

Bożenna KAWALEC-PIETRENKO<sup>1</sup>, Iwona HOŁOWACZ<sup>1</sup>, Karolina KUCHARSKA<sup>1</sup>, Lidia ZANDER<sup>2</sup>

e-mail: kawalec@chem.pg.gda.pl

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk<sup>2</sup>Katedra Inżynierii i Aparatury Procesowej, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

## Wpływ parametrów procesowych na przebieg separacji pianowej białek mlecznych

## Wstęp

Specyficzną cechą przemysłu mleczarskiego, jest zależność jakości surowców i produktów od środowiska. Wśród odpadów przemysłu mleczarskiego większość stanowią substancje ulegające biodegradacji. Ilościowo dominują ścieki z procesów mycia i czyszczenia, w których znajduje się średnio od 3 do 4% obj. podlegającego przeróbce mleka. Straty mleka następują zarówno podczas trwania procesu produkcyjnego, po okresowym czyszczeniu lub przy zmianie asortymentu, jak i na skutek rozlania lub nieszczelności [1].

Straty mleka przy myciu cystern, zbiorników i rurociągów transportujących mleko wewnątrz zakładu sięgają nawet 0,05% objętości. Zużycie wody w zakładzie mleczarskim sięga nawet pięciu litrów na litr przetwarzanego mleka [2].

Mleko i produkty mleczarskie charakteryzują się wysokim BZT5. Podane w tabeli 1 typowe wartości BZT5 produktów mleczarskich obrazują, jak istotne znaczenie w przemyśle mleczarskim ma zapobieganie przedostawaniu się surowca lub produktów do ścieków. Nawet niewielka ilość surowca lub produktu w ściekach powoduje znaczący wzrost ładunku ścieków.

Tab. 1. BZT5 wybranych produktów mleczarskich

Produkt	BZT5 [mg O <sub>2</sub> /kg produktu]
mleko	104000
śmietana	399000
serwatka	34000

W produkcji mleka w proszku wstępne zagęszczanie mleka w drodze separacji pianowej przed suszeniem, znacznie skróciłoby czas suszenia, co zwiększyłoby wydajność energetyczną urządzeń suszarniczych [3].

Ponadto tylko niektórzy producenci w branży mleczarskiej mają możliwości techniczne odzysku białka z mleka odpadowego, z uwagi na wysoki koszt instalacji do zagęszczania membranowego [3]. Dlatego też w przedstawionej pracy przeanalizowano propozycję odzyskiwania białek mlecznych w procesie separacji pianowej.

## Metodyka pomiarów

Badania separacji pianowej przeprowadzono w kolumnie barbotażowej o średnicy wewnętrznej 0,06 m i wysokości 1,22 m. Sprężone powietrze doprowadzono pod wbudowany w dno kolumny spiek ceramiczny G4, pełniący rolę dystrybutora gazu. Kolumnę zasilano surowką przez króciec umieszczony tuż nad spiekem. Roztwór białka ze zbiornika doprowadzono do kolumny za pomocą pompy perystaltycznej Cole-Parmer Masterflex L/S. Na wysokości 1,09 m nad dnem kolumny, znajduje się króciec odprowadzający ciecz wyczerpaną. W trakcie separacji pianowej, pobierano próbki roztworu przez króćce znajdujące się na następujących wysokościach nad dnem kolumny  $h_{kr}$ : 0,04, 0,23, 0,41, 0,57, 0,705, 0,86, 1,09 m. U szczytu kolumny umieszczono przewód, którym odprowadzano pianę do kondensatora piany i dalej do zbiornika kondensatu.

Po zakończeniu procesu, pobierano próbkę kondensatu wytworzonej w procesie piany. W pobranych próbkach oznaczano stężenie białka metodą Lowry'ego stosując spektrofotometr Hach Lange DR 5000.

## Metodyka obliczeń

Przebieg separacji pianowej analizowano posługując się chwilowym stopniem wyflotowania  $R_\tau$  [4].

$$R_\tau = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0} \quad (1)$$

gdzie:

 $C_\tau$  – stężenie białka w roztworze po czasie flotacji  $\tau$ , [g·m<sup>-3</sup>] $C_0$  – stężenie białka w surowce, [g·m<sup>-3</sup>] $R_\tau$  – stopień wyflotowania po czasie  $\tau$ , [-]

Ponieważ krzywe przebiegu separacji pianowej są zbliżone do krzywych charakterystycznych dla przebiegu reakcji chemicznej pierwszego rzędu, ich kinetykę opisano równaniem

$$-\frac{dC}{d\tau} = k(C_\tau - C_\infty) \quad (2)$$

Rozdzielając zmienne i całkując

$$\int_{C_0}^{C_\tau} \frac{dC}{C_0 - C_\infty} = -k \int_0^\tau \tau d\tau \quad (3)$$

otrzymuje się

$$\ln \frac{C_\tau - C_\infty}{C_0 - C_\infty} = -k\tau \quad (4)$$

Zależność (4) po przekształceniu przyjmuje postać:

$$\ln \left( 1 - \frac{R_\tau}{R_\infty} \right) = -k\tau \quad (5)$$

gdzie:

 $C_\infty$  – końcowe stężenie białka w stanie ustalonym, [g·m<sup>-3</sup>] $R_\infty$  – końcowy ustalony stopień wyflotowania, [-] $k$  – stała szybkości separacji pianowej, [s<sup>-1</sup>] $\tau$  – czas trwania separacji pianowej, [s]

Czas trwania separacji pianowej  $\tau$  wyznaczano jako czas przebywania roztworu w danym odcinku kolumny, tj. jako stosunek wysokości poboru próbki nad dnem  $h_{kr}$  i prędkości przepływu roztworu przez kolumnę  $u_0$ .

Przebieg separacji pianowej białek mlecznych dla przeprowadzonych flotacji porównywano posługując się stałą szybkości procesu wyznaczoną z zależności (5).

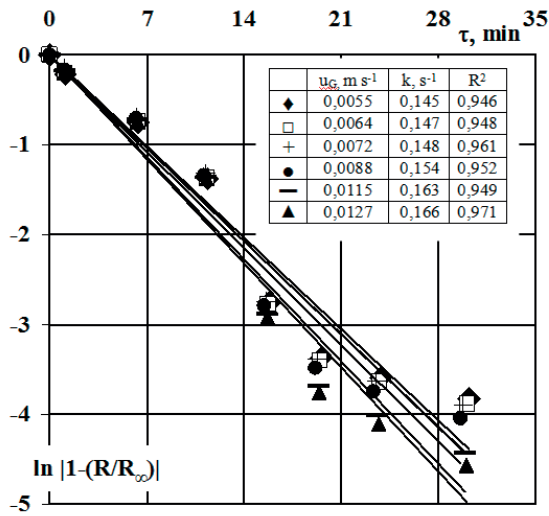
## Zakres badań

Zbadano przebieg separacji pianowej białek mlecznych w zależności od prędkości przepływu powietrza, pH roztworów wyjściowych i ich stężenia początkowego. Dla przeprowadzonych procesów wyznaczono stałe szybkości separacji pianowej  $k$ . Stosowano prędkości przepływu gazu z zakresu 0,0055–0,0127 m·s<sup>-1</sup>, stężenia początkowe z zakresu 0,01–100 g·dm<sup>-3</sup> oraz pH z zakresu 5–8. Prędkość zasilania kolumny surowką była stała i wynosiła  $u_0 = 0,01$  m·s<sup>-1</sup>.

## Dyskusja wyników

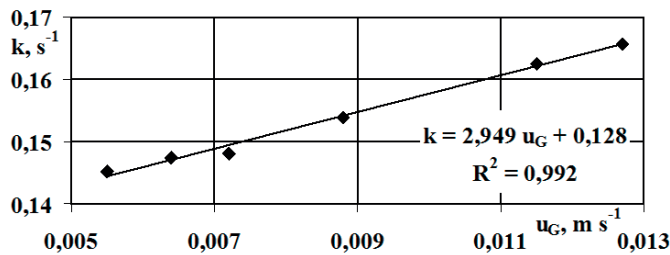
Na rys. 1 przedstawiono przebieg zależności (6) dla różnych prędkości przepływu powietrza, stężenia początkowego białka równego 26

$g \cdot m^{-3}$  i  $pH = 5,6$ . Na podstawie danych doświadczalnych dla każdego procesu wyznaczono stałą szybkości separacji pianowej  $k$ .



Rys. 1. Zależność  $\ln |1-(R/R_0)| = f(\tau)$  dla różnych prędkości pozornych powietrza

Wartości uzyskanych stałych szybkości przedstawiono na rys. 1. Dane wskazują, że wraz ze wzrostem prędkości przepływu gazu w zakresie od 0,0055 do 0,0127  $m \cdot s^{-1}$ , stała szybkości separacji pianowej wzrasta od 0,145 do 0,166  $s^{-1}$ . Obliczenia wskazują, że z dobrym przybliżeniem w badanym zakresie prędkości powietrza wielkości te można powiązać zależnością liniową (Rys. 2).



Rys. 2. Zależność stałej szybkości separacji pianowej od prędkości pozornej powietrza

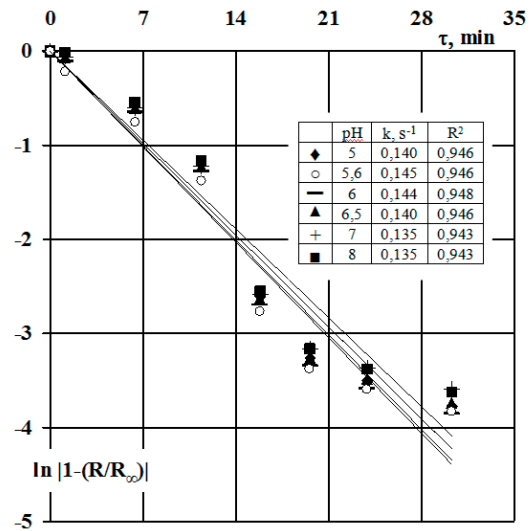
Następnie zbadano przebieg separacji pianowej białka mlecznego dla prędkości przepływu powietrza 0,0055  $m \cdot s^{-1}$  dla  $pH = 5,6$  w zależności od stężenia początkowego białka w roztworze. Uzyskane stałe szybkości separacji zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Stałe szybkości separacji pianowej.  $pH = 5,6$ ;  $u_G = 0,0055 m \cdot s^{-1}$

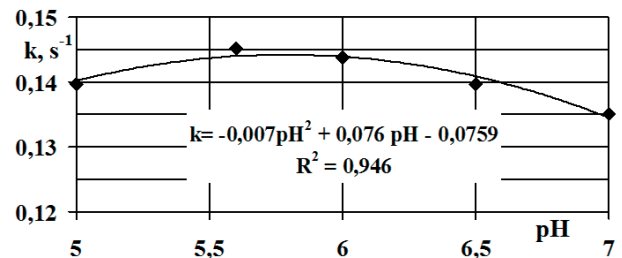
$C_0, [g \cdot dm^{-3}]$	$k, [s^{-1}]$
0,010	0,147
0,018	0,146
0,026	0,145
0,040	0,143
0,070	0,128
0,100	0,125

Obliczenia wskazują na liniowy spadek stałej szybkości flotacji ze wzrostem stężenia białka  $k = -0,278C_0 + 0,151$ . Współczynnik korelacji tej prostej wynosi 0,942.

Na rys. 3 przedstawiono przebieg zależności (5) dla roztworu białka mlecznego o stężeniu 26  $g \cdot m^{-3}$  i prędkości przepływu powietrza 0,0055  $m \cdot s^{-1}$  dla różnych wartości  $pH$ . Jak wskazują uzyskane wyniki, stałe szybkości separacji osiągają najwyższe wartości dla  $pH$  z przedziału 5,6–6,0 (Rys. 3 i 4). Ta obserwacja jest ważna z praktycznego punktu widzenia, ponieważ  $pH = 5,6$  jest naturalnym  $pH$  roztworu białek.



Rys. 3. Zależność  $\ln |1-(R/R_0)| = f(t)$  dla różnych  $pH$  roztworu



Rys. 4. Zależność stałej szybkości separacji pianowej od  $pH$  roztworu

Poza wyżej opisanymi wynikami, istotną obserwacją jest ta, że zdolność roztworów białek do pienia, a zatem i konsekwentnie stopień wyflotowania maleją drastycznie ze spadkiem wartości  $pH$  poniżej 5 oraz wzrostem wartości  $pH$  powyżej 8. Wówczas stopień wyflotowania spada do około 0,35.

## Podsumowanie

Szybkość separacji pianowej rośnie ze wzrostem prędkości przepływu powietrza w zakresie barbotażu pęcherzykowego; przy czym wzrost prędkości gazu w badanym zakresie, jest korzystny dla prowadzonego procesu ze względu na jakość powstającej piany.

Analiza zależności stałej szybkości separacji od  $pH$  roztworu modelowego wskazuje na maksimum stałej szybkości dla wartości  $pH$  bliskiej naturalnemu  $pH$  roztworu białek mlecznych tj. 5,6. Jednocześnie stwierdzono, że dla  $pH$  poniżej 5 i powyżej 8 stopień wyflotowania nie przekracza 0,35.

W badanym zakresie stężeń, zaobserwowano, że stała szybkości separacji pianowej maleje ze wzrostem stężenia początkowego roztworów białek. Zauważalny jest wyraźny spadek stałych szybkości dla stężeń wyższych niż 0,04  $g \cdot dm^{-3}$  (Tab. 2), co wskazuje na zasadność prowadzenia separacji pianowej w zakresie stężeń białka  $C_0 = 0,01-0,04 g \cdot dm^{-3}$ .

## LITERATURA

- [1] Ministerstwo Środowiska, BAT-wytyczne dla branży mleczarskiej, Warszawa, 2005: <http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BAT%20-%20mleko.pdf>
- [2] B. Bartkiewicz: Oczyszczanie ścieków przemysłowych, PWN, Warszawa, 2007.
- [3] K. Bohdziewicz: Przegląd Mleczarski, nr 2, 2 (2010).
- [4] B. Kawalec-Pietrenko, I. Hołowacz, K. Kucharska: Inż. Ap. Chem., 48, nr 5, 51 (2009).

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego nr 3860/B/H03/2007/33W.