

BARTOSZ SOŁOWIEJ, WALDEMAR GUSTAW, MACIEJ NASTAJ

## WPLYW DODATKU KONCENTRATÓW BIAŁEK SERWATKOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ANALOGÓW SERÓW TOPIONYCH

### Streszczenie

Celem niniejszej pracy było otrzymanie analogów serów topionych, w których kazeinę kwasową zastąpiono częściowo koncentratem białek serwatkowych o różnej zawartości białka, oraz określenie właściwości reologicznych tych produktów. Twardość otrzymanych analogów serów topionych badano przy użyciu analizatora tekstury TA-XT2i próbnikiem cylindrycznym o średnicy 10 mm (prędkość przesuwu 1 mm/s, stała temperatura 21 °C). Pomiary lepkości analogów wykonywano za pomocą reometru rotacyjnego Brookfield DV II+ przy użyciu przystawki Helipath (F). Badania topliwości analogów serów topionych wykonywano w układzie płytka – płytka w zmiennej temperaturze od 30 do 80 °C, przy użyciu reometru oscylacyjnego RS 300. Określano zmiany wartości modułów: zachowawczego ( $G'$ ), stratności ( $G''$ ) i tg ( $\delta$ ).

Dodatek koncentratów białek serwatkowych (WPC 35 i WPC 65) powodował wzrost twardości analogów serów topionych w porównaniu z analogami otrzymanymi wyłącznie na bazie kazeiny kwasowej. Wzrost zawartości białka w serze, spowodowany dodatkiem koncentratów, przyczyniał się do wzrostu lepkości analogów serów topionych. Obecność bezwodnego tłuszczu mlecznego miała wpływ na teksturę i właściwości reologiczne analogów serów topionych. W przypadku analogów serów topionych otrzymywanych na bazie kazeiny, zastosowanie preparatów serwatkowych (WPC 35 i WPC 65) może spowodować znaczne oszczędności surowca podstawowego i poprawę właściwości reologicznych produktu finalnego. Ponadto, wykorzystanie niskobiałkowych koncentratów białek serwatkowych tj. WPC 35 do otrzymywania analogów serów topionych umożliwia redukcję kosztów produkcji.

**Słowa kluczowe:** analogi serów topionych, koncentraty białek serwatkowych, reologia, twardość, lepkość

### Wprowadzenie

Wysoka wartość odżywcza, strawność i przyswajalność oraz znaczna trwałość serów topionych wpłynęły na opracowanie nowych receptur, co w konsekwencji przyczyniło się do osiągnięcia różnorodności i bogactwa asortymentu [4]. Analogi sera

---

*Dr inż. B. Sołowiej, dr inż. W. Gustaw, mgr inż. M. Nastaj, Katedra Biotechnologii, Żywienia Człowieka i Towaroznawstwa Żywności, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-950 Lublin*

topionego poprzez swoje doskonałe właściwości żywieniowe i strukturalne mogą przyczynić się do zastąpienia tradycyjnego produktu nowym, równie dobrym, jak naturalny [9].

Optymalne zagospodarowanie składników serwatki w istotny sposób wpływa na zmniejszenie kosztów produkcji serów, twarogów i koncentratów z mleka. Rozwiązania takie przyczynia się w następstwie do większej opłacalności produkcji i mniejszego zagrożenia ekologicznego [3]. Koncentraty (WPC) i izolaty (WPI) białek serwatkowych są używane jako składniki żywności ze względu na wysoką wartość odżywczą i unikalne właściwości funkcjonalne [8, 17]. W ostatnich latach podjęto próby zastąpienia kazeiny przez preparaty białek serwatkowych w produkcji analogów serów topionych [7, 13, 21, 22].

Celem niniejszej pracy było otrzymanie analogów serów topionych, w których kazeinę kwasową zastąpiono częściowo koncentratem białek serwatkowych o różnej zawartości białka, oraz określenie właściwości reologicznych tych produktów.

### **Material i metody badań**

Do badań użyto koncentratu białek serwatkowych: WPC 35 o zawartości białka 33,86 % (Laktopol sp. z o. o., Warszawa), WPC 65 o zawartości białka 65,43 % (MILEI GmbH, Leutkirch, Niemcy), WPC 85 o zawartości białka 75,42 % (Lacma sp. z o.o., Nadarzyn), kazeiny kwasowej KK (ZPK, Murowana Goślina), bezwodnego tłuszczu mlecznego (SM Mlekovita, Wysokie Mazowieckie), bezwodnego kwaśnego fosforanu disodowego i kwasu cytrynowego produkcji P.P.H. POCH w Gliwicach. Zawartość białka w koncentraty białek serwatkowych oznaczano metodą Kjeldahla [2].

#### *Proces produkcji analogu sera topionego*

Sporządzano roztwory białek serwatkowych (WPC 35, WPC 65, WPC 85) w wodzie destylowanej przez jednogodzinne mieszanie w temperaturze pokojowej, przy użyciu mieszadła magnetycznego Heidolph MR 3002S (Schwabach, Niemcy). Roztwory te miały takie stężenie, by otrzymany analog sera zawierał 1, 2 i 3 % białek serwatkowych. Następnie dodawano roztopiony w temp. 45 °C bezwodny tłuszcz mleczny (30 %) i kazeinę (10 % - wartość stężenia stała dla każdego rodzaju wytwarzanego analogu sera). Całą mieszaninę umieszczano w pojemniku homogenizatora (H 500 Pol-Eko Aparatura, Polska). Mieszano przez 2 min przy 10000 obr./min. Następnie dodawano roztworu topnika (2 %), ustalano pH na poziomie 6,2 za pomocą kwasu cytrynowego przy użyciu pH-metru CP-315 firmy Elmetron i zanurzano w łaźni wodnej o temp. 80 °C. Całość homogenizowano przez 10 min przy 10000 obr./min. Gotowy analog sera topionego wylewano do zlewki w ilości 40 ml. Produkt przechowywano w temperaturze pokojowej przez 30 min celem ostygnięcia, a następnie składowano

przez 21 h w temp. 5 °C. Jako wzorca użyto analogów serów topionych, do produkcji których wykorzystano te same surowce (30 % bezwodnego tłuszczu mlecznego, 10 % kazeiny, 2 % topnika, kwas cytrynowy i wodę), z tym że zamiast preparatów serwatkowych dodawano odpowiednio 1, 2 i 3 % kazeiny. Proces produkcji analogów wzorcowych przebiegał tak samo, jak analogów z dodatkiem preparatów serwatkowych.

#### *Test przebijania (puncture test)*

Pomiary były dokonywane za pomocą teksturometru TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Wielka Brytania). Próbki sera badano za pomocą próbnika cylindrycznego o  $\varnothing$  10 mm, przy prędkości przesuwu głowicy 1 mm/s. Uzyskane wyniki (z 4 powtórzeń) rejestrowane były przez program Texture Expert version 1.22. W punktowym badaniu tekstury określano siłę potrzebną do zagłębienia się próbnika na 20 mm.

#### *Reometria rotacyjna*

Pomiarów dokonywano za pomocą reometru rotacyjnego Brookfield DV II+ (Stoughton, MA, USA) przy użyciu przystawki Helipath (F). Podczas pomiaru wrzeciono zanurzano w badanej próbce. Pomiarów dokonywano w stałej temp. 20 °C, przy stałej prędkości wrzeciona  $V = 10$  obr./min. Wyniki (uzyskane z 4 powtórzeń) rejestrowano komputerowo, wykorzystując program Win Gather V1,0. W badaniach tych określano lepkość otrzymanych analogów serów topionych.

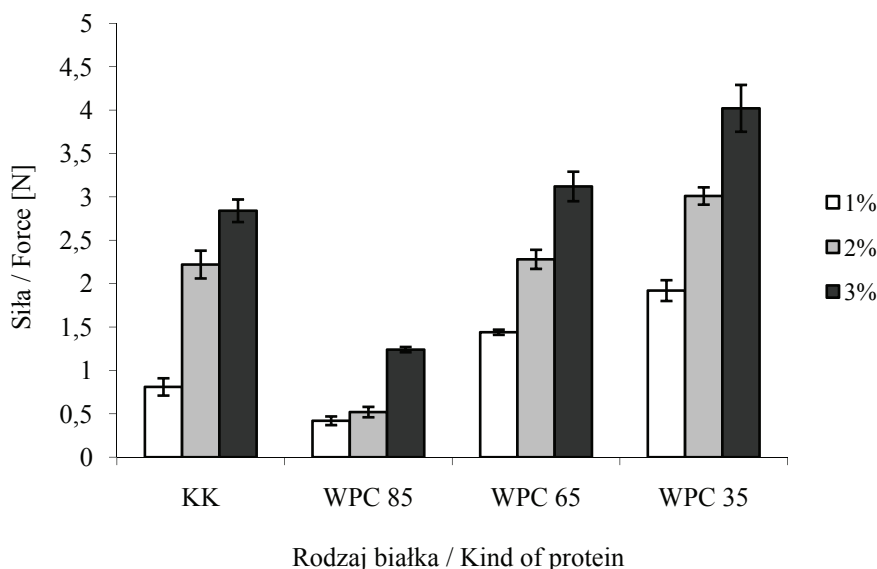
#### *Reometria oscylacyjna*

Pomiarów dokonywano przy użyciu reometru oscylacyjnego RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy) w układzie płytka – płytka. Badania topliwości analogów serów topionych wykonywano przy częstotliwości 0,1 Hz, przy odkształceniu  $\gamma = 0,07$  w zmiennej temperaturze w zakresie od 30 do 80 °C. Określano zmiany wartości modułów: zachowawczego ( $G'$ ), stratności ( $G''$ ) i  $\tan(\delta)$ . Wyniki (uzyskane z 3 powtórzeń) rejestrowano komputerowo wykorzystując program RheoWin Pro (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy).

### **Wyniki i dyskusja**

Wpływ stężenia i rodzaju koncentratów białek serwatkowych (WPC 35, WPC 65, WPC 85) na twardość analogów serów topionych zobrazowano na rys. 1. Badano zależność siły [N] potrzebnej do przebicia przez głowicę teksturometru próbki analogów sera topionego w zależności od czasu [s]. W przypadku wszystkich analogów serów topionych wraz ze wzrostem stężenia białka w produkcie obserwowano wzrost ich twardości, jednak twardość analogów z dodatkiem WPC 85 nie była satysfakcjonująca. Największą twardością charakteryzowały się analogi serów topionych otrzymane z 3 %

dotądkiem WPC 35 (4,02 N), do ich przebicia potrzebna była siła 4,02 N. Najmniejszą twardością charakteryzowały się natomiast analogi otrzymane z 1 % dodatkiem WPC 85 (0,42 N).



Rys. 1. Wpływ stężenia i rodzaju koncentratów białek serwatkowych na twardość analogów serów topionych.

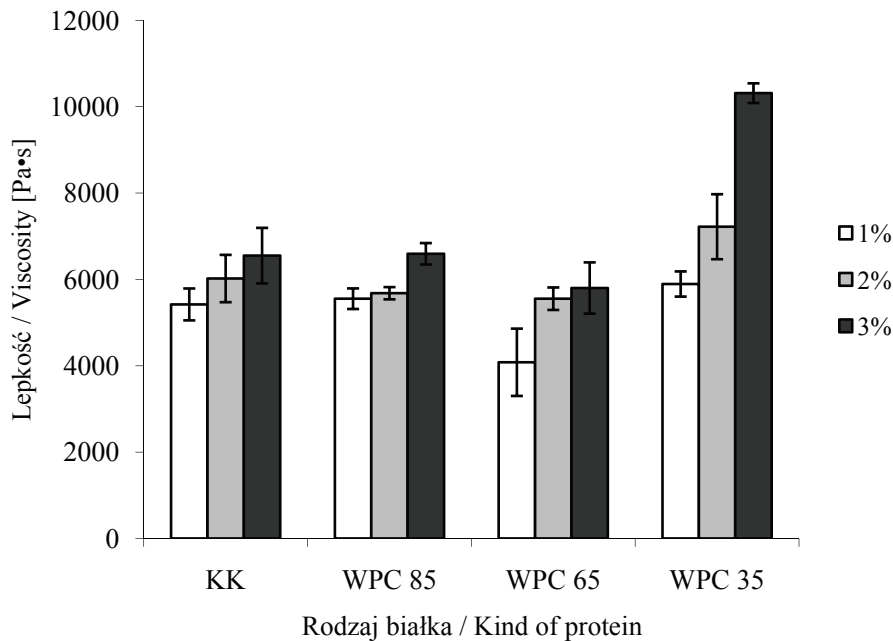
Fig. 1. Effect of the concentration and kind of whey proteins on the hardness of processed cheese analogs.

Częściowe zastąpienie kazeiny izolatami białek serwatkowych oraz koncentratami białek serwatkowych również powodowało wzrost twardości analogów serów topionych [13, 14, 20, 22]. Mleko [15] stwierdził, że białka serwatkowe prawdopodobnie współdziałają z matrycą białkową kazeiny, działając jako aktywny wypełniacz, albo tworząc razem z nią mieszany żel o mocniejszej strukturze. Natomiast Marshall [11] wykazał, że różnice stwierdzone w teksturze analogów serowych mogą być związane z intensywnością mieszania.

Wpływ stężenia i rodzaju koncentratów białek serwatkowych (WPC 35, WPC 65, WPC 85) na lepkość analogów serów topionych przedstawiono na rys. 2. W przypadku wszystkich analogów serów topionych wraz ze wzrostem stężenia białka w produkcie stwierdzono wzrost ich lepkości. Najwyższą lepkością charakteryzowały się analogi serów topionych otrzymane z 3 % dodatkiem WPC 35 (10313 Pa·s), natomiast najniższą - analogi otrzymane z 1 % dodatkiem WPC 65 (4080 Pa·s).

Potwierdzają to badania Abd-El-Salama i wsp. [1], Dimitreli i Thomareisa [6] i Sołowieja [20], którzy stwierdzili, że wzrost stężenia białka powodował wzrost lepkości

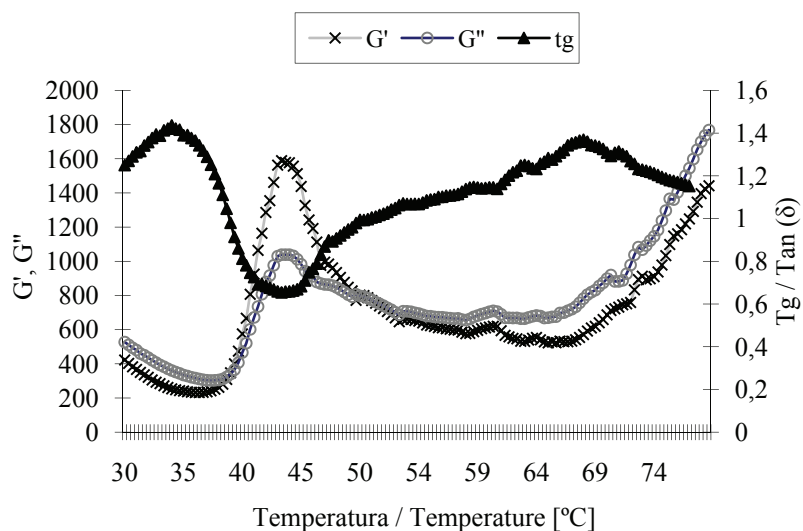
badanych serów i analogów serów topionych. Corredig i Dalgleish [5], badając wzajemne oddziaływania  $\alpha$ -laktoalbuminy,  $\beta$ -laktoglobuliny i kazeiny dowiedli, że białka te łączą się podczas obróbki termicznej, powodując wzrost lepkości gotowego produktu.



Rys. 2. Wpływ stężenia i rodzaju koncentratów białek serwatkowych na lepkość analogów serów topionych.

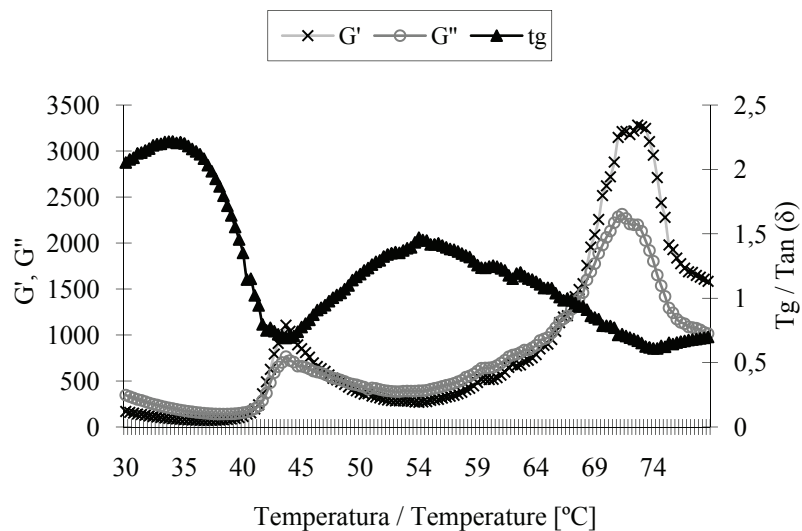
Fig. 2. Effect of the concentration and kind of whey proteins on the viscosity of processed cheese analogs.

Zmiany  $\tan \delta$ ,  $G'$  i  $G''$  wraz ze wzrostem temperatury od 30 do 80 °C analogu otrzymanego z 2 % dodatkiem koncentratu białek serwatkowych (WPC 35) przedstawiono na rys. 3. W pierwszym etapie ogrzewania wartość  $\tan \delta$  wzrastała, a moduły: stratności i zachowawczego malała, co wskazywało na osłabienie struktury żelowej badanych analogów. W temp. 34 °C można było zauważyć zmniejszenie wartości  $\tan \delta$ , natomiast w temp. 36 °C nastąpił gwałtowny wzrost modułu zachowawczego  $G'$ . W temp. 39 °C zaobserwowano przecięcie się krzywych  $G'$  i  $G''$  i zmniejszenie wartości  $\tan \delta$  poniżej 1, co jednoznacznie świadczy o żelowaniu układu. W temp. 43 °C nastąpił ponowny spadek modułów: stratności i zachowawczego, jak również wzrost wartości  $\tan \delta$ . W miarę dalszego ogrzewania układu w temp. 50 °C nastąpiło przecięcie się krzywych  $G'$  i  $G''$ , a wartość  $\tan \delta$  wynosiła ponad 1, co może świadczyć o powstaniu układu lepkiego. Podczas dalszego ogrzewania wartość  $G'$  malała a  $\tan \delta$  wzrastała (rys. 3).



Rys. 3. Zmiany modułu  $G'$ ,  $G''$  i  $\text{tg}(\delta)$  analogów serów topionych z 2 % dodatkiem WPC 35 przy stałej częstotliwości (0,1 Hz) w zależności od temperatury.

Fig. 3. Temperature-depending changes in the  $G'$ ,  $G''$  and  $\text{tan}(\delta)$  moduli of processed cheese analogs containing 2 % of WPC 35 at a constant frequency (0.1 Hz).



Rys. 4. Zmiany modułu  $G'$ ,  $G''$  i  $\text{tg}(\delta)$  analogów serów topionych z 2 % dodatkiem WPC 65 przy stałej częstotliwości (0,1 Hz) w zależności od temperatury.

Fig. 4. Temperature-depending changes in the  $G'$ ,  $G''$  and  $\text{tan}(\delta)$  moduli of processed cheese analogs containing 2 % of WPC 65 at a constant frequency (0.1 Hz).

W przypadku analogów z dodatkiem WPC 65 i WPC 85 otrzymano podobne zależności jak na rys. 3. Jednak w dalszej części wykresu w temp. 66 °C (WPC 65) nastąpił gwałtowny wzrost wartości modułów: zachowawczego i stratności oraz spadek wartości  $\tan \delta$  poniżej 1, co może jednoznacznie świadczyć o powstaniu struktury żelowej układu (rys.4). W przypadku analogów z dodatkiem WPC 85 otrzymano bardzo podobne przebiegi krzywych (dane nie zamieszczone).

Mounsey i O’Riordan [16] stwierdzili wysoką korelację pomiędzy topliwością analogów serów topionych określoną testem empirycznym a maksymalną wartością  $\tan \delta$ . Ogrzewanie analogów powoduje zmianę proporcji między sprężystością a lepkością. Moduł zachowawczy ( $G'$ ) obrazuje jaka część energii zostaje zachowana przez układ w wyniku odkształcenia sprężystego w odróżnieniu od modułu stratności ( $G''$ ), który wskazuje ile energii podczas odkształcenia zostało rozproszone w formie ciepła [19].  $\tan \delta$  kąta fazowego ( $\delta$ ) określa się jako iloraz modułu zachowawczego ( $G'$ ) i modułu stratności ( $G''$ ) [16]. Lopez i wsp. [10] stwierdzili, że bezwodny tłuszcz mleczny zawarty w analogach topi się w temp. 40 – 41 °C. Z tego względu roztopiony tłuszcz częściowo wypełnia przestrzeń międzybiałkowe, zaś pozostała jego część zwiększa objętość próbki sera, powodując wzrost wartości modułów  $G'$  i  $G''$ , a zarazem spadek wartości  $\tan \delta$ , co potwierdzają również badania Sołowieja i wsp. [22]. Powyżej temp. 64 °C stwierdzono wzrost wartości modułów: zachowawczego i stratności oraz spadek wartości  $\tan \delta$  poniżej 1, co może jednoznacznie świadczyć o powstaniu struktury żelowej układu (rys. 4). Wynika to z faktu, że przy małej zawartości laktozy w koncentratkach i izolatach, podczas denaturacji białek serwatkowych, ulega przesunięciu ich temperatura żelowania [18]. W kontekście topliwości sery topione mogą być rozpatrywane jako dwuskładnikowy układ złożony z topliwej sieci kazeinowej i nietopliwej sieci utworzonej z białek serwatkowych. Prawdopodobnie w wyższej temperaturze jest możliwa agregacja białek serwatkowych lub interakcja pomiędzy białkami serwatkowymi a kazeiną, która powoduje wzrost sprężystości serów topionych [12].

## Wnioski

1. Dodatek koncentratów białek serwatkowych (WPC 35 i WPC 65) powodował wzrost twardości analogów serów topionych w porównaniu z analogami otrzymanymi wyłącznie na bazie kazeiny kwasowej.
2. Wzrost zawartości białka w serze spowodowany dodatkiem koncentratów powodował wzrost lepkości analogów serów topionych.
3. Obecność bezwodnego tłuszczu mlecznego miała wpływ na teksturę i właściwości reologiczne analogów serów topionych.
4. Częściowa substytucja kazeiny białkami serwatkowymi (WPC 35, WPC 65) wpływa na poprawę cech reologicznych produktu finalnego i umożliwia jednocześnie redukcję kosztów produkcji.

*Praca była prezentowana podczas XIII Sesji Sekcji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Łódź, 28 - 29 maja 2008 r.*

### Literatura

- [1] Abd-El-Salam A., Khader A., Hamed A., Al Kamy A.F., El-Garawany G.A.: Effect of whey protein concentrate, emulsifying salts and storage on apparent viscosity of processed cheese spreads. *Egypt. J. Dairy Sci.*, 1997, **25**, 281-288.
- [2] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis* (14<sup>th</sup> Ed.). 1984, Arlington, VA.
- [3] Bednarski W.: Doskonalenie technologii oraz organizacji przetwarzania serwatki w Polsce. *Przem. Spoż.*, 2001, **2**, 32-34, 44.
- [4] Cichosz G.: *Technologia serów topionych*. Oficyna Wydawnicza Hoże, Warszawa, 2000.
- [5] Corredig M., Dalgleish D.G.: The mechanisms of heat-induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk. *Int. Dairy J.*, 1999, **9**, 233-236.
- [6] Dimitreli G., Thomareis A.S.: Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *J. Food Eng.*, 2004, **64**, 265-271.
- [7] Glibowski P., Mleko S., Gustaw W., Janas P.: Production and rheological characteristics profile of processed cheese analogues. *Pol. J. Natur. Sci.*, 2002, **11 (2)**, 207-214.
- [8] Gustaw W., Sołowiej B., Mleko S.: Otrzymywanie deserów mlecznych z białek serwatkowych z dodatkiem skrobi i karagenu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **4 (45)** Supl., 100-109.
- [9] Kneifel W., Seiler A.: Water holding properties of milk protein products - A review. *Food Struct.*, 1993, **12**, 297-308.
- [10] Lopez C., Lavigne F., Lesieur P., Keller G., Ollivon M.: Thermal and structural behavior of anhydrous milk fat. 2. Crystalline forms obtained by slow cooling. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84**, 2402-2412.
- [11] Marshall R.J.: Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *J. Sci. Food Agric.*, 1990, **50**, 237-252.
- [12] Mleko S., Lucey J.A.: Production and properties of processed cheese with reduced lactose whey. *Milchwissenschaft*, 2003, **58**, 9-10.
- [13] Mleko S., Foegeding E.A.: Physical properties of rennet casein gels and processed cheese analogs containing whey proteins. *Milchwissenschaft*, 2000, **55**, 513-516.
- [14] Mleko S., Foegeding E.A.: Formation of protein polymers: Effects of a two-step heating process on rheological properties. *J. Texture Stud.*, 1999, **30**, 137-149.
- [15] Mleko S.: Effect of pH on the microstructure and texture of whey protein concentrates and isolate gels. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 1996, **46 (1)**, 63-72.
- [16] Mounsey J.S., O'Riordan E.D.: Empirical and dynamic rheological data correlation to characterize melt characteristics of imitation cheese. *J. Food Sci.*, 1999, **64**, 701-703.
- [17] Nastaj M., Gustaw W., Sołowiej B.: Właściwości reologiczne deserów otrzymanych z białek serwatkowych z dodatkiem różnych substancji słodzących. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **5 (54)**, 283-291.
- [18] Rich L.M., Foegeding E.A.: Effects of sugars on whey protein isolate gelation. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 5046-5052
- [19] Schramm G.: *Reologia. Podstawy i zastosowania*. Ośrodek Wydawnictw Naukowych PAN, Poznań 1998.
- [20] Sołowiej B.: The effect of pH on rheological properties and meltability of processed cheese analogs with whey products. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2007, **57 (3A)**, 125-128.



- [21] Sołowiej B.: Analiza tekstury analogów serów topionych z dodatkiem preparatów serwatkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **5 (54)**, 292-300.
- [22] Sołowiej B., Mleko S., Gustaw W.: Physicochemical properties of acid casein processed cheese analogs obtained with different whey products. *Milchwissenschaft*, 2008, **63**, 299-302.

#### **EFFECT OF THE ADDITION OF WHEY PROTEIN CONCENTRATES ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PROCESSED CHEESE ANALOGS**

##### **S u m m a r y**

The objective of this study was to produce processed cheese analogs, in which the acid casein was partially replaced by a whey protein concentrate with various contents of protein, and to determine rheological properties of those products. The hardness of processed cheese analogs was tested using a TA-XT2i Texture Analyser and a 10 mm dia cylindrical sampler (the penetration rate was 1 mm/s, and the temperature of 21°C was constant). The viscosity of processed cheese analogs was measured using a Brookfield DV II+ rotational viscometer with a Helipath countershaft (F). The meltability of processed cheese analogs was measured using a RS 300 oscillatory rheometer with a parallel plate geometry (in the configuration: plate – plate), at a temperature varying from 30 to 80 °C. The changes in the storage modulus ( $G'$ ) and in the loss modulus ( $G''$ ), and in  $\tan(\delta)$  were determined.

The addition of whey protein concentrates (WPC 35 and WPC 65) caused the hardness of processed cheese analogs to increase compared to the analogs produced only on the basis of acid casein. The increase in the protein content in cheese caused by the addition of whey concentrates contributed to the increase in the viscosity of processed cheese analogs. The presence of anhydrous milk fat impacted the texture and rheological properties of processed cheese analogs. In the case of processed cheese analogs, produced on the basis of casein, the application of whey preparation (WPC 35 and WPC 65) can contribute to the essential savings of basic material and to the improvement of rheological properties of the final products. Moreover, the application of low protein concentrates, such as WPC 35, to obtaining processed cheese analogs makes it possible to reduce production costs.

**Key words:** processed cheese analogs, whey protein concentrates, rheology, hardness, viscosity 