

KRZYSZTOF SIEMIANOWSKI, JERZY SZPENDOWSKI, KRZYSZTOF BOHDZIEWICZ, PIOTR KOŁAKOWSKI, KATARZYNA PAWLIKOWSKA, JACEK BARDOWSKI, MAGDALENA CHMIELEWSKA, JOANNA ŻYLIŃSKA

## WPLYW ZAWARTOŚCI SUCHEJ MASY W MLEKU NA DYNAMIKĘ UKWASZANIA ORAZ CECHY JAKOŚCIOWE SKRZEPU TWAROGOWEGO

### Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu stopnia koncentracji suchej masy mleka na dynamikę jego ukwaszania oraz na wybrane cechy jakościowe kwasowego skrzepu twarogowego. Materiał badawczy stanowiły skrzepy kwasowe otrzymywane w warunkach laboratoryjnych z mleka regenerowanego, zróżnicowanego pod względem zawartości suchej masy, przygotowanego z odtłuszczonego proszku mlecznego. Do mleka o temp.  $28 \pm 0,5$  °C dodawano preparat starterowy Probat 505 i prowadzono ukwaszanie do pH  $4,60 \pm 0,02$  celem uzyskania skrzepu twarogowego. Zmiany kwasowości czynnej rejestrowano w sposób ciągły. W mleku oznaczano zawartość: suchej masy, białka, laktozy i składników mineralnych w postaci popiołu, a w skrzepach dodatkowo kwasowość miareczkową. Przeanalizowano cechy tekstury uzyskanych skrzepów doświadczalnych i wykonano ocenę sensoryczną tych skrzepów.

Wraz ze wzrostem zawartości suchej masy w mleku powyżej 13,5 % wydłużał się czas jego ukwaszania. Zawartość suchej masy w surowcu wpłynęła na profil tekstury skrzepów i wraz ze wzrostem jej poziomu następował istotny wzrost wartości charakteryzujących ich zwięzłość, konsystencję, spoistość i wskaźnik lepkości. Koncentracja składników suchej masy wykazywała również duży wpływ na kształtowanie cech sensorycznych skrzepów. Wraz ze wzrostem zawartości suchej masy w mleku, w skrzepach istotnie wzrastała intensywność: barwy kremowej, smaku słodkiego, posmaku proszku mlecznego oraz aromatu, natomiast zmniejszała się intensywność: jednolitości powierzchni, konsystencji i barwy, kwaśnego smaku i zapachu oraz ich czystości.

Pod względem technologicznym zwiększenie zawartości suchej masy w mleku nawet do około 18 % pozwala na uzyskanie dobrego jakościowo skrzepu twarogowego w optymalnym czasie ukwaszania.

**Słowa kluczowe:** mleko, sucha masa, dynamika ukwaszania, skrzep twarogowy, cechy tekstury, cechy sensoryczne

---

*Mgr inż. K. Siemianowski, prof. dr hab. inż. J. Szpendowski, dr inż. K. Bohdziewicz, Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością, Wydz. Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn, dr inż. P. Kolakowski, mgr K. Pawlikowska, Danisco Biolacta sp. z o. o., ul. Tuwima 1a, 10-747 Olsztyn, prof. dr hab. J. Bardowski, mgr inż. M. Chmielewska, mgr inż. J. Żylińska, Instytut Biochemii i Biofizyki PAN, ul. A. Pawińskiego 5a, 02-106 Warszawa*

## Wprowadzenie

W technologii serów niedojrzewających jednym z najważniejszych etapów procesu produkcyjnego jest koagulacja białek mleka. Zależnie od mechanizmów powodujących koagulację wyróżnić można wyroby kwasowe i kwasowo-enzymatyczne, przy czym w produkcji wysoko cenionego w Polsce tradycyjnego twarogu stosuje się najczęściej koagulację kwasową [5, 13, 17, 21].

Krzepnięcie kwasowe mleka w praktyce może być osiągnięte przez dodatek kultur bakterii kwaszących, prowadzących fermentację mlekową, lub poprzez bezpośrednie zakwaszenie środowiska (kwas mlekowy, kwas octowy, kwas cytrynowy itp.) [2, 17]. W wyniku wzrostu kwasowości następuje cofanie się dysocjacji grup kwasowych najważniejszego pod względem ilościowym białka mleka – kazeiny, a po osiągnięciu wartości pH 4,6, odpowiadającej punktowi izoelektrycznemu tego białka, jej zewnętrzny ładunek elektryczny jest równy zeru. Micele kazeinowe w takich warunkach środowiska tracą zdolność wiązania wody i tym samym ochronną powłokę hydratacyjną, w konsekwencji czego ulegają agregacji. Tworzy się wtedy żel kazeinowy, nazywany w praktyce skrzepem. Zamyka on w wolnych przestrzeniach uporządkowanej struktury sieciowej wszystkie pozostałe składniki obecne w mleku [6, 8, 13, 17].

Jakość skrzepu twarogowego może być rozpatrywana w zakresie jego tekstury oraz wyróżników sensorycznych. Cechy tekstury skrzepu w technologii twarogów determinują przebieg jego dalszej obróbki (krojenie, dogrzewanie, prasowanie) oraz retencję składników surowca w produkcie, a więc wydatek i jakość produktu finalnego, w tym jego wartość odżywczą. Cechy sensoryczne skrzepu są kształtowane głównie przez jakość zastosowanego surowca, parametry procesu technologicznego oraz w znacznym stopniu, na etapie biologicznego ukwaszania, przez bakterie fermentacji mlekowej, gdyż syntetyzowane przez nie związki (np. kwas mlekowy, diacetyl) kształtują jego smak i aromat [2, 5, 24, 25].

Do wyrobu twarogu kwasowego w warunkach krajowych najczęściej wykorzystuje się mleko krowie, czasem maślanek lub jej mieszaninę z mlekiem [5, 17]. Możliwe jest również stosowanie jako surowca odpowiednio przygotowanego proszku mlecznego, którego zaletą jest znaczna trwałość. Jest to szczególnie uzasadnione w miejscach, gdzie uwarunkowania klimatyczne uniemożliwiają produkcję oraz bardzo uwidoczniają się sezonowe zmiany podaży mleka surowego. Regeneracja mleka w proszku przy zastosowaniu odpowiedniej ilości wody jest jednym ze sposobów otrzymywania surowca o większej koncentracji składników suchej masy, a jego wykorzystywanie pozwala na zwiększenie zdolności produkcyjnych [28].

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu stopnia koncentracji składników suchej masy mleka na dynamikę jego ukwaszania oraz na wybrane cechy jakościowe kwasowego skrzepu twarogowego.

### Material i metody badań

Material badawczy stanowiły skrzepy kwasowe mleka uzyskiwane w warunkach laboratoryjnych. Jako surowiec stosowano w doświadczeniu mleko regenerowane przygotowane z odtłuszczonego proszku mlecznego. Proszek mleczny regenerowano przy wykorzystaniu odpowiedniej ilości wody destylowanej, tak aby uzyskać mleko zróżnicowane pod względem koncentracji składników suchej masy. W przygotowanym surowcu standaryzowano kwasowość 0,25 M roztworem NaOH do  $\text{pH } 6,70 \pm 0,02$ . Następnie, po umieszczeniu w butelkach typu Schott, poddawano go pasteryzacji w pionowym autoklawie Systec VX-75 firmy DVB, w temp.  $95 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  z przetrzymaniem w ciągu  $10 \pm 0,1$  min. Czas dochodzenia do zadanej temperatury wynosił 54 min, a chłodzenia do  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  – 30 min. Dalsze ochładzanie surowca prowadzono przy wykorzystaniu wody lodowej. Po osiągnięciu temp.  $28 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  dodawano kultury starterowe Probat 505 w ilości zalecanej przez producenta (Danisco). W skład zastosowanego preparatu kultur bakteryjnych wchodziły mezofilne paciorkowce kwaszące *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoriss* oraz kwasząco-aromatyzujące *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* i *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* [16]. Zaprawione kulturą mleko nalewano do szklanych zlewek, po  $1,5 \text{ dm}^3$ , i prowadzono proces ukwaszania w inkubatorze Memmert Beschickung Modell 100-800. Inkubację prowadzono w temp.  $28 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  do uzyskania kwasowości czynnej na poziomie  $\text{pH } 4,60 \pm 0,02$ . Mleko i uzyskiwane skrzepy twarogowe kodowano odpowiednio literą M i S oraz cyfrą z przedziału 1 - 5. Proces ukwaszania prowadzono w trzech równoległych powtórzeniach.

W mleku regenerowanym oraz uzyskanych z niego skrzepach doświadczalnych oznaczano zawartość: suchej masy metodą suszenia [14], białka ogółem metodą makro [15], laktozy metodą Bertranda [3] oraz związków mineralnych w postaci popiołu metodą spalania w piecu komorowym. Ze względu na wykorzystywanie odtłuszczonego proszku mlecznego w doświadczeniu zrezygnowano z oznaczania zawartości tłuszczu. W analizowanych skrzepach oznaczano również kwasowość miareczkową [27].

Dynamikę ukwaszania mierzono przy wykorzystaniu skomputeryzowanego systemu do pomiaru aktywności kwaszącej bakterii kwasu mlekowego Cinac YSEBAERT z oprogramowaniem Wcinac32. W doświadczeniu do pomiarów pH zastosowano elektrody Mettler Toledo InLab<sup>®</sup> Power pH. Rejestrację zmian kwasowości czynnej prowadzono z częstotliwością co 15 min.

Badania profilu tekstury skrzepów doświadczalnych prowadzono przy wykorzystaniu analizatora TEXTURE ANALYSER TA.XT plus z oprogramowaniem komputerowym Texture Exponent 32, testem Fromage Frans. Zlewkę ze skrzepem umieszczano centralnie pod trzpieniem pomiarowym urządzenia z końcówką w kształcie płaskiego krążka o średnicy 45 mm, który penetrował skrzep na głębokość 20 mm z prędkością 2 mm/s przy stałej sile nacisku (0,02 N), a następnie wracał do pozycji

wyjściowej z prędkością 10 mm/s. Na podstawie otrzymanych krzywych pomiarowych wyznaczono następujące cechy profilu tekstury badanych skrzepów: zwięzłość, konsystencję, spoistość i wskaźnik lepkości. Zwięzłości odpowiadała maksymalna siła nacisku końcówki pomiarowej na badaną próbkę, a spoistości wartość maksymalnej siły niezbędnej do pokonania oporu próbki w czasie powrotu końcówki pomiarowej do pozycji wyjściowej [N]. Konsystencję i wskaźnik lepkości charakteryzowało, odpowiednio, pole powierzchni pod krzywą zmian siły nacisku w czasie oraz pole powierzchni ograniczone krzywą zmian siły niezbędnej na pokonanie oporu próbki w czasie [N·s]. Uzyskane wartości określające spoistość i wskaźnik lepkości badanych skrzepów miały wartości ujemne, co wynikało z kierunku działania trzpienia pomiarowego. W analizie wyników brane były pod uwagę wartości bezwzględne wymienionych cech tekstury. Pomiarów wymienionych cech tekstury dokonywano w trzech powtórzeniach.

Analizę sensoryczną skrzepów twarogowych prowadzono przy zastosowaniu metody skalowania, która polega na ilościowym wyrażeniu określonych charakterystyk jakościowych analizowanego materiału. Analizę sensoryczną przeprowadził zespół składający się z ośmiu osób przeszkolonych w sposób zgodny z zaleceniami dotyczącymi wymienionej metody [1]. Po zebraniu propozycji, dyskusji nad nimi i ich weryfikacji wybrano i zdefiniowano 14 cech jakościowych. Do oceny intensywności wymienionych cech zastosowano sześciopunktową skalę liczbową, w której poszczególnym liczbom punktów przypisano następujące określenia słowne: 0 – niewyczuwalna/brak, 1 – bardzo słaba, 2 – słaba, 3 – przeciętna, 4 – silna, 5 – bardzo silna. Analiza obejmowała takie cechy sensoryczne skrzepów doświadczalnych, jak: synerеза, jednolitość powierzchni, jednolitość konsystencji (bez pęknięć), jednolitość barwy, kremowość barwy, sprężystość, smak kwaśny, smak słodki, smak mdły, posmak proszku mlecznego, czystość smaku, zapach kwaśny, czystość zapachu i aromat.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej przy wykorzystaniu programu Statistica ver. 10. W przypadku wyników oznaczeń składu chemicznego mleka, skrzepów i profilu tekstury zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Do wyników analizy sensorycznej zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya. Istotność różnic badano na poziomie  $p \leq 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Analiza podstawowego składu chemicznego mleka regenerowanego, zróżnicowanego pod względem zawartości suchej masy, wykazała występowanie różnic w jego składzie (tab. 1). Wraz ze wzrostem koncentracji suchej masy w mleku następował wzrost zawartości białka, laktozy i związków mineralnych oznaczonych jako popiół.

Sucha masa mleka stanowi wypadkową zawartych w nim składników innych niż woda, a więc głównie białka, laktozy, tłuszczu i soli mineralnych [6]. Przeciętny skład

surowego mleka krowiego przedstawia się następująco: woda 87,8 %, sucha masa 12,2 %, tłuszcz 3,4 %, białko 3,1 %, laktoza 4,8%, inne związki organiczne 0,2 % oraz składniki mineralne w postaci popiołu 0,7 % [5]. Można zatem stwierdzić, że skład chemiczny mleka regenerowanego M1 był najbardziej porównywalny, w obrębie analizowanych wariantów surowca doświadczalnego, do składu mleka wykorzystywanego w tradycyjnej technologii twarogu chudego.

Tabela 1

Podstawowy skład chemiczny mleka regenerowanego.  
Basic chemical composition of reconstituted milk.

Mleko regenerowane Reconstituted milk	Podstawowy skład chemiczny / Basic chemical composition [%]			
	sucha masa dry matter	białko protein	laktoza lactose	popiół ash
M1	9,54 ± 0,04 <sup>A</sup>	3,40 ± 0,01 <sup>A</sup>	5,22 ± 0,01 <sup>A</sup>	0,89 ± 0,01 <sup>A</sup>
M2	13,51 ± 0,04 <sup>B</sup>	4,79 ± 0,02 <sup>B</sup>	7,47 ± 0,02 <sup>B</sup>	1,22 ± 0,01 <sup>B</sup>
M3	17,63 ± 0,03 <sup>C</sup>	6,24 ± 0,01 <sup>C</sup>	9,53 ± 0,02 <sup>C</sup>	1,60 ± 0,02 <sup>C</sup>
M4	22,72 ± 0,05 <sup>D</sup>	8,12 ± 0,02 <sup>D</sup>	12,43 ± 0,04 <sup>D</sup>	2,00 ± 0,02 <sup>D</sup>
M5	25,94 ± 0,03 <sup>E</sup>	9,36 ± 0,03 <sup>E</sup>	14,27 ± 0,04 <sup>E</sup>	2,25 ± 0,03 <sup>E</sup>

Objaśnienia / Explanatory notes:

M1, M2, M3, M4, M5 – próby mleka regenerowanego różniące się pod względem koncentracji suchej masy / samples of reconstituted milk with different concentrations of dry matter;

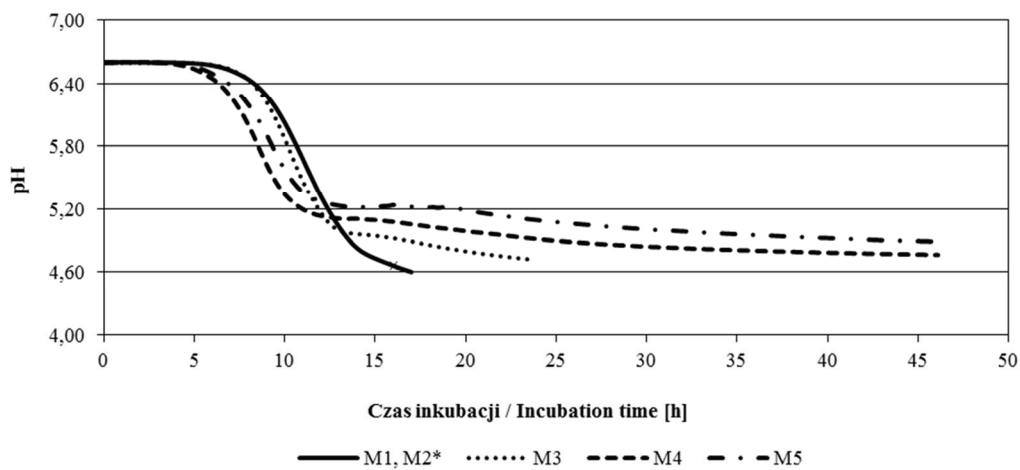
wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3

A, B, C, D, E – wartości oznaczone w tej samej kolumnie różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) / values denoted by different letters in the same column differ statistically significantly ( $p \leq 0,05$ ).

W czasie produkcji tradycyjnego twarogu w warunkach przemysłowych obniżenie pH mleka do wartości 4,6, celem wytrącenia kazeiny z roztworu, osiągane jest w wyniku rozwoju wprowadzonych kultur bakterii fermentacji mlekowej, które zakwaszają środowisko wytwarzając kwas mlekowy [5, 22, 25]. Praktyczne zastosowanie znajduje tu koagulacja krótkotrwała lub długotrwała. Metoda krótkotrwała przewiduje wprowadzenie do mleka o temp. 32 - 35 °C zwiększonej ilości kultur bakterii fermentacji mlekowej tak, aby czas koagulacji wynosił 6 - 8 h [17, 21]. W metodzie długotrwałej surowiec doprowadza się do temp. 22 - 28 °C, a następnie dodaje kultury bakterii fermentacji mlekowej i pozostawia w tych warunkach na 12 - 16 h celem uzyskania skrzepu [12].

Porównując dynamikę ukwaszania poszczególnych wariantów surowca można zauważyć, że w przypadku mleka M3, M4 i M5 wzrost zawartości składników suchej masy wykazywał wpływ na przyrost kwasowości (rys. 1). Kwasowość czynną na po-

ziomie pH 4,6 osiągnięto w przeprowadzonym doświadczeniu tylko w przypadku mleka M1 i M2, gdzie średni poziom suchej masy wynosił odpowiednio 9,54 % i 13,51 % po 17 h inkubacji. W przypadku mleka M3 (s.m. 17,63 %) po 17 h inkubacji osiągnięto pH 4,9, a proces kończono po 24 h przy pH 4,72. Ukwaszanie mleka M4 (s.m. 22,72 %) i M5 (s.m. 25,94 %) przebiegało znacznie wolniej niż mleka M1, M2 i M3. Poziom pH 4,9 w przypadku mleka M4 uzyskano po blisko 25 h inkubacji, a mleka M5 po blisko 43 h. Ze względu na wolny przyrost kwasowości czynnej proces ukwaszania mleka M4 i M5 zakończono po upływie 46 h, osiągając odpowiednio pH na poziomie 4,76 oraz 4,89.



Objaśnienia / Explanatory notes:

M1, M2, M3, M4, M5 – próby mleka regenerowanego różniące się pod względem koncentracji suchej masy / samples of reconstituted milk with different concentrations of dry matter;

\* w przypadku mleka M1 i M2 proces ukwaszania przebiegał tak samo / in the case of M1 and M2 milk, the process of souring was identical.

Rys. 1. Dynamika ukwaszania mleka o różnej koncentracji składników suchej masy.

Fig. 1. Souring dynamics of milk with different dry matter concentrations.

Mistry i Kosikowski [11], w badaniach dotyczących ukwaszania koncentratu uzyskanego przy zastosowaniu techniki ultrafiltracji z mleka odtłuszczonego, stwierdzili trudności w obniżeniu poziomu pH do wartości umożliwiającej jego koagulację na drodze ukwaszania przy zastosowaniu kultur bakterii mlekowych. Meijer i wsp. [10] wykazali z kolei o 25 % słabszy wzrost *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* w mleku zagęszczonym techniką ultrafiltracji o stopniu koncentracji 3,6 w porównaniu z ich wzrostem w mleku chudym. Skład chemiczny koncentratów uzyskiwanych metodą ultrafiltracji różni się jednak od składu doświadczalnego mleka regenerowanego. Róż-

nice te wynikają ze specyfiki procesu ultrafiltracji, w czasie którego składniki mleka o masie cząsteczkowej większej niż punkt odcięcia zastosowanej membrany wzbogacają koncentrat (tłuszcz, białka), a składniki charakteryzujące się mniejszą masą cząsteczkową (laktoza, sole mineralne) częściowo ulegają permeacji i wzbogacają strumień odcieku [23].

Trudność w ukwaszeniu mleka M3, M4 i M5 do poziomu pH 4,6 może wynikać z właściwości surowca, a tym samym warunków środowiska rozwoju zastosowanych kultur bakterii fermentacji mlekowej. Wzrost zawartości składników suchej masy beztłuszczowej w mleku, głównie w obszarze białek i soli mineralnych, wiąże się ze zwiększeniem jego pojemności buforowej, która zmienia przebieg procesu ukwaszania [7, 18, 26]. W składzie wykorzystywanego surowca wraz ze wzrostem zawartości suchej masy wzrastała zawartość białka oraz związków mineralnych oznaczonych jako popiół, więc można przypuszczać, że pojemność buforowa również wzrastała, niwelując przyrosty kwasowości.

Ze względu na buforowość w ocenie stopnia ukwaszenia mleka bardzo przydatny jest pomiar kwasowości miareczkowej [6, 27]. Porównując wartości kwasowości miareczkowej skrzepów doświadczalnych można stwierdzić, że wraz ze wzrostem zawartości składników suchej masy w surowcu, z wyjątkiem skrzepu S5, wzrastała również wartość tego parametru (tab. 2), co dowodzi wpływu pojemności buforowej na przebieg ukwaszania. Odbiegająca od tendencji wartość kwasowości miareczkowej skrzepu S5 może mieć związek z zakończeniem ukwaszania przy znacznie mniejszej wartości kwasowości czynnej niż w przypadku pozostałych prób doświadczalnych.

Nie bez znaczenia dla rozwoju i aktywności kwaszącej kultur bakterii mlekowych może być potencjał oksydo-redukcyjny czy aktywność wody, których wartości zależą od zawartości i składu suchej masy surowca [22].

Tabela 2

Kwasowość miareczkowa skrzepów twarogowych.  
Titratable acidity of tvorog curds.

Badany parametr Analysed parameter	Skrzep twarogowy / Tvorog curd				
	S1	S2	S3	S4	S5
Kwasowość miareczkowa Titratable acidity [°SH]	33,5 ± 0,1	39,0 ± 0,1	43,5 ± 0,1	64,4 ± 0,1	56,3 ± 0,1

Objaśnienia / Explanatory notes:

S1, S2, S3, S4, S5 – skrzep twarogowy uzyskany z mleka regenerowanego różniącego się pod względem koncentracji suchej masy / tvorog curds from reconstituted milk with different dry matter concentrations; wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3



W praktyce produkcyjnej na podstawie wartości kwasowości miareczkowej lub/i pH określa się dojrzałość skrzepu, czyli jego przydatność do dalszej obróbki w procesie technologicznym. Optymalna kwasowość skrzepu przy wyrobie twarogu kwasowego z mleka o standardowej zawartości suchej masy beztłuszczowej (około 8,5 %) wynosi 32 - 34 °SH, a pH 4,6 [5, 12]. W przypadku skrzepów doświadczalnych kwasowością czynną z przedziału 32 - 34 °SH charakteryzował się wyłącznie skrzep S1, pozostałe miały zdecydowanie większe wartości kwasowości miareczkowej.

W wyniku analizy podstawowego składu chemicznego uzyskanych skrzepów twarogowych można zauważyć, że podobnie jak w przypadku surowca, z którego je otrzymano, wzrostowi koncentracji suchej masy towarzyszył wzrost zawartości białka, laktozy i związków mineralnych w postaci popiołu, a różnice zawartości wymienionych składników były statystycznie istotne (tab. 3). Porównawszy skład mleka i otrzymanych z niego skrzepów twarogowych stwierdzono, że skrzep charakteryzował się mniejszą zawartością suchej masy i laktozy, będącej jej podstawową składową, oraz większą zawartością białka (tab. 1 i 3). Po porównaniu zawartości składników mineralnych oznaczonych jako popiół w mleku i w skrzepie, większą jego zawartość stwierdzono w mleku M1, M2 i M3, natomiast mleko M4 i M5 charakteryzowało się mniejszą jego zawartością niż uzyskany z niego skrzep.

Tabela 3

Podstawowy skład chemiczny skrzepów twarogowych.  
Basic chemical composition of tvorog curds.

Skrzep twarogowy Tvorog curd	Podstawowy skład chemiczny / Basic chemical composition [%]			
	sucha masa dry matter	białko protein	laktoza lactose	popiół ash
S1	9,26 ± 0,02 <sup>F</sup>	3,48 ± 0,03 <sup>F</sup>	4,41 ± 0,03 <sup>F</sup>	0,81 ± 0,01 <sup>F</sup>
S2	13,10 ± 0,05 <sup>G</sup>	4,85 ± 0,02 <sup>G</sup>	6,25 ± 0,01 <sup>G</sup>	1,19 ± 0,01 <sup>G</sup>
S3	17,27 ± 0,02 <sup>H</sup>	6,34 ± 0,03 <sup>H</sup>	8,23 ± 0,02 <sup>H</sup>	1,56 ± 0,01 <sup>H</sup>
S4	22,28 ± 0,01 <sup>I</sup>	8,21 ± 0,02 <sup>I</sup>	10,73 ± 0,02 <sup>I</sup>	2,05 ± 0,01 <sup>I</sup>
S5	25,22 ± 0,02 <sup>J</sup>	9,48 ± 0,02 <sup>J</sup>	12,44 ± 0,01 <sup>J</sup>	2,35 ± 0,01 <sup>J</sup>

Objaśnienia / Explanatory notes:

S1, S2, S3, S4, S5 – skrzep twarogowy uzyskany z mleka regenerowanego różniącego się pod względem koncentracji suchej masy / tvorog curds from reconstituted milk with different dry matter concentrations; wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3

F, G, H, I, J – wartości oznaczone w tej samej kolumnie inną literą różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / values denoted by different letters in the same column differ statistically significantly (p ≤ 0.05).



Mniejszą zawartość laktozy w skrzepie twarogowym, w porównaniu z jej zawartością w surowcu, z którego został on uzyskany, należy tłumaczyć procesem biologicznego ukwaszania prowadzonym przez zastosowane kultury bakterii fermentacji mlekowej, w czasie którego wymieniony dwucukier wykorzystywany jest jako źródło węgla i energii [4, 22].

W technologii twarogów wykorzystywane są mezofilne paciorkowce kwaszące oraz kwasząco-aromatyzujące z rodzaju *Lactococcus* i *Leuconostoc*. Paciorkowce z rodzaju *Lactococcus* prowadzą homofermentację z wytworzeniem dużych ilości kwasu mlekowego L(+), z wyjątkiem *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*, który produkuje mieszaninę racemiczną kwasu mlekowego oraz fermentuje cytryniany do diacetylu. Natomiast paciorkowce rodzaju *Leuconostoc* to heterofermentatywne bakterie fermentujące laktozę do kwasu mlekowego D(-), dwutlenku węgla i etanolu [22, 24].

Różnice pod względem zawartości białka i związków mineralnych (w postaci popiołu) w skrzepach, w porównaniu z ich zawartością w mleku, z którego je uzyskiwano, mogą być skutkiem specyficznych właściwości skrzepu, kształtowanych w czasie procesów ukwaszania.

Sole mineralne w mleku występują w różnej postaci. Część z nich tworzy roztwory rzeczywiste np. chlorki, siarczany, jony sodu, potasu, część fosforanów oraz cytrynianów wapniowych i magnezowych, a część jest obecna w formie nierozpuszczalnej (głównie fosforanów). Dotyczy to znacznej ilości soli wapniowych i magnezowych w mleku surowym, które stanowią składową układu koloidalnego kazeiny [6]. Mielarna struktura kazeiny w mleku zależy w znacznym stopniu od amorficznego fosforanu wapnia. Po osiągnięciu kwasowości odpowiadającej punktowi izoelektrycznemu kazeiny następuje jego uwolnienie z miceli kazeinowych i formowanie się struktury żelu [20]. Tak uzyskany skrzep jest efektem powstania nierozpuszczalnej sieci białkowej, która w swych przestrzeniach zamyka fazę wodną wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami. Punkty połączeń w strukturze sieci skrzepu stanowią całkowicie odmineralizowane submicelle [13]. Można przypuszczać, że wyraźnie mniejsza kwasowość czynna, niż ta która odpowiada punktowi izoelektrycznemu kazeiny, i tym samym mniejszy stopień odmineralizowania kazeiny mleka M4 i M5, może być przyczyną większej zawartości związków mineralnych (w postaci popiołu) w uzyskanych z niego skrzepach, w przeciwieństwie do mleka M1, M2 i M3, gdzie surowiec charakteryzował się większą jego zawartością niż skrzep.

Kolejnym etapem w przeprowadzonym doświadczeniu było zbadanie profilu tekstury uzyskanych skrzepów twarogowych. Pojęcie tekstury dotyczy opisu właściwości reologicznych i makrostrukturalnych analizowanego ciała. Tekstura jest pojęciem bardzo szerokim, gdyż obejmuje całokształt cech mechanicznych, geometrycznych oraz

powierzchniowych danego ciała, odbieranych za pomocą receptorów mechanicznych, dotykowych, ewentualnie wzrokowych i słuchowych [9, 19].

W doświadczeniu analizowano takie cechy tekstury skrzepów, jak: zwięzłość, konsystencja, spoistość i wskaźnik lepkości. Konsystencja jest definiowana zwykle jako stopień zwartości, gęstości lub lepkości produktu albo jego składnika i obejmuje tylko część cech charakteryzujących teksturę. Spoistość to mechaniczna cecha tekstury określająca stopień, do jakiego można odkształcić daną substancję, ale jej nie złamać [1]. Cecha ta określa wielkość wiązań sił wewnętrznych utrzymujących daną substancję jako całość [19].

Na cechy tekstury danego ciała w znacznym stopniu wpływa m.in. jego skład chemiczny [9, 19]. Mając na uwadze podstawowy skład chemiczny badanych skrzepów doświadczalnych należy stwierdzić, że wraz ze zwiększaniem się zawartości składników suchej masy analizowane skrzepy, z wyjątkiem skrzepu S5, charakteryzowały się wyższymi wartościami określającymi zwięzłość, konsystencję, spoistość i wskaźnik lepkości, a różnice między nimi były statystycznie istotne (tab. 4). Skrzep S4 charakteryzował się około 6,5-krotnie wyższą wartością średnią określającą zwięzłość, 4,8-krotnie wyższą konsystencją i spoistością oraz blisko 4,4-krotnie zwiększonym wskaźnikiem lepkości w porównaniu ze skrzepem S1.

Tabela 4

Profil tekstury skrzepów twarogowych.  
Texture profile of tvorog curds.

Skrzep twarogowy Tvorog curd	Wyróżniki tekstury / Texture descriptors			
	zwięzłość compactness [N]	konsystencja consistency [N*s]	spoistość cohesiveness [N]	wskaźnik lepkości Viscosity Index [N*s]
S1	0,95 ± 0,04 <sup>A</sup>	7,14 ± 0,05 <sup>A</sup>	0,29 ± 0,04 <sup>A</sup>	0,37 ± 0,02 <sup>A</sup>
S2	1,72 ± 0,04 <sup>B</sup>	14,00 ± 0,04 <sup>B</sup>	0,53 ± 0,04 <sup>B</sup>	0,77 ± 0,05 <sup>B</sup>
S3	2,25 ± 0,05 <sup>C</sup>	17,68 ± 0,04 <sup>C</sup>	0,75 ± 0,05 <sup>C</sup>	1,05 ± 0,04 <sup>C</sup>
S4	6,22 ± 0,03 <sup>E</sup>	34,02 ± 0,04 <sup>E</sup>	1,40 ± 0,04 <sup>E</sup>	1,62 ± 0,03 <sup>E</sup>
S5	2,30 ± 0,03 <sup>D,C</sup>	17,86 ± 0,04 <sup>D</sup>	1,02 ± 0,04 <sup>D</sup>	1,41 ± 0,03 <sup>D</sup>

Objaśnienia / Explanatory notes:

S1, S2, S3, S4, S5 – skrzep twarogowy uzyskany z mleka regenerowanego różniącego się pod względem koncentracji suchej masy / tvorog curds from reconstituted milk with different dry matter concentrations; wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 3

A, B, C, D, E – wartości oznaczone w tej samej kolumnie inną literą różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) / values denoted by different letters in the same column differ statistically significantly ( $p \leq 0,05$ )

Według Żbikowskiej i Żbikowskiego [26] wzbogacanie surowca, związane z ogólnym zwiększeniem poziomu zawartości białka lub z dodatkiem kazeinianu wapnia, wpływa na poprawę usieciowienia kazeiny, a w konsekwencji prowadzi do większej zawartości skrzepu mleka.

Odbiegający od tendencji profil tekstury skrzepu S5 może wynikać z dużej pojemności buforowej, której wpływ niwelował przyrost kwasowości w czasie ukwaszania i nie pozwolił w tym przypadku na zbliżenie się do wartości pH odpowiadającej punktowi izoelektrycznemu kazeiny. Według Luceya [8] taki skrzep jest bardziej podatny na oddziaływania mechaniczne, gdyż między cząsteczkami kazeiny występują słabsze oddziaływania hydrofobowe.

Wyniki wpływu zawartości suchej masy w mleku na cechy sensoryczne skrzepów twarogowych zestawiono w tab. 5. W przypadku skrzepu S1 nie stwierdzono występowania synerazy, a we wszystkich pozostałych skrzepach była ona bardzo słaba. Wraz ze zwiększaniem koncentracji suchej masy zaobserwowano tendencję wzrostową w przypadku intensywności: kremowości barwy, słodkości smaku, posmaku proszku mlecznego oraz aromatu. Odwrotna tendencja dotyczyła: jednolitości powierzchni, konsystencji, barwy, kwaśnego smaku i zapachu oraz czystości smaku i zapachu. Skrzepy S1 i S2 odznaczały się brakiem smaku mdłego, a w pozostałych skrzepach twarogowych cecha ta miała bardzo słabą intensywność.

Skrzep S1 różnił się w porównaniu ze skrzepem S2 statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ) wyższą wartością charakteryzującą jednolitość powierzchni oraz statystycznie istotnie niższymi wartościami w przypadku takich cech, jak: syneraza, barwa kremowa, sprężystość, smak słodki oraz aromat. Najbardziej zbliżone pod względem poziomu analizowanych wyróżników sensorycznych były skrzepy S4 i S5, a jedyną różnicą była statystycznie istotnie wyższa wartość charakteryzująca posmak proszku mlecznego w przypadku skrzepu S5. Skrzep doświadczalny S1 różnił się statystycznie istotnie od skrzepów S4 i S5 pod względem wszystkich analizowanych cech sensorycznych, a w porównaniu ze skrzepem S3 nie różnił się statystycznie istotnie tylko pod względem czystości zapachu.

Jak podają Holanowski [5] i Obrusiewicz [12], dojrzały skrzep twarogowy powinien: charakteryzować się konsystencją delikatnej galarety, być jednolity, bez pęknięć i szczelin oraz bez wydzielającej się serwatki.

Mając na uwadze oczekiwania związane z czasem ukwaszania oraz cechami jakościowymi skrzepu twarogowego, można stwierdzić, że zwiększenie zawartości suchej masy w mleku do poziomu około 18 % może mieć zastosowanie w praktyce technologicznej. Przy takiej koncentracji suchej masy uzyskiwane skrzepy kwasowe mleka odznaczają się dobrą teksturą oraz akceptowanymi właściwościami sensorycznymi, co pozwalałoby na produkcję twarogów dobrej jakości przy jednoczesnym zwiększeniu zdolności produkcyjnych.

Tabela 5

Wyniki analizy sensorycznej skrzepów twarogowych.  
Results of sensory evaluation of tvorog curds.

L.p. No	Wyróżniki sensoryczne Sensory parameters	Badany skrzep / Tested curd				
		S1	S2	S3	S4	S5
1	Synereza / Syneresis	0,00 ± 0,00 <sup>A</sup>	1,00 ± 0,00 <sup>B</sup>	1,00 ± 0,00 <sup>B</sup>	1,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	1,38 ± 0,52 <sup>B</sup>
2	Jednolitość powierzchni Uniformity of surface	5,00 ± 0,00 <sup>D</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>C</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	2,38 ± 0,52 <sup>A</sup>	1,75 ± 0,46 <sup>A</sup>
3	Jednolitość konsystencji Uniformity of consistence	4,63 ± 0,52 <sup>C</sup>	4,50 ± 0,53 <sup>C</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	2,38 ± 0,52 <sup>A</sup>	1,63 ± 0,52 <sup>A</sup>
4	Jednolitość barwy Uniformity of colour	5,00 ± 0,00 <sup>D</sup>	4,75 ± 0,46 <sup>D,B</sup>	3,00 ± 0,00 <sup>C</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	4,00 ± 0,00 <sup>A,B</sup>
5	Kremowość barwy Cream colour	1,25 ± 0,46 <sup>A</sup>	2,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	3,50 ± 0,53 <sup>B</sup>	4,00 ± 0,76 <sup>C</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>C</sup>
6	Sprężystość / Elasticity	2,50 ± 0,53 <sup>A</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	2,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	4,00 ± 0,00 <sup>C</sup>	3,63 ± 0,52 <sup>B,C</sup>
7	Smak kwaśny Acidic taste	3,50 ± 0,53 <sup>C</sup>	3,75 ± 0,46 <sup>C</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	2,50 ± 0,53 <sup>A,B</sup>	2,25 ± 0,46 <sup>A</sup>
8	Smak słodki Sweet taste	1,25 ± 0,46 <sup>A</sup>	2,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>C</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>D</sup>	4,50 ± 0,53 <sup>D</sup>
9	Smak mdły Insipid taste	0,00 ± 0,00 <sup>A</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>A</sup>	0,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	0,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	0,75 ± 0,46 <sup>B</sup>
10	Posmak proszku mlecznego Aftertaste of milk powder	1,63 ± 0,52 <sup>A</sup>	1,75 ± 0,46 <sup>A</sup>	2,50 ± 0,53 <sup>B</sup>	3,50 ± 0,53 <sup>C</sup>	4,63 ± 0,52 <sup>D</sup>
11	Czystość smaku Purity of taste	4,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	3,50 ± 0,53 <sup>A</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>A</sup>	3,00 ± 0,00 <sup>A</sup>
12	Zapach kwaśny Acidic smell	3,25 ± 0,46 <sup>B</sup>	2,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	1,75 ± 0,46 <sup>A</sup>	1,50 ± 0,53 <sup>A</sup>	1,38 ± 0,52 <sup>A</sup>
13	Czystość zapachu Purity of smell	4,50 ± 0,53 <sup>C</sup>	4,25 ± 0,46 <sup>C,B</sup>	4,00 ± 0,00 <sup>C,B</sup>	3,75 ± 0,46 <sup>B</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>A,B</sup>
14	Aromatyczność Aromatics	1,50 ± 0,53 <sup>A</sup>	2,50 ± 0,53 <sup>B</sup>	2,75 ± 0,46 <sup>B,C</sup>	3,25 ± 0,46 <sup>C,D</sup>	3,50 ± 0,53 <sup>D</sup>

Objaśnienia / Explanatory notes:

S1, S2, S3, S4, S5 – skrzep twarogowy uzyskany z mleka regenerowanego różniące się pod względem koncentracji suchej masy/ tvorog curds from reconstituted milk with different dry matter concentrations; wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation; n = 8

A, B, C, D – wartości oznaczone w tym samym wierszu inną literą różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / values denoted by different letters in the same row differ statistically significantly (p ≤ 0.05).

## Wnioski

1. Zawartość suchej masy w mleku wpływa na dynamikę jego ukwaszania. Wzrost jej zawartości skutkuje wydłużeniem czasu ukwaszania oraz trudnością w osiągnięciu kwasowości czynnej na poziomie odpowiadającym punktowi izoelektrycznemu kazeiny.
2. Proces ukwaszania wpływa istotnie na skład skrzepów twarogowych. Kwasowe skrzepy twarogowe charakteryzują się istotnie mniejszą zawartością suchej masy i laktozy oraz większą zawartością białka w porównaniu z mlekiem, z którego je uzyskano.
3. Koncentracja suchej masy w mleku wykazuje wpływ na cechy tekstury uzyskiwanych z niego kwasowych skrzepów twarogowych. Wraz ze wzrostem zawartości składników suchej masy wzrastają wartości określające zwięzłość, konsystencję, spoistość i wskaźnik lepkości skrzepów.
4. Zawartość składników suchej masy wpływa na kształtowanie się wielu cech sensorycznych kwasowych skrzepów mleka. Większej koncentracji suchej masy towarzyszy wzrost intensywności takich cech, jak: kremowość barwy, smak słodki, posmak proszku mlecznego oraz aromat, a równocześnie zmniejszenie jednolitości powierzchni, konsystencji oraz intensywności: barwy, kwaśnego smaku i zapachu i ich czystości.

*Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego własnego pt. "Bezodpadowa technologia serów twarogowych otrzymywanych ze wszystkich białek mleka", finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N312351539.*

## Literatura

- [1] Baryłko-Pikielna N., Matuszewska I.: *Sensoryczne badania żywności. Podstawy. Metody. Zastosowania.* Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2009.
- [2] Bohdziewicz K.: Twaróg – pierwszy świeży ser świata. *Przegl. Mlecz.*, 2009, **2**, 4-8.
- [3] Budślawski J.: *Badanie mleka i jego przetworów.* PWRiL, Warszawa 1973.
- [4] De Vos W.M., Vaughan E.E.: Genetics of lactose utilization in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.*, 1994, **15 (2-3)**, 217-237.
- [5] Holanowski A.: *Twarogi i serki twarogowe.* Biblioteczka Majstra Mleczarskiego. Wyd. Spółdzielcze, Warszawa 1986.
- [6] Jaworski J., Kuncewicz A.: Właściwości fizykochemiczne mleka. W: *Mleczarstwo. Tom I.* Red. S. Ziajka. Wyd. UWM. Olsztyn 2007, ss. 53-99.
- [7] Kycia K., Ziarno M.: Wzrost i przeżywalność bakterii jogurtowych w retentatach UF mleka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **4 (49)**, 100-110.
- [8] Lucey J.A.: Formation, structural properties and rheology of acid-coagulated milk gels. In: *Cheese chemistry, physics and microbiology.* Eds. P.F. Fox, P.L.H. McSweeney, T.M. Cogan, T.P. Guinee.. Elsevier Applied Science, Barking, Essex 2004, pp. 104-122.
- [9] Marzec A.: Tekstura żywności. *Przem. Spoż.*, 2007, **5**, 6-10.

- [10] Meijer W.C., Tacken M., Noomen A., Hugenholtz J.: Determination of growth parameters of *Lactococci* in milk and ultrafiltered milk. *J. Dairy Sci.*, 1995, **78** (1), 17-23.
- [11] Mistry V.V., Kosikowski F.V.: Fermentation of ultrafiltered skim milk retentates with mesophilic lactic cheese starters. *J. Dairy Sci.*, 1985, **68** (7), 1613-1617.
- [12] Obrusiewicz T.: *Technologia mleczarstwa*. Tom 2. WSiP, Warszawa 1995.
- [13] Oziemkowski P., Caris-Sokolińska D.: Kwas mlekowy w wybranych technologiach mleczarskich. *Przegl. Mlecz.*, 1994, **11**, 276-279.
- [14] PN-A 86122:1968. Mleko. Metody badań.
- [15] PN-EN ISO 8969-2:2004. Mleko. Oznaczanie zawartości azotu. Część 2: Metoda z zastosowaniem bloku do mineralizacji (Metoda makro).
- [16] Product description – PD 206484-10.2EN. Bulk Set HM 505 FRO 1000 l. Material no. 13265021. Danisco, 2009.
- [17] Rymaszewski J., Śmietana Z.: Sery dojrzewające i sery twarogowe. W: *Mleczarstwo. Zagadnienia wybrane*. Tom II. Red. S. Ziajka. Wyd. ART Olsztyn 1997, ss. 151-209.
- [18] Salaün F., Mietton B., Gaucheron F.: Buffeting capacity of dairy products. *Int. Dairy J.*, 2005, **15** (2), 95-109.
- [19] Surówka K.: Tekstura żywności i metody jej badania. *Przem. Spoż.*, 2002, **10**, 12-17.
- [20] Szpendowski J., Kłobukowski J., Prokop E.: Wpływ dodatku chlorku wapnia i ogrzewania mleka na skład chemiczny serów twarogowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **3** (44), 36-45.
- [21] Śmietana Z., Szpendowski J., Bohdziewicz K., Świgoń J.: Ogólne zasady produkcji twarogu i serków twarogowych. Część I. *Przegl. Mlecz.*, 1994, **1**, 7-9.
- [22] Usajewicz I.: Mikrobiologia mleka i jego przetworów. W: *Mleczarstwo*. Tom I. Red. S. Ziajka. Wyd. UWM. Olsztyn 2007, ss. 152-204.
- [23] Zander L., Zander Z.: Podstawy separacji membranowej. *Przegl. Mlecz.*, 2006, **9**, 38-41.
- [24] Ziarno D., Godlewska A.: Znaczenie i wykorzystanie bakterii rodzaju *Lactococcus* w mleczarstwie. *Med. Wet.*, 2008, **64** (1), 35-39.
- [25] Ziarno M., Zaręba D.: Substancje dodatkowe stosowane w serowarstwie. *Przem. Spoż.*, 2007, **10**, 34-38.
- [26] Żbikowska A., Żbikowski Z.: Wpływ parametrów wyrobu sera na zmiany pojemności buforowej. *Przegl. Mlecz.*, 2009, **5**, 4-8.
- [27] Żegarska Z., Gujska E.: Oznaczanie kwasowości produktów spożywczych. W: *Ćwiczenia z analizy żywności*. Red. Z. Żegarska. Wyd. UWM, Olsztyn 2000, ss. 15-20.
- [28] Żuraw J., Śmietana Z., Szpendowski J.: Możliwość produkcji sera z mleka w proszku. *Przegl. Mlecz.*, 1984, **7**, 13-16.

## EFFECT OF DRY MATTER CONTENT IN MILK ON SOURING DYNAMICS AND QUALITY PARAMETERS OF TVOROG CURD

### S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of dry matter concentration degree in milk on its souring dynamics as well as on some selected parameters of acid tvorog curd. The research material involved acid curds produced under laboratory conditions from reconstituted milk with different dry matter contents and prepared from skimmed milk powder. A Probat 505 starter culture was added to milk at a temperature of  $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$  and, in order to produce a tvorog curd, the souring process of milk was carried on until its pH value reached  $4.60 \pm 0.02$ . Changes in active acidity were continuously recorded. In the milk, the content of dry matter, protein, lactose, and ash were determined, and, additionally, a titratable

acidity value was measured in the tvorog curds. Texture characteristics of the experimental curds produced were analysed and a sensory evaluation of those curds was performed.

The time of milk souring increased along with the increase in the dry matter content in milk above 13.5 %. The content of dry matter in the raw material impacted the texture profile of curds and, along with the increasing content of dry matter, a significant increase occurred in the compactness, consistence, cohesiveness, and viscosity index of the curds. Also, the concentration of dry matter components highly impacted the development of sensory characteristics of curds. Along with the increase in the dry matter content in the processed milk, the intensity of cream colour, sweet taste, aftertaste of milk powder, and aromatics significantly increased in the curds, while the intensity of the surface uniformity, consistence and colour, acidic taste, acidic smell as well as the purity of those parameters decreased.

From a technological point of view, the increase in the dry matter concentration in milk to as high as ca. 18 % makes it possible to produce good quality tvorog curds within an optimal souring time.

**Key words:** milk, dry matter, souring dynamics, tvorog curd, texture characteristics, sensory properties ☒