

## Od mleka do sera – surowiec, technologia i znaczenie sera we współczesnym przemyśle spożywczym

Maciej Nastaj

Zakład Technologii Mleczarstwa i Żywności Funkcjonalnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
e-mail: maciej.nastaj@up.edu.pl

Okolo jednej trzeciej światowej produkcji mleka przeznaczane jest do wytwarzania sera, który stanowi jeden z kluczowych produktów przemysłu mleczarskiego [1,7]. Ser jest produktem o wysokiej wartości odżywczej, charakteryzującym się jednocześnie dużą wygodą stosowania oraz znaczną wszechstronnością kulinarną [13]. Bogactwo dostępnych odmian przekłada się na szerokie spektrum smaków, aromatów i tekstur [13,21]. Globalna wartość sprzedaży sera odpowiada obecnie za około 30% całkowitej wartości obrotu produktów mlecznych [1,7]. Obserwowany w skali światowej wzrost jego produkcji jest w dużej mierze konsekwencją wdrażania nowoczesnych, funkcjonalnych systemów pakowania, jak również zwiększonego zapotrzebowania na sery w branży gastronomicznej [7].

Wytwarzanie sera stanowi jedną z podstawowych metod utrwalania mleka, które ze względu na wysoką zawartość wody cechuje się niską trwałością mikrobiologiczną. Wszystkie sery, niezależnie od zastosowanej metody koagulacji, podpuszczkowej lub kwasowej, mogą być klasyfikowane jako sery miękkie, półmiękkie (półtwarde), twarde lub bardzo twarde, w zależności od zawartości wody [13]. Mleko stanowi podstawowy surowiec do produkcji wszystkich rodzajów serów, dlatego też zagadnienia związane z serowarstwem mają swoje źródło w chemii mleka oraz charakterystyce jego głównych składników, takich jak woda, laktoza, tłuszcz, białka oraz sole mineralne [11]. To właśnie te komponenty oraz ich wzajemne oddziaływania determinują mechanizmy prowadzące do powstania określonej struktury opisywanego produktu [20]. Chociaż klasyfikacja serów ma charakter umowny, umożliwia ona systematyczne grupowanie produktów o zbliżonych cechach fizykochemicznych, takich jak zawartość wody, która w istotnym stopniu determinuje konsystencję i teksturę [13]. W konsekwencji termin „ser miękki” odnosi się do produktów podatnych na odkształcenia pod naciskiem palców, natomiast określenia „ser twardy” (np. Cheddar) oraz „ser bardzo twardy” (np. Parmezan) stosowane są w odniesieniu do serów o odpowiednio większej wiązkości strukturalnej [2,13].

Zastosowana metoda koagulacji mleka w procesie serowarskim wywiera istotny wpływ na strukturę, właściwości reologiczne oraz jędrność gotowego produktu [6,15]. W praktyce przemysłowej powszechnie wykorzystuje się dwie podstawowe metody krzepnięcia mleka: koagulację podpuszczkową oraz koagulację kwasową, co znajduje odzwierciedlenie w podziale serów na podpuszczkowe i kwasowe [4]. W ujęciu ogólnym sery koagulowane kwasowo charakteryzują się miękką konsystencją, natomiast sery otrzymywane z udziałem podpuszczki zaliczane są do serów twardszych [6,21].

Surowcem warunkującym uzyskanie sera wysokiej jakości technologicznej jest mleko o niskiej liczbie komórek somatycznych, wolne od pozostałości antybiotyków oraz cechujące się niskim poziomem zanieczyszczeń mikrobiologicznych [13]. Skład chemiczny mleka, determinowany przez czynniki genetyczne (m.in. rasę krów), stadium laktacji, stan zdrowia zwierząt czy porę roku, ma bezpośredni wpływ na wydajność, jakość oraz właściwości funkcjonalne sera [5,14,18].



Podstawową metodą poprawy jakości mikrobiologicznej mleka w każdej serowni jest baktofugacja oraz mikrofiltracja bakteryjna, z uwagi, że standardowo stosowana pasteryzacja systemem HTST ma ograniczoną możliwość wpływu na przetrwalniki i bakterie ciepłooporne. Baktofugatory są wysokoobrotowymi wirówkami zaprojektowanymi do usuwania bakterii oraz ich przetrwalników z mleka w podwyższonej temperaturze [17]. Zastosowanie podwójnej baktofugacji w temperaturze 73°C pozwala na redukcję liczby drobnoustrojów, jednakże wiąże się ze zmniejszeniem objętości mleka o 2-3 % oraz obniżeniem zawartości białka o około 7 %, co skutkuje stratami wydajności sera na poziomie około 6 % [14,18].

Współczesny przemysł mleczarski coraz częściej wykorzystuje technologie membranowe, takie jak ultrafiltracja (UF), mikrofiltracja (MF) oraz odwrócona osmoza (RO), do zagęszczania i frakcjonowania mleka w produkcji serów o wysokiej zawartości wody [5,14,18,19]. Produkty powstałe w wyniku ultrafiltracji, czy mikrofiltracji separacyjnej, znajdują zastosowanie w produkcji niektórych serów miękkich i półmiękkich oraz zagęszczaniu mleka, celem całorocznej standaryzacji poziomu białka w mleku kotłowym [18,19]. Zastosowanie mleka o bardzo wysokim stopniu koncentracji (powyżej pięciokrotnego współczynnika koncentracji) w produkcji serów półtwardych i twardych pozostaje jednak wyzwaniem technologicznym, gdyż gotowe produkty mogą różnić się sensorycznie od serów wytwarzanych metodami tradycyjnymi [5,14]. Mikrofiltracja, z wykorzystaniem membran o wielkości porów od 0,01 do 10 µm, służy ponadto do eliminacji bakterii i ich przetrwalników z mleka [13]. Technologie membranowe umożliwiają również otrzymywanie nowych preparatów mleczarskich, zarówno w formie ciekłej, jak i sproszkowanej, które mogą być wykorzystywane do standaryzacji mleka serowarskiego [5,14,18,19].

Standaryzacja mleka kotłowego polega na regulacji stosunku kazeiny do tłuszczu w celu kontrolowania zawartości tłuszczu w suchej masie sera, co pozwala uzyskać produkt jednorodny i zgodny z obowiązującymi normami dla danej odmiany [5,18]. Zwiększenie zawartości kazeiny można osiągnąć poprzez dodatek odtłuszczonego mleka w proszku, skondensowanego mleka odtłuszczonego, koncentratów białek mleka lub kazeinianów, a także poprzez częściowe usunięcie tłuszczu w postaci śmietanki [5,14,18,19]. Z kolei dodatek śmietanki umożliwia zwiększenie zawartości tłuszczu w mleku. Optymalny stosunek białka do tłuszczu w mleku przeznaczonym do produkcji sera wynosi około 0,7, choć w niektórych przypadkach pożądanym jest również stosunek 0,64 [5]. W warunkach idealnych odzysk tłuszczu w procesie serowarskim wynosi około 93%, jednak w praktyce często jest on niższy i nie wykazuje bezpośredniej zależności od stosunku białka do tłuszczu [14]. W trakcie przekształcania mleka w skrzep serowy następuje rozdział jego składników na frakcję zatrzymywaną w skrzepie oraz frakcję przechodzącą do serwatki [13]. Skrzep zatrzymuje większość tłuszczu i kazeiny obecnych w mleku, natomiast serwatka zawiera głównie wodę, laktozę, białka serwatkowe, peptydy oraz rozpuszczalne sole mineralne [20]. Typowa wydajność sera wynosi około 9-15 kg ze 100 kg mleka, czyli 9-15%, co odpowiada zużyciu około 6,7-11,1 kg mleka na wyprodukowanie 1 kg sera. Wydajność ta zależy od składu chemicznego mleka, w szczególności zawartości kazeiny i tłuszczu, stopnia ich zatrzymania w skrzepie, strat tych składników do serwatki, zastosowanej technologii produkcji oraz końcowej zawartości wody w serze [5,14,18,19].

Mleko przeznaczone do produkcji sera powinno być poddane pasteryzacji w standardowych warunkach (72°C przez 15 s) [13]. W niektórych krajach nadal praktykowana jest produkcja serów z mleka surowego, jednak podlega ona restrykcyjnym regulacjom prawnym [10-12]. Przykładowo, w Stanach Zjednoczonych sery z mleka surowego muszą dojrzewać przez co najmniej 60 dni w temperaturze nie niższej niż 1,7°C, co znacząco ogranicza możliwość produkcji niedojrzewających serów miękkich z takiego mleka [2,10,20].

Po procesach standaryzacji i pasteryzacji do mleka serowarskiego można dodawać składniki pomocnicze, takie jak chlorek wapnia oraz barwniki serowarskie (np. annato). Chlorek wapnia odgrywa istotną rolę w drugim etapie koagulacji, tj. w procesie żelowania, a jego rekomendowany dodatek wynosi 0,02% (m/m) mleka [11]. Barwnik annato stosowany jest w celu ujednoczenia barwy wybranych odmian serów, takich jak Cheddar [13]. W procesie serowarskim stosuje się różne rodzaje kultur starterowych, których główną funkcją jest zakwaszanie mleka do pożądanego pH [8]. Ponadto mikroflora starterowa odgrywa kluczową rolę w dojrzewaniu sera i kształtowaniu jego profilu sensorycznego [2,3,8,10,20]. Współczesne technologie obejmują kultury starterowe, modyfikowane

genetycznie, kultury wspomagające oraz kultury szybko zakwaszające, dostępne w formie płynnej, mrożonej lub suszonej. Mniejsze zakłady mleczarskie często prowadzą własną propagację starterów w sterylnym mleku lub odtworzonym mleku odtłuszczonym. Kultury mrożone mogą występować w postaci skoncentrowanej, nieskoncentrowanej lub granulowanej, co ułatwia ich dozowanie. Kultury suszone otrzymuje się metodą rozpyłową lub liofilizacji [8]. Koagulacja mleka stanowi zasadniczy etap inicjujący proces produkcji sera, prowadząc do selektywnego zagęszczenia i oddzielenia większości kazeiny i tłuszczu w postaci skrzepu od frakcji wodnej, czyli serwatki [13].

Koagulacja kwasowa zachodzi w wyniku fermentacji laktozy do kwasu mlekowego przez bakterie fermentacji mlekowej (LAB), które namnażają się w ciepłym mleku (20-32°C) [8]. Proces ten może również zachodzić spontanicznie w wyniku przzerwania łańcucha chłodniczego [13]. W praktyce tradycyjnej bakterie LAB pochodzą z naturalnych zanieczyszczeń środowiskowych, natomiast w nowoczesnej technologii ich skład i liczebność są ściśle kontrolowane poprzez dodatek kultur starterowych [8]. Obniżanie pH mleka do punktu izoelektrycznego kazeiny (pH 4,6) prowadzi do neutralizacji ładunków powierzchniowych miceli kazeinowych, co skutkuje ich agregacją i tworzeniem trójwymiarowej struktury żelu [20]. Matryca ta początkowo zatrzymuje całą wodę i składniki suchej masy mleka [20]. Wysoka demineralizacja skrzepu wynika z rozpuszczenia micelnego fosforanu wapnia w warunkach niskiego pH [11]. Sery kwasowe charakteryzują się wysoką wilgotnością (70-80%) oraz dużą podatnością na psucie mikrobiologiczne, dlatego są zwykle spożywane jako produkty świeże, takie jak twaróg, fromage czy ser śmietankowy [6,21].

Podpuszczka, której głównym składnikiem aktywnym jest chymozyna, stanowi podstawowy enzym koagulujący mleko w produkcji serów podpuszczkowych [4,15]. W przemyśle stosuje się zarówno koagulanty pochodzenia zwierzęcego, jak i mikrobiologicznego, w tym chymozynę cielęcą, pepsyny bydlęce oraz enzymy uzyskiwane w procesach fermentacyjnych [3,4]. Enzymy te hydrolizują  $\kappa$ -kazeinę w specyficznym miejscu wiązania Phe105-Met106, co prowadzi do powstania hydrofobowej para- $\kappa$ -kazeiny pozostającej w skrzepie oraz hydrofilowego glikomakropeptydu przechodzącego do serwatki [3]. Aktywność chymozyny wzrasta wraz ze spadkiem pH mleka [4,15].

Dalsze etapy produkcji serów podpuszczkowych, takie jak krojenie, gotowanie, odsączanie, prasowanie, solenie i dojrzewanie, pozostają zasadniczo niezmienione od setek lat, choć współczesna technologia umożliwia ich precyzyjną kontrolę. Krojenie skrzepu inicjuje proces usuwania serwatki, a wielkość i geometria cząstek skrzepu decydują o końcowej wilgotności sera. Gotowanie skrzepu, poprzez kontrolę temperatury i mieszania, wpływa na kurczenie cząstek oraz tempo produkcji kwasu mlekowego. Odsączanie umożliwia oddzielenie serwatki, natomiast dalsza obróbka skrzepu prowadzi do jego łączenia w zwartą masę. Prasowanie polega na przykładaniu zewnętrznego nacisku w celu intensyfikacji usuwania serwatki i zwiększenia spoistości struktury sera. W zależności od odmiany sera proces ten może być pomijany lub prowadzony z zastosowaniem wysokich ciśnień. Solenie, realizowane poprzez nacieranie na sucho, solenie w solance lub mieszanie soli ze skrzepem, stanowi kolejny etap odwadniania i stabilizacji mikrobiologicznej sera [13].

Proces dojrzewania obejmuje zarówno wnętrze sera, jak i jego powierzchnię, które stanowią odmienne środowiska mikrobiologiczne [2,3,10,20]. Dojrzewanie jest wynikiem szeregu procesów biochemicznych, takich jak glikoliza, lipoliza i proteoliza, prowadzących do stopniowego rozkładu kazein do peptydów i wolnych aminokwasów, które determinują ostateczny smak i aromat sera [3,9,12,16,20].

Podsumowując, ser tradycyjnie przeznaczony jest do bezpośredniego spożycia, jednak w ostatnich latach obserwuje się dynamiczny wzrost jego wykorzystania w gastronomii [1,7]. Spośród około 3904 mln kg sera naturalnego wyprodukowanego w USA w 2022 roku, około 40 % trafiło do sektora gastronomicznego, przy czym dominującą odmianą była mozzarella, głównie ze względu na popularność pizzy. Możliwość krojenia, tarcia, mielenia i suszenia sera znacząco zwiększa zakres jego zastosowań [13,21]. Rosnącym zainteresowaniem cieszą się również sery przetworzone, sery w proszku oraz sery modyfikowane enzymatycznie, a także odmiany przeznaczone do zastosowań w produktach pieczonych i smażonych w głębokim tłuszczu [3,21].



## Bibliografia

1. Alrhoun M., Gaulty M., Zanon T. (2025). Transitioning toward sustainable dairy systems in Europe: A systematic literature review. *Journal of Dairy Science*, 108, 11.
2. Anastasiou R., Kazou M., Georgalaki M., Aktypis A., Zoumpoulou G., Tsakalidou E. (2022). Omics approaches to assess flavor development in cheese. *Foods*, 11, 188.
3. Bettera L., Levante A., Bancalari E., Bottari B., Gatti M. (2022). Lactic acid bacteria in cow raw milk for cheese production: Which and how many? *Frontiers in Microbiology*, 13, 1092224.
4. Bihola A., Sharma H., Chaudhary M.B., Bumbadiya M.R., Kumar D., Adil S. (2024). Recent developments in cheese technologies. *Food Reviews International*, 41, 1-35.
5. Bittante G., Cecchinato A., Tagliapietra F., Schiavon S., Toledo-Alvarado H. (2021). Effects of breed, farm intensiveness, and cow productivity level on cheese-making ability predicted using infrared spectral data at the population level. *Journal of Dairy Science*, 104, 3221-3236.
6. Britten M. (2022). Rennet coagulation of heated milk: A review. *International Dairy Journal*, 109, 105179.
7. Givens D.I. (2020). Milk symposium review: The importance of milk and dairy foods in the diets of infants, adolescents, pregnant women, adults, and the elderly. *Journal of Dairy Science*, 103, 9681- 9699.
8. González-González F., Delgado S., Ruiz L., Margolles A., Ruas-Madiedo P. (2022). Functional bacterial cultures for dairy applications: Towards improving safety, quality, nutritional and health benefit aspects. *Journal of Applied Microbiology*, 133, 212-229.
9. Griep-Moyer E.R., Trmčić A., Qian C., Moraru C.I. (2022). Monte Carlo simulation model predicts bactofugation can extend shelf-life of pasteurized fluid milk, even when raw milk with low spore counts is used as the incoming ingredient. *Journal of Dairy Science*, 105, 9439- 9449.
10. Mayo B., Rodríguez Álvarez J., Vázquez L., Flórez A.B. (2021). Microbial interactions within the cheese ecosystem and their application to improve quality and safety. *Foods*, 10, 602.
11. Medjahdi K., Didouh N., Araujo R. (2019). Pasteurized milk: A highlight on potential sources of contamination by aerobic spore-forming bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 111-120.
12. Ong L., Dagastine R.R., Auty M.A.E., Kentish S.E., Gras S.L. (2011). Coagulation temperature affects the microstructure and composition of full-fat Cheddar cheese. *Dairy Science & Technology*, 91, 739-758.
13. Pazzola M., Stocco G., Ferragina A., Bittante G., Dettori M.L., Vacca G.M., Cipolat-Gotet C. (2021). Cheese yield and nutrients recovery in the curd predicted by Fourier-transform spectra from individual sheep milk samples. *Journal of Dairy Science*, 104, 9865-9878.
14. Rampanti G., Raffo A., Melini V., Moneta E., Nardo N., Saggia Civitelli E., Bande-De León C., Tejada Portero L., Ferrocino I., Franciosa I., Cardinali F., Osimani A., Aquilanti L. (2023). Chemical, microbiological, textural, and sensory characteristics of pilot-scale Caciopire cheese curdled with commercial *Cynara cardunculus* rennet and crude extracts from spontaneous and cultivated *Onopordum tauricum*. *Food Research International*, 173, 113459.
15. Reig M., Vecino X., Cortina J.L. (2021). Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10, 2768.
16. Reuben R.C., Langer D., Eisenhauer N., Jurburg S.D. (2024). Universal drivers of cheese microbiomes. *Cell Reports*, 27, 109726.
17. Ribeiro J. C., Jr., Peruzi G. A. S., Bruzaroski S. R., Tamanini R., Lobo C. M. O., Alexandrino B., Conti A. C. M., Alfieri A. A., Beloti V. (2022). Short communication: Effect of bactofugation of raw milk on counts and microbial diversity of psychrotrophs. *Semina: Ciências Agrárias*, 43, 5.
18. Stocco G., Dadousis C., Vacca G.M., Pazzola M., Summer A., Dettori M.L., Cipolat-Gotet C. (2022). Predictive formulas for different measures of cheese yield using milk composition from individual goat samples. *Journal of Dairy Science*, 105, 2246-2258.
19. Vacca M., Celano G., Serale N., Calabrese F.M., Calasso M., De Angelis M. (2023). Dynamic microbial and metabolic changes during Apulian Caciocavallo cheesemaking and ripening produced according to a standardized protocol. *Journal of Dairy Science*, 106, 7801-7818.
20. Wu Q., Ong L., Aldalur A., Nie S., Kentish S.E., Gras S.L. (2024). Modulation of cream cheese physicochemical and functional properties with ultrafiltration and calcium reduction. *Food Chemistry*, 457, 140010.
21. Zheng X., Shi X., Wang B. (2021). A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Food Research International*, 14, 110199.