

Zmiany właściwości reologicznych modelowego układu białkowo-węglowodanowego podczas obróbki cieplnej

Tomasz Kiljański¹

Urszula Cywińska¹

Jan Iciek²

Krystyna Nowakowska²

Michał Piotrowski²

¹Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
Politechnika Łódzka, Łódź

²Instytut Chemicznej Technologii Żywności
Politechnika Łódzka, Łódź

1. Wprowadzenie

Sprawą podstawową w procesach biotechnologicznych jest zachowanie aseptycznych warunków przygotowania i prowadzenia procesu (1). Odpowiednio wysterylizowane podłoże uniemożliwia przebieg niekontrolowanych procesów w bioreaktorze i pozwala rosnąć temu drobnoustrojowi, który wytwarza interesujący nas produkt. W przemyśle podłoża fermentacyjne sterylizuje się najczęściej termicznie (w sposób okresowy lub ciągły) ogrzewając je do odpowiedniej temperatury i przetrzymując w niej przez określony czas. Jednakże taka obróbka cieplna — zwłaszcza w procesie sterylizacji okresowej (długi czas działania wysokiej temperatury) — może spowodować degradację termolabilnych składników odżywczych podłoża, a co za tym idzie zmniejszenie efektywności procesu biotechnologicznego. Znacznie mniejszą degradację składników podłoża powoduje zastosowanie sterylizacji ciągłej (w przepływie), gdzie czas sterylizacji jest bardzo skrócony.

Dla prawidłowego projektowania instalacji do ciągłej sterylizacji termicznej przydatna jest znajomość zarówno metod eksperymentalnych jak i obliczeniowych pozwalających wyznaczyć lub przewidzieć skutki obróbki cieplnej mediów. Stopień degradacji sterylizowanej brzożki fermentacyjnej w sposób najbardziej miarodajny ocenić można metodą pośrednią poprzez analizę jakości i wydajności realizowanego procesu fermentacyjnego (2,3).

Proces biotechnologiczny uwarunkowany jest rozwojem mikroorganizmu i z natury swej jest długotrwały. Czas otrzymania każdego wyniku wynosi kilkanaście, czasem kilkadziesiąt godzin, a niekiedy nawet kilka dni, co ogranicza przydatność metody pośredniej. Dlatego też stosuje się często metody bezpośrednie polegające, np. na określeniu stopnia degradacji poszczególnych składników zawartych w podłożu. W przypadku podłoży kompleksowych metoda ta nie może być stosowana ze względu na trudności w precyzyjnym określaniu ich składu jakościowego i ilościowego (1).

Inną metodą bezpośrednią oceny stopnia degradacji termicznej podłoża może być określenie zmiany jego właściwości reologicznych, czyli cech determinujących jego zachowanie podczas przepływu, zgodnie z poglądem Charlesa (2), że „... w większości przypadków, w których parametry reologiczne odgrywają decydującą rolę, są one także czułym wskaźnikiem stanu procesu i powinny być wykorzystywane do jego kontroli i sterowania”.

W przypadku płynu newtonowskiego lepkość jest niezależna od warunków przepływu. Zdecydowana jednak większość płynów spotykanych w przetwórstwie spożywczym czy farmaceutycznym to układy niehomogeniczne, zwykle nienewtonowskie, a zatem o lepkości zależnej od warunków przepływu, a ściślej — od gradientu prędkości, czyli tzw. szybkości ścinania. Najprostszą charakterystyką reologiczną płynu nienewtonowskiego jest zależność lepkości od szybkości ścinania, lub równoważna jej zależność naprężenia stycznego od szybkości ścinania, czyli krzywa płynięcia. Znajomość tej charakterystyki jest potrzebna do projektowania aparatury i procesów — na przykład przy obliczeniach oporów przepływu i związanego z tym doboru pompy, czy przy optymalizacji średnicy rurociągu. Może to być szczególnie ważne w przypadku sterylizacji mediów w przepływie. Jednym z podstawowych wymogów prawidłowej pracy takiej instalacji jest stworzenie warunków (nadciśnienia) zapobiegających wrzeniu produktu.

Dla wielu podłoży fermentacyjnych ich obróbka cieplna nie powoduje trwałej zmiany właściwości reologicznych, a jedynie zmiany odwracalne zgodne z rozkładem temperatury w instalacji. Przykładem takiego podłoża może być wodny roztwór cukru z niewielkim dodatkiem różnego typu soli (np. przy produkcji kwasu cytrynowego). Obecność w podłożu białek, tłuszczów, węglowodanów i tego typu składników może powodować istotną i nieodwracalną zmianę właściwości reologicznych spowodowaną degradacją termiczną składników pod wpływem obróbki cieplnej (np. przy produkcji bacytracyny, penicyliny i innych).

Celem pracy było określenie wpływu obróbki cieplnej na właściwości reologiczne modelowego układu białkowo-węglowodanowego z mąki sojowej — składnika wielu podłoży fermentacyjnych.

2. Media doświadczalne i zakres pomiarów

Do badań wybrano wodną zawiesinę preparatu białkowo-węglowodanowego otrzymanego z mąki sojowej, która jest podstawowym składnikiem wielu

podłoży fermentacyjnych. W literaturze brak informacji na temat wpływu obróbki cieplnej na właściwości reologiczne takich zawiesin. W badaniach określono zmiany właściwości reologicznych wodnych zawiesin wymienionego preparatu z mąki sojowej, poddawanych ciągłej i okresowej obróbce cieplnej w różnych warunkach. Ich stężenie wynosiło 5 lub 10%. Obróbkę termiczną zawiesiny w przepływie realizowano we własnej instalacji doświadczalnej (3), a okresową obróbkę cieplną zawiesiny prowadzono w kolbach umieszczonych w termostatowanej łaźni wodnej.

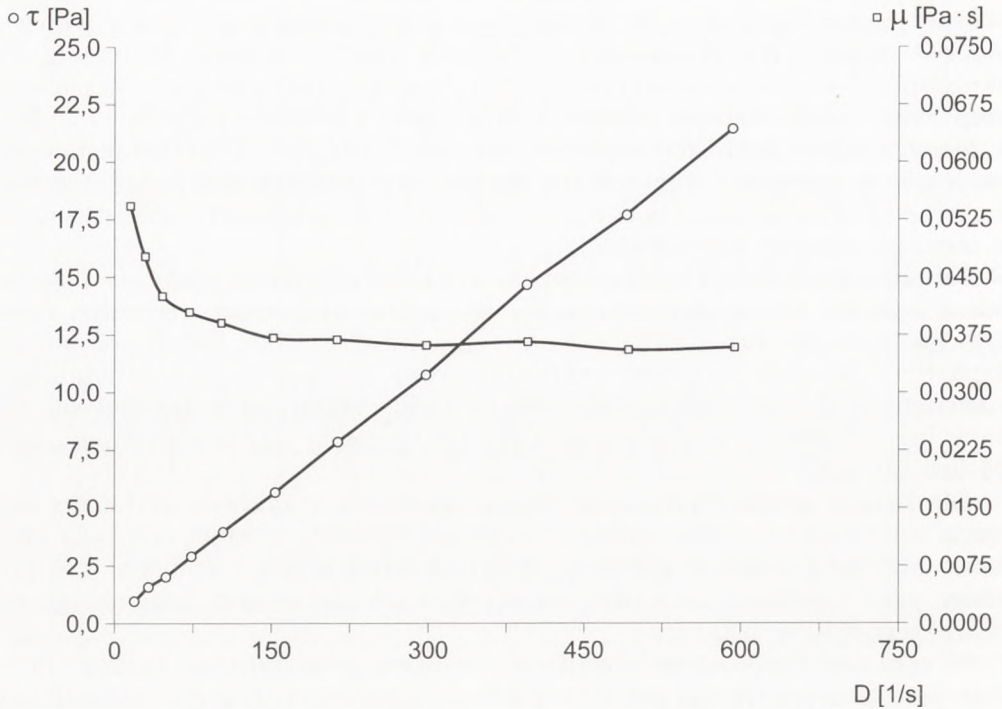
Pomiary właściwości reologicznych w formie krzywych płynięcia i zależności lepkości od szybkości ścinania wykonano za pomocą reometru rotacyjnego Rheotron firmy Brabender w temperaturze 25°C. Układ pomiarowy działał na zasadzie współosiowych cylindrów: wewnętrznego nieruchomego i zewnętrznego, obracającego się. Między tymi cylindrami znajdował się badany płyn. Średnica zewnętrznego cylindra wynosiła 56 mm, wewnętrznego 54 lub 50 mm.

Dla każdej próbki wyznaczono krzywe płynięcia w zakresie szybkości ścinania $20 \div 600 \text{ s}^{-1}$. Dolna granica szybkości ścinania ograniczona była czułością układu pomiaru naprężenia stycznego stosowanego reometru, zaś pomiary przy szybkości ścinania powyżej 600 s^{-1} nie wносиły nic nowego do charakterystyki substancji.

W celu zapobieżenia sedymentacji zawiesiny preparatu po każdym punkcie pomiarowym trwającym 10 s (około 3 s potrzeba było do ustalenia się stanu równowagi naprężenia) naczynie zawierające zawiesinę zdejmowano i gruntownie ją mieszano, po czym wykonywano następny pomiar przy innej szybkości ścinania. Konstrukcja reometru i stosowana technika pomiaru pozwalały na rozpoczęcie następnego pomiaru po około 3 s od zakończenia mieszania. Dzięki możliwości rejestracji wartości naprężenia stycznego w trakcie pomiaru stwierdzono, że w tym czasie nie zmieniło się ono w istotnym stopniu. Oznacza to, że sedymentacja i wirowanie cząstek zawiesiny nie zakłócały pomiarów w stopniu mającym wpływ na wyniki.

3. Omówienie wyników badań

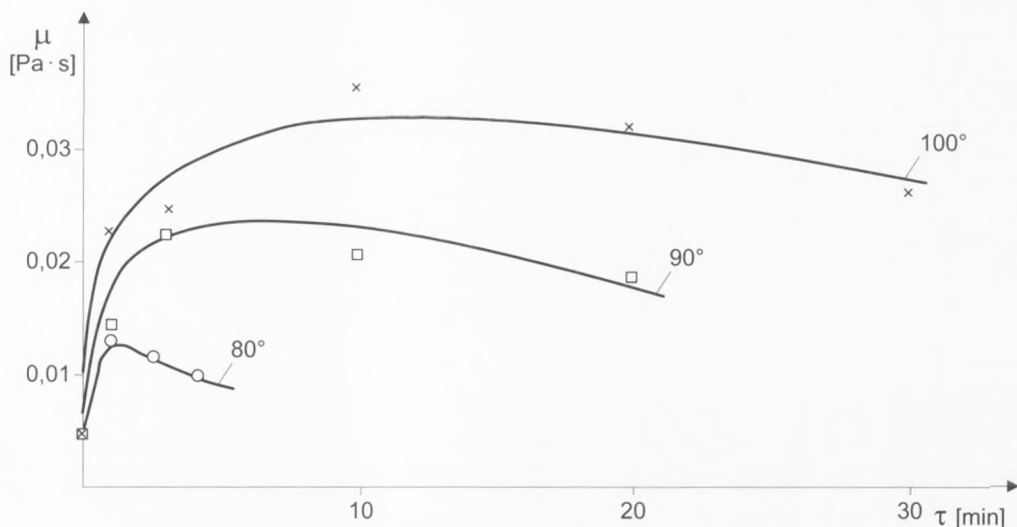
Wszystkie krzywe płynięcia mają podobny przebieg jak przedstawiona na rysunku 1. W zakresie szybkości ścinania $100 \div 150 \text{ s}^{-1}$ zawiesiny są wyraźnie nienewtonowskie — rozrzedzane ścinaniem, czyli ich lepkość maleje ze wzrostem szybkości ścinania. Przy większych szybkościach ścinania lepkość ustala się, a zawiesina nabiera cech płynu newtonowskiego. Oznacza to, że w zakresie szybkości ścinania występujących zwykle w procesach technologicznych zawiesiny te są praktycznie newtonowskie, a zatem mogą być charakteryzowane przez podanie jednej tylko wartości lepkości. Dotyczy to zwłaszcza warunków panujących w instalacji przepływowej do procesu sterylizacji. Ponadto ze względu na bardzo niską lepkość badanych zawiesin, naprężenie styczne w zakresie nienewtonowskim, czyli przy niskich szybkościach ścinania, było bardzo niskie, a zatem mogło być obarczone istotnym



Rys. 1. Krzywa płynięcia zawiesiny o stężeniu 10% po 10-minutowej obróbce cieplnej w temperaturze 100°C.

błędem pomiarowym wynikającym z czułości przyrządu. Byłoby zatem ryzykowne wykorzystywanie ilościowej analizy wyników uzyskanych w zakresie nienewtonowskim do określania wpływu warunków obróbki cieplnej na strukturę zawiesin. Z tych powodów nie zajmowaliśmy się obszarem nienewtonowskiego zachowania zawiesin, ograniczając się do zakresu ustalonej lepkości i śledząc zmiany jej wartości w zależności od warunków obróbki cieplnej.

Najobszerniejsze badania okresowej obróbki cieplnej przeprowadzono w temperaturze 100°C. Przykładowy, typowy wykres przedstawiający wyniki uzyskane po ogrzewaniu zawiesiny przez 10 minut przedstawiono na rysunku 1. Bardzo podobne krzywe uzyskano po innych czasach ogrzewania. Zależność ustalonej lepkości w zakresie newtonowskim od warunków obróbki cieplnej przedstawiono na rysunku 2. Surowa zawiesina o stężeniu 10% w temperaturze 25°C ma lepkość 0,005 Pa·s. Lepkość ta szybko rośnie podczas obróbki cieplnej, osiągając już po jednej minucie ogrzewania w 100°C wartość ponad czterokrotnie większą, a po dziesięciu minutach — siedmiokrotnie większą. Charakterystyczne jest jednak, że dalsze przebywanie w wysokiej temperaturze prowadzi do zmian wywołujących powolny spadek lepkości, trwający aż do końca eksperymentu, czyli do trzydziestu minut. Po-

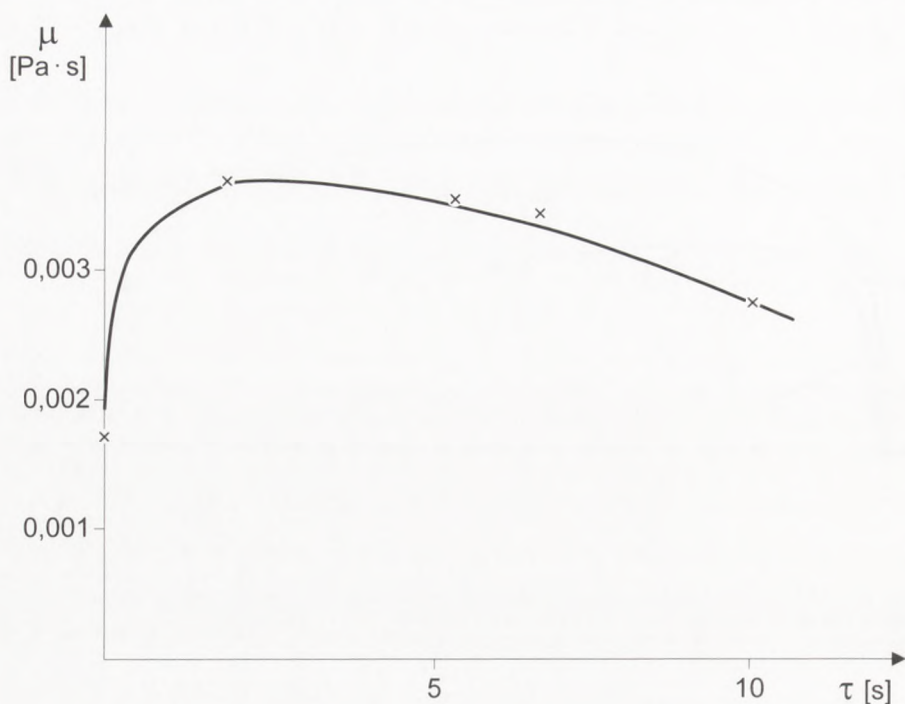


Rys. 2. Zależność ustalonej lepkości zawiesiny o stężeniu 10% w temperaturze 25°C od czasu okresowej obróbki cieplnej: x — temperatura 100°C, □ — temperatura 90°C, ○ — temperatura 80°C.

dobne zjawisko obserwuje się w temperaturze 90°C, w której jednak maksimum lepkości wystąpiło w czasie krótszym niż 10 minut. Obniżenie temperatury do 80°C spowodowało dalsze skrócenie czasu potrzebnego do uzyskania maksymalnej wartości lepkości, a uzyskiwana wartość maksymalnej lepkości była coraz niższa.

Badania zawiesin poddanych sterylizacji ciągłej rozpoczęto od stężenia 5%. Bardzo niska lepkość zawiesiny spowodowała, że w celu zapobieżenia burzliwości i przepływowi wtórnym do pomiarów trzeba było użyć zestawu pomiarowego o szerokości szczeliny 1 mm, bardziej obciążonego błędem wynikającym z efektów przyściennych. Odrzucając wyniki uzyskane przy małych szybkościach ścinania jako obciążone zbyt dużym błędem można stwierdzić, że zawiesiny były newtonowskie, a zależność ich lepkości od czasu obróbki cieplnej w temperaturze 136°C przedstawiono na rysunku 3. Tendencja jest podobna, jak w przypadku okresowej obróbki cieplnej — wskutek podwyższenia temperatury lepkość zawiesiny początkowo szybko rośnie, a następnie powoli spada. Wprawdzie czasy obróbki cieplnej są tu znacznie krótsze, niż przy okresowej, ale temperatura jest znacznie wyższa, a ponadto zawiesina przed sterylizacją przebywała pewien czas w temperaturze 122°C w procesie symulującym aktywację bakterii.

Dwukrotne zwiększenie stężenia zawiesiny (rys. 4) spowodowało znaczny wzrost jej lepkości, zwłaszcza po obróbce termicznej — od 0,005 Pa·s (przed podgrzaniem) do 0,019 Pa·s po aktywacji i sterylizacji w 130°C trwającej 2,5 s, z niewielkim spadkiem lepkości po dłuższym czasie sterylizacji.

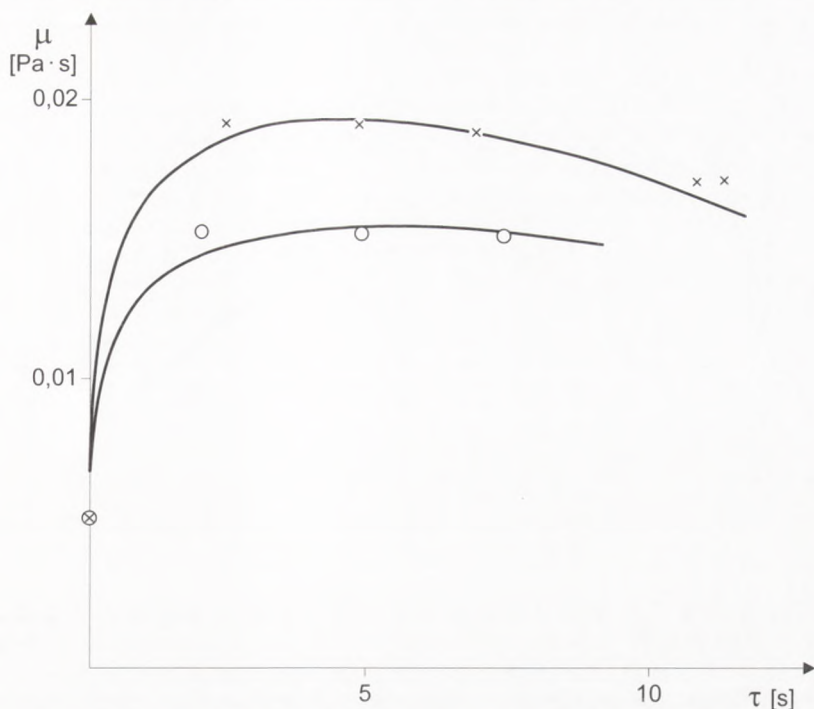


Rys. 3. Zależność ustalonej lepkości zawiesiny o stężeniu 5% w temperaturze 25°C od czasu obróbki cieplnej w przepływie dla 136°C.

Podobna obróbka termiczna przeprowadzona w temperaturze 136°C spowodowała wzrost lepkości do 0,015 Pa·s po upływie około 2 s, a zatem nieco wyższa temperatura doprowadziła do bardziej „miękkiej” struktury.

Wpływ obróbki termicznej na zmianę lepkości zawiesiny można również prześledzić na przykładzie serii doświadczalnej, w której wszystkie próbki przetrzymane były przez 2 s w różnych temperaturach — od 100 do 138°C (rys. 5). Lepkość próbki po przetrzymaniu w temperaturze 100°C wzrasta do 0,015 Pa·s, a po przetrzymaniu w temperaturze 120 i 130°C osiągnęła 0,021 Pa·s, by znów spaść do 0,018 Pa·s dla próbki sterylizowanej w temperaturze 138°C. Wskazuje to na podobny wpływ ogrzewania, jak w przypadku obróbki wykonanej w stałej temperaturze — wzrost intensywności ogrzewania do pewnej granicy (określonej przez czas przebywania lub przez temperaturę) prowadzi do wzrostu lepkości zawiesiny, a następnie do jej spadku.

W celu zbadania wpływu gwałtownego odparowania wody przy rozprężaniu zawiesiny na jej właściwości wyznaczono krzywą płynięcia i zależność lepkości od szybkości ścinania dla 10-procentowej zawiesiny poddanej dwusekundowej sterylizacji ciągłej w temperaturze 130°C (rys. 6), a następnie takiej samej zawiesiny, z której w wyniku rozprężenia odparowało na skutek ciepła przegrzania 15,7% wody (rys. 7). Stwierdzono znaczny wzrost lepkości



Rys. 4. Zależność ustalonej lepkości zawiesiny o stężeniu 10% w temperaturze 25°C od czasu obróbki cieplnej w przepływie: x — temperatura 130°C, o — temperatura 136°C.

zawiesiny w całym zakresie zbadanej szybkości ścinania i wyraźne wydłużenie zakresu nienewtonowskiego.

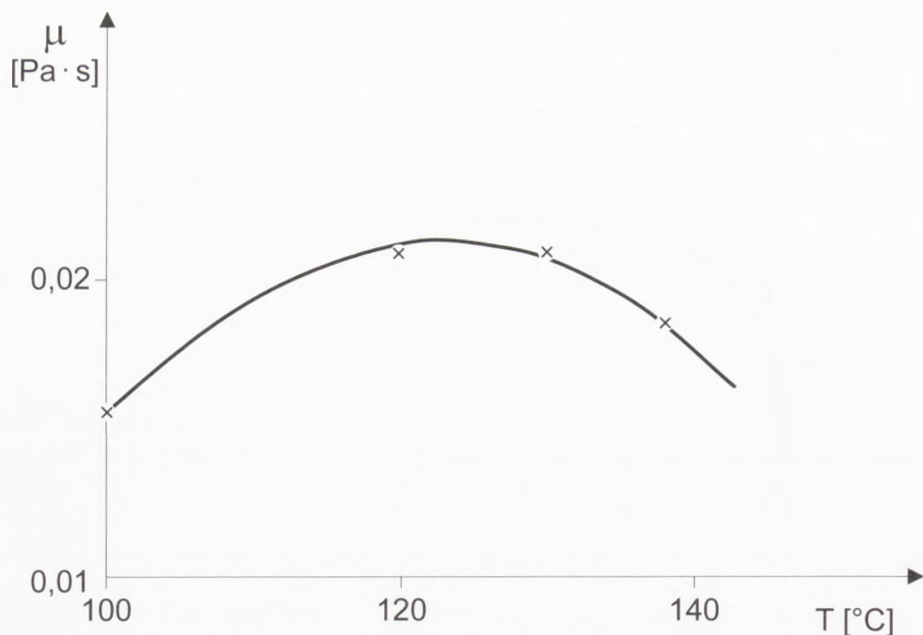
W zawieszynie niezatężonej lepkość przybiera ustaloną wartość przy szybkości ścinania ok. 200 s⁻¹, a w zatężonej dopiero od około 500 s⁻¹. Efekt ten musi być częściowo spowodowany wzrostem stężenia zawiesiny wskutek odparowania wody, ale może też być wywołany zmianami struktury cząstek składników podłoża podczas gwałtownego odparowania. W celu sprawdzenia wpływu tego ostatniego efektu dodano do zatężonej zawiesiny tyle wody, ile z niej uprzednio odparowało i ponownie wyznaczono zależność lepkości od szybkości ścinania (rys. 8). Uzyskano taką samą krzywą, jak przed odparowaniem (rys. 6). Wskazuje to, że gwałtowne odparowanie wskutek rozprężenia zawiesiny nie powoduje zmian struktury składników podłoża.

Przedstawione na rysunkach 2 ÷ 5. zależności można opisać wzorami empirycznymi:

1) zależność lepkości od czasu sterylizacji

$$\mu = A \sqrt[3]{\tau} - B\tau + \mu_0 \quad [1]$$

gdzie: μ_0 — lepkość zawiesiny przed sterylizacją, równa 0,005 Pa·s dla zawiesiny 10% i 0,0018 Pa·s dla zawiesiny 5%



Rys. 5. Zależność ustalonej lepkości zawiesiny o stężeniu 10% w temperaturze 25°C od temperatury obróbki cieplnej trwającej 2 sekundy.

τ — czas sterylizacji, s

A, B — stałe dla danej temperatury, zależne od temperatury w następujący sposób:

a) dla pasteryzacji okresowej zawiesiny 10% w zakresie temperatur 80 ÷ 100°C (rys. 2)

$$A = 2,76 \cdot 10^{-4} (T - 80)^{2/3} + 2,56 \cdot 10^{-3} \quad [2]$$

$$B = 2,5 \cdot 10^{-8} (100 - T)^{2,3} + 1,83 \cdot 10^{-5} \quad [3]$$

gdzie T — temperatura, °C

b) dla sterylizacji ciągłej zawiesiny 10% w zakresie temperatur 130°C ÷ 136°C (rys. 4)

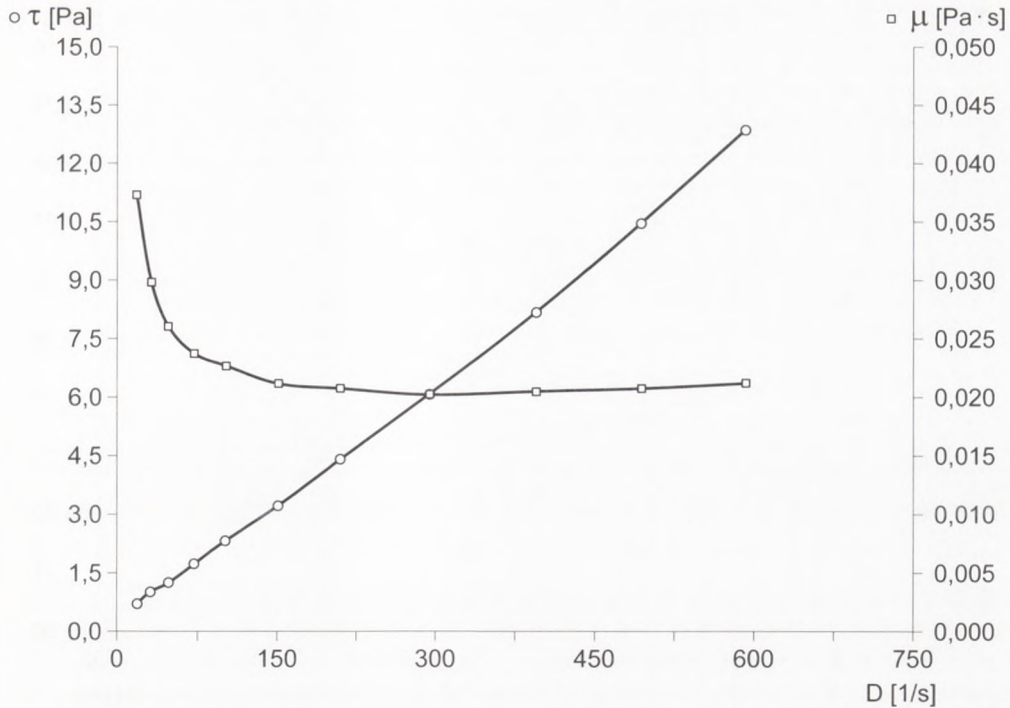
$$A = 9 \cdot 10^{-3} - \frac{2}{3} \cdot 10^{-3} (T - 130) \quad [4]$$

$$B = 10^{-3} + 10^{-3} (T - 130) \quad [5]$$

c) dla sterylizacji ciągłej zawiesiny 5% w temperaturze 135°C (rys. 3)

$$A = 0,002 \quad B = 3,3 \cdot 10^{-4} \quad [6]$$

2) zależność lepkości od temperatury sterylizacji ciągłej trwającej 2 s (rys. 5).



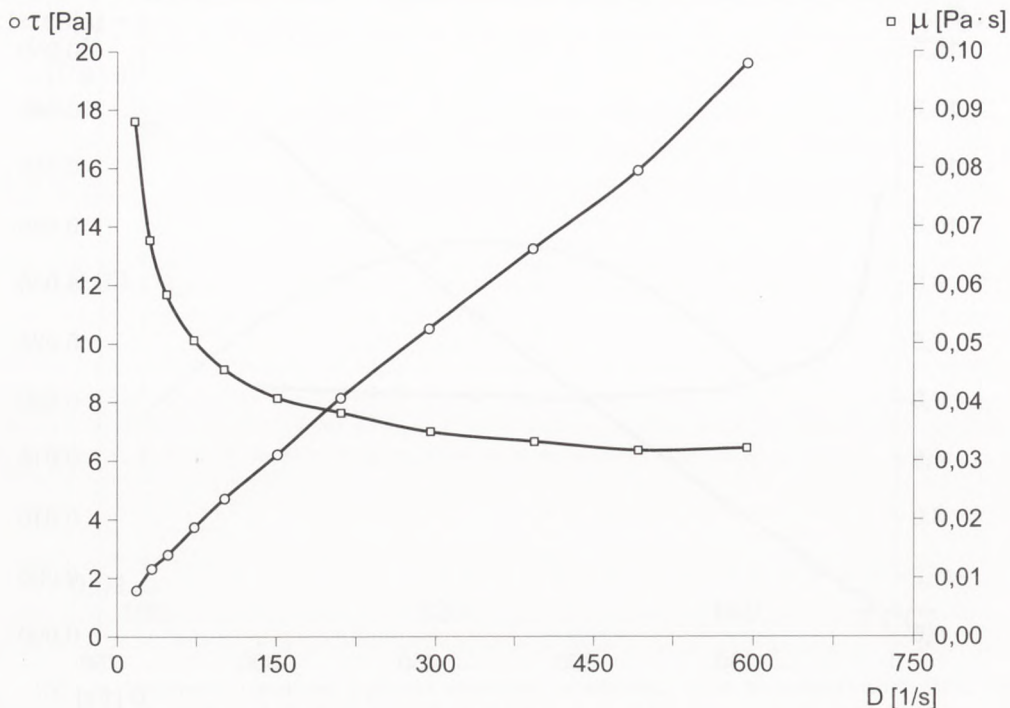
Rys. 6. Krzywa płynięcia zawiesiny o stężeniu 10% po dwusekundowej sterylizacji ciągłej w temperaturze 130°C.

$$\mu = 0,023 - 2,4 \cdot 10^{-5} (T - 123)^2 \quad [7]$$

Zależności te przedstawiają linie na wykresach 2 ÷ 5.

4. Interpretacja zmian fizykochemicznych zawiesiny preparatu białkowo-węglowodanowego z mąki sojowej w czasie przetrzymywania w wysokiej temperaturze

W celu określenia przebiegu zależności lepkości od warunków obróbki cieplnej, oznaczono skład preparatu z mąki sojowej (tab. 1) i przeanalizowano przemiany fizykochemiczne, jakie zachodzą podczas jego otrzymywania, a następnie sterylizacji.



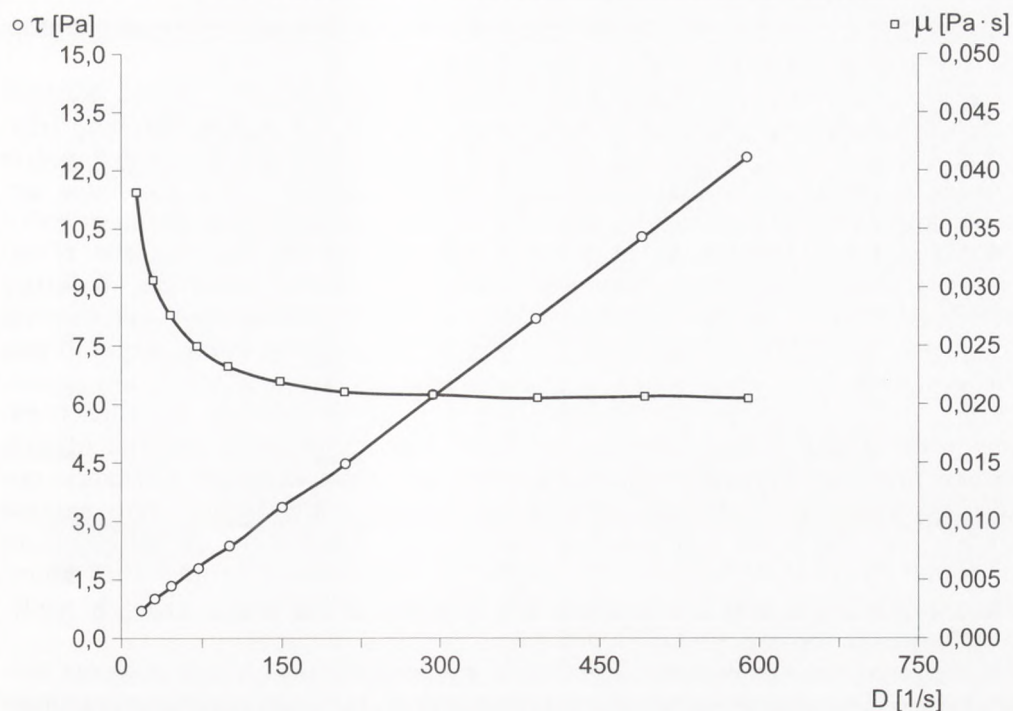
Rys. 7. Krzywa płynięcia zawiesiny o stężeniu wyjściowym 10% po dwusekundowej sterylizacji ciągłej w temperaturze 130°C i odparowaniu wskutek rozprężenia.

TABELA 1

SKŁAD PREPARATU BIAŁKOWO-WĘGLOWODANOWEGO Z SOI, PRODUKOWANEGO PRZEZ FIRME DYCHEM

Składnik preparatu	(%)
wilgotność	6,3 + 6,8
białko	51,7 + 52,5
węglowodany	20,5 + 30,0
tluszcze	0,6 + 0,9
substancje mineralne	6,0 + 6,2
błonnik	3,0 + 3,5

Rozdrobnione nasiona soi poddawane są intensywnej obróbce termicznej (żywą parą) w temperaturze > 100°C w celu odwonienia i odgoryczenia. Następnie dla otrzymania odtłuszczonego preparatu białkowo-węglowodanowego prowadzona jest ekstrakcja tłuszczu. W celu usunięcia rozpuszczalnika, a także substancji rozpuszczalnych w wodzie i alkoholu, takich jak mono- i wielocukry, barwniki (związki fenolowe), azot niebiałkowy itp. surowiec pod-



Rys. 8. Krzywa płynięcia zawiesiny o stężeniu wyjściowym 10% po dwusekundowej sterylizacji ciągłej w temperaturze 130°C i odparowaniu wskutek rozprężenia i uzupełnieniu wodą do 10%.

dawany jest dodatkowej ekstrakcji, często w temperaturze 95 ÷ 120°C (4,5). W wyniku tych drastycznych operacji białka soi ulegają w dużym stopniu denaturacji (niska wartość PDI = 8 ÷ 45) oraz częściowej degradacji. Może to mieć istotny wpływ na właściwości reologiczne zawiesin wodnych tych preparatów. Ponadto dużym zmianom fizykochemicznym ulega także skrobia, której postać ziarnista jest tutaj prawie całkowicie zniszczona. Następuje zdecydowana degradacja skrobi na fragmenty węglowodanów o mniejszej cząsteczce. Świadczą o tym wyniki badań mikroskopowych w świetle spolaryzowanym. Charakterystyczne dla naturalnych ziaren skrobi czarne krzyże polaryzacyjne, widoczne w polu widzenia preparatu, świadczące o obecności „nie naruszonej” skrobi, występują tutaj w bardzo niewielkiej ilości i w bardzo zmienionym kształcie, co świadczy o deformacji tych nielicznych ziaren skrobi i zmianach strukturalnych skrobi w układzie węglowodanowym amyloza/amylopektyna. Zmiany mogą dotyczyć także retrogradacji skrobi (6,7).

Zmiany struktury cząsteczkowej skrobi i białek w istotny sposób zakłócają proces kleikowania preparatu z mąki sojowej. Na właściwości reologiczne tych preparatów ma także wpływ interakcja poszczególnych składników (8,10).

Preparat białkowo-węglowodanowy z soi w postaci 5 ÷ 10% zawiesiny wodnej, poddany procesowi sterylizacji w wysokiej temperaturze, po raz kolejny

narażony jest na niekorzystne dla jego składników procesy termiczne. Odbija się to na jego właściwościach reologicznych.

Z analizy pomiarów lepkości badanych zawiesin wynika, że na wartość lepkości zawiesin poddanych procesowi sterylizacji ma wpływ zarówno temperatura, jak i czas sterylizacji. Początkowy wzrost lepkości tłumaczyć można procesem pęcznienia (chłonięcia wody) zarówno białek, jak i związków węglowodanowych, w tym także błonnika. W miarę wzrostu temperatury ($80 \div 100^\circ\text{C}$) szybkość pęcznienia poszczególnych składników jest większa. W zawieszynie wodnej preparatu białkowo-węglowodanowego występują struktury białka zdenaturowanego i pęczniejącego (nie zdenaturowanego), jak również fragmenty skrobi zretrogradowanej (skrobia zretrogradowana, krystaliczna nie pęcznieje i nie rozpuszcza się w wodzie) i pęczniejącej, czyli nie zretrogradowanej. W podwyższonej temperaturze podczas procesu sterylizacji zarówno nie zdenaturowane białka, jak i nie zretrogradowana skrobia ulegają pęcznieniu, pochłaniając większe lub mniejsze ilości wody, co powoduje pozorny wzrost objętościowego stężenia zawiesiny, podwyższając tym samym jej lepkość. Szybkość pochłaniania wody jest uzależniona od temperatury procesu. Po osiągnięciu pewnego maksimum (dla danej temperatury sterylizacji) występuje najprawdopodobniej zjawisko dehydratacji cząstek wody, powodujące powolny spadek lepkości.

W przypadku działania temperatury wyższej od 100°C , np. podczas sterylizacji w 135°C , zarówno zjawisko uwodnienia, jak i dehydratacji przebiega znacznie szybciej i jest bardziej widoczne. Możliwe są również procesy termicznej degradacji zarówno białek, jak i węglowodanów, powodujące dodatkowo obniżenie lepkości zawiesiny (9, 10).

5. Wnioski

1. Podczas obróbki termicznej zawiesin wodnych preparatów białkowo-węglowodanowych z soi następują zmiany lepkości tych zawiesin w zależności od temperatury i czasu procesu sterylizacji.

2. W miarę upływu czasu sterylizacji, przy stałej temperaturze, następuje gwałtowny wzrost lepkości zawiesiny, a następnie jej powolny spadek.

3. Wpływ temperatury zawiesiny, przy stałym czasie procesu, charakteryzuje się wzrostem jej lepkości do pewnej granicy temperatury, wynoszącej $120 \div 130^\circ\text{C}$, a następnie niewielkim spadkiem lepkości przy temperaturze sterylizacji 138°C .

4. Charakter zmian lepkości w zależności od temperatury i czasu sterylizacji uzależniony jest od szybkości procesu uwadniania jak i dehydratacji struktur białkowo-skrobiowych preparatu, a także od degradacji białek i węglowodanów pod wpływem wysokiej temperatury sterylizacji.

Literatura

1. Aiba S., Humphrey A. E., Millis N. F., (1970), *Inżynieria biochemiczna*, WNT, Warszawa.
2. Charles M., (1978), *Adv. Bioch. Eng.*, 8, 1-62.
3. Iciek J. i wsp., Projekt bad. Nr rej. 30097 91 01.
4. Nattil K. F., (1995), *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 51, 81A-84A.
5. Rutkowski A., Kozłowska H., (1981), *Preparaty żywnościowe z białka roślinnego*, WNT, Warszawa, 55, 126, 265.
6. Nowotny F. i in., (1969), *Skrobia*, WNT, Warszawa.
7. Seidemann J., (1966), *Stärke-Atlas*, Verlag Paul-Parey, Berlin.
8. Tomasik P., (1993), *Kompleksy inkluzyjne skrobi*, w: *Materiały V Letniej Szkoły Skrobiowej*, Opawa-Czechy, 39-51.
9. Leszczyński W., (1992), *Zmiany właściwości skrobi wywołane działaniem czynników fizycznych*, w: *Materiały IV Letniej Szkoły Skrobiowej*, Zawoja, 63-78.
10. Poliszko S., (1989), *Molekularne uwarunkowania reologicznych właściwości układów skrobiowych*, w: *Materiały I Letniej Szkoły Skrobiowej*, Kiekrz, 14-30.

Changes in the rheological properties of fermentation media during thermal processing

Summary

The effect of batch and continuous thermal treatment on the rheological properties of a protein-carbohydrate preparation made from soya flour (a basic component of many fermentation media) was described. Flow curves were determined using the Brabender Rheotron rotation rheometer for shear rates $20 \div 600 \text{ s}^{-1}$ at soya flour concentration equal to 5 and 10%. The dependence of the suspension Newtonian viscosity on the temperature and time was described by an empirical formulae.

An interpretation of the results was proposed on the basis of hydration and dehydration of protein-starch structures of the preparation and the degradation of protein and carbohydrates caused by high temperature.

Key words:

rheometry, flow curve, fermentation media, sterilization.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 30097 91 01 pt. „Warunki i kinetyka ciągłej sterylizacji termicznej cieczy oraz zawiesin”.

Adres do korespondencji:

Jan Iciek, Instytut Chemicznej Technologii Żywności PŁ, ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź.