

EMIL SZYMAŃSKI, JERZY SZPENDOWSKI, RYSZARD ŻYWICA,  
JOANNA K. BANACH

## WPLYW DODATKU KONCENTRATU PARTYKUŁOWANYCH BIAŁEK SERWATKOWYCH DO MLEKA SEROWARSKIEGO NA JEGO WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE

### Streszczenie

W pracy podjęto badania nad określeniem wpływu dodatku koncentratu partykułowanych białek serwatkowych (PWPC) do mleka serowarskiego na wybrane właściwości elektryczne tego mleka. Materiał badawczy stanowił koncentrat partykułowanych białek serwatkowych, mleko serowarskie bez dodatku PWPC oraz z dodatkiem wynoszącym 1 i 2 % PWPC. Wszystkie próby poddawane analizie otrzymano w warunkach przemysłowych. Przebadano takie wyróżniki, jak: impedancję, admitancję, pojemność szeregową i kąt przesunięcia fazowego.

Badania wykazały, że dodatek PWPC do mleka serowarskiego powodował znaczącą zmianę współczynników przewodnościowych dopiero przy 2 % dodatku PWPC. Natomiast przy dodatku 1 % wartości tych współczynników nie różniły się statystycznie od wyników mleka bez dodatku koncentratu. Przy 1 % dodatku partykułatu do mleka istotnie malał współczynnik pojemnościowy  $C_s$  w porównaniu z mlekiem bez dodatku partykułatu. Jednak różnica wielkości zmniejszenia tego współczynnika w przypadku mleka z 1- i 2 % dodatkiem była już statystycznie nieistotna. Ponadto zmiana częstotliwości pomiaru w każdym przypadku miała wpływ na mierzone wielkości, przy czym największe zmiany obserwowano w zakresie 20 Hz ÷ 200 Hz, natomiast powyżej 400 Hz zmiany te były już istotne.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że na podstawie zmian przedstawionych właściwości elektrycznych mleka serowarskiego nie można określić dodatku PWPC pod względem ilościowym, a jedynie pod względem jakościowym.

**Słowa kluczowe:** partykulacja, białka serwatkowe, właściwości elektryczne, impedancja, admitancja, pojemność szeregową, kąt przesunięcia fazowego

---

*Prof. dr hab. inż. J. Szpendowski, mgr inż. E. Szymański, Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością, ul. Oczapowskiego 7, dr hab. R. Żywica, dr inż. J. K. Banach, Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego, Podstaw Techniki oraz Gospodarki Energią, Pl. Cieszyński 1, Wydz. Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 10-719 Olsztyn*

## Wprowadzenie

Jednym z podstawowych czynników warunkujących prawidłowy przebieg procesu technologicznego jest wysoka jakość mleka. W czasach powszechnie stosowanej automatyzacji bardzo ważne jest opracowanie szybkich metod instrumentalnych służących do oceny jakości mleka. Surowiec ten pod względem elektrycznym jest elektrolitem dobrze przewodzącym prąd elektryczny, głównie dzięki przewodnictwu jonowemu [10], natomiast na zmniejszenie przewodności elektrycznej mleka wpływa tłuszcz, który będąc dipolem charakteryzuje się bardzo niską przewodnością elektryczną [1].

Właściwości elektryczne mleka są przedmiotem wielu badań mających na celu stworzenie szybkich metod oceny jakości mleka i jego składu chemicznego [4, 7, 9]. Dotychczas opracowano metodę pozwalającą na wykrywanie stanu zapalnego wymienia (*mastitis*) u krów na podstawie zmian w układzie soli mineralnych i laktozy spowodowanych tym schorzeniem, które bezpośrednio wpływają na elektryczny charakter mleka [13, 14]. W technologii mleczarskiej pomiar właściwości elektrycznych jest wykorzystywany również do obserwacji przemian składników mleka podczas procesów technologicznych takich, jak homogenizacja i przechowywanie mleka [1, 10, 16, 21]. Opracowano również metody wykorzystywania parametrów elektrycznych do kontrolowania przebiegu produkcji napojów fermentowanych za pomocą pomiaru dynamiki ukwaszania, poprzez pomiar zawartości laktozy w mleku poddanemu ukwaszaniu oraz dzięki kontroli zawartości rozpuszczalnych soli mineralnych i pomiarowi pH [18]. Podejmowano również badania w celu wyznaczenia elektrycznego modelu mleka rekombinowanego [20] oraz oszacowania stopnia demineralizacji serwatki [8] i wpływu zawartości jonów wapnia na właściwości elektryczne serwatki i permeatu ultrafiltracyjnego [19].

Ważnym kierunkiem badania właściwości elektrycznych mleka jest możliwość zastosowania pomiaru tych wyróżników do określania stopnia rozwodnienia mleka, które jest powszechną metodą jego fałszowywania. Metody standardowe, które polegają na pomiarze temperatury zamarzania mleka (metoda krioskopowa) lub na zmianie refrakcji światła są kosztowne, czasochłonne i trudne do zastosowania w szybkiej analizie surowca. Dlatego też dąży się do opracowania szybkiej i niezawodnej metody wykrywania tego typu fałszerstw za pomocą pomiaru właściwości elektrycznych mleka [2, 3, 11].

W technologii serowarskiej zmierza się do jak największego wykorzystania w serach białek mleka, w tym białek serwatkowych. Jedną z nowych technologii w serowarstwie jest wzbogacanie mleka serowarskiego w białka serwatkowe produkowane w postaci koncentratu partykułowanych białek serwatkowych (PWPC). Partykułowanie białek serwatkowych polega na ich mechaniczno-termicznej obróbce, która prowadzi do zwiększenia ich wielkości pozwalającej na wbudowanie białek w strukturę skrzepu serowarskiego. Koncentrat partykułowanych białek serwatkowych produk-

wany jest z serwatki otrzymanej po produkcji serów podpuszczkowych, którą zagęszcza się techniką ultrafiltracji [6, 17]. Dodatek koncentratu do mleka serowarskiego wpływa na jego skład chemiczny oraz może modyfikować przebieg procesu technologicznego produkcji sera. Zmiany w mleku serowarskim mogą dotyczyć podatności mleka na enzymy koagulujące, retencję składników mleka w skrzepie, przebieg procesu dojrzewania serów oraz ich właściwości sensoryczne i odżywcze. Ustalenie zależności pomiędzy składem chemicznym mleka serowarskiego, jego właściwościami elektrycznymi a przebiegiem procesu technologicznego produkcji sera może być pomocne w opracowaniu szybkich metod oceny surowca stosowanego w serowarstwie.

Przyjmując tezę, że właściwości fizykochemiczne mleka, w tym jego właściwości elektryczne są zależne od zawartości poszczególnych składników tego surowca, przeprowadzono badania mające na celu ocenę wpływu dodatku koncentratu partykułowanych białek serwatkowych (PWPC) do mleka serowarskiego na jego właściwości elektryczne.

### **Materiał i metody badań**

Materiał badawczy stanowił koncentrat partykułowanych białek serwatkowych, mleko serowarskie bez dodatku PWPC oraz z dodatkiem wynoszącym 1 i 2 %. Materiał badawczy pochodzący z Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej „Ostrowia” w Ostrowii Mazowieckiej schładzano do temperatury 4 °C i przechowywano do czasu badań.

W pierwszej kolejności przeprowadzono analizę podstawowego składu chemicznego PWPC, mleka serowarskiego bez dodatku oraz z dodatkiem PWPC, przy użyciu aparatu MILKOSCAN FT2. Badania obejmowały oznaczenie zawartości białka, tłuszczu, laktozy i suchej masy.

Próbki koncentratu partykułowanych białek serwatkowych, mleka serowarskiego bez dodatku PWPC oraz z dodatkiem wynoszącym 1 i 2 % podgrzewano w łaźni wodnej do temperatury około 20 °C, a następnie pozostawiano na 1 h w komorze klimatyzacyjnej Memert ICP 500 o temp. 20 °C w celu ustabilizowania się temperatury próbki, układu składników oraz właściwości fizykochemicznych. Próbkę kontrolną stanowiły próbki mleka serowarskiego normalnego, koncentrat partykułowanych białek serwatkowych oraz woda destylowana. Wszystkie próby zostały wykonane w trzech powtórzeniach. Badanie właściwości elektrycznych prowadzono za pomocą miernika firmy Agilent, model Precision LCR Meter E4980A 20Hz – 2MHz. Do zbiornika szklanego o wymiarach 75 × 55 × 94 mm, wyposażonego we wbudowane na przeciwległych ścianach (o najmniejszej powierzchni) dwie elektrody wykonane ze stali kwasoodpornej, nalewano materiał badawczy w ilości po 200 cm<sup>3</sup>, po czym umieszczano go w komorze klimatyzacyjnej na 1 h w celu uzyskania żądanej temperatury. Następnie umieszczano zbiornik z badaną próbą w zbiorniku ekranującym, zabezpieczającym

materiał badawczy przed wpływem promieniowania elektromagnetycznego wywołanego bliską obecnością innych urządzeń elektrycznych i wykonywano pomiar następujących wielkości elektrycznych: pojemności równoległej  $C_p$ , impedancji  $Z$ , admitancji  $Y$ , kąta przesunięcia fazowego  $\theta$ .

Pomiarów dokonywano przy stałym napięciu 200 mV i zmiennej częstotliwości od 20 Hz do 1 kHz, analizując trzykrotnie każdy surowiec. Po badaniu każdej próbki zbiornik dokładnie myto, płukano wodą destylowaną i osuszano przed nalaniem kolejnej próbki. Wyniki przeprowadzonych badań będą omawiane w odniesieniu do pomiarów uzyskanych przy częstotliwościach 40 Hz, 400 Hz oraz 800 Hz, uznanych za optymalne i najlepiej przedstawiające kształtowanie się badanych wielkości elektrycznych w funkcji częstotliwości. Właściwości elektryczne takie, jak: pojemność szeregową ( $C_s$ ), kąt przesunięcia fazowego ( $\theta$ ), impedancja ( $Z$ ) wyznaczono doświadczalnie w wyniku badania próbek z pomocą miernika Agilent, natomiast admitancję ( $Y$ ) uzyskano za pomocą wyliczeń matematycznych na podstawie zależności  $Y = Z^{-1}$ .

## Wyniki i dyskusja

Analiza podstawowego składu chemicznego wykazała, że wraz ze wzrostem dodatku PWPC do mleka serowarskiego następował wzrost zawartości białka i suchej masy oraz spadek zawartości laktozy i tłuszczu w mleku kotłowym (tab. 1).

W następnej kolejności przeprowadzono badania właściwości elektrycznych PWPC oraz mleka serowarskiego. Na wykresy naniesione zostały punkty połączone linią przedstawiające wartości średnie pomiarów przy danej częstotliwości oraz słupki błędów przedstawiające średnią geometryczną współczynnika zmienności danego punktu. Wyniki badań omówiono w odniesieniu do trzech wybranych częstotliwości: 40 Hz, 400 Hz oraz 800 Hz, uznanych za optymalne i najlepiej ukazujące kształtowanie się badanych właściwości elektrycznych w funkcji częstotliwości.

Charakterystykę właściwości elektrycznych mleka kotłowego przeznaczonego do produkcji sera edamskiego oraz koncentratu partykułowanych białek serwatkowych przedstawiono w tab. 2.

Średnie wartości impedancji ( $Z$ ) systematycznie malały wraz ze wzrostem częstotliwości zarówno w przypadku mleka serowarskiego, jak i PWPC, przy czym w koncentracie przyjmowały wartości większe o 20,1 %. W przypadku admitancji ( $Y$ ) zauważyć można tendencję do zwiększenia się przepustowości elektrycznej obu tych ośrodków wraz ze wzrostem częstotliwości i drożność ta była wyższa w przypadku mleka o ok. 25,2 %. Pojemność szeregową ( $C_s$ ) była znacznie większa w mleku serowarskim o około 70,5 % i w obu przypadkach zmniejszała się wraz ze wzrostem częstotliwości. Kąt przesunięcia fazowego ( $\theta$ ) był mniejszy (w wartościach bezwzględnych) w mleku o około 26,8 % (w stosunku do PWPC) i malał (wartości ujemne wskazują na pojemnościowy charakter ośrodka) wraz ze wzrostem częstotliwości.

Tabela 1

Skład mleka serowarskiego i PWPC.  
Composition of cheese milk and PWPC.

| Pos.   | Wartość<br>Value | Zawartość składników [%] / Content levels of components [%] |                |                    |                   |
|--|------------------|---|----------------|--------------------|-------------------|
|  |                  | Białko<br>Protein   | Tłuszcz<br>Fat | Laktoza<br>Lactose | S.m.<br>Dry mater |
| Mleko serowarskie / Cheese milk                          |                  |   |                |                    |                   |
| 1  | SD               | 0,004   | 0,003          | 0,005              | 0,01              |
| 2  | $\bar{X}$        | 3,320   | 1,350          | 4,340              | 10,19             |
| Mleko z 1% dodatkiem PWPC / Milk with 1% of PWPC added   |                  |   |                |                    |                   |
| 1  | SD               | 0,006   | 0,006          | 0,006              | 0,01              |
| 2  | $\bar{X}$        | 3,381   | 1,341          | 4,330              | 10,25             |
| Mleko z 2% dodatkiem PWPC / Milk with 2% with PWPC added |                  |   |                |                    |                   |
| 1  | SD               | 0,006   | 0,006          | 0,006              | 0,01              |
| 2  | $\bar{X}$        | 3,445   | 1,335          | 4,327              | 10,30             |
| Koncentrat partykułowanych białek serwatkowych / PWPC    |                  |   |                |                    |                   |
| 1  | SD               | 0,006   | 0,006          | 0,006              | 0,03              |
| 2  | $\bar{X}$        | 9,690   | 1,210          | 4,030              | 15,12             |

Objaśnienia: / Explanatory notes:

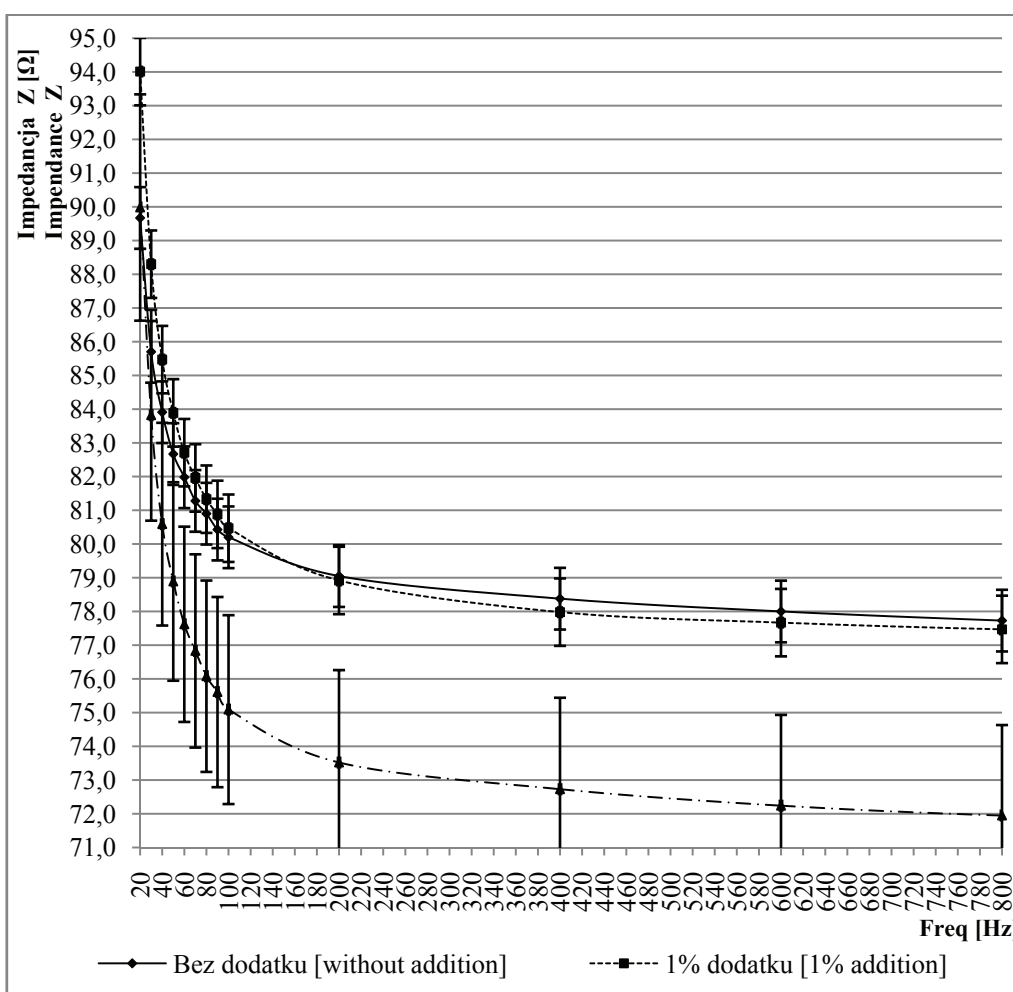
SD – odchylenie standardowe / standard deviation;  $\bar{X}$  – wartość średnia z trzech pomiarów / mean value of three measurements

Tabela 2

Właściwości elektryczne mleka serowarskiego i koncentratu PWPC.  
Electrical characteristics of cheese milk and PWPC.

| Materiał badawczy<br>Material for investigation        | Częstotliwość<br>Frequency [Hz] | Parametry przewodnościowe<br>Conductance coefficients |        | Pojemność szeregową<br>Cs Capacity | Kąt przesunięcia fazowego<br>Phase angle |
|--|---------------------------------|---|--------|------------------------------------|--|
|  |                                 | Z [ $\Omega$ ]  | Y [mS] |                                    |  |
| Mleko serowarskie<br>Cheese milk                       | 40                              | 83,91   | 11,92  | 271,40                             | -10,05                                   |
|  | 400                             | 78,38   | 12,76  | 181,30                             | -1,60                                    |
|  | 800                             | 77,73   | 12,87  | 160,50                             | -0,91                                    |
| Koncentrat partykułowanych białek serwatkowych<br>PWPC | 40                              | 106,62  | 9,38   | 161,37                             | -13,34                                   |
|  | 400                             | 97,38   | 10,27  | 106,52                             | -2,20                                    |
|  | 800                             | 96,67   | 10,34  | 92,77                              | -1,27                                    |

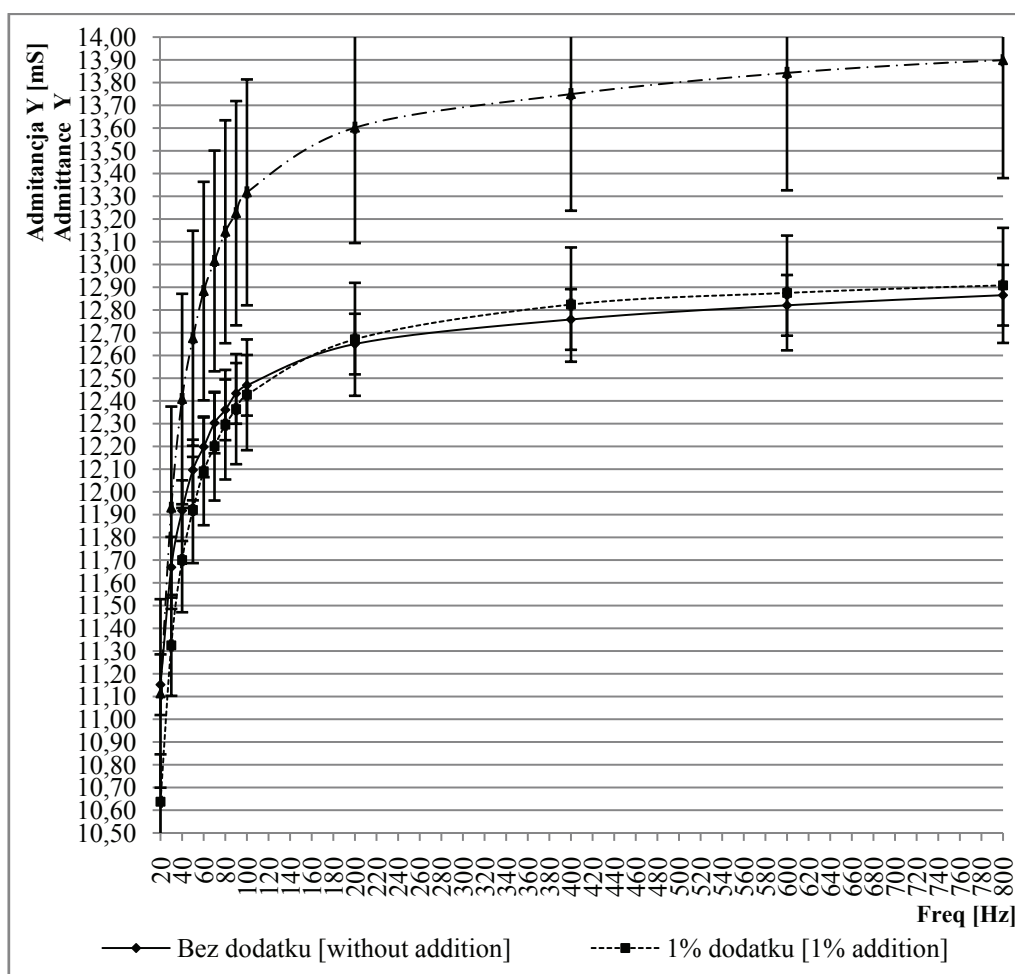
Wartości badanych parametrów przewodnościowych, pojemności szeregowej oraz kąta przesunięcia fazowego były różne w przypadku każdej omawianej częstotliwości obu rodzajów prób. Impedancja jest wielkością, która najlepiej charakteryzuje opór, jaki napotyka prąd elektryczny, przepływając przez dany ośrodek. Wyniki pomiaru tych wartości, podobnie jak innych współczynników przewodnościowych, w przypadku pomiarów mleka bez dodatku PWPC i z dodatkiem 1 % nie różniły się od siebie statystycznie, natomiast w mleku z dodatkiem 2 % różnica taka występowała już od częstotliwości 60 Hz.



Rys 1. Wpływ dodatku PWPC do mleka serowarskiego na impedancję Z.

Fig. 1. Effect of PWPC added to cheese milk on Z impedance.

Największy spadek wartości impedancji zaobserwowano w przypadku próbek zawierających dodatek PWPC (rys. 1). Przypadał on na częstotliwości między 20 Hz a 100 Hz. W przypadku mleka z 2 % dodatkiem koncentratu różnica wartości  $Z$  przy częstotliwości 40 Hz i 800 Hz wynosiła 8,64  $\Omega$ , czyli prawie 11 %. Mleko z 1 % dodatkiem i mleko bez dodatku partykułatu wykazywało różnicę odpowiednio 8,00  $\Omega$  (9,36 %) i 7,37  $\Omega$  (6,18 %). Największą wartość impedancji uzyskało mleko z 1 % dodatkiem – 94,01  $\Omega$  przy 20 Hz, a najmniejszą mleko z 2 % dodatkiem – 71,83  $\Omega$  przy 800 Hz.



Rys 2. Wpływ dodatku PWPC do mleka serowarskiego na admittance  $Y$ .

Fig. 2. Effect of PWPC added to cheese milk on  $Y$  admittance.

Admitancja, inaczej zwana drożnością, jest właściwością elektryczną przedstawiającą całkowitą przepustowość prądu elektrycznego przez dany ośrodek. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem częstotliwości wzrasta również wielkość admitancji. Najwyższymi wartościami admitancji spośród omawianych rodzajów prób charakteryzowało się mleko z 2 % dodatkiem PWPC (12,41 mS przy 40 Hz i 13,92 mS przy 800 Hz). Wartości drożności pozostałych dwóch rodzajów prób nie różniły się od siebie statystycznie w całym przedziale częstotliwości i mieściły się pomiędzy 10,63 mS przy 20 Hz a 12,91 mS przy 800 Hz. Największy wzrost admitancji wszystkich rodzajów prób odnotowano przy wzroście częstotliwości od 20 Hz do 100 Hz. W przedziale 40 Hz ÷ 800 Hz największy wzrost admitancji wynoszący 12,01 % odnotowano w mleku z 2 % dodatkiem PWPC, a najmniejszy w mleku bez dodatku koncentratu – 7,95 %.

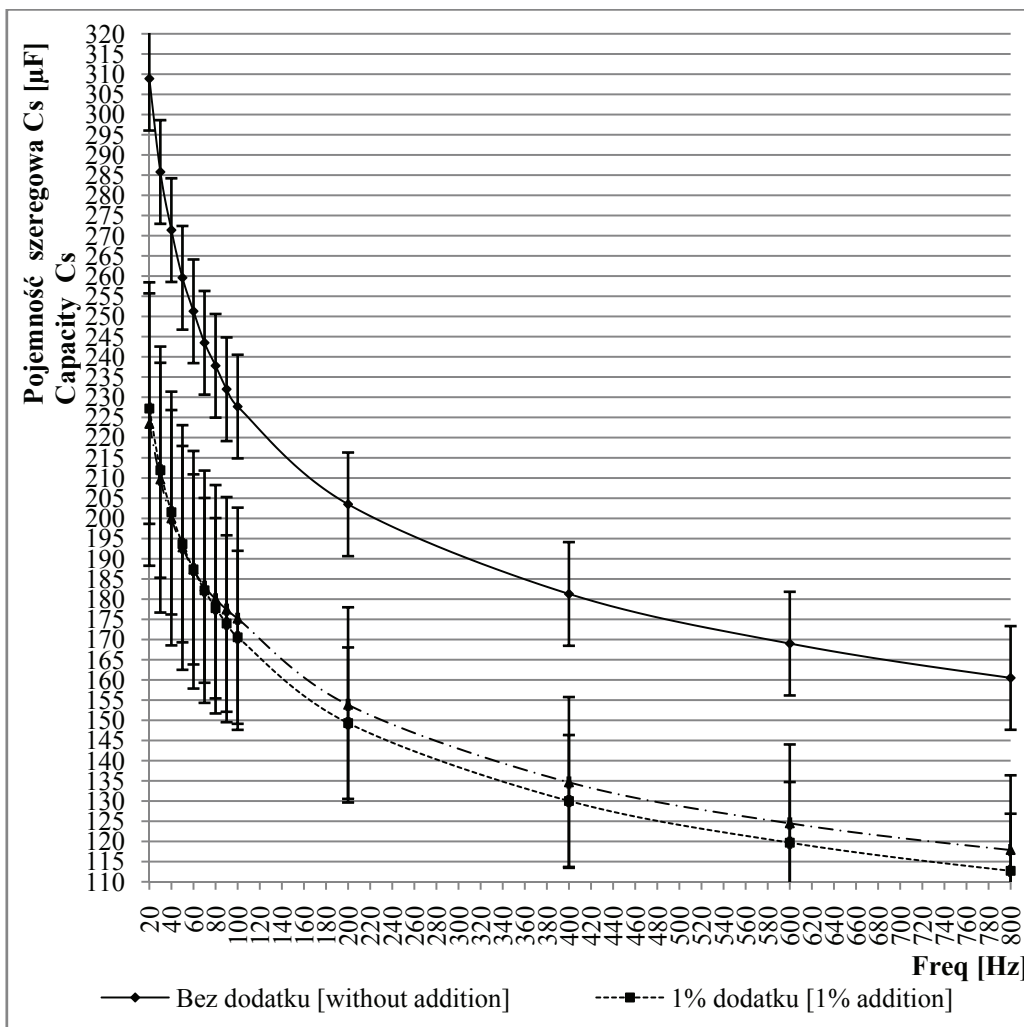
Zmiany pojemności szeregowej pod wpływem dodatku PWPC do mleka serowarskiego i zmiany częstotliwości przedstawiono na rys. 3. W całym analizowanym zakresie częstotliwości wartości  $C_s$  mleka z 1 i 2 % dodatkiem koncentratu nie różniły się od siebie statystycznie istotnie, natomiast wyniki obu rodzajów prób różniły się znacząco w całym przedziale częstotliwości od wyników tego parametru mleka bez dodatku partykułatu, który przyjmował zdecydowanie większe wartości. Pojemność szeregową spośród wszystkich badanych właściwości elektrycznych wykazywała największe zmiany w przedstawionym zakresie częstotliwości. W przedziale 40 Hz ÷ 400 Hz największy spadek wynoszący 71,50  $\mu\text{F}$  (35,48 %) stwierdzono w mleku z 1 % dodatkiem PWPC, a najmniejszy w mleku z 2 % dodatkiem koncentratu – 65,36  $\mu\text{F}$  (32,68 %). W przedziale 40 Hz ÷ 800 Hz największy spadek wartości  $C_s$  stwierdzono w mleku bez dodatku partykułatu – 110,90  $\mu\text{F}$ , a najmniejszy w mleku z 2 % dodatkiem PWPC – 82,11  $\mu\text{F}$ , oba ponad 40 %. Różnice wartości  $C_s$  między mlekiem bez dodatku partykułatu a próbkami zawierającymi 1 i 2 % dodatku koncentratu wynosiły odpowiednio 27,93 % i 26,21 % (wielkości średnie w odniesieniu do wartości  $C_s$  przy częstotliwościach 40 Hz, 400 Hz i 800 Hz).

Zmiany kąta przesunięcia fazowego mleka z różnym dodatkiem PWPC przedstawiono na rys. 4. Wartość przesunięcia w przypadku każdego rodzaju mleka przyjmowała wartości ujemne, co świadczy o tym, że badane próbki miały charakter pojemnościowy, czyli gromadziły ładunek elektryczny na powierzchni swoich cząsteczek.

Największe wartości przesunięcia fazowego odnotowano w mleku z 1 i 2 % dodatkiem koncentratu. Wartości tego parametru w przypadku tych prób nie różniły się od siebie statystycznie w całym przedziale badanych częstotliwości. Nie wykazywały również istotnych różnic w porównaniu z wartościami mleka bez dodatku PWPC, zmierzonymi powyżej częstotliwości 100 Hz. Największą zmianę odnotowano w przypadku mleka bez dodatku partykułatu – 90,95 % w zakresie 40 Hz ÷ 800 Hz



( $-10,05^\circ$  i  $-0,91^\circ$ ) i 84,08 % w zakresie 40 Hz ÷ 400 Hz ( $-10,05^\circ$  i  $-1,60^\circ$ ). Wartości kąta przesunięcia próbek mleka zawierającego dodatek PWPC różniły się od wartości  $\theta$  mleka bez dodatku koncentratu o 39,84 % w mleku z 1 % dodatkiem i 46,60 % w mleku z 2 % dodatkiem PWPC (podano wartości średnie w odniesieniu do częstotliwości 40 Hz, 400 Hz i 800 Hz).



Rys. 3. Wpływ dodatku PWPC do mleka serowarskiego na pojemność szeregową Cs.

Fig. 3. Effect of PWPC added to cheese milk on capacitance Cs

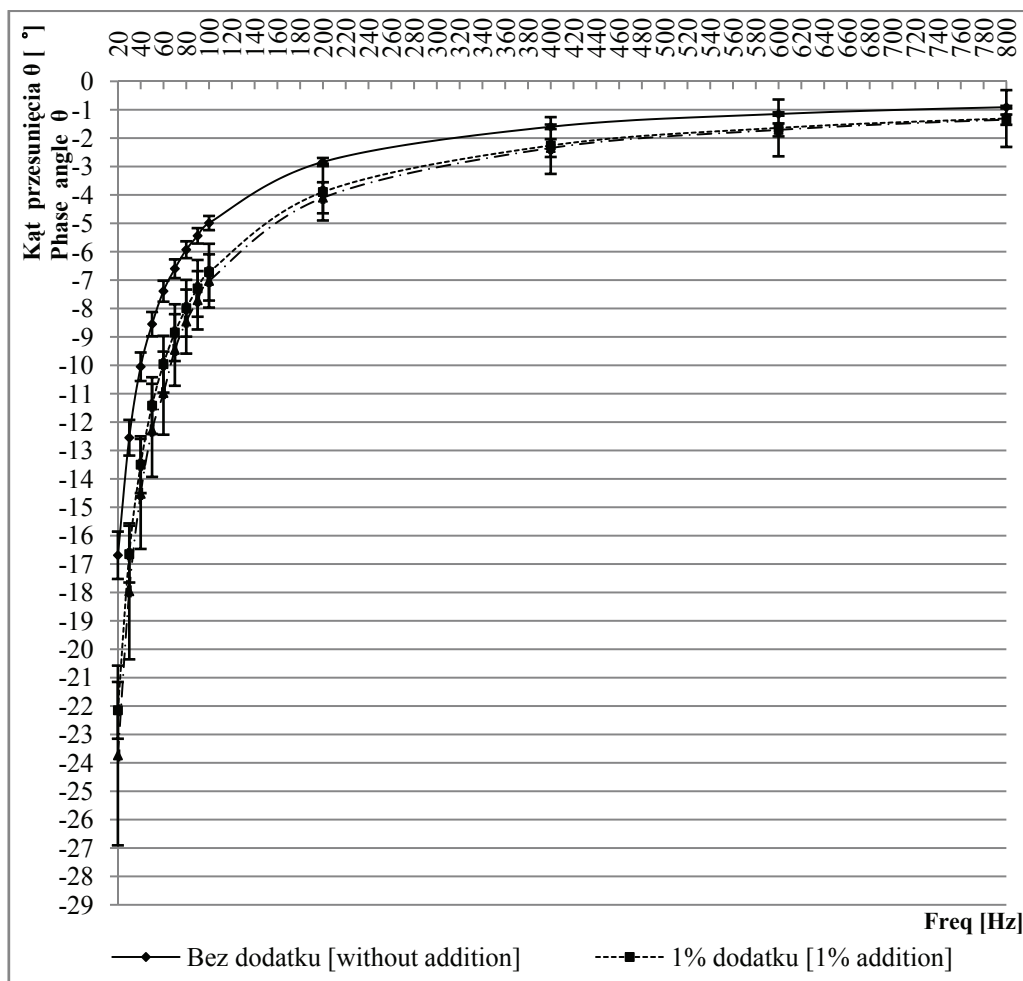
Dodatek koncentratu partykułowanych białek serwatkowych do mleka serowarskiego powodował znaczącą zmianę współczynników przewodnościowych dopiero

przy 2 % dodatku PWPC, przy dodatku 1 % wartości tych współczynników nie różniły się statystycznie od wyników mleka bez dodatku koncentratu. W przypadku współczynnika pojemnościowego już 1 % dodatku partykułatu powodował zmniejszenie tego wyróżnika, w porównaniu z mlekiem bez dodatku. Zmniejszenie się przewodności mleka z dodatkiem PWPC można tłumaczyć zwiększeniem się ilości cząsteczek dużych rozmiarów (partykułowane białka serwatkowe  $1 \div 10 \mu\text{m}$ ), które utrudniają przemieszczenie się jonów i małych cząsteczek będących nośnikami elektronów, a tym samym powodują wzrost oporności [4, 9]. Zmniejszenie się pojemności szeregowej mleka z dodatkiem PWPC może być wywołane wprowadzeniem do ośrodka dużej ilości cząsteczek, które ze względu na swoją budowę nie są aktywne elektrycznie, w przeciwieństwie do kazeiny posiadającej dużą liczbę grup funkcyjnych na swojej powierzchni [15].

Kąt przesunięcia fazowego przyjmuje wartości ujemne, co świadczy o pojemnościowym charakterze mleka serowarskiego [12]. Dodatek PWPC w ilości 1 % powodował zwiększenie kąta przesunięcia fazowego (wartość bezwzględna), jednak różnica pomiędzy wartościami tego współczynnika w przypadku mleka z 1 % i 2 % dodatkiem koncentratu statystycznie nie występował. Począwszy od częstotliwości 200 Hz różnica ta przestała być istotna między wszystkimi rodzajami badanego mleka.

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że wpływ, jaki dodatek PWPC wywiera na właściwości elektryczne mleka serowarskiego, może być wykorzystany (w przypadku zestawienia kilku współczynników) do jakościowej oceny mleka serowarskiego (stwierdzenie czy partykułat został dodany do mleka), jednak nie można zastosować tej metody pomiarowej do ilościowej oceny dodatku PWPC do mleka serowarskiego.

Zmiana częstotliwości pomiaru w każdym przypadku ma wpływ na mierzone wielkości, przy czym największe zmiany obserwuje się w zakresie 20 Hz  $\div$  200 Hz, natomiast powyżej 400 Hz zmiany te nie są już tak istotne. W przypadku parametrów przewodnościowych i kąta przesunięcia fazowego największy wpływ częstotliwości na badane rodzaje mleka odnotowano w mleku z 1 % i 2 % dodatkiem PWPC, przy czym zazwyczaj większy dla drugiego z wymienionych. Natomiast w przypadku pojemności szeregowej zmiana częstotliwości ma większy wpływ na wyniki pomiaru w przypadku mleka bez dodatku partykułatu.



Rys. 4. Wpływ dodatku PWPC do mleka serowarskiego na kąt przesunięcia fazowego  $\theta$ .

Fig. 4. The effect of PWPC added on  $\theta$  phase angle.

### Wnioski

1. Wzbogacenie mleka serowarskiego koncentratem partykułowanych białek serwatkowych powoduje znaczącą zmianę współczynników przewodnościowych dopiero przy 2 % dodatku PWPC, przy dodatku 1 % wartości tych współczynników nie różnią się statystycznie od wyników mleka bez dodatku koncentratu.
2. Przy 1 % dodatku partykułatu do mleka istotnie mała współczynnik pojemnościowy  $C_s$  w porównaniu z mlekiem bez dodatku partykułatu. Jednak różnica wielkości zmniejszenia tego współczynnika w mleku z 1 % i 2 % dodatkiem była już statystycznie nieistotna.

3. Zmiana częstotliwości pomiaru ma wpływ na mierzone parametry elektryczne, przy czym największe zmiany obserwuje się w zakresie 20 Hz ÷ 200 Hz, natomiast powyżej 400 Hz zmiany te nie są już tak istotne.
4. Na podstawie pomiaru właściwości elektrycznych nie można określić ilości dodanego koncentratu PWPC do mleka serowarskiego.

### Literatura

- [1] Banach J.K., Żywica R., Kielczewska K.: Effect of homogenization on milk conductance properties. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2008, **58**, 107-111.
- [2] Borys A., Pieczonka W., Sławniak S.: Konduktometryczna metoda określania stopnia rozwodnienia mleka. *Przegl. Mlecz.*, 1982, **6**, 10-12.
- [3] Czerniewicz M., Kruk A., Żywica R.: Poziom wapnia jonowego a właściwości elektryczne mleka surowego. VIII Sesja Naukowa: Postęp w technologii, technice i organizacji mleczarstwa. Olsztyn 2002, ss. 55-62.
- [4] Felice C.J., Madrid R.E., Olivera J.M., Rotger V.I., Valentinuzzi M.E.: Impedance microbiology: quantification of bacterial content in milk by means of capacitance growth curves, *J. Microbiol. Methods*. 1999, **35**, 37-42.
- [5] Jurczak M. E.: Mleko – produkcji, badanie, przerób. Wyd. SGGW, Warszawa 2003.
- [6] Kulozik U., Tolkach A., Bulca S., Hinrichs J.: The role of processing and matrix design in development and control of microstructures in dairy food production – a survey. *Int. Dairy J.*, 2003, **8**, 3.
- [7] Lawton B.A., Pethig R.: Determining the fat content of milk and cream using AC conductivity measurements. *Measurement Sc. & Techn.*, 1993, **4**, 38-41.
- [8] Lin Teng Shee F., Bazinet P. A.: Relationship between electrical conductivity and demineralization rate during electroacidification of cheddar cheese whey. *J. Membrane Sci.*, 2005, **265**, 100-106.
- [9] Mabrook M.F., Petty M.C.: Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. *Sensors and Actuators B*, 2002, **84**, 136-141.
- [10] Mabrook M.F., Petty M.C.: Effect of composition on the electrical conductance of milk. *J. Food Eng.*, 2003, **60**, 321-325.
- [11] Mabrook M.F., Petty M.C.: A novel technique for the detection of added water to full fat milk using single frequency admittance measurements. *Sensors and Actuators B*, 2003b, **96**, 215-218.
- [12] Markiewicz H.: Aparaty elektryczne. PWN, Warszawa 1989.
- [13] Nielsen M., Deluyker H., Schukken Y.H., Brand A.: Electrical conductivity of milk: measurement, modifiers, and meta analysis of mastitis detection performance. *J. Dairy Sci.*, 1992, **75**, 606-614.
- [14] Norberg E.: Electrical conductivity of milk as phenotypic and genetic indicator of bovine mastitis: A review. *Livestock Production Science*, 2005, **96**, 129-139.
- [15] Pijanowski E.: Zarys chemii i technologii mleczarstwa. T. I, PWRiL, Warszawa 1984.
- [16] Sadat A., Mustajab P., Khan I.A.: Determining the adulteration of natura milk with synthetic milk Rusing Ac conductance measurement. *J. Food Eng.*, 2006, **77**, 472-477.
- [17] Schier G., Paar S.: Integration von partikulierten Molkenproteinen (PWPC) in Weichund Schnittkäse – Teil 2. *Deutsche Milchwirtschaft*, 2003, **23/24**, 5.
- [18] ST – Gelais D., Champagne C. P.: The use of electrical conductivity to follow acidification of dairy blends. *Int. Dairy J.*, 1995, **5**, 427-438.
- [19] Szpendowski J., Żywica R., Wilczewska J.: Charakterystyka właściwości elektrycznych serwatki i permeatu ultrafiltracyjnego otrzymanych przy produkcji serków twarogowych. *Przegl. Mlecz*, 2002, **10**, 453-456.

- [20] Therdthai N., Zhou W.: Artificial neural network modeling of the electrical conductivity property of recombined milk. *J. Food Eng.*, 2001, **50**, 107-111.
- [21] Żywica R., Budny J.: Changes of selected physical and chemical parameters of raw milk during storage. *Czech J. Food Sc.*, 2000, **245**, 241-242.

### EFFECT OF PARTICULATED WHEY PROTEIN CONCENTRATE (PWPC) ADDED TO CHEESE MILK ON ITS ELECTRICAL PROPERTIES

#### Summary

The investigations discussed in this paper were performed in order to determine the effect of particulated whey protein concentrate (PWPC) added to cheese milk on its electrical properties. A concentrate of particulated whey proteins and cheese milk without the addition of PWPC and with 1 and 2 % additions of PWPC constituted the material for investigations. All of the analysed samples were produced under the industrial conditions. The following characteristics were investigated: impedance, admittance,  $C_s$  capacitance, and the phase angle.

The investigations proved that the addition of PWPC to cheese milk caused a significant change in the conductance coefficients only when the amount of PWPC added was 2 %. When the PWPC addition was close to 1 %, the values of the characteristics studied did not statistically differ from the obtained in the case of cheese milk with no PWPC added. When the PWPC addition was 1 %, the  $C_s$  capacitance was significantly reduced compared to the cheese milk without PWPC added. Yet, as for the milk with 1 and with 2 % of PWPC, the difference in their  $C_s$  capacitance reduction scale was not statistically significant. Furthermore, in all the cases studied, a change in the measurement frequency impacted the measured characteristics: the highest changes were found in the range from 20 Hz to 200 Hz of frequency, and above 400 Hz of frequency, those changes were not essential.

While summing up the investigation results, it was found based on the changes in the measured electrical characteristics of cheese milk that it was possible to determine the PWPC addition exclusively qualitatively and not quantitatively.

**Key words:** participation, whey protein, electrical characteristics, impedance, admittance,  $C_s$  capacitance, phase angle 