 31, 76–83.
48. Franks F. 1998. Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice: a review. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 45, 221–229.
49. Gawalek J. 2005. Wpływ warunków konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia korzeni marchwi na jakość suszu. *Inżynieria Rolnicza R.* 9 (11), 119-127.
50. Gawęcki J., Baryłko-Pikielna N. 2007. *Zmysły a jakości żywności i żywienia*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.
51. Gąsior R. 2007. Wybrane aspekty walidacji metod analitycznych. *Wiadomości Zootechniczne, R.XLV* (3), 55-60.
52. Genin N.F. R. 1996. Influence of freezing rate and the ripeness state of fresh courgette on the quality of freeze-dried products and freeze-drying time. *Journal of Food Engineering* 29 (2), 201-209.
53. Ghamari S., Goli H., Mirahmadi F. 2016. Anthocyanin changes in Hot Air drying of Strawberry. *Adv.Biores.*,7 (4), 92-95.
54. Ghirardello D., Contessa C., Valentini N., Zeppa G., Rolle L., Gerbi V., Botta R. 2013.

- Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylusavellana* L.). *Postharvest Biology and Technology* 81, 37-43.
55. Górecka D., Korczak J., Borowska-Parus A. 2007. Zastosowanie substancji słodzących w wyrobach ciastkarskich. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6 (55), 210 – 218.
 56. Grzybowska-Brzezińska M. 2008. Marketingowe aspekty jakości produktów spożywczych. *Problemy Jakości* 7, 43-48.
 57. Hamułka J. 2018. Oznaczanie zawartości wody i suchej masy w wybranych produktach spożywczych w *Analiza żywności* pod red. Anny Gronowskiej-Senger. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. Wydanie IV uzupełnione, poprawione.
 58. Harnkarnsujarit N., Kawai K., Watanabe M., Suzuki T. 2016. Effects of freezing on microstructure and rehydration properties of freeze-dried soybean curd. *Journal of Food Engineering* 184, 10-20.
 59. Heiniö, R.L. 2014. *Sensory Attributes of Bakery Products*. Bakery Products Science and Technology ed. by W. Zhou, Y. H. Hui, I. De Leyn M.A. Pagani, C.M. Rosell J. D. Selman, N. Therdthai. (2nd ed.) John Wiley & Sons, Ltd.
 60. Heping Li. 2005. Microwave assisted osmotic dehydration of apples. Department of Food Science and Agricultural Chemistry Macdonald Campus, McGill University Montreal, Canada.
 61. Isengard H. D. 2001. Water content, one of the most important properties of food. *Food Control* 12(7), 395-400.
 62. ISO 9001:2015. System Zarządzania Jakością. Wymagania.
 63. Jesionowska K., Piotrowska A., Żebrowska-Krauska M., Waszkiwicz-Robak B. 2014. Jakość sensoryczna oraz mikrobiologiczna wybranych rynkowych serków homogenizowanych. *Inżynieria żywności* 1, 9-13.
 64. Jędryka T. 2001. *Metody sensoryczne*. Akademia Ekonomiczna w Krakowie.
 65. Juriaanse A.C., Heertje I. 1988. Microstructure of Shortenings, Margarine and Butter - A Review. *Food Structure* 7 (2) Article 8.
 66. Kaczorowska J. 2009. Innowacyjna działalność produktowa polskich przedsiębiorstw przemysłu spożywczego. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego* 7(22), 50-57 Kamińska Anita, Włodzimierz Ciesielczyk. 2011. Kinytyka suszenia mikrofalowego wybranych warzyw i owoców. *Inż. Ap. Chem.*, 50 (1), 19-20.
 67. Kania M., Andrejko D. 2010. Wpływ różnych sposobów przygotowania ziarna pszenicy do przemiału na wilgotność mąki. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 9 (3-4), 29-35.
 68. Kathiravan K., Harpreet K. K., Soojin J., Irudayaraj J., Demirci A. 2008. Infrared Heating In Food Processing: An Overview. *Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety* 7, 2-13.
 69. Kicińska J. 2009. Psychologiczno-społeczne determinanty zachowań młodych nabywców na rynku dóbr konsumpcyjnych. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 4(14), 85-94.

70. Khaled Al-M., Malak M. A. 2017. Chemical Characteristic and Sensory Evaluation of Biscuit Enriched with Wheat Germ and the Effect of Storage Time on the Sensory Properties for this Product. *Food and Nutrition Sciences* 8, 189-195.
71. Kowalska M., Żbikowska A., Kowalski B. 2014. The properties of water based emulsions formed from enzymatically interesterified blends of mutton tallow and rapeseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 91, 1703-1710.
72. Kowalski S.J., Mierzwa D. 2010. Ocena jakościowa suszenia hybrydowego materiałów biologicznych. *Inż. Ap. Chem.* 49 (4), 40-41.
73. Koyuncu M.A, Islam A., Küçük M. 2005. Fat and fatty acid composition of hazelnut kernels in vacuum packages during storage. *Grasas Aceites* 56(4), 263-266.
74. Kruijf N.D., Beest M.V., Rijk R., Sipiläinen-Malm T., Losada P. P., Meulenaer B.D. 2002. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives & Contaminants* 19 (S1), 144-162.
75. Kudełka W. 2008. *Możliwości modelowania jakości mlecznych napojów fermentowanych w czasie ich przechowywania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie.
76. Kumar K.P, Kar A. 2012. Heat pump assisted drying of agricultural produce —an over view. *J Food Sci Technol* 49 (2), 142–160.
77. Kumar C., Karim M. A., Joardder M.U.H. 2014. Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering* 121, 48-57.
78. Lee S.K., Anema S., Klostermeyer H. 2004. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal Of Food Science & Technology* 39 (7), 763-771.
79. Lee S.K., Buwalda R.J., Euston S.R., Foegeding E.A., McKenna A.B. 2003. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *Lwt-Food Science And Technology* 36 (3), 339-345.
80. Lee S.K., Klostermeyer H. 2001. The effect of pH on the rheological properties of reduced-fat model processed cheese spreads. *LWT-Food Science and Technology* 34 (5), 288-292.
81. Lee H-S., Van Hout D. (2009). Quantification of Sensory and Food Quality: The R-Index Analysis, *Journal of Food Science*, 74 (6), 57-64
82. Lewicki P. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology* 17 (4), 153-163.
83. Lewicki P. P., Pawlak G. 2003. Effect of drying on microstructure of plant tissue. *Drying Technology* 21, 657–683.
84. Li H. 2005. Microwave assisted osmotic dehydration of apple cylinders under continuous medium flow conditions for improving moisture transfer rate and product quality. Department of Food Science and Agricultural Chemistry Macdonald Campus, McGill University Montreal, Canada.
85. Lin Y.P., Tsen J.H., King V.A.E. 2005. Effect of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering* 68 (2), 249-255.
86. Łapczyńska-Kordon B., Szarycz M. 2003. Kinytyka suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-konwekcyjnego pietruszki. *Inżynieria Rolnicza* 9 (51), 109-117.

87. Łukasiński W. 2008. Zarządzanie Jakością Produktu Ekologicznego Żywność. Nauka. Technologia.1 (56), 146 – 153
88. Maisnam D., Prasad R., Anirban D. , Sawinder K., Chayanika S. 2016. Recent advances in conventional drying of foods. J Food Technol . 1, 25-34.
89. Majid R., Sadegh S., Ghasemzadeh H.R., Nalbandi H. 2011. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. Australian Journal of Crop Science 5(13), 1707-1714.
90. Mandala I.G., Ioannou C.A., Kostaropoulos A.E. (2006). Textural attributes of commercial biscuits. Effect of relative humidity on their quality. International journal of food science & technology, 41(7), 782-789.
91. Marzec A., Kowalska H., Gąsowski W. 2010. Właściwości mechaniczne ciastek biszkoptowych o zróżnicowanej porowatości. Acta Agrophysica 16 (2), 359-368
92. Markuszewski B., Kopytkowski J. 2015. Effects of storage conditions on the quality of unripe hazelnuts in the husk. Journal of Horticultural Research 23 (2), 59-67. doi: 10.2478/johr-2015-0016.
93. Marques L.G., Ferreira M.C., Freire J.T. 2007. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). Chemical Engineering and Processing 46, 451–457.
94. Maskan M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering 44 (2), 71-78.
95. Mathlouthi M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. Food Control 12 (7), 409-417
- Mayor L., Sereno A. M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. Journal of Food Engineering 61, 373-386.
96. Michalska A., Zieliński H. 2007. Produkty reakcji Maillarda w żywności. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość 2 (51), 5 – 16.
97. Moreira R., Figueiredo A., Sereno A. 2000. Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. Drying Technology 18 (1,2), 279-294
98. Morkis G., Parzuchowski L. 2007. Systemy zarządzania jakością. Nowe Życie Gospodarcze 18, 24-25.
99. Mota C.L., Dias L.C., Barroca M.J., Guine R.P.F. 2010. Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. Food and Bioproducts Processing 88, (2-3), 115-123.
100. Mohammed A.A., Babiker E.M., Khalid A.G., Mohammed N.A., Khadir E.K. 2016. Nutritional Evaluation and Sensory Characteristics of Biscuits Flour Supplemented with Difference Levels of Whey Protein Concentrates. J Food Process Technol., 7:545
101. Motevali A., Minaei S., Banakar A., Ghobadian B., Darvishi H. 2016. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 15, 179–187.
102. Navarro S. 2006. Modified Atmospheres for the Control of Stored Product Insects and Mites. Chapter 11. In: Insect Management for Food Storage and Processing. Second Edition. J.W. Heaps ed. AACC International, St. Paul USA 105-146. doi: 10.1016/B978-1-891127-46-5.50016-7.

103. Nasir M., Butt M.S., Anjum F.M., Sharif K., Minhas R. 2003. Effect of Moisture on the Shelf Life of Wheat Flour. *International Journal Of Agriculture & Biology* 1560–8530/05–4–458–459.
104. Nindo C.I., Tang J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology* 25, 37-48.
105. Nowacka M., Śledź M., Wiktor A., Witrowa-Rajchert D. 2012. Fizyczne i chemiczne właściwości produktów spożywczych suszonych z wykorzystaniem mikrofal. *Żywność. nauka i technologia* 6 (85), 5-20.
106. Nowacka M., Witrowa-Rajchert D. 2010. Zmiany właściwości higroskopijnych suszy jabłkowych w czasie przechowywania. *Acta Agrophysica* 15(2), 359-370.
107. Nowak D. 2005. Promieniowanie podczerwone jako źródło ciepła w procesach technologicznych. Część I. *Przemysł spożywczy* 5, 42-43, 51.
108. Nowak D. 2005. Promieniowanie podczerwone jako źródło ciepła w procesach technologicznych. Część II. *Przemysł spożywczy* 6, 42-44.
109. Nowak D., Lewicki P.P. 2004. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 5(3), 353-360.
110. Nowak D., Lewicki P.P. 2005. Quality of Infrared Dried Apple Slices. *Drying Technology* 23: 831–846.
111. Nowak D., Lewicki P. 2002. Wpływ długości fali promieniowania podczerwonego na przebieg procesu suszenia jabłek. *Inż. Rol.* 4, 235–241.
112. Nowak D., Pomarańska-Łazuka W., Lewicki P.P. 2005. Wpływ odmiany selera korzeniowego na przebieg procesu suszenia. *Inżynieria Rolnicza* 9, 233-240.
113. Nowak D., Syta M. 2009. Identyfikacja wpływu stopnia rozdrobnienia, obróbki wstępnej i sposobu suszenia na zawartości barwników betalainowych w suszu z buraków. *Inżynieria Rolnicza* 2(111) 131-137.
114. O'Connor L.J., Favreau-Farhadi N., Barrett A.H. (2018). Use of edible barriers in intermediate moisture food systems to inhibit moisture migration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (2), e13512.
115. Orsat V., Changrue V., Raghavan G.S.V. 2006. Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review* 2006, 6:4
116. Paakkonen K., Havento J., Galambosi B., Pyykkonen M. 1999. Infrared drying of herbs. *Agric Food Sci Finl* 8:19–27.
117. Pan Z., Shih C., McHugh T.H., Hirschberg E. 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT - Food Science and Technology* 41, 1944-1951.
118. Pal S., Bhattacharjee P. 2018. Polypropylene-based packaging materials for shelf-life enhancement of yellow corn (*Zea mays*) kernels: Effects on lutein, aflatoxin content, sensory, and nutritional profiles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (6), e13618.
119. Pałacha Z. 2011. Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2(2), 24-29.
120. Papetti P., Carelli A. 2013. Composition and Sensory Analysis for Quality Evaluation of a Typical Italian Cheese: Influence of Ripening Period. *Czech J. Food Sci* 31 (5), 438–444.

121. Parosa R. 2007. Mikrofałe w przemyśle spożywym. *Przemysł Spożywczy* 1, 15-19.
122. Patel S.M., Doen T., Pikal M. J. 2010. Determination of End Point of Primary Drying in Freeze-Drying Process Control. *AAPS PharmSciTech* 11 (1), 73–84.
123. Pawlicka M. 2016. „Smak bezpieczeństwa. Kierunek Spożywczy 4, 22-25.
124. Pisano R., Fissore D., Barresi A.A.. 2011. Heat Transfer in Freeze-Drying Apparatus. Chapter 8 in *Developments in Heat Transfer* ed. dr Marco Aurelio Dos Santos Bernardes. Intech. ISBN 978-953-307-569-3.
125. Peelman N., Ragaert P., Verguldt E., Devlieghere F., De Meulenaer B. 2016. Applicability of biobased packaging materials for long shelf-life food products. *Packaging Res.*1, 7–20.
126. Pereira R.B., Bennet R.J., Hema Y., Campanella O.H. 2001. Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues. *Journal of Texture Studies* 32, 349–373.
127. Pereira de Abreu D., Cruz J.M., Paseiro-Losada P. 2012. Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, 28 (2), 146-187.
128. Peroń S., Surma M., Krajewski M. 2008. Wpływ zabiegu blanszowania na proces suszenia sublimacyjnego krajanki pietruszki. *Inżynieria Rolnicza* 5 (103), 167-173.
129. PN-EN ISO 3727-1. 2004. Masło. Oznaczenie zawartości wody, suchej masy beztłuszczowej i tłuszczu.
130. PN-ISO 712:2002. Zboża i przetwory zbożowe. Oznaczenie wilgotności. Rutynowa metoda odwoławcza.
131. PN-A-74252, styczeń 1998. Wyroby i półprodukty ciastkarskie. Metody badań.
132. PN-EN ISO 5534, grudzień 2005. Sery i sery topione. Oznaczenie zawartości całkowitej suchej masy. Metoda Odwoławcza
133. PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02. Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
134. PN-EN ISO 9001:2015. Systemy zarządzania jakością. Wymagania.
135. Pozar D.M. 1998. *Microwave Engineering*, Second Edition. John Wiley & Sons. Inc., New York.
136. Rambhatla S., Ramot R., Bhugra C., Pikal M.J. 2004. Heat and Mass Transfer Scale-up Issues during Freeze Drying: II. Control and Characterization of the Degree of Supercooling. *AAPS PharmSciTech* 5 (4), article 58.
137. Rasouli M., Seiedlou S., Ghasemzadeh H.R., Nalbandi H. 2011. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. *AJCS* 5 (13), 1707-1714.
138. Ratti C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49, 311-319.
139. Ratti C., Mujumdar A.S. 2006. *Infrared Drying in Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition pod redakcją Arun S. Mujumdar. Taylor & Francis Group, LLC
140. Regier M., Schubert H. 2001. Microwave processing. In: *Thermal technologies in food processing* (ed. P. Richardson). CRC press, New York, 178-207.
141. Restuccia D.U., Spizzirri G., Parisi O., Cirillo G., Curcio M., Iemma F., Picci N. 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control* 21(11), 1425-1435.

142. Repetowski R. 2008. Rola innowacji w funkcjonowaniu przedsiębiorstw przemysłowych. *Prace Komisji Geografii Przemysłu* 10, str. 173-187.
143. Riadh M.H., Ahmad S.A.B., Marhaban M.H., Soh A.C. 2015. Infrared Heating in Food Drying: An Overview. *Drying Technology* 33, 322–335.
144. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania, poz. 1979.
145. Rutkowska J., Sadowska A. 2009. Jakość ciastek maślanych z dodatkiem poppingu z amarantusa. *Bromat. Chem. Toksykol.* – XLII, 3, 368 – 373.
146. Rząca M., Witrowa-Rajchert D. 2007. Suszenie żywności w niskiej temperaturze. *Przemysł Spożywczy* 4, 30-35.
147. Rząca M., Witrowa-Rajchert D. 2007. Wpływ techniki suszenia na właściwości optyczne suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica*, 10 (2), 445-453.
148. Sakai N., Hanzawa T. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology* 5 (11), 357-362.
149. Salicik K., Elicin A.K., Unal G. 2006. Drying kinetics of Uryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering* Volume 76 (3), 362-368.
150. Sandu C. 1986. Infrared Radiative Drying in Food Engineering: a process analysis. *Biotechnol Prog* 2(3), 109-119.
151. Shih C., Pan Z., McHugh T., Wood D., Hirschberg E. 2008. Sequential infrared radiation and freeze-drying method for producing crispy strawberries, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 51(1), 205-216.
152. Shi J., Pan Z., McHugh T.H., Wood D., Hirschberg E., Olson D. 2008. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating. *LWT - Food Science and Technology* 41, 1962-1972.
153. Shrama G.P., Verma R.C., Pathare P.B. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering* 67, 361–366.
154. Singha V., Guizani N., Al-Alawi A., Claereboudt M., Rahmana S. M. 2013. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date fruits as a function of its physico-chemical properties. *Industrial Crops and Products* 50, 866–873.
155. Skorupska E. 2005. Badanie procesu suszenia konwekcyjnego pietruszki korzeniowej. *Inżynieria Rolnicza* 9 (69), 313-320.
156. Skotnicka E. 2011. Przegląd technologii suszenia materiałów sypkich. *Piece przemysłowe & kotły XI-XII*, 41-44.
157. Soysal Y. 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering* 89 (2), 167-173.
158. Stawasz E. 2010. Rozwój badań nad innowacyjnością małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce. *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica* 234, str. 123-136.
159. Stawczyk J., Li S., Żyłła R. 2004. Freeze drying of food products in a closed system. *Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, vol. B, 949-953.
160. Stępień B. 2007. Wpływ metody suszenia na rehydrację selera. *Inżynieria Rolnicza* 8 (96), 255-263.

161. Stępień B., Maślankowski R., Paślawska M., Jałoszyński K., Surma M. 2016. Effect of osmotic dehydration on mechanical and rheological properties of pumpkin dried with microwave method in reduced pressure conditions. *Agricultural Engineering* 20 (1), 85-194.
162. Szarycz M., Lech K., Jałoszyński K. 2011. Zależność współczynnika dyfuzji wody w kostkach marchwi od temperatury powietrza suszącego. *Inżynieria Rolnicza* 5 (130), 275-282.
163. Surówka K. 1994. Mikrofałe i ich zastosowanie w technologii żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(1), 13-21.
164. Therdthai N., Zhou W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering* 91, 482–489.
165. Togrul H. 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering* 77, 610–619.
166. Ucherek M. 2007. Trwałości produktów spożywczych pakowanych w modyfikowanej atmosferze. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Kraków.
167. Vega-Mercado H., Gongora-Nieto M.M., Barbosa-Canovas G.V.. 2001. Advances in dehydration of food. *Journal of Food Engineering* 49, 271-289.
168. Varela P., Ares G. 2012. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International* 48 (2), 893-908.
169. Vishwanathan K.H., Hebbar H.U., Raghavarao K.S.M.S. 2010. Hot Air Assisted Infrared Drying of Vegetables and Its Quality. *Food Sci. Technol. Res.*, 16 (5), 381 – 388.
170. Wesołowski A. 2009. Wpływ wybranych parametrów suszenia jabłek promieniami podczerwonymi na ich zdolność do pochłaniania wody. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 8(1-2), 23-32.
171. Wesołowski A., Szparaga A., Dymkowska-Malesa M. 2014. Wpływ grubości plastrów jabłek przed suszeniem promiennikowym na ich rehydrację. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1, 65-68.
172. Wiktor A., Nowacka M., Śledź M., Selke M., Witrowa-Rajchert D. 2012. Kinetyka suszenia konwekcyjnego wspomaganego ogrzewaniem mikrofalowym mięszu jabłka – dobór modelu matematycznego. *Engineering Sciences and Technologies* 4 (7), 99-111.
173. Wilkinson C., Dijkstehus G.B., & Minekus M. (2000). From food structure to texture. *Trends Food Sci. Technol.*, 11, 442-450.
174. Witrowa-Rajchert D. 2008. Suszarki sublimacyjne do żywności. *Przemysł Spożywczy* 4, 14-20.
175. Witrowa-Rajchert D. 2009. Nowe trendy w suszeniu żywności. <http://www.agengpol.pl/LinkClick.aspx?fileticket=wq81Lx050Uc%3d&tabid=144>. Dostęp: 30.08.2018, 15:30.
176. Wright A.J., Scanlon M.G., Hartel R.W., Marangoni A.G. 2001. Rheological properties of milkfat and butter. *Journal of Food Science* 66 (8), 1056 – 1071.

177. Wang J., Xi Y.S. 2005. Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. *Journal of Food Engineering* 68 (4), 505-511.
178. Wang X., Chen H., Luo K., Shao J., Yang H. 2008. The Influence of Microwave Drying on Biomass Pyrolysis. *Energy Fuels* 22 (1), 67–74.
179. Wu L., Orikasa T., Tagawa A. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering* 83 (3), 422-429.
180. Zhanga M., Tang J., Mujumdar A.S, Wang S. 2006. Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 17 (10), 524–534.
181. Zhang N., Kenion G., Bankmann D., Mezouari S., Hartman T. G. 2018. Migration studies and chemical characterization of low molecular weight cyclic polyester oligomers from food packaging lamination adhesives. *Packaging Technology and Science* 31, 197–211.
182. Żbikowska A., Krygier K. 2004. Wpływ składu kwasów tłuszczowych na cechy miękiszu ciast biszkoptowo-tłuszczowych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 11(3), 219-22.
183. Żbikowska A., Rutkowska J., Marcinkiewicz A. 2009. Ocena mechanicznych właściwości ciastek kruchych metodą instrumentalną. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (63), 103 – 111.
184. Żontąła K., Łopacka J., Lipińska A., Rafalska U. 2015. Metody termicznej analizy żywności ze szczególnym uwzględnieniem różnicowej kalorymetrii skaningowej. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2, (25/47), 97-104.