

Jerzy BALEJKO, Jarosław MAJEWSKI, Zbigniew NOWAK

e-mail: jerzy.balejko@zut.edu.pl

Zakład Inżynierii Procesowej i Maszynoznawstwa, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

## Wysokociśnieniowe aseptyczne nastrzykiwanie filetów rybnych płynami technologicznymi

### Wprowadzenie

Jednym z problemów z jakimi boryka się przemysł przetwórstwa żywności jest psucie się produktów żywnościowych z powodu rozwoju niepożądanego mikroflory bakteryjnej. Ograniczenie powstawania tych niekorzystnych zjawisk polega głównie na stworzeniu takich specyficznych warunków, w których rozwój mikroorganizmów zostanie ograniczony, zahamowany lub drobnoustroje zostaną całkowicie inaktywowane. Jest to szczególnie istotne dla surowców, szybko tracących świeżość i psujących się, jakimi są ryby [1].

Solenie mięsa ryb jest najstarszym sposobem jego utrwalania. Sól zwiększa trwałość mikrobiologiczną gotowego produktu, pełni również inne korzystne, z punktu widzenia technologicznego funkcje. Między innymi zwiększa wodochłonność, poprawia właściwości emulgujące i żelujące oraz poprawia smak i zapach produktu. Ryby poddane procesowi solenia i marynowania uzyskują po procesie specyficzną barwę i aromat [2].

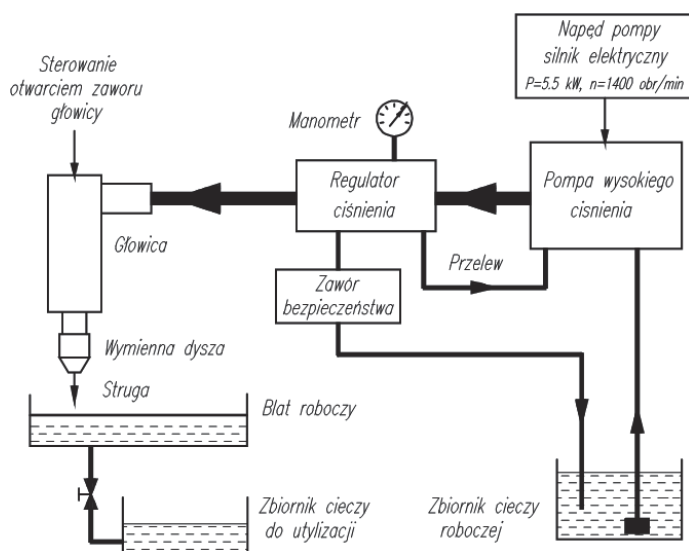
Poziom wiedzy współczesnej technologii przetwórstwa żywności jest na tyle wysoki, iż można pokusić się o stwierdzenie, że prawa rządzące procesem solenia oraz peklowania zostały już dobrze poznane.

W praktyce przemysłowej wykorzystywanych jest kilka metod peklowania, przy czym najpopularniejsze jest peklowanie igłowe, w którym nastrzyk solanki odbywa się za pomocą igieł z otworami, dzięki którym solanka jest wprowadzana do wnętrza surowca. Najważniejszą zaletą tej metody jest umożliwienie równomiernego rozmieszczenia solanki i szybszego wyrównania jej stężenia w całej masie, gdyż substancje dodatkowe wprowadzane są w postaci rozpuszczonej bezpośrednio do wnętrza surowca, co z kolei prowadzi do skrócenia czasu trwania procesu [3].

Peklowania igłowe niesie jednak pewne zagrożenie pod względem mikrobiologicznym, często bowiem, podczas obróbki, mięso jest dodatkowo zakażane, zwłaszcza florą saprofityczną pochodzącą z infekcji z zewnątrz, szczególnie z rąk, sprzętu, narzędzi i odzieży. W takim przypadku należy liczyć się ze stratami, gdyż brak jest jakiegokolwiek metod powierzchniowej dezynfekcji mięsa podczas procesu peklowania na mokro. Jednocześnie obowiązujące ustawodawstwo żywnościowe, w trosce o zdrowie konsumenta, nie zezwala na stosowanie do ryb i przetworów rybnych środków bakteriobójczych, konserwujących i antybiotyków [4].

Alternatywą dla tradycyjnych metod jest nastrzykiwanie bezigłowe, w którym stosuje się odpowiednio ukształtowane i dobrane do rodzaju i budowy obrabianego surowca dysze [5]. Podczas nastrzyku strumień solanki, formowany za pomocą dyszy i podawany pod odpowiednio wysokim ciśnieniem wprowadzony zostaje bezpośrednio do surowca [6]. W istniejących systemach tego typu dysze mają bezpośredni kontakt z tkanką mięsa. Na szczególną uwagę zasługuje jednak rozwiązanie, w którym dysza nie styka się bezpośrednio z surowcem, co gwarantuje czystość mikrobiologiczną procesu [7]. Dzięki innowacyjnej technologii nastrzyku bezigłowego możliwe jest rozsmieszanie całkowicie rozpuszczonej solanki w tkance mięśniowej dokładnie tak, jak to jest w przypadku typowych technologii. Dzięki bezigłowemu nastrzykowi możliwe jest nastrzykiwanie mięsa bardzo lepkiemi solami czy też ogólnie, płynami technologicznymi, wskutek tego pojawiają się nowe możliwości produkcji, zwłaszcza w zakresie żywności wygodnej (np.: marynowanych produktów mięsnych).

Celem pracy jest prezentacja wybranych efektów zastosowania nowoczesnej, bezigłowej i bezdotykowej metody nastrzyku filetów rybnych płynami technologicznymi. Przyjęta metoda gwarantuje skuteczność procesu przy jednoczesnym zapewnieniu czystości mikrobiologicznej.



Rys. 1. Blokowy schemat stanowiska badawczego

## Materiał i metody badań

Materiałem stosowanym w badaniach była troć bałtycka (*Salmo Trutta Morfa Trutta*).

Po dostarczeniu surowca do laboratorium, ryby osuszano za pomocą bibuły, odłuszczano, odgławiano i patroszono, a następnie filetowano ręcznie. Otrzymane filety, bez żeber ze skórą, miały grubość maksymalną  $29,0 \cdot 10^{-3}$  m.

Przed nastrzykiwaniem filety składowane były przez 18 godzin w chłodni w temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$ . Podczas nastrzykiwania filety spoczywały w pozycji poziomej, na płaskim stole ze stali kwasoodpornej (1.4301), skórą ku dołowi.

Do badań wykorzystano roztwór solanki o stosunku NaCl 11 i 1,5% mieszanki peklującej, tj. soli kuchennej (99,5%) i azotanu (III). Tak sporządzoną mieszkankę zalano w kolbie miarowej wodą w ilości 87,5%.

Natężenie przepływu cieczy przez dyszę wyznaczono w funkcji ciśnienia zasilającego. Pomiar realizowano mierząc za pomocą cylindra miarowego, z dokładnością  $5 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>, objętość cieczy, jaka wydostała się z dyszy w czasie 10 s. Ciśnienie zasilania zawierało się w granicach od  $0,5$  do  $8 \cdot 10^6$  Pa i było zmieniane co  $0,5 \cdot 10^6$  Pa (nastawa z dokładnością  $0,1 \cdot 10^6$  Pa). Pomiary powtarzano pięciokrotnie. Na podstawie zmierzonego natężenia przepływu obliczono prędkość wypływu cieczy z dyszy oraz siłę strumienia z niej wypływającego. Prędkość wypływu cieczy obliczano z zależności na objętościowe natężenie przepływu. Siłę (napór) strumienia obliczano wg *Czetyrtyńskiego i Utrysko* [4].

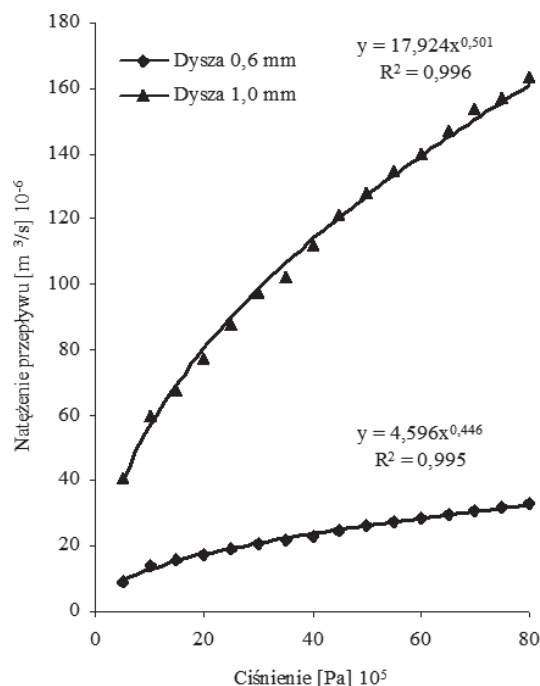
Pomiary wpływu ciśnienia zasilającego na głębokość penetracji strumienia w głąb surowca powtarzano pięciokrotnie. Podczas próby powierzchnia czołowa dyszy oddalona była od materiału badanego o  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m. Czas ekspozycji wynosił 0,5 s i był mierzony za pomocą stopera z dokładnością 0,1 s. Głębokość penetracji mierzono za pomocą trzpienia pomiarowego o średnicy 0,4 mm z końcem płaskim, wykonanego ze stali kwasoodpornej (1,4301), z dokładnością do  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m. Podczas pomiarów trzpień podlegał obciążeniu osiowemu 20g.

Badania prowadzono na specjalnie zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym (Rys. 1). W jego skład wchodziły: zbiornik cieczy roboczej (solanki), pompa wysokiego ciśnienia z regulatorem ciśnienia i manometrem, napędzana silnikiem elektrycznym, zawór bezpieczeństwa, głowica z króćcem wyjściowym z gwintem do mocowania dysz oraz zaworem sterującym otwarciem głowicy, dysza robocza, blat roboczy ze zbiornikiem cieczy odciekającej, zbiornik cieczy zużytej (do utylizacji).

Badania przeprowadzono w temperaturze otoczenia  $20^{\circ}\text{C}$  dla dysz o średnicy  $d = 0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m.

## Wyniki i dyskusja

Jednym z kluczowych parametrów procesu nastrzykiwania jest ilość solanki wprowadzona podczas pojedynczego nastrzyku [3], zależna od natężenia jej przepływu oraz czasu trwania procesu. Na rys. 2 pokazano zależność natężenia przepływu cieczy w funkcji ciśnienia zasilającego, dla dyszy o średnicach  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m.

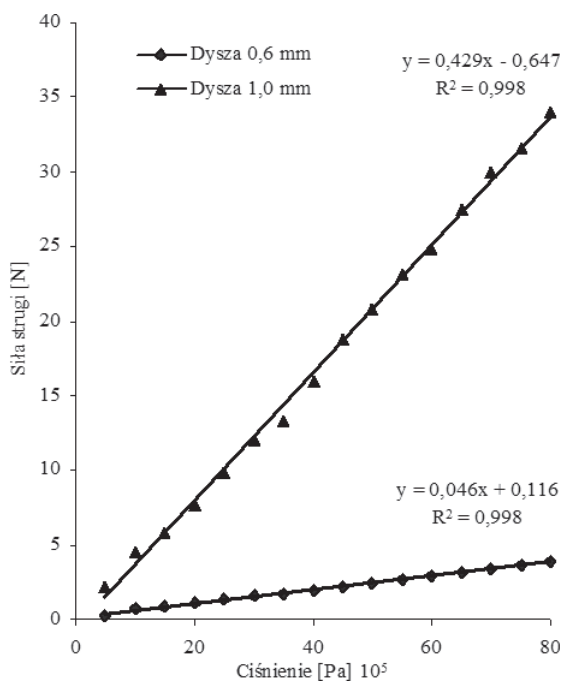
Rys. 2. Natężenie przepływu cieczy, dla dyszy o średnicach  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m w zależności od ciśnienia zasilającego

Przedstawione zależności pozwalają stwierdzić, iż dla tej samej wartości ciśnienia zasilającego, np.  $2 \cdot 10^6$  Pa, wartość natężenia przepływu dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m, wyniosła około  $1,75 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s, zaś dla dyszy o średnicy  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, odpowiednio  $7,72 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. Zwiększenie średnicy o 67% skutkowało zatem 440% wzrostem natężenia przepływu. Porównanie to obrazuje jak ważny, z punktu widzenia poprawności wprowadzonej dawki cieczy technologicznej, jest prawidłowy dobór średnicy dysz oraz utrzymanie ich we właściwym stanie technicznym w czasie eksploatacji. Wpływ ten jest bowiem ponad siedemnastokrotnie silniejszy od wpływu wartości ciśnienia zasilającego (wzrost o 67%

skutkowało zwiększeniem natężenia przepływu, dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m, jedynie o 25%).

Kolejnym, bardzo ważnym parametrem decydującym o możliwości wykorzystania strugi w procesie bezigłowego nastrzykiwania jest odpowiednia wartość jej oddziaływania (siły). Ponieważ w opisywanej metodzie struga staje się „narzędziem” rozrywającym tkankę ciała ryby, wartość siły, jaką dysponuje struga decyduje o głębokości penetracji, a więc również o rozmieszczeniu solanki, wpływającym bezpośrednio na efekt peklowania [3].

Wartości siły strugi, w zależności od ciśnienia zasilającego dysze o średnicach  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, przedstawiono na rys. 3.



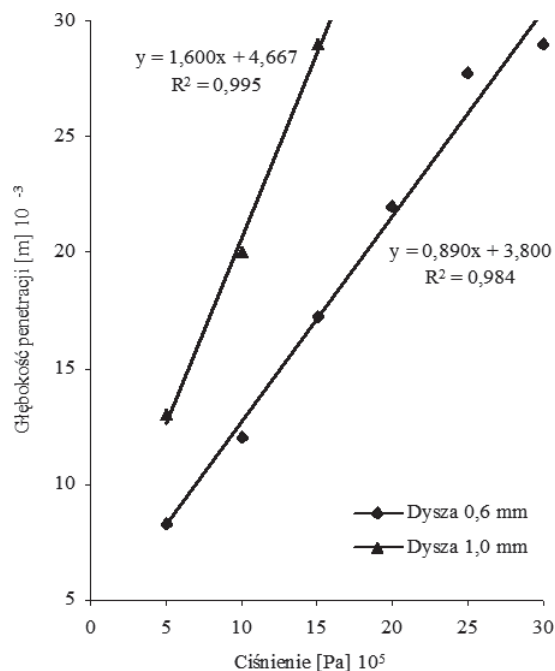
Rys. 3. Wartość siły strugi, dla dyszy o średnicach  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, w zależności od ciśnienia zasilającego

Wartość ta może być regulowana w bardzo szerokich granicach tj. od 0,3 N, dla dyszy średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m, przy ciśnieniu  $0,5 \cdot 10^6$  Pa, do 34,0 N, dla dyszy o średnicy  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, przy ciśnieniu  $8 \cdot 10^6$  Pa. Wskazuje to na bardzo duże możliwości doboru właściwych parametrów procesu dla różnego rodzaju tkanek, charakteryzujących się różnorodnymi parametrami wytrzymałościowymi.

Efekt oddziaływania strugi (głębokość jej penetracji w głąb surowca) jest uzależniony od wartości siły jaką dysponuje struga, co z kolei dla danego rodzaju cieczy oraz typu i średnicy dyszy, zależy od ciśnienia cieczy zasilającej, którym w warunkach przemysłowych jest najłatwiej i najskuteczniej sterować. Na rys. 4 pokazano dla rozpatrywanych dysz zależność głębokości penetracji strumienia w głąb surowca od ciśnienia zasilającego.

Głębokość penetracji strumienia w głąb surowca wykazuje liniowość, choć z różną intensywnością, zależność od ciśnienia zasilającego dla obu dysz. Silniejszy wpływ zaobserwowano dla dyszy o średnicy  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, dla której współczynnik kierunkowy prostej wyniósł 1,60, natomiast dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m jedynie 0,89. W konsekwencji wzrost ciśnienia zasilającego o  $0,1 \cdot 10^6$  Pa, spowodował przyrost głębokości penetracji o  $1,6 \cdot 10^{-3}$  m, dla dyszy o średnicy  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m i jedynie  $0,89 \cdot 10^{-3}$  m, dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m.

Ze wzrostem średnicy otworu dyszy wzrastają zatem wymagania, związane z dokładnością sterowania ciśnieniem zasilającym, w celu uzyskania pożądanej głębokości penetracji, szczególnie w przypadku nastrzykiwania surowca rybnego pozbawionego skóry. Bardzo istotne jest wtedy takie prowadzenie operacji by strumień nie przechodził na wskroś. Uniemożliwia to bowiem podanie żądanej dawki cieczy technologicznej oraz powoduje późniejsze, grawitacyjne jej odciekanie.



Rys. 4. Głębokości penetracji strugi, w głąb surowca, dla dyszy o średnicach  $0,6 \cdot 10^{-3}$  oraz  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, w zależności od ciśnienia zasilającego

W przypadku nastrzykiwania filetów ze skórą nie ma takiego niebezpieczeństwa. Skóra znajdująca się na spodzie obrabianego fileta, o znacznie wyższej niż ciało ryby wytrzymałości, stanowi bowiem naturalną barierę i nie pozwala na przeniknięcie strumienia na wskroś.

Podczas przeprowadzonych badań zaobserwowano osiągnięcie maksymalnej głębokości penetracji (dotarcie do skóry) już przy ciśnieniu  $3 \cdot 10^6$  Pa dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  m oraz  $1,5 \cdot 10^6$  Pa dla dyszy o średnicy  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m. Przeniknięcie strumienia na wskroś wymagało jednak znacznie wyższego ciśnienia tj.  $8 \cdot 10^6$  i  $4 \cdot 10^6$  Pa, odpowiednio dla dyszy o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m. W takim przypadku duża tolerancja wartości głównego parametru procesu nastrzykiwania znacznie ułatwia jego skuteczną realizację.

## Wnioski

1. Zastosowana metoda bezdotykowego i bezigłowego nastrzyku płynami technologicznymi w zakresach ciśnień od  $2,5 \cdot 10^6$  do  $6 \cdot 10^6$  Pa oraz od  $1,5 \cdot 10^6$  do  $3 \cdot 10^6$  Pa, odpowiednio dla dysz o średnicy  $0,6 \cdot 10^{-3}$  i  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m, gwarantuje skuteczność procesu, zapewniając jednocześnie czystość mikrobiologiczną.
2. Ilość solanki podanej podczas pojedynczego nastrzyku, zrealizowanego metodą bezigłową, najsilniej zależy od średnicy otworu dyszy.
3. Nastrzykiwanie surowca rybnego w postaci filetów ze skórą pozwala na uniknięcie przechodzenia strumienia na wskroś.
4. Ze wzrostem średnicy otworu dyszy, wzrasta trudność uzyskania precyzyjnej głębokości penetracji cieczy technologicznej w głąb surowca.

## LITERATURA

- [1] J. M. Barat i in.: Journal of Food Engineering, **73**, 9 (2006).
- [2] F. Świdorski: Towaroznawstwo żywności przetworzonej. SGGW Warszawa, 2003.
- [3] M. Słowiński: Mięso i wędliny, nr 3, 16 (1997).
- [4] P. Pawłowski: Magazyn Przemysłu Mięsnego, nr 6, 30 (2007).
- [5] R. A. Tikhomirov i in.: High-Pressure. Jetcutting. Asme Pre, New York 1992.
- [6] J. Eicher i in.: Patent międzynarodowy nr WO01/64268. PCT Gazette, nr 36, (2001).
- [7] J. Balejko, J. Majewski: Zgłoszenie patentowe nr P.388248. Urząd Patentowy RP 2009
- [8] E. Czetwertyński, B. Utrysko: Hydraulika i hydromechanika. PWN, Warszawa 1969.