

Prof. dr hab. inż. Roman Hejft  
Politechnika Białostocka  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej

Białystok 20.04.2016

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Macieja Kasperowicza**  
**PODSTAWY STOSOWANIA CIŚNIENIOWEJ STRUGI**  
**WODNEJ DO OBRÓBKI RYB**

Recenzję wykonano na podstawie umowy zawartej z Politechniką Koszalińską reprezentowaną przez prof. nazw. dr hab. inż. Czesława Łukianowicza

**1. Charakterystyka podjętego problemu**

Procesy rozdrabniania, w tym cięcia, są powszechnie stosowane we wszystkich gałęziach przemysłu. Pochłaniają istotną część światowej energii szacowanej na 20-30%. Wpływają zarówno na wydajność procesów przetwórczych jak i jakość otrzymanych produktów. Poszukiwanie nowych technik operacji cięcia w przetwórstwie surowców spożywczych jest koniecznością związaną z konkurencją rynkową. Podjęcie badań nad zastąpieniem w przetwórstwie ryb nożowych układów roboczych cięcia nowoczesną techniką ciśnieniowej strugi wodnej jest nowatorskie i w pełni uzasadnione potrzebami przemysłu.

**2. Charakterystyka pracy**

We wstępie Autor charakteryzuje poziom mechanizacji obróbki ryb słodkowodnych i pochodzących z akwakultury stwierdzając, że jest znacznie niższy w porównaniu do obróbki ryb morskich. Próby zmechanizowania ich obróbki nie przyniosły dotąd zadowalających rezultatów. Koniecznością jest zatem wdrażanie nowych konstrukcji maszyn o wydajności pozwalającej eliminować obróbkę ręczną. Do obróbki ryb stosowanych jest kilkanaście rodzajów maszyn i automatów, często przystosowanych do jednego gatunku ryb w określonym zakresie wielkości. Tradycyjnie stosowane narzędzia tnące nie w pełni spełniają wymogi, stąd też uzasadnione jest prowadzenie badań związanych z poszukiwaniem nowych narzędzi tnących takich jak np.: wysokociśnieniowa struga wodna. W dostępnej literaturze jest niedostatek publikacji na ten temat.

Rozdział pierwszy przedstawia informacje o hydrostrumieniowym cięciu materiałów biologicznych. Dotyczą one między innymi problemów wysoko-prędkościowych przepływów medium tnącego, zagadnień zachowania się strugi w powietrzu, aspektów kinematycznych i dynamicznych ruchu cieczy podczas opuszczania dyszy i po uderzeniu w obrabiany materiał. Przedstawiono zagadnienia dotyczące rozwiązań konstrukcyjnych maszyn wytwarzających i przesyłających wysokociśnieniowy strumień cieczy. Postęp techniczny i technologiczny sprawia, że wytworzenie oraz przesłanie strumienia wody o wysokim ciśnieniu i małym przekroju poprzecznym przestaje być zbyt drogie, stąd powstają możliwości wdrażania technologii hydrostrumieniowej w różnych gałęziach przemysłu przetwórstwa spożywczego. W rozdziale Autor przedstawia charakterystykę wysokociśnieniowej strugi wody, jej parametrów, jako narzędzia tnącego, a także zastosowania go do procesów cięcia, występujących w przetwórstwie spożywczym, medycznym.

Rozdział drugi przedstawia cel i zakres

Celem pracy są:

- badania wpływu średnicy otworu formującego strugę wody i prędkości posuwu strugi na wartości ciśnienia zasilania, przy których możliwe jest przecięcie surowca rybnego,
- opracowanie przybliżonego modelu matematycznego, który umożliwi zastosowanie technologii hydrostrumieniowej do procesów przetwórstwa rybnego.

Sformułowano hipotezę pracy,

*„Określenie minimalnych wartości ciśnienia zasilania, przy których dochodzi do pełnego przecięcia ryb lub ich części anatomicznych, w zależności od średnicy otworu formującego i prędkości posuwu strugi podczas przecinania, umożliwią zastosowanie technologii hydrostrumieniowej do maszynowej obróbki ryb”.*

Zakres pracy obejmuje:

- ocenę stanu wiedzy zagadnienia na podstawie literatury,
- opracowanie metodyki badań,
- zbudowanie prototypowego stanowiska badawczego,
- ocenę wpływu wybranych parametrów obróbki wysokociśnieniową strugą wody na ciśnienie zasilania potrzebne do pełnego przecięcia surowca rybnego,
- opracowanie przybliżonego modelu matematycznego wpływu parametrów procesu cięcia elementów ryby na minimalne ciśnienie pełnego przecinania,

- ocenę możliwości wykorzystania technologii hydrostrumieniowej do procesów obróbczych przetwórstwa rybnego,
- opracowanie wniosków z przeprowadzonych badań,
- sformułowania wniosków dotyczących możliwości wykorzystania technologii hydrostrumieniowej w przetwórstwie rybnym

Rozdział trzeci przedstawia metodykę badań.

Do badań przyjęto następujące parametry:

*Zmienne:*

- średnica otworu formującego strugę ( $d_d=0,175, 0,25, 0,35, 0,45, 0,65, 0,95\text{mm}$ )
- prędkość posuwu dyszy nad ciętym surowcem ( $v_d=5, 25, 50\text{mm/s}$ )

*Stale:*

- kąt natrysku strugi ( $\alpha=0^\circ$ )
- temperatura medium tnącego ( $T_w=3-6^\circ\text{C}$ )
- gęstość medium tnącego (woda),
- lepkość medium tnącego (woda).

Prototypowe stanowisko badawcze (współautorstwa doktoranta) wyposażono w stół obróbczy, komputer z oprogramowaniem Mach3 oraz agregat ciśnieniotwórczy As 500/15a firmy Wemaa. Oprogramowanie Mach3, oprócz możliwości zadania dowolnej płaskiej trajektorii ruchu głowicy obróbczej, daje możliwość zmiany prędkości posuwu w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach przesuwu w zakresie  $0 \div 50\text{ mm/s}$ .

Do badań wybrano pstrąga tęczowego jako jeden z gatunków reprezentujących słodkowodne ryby. Autor szczegółowo opisał przygotowanie próbek do badań oraz sposób ich realizacji.

Rozdział czwarty przedstawia wyniki badań wstępnych. Badaniom wstępnym przecięcia wysokociśnieniową strugą wody poddano trzy rodzaje próbek: samą skórę, odkórzoną płac mięśniowy oraz kręgosłup. Próbki dobierano z trzech różnych tuszek z danej grupy wymiarowej. Wyniki badań cięcia wysokociśnieniową strugą wody przedstawiono na ilustracjach (rys.45, 46, 47, 48, 49, 53, 57, 61) i wykresach (rys. 50, 51, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 62, 63, 64). Wyniki badań Autor opisał i poddał ocenie.

W wyniku przeprowadzonych badań w stwierdzono że:

- ciśnienie zasilania potrzebne do przecięcia surowca rybnego rośnie wraz z wielkością ryby,

- podczas wzdłużnego i poprzecznego przecinania próbek, struga wody zawsze przechodzi przez obszar w którym występuje największe ciśnienie zasilania,
- do przecięcia kręgosłupa przy użyciu wytypowanych dysz potrzebne jest ciśnienie zasilania wyższe od 50 MPa.

Postanowiono, że II etap badań zostanie zrealizowany dla:

- próbek preparowanych z ryb przyporządkowanych tylko do największej grupy wymiarowej (tj.  $L_c > 340$  mm),
- trzech powtórzeń (zamiast dwunastu) na każdej próbce (tj. w okolicy głowy, w części środkowej, w obrębie płetwy ogonowej),
- zestawu czterech dysz o większych średnicach otworu formującego strugę wody (tj. 1; 0,95; 0,8; 0,65 mm) podczas przecinania kręgosłupa.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań zasadniczych.

Badania obejmowały próby przecięcia wysokociśnieniową strugą wody trzech rodzajów próbek: samej skóry, odkórnionego płata mięśniowego oraz kręgosłupa. Próby przeprowadzono dla trzech różnych prędkości posuwu dyszy nad obrabianym surowcem:  $v_d = 5, 25, 50$  mm/s. Próby przecinania kręgosłupa podczas badań właściwych przeprowadzono z wykorzystaniem dysz o średnicach otworu formującego strugę  $d_d = 1; 0,95; 0,8; 0,65$  mm i prędkości posuwu  $v_d = 50; 25; 5; 2,5; 1$  mm/s.

Wyniki badań cięcia wysokociśnieniową strugą wody przedstawiono na ilustracjach (rys.65, 66, 69, 73, ), wykresie zależności ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia płata mięśniowego, od średnicy otworu formującego strugę  $d_d$ , dla poszczególnych prędkości posuwu  $v_d$  (rys. 67), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia płata mięśniowego, w zależności od prędkości posuwu  $v_d$ , dla poszczególnych średnic otworu formującego strugę  $d_d$  (rys.68), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia płata mięśniowego w dowolnym miejscu, w zależności od prędkości posuwu dyszy  $v_d$  i średnicy otworu formującego strugę wody  $d_d$  (rys.70), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia skóry, w zależności od średnicy otworu formującego strugę  $d_d$ , dla poszczególnych prędkości posuwu  $v_d$  (rys.71), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia skóry, w zależności od prędkości posuwu  $v_d$ , dla poszczególnych średnic otworu formującego strugę  $d_d$  (rys.72), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia skóry w dowolnym miejscu, w zależności od prędkości posuwu dyszy  $v_d$  i średnicy otworu formującego strugę wody  $d_d$  (rys.74), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia kręgosłupa, w zależności od średnicy otworu formującego strugę  $d_d$ , dla

poszczególnych prędkości posuwu  $v_d$  (rys.75), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia kręgosłupa, w zależności od prędkości posuwu  $v_d$ , dla poszczególnych średnic otworu formującego strugę  $d_d$  (rys.76), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia kręgosłupa w dowolnym miejscu, w zależności od prędkości posuwu dyszy  $v_d$  i średnicy otworu formującego strugę wody  $d_d$  (rys.77). Wyniki badań Autor opisał i poddał ocenie.

W dalszej części pracy Autor aproksymował wyniki badań nadając im formę zależności matematycznych, a następnie przedstawił wyżej wymienione zależności na wykresach (rys.106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117).

Autor, na podstawie przeprowadzonych badań właściwych oraz obliczeń w oparciu o przybliżone modele matematyczne stwierdził że:

- zastosowanie wysokociśnieniowej strugi wody o odpowiednich parametrach pozwala na cięcie poszczególnych elementów pstrąga tęczowego bez ich istotnego uszkodzenia,
- zwiększenie prędkości posuwu i zmniejszenie średnicy otworu formującego strugę wody skutkuje wygładzeniem krawędzi cięcia oraz zmniejszeniem szerokości szczeliny cięcia, co ma znaczenie w przypadku obróbki ryb,
- zastosowanie przybliżonych modeli matematycznych pozwala na wstępne określenie parametrów obróbki ryb strugą wody,
- wykorzystanie przybliżonych modeli matematycznych w dalszych badaniach nad przecinaniem surowca rybnego przy pomocy strugi wodnej pozwoli na zmniejszenie ilości pomiarów i masy użytego surowca bez zmniejszania zakresu badawczego.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań uzupełniających.

W badaniach uzupełniających, przeprowadzono próby przecięcia płata mięśniowego ze skórą i patroszonej całej ryby. Celem tego było ustalenie, w jakim stopniu zmienia się wartość ciśnienia zasilania niezbędnego do przecięcia próbek w postaci mięśnia ze skórą oraz patroszonej tuszki w odniesieniu do wartości tego parametru wyznaczonego podczas badań właściwych.

Próby cięcia przeprowadzono w sposób analogiczny do metodyki przyjętej podczas badań właściwych.

Wyniki badań cięcia wysokociśnieniową strugą wody przedstawiono na ilustracjach (rys.118, 119, 120), wykresie zależności ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia płata mięśniowego ze skórą i skóry, w zależności od średnicy otworu formującego strugę  $d_d$ , dla poszczególnych prędkości posuwu  $v_d$  (rys.121), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia płata mięśniowego ze skórą i skóry, w zależności od prędkości posuwu  $v_d$ , dla poszczególnych

średnic otworu formującego strugę  $d_d$  (rys.122), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia całej ryby, w zależności od średnicy otworu formującego strugę  $d_d$ , dla poszczególnych prędkości posuwu  $v_d$  (rys.123), ciśnienia zasilania  $p_z$ , potrzebnego do przecięcia całej ryby, w zależności od prędkości posuwu  $v_d$ , dla poszczególnych średnic otworu formującego strugę  $d_d$  (rys.124). Wyniki badań Autor opisał i poddał ocenie.

W badaniach uzupełniających przeprowadzono próby zastosowania technologii hydrostrumieniowej do podstawowych procesów obróbczych wykonywanych w przetwórstwie rybnym (odgławiania, płatowania, oczyszczania całej ryby z łuski, oczyszczania skóry z tkanki mięśniowej i tłuszczowej).

Wyniki badań poparto ilustracjami (rys. 125, 126, 127, 128, 129, 130).

Badania uzupełniające wykazały że:

- obróbka hydrostrumieniowa o odpowiednich parametrach może być zastosowana w przetwórstwie rybnym do: oczyszczania ryb z łuski, oczyszczania struktury kostno-szkieletowej i skóry z pozostałości tkanki mięśniowej i tłuszczowej, odgławiania i porcjowania całych ryb, wycinania płatów, porcjowania płatów i filetów,
- do przecięcia patroszonego pstrąga tęczowego potrzebne jest wyższe ciśnienie zasilania o ok. 8% od ciśnienia umożliwiającego cięcie kręgosłupa,
- do przecięcia płata mięśniowego ze skórą potrzebne jest wyższe ciśnienie zasilania o ok. 5% od ciśnienia pozwalającego na przecięcie skóry.

Rozdział siódmy to wnioski końcowe a rozdział ósmy stanowi podsumowanie.

Rozprawę kończą streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz literatury, spis rysunków, spis tabel.

### **3. Ocena pracy doktorskiej**

Na wyróżnienie zasługują następujące elementy pracy:

- podjęcie badań nad nowatorską metodą obróbki ryb słodkowodnych z zastosowaniem cięcia wysokociśnieniową strugą wodną,
- zbudowanie i oprzyrządowanie prototypowego stanowiska badawczego,
- wnikliwa analiza literaturowa,
- podział badań na wstępne, zasadnicze i uzupełniające,

- przejrzyste przedstawienie wyników badań wraz z ich dokumentacją w postaci ilustracji zdjęciowej , wykresów graficznych popartych analizą.

Krytyczne uwagi dotyczą :

- wg.SI jednostką ciśnienia jest Pa,
- uważam, że w badaniach można by było wprowadzić więcej zmiennych niezależnych i zrealizować je wg. wybranego planu eksperymentu,
- ilustracje np.14,15,16,17,18, są w pełni zrozumiałe tylko dla lekarza,
- rys. 21, oś Y, kW?,
- uważam, że rozprawę kończą wnioski lub podsumowanie
- zakłócenia , str.31, ocena błędu?
- co oznacza przybliżony model matematyczny?

**Analizując zarówno osiągnięcia Autora jak i pewne niedociągnięcia w pracy doktorskiej rozprawę oceniam pozytywnie.**

#### **4. Podsumowanie**

Mając na uwadze złożony charakter problemów dotyczących zagadnień procesowych uznaję , że praca doktorska mgr inż. Macieja Kasperowicza wnosi oryginalny wkład naukowy, szczególnie istotny dla praktyki przemysłowej w zakresie nowych technik i technologii przetwórstwa ryb.

Mgr inż. Maciej Kasperowicz wykazał się dużą wiedzą zarówno naukową jak i techniczną w obszarze dyscypliny inżynieria rolnicza. Współautorska konstrukcja stanowiska badawczego świadczy o dużej wiedzy technicznej .

Mgr inż. Maciej Kasperowicz wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

**Stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Macieja Kasperowicza do publicznej obrony.**

