

BADANIA NAD ZASTOSOWANIEM UDERZAJĄCEGO STRUMIENIA  
WODNO-POWIETRZNEGO JAKO INSTRUMENTU PATROSZĄCEGO  
W OBRÓBCE WSTĘPNEJ KALMARÓW

Tadeusz Kawka

Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Morskiego  
AR w Szczecinie

Daniel Dutkiewicz

Morski Instytut Rybacki w Gdyni

Zmechanizowanie obróbki wstępnej kalmarów jest jednym z trudniejszych wdrożeń, dotychczas nie opanowanych w warunkach przemysłowych. Wynika to z szeregu specyficznych cech biologicznych kalmarów. Pomimo dobrego rozeznania anatomicznego i morfometrycznego tych głowonogów nie można znaleźć skutecznego sposobu ich obróbki mechanicznej. Szereg prób opartych na dziesiątkach patentów, przeprowadzonych przez polskich i zagranicznych konstruktorów, nie zostało uwieńczone sukcesem pozwalającym na podjęcie seryjnej produkcji maszyn do obróbki wstępnej kalmarów. Wykonane w ostatnim okresie eksperymenty rozpoznawcze z osiowo symetrycznym strumieniem cieczy, na wzór znanych metod patroszenia ryb, pozwalają przypuszczać, że zastosowanie hydrodynamicznego patroszenia może dać pozytywne rezultaty. Doświadczenia wykazały, że szczególnie dobre wyniki w oczyszczaniu płaszczy kalmarów z wnętrzości osiąga się przy stosowaniu mechanicznej mieszaniny wody z powietrzem tłoczonej pod ciśnieniem z centrycznych dysz instrumentalnych. Otrzymuje się wówczas strumień uderzający o silnej turbulencji, w którym znaczna część energii kinematycznej powietrza przekazana zostaje makrocząstkom wody. W wyniku tego zjawiska wzrasta prędkość ruchu kropeł wody strumienia, a jednocześnie kinematyczna energia strumienia powietrza częściowo przewyższa ich siły ciężenia i siły tarcia.

W celu optymalizacji metodyki badawczej przeprowadzono analizę teoretyczną hydrodynamiki strumienia uderzającego, co doprowadziło do wyodrębnienia zjawisk

podstawowych. Wykonana następnie analiza matematyczna, dla warunków wyidealizowanych, pozwoliła na określenie strefy ograniczeń dla prowadzonych eksperymentów, a doświadczenia miały na celu zweryfikowanie otrzymanych wyników przez wprowadzenie i określenie wartości współczynników empirycznych.

### HYDRODYNAMIKA STRUMIENIA UDERZAJĄCEGO

Okrągły strumień swobodny uderzając w prostopadłą przeszkodę rozplywa się promieniowo wzdłuż jej powierzchni, tworząc w pewnej odległości od punktu stagnacji promieniowy strumień przyścienny. W rezultacie mamy do czynienia z tzw. strumieniem uderzającym, w którym rozróżniamy następujące trzy charakterystyczne rejony [3]:

- rejon strumienia swobodnego,
- rejon uderzania (rejon punktu stagnacji),
- rejon promieniowego strumienia przejściowego (rejon odpływu strumienia).

Rejon strumienia swobodnego rozciąga się od wylotu z dyszy do miejsca, gdzie zaczyna się oddziaływanie przeszkody. Jego główne cechy to niska turbulencja w przekroju początkowym i praktycznie wyrównany profil prędkości średniej. Profil prędkości i turbulencja w przekroju wylotu mają duży wpływ na strukturę strumienia w początkowym odcinku jego rozwijania się. Rejon uderzenia charakteryzują wyraźne zmiany ciśnienia statycznego, mierzonego na powierzchni przeszkody, oraz zmiany prędkości spowodowane obecnością przeszkody. Pole prędkości w tym rejonie jest silnie zależne od warunków początkowych, tj. od struktury przepływu strumienia swobodnego i odległości  $x_c$  dyszy od przekroju, w którym prędkość w osi strumienia spada do określonego procentu tej prędkości, jaką miałby strumień po usunięciu (np. do prędkości równej 98% prędkości początkowej). Zgodnie z wieloma danymi literaturowymi [1, 2, 4] odległość ta wynosi 1,2 średnicy wylotowej dyszy  $D$  przy stosunku odległości od przeszkody  $H$  do średnicy dyszy  $D$  mniejszym lub równym 6,8 oraz 0,153  $(D+H)$  dla  $H/D > 6,8$ . Natomiast na obwodzie rejon uderzenia jest ograniczony przez promień, na którym nadciśnienie statyczne spada praktycznie do zera.

Ponieważ w rejonie uderzenia pole prędkości i ciśnienia są zależne od warunków początkowych, rozróżnia się trzy przypadki określone przez odległość wylotu dyszy od powierzchni przeszkody:

$H \leq x_c$ ; gdzie  $x_c$  oznacza długość rdzenia strumienia swobodnego (od dyszy do granicy obszaru mieszania przy utracie prędkości początkowej  $u_0$  do 98%  $u_0$  w rdzeniu strumienia i do zera na jego skraju);

$x_c/D \leq H/D \leq 8 - 20$ , przypadek pośredni;

$H/D \geq 8 - 20$ , w tym przypadku strumień swobodny atakujący przeszkodę ma już rozwinięte profile prędkości.

W miarę zbliżania się do przeszkody promieniowy rozkład prędkości strumienia ulega deformacji. Najszybciej maleje prędkość w osi. Spadek prędkości jest ściśle związany ze wzrostem ciśnienia statycznego. Cząsteczki płynne po natrafieniu na przeszkodę zmieniają swój kierunek i rozprzyskują się promieniowo. Na przeszkodzie, począwszy od punktu stagnacji, formuje się warstwa przyścienna, której grubość w otoczeniu punktu stagnacji, do odległości  $H/D \leq 4$ , jest stała [3].

Strumień uderzając w przeszkodę i rozprzyskując się na jej powierzchni wywołuje rozkład naprężeń stycznych, które są powodem działań niszczących na tejże powierzchni. Zatem wielkość i rozkład naprężeń stycznych są bardzo ważne dla zastosowań praktycznych. Obszerne dane literaturowe na ten temat są bardzo rozbieżne [1,2,4]. Najnowsze opublikowane dane Oleśkiewicz-Popiela [3] wskazują na znaczenie turbulencji, która powoduje, że w punkcie stagnacji wartość średnia naprężenia stycznego jest różna od zera, pomimo że następuje w tym punkcie zmiana kierunków. Wartość naprężeń na przeszkodzie w rejonie strumienia przejściowego uzależniona jest od liczby Reynoldsa i stosunku promienia położenia rozpatrywanego punktu w warstwie przejściowej do średnicy dyszy wylotowej. Natomiast okazało się, że wpływ odległości dyszy od przeszkody jest pomijalny (dla badanej wartości  $H/D = 8$ ). Przy turbulencji strumienia, charakteryzującej się obecnością wirów w dużej skali, otrzymuje się szybki wzrost energii kinematycznej turbulencji i gwałtowny wzrost powierzchniowych współczynników konwekcji ilości ruchu oraz ciepła i masy.

W trakcie realizacji podjętych badań nad hydrodynamiczną obróbką kalmarów stwierdzono, że przy wykorzystaniu strumienia wodnego w oddziaływaniu na przeszkodę, szczególnie w punkcie stagnacji, korzystne będzie wywołanie turbulencji w rejonie strumienia swobodnego, tuż za wylotem z dyszy. Ma to szczególne znaczenie przy niewielkich wartościach  $H/D$  zdeterminowanych celem, dla którego podjęto badania. Próbę wzmocnienia procesu konwekcji ilości ruchu oparto na aerodynamicznym promotorze turbulencji umieszczonym w dyszy. Jako nośnik wzmocnienia przyjęto sprężone powietrze wprowadzone centrycznie w osi swobodnego strumienia wodnego.

#### MATEMATYCZNA ANALIZA ZJAWISKA

Zgodnie z prawem zachowania energii, przy aksjomacie izotermiczności zjawiska, kinetyczna energia strumienia  $E_s$  równa jest sumie kinetycznej energii strumienia makrocząstek wody  $E_w$  oraz kinetycznej energii przekazanej wodzie przez strumień powietrza  $E_p$ :

$$E_s = E_w + E_p.$$

Po rozwinięciu

$$\frac{m_s v_s^2}{2} = \frac{m_w v_w^2}{2} + \frac{m_p v_p^2}{2}.$$

W rozważaniach pominięto straty kinetycznej energii strumienia powietrza pokonujące siły tarcia i siły ciężenia, jako niewspółmiernie małe do członu strat energii kinetycznej przekazanej wodzie. Stąd przyjmując uproszczenie, że masa strumienia mieszaniny równa jest sumie mas strumienia wodnego i powietrznego, wyliczono orientacyjną prędkość strumienia mieszaniny

$$v_s = \frac{m_w v_w^2 + m_p v_p^2}{m_w + m_p}.$$

Poszczególne wielkości do powyższego wyrażenia wyliczono na podstawie wzorów termodynamiki technicznej. Ilość przepływającego powietrza w jednostce czasu (sekundzie) dla przypadku, gdy  $v_{kr} > \frac{p_{otocz.}}{p_s} > 0$ :

$$m_p = \mu F_p \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k-1} \right)^{\frac{2}{k-1}} p_p \rho_p},$$

gdzie:  $\frac{p_{otocz.}}{p_w}$  - stosunek ciśnienia środowiska otaczającego do ciśnienia w strumieniu swobodnym,

$v_{kr}$  - liczba krytyczna dla powietrza = 0,528,

$k$  - wykładnik adiabaty dla powietrza,

$\rho_p$  - ciężar właściwy powietrza przy ciśnieniu  $p_p$ ,

$p_p$  - ciśnienie strumienia powietrza,

$F_p$  - pole przekroju dyszy powietrznej,

$\mu$  - współczynnik wydatku.

Prędkość wypływu powietrza

$$v_p = K \varphi \sqrt{T},$$

gdzie:  $K$  - współczynnik proporcjonalności dla powietrza = 20,1,

$\varphi$  - współczynnik prędkości wypływu,

$T$  - temperatura bezwzględna powietrza.

Ilość przepływającej wody

$$m_w = \mu \varphi F_w \sqrt{\frac{2p_w}{\rho_w}},$$

gdzie:  $F_w$  - pole przekroju dyszy wodnej,  
 $\mu$  - współczynnik prędkości wypływu strumienia,  
 $p_w$  - ciśnienie strumienia wodnego,  
 $\rho_w$  - ciężar właściwy wody.

Prędkość wypływu wody

$$v_w = \mu \sqrt{\frac{2p_w}{\rho_w}}$$

Ciąg powyższych przeliczeń pozwala na określenie prędkości strumienia mieszanki  $v_s$ .

Minimalizację wydatku energetycznego operacji obróbki przeprowadzono z wykorzystaniem zależności ustalonej eksperymentalnie

$$S = C F^2 v_s^2,$$

gdzie:  $S$  - siła usunięcia wnętrzości z ciała kalmara,

$F$  - przekrój sumaryczny dyszy strumienia ( $F_p + F_w$ ),

$C$  - współczynnik doświadczalny wyliczony dla określonego obiektu obróbki (ujmujący masę wnętrzości i powierzchnię obrabianego obiektu w przekroju normalnym, mający miano  $\text{kg/m}^5$ ).

#### OMÓWIENIE DOTYCHCZASOWEGO STANU I WYNIKÓW EKSPERYMENTÓW NAD HYDRODYNAMICZNYM PATROSZENIEM KALMARÓW

Jak zasygnalizowano na wstępie, próba obróbki przy wykorzystaniu uderzającego strumienia wodno-powietrznego rokuje uzyskanie zadowalających rezultatów jakościowych oczyszczania kalmarów z wnętrzości i pióra szkieletowego. Na stanowisku badawczym wyposażonym w instalację wodną i powietrzną z armaturą umożliwiającą pomiar parametrów czynników roboczych dokonano wyboru sposobu ułożenia i uchwycenia kalmarów. Wyniki powyższych badań dostarczyły danych potrzebnych przy skonstruowaniu odpowiedniego uchwytu dla kalmarów poddanych hydrodynamiczemu patroszeniu. Podczas obróbki kalmary utrzymywane były w ułożeniu grzbietowym do dołu i zwrócone głową w stronę dyszy. Obróbka kalmarów w innym ułożeniu nie dawała pozytywnych wyników. Badania przeprowadzono na rozmrożonych pod natryskiem wodnym kalmarach *Illex sp.* o ciężarze całkowitym od 0,07 do 0,50 kilograma i długości płaszcza od 0,10 do 0,28 m. Warunkiem właściwego przeprowadzenia operacji było uprzednie wykonanie następujących cięć: odcięcie ramion (w celu odzyskania ich jako wartościowego sortymentu i w celu ułatwienia procesu hydrodynamicznego patroszenia); odcięcie części ogonowych wraz z płetwą warunkujące otrzymanie cylindrów jako poszukiwanej formy końcowej obrabianego surowca.

W badaniach podlegały optymalizacji parametry technologiczne procesu (ciśnienia robocze czynników, czas obróbki) oraz parametry geometryczne dysz instrumentalnych w aspekcie jakości uzyskiwanego produktu oraz minimalizacji kosztów energetycznych.

Szczególnie techniczne metody wraz z otrzymanymi danymi liczbowymi poddane zostały badaniom na nośność patentową. Pogłębionych badań wymaga ustalenie optymalnego stosunku koncentracji wody w mieszaninie wodno-powietrznej, co pozwoli na precyzyjne określenie właściwego czasu obróbki, a tym samym na określenie zakładanej przepustowości ewentualnego prototypu automatycznego urządzenia do patroszenia kalmarów.

### PIŚMIENNICTWO

1. Giralt F., Chia C. J., Trass O.: Ind. Eng. Chem. Fundam. 1977, 16, 1, 21-28.
2. Judaev B. N., Michailov M. S., Savin V. K.: Teploobmien pri vzaimodejstvii strui s pierogradami. Moskwa, Mašinstroene 1977.
3. Oleśkiewicz-Popiel Cz.: Osiosymetryczny strumień swobodny i uderzający. Rozprawy Politechniki. Poznań 1980.
4. Rajaratnom N.: Turbulent jet. New York, Elsevier Sci. Pub. Comp. 1976.

T. Kawka, D. Dutkiewicz

### ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДАРНОГО ВОДЯНО-ВОЗДУШНОГО ПОТОКА КАК ПОТРОШИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРЕДВОРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КАЛЬМАРОВ

#### Р е з ю м е

В статье представлены некоторые результаты исследований касающихся использования ударного действия водяно-воздушной струи для отделения внутренности из мангли кальмара. Неприменяемый в существующих машинах указанный способ может решить вопрос машинной обработки кальмаров.

T. Kawka, D. Dutkiewicz

### APPLYING THE STRIKING WATERY-AIR FLOW AS THE INSTRUMENT CUTTING CALAMARIES (LOLIGO) WHILE INTRODUCTORY PROCESSING

#### S u m m a r y

In the technical paper there are presented some results from the investigations on the utilization of a striking water-air jet for evisceration of the squid mantle during their mechanical processing for cylinders. This presented, unused as yet method of evisceration of squids' mantle, may be a solution to mechanical processing of squids.