

Joanna K. Banach\*  
Ryszard Żywica\*\*

## Próba wykorzystania właściwości przewodnościowych serów dojrzewających do oceny ich zafałszowań olejami roślinnymi

### Wstęp

Fałszowanie żywności, staje się powszechnym zjawiskiem, które dotyczy większości produktów żywnościowych. Fałszowanie żywności to zjawisko polegające na zastępowaniu całkowitym lub częściowym składników pełnowartościowych składnikami tańszymi, bez umieszczenia rzetelnej informacji na opakowaniu o faktycznym składzie produktu. Działania te z jednej strony warunkowane są względami ekonomicznymi producenta: chęć maksymalizacji dochodów przez obniżenie kosztów produkcji, zwiększenie konkurencyjności cenowej produktu na rynku lub ukrycie faktycznego pochodzenia danego produktu, natomiast z drugiej strony oddziałują na aspekt zdrowotny i wprowadzają w błąd konsumenta poprzez zapewnianie o korzystnym wpływie artykułu spożywczego na ich zdrowie [Targoński i Stój, 2005; Sawicki, 2009]. Najłatwiej fałszowaniu poddają się żywnościowe produkty przetworzone, w przypadku których trudno zidentyfikować użyte do ich wyprodukowania składniki. Podstawowym problemem zarówno w Polsce, jak i na świecie jest fałszowanie serów dojrzewających, poprzez zastąpienie tłuszczu mlekowego tłuszczem roślinnym (palmowym) oraz produkcja jawna tego typu wyrobów, lecz o właściwej nazwie – wyroby seropodobne. Olej palmowy ze względu na niską cenę jest najbardziej popularny wśród olejów na świecie i najczęściej stosowany do fałszowania produktów mleczarskich, niestety nie ma to przełożenia na aspekt zdrowotny konsumenta. Olej ten charakteryzuje się niekorzystnym stosunkiem kwasów tłuszczowych nasyconych do wielonienasyconych ok.

---

\* Dr inż., Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego Podstaw Techniki oraz Gospodarki Energią, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, katarzyna.banach@uwm.edu.pl

\*\* Prof. dr hab. inż. prof. ndzw., Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego Podstaw Techniki oraz Gospodarki Energią, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ryszard.zywica@uwm.edu.pl

50/10%, który wpływa na wzrost zachorowań na raka jelita i piersi oraz na podwyższenie poziomu cholesterolu [Ptasznik i Kajzer 1997; NorAini i inni 1998; Cichosz, 2007].

Wykrywanie zafałszowań staje się trudne ze względu na coraz bardziej wyrafinowane metody fałszowania. Obecnie ważnym problemem badawczym jest opracowanie takiej metody analitycznej dla organów inspekcji handlowych, która pozwoliłaby na proste, szybkie oraz jednoznaczne potwierdzenie autentyczności lub wykrycie zafałszowań dostępnych na rynku wyrobów [Pikul i inni 2009; Stołyhwo i Rutkowska, 2007].

Aby określić wpływ stosowanego zamiennika na jakość serów dojrzewających i zdrowie konsumenta, prowadzone są badania nad opracowaniem instrumentalnych metod do wykrywania zafałszowań produktów mleczarskich. Wśród aktualnie stosowanych metod instrumentalnych, do tego celu wykorzystuje się metody [Hort i Grys, 2001; Konuklar i inni 2004; Lobato-Calleros i inni 2007]:

1. Chromatograficzne – analizie są poddawane kwasy tłuszczowe krótkołańcuchowe jako najbardziej charakterystyczne gatunkowo. Brak tych kwasów (szczególnie C4:0 i C18:1) w olejach roślinnych przyczynił się do opracowania metody wykrywania i określania ilości dodanego oleju (do 10%).
2. Immunologiczne – metoda immunoenzymatyczna charakteryzuje się progiem wykrywalności zafałszowań na poziomie 0,5%, natomiast technika ELISA jest stosowana do wykrywania zafałszowań wyrobów mlecznych, m.in. serów dojrzewających od 10 dni do 5 miesięcy.
3. Fizyczne – metoda różnicowej kalorymetrii skaningowej umożliwia wykrycie zafałszowań sera obcym tłuszczem w przedziale od 1 do 20%, natomiast za pomocą spektroskopii w bliskiej podczerwieni próg wykrywalności obcego tłuszczu wynosi 3%.
4. Mechaniczne – określające teksturę serów w sposób destruktywny (metody wytrzymałościowe) i nie destruktywny (metody wykorzystujące fale akustyczne, zjawisko rezonansu własnego, metody laserowe). Są to metody obiektywne, tańsze oraz szybsze, głównie w zastosowaniach przemysłowych [Stołyhwo i Rutkowska, 2007; Truong i inni 2002; Bourne, 2002; Lobato-Calleros i inni 2007; Banach i Żywica 2011].

Oprócz wymienionych wyżej metod identyfikacji i określania autentyczności wyrobów mleczarskich w literaturze naukowej pojawiają się prace dotyczące wykorzystania właściwości elektrycznych do oceny jakości i zmian zachodzących w żywności. Parametry elektryczne wykorzystywa-

no do wykrywania mleka pochodzącego od krów chorych na *mastitis* [Norberg, 2005]; obserwacji przemian składników mleka w procesach homogenizacji i przechowywania mleka [Żywica i Budny 2000; Mabrook i Petty, 2003; Sadat, Mustajab, Khan, 2006; Banach, Żywica, Kiełczewska, 2008] badania dynamiki ukwaszania mleka [ST-Gelais i Chamagne, 1995; Paquet i inni, 2000] oraz określenie stopnia demineralizacji serwatki uzyskanej w technologii sera cheddar [Lin Teng Shee, Bazinet, 2005].

W dostępnej literaturze nie znaleziono wyników badań wykorzystujących właściwości elektryczne serów dojrzewających do oceny ich zafałszowań olejami roślinnymi w związku z powyższym podjęto badania, których celem była próba wykorzystania właściwości przewodnościowych serów dojrzewających do oceny ich zafałszowań olejem palmowym oraz określenie zależności matematycznych między elektrycznymi a właściwościami mechanicznymi sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan.

## 1. Materiał i metodyka badań

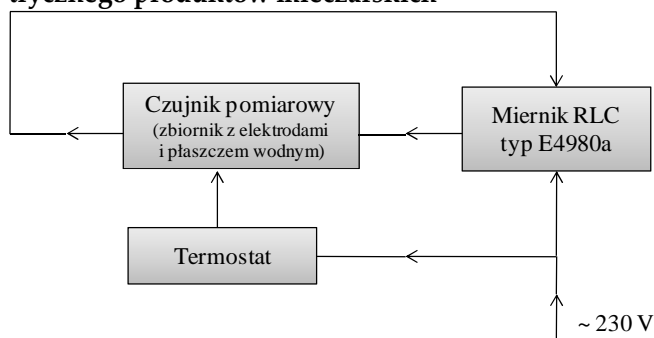
Przedmiotem badań był ser dojrzewający typu holenderskiego – Edamski oraz produkt seropodobny – Edan o różnym stopniu dojrzałości, produkowany zgodnie z technologią stosowaną w Spółdzielni Mleczarskiej X zlokalizowanej w północno-wschodniej części Polski. Badane wyroby mleczarskie zróżnicowane zostały na etapie procesu normalizacji zawartości tłuszczu mlekowego. W procesie produkcji sera Edamskiego mleko standardowo znormalizowano do zawartości 3,2 % tłuszczu mlekowego, natomiast przy produkcji wyrobu Edan tłuszcz mlekowy został zastąpiony tłuszczem palmowym o takiej samej zawartości. Parametry fizykochemiczne (pH, zawartość wody, zawartość tłuszczu w suchej masie) sera Edamskiego spełniały wymagania polskiej normy (PN-68/A-86230 „Mleko i przetwory mleczarskie. Sery podpuszczkowe dojrzewające”), a wyrób seropodobny Edan spełniał wymagania normy zakładowej (ZN05/OSM/10).

### 1.1. Badania właściwości przewodnościowych

Przed przystąpieniem do badań właściwości przewodnościowych wyrobów mleczarskich, z każdego bloku sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego – Edan, surowego oraz dojrzewających 3 dni i 1, 2, 4 tygodnie, wycinano 3 próbki w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 96 x 54,5 x 74,5 mm (ok. 400 g). Wielkość przygotowywanych próbek dostosowana była do wymiarów zbiornika pomiarowego (własnej konstrukcji) i przylegania próbek do dwóch przeciwległych elektrod płytowych, zamontowanych na ściankach (o większej powierzchni) zbiornika szklanego. Umiesz-

czone w zbiorniku próbki wstawiano do komory klimatyzacyjnej firmy Memmert i przechowywano przez ok. 2h, aż do uzyskania w środku geometrycznym próbek temperatury ok. 20°C. Następnie zbiornik przenoszono do układu termostaticznego (zbiornik z płaszczem wodnym + termostat), który za pomocą przystawki pomiarowej (będącej na wyposażeniu miernika) łączono z miernikiem LCR firmy Agilent typu E4980a (zob. rysunek 1).

**Rysunek 1. Schemat blokowy stanowiska do badania przewodnictwa elektrycznego produktów mleczarskich**



Źródło: Opracowanie własne.

Właściwości przewodnościowe serów i wyrobów seropodobnych surowych określono na podstawie pomiarów impedancji ( $Z$ ) w zakresie częstotliwości od 20Hz do 2MHz, przy stałym napięciu 200mV, natomiast pomiary impedancji materiału doświadczalnego dojrzewającego 3 dni oraz 1, 2 i 4 tygodnie wykonano przy częstotliwości 20, 2 000 i 200 000 Hz. Badania elektryczne prowadzono w 9 powtórzeniach dla każdej próbki.

## 1.2. Badania właściwości mechanicznych

Właściwości mechaniczne badanych wyrobów mleczarskich określano za pomocą uniwersalnego urządzenia testującego INSTRON, typ 4301 wykonując test: przebijania, cięcia i ściskania, w 16 powtórzeniach dla każdej próby. Wyniki testów analizowano za pomocą komputera z oprogramowaniem: Instron Series IX, Automated Material Testing System Version 8.04.

Test przebijania przeprowadzono na próbkach o wymiarach – 30 x 5 x 30 mm, za pomocą trzpienia płaskościętego o średnicy 6,4 mm przy prędkość elementów roboczych 50 mm/min., wykonując pomiary maksymalnej siły przebicia ( $F_p$ ). Test cięcia przeprowadzono na próbkach w kształcie prostokąta o wymiarach - 10 x 10 x 30 mm, za pomocą układu tnącego jednożowego Warnera-Bratzlera, typ 2830-013: kąt ostrza 60°, gru-

bość noża 1,016 mm, prędkość elementów roboczych 50 mm/min; wykonując pomiar maksymalnej siły cięcia ( $F_c$ ). Test ściskania przeprowadzono na próbkach w kształcie sześciangu o wymiarach 10 x 10 x 10 mm, wykonując pomiary maksymalnej siły ściskania ( $F_s$ ).

Analizę statystyczną impedancji i parametrów tekstury sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan przeprowadzono za pomocą programu *Excel* i *Statistica* 9.0 wykonując analizę wariacji ANOVA 1 – czynnikową oraz regresji liniowej.

## 2. Omówienie wyników badań

### 2.1. Charakterystyka właściwości mechaniczno-elektrycznych surowca

Wyniki pomiarów parametrów tekstury surowego sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan wykazały, że wartości maksymalnej siły cięcia ( $F_c$ ) i maksymalnej siły ściskania ( $F_s$ ) sera Edamskiego wynosiły odpowiednio 20,92 N i 22,20 N i były mniejsze o 10 i 0,8% od  $F_c$  i  $F_s$  wyrobu seropodobnego Edan, natomiast wartość maksymalnej siły przebicia ( $F_p$ ) sera Edamskiego była większa o 9% od wartości  $F_p$  wyrobu Edan, która wynosiła 3,33 N. Analiza statystyczna nie wykazała jednak istotnych różnic między parametrami tekstury  $F_c$ ,  $F_p$  i  $F_s$  sera Edamskiego a  $F_c$ ,  $F_p$  i  $F_s$  wyrobu seropodobnego Edan (zobacz tablica 1).

**Tablica 1. Charakterystyka właściwości mechanicznych surowego sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan**

Parametry tekstury	Ser Edamski		Wyrób seropodobny Edan	
	X	V [%]	X	V [%]
$F_c$ [N]	20.92 <sup>a</sup>	35.23	23.25 <sup>a</sup>	18.26
$F_p$ [N]	3.64 <sup>a</sup>	22.78	3.33 <sup>a</sup>	18.10
$F_s$ [N]	22.20 <sup>a</sup>	46.58	22.39 <sup>a</sup>	25.91

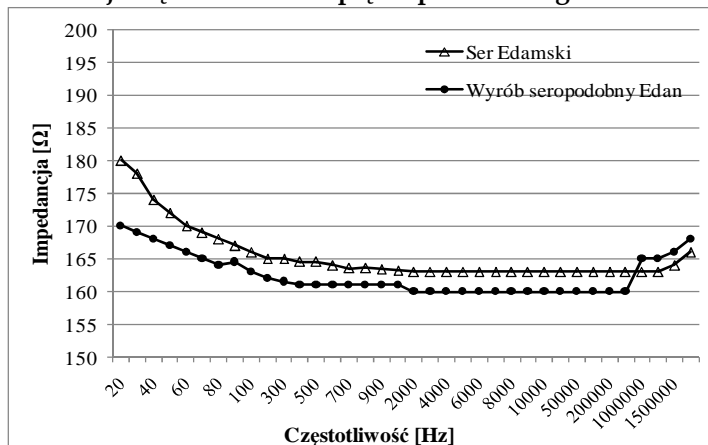
X – wartość średnia; V – współczynnik zmienności;  $F_c$  – maksymalna siła cięcia;  $F_p$  – maksymalna siła przebicia;  $F_s$  – maksymalna siła ściskania, <sup>a-a</sup> – brak istotnych różnic w kolumnach

Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki pomiarów impedancji (Z) surowych produktów mleczarskich wykazały, że w zakresie częstotliwości od 20 do 200 kHz wyższymi jej wartościami charakteryzował się ser Edamski w porównaniu do wartości Z wyrobu seropodobnego Edan. Zaobserwowane tempo i tendencje zmian wartości Z zarówno sera Edamskiego jak i wyrobu Edan w funkcji zmian częstotliwości w zakresie od 20 do 2 MHz, skłoniły do szczegółowej analizy wyników pomiaru w 3 zakresach. W pierwszym zakresie, czyli od 20 do 2

kHz, odnotowano największe tempo zmian wartości  $Z$ , która dla sera Edamskiego zmieniała się od ok. 180 do ok. 163  $\Omega$ , natomiast dla wyrobu Edan od wartości ok. 170 do 160  $\Omega$ . W kolejnym zakresie od 2 do 200 kHz) wartości  $Z$  utrzymywały się na zbliżonym poziomie – dla sera Edamskiego 163  $\Omega$ , a dla wyrobu Edan 160  $\Omega$ . W trzecim zakresie częstotliwości (200 kHz-2 MHz) wartość  $Z$  sera Edamskiego wzrosła z ok. 2% do wartości ok. 166  $\Omega$ , zaś wyrobu Edan wzrosła o 5% do wartości wynoszącej 168  $\Omega$ . Analiza statystyczna potwierdziła istotne różnice ( $\alpha \leq 0,01$ ) między wartościami  $Z$  sera Edamskiego a wartościami  $Z$  wyrobu Edan w dwóch pierwszych zakresach częstotliwości 20 Hz – 2 kHz oraz 2 – 200 kHz (zob. rysunek 2).

**Rysunek 2. Zmiany impedancji sera Edamskiego i wyrobu Edan surowych, w funkcji częstotliwości napięcia pomiarowego**



Źródło: Opracowanie własne.

Mając powyższe na uwadze, do dalszej analizy wyników pomiarów  $Z$  i próby określenia zależności między  $Z$  a parametrami tekstury w czasie dojrzewania badanych produktów mleczarskich wykorzystano wartości  $Z$  zmierzone przy częstotliwości 20 Hz, 2 kHz oraz 200 kHz, które reprezentują analizowane powyżej zakresy częstotliwości

## 2.2. Zmiany właściwości mechaniczno-elektrycznych sera i wyrobu seropodobnego w czasie ich dojrzewania

Wyniki badań tekstury sera Edamskiego i wyrobu Edan w funkcji czasu ich dojrzewania wykazały, że wraz ze zwiększeniem czasu dojrzewania (3, 7, 14 i 28 dni) wartości  $F_s$  proporcjonalnie zmniejszały się: sera Edamskiego z 38,71 do 18,54 N, natomiast wyrobu Edan z 30,70 do 14,33 N. Takiej tendencji zmian nie zaobserwowano w pozostałych parametrach tekstury –  $F_p$  i  $F_c$ . Zarówno wartości  $F_p$  i  $F_c$  sera Edamskiego i wyrobu Edan

w 7 dniu dojrzewania zmniejszyły się, po czym w 14 dniu zwiększyły się i ponownie 28 dnia się zmniejszyły (zob. tablica 2).

**Tablica 2. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości parametrów tekstury ( $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_s$ ) sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan dojrzewających 3, 7, 14 i 28 dni**

T [dni]	$F_c$ [N]				$F_p$ [N]				$F_s$ [N]			
	Edamski		Edan		Edamski		Edan		Edamski		Edan	
	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V
3	6,24	39,13	11,73	6,62	4,59	12,75	3,39	26,47	38,71	42,64	30,70	33,09
7	5,09	11,92	6,01	14,21	4,57	10,92	4,13	15,80	26,44	32,21	23,29	37,62
14	7,58	9,28	7,15	10,49	3,73	20,76	3,11	16,97	20,13	34,31	16,66	26,05
28	5,07	12,35	4,56	4,60	3,93	10,59	3,24	12,45	18,54	30,75	14,33	29,56

X – wartość średnia; V[%] – współczynnik zmienności;  $F_c$  – maksymalna siła cięcia;  $F_p$  – maksymalna siła przebicia;  $F_s$  – maksymalna siła ściskania, T – czas dojrzewania  
Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki pomiarów impedancji, wyrobu seropodobnego Edan wykazały, że wraz ze zwiększeniem czasu dojrzewania jej wartości zmniejszały się, przy częstotliwości: 20 Hz – do wartości 48,72  $\Omega$ , tj. o ok. 79 %; 2 kHz – do wartości 38,56  $\Omega$ , tj. o ok. 65 % a przy 200 kHz – do wartości 37,81  $\Omega$ , tj. o ok. 61 %. Wartości impedancji sera Edamskiego w czasie jego dojrzewania, w porównaniu do zmian wartości Z wyrobu Edan, nie miały liniowego charakteru. Zmiany Z sera Edamskiego, zmierzonej przy częstotliwościach 20 Hz, 2 kHz oraz 200 kHz, można porównać ze zmianami parametrów tekstury  $F_p$  i  $F_c$ , które w czasie dojrzewania przemiennie zmniejszały się wzrastały i po 28 dniach dojrzewania ponownie zmniejszały się. Zaobserwowano również, że tempo zmian wartości Z sera Edamskiego w czasie dojrzewania, w porównaniu do tempa zmian tego parametru wyrobu seropodobnego Edan, było mniejsze. Wartości Z zmniejszyły się: przy 20 Hz do wartości 69,75  $\Omega$ , tj. o ok. 46 %; przy 2 kHz – do wartości 44,78  $\Omega$ , tj. o ok. 44 %, zaś przy 200 kHz – do wartości 42,49 %, tj. o ok. 42 % (zob. tablica 3).

Przeprowadzona analiza statystyczna zmian parametrów tekstury ( $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_s$ ) sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan w funkcji czasu dojrzewania wykazała zależności matematyczne opisane równaniami  $y = a + bx$  ( $\alpha = 0,01$ ;  $-0,238 \leq r \leq -0,887$ ) na podstawie których znając wartości  $F_p$ ,  $F_c$  i można określić czas osiągnięcia pełnej dojrzałości badanych produktów mleczarskich. Najbardziej istotne zależności matematyczne uzyskano dla parametru  $F_s$  charakteryzującego zmiany tekstury (kruchości) sera Edam-

skiego ( $p = 0,180$ ;  $r = -0,820$ ) oraz wyrobu seropodobnego Edan ( $p = 0,113$ ;  $r = -0,887$ ) – tablica 4.

**Tablica 3. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości impedancji, zmierzonej przy wybranych częstotliwościach napięcia pomiarowego sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan dojrzewających 3, 7, 14 i 28 dni**

Czas dojrzewania [dni]	f	Impedancja sera Edamskiego [ $\Omega$ ]		Impedancja wyrobu seropodobnego Edan [ $\Omega$ ]	
		X	V [%]	X	V [%]
3	20Hz	128,52	24,64	233,17	49,31
	2kHz	79,82	10,44	110,68	21,34
	200kHz	73,26	12,50	95,92	13,89
7	20Hz	88,17	1,04	87,46	1,55
	2kHz	73,75	1,15	73,68	1,56
	200kHz	73,60	1,15	73,49	1,58
14	20Hz	129,54	64,61	52,06	3,46
	2kHz	74,04	42,65	42,69	8,47
	200kHz	70,38	40,71	42,09	8,36
28	20Hz	69,75	13,79	48,72	3,53
	2kHz	44,78	1,02	38,56	7,64
	200kHz	42,49	1,26	37,81	9,05

X – wartość średnia; V – współczynnik zmienności; f – częstotliwość

Źródło: Opracowanie własne.

**Tablica 4. Analiza korelacji parametrów tekstury ( $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_s$ ) w funkcji czasu dojrzewania sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan**

Parametr tekstury	Rodzaj wyrobu	r	p	Równanie regresji
$F_p$ [N]	Edamski	-0,648	0,351**	$T = 4,589 - 0,030 \times F_p$
	Edan	-0,463	0,537**	$T = 3,717 - 0,019 \times F_p$
$F_c$ [N]	Edamski	-0,238	0,762**	$T = 6,330 - 0,026 \times F_c$
	Edan	-0,762	0,238**	$T = 10,153 - 0,215 \times F_c$
$F_s$ [N]	Edamski	-0,820	0,180**	$T = 34,842 - 0,684 \times F_s$
	Edan	-0,887	0,113**	$T = 28,971 - 0,594 \times F_s$

f – częstotliwość napięcia pomiarowego; r – współczynnik korelacji; p – poziom istotności obliczony, \*\* istotność różnic na poziomie założonym  $\alpha \leq 0,01$ ; T – czas dojrzewania wyrobów mleczarskich;  $F_c$  – maksymalna siła cięcia;  $F_p$  – maksymalna siła przebiccia;  $F_s$  – maksymalna siła ściskania

Źródło: Opracowanie własne.



Analiza statystyczna zmian impedancji ( $Z$ ), zmierzonej przy częstotliwości 20Hz, 2kHz i 200kHz, w funkcji czasu dojrzewania ( $T$ ) wykazała, zależności matematyczne określone równaniem  $y = a \pm bx$  ( $\alpha = 0,01$ ;  $-0,648 \leq r \leq -0,951$ ). Najbardziej istotną zależnością odznaczały się równania regresji wyznaczone na podstawie wartości impedancji zmierzonej przy częstotliwościach 2 i 200 kHz. Równania określające zależność między czasem osiągnięcia dojrzałości sera Edamskiego, charakteryzowały się najwyższym współczynnikiem korelacji  $r = (-0,942)$  i  $r = (-0,951)$  oraz poziomem istotności  $p = 0,049$  i  $p = 0,058$ , natomiast równania określające czas dojrzewania wyrobu Edan charakteryzowały się odpowiednio:  $r = (-0,842)$  i  $r = (-0,874)$  oraz  $p = 0,158$  i  $p = 0,126$  (zob. tablica 5).

**Tablica 5. Analiza regresji impedancji zmierzonej przy wybranych częstotliwościach napięcia pomiarowego w funkcji czasu dojrzewania sera Edamskiego i wyrobu Edan**

f	Rodzaj wyrobu	r	p	Równanie regresji
20 Hz	Edamski	- 0,648	0,351**	$T = 126,922 - 1,764 \times Z$
	Edan	- 0,723	0,277**	$T = 179,819 - 5,728 \times Z$
2 kHz	Edamski	- 0,951	0,049**	$T = 85,872 - 1,367 \times Z$
	Edan	- 0,842	0,158**	$T = 99,721 - 2,563 \times Z$
200 kHz	Edamski	- 0,942	0,058**	$T = 81,684 - 1,289 \times Z$
	Edan	- 0,874	0,126**	$T = 90,730 - 2,185 \times Z$

f – częstotliwość napięcia pomiarowego; r – współczynnik korelacji; p – poziom istotności obliczony, \*\* istotność różnic na poziomie założonym  $\alpha \leq 0,01$ ; T – czas dojrzewania wyrobów mleczarskich; Z – impedancja

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie uzyskanych istotnych zależności ( $\alpha = 0,01$ ) między wartościami impedancji a wartościami  $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_s$  w funkcji czasu ich dojrzewania (tablica 4, 5), przeprowadzono również analizę matematyczną między wartościami  $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_s$  a wartościami impedancji mającą na celu wyznaczenie równań regresji typu  $y = a + bx$ , za pomocą których na podstawie wartości impedancji można prognozować teksturę a tym samym kruchość badanych produktów w czasie procesu dojrzewania i po jego zakończeniu (zobacz tablica 6). Wyznaczone równania regresji, pozwalające na prognozowanie tekstury sera Edamskiego, charakteryzowały się współczynnikiem korelacji  $0,028 \leq r \leq 0,867$  na poziomie istotności  $p = 0,972 - 0,133$ , przy czym najbardziej istotną zależnością ( $r = 0,867$ ;  $p = 0,133$ ) charakteryzowały się równania, wyznaczone na podstawie parametrów  $F_c$  i  $Z$  zmierzonej przy często-

tliwości 20 Hz. W odróżnieniu od równań regresji prognozujących teksturę sera Edamskiego, teksturę wyrobu seropodobnego Edan, można prognozować w znacznie szerszym zakresie wykorzystując zależności między  $F_c$ ,  $F_s$  i  $Z$ , zmierzonej przy wszystkich analizowanych częstotliwościach napięcia pomiarowego. Wyznaczone równania regresji charakteryzowały się współczynnikiem korelacji  $0,085 \leq r \leq 0,996$  na poziomie istotności  $p = 0,915 - 0,004$ , przy czym najbardziej istotną zależnością charakteryzowały się równania wyznaczone na podstawie  $F_p$ ,  $F_c$  i  $Z$  zmierzonej przy częstotliwości 20 Hz oraz 2 i 200 kHz ( $0,801 \leq r \leq 0,996$ ,  $p = 0,199 - 0,004$ ).

**Tablica 6. Analiza regresji parametrów tekstury ( $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_s$ ) i impedancji ( $Z$ ) zmierzonej przy wybranych częstotliwościach pomiarowych dla sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan**

f	r	p	Równanie regresji
			Ser Edamski
20 Hz	0,028	0,972**	$F_p = 4,160 + 0,001 \times Z$
	0,867	0,133**	$F_c = 2,404 + 0,034 \times Z$
	0,499	0,501**	$F_s = 10,024 + 0,153 \times Z$
2 kHz	0,489	0,511**	$F_p = 3,267 + 0,014 \times Z$
	0,511	0,490**	$F_c = 3,377 + 0,038 \times Z$
	0,593	0,407**	$F_s = -0,473 + 0,388 \times Z$
200 kHz	0,502	0,498**	$F_p = 3,239 + 0,015 \times Z$
	0,441	0,559**	$F_c = 3,731 + 0,035 \times Z$
	0,593	0,407**	$F_s = 2,486 + 0,361 \times Z$
Wyrób seropodobny Edan			
20 Hz	0,085	0,915**	$F_p = 3,418 + 0,001 \times Z$
	0,930	0,070**	$F_c = 3,869 + 0,033 \times Z$
	0,941	0,059**	$F_s = 12,854 + 0,080 \times Z$
2 kHz	0,354	0,646**	$F_p = 3,143 + 0,005 \times Z$
	0,858	0,142**	$F_c = 2,079 + 0,080 \times Z$
	0,996	0,004**	$F_s = 6,682 + 0,219 \times Z$
200 kHz	0,468	0,532**	$F_p = 2,979 + 0,008 \times Z$
	0,801	0,199**	$F_c = 1,728 + 0,090 \times Z$
	0,994	0,006**	$F_s = 4,646 + 0,266 \times Z$

f – częstotliwość napięcia pomiarowego; r – współczynnik korelacji; p – poziom istotności obliczony, \*\* istotność różnic na poziomie założonym  $\alpha \leq 0,01$ ;  $F_c$  – maksymalna siła cięcia;  $F_p$  – maksymalna siła przebicia;  $F_s$  – maksymalna siła ściskania

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują na istnienie zależności między wartościami impedancji a wartościami maksymalnych sił cięcia, przebijania i ściskania oraz między wartościami tych parametrów a czasem przechowywania. Zależności te umożliwiają prognozowanie tekstury, a tym samym kruchości sera i wyrobów seropodobnych, a także prognozowanie czasu osiągnięcia pełnej dojrzałości badanych produktów mleczarskich na podstawie wartości impedancji. Biorąc pod uwagę, że pomiary impedancji są łatwe i szybkie w wykonaniu, mogą one w przyszłości zastąpić znacznie trudniejsze do przeprowadzenia pomiary tekstury. Niezbędne są jednak dalsze badania w tym zakresie z uwzględnieniem innych parametrów elektrycznych.

Wyniki badań mechanicznych potwierdzają wyniki badań Stampanonego i Noblea [1991], którzy wykazali, że zamiana tłuszczu mlekowego na tłuszcz palmowy w produkcji analogu Edan wpłynęła na uzyskanie wyrobu bardziej miękkiego i mniej sprężystego niż sery produkowane na bazie tłuszczu mlekowego.

### **Zakończenie**

Wyniki badań mechanicznych właściwości sera Edamskiego oraz jego analogu Edan (test przebijania, cięcia, ściskania) wskazują jednoznacznie, że dodatek oleju palmowego zmniejsza twardość a zwiększa elastyczność wyrobu seropodobnego w porównaniu do sera. Zwiększa tym samym jego delikatność i może wpływać na wzrost konkurencyjności wyrobu seropodobnego Edan na rynku handlowym.

Wykonana analiza korelacji i regresji liniowej maksymalnej siły cięcia, przebijania i ściskania w funkcji impedancji w serach i w wyrobach seropodobnych wykazała, że przy częstotliwości 20Hz oraz 2 i 200 kHz, istnieją między nimi zależności matematyczne określone równaniem  $y = ax \pm b$  na podstawie, których znając wartość impedancji można prognozować wartości maksymalnych sił cięcia, przebijania i ściskania, a tym samym kruchość tych produktów zarówno w czasie procesu dojrzewania, jak i po jego zakończeniu.

Uzyskane wyniki uzasadniają celowość prowadzenia dalszych badań nad opracowaniem metod rozróżniania i identyfikacji serów oraz wyrobów seropodobnych a także wykrywania zafałszowań serów dojrzewających na podstawie pomiarów impedancji i innych parametrów elektrycznych.

## Literatura

1. Banach J.K., Żywica R. (2011), *Assessment of mechanical properties of ripening Edamski cheese and its analog Edan*, Filipiak M., Gwiazdowska D., Śmigielska H. (red.), *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, „Quality and Safety of Food”*, nr 214
2. Banach J.K., Żywica R., Kielczewska K. (2008), *Effect of homogenization on milk conductance properties*, „*Polish Journal of Food and Nutrition Science*”, vol. 58.
3. Bourne, M.C. (2002), *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, Second Edition. Academic Press, London.
4. Cichosz G. (2007), *Zdrowotne skutki substytucji tłuszczu mlekowego olejami roślinnymi*, „*Przegląd Mleczarski*”, nr 12.
5. Hort J., Grys G.L. (2001), *Development in the textural and rheological properties of UK Cheddar cheese during ripening*, „*International Dairy Journal*”, vol. 11.
6. Konuklar G., Inglett G.E., Warner K., Carriere C.J. (2004), *Use of a  $\beta$ -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels*, „*Food Hydrocolloids*”, vol. 18.
7. Lin Teng Shee F. Bazinet P.A. (2005), *Relationship between electrical conductivity and demineralization rate during electroacidification of cheddar cheese whey*, „*Journal of Membrane Science*”, vol. 265.
8. Lobato-Calleros C., Reyes-Hernández J., Beristain C.I., Hornelas-Uribe Y., Sánchez-García J.E., Vernon-Carter E.J. (2007), *Microstructure and texture of white fresh cheese made with canola oil and whey protein concentrate in partial or total replacement of milk fat*, „*Food Research International*”, vol. 40.
9. Mabrook M.F., Petty M.C. (2003), *Effect of composition on the electrical conductance of milk*, „*Journal of Food Engineering*”, vol. 60.
10. NorAini I., Hanirah H., Siew W.L., Yusoff M.S.A. (1998), *Cold stability of red palm oleins*, „*Journal of the American Oil Chemists' Society*”, vol. 75.
11. Norberg E. (2005), *Electrical conductivity of milk as phenotypic and genetic indicator of bovine mastitis: A review*, „*Livestock Production Science*”, vol. 96.
12. Paquet J., Lacroix C., Audet P., Thibault J. (2000), *Electrical conductivity as tool for analysing fermentation processes for production of cheese starters*, „*International Dairy Journal*”, vol. 10.

13. Pikul J., Nogala-Kałużka M., Siger A. (2009), *Charakterystyka tokochromanoli w wybranych produktach mleczarskich z dodatkiem olejów roślinnych*, „Żywność Nauka Technologia Jakość”, 4(65).
14. Ptasznik S., Kajzer A. (1997), *Właściwości olejów palmowych i kierunki ich zastosowania*, „Tłuszcze Jadalne”, 1, 31 nr 2-3.
15. Sadat A., Mustajab P., Khan I.A. (2006), *Determining the adulteration of natura milk with synthetic milk using Ac conductance measurement*, „Journal of Food Engineering”, vol. 77.
16. Sawicki W. (2009), *Fałszowanie żywności od czasów starożytnych do dziś*, „Przemysł Spożywczy”, t. 63.
17. Stampanoni C.R. Noble A.C. (1991), *The influence of fat, acid and salt on the temporal perception of firmness, saltiness and sourness of cheese analogs*, „Journal of Texture Studies”, vol. 22.
18. St-Gelais D., Champagne C. P. (1995), *The use of electrical conductivity to follow acidification of dairy blends*, „International Dairy Journal”, vol. 5.
19. Stołyhwo A., Rutkowska J. (2007), *Tłuszcze obce w wyrobach mleczarskich na tle Prawa Żywnościowego UE (i krajowego). Niezawodność nowych metod wykrywania*, „Przegląd Mleczarski”, nr 2.
20. Targoński Z., Stój A. (2005), *Zafałszowanie żywności i metody ich wykrywania*, „Żywność Nauka Technologia Jakość”, 4 (45).
21. Truong V. D., Daubert C. R., Drake M. A., Baxter S. R. (2002), *Vane rheometry for textural characterization of cheddar cheeses: correlation with other instrumental and sensory measurements*, „Lebensm.-Wiss. u.-Technol.”, vol. 35.
22. Żywica R. Budny J. (2000), *Changes of selected physical and chemical parameters of raw milk during storage*, „Czech Journal of Food Sciences”, vol. 245.

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań, których celem była próba wykorzystania właściwości przewodnościowych serów dojrzewających do oceny ich zafałszowań olejem palmowym oraz określenie zależności matematycznych między właściwościami elektrycznymi i mechanicznymi sera Edamskiego i wyrobu seropodobnego Edan.

Przedmiotem badań był ser dojrzewający typu holenderskiego – Edamski oraz wyrób seropodobny – Edan o różnym stopniu dojrzałości, produkowany zgodnie z technologią stosowaną w Spółdzielni Mleczarskiej X. W procesie produkcji sera Edamskiego mleko standardowo znormalizowano do zawartości 3,2% tłuszczu mlekowego, natomiast przy produkcji wyrobu Edan tłuszcz mle-

kowy został zastąpiony tłuszczem palmowym o takiej samej zawartości. Właściwości mechaniczne badanych produktów mleczarskich określano za pomocą urządzenia INSTRON, typ 4301. Pomiar impedancji wykonano miernikiem Agilent typ E4980a.

Wykonana analiza korelacji i regresji liniowej maksymalnej siły cięcia, przebijania i ściskania w funkcji impedancji w serach i w wyrobach seropodobnych wykazała, że przy częstotliwości 20 Hz oraz 2 i 200 kHz, istnieją między nimi zależności matematyczne określone równaniem  $y = ax \pm b$  na podstawie, których znając wartość impedancji można określić wartości maksymalnych sił cięcia, przebijania i ściskania, a tym samym kruchość tych produktów.

### **Słowa kluczowe**

ser dojrzewający, olej palmowy, impedancja, tekstura, jakość

### **An attempt to use the electrical conductivity of ripening cheeses for the evaluation of their adulteration with vegetable oils (Summary)**

In this paper the preliminary research results have been presented which were performed in order to use the conductivity properties of different ripening cheeses for the evaluation of their adulteration with palm oil and the determination of mathematical relationships between the electrical and mechanical properties for Edamski cheese and Edan cheese-like product.

A subject of the study was Edamski cheese (Dutch-type ripening cheese) and Edan cheese-like product of a different degree of maturity, manufactured by the method applied in a Polish dairy co-operative. In the Edam manufacturing process the milk was standardized to the milk fat content of 3.2% and in the manufacturing of Edan cheese-like product the milk fat was replaced with the equivalent amount of palm oil, accordingly. The mechanical properties of the studied dairy products were measured by means of the INSTRON model 4301 universal test machine. The Agilent model E4980a meter was used for impedance measurements of dairy products.

The correlation and linear regression analysis for the maximum cutting, puncture and compression forces vs. the impedances of cheese and cheese-like product, respectively, showed that the mathematical relationships described by the equations  $y = ax \pm b$ , occurred between these variables at the frequencies of 20 Hz, 2 kHz and 200 kHz. On this basis, knowing the impedance value, the maximum forces of cutting, puncture and compression, thus the firmness of these products may be determined.

### **Keywords**

ripening cheese, palm oil, impedance, texture, quality