

Maciej SZWAST<sup>1,2</sup>, Marek ROGUSKI<sup>1</sup>, Wojciech PIĄTKIEWICZ<sup>1</sup>,  
Remigiusz OLESIŃSKI<sup>1,3</sup>, Kamil CREDO<sup>1</sup>, Tomasz WOŁYŃKO<sup>1</sup>

e-mail: mszwast@ichip.pw.edu.pl

<sup>1</sup> Polymemtech sp. z o.o., Warszawa

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

<sup>3</sup> Wydział Elektryczny ISiEP, Politechnika Warszawska, Warszawa

## Ultrafiltracyjna instalacja do zagęszczania białka jaja kurzego

### Wstęp

Światowa produkcja jaj kurzych przekracza obecnie 60 milionów ton rocznie. Blisko 40% rynku produkcyjnego należy do Chin. Polska zajmuje dość odległe miejsce z produkcją 0,5 miliona ton rocznie, co w przeliczeniu na mieszkańca wynosi około 13 kg jaj rocznie.

W przemyśle spożywczym wykorzystuje się produkty jajeczne, nie zaś surowe świeże jaja. Wynika to zarówno z przepisów i norm branżowych, ale również z trwałości produktu przetworzonego.

Do produktów jajecznych zaliczyć należy: mrożone pełne jaja, mrożone żółtka, mrożone białko, pasteryzowane pełne jaja, pasteryzowane żółtko, pasteryzowane białko, pełne jaja w proszku, żółtka w proszku, białko w proszku oraz parafarmaceutyki.

**Białko** stanowi przeszło 60% całej masy jaja. Większość białka jaja zaś stanowi woda. Jednakże zawarte są w nim również proteiny (ok. 10%), tłuszcze (0,03%) oraz węglowodory (1%). Proteiny zawarte w białku jaja kurzego posiadają rozmiary od kilkunastu do kilku tysięcy kDa. Największy udział wśród protein mają białka o następujących nazwach i rozmiarze cząsteczkowym: *Ovalbumin* (54%) o rozmiarze cząsteczkowym 45 kDa, *Ovotransferrin* (12%) o rozmiarze cząsteczkowym 76 kDa oraz *Ovomucoid* (11%) o rozmiarze cząsteczkowym 28 kDa [Stadelman i in., 1995].

**Białko jaja w proszku**, które jest produktem opisywanej technologii, posiada wiele zalet w porównaniu z pełnym białkiem jaja. W przypadku białka w proszku niższe są koszty jego transportu i przechowywania. Produkt taki jest mniej podatny na rozwój bakterii i łatwiejszy w utrzymaniu zgodnie z wymogami sanitarnymi. Ponadto produkt jajeczny, jakim jest białko w proszku, cechuje się wysoką powtarzalnością, co jest istotne z punktu widzenia procesów technologicznych wykorzystujących białko w produkcji.

Niniejsza praca opisuje instalację użytą w procesie wytwarzania białka jaja w proszku. Praca jest jednocześnie podsumowaniem działań inżynierskich podjętych w celu modyfikacji tradycyjnego procesu. Założeniem tych działań było zmniejszenie zapotrzebowania procesu na energię, co osiągnięto poprzez włączenie do linii technologicznej instalacji ultrafiltracyjnej.

### Technologia otrzymywania białka jaja w proszku

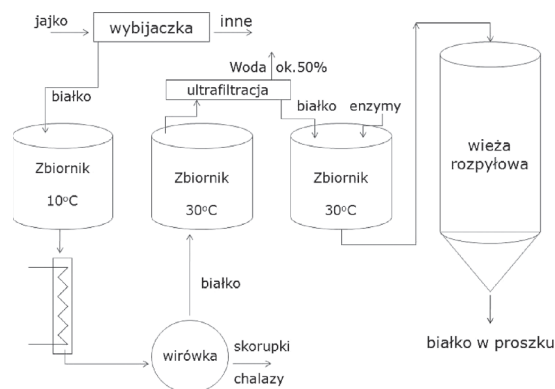
Metodą wykorzystywaną w produkcji białka jaja w proszku jest suszenie rozpyłowe za pomocą wież suszarniczych. Białko jaja po rozdzieleniu go od skorupki i żółtka poddawane jest kilku różnym zabiegom technologicznym (pasteryzacja, schładzanie, odwirowywanie, zasalanie, fermentowanie), które nie są w niniejszej pracy rozważane. Tak przygotowane białko jaja poddawane jest suszeniu. W procesie tym odparowywana jest woda, zaś proszek białka zbierany jest na dole wieży suszarniczej.

Płynne białko jaja kurzego zawiera 88% wody oraz 12% suchej masy. Z kolei produkt, tj. białko w proszku zawiera zaledwie 8% wody i 92% suchej masy [Stadelman i in., 1995]. Oznacza to konieczność odparowywania znacznych ilości wody w procesie produkcji białka w proszku. Proces odparowywania jest jednak energochłonny, a co za tym idzie kosztowny. Z tego powodu stosuje się coraz częściej w przemyśle przetwórstwa jaj membranowe instalacje ultrafiltracyjne do wstępnego zagęszczenia białka poprzez odfiltrowanie części wody.

### Membranowa instalacja ultrafiltracyjna

Opisywana ultrafiltracyjna instalacja do zagęszczania białka jaja kurzego stanowi fragment pełnej instalacji technologicznej produkcji białka jaja w proszku znajdującej się w jednym z zakładów produkcyjnych w Federacji Rosyjskiej. Zakład ten jest producentem różnych wyrobów jajecznych, jednakże autorzy niniejszej pracy zaangażowani byli jedynie w projektowanie i wytworzenie instalacji ultrafiltracyjnej pracującej na linii białka jaja kurzego.

Zmodyfikowana technologia wytwarzania białka jaja kurzego w proszku, w której to technologii zastosowano opisywaną w niniejszej pracy instalację ultrafiltracyjną została schematycznie przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zmodyfikowanego procesu wytwarzania białka jaja kurzego w proszku

W porównaniu z pierwotną technologią, w której wykorzystywana jest tylko wieża rozpyłowa (Metoda I), nowa technologia (Metoda II) wykorzystuje szereg dodatkowych elementów (takich jak wymiennik ciepła, wirówka, instalacja membranowa oraz dozownik enzymów). Mimo większego skomplikowania i wyższych kosztów instalacji koszty prowadzenia takiego procesu są niższe.

### Analiza energetyczna

Analiza energetyczna, którą przedstawiono w tab. 1, ukazuje oszczędność energii, do jakiej prowadzi zastosowanie nowego rozwiązania technologicznego. Zużycie energii dla metody I wyliczono na podstawie zapotrzebowania energii na ogrzanie i odparowanie wody zawartej w 1 tonie białka, zaś w przypadku metody II dodatkowo wykorzystano zużycie energii przez wirówkę oraz instalację membranową (podawane przez producenta).

Tab. 1. Analiza energetyczna dwóch rozwiązań technologicznych

	Zużycie energii w przeliczeniu na 1 tonę białka płynnego			
	Metoda I z wieżą rozpyłową		Metoda II z wymiennikiem ciepła, wirówką, instalacją membranową, dozownikiem enzymów i wieżą rozpyłową	
	MJ	kWh	MJ	kWh
Ogrzewanie	0	0	84	23
Wirowanie	0	0	6	1,5
Ultrafiltracja	0	0	24	6,5
Suszenie rozpyłowe	2500	700	1250	347
Suma	2500	700	1364	378

Bilans energetyczny przedstawiony w tab. 1 pokazuje, że zastosowanie w procesie technologicznym ultrafiltracyjnego zagęszczenia białka pozwala na blisko dwukrotną redukcję kosztów energii.

### Opis instalacji ultrafiltracyjnej

#### Założenia projektowe

Autorzy niniejszej pracy zaprojektowali i wykonali w pełni automatyczną instalację ultrafiltracyjną wraz ze współpracującą z nią instalacją do okresowego mycia membran CIP (*Cleaning In Place*).

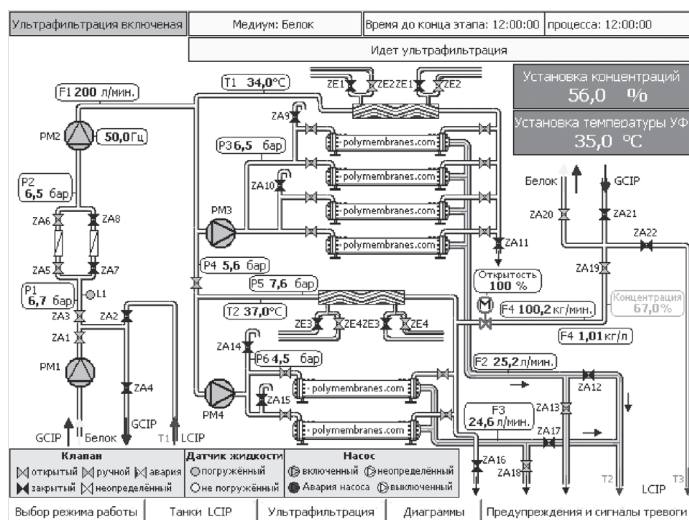
Przyjęto następujące założenia projektowe:

- podaż białka: 40 000 l / 2 zmiany,
- CIP 3 h / 1 zmiana,
- 2-krotne zagęszczenie.

Takie założenia projektowe prowadzą do konieczności obróbki 40 000 l białka w 10 h, czyli 4 000 l/h. Przy dwukrotnym zagęszczeniu oznacza to, że instalacja musi spełniać wymóg produkcji 2 000 l/h filtratu, tj. głównie wody.

#### Schemat procesowy

Schemat procesowy tej instalacji, a zarazem widok z panelu operatorskiego systemu automatyki przedstawiono na rys. 2, zaś widok rzeczywisty instalacji na rys. 3.



Rys. 2. Schemat procesowy instalacji ultrafiltracyjnej

#### Dobór membran

Mając na uwadze rozmiar cząsteczkowy protein występujących w białku jaja, zdecydowano się na zastosowanie membran ultrafiltracyjnych o punkcie odcięcia (MWCO) 20 kDa. Zakupiono membrany *Microdyn Nadir* spiralnie zwijane o rozmiarze 6”x40” wykonane z PES. Powierzchnia membrany w każdym module wynosiła 9,7 m<sup>2</sup>.

Przyjmując, doświadczalnie określony, współczynnik filtracji na poziomie 12 l / (h·m<sup>2</sup>) określono wymaganą powierzchnię na 166 m<sup>2</sup>. Ostatecznie zdecydowano się na zastosowanie 18 modułów podzielonych na 6 sekcji po 3 moduły połączone szeregowo w każdej. Zastosowano dwustopniową instalację, w której drugi stopień dogęszczał produkt z pierwszego stopnia. Na pierwszym stopniu zastosowano 4 sekcje modułów membranowych połączonych



Rys. 3. Widok rzeczywisty instalacji ultrafiltracyjnej (I stopień po prawej stronie, II stopień po lewej stronie)

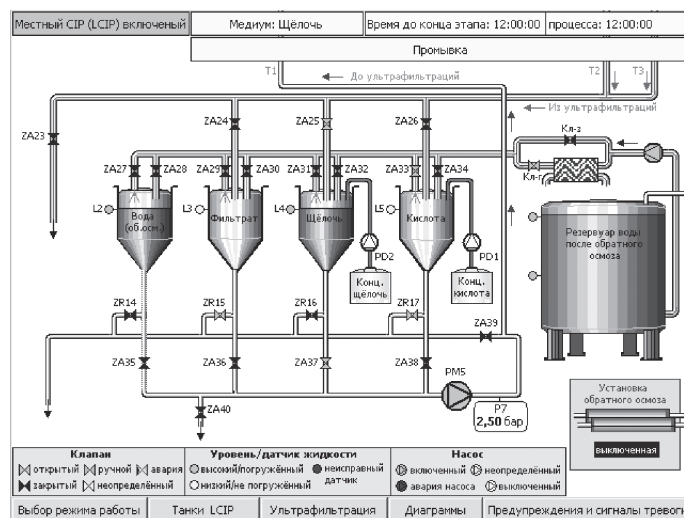
równolegle, zaś na drugim stopniu zastosowano dwie sekcje połączone również w sposób równoległy.

#### Instalacja mycia

Instalacji ultrafiltracyjnej towarzyszy instalacja CIP służąca okresowemu myciu membran. W pełni zautomatyzowany proces mycia podzielony został na następujące po sobie etapy:

- wypychanie produktu wodą zdemineralizowaną,
- płukanie wodą zdemineralizowaną,
- kąpiel kwaśna (HNO<sub>3</sub>),
- płukanie wodą zdemineralizowaną,
- kąpiel alkaliczna (NaOH),
- płukanie wodą zdemineralizowaną.

Schemat procesowy, a zarazem widok z panelu operatorskiego, instalacji CIP przedstawiono na rys. 4. W rzeczywistości instalacja CIP składa się głównie z opomiarowanych zbiorników, zaworów i pompy.



Rys. 4. Schemat procesowy instalacji CIP

#### Podsumowanie i dalsze plany

Opisana instalacja uruchomiona została na początku 2011 r. Do chwili obecnej wyprodukowała ok. 40 milionów ton zagęszczonego białka. Instalacja przez cały okres działała bezawaryjnie na jednym komplecie membran. Instalacja zapewnia bardzo wysoką powtarzalność produktu.

Z uwagi na konieczność dodawania do białka soli mineralnych w dalszym procesie technologicznym rozważane jest odzyskiwanie traconych soli mineralnych, które są naturalnie w białku jaja i znajdują się w dużych ilościach w usuwanym filtracie. Do tego celu posłużyć może dodatkowa instalacja membranowa, która za pomocą techniki odwróconej osmozy zażyje roztwór soli mineralnych i zawróci ten roztwór do zateżonego białka. Tym samym produkowany ściek, jakim jest odfiltrowana woda z białka będzie mniej obciążony.

Jednocześnie w *Dziale Badań i Rozwoju Polymemtech Sp. z o.o.* prowadzone są prace nad otrzymaniem inteligentnych membran odpornych na zanieczyszczenie (*fouling*) pochodzenia mineralnego i organicznego, a więc takiego jaki występuje w procesie dehydratacji białka jaja. Nowe membrany umożliwią filtrację z większymi współczynnikami filtracji, co przełoży się na niższe koszty eksploatacyjne, a jednocześnie wydłuży żywotność membran.

#### LITERATURA

Stadelman W., Cotterill O. (red.), 1995. *Egg Science and Technology*. Food Product Press, New York – London

*Prace rozwojowe w zakresie otrzymywania nowych membran finansowane były częściowo ze środków na naukę – grant Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Novel Smart Filtration Media”, zgodnie z umową ERA-NET/ MNT/NFSM/3/2011.*