

IWONA HOŁOWACZ
BOŻENNA KAWALEC-PIETRENKO
KAROLINA KUCHARSKA

Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Gdańska, Gdańsk

Powierzchnia międzyfazowa gaz – ciecz w roztworach białka serwatkowego napowietrzanych we współprądowej kolumnie barbotażowej

Wprowadzenie

Jednym z produktów powstającym w procesach przetwórczych mleka jest serwatka. Serwatka jest tanim źródłem m.in. wysokowartościowych białek, znajdujących zastosowanie w przemyśle spożywczym, w produkcji odżywek dla dzieci i sportowców oraz w produkcji pasz. Stężenie białek w serwatce jest jednak bardzo niskie i wynosi około 1,5% mas. Technologia zagospodarowania odpadów mleczarskich wymaga zatem dokonania zagęszczenia tych białek. Interesująca z punktu widzenia możliwości odzyskiwania białka w dużej skali jest separacja pianowa. Cząsteczki białka ze względu na charakter amfoteryczny wykazują zdolności pianotwórcze. Do zalet separacji pianowej w stosunku do takich metod jak wymiana jonowa, ultrafiltracja czy strącanie, należą nieskomplikowana aparatura, niskie nakłady finansowe oraz możliwość prowadzenia procesu w sposób ciągły. Flotację pianową prowadzi się w temperaturze otoczenia i pod ciśnieniem atmosferycznym. Nie ma zatem ryzyka zmiany aktywności biologicznej białka.

W procesie separacji pianowej na pęcherzach gazu wędrujących ku górze przez warstwę cieczy, adsorbują się substancje powierzchniowo czynne. Nad lustrem cieczy tworzy się piana, podczas przepływu której ku górze kolumny zachodzi ociekanie. Ociekanie wywołane jest efektem ssącym kapilar (*plateau*) oraz grawitacją. Dlatego też piana u szczytu kolumny jest bardziej sucha niż ta tuż nad lustrem cieczy. Jeżeli substancja rozpuszczona w cieczy w kolumnie jest zdolna do zaadsorbowania się na powierzchni pęcherza gazu, wówczas jej stężenie w kondensacie piany jest wyższe niż w roztworze, z którego piana powstała. Zjawisko to stanowi podstawę separacji pianowej.

W większości dotychczasowych badań procesu separacji pianowej białek, jako białka modelowego używano albuminy surowicy krwi bydłowej BSA. Wong i in. [1] badali wpływ stężenia i prędkości przepływu surowca, pH roztworu i prędkości pozornej gazu na rozkład wielkości pęcherzy w kolumnie do ciągłej separacji pianowej BSA. Autorzy wyznaczyli wielkość pęcherzy w dyspersji gaz-ciecz oraz w warstwie piany, uzyskując odpowiednio, średnice pęcherzy w zakresie od 300 do 600 μm oraz od 0,5 do 6 mm.

Gehle i in. [2] badali frakcjonowanie pianowe białka BSA w kolumnie o działaniu ciągłym. Badania prowadzono dla pH roztworu odpowiadającego punktowi izoelektrycznemu BSA. Autorzy [2] wskazali na małą wysokość powstającej warstwy piany, niską temperaturę oraz wysokie stężenie białka w su-

rówce zasilającej kolumnę jako na czynniki powodujące niezbyt wysokie stężenia białka w kondensacie piany.

Wielkość pęcherzy gazu jest jednym z najważniejszych parametrów wpływających na przebieg i wynik separacji pianowej. Na powierzchni pęcherzy gazu adsorbują się związki powierzchniowo czynne i są z nimi transportowane do powierzchni rozdziału warstwa barbotażowa – piana. Mniejsze pęcherze oznaczają dłuższy czas przebywania pęcherzy w warstwie barbotażowej oraz bardziej rozbudowaną powierzchnię pęcherze gazu – ciecz, zatem wpływają korzystnie na ilość białka zaadsorbowanego na powierzchni pęcherzy. Dlatego też, jako cel pracy wybrano zbadanie wpływu prędkości przepływu gazu na rozkład wielkości pęcherzy podczas separacji pianowej białek serwatkowych we współprądowej kolumnie barbotażowej.

Metodyka pomiarów

Proces separacji prowadzono w kolumnie szklanej o średnicy wewnętrznej 0,06 m i wysokości 1,22 m. W dno kolumny wbudowany jest spiek ceramiczny G4 służący jako dystrybutor powietrza. Objętościowe natężenie przepływu powietrza mierzone jest za pomocą rotametry zainstalowanego na przewodzie doprowadzającym powietrze. Naciski gazu pod dystrybutorem mierzone jest za pomocą manometru. Na szczycie kolumny znajduje się przewód odprowadzający pianę do kondensatora. Na wysokościach 0,04; 0,41; 0,57; 0,71; 0,86 i 1,09 m nad dnem kolumny w ścianie bocznej znajdują się króćce do pobierania próbek roztworu. Roztwór białka doprowadzany jest ze zbiornika do kolumny, tuż nad dystrybutorem gazu, za pomocą pompy perystaltycznej *Cole-Parmer Masterflex L/S*. Króciec przelewowy, umieszczony w ścianie bocznej kolumny na wysokości 1,09 m nad dnem, zapewnia stały poziom warstwy barbotażowej w kolumnie. Natężenie przepływu wodnego roztworu białka zasilającego kolumnę wynosi $V_L = 6 \text{ dm}^3\text{h}^{-1}$.

Na wysokości 1,02 m nad dnem, w ścianę boczną kolumny wbudowana jest płaska płytka szklana o średnicy 0,04 m. Przez tę płytkę wykonywane są zdjęcia dyspersji gaz-ciecz aparatem fotograficznym *Nikon Coolpix 5400*.

W celu wyznaczenia stopnia zatrzymania gazu w dyspersji mierzona jest wysokość słupa płynącej we współprądzie dyspersji gaz – ciecz. Następnie odcinany jest dopływ powietrza i cieczy i mierzona wysokość słupa cieczy.

Roztwór białka otrzymywany jest przez rozpuszczenie odpowiedniej ilości suszu serwatkowego w wodzie destylowanej.

We wszystkich przeprowadzonych flotacjach stężenie białka w roztworze surowym jest stałe i równe $0,018 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Stężenie białka w próbkach cieczy pobranych z kolumny oznaczane jest metodą *Lowry'ego*. Absorbancja mierzona jest spektrofotometrem *Hach Lange DR 5000* przy długości fali 750 nm.

Metodyka obliczeń

Czas przebywania cieczy w kolumnie t , tj. czas, w jakim element cieczy pokonuje drogę od miejsca zasilania kolumny roztworem do miejsca poboru próbki cieczy, obliczono znając objętość tej części kolumny V_i , ułamek objętościowy cieczy w kolumnie $(1 - \varepsilon_G)$ oraz objętościowe natężenie przepływu cieczy V_L :

$$t = \frac{V_i(1 - \varepsilon_G)}{V_L} \quad (1)$$

Przeciętna wielkość pęcherzy gazu, wyznaczona metodą fotograficzną, charakteryzowana jest za pomocą objętościowo – powierzchniowej średnicy zastępczej *Sautera* d_{32} . W celu obliczenia jednej średnicy *Sautera* zmierzono od 1180 do 1230 średnic pojedynczych pęcherzy d_i .

Stopień zatrzymania gazu ε_G obliczono na podstawie pomiaru wysokości warstwy barbotażowej H_D oraz wysokości słupa nienapowietrzanej cieczy H_L :

$$\varepsilon_G = \frac{H_D - H_L}{H_D} \quad (2)$$

a wielkość powierzchni międzyfazowej gaz – ciecz a wyznaczono następująco:

$$a = 6\varepsilon_G / d_{32} \quad (3)$$

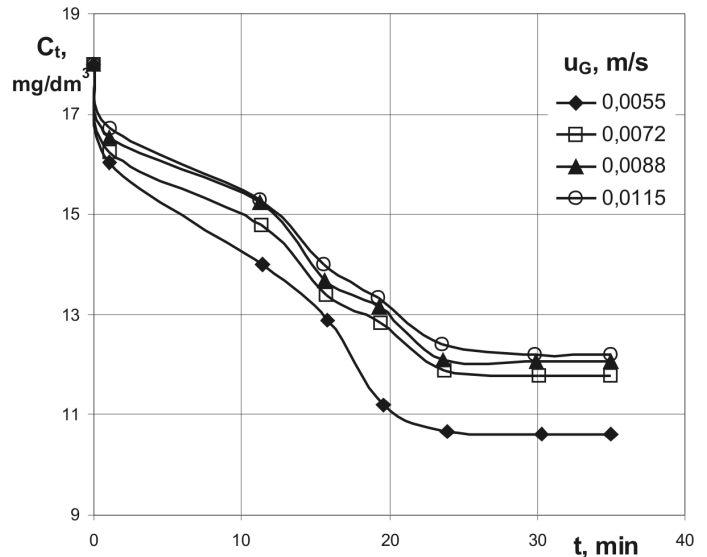
Dyskusja wyników

Na podstawie danych doświadczalnych, zamieszczonych w tablicy 1, można zauważyć, że jeżeli pozorna prędkość przepływu powietrza rośnie od 0,0056 do 0,0115 m/s tj. około dwukrotnie, to przeciętna średnica powierzchniowo-objętościowa *Sautera* rośnie od 1,74 do 2,33 mm. Obliczenia w układzie $\log d_{32} = f(\log u_G)$ wskazują, że przeciętna średnica pęcherzy jest proporcjonalna do prędkości powietrza w potęgę 0,42.

Tablica 1

Powierzchnia międzyfazowa we współprądowej kolumnie flotacyjnej; $C_0 = 0,018 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $u_L = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$u_G [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$t [\text{min}]$	ε_G	$d_{32} [\text{mm}]$	$a [\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}]$
0,0056	28,3	0,0180	1,74	62,07
0,0072	28,1	0,0237	1,97	72,18
0,0088	28,0	0,0279	2,31	72,47
0,0115	27,9	0,0320	2,33	82,40



Rys. 1. Zmiany stężenia białka w roztworze podczas flotacji we współprądowej kolumnie barbotażowej; $C_0 = 0,018 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $u_L = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

W tablicy 1 zamieszczono między innymi wartości stopnia zatrzymania gazu. Obliczenia wskazują, że w badanym zakresie prędkości powietrza stopień zatrzymania gazu jest proporcjonalny do prędkości gazu w potęgę 0,79. Zatem, biorąc pod uwagę zależność (3), powierzchnia międzyfazowa jest proporcjonalna do prędkości powietrza w potęgę 0,37.

Biorąc pod uwagę rozkłady wielkości pęcherzy wykonane na różnych wysokościach kolumny, zaobserwowano, że średnica pęcherzy praktycznie nie zmienia się wzdłuż wysokości kolumny. Należy tu oczywiście mieć świadomość błędów popełnianych przy oznaczaniu wielkości pęcherzy.

Poza prędkością powietrza, o wielkości pęcherzy gazu w czasie separacji pianowej decydują zmiany stężenia białka w roztworze w kolumnie w czasie flotacji. Jak wynika z przebiegu krzywych na rys. 1, w całym zakresie czasów przebywania cieczy w kolumnie, na danej wysokości w kolumnie stężenie białka nieznacznie rośnie wraz wzrostem prędkości gazu. Na wysokości, dla której były wykonywane zdjęcia dyspersji, tj. dla czasu przebywania cieczy równego ok. 28 min (Tablica 1), stężenie białka w roztworze waha się w granicach $0,0106\text{--}0,0122 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pomiaru napięcia powierzchniowego roztworów białka serwatkowego wykazały, że w zakresie stężeń $0,010\text{--}0,014 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, napięcie powierzchniowe jest praktycznie stałe i wynosi $48,3 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Zatem, w badanym zakresie stężeń, na wielkość średnicy pęcherzy powietrza oraz wielkość powierzchni międzyfazowej gaz – ciecz decydujący wpływ ma rosnący wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza stopień zatrzymania gazu.

LITERATURA

1. C.H. Wong, M.M. Hossain, C.E. Davies: *Bioproc. Bios. Eng.* **24**, 73 (2001).
2. R.D. Gehle, K. Schugerl: *App. Microbiol. Biotechnol.* **20**, 133 (1984).