

Maciej KASPEROWICZ, Grzegorz CHOMKAPOLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD TEORII MECHANIZMÓW I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin**Pomiar sił i wyznaczanie ciśnień występujących podczas przekłuwania mięśnia i skóry ryb****Mgr inż. Maciej KASPEROWICZ**

Jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Od 2011 roku zatrudniony jako asystent w Zakładzie Teorii Mechanizmów i Podstaw Konstrukcji. Przedmiotem jego zainteresowań jest wytwarzanie i stosowanie wysokociśnieniowej strugi wodnej do obróbki różnych materiałów spożywczych.



e-mail: maciej.kasperowicz@tu.koszalin.pl

Dr inż. Grzegorz CHOMKA

Jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Od 2013 roku zatrudniony jako starszy wykładowca w Zakładzie Teorii Mechanizmów i Podstaw Konstrukcji Maszyn. Przedmiotem jego zainteresowań jest wytwarzanie i stosowanie wysokociśnieniowej strugi wodno-łodowej do obróbki różnych materiałów.



e-mail: grzegorz.chomka@tu.koszalin.pl

Streszczenie

Niniejszy artykuł przybliża zagadnienia związane z procesami cięcia i przekłuwania surowca rybnego. Celem badań było wyznaczenie zakresu naprężeń niezbędnych do przebiccia skóry i mięśni słodkowodnych ryb wrzeczionowatych. Naprężenia niezbędne do przekłucia skóry oraz mięśni ryb wyznaczono matematycznie na podstawie pomierzonych sił występujących podczas przekłuwania surowca oraz parametrów użytych igieł. Do pomiaru sił wykorzystano urządzenie do analizy tekstury materiałów spożywczych texture TMS – Pro. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem igieł o różnym stopniu zaostrenia, a materiałem badanym było mięso pstrąga tęczowego. Na podstawie analizy wyników stwierdzono, iż ciśnienie niezbędne do przebiccia skóry igłą o średnicy ostrza 1,0 mm równało się 131 bar, a ciśnienie potrzebne do przebiccia mięśnia taką samą igłą wynosiło 11 bar.

Słowa kluczowe: przekłuwanie, cięcie, reologia, naprężenia, ciśnienie, cięcie strugą wody.

Measurement and calculation of pressure occurring during piercing muscle and skin of fish**Abstract**

This paper introduces issues related to the process of cutting and piercing raw fish. The aim of the study was to determine the pressure range needed to pierce the skin and muscle spindle freshwater fish. The first part demonstrates how measure forces occurring during the piercing raw fish. For measuring was used device for texture analysis of food materials TMS – Pro. Tests were performed using needles of varying exacerbation, the tested material was meat of rainbow trout. The next part of this article explains how to determine the stresses occurring at the edge of the blade and the processed material. Stress necessary to pierce the skin and muscle of fish were determined mathematically from the measured forces and parameters used needles. The last part of the article includes the analysis and verification of test results. The verification of the results was carried out using a pressure generator and a concentric nozzle. Based on the analysis and the verification of the results, it was found that the pressure required to pierce skin with diameter needle tip 1,0 mm was 131 bar, and the pressure required to pierce muscle with the same needle was 11 bar.

Keywords: piercing, cutting, rheology, stress, pressure, water jet cutting.

1. Istota i znaczenie cięcia

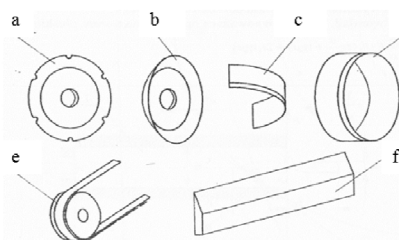
Jednym z ważniejszych procesów technologicznych obróbki ryb jest rozbiór tuszki, który przeprowadzany jest za pomocą cięcia nazywanego również krojeniem.

Cięcie jest jedną z operacji procesu rozdrabniania polegającą na rozdzielaniu wiązań atomowych w płaszczyźnie cięcia wzdłuż określonej linii bez wpływu na stan fizyczny materiału [Pijanowski i in. 1984, Dowgiałło 2002].

Istnieje wiele różnych metod cięcia różniących się między sobą: ilością zużytej energii, szybkością cięcia, ilością ubytków surowcowych, wpływem cieplnym na obrabiany materiał [Stabnikow 1978, Dowgiałło 2012]. W przemyśle przetwórstwa rybnego udoskonalanie metod cięcia zarówno poprzez nowatorskie rozwiązania jak i przeniesienie technologii z innych gałęzi przemysłu ma na celu minimalizację kosztów procesu, negatywnego oddziaływania narzędzi obróbczych na przetwarzany surowiec oraz maksymalizację wydajności surowcowej i przepustowości maszyn, urządzeń.

W przemyśle przetwórstwa rybnego operacje cięcia przeprowadzane są w celu: odgławiania, patroszenia, filetowania, płatowania, odszkrabania, porcjowania.

Operacje te wykonywane są najczęściej za pomocą różnego typu noży. Rodzaje noży stosowane w przemyśle przetwórstwa rybnego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Podstawowe rodzaje noży stosowane w obróbce ryb: a – tarczowy, b – talerzowy, c – kształtowy, d – cylindryczny, e – taśmowy, f – płaski

Fig. 1. Basic types of the knives applied in fish processing: a – disc knife, b – plate knife, c – shape knife, d – cylindrical knife, e – tape knife, f – flat knife

W związku z rosnącym popytem na ryby słodkowodne pojawia się potrzeba konstruowania małowagarytowych uniwersalnych urządzeń i maszyn do obróbki ryb. Maszyn, które jednocześnie spełniałyby wyżej wymienione cele, oraz znajdowałyby się w zasięgu finansowym małych przedsiębiorstw zajmujących się hodowlą i dystrybucją ryb słodkowodnych. Aby sprostać wysokim wymaganiom producentów artykułów rybnych niezbędne jest poszukiwanie alternatywnych metod cięcia materiałów spożywczych.

Jedną z takich metod jest zastosowanie wysokociśnieniowej strugi wodnej jako narzędzia obróbczego. Tego typu technologia wykorzystywana jest do procesów obróbczych w przemyśle metalurgicznym [Foldyna i in. 2009], kamiennym, budowlanym [Sitek i in. 2013], tworzyw sztucznych [Stoic i in. 2013], a ostatnio nawet w medycynie przy zabiegach chirurgicznych [Oertel i in. 2003, Tschan i in. 2009, Hubert i in. 1996, Magritz i in. 2001, Izumi i in. 1993]. W celu przeniesienia tej metody cięcia do przemysłu przetwórstwa rybnego należałoby przeprowadzić szereg badań definiujących wartości ciśnienia medium tnącego niezbędnych do przebiccia skóry, mięśni, tkanki łącznej oraz kości ryb, a także zjawiska zachodzące w surowcu podczas jego obróbki za pomocą wysokociśnieniowej strugi wodnej.

2. Cel i zakres przeprowadzonych badań

Jednym ze sposobów prowadzenia obróbki materiałów spożywczych za pomocą wysokociśnieniowej strugi wodnej, może być zapoczątkowanie cięcia nieruchomą głowicą tnącą, a następnie wprowadzenie dodatkowego parametru jakim jest posuw narzędzia obróbczego nad surowcem. Dlatego też pierwszy etap obróbki materiałów spożywczych tą technologią może przypominać przebijanie surowca strugą wodną. Z tego względu w prowadzonych badaniach wykorzystano model rzeczywisty, w którym wysokociśnieniową strugę wody zasymulowano za pomocą igły o różnym stopniu zaostrenia.

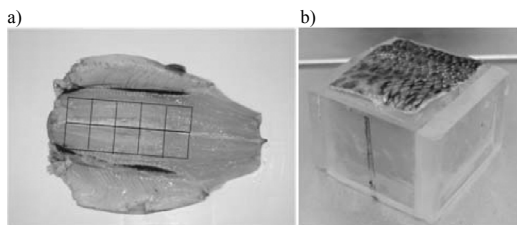
Celem badań było wyznaczenie teoretycznego zakresu ciśnień medium tnącego niezbędnych do przebicia skóry oraz mięśni słodkowodnych ryb wrzecionowatych. Przeprowadzone badania były wstępem do badań podstawowych związanych z wykorzystaniem wysokociśnieniowej strugi cieczy do cięcia materiałów rybnych, oraz miały na celu dobór parametrów pompy i elementów wchodzących w skład stanowiska badawczego.

Teoretyczny zakres ciśnień niezbędnych do przebicia surowca wyznaczono poprzez matematyczne obliczenie naprężeń występujących podczas przekłuwania skóry oraz mięśni ryb, na podstawie pomierzonych sił oraz parametrów użytych igieł.

3. Materiały i metody badań

Badania przeprowadzono na świeżych pstrągach tęczowych. Przyczyną skupienia się podczas badań wyłącznie na tym gatunku jest fakt, iż jest to najczęściej hodowana i kupowana przez konsumentów ryba słodkowodna.

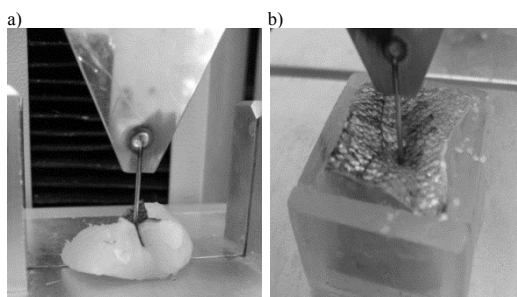
Na potrzeby badań próbki wycinano z mięśni znajdujących się w części grzbietowej tuszki, gdzie mięsień posiada największą grubość i sztywność. Próbki wycinano w postaci sześciątów o wymiarach 25x25x10 mm wraz ze skórą (rys. 2a), a następnie umieszczano w specjalnym pojemniku w celu unieruchomienia (rys. 2b).



Rys. 2. Przygotowanie próbki do badań: a) wyznaczenie na tuszce, b) umieszczenie w pojemniku

Fig. 2. Preparation of the test sample: a) appointment of a fish carcass, b) inserted into a container

Przed badaniem próbki umieszczano w pojemniczku unieruchamiającym w celu zminimalizowania deformacji jakim ulegały podczas badań. Sposób zachowania się próbek przedstawiono na rys. 3a i b.

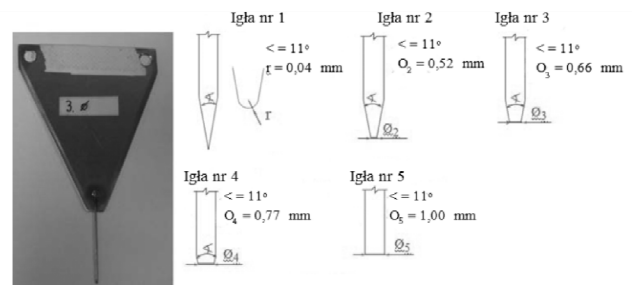


Rys. 3. Zachowanie się próbek podczas badań: a) bez użycia pojemniczka, b) przy użyciu pojemniczka

Fig. 3. Sample behavior during the tests: a) without cartridge, b) with cartridge

Badania przeprowadzono na urządzeniu do analiz tekstury surowców spożywczych TMS – Pro, wyprodukowanym przez firmę Food Technology Corporation, wyposażonym w zestaw wymiennych ogniwi pomiarowych oraz przystawek roboczych w postaci igieł o różnym stopniu zaostrenia rys. 4. Teksturometr obsługiwano za pomocą oprogramowania Texture Lab Pro, które umożliwiała rejestrację i obróbkę otrzymanych danych.

Wyznaczenie parametrów igieł użytych do badań, wykonano za pomocą urządzenia Werth Video Check obsługiwane przy użyciu programu komputerowego WinWerth.



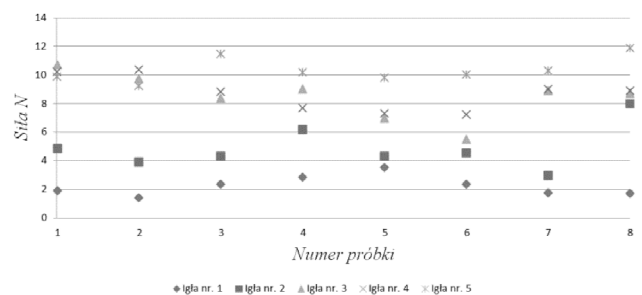
Rys. 4. Zestaw igieł użyty do badań

Fig. 4. Needles used for the test

Pomiary sił przeprowadzono w temperaturze pokojowej tj. 22°C, dla różnego sposobu ułożenia próbek (tj. próbki ułożone skórą do góry oraz skórą do dołu). Prędkość przesuwu głowicy tnąco-nakłuwającej była stała i wynosiła 200 mm/min. Podczas pomiaru mierzono siły występujące przy przekłuwaniu surowca oraz pracę jaką wykonywała głowica nakłuwająca podczas przebiegu. Wyniki rejestrowano w postaci liczbowej oraz graficznej.

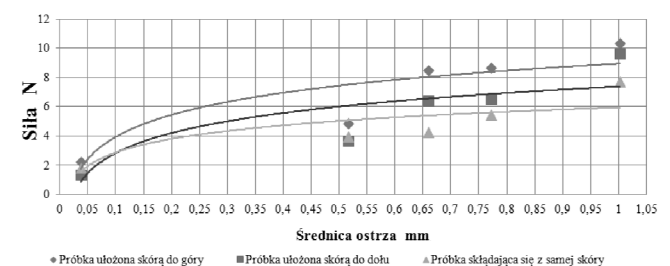
4. Wyniki

Wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych badań zestawiono w formie graficznej. Na rys. 5 przedstawiono zmianę sił występujących podczas przekłuwania próbek związaną ze zmianą stopnia zaostrenia igieł użytych do badań. Na rys. 6 przedstawiono zmianę sił występujących podczas przekłuwania próbek w zależności od sposobu ich ułożenia.



Rys. 5. Wykres sił występujących podczas przekłuwania próbek w zależności od stopnia zaostrenia igieł

Fig. 5. Graph of the sample breakdown forces depending on the needle tip diameter

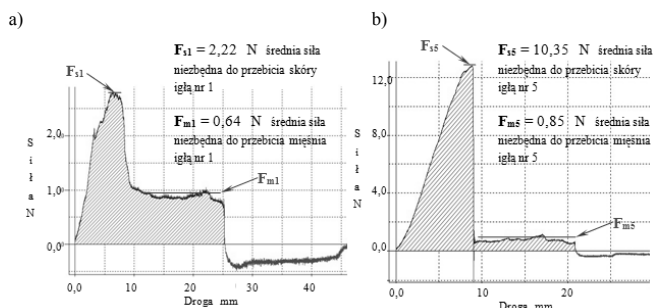


Rys. 6. Wykres sił występujących podczas przekłuwania próbek w zależności od sposobu ich ułożenia

Fig. 6. Graph of the sample breakdown forces depending on the arrangement of them

5. Obliczenia i analiza

Przeprowadzając obliczenia skupiono się na wartościach sił występujących podczas przekłuwania próbek ułożonych skórą do góry. Decyzja ta uwarunkowana była nieco wyższymi wartościami sił występującymi podczas przekłuwania próbek ułożonych skórą do góry niż w przypadku próbek ułożonych skórą do dołu. Obliczeń dokonano dla średnich wartości sił. Przykładowe wykresy sił uzyskane podczas jednego przebiegu głowicy pomiarowej, wygenerowane przez program Texture Lab-Pro, przedstawiono na przykładowym rys. 7a i b. Wykresy zmodyfikowano, dodając wyliczone średnie wartości sił.



Rys. 7. Przykładowe wykresy sił występujących podczas przekłuwania próbki:

a) igłą nr 1, b) igłą nr 5

Fig. 7. Example plots of forces occurring during sample piercing with:

a) needle No. 1, b) needle No. 5

Obliczenia wartości ciśnień występujących podczas przebijania próbki igłą numer 1 rozpisano dla jednej wartości długości ramienia stożka. Wyniki obliczeń dla pozostałych długości ramienia stożka zestawiono w tabeli nr 1.

Obliczenie pola powierzchni ostrza igły nr 1 przeprowadzono za pomocą wzoru (1):

$$S = S_b + S_s \quad (1)$$

gdzie:

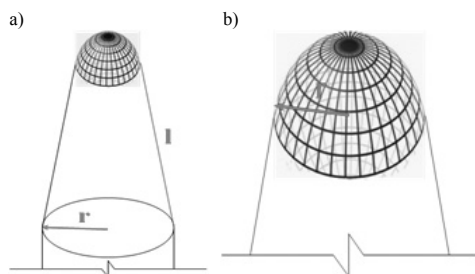
S_b – pole powierzchni bocznej stożka, m^2
 S_s – pole powierzchni $\frac{1}{2}$ sfery, m^2

Pole powierzchni bocznej stożka obliczono ze wzoru (2):

$$S_b = \pi * r * l \quad (2)$$

gdzie:

r – promień podstawy stożka, m,
 l – długość ramienia stożka, m (rys. 8a).



Rys. 8. Schemat ostrza igły nr 1

Fig. 8. The needle No 1 point diagram

Po podstawieniu danych do wzoru (2) otrzymuje się:

$$S_b = 3,14 * (5,011 * 10^{-4}) * 0,003 = 4,72 * 10^{-6} m^2$$

Pole powierzchni $\frac{1}{2}$ sfery obliczone ze wzoru (3):

$$S_s = 2 * \pi * r^2 \quad (3)$$

gdzie:

r – promień sfery ostrza igły, m (rys. 8b).

Po podstawieniu danych do wzoru (3) otrzymuje się:

$$S_s = 2 * 3,14 * (3,73 * 10^{-5})^2 = 8,737472 * 10^{-9} m^2$$

Po podstawieniu wyników do wzoru (1) otrzymuje się:

$$S = S_b + S_s = (4,72 * 10^{-6}) + (8,737472 * 10^{-9}) = 4,729 * 10^{-6} m^2$$

Ciśnienie występujące podczas przebicia skóry igłą nr 1 wyznaczono przy pomocy wzoru (4):

$$P_s = F_s / S \quad (4)$$

gdzie:

P_s – ciśnienie przebicia skóry,
 F_s – siła występująca podczas przebicia skóry, N,
 S – pole powierzchni styku ostrza z materiałem, m^2 .

Po podstawieniu danych do wzoru (4) otrzymuje się:

$$P_s = 2,224 / (4,729 * 10^{-6}) = 470 \text{ kPa} = 4,70 \text{ bar}$$

Ciśnienie występujące podczas przebicia mięśni igłą nr 1 wyznaczono przy pomocy wzoru (5):

$$P_m = F_m / S \quad (5)$$

gdzie:

P_m – ciśnienie przebicia mięśnia,
 F_m – siła występująca podczas przebicia mięśnia, N,
 S – pole powierzchni styku ostrza z materiałem, m^2 .

Po uzupełnieniu wzoru (5) danymi otrzymuje się:

$$P_m = 0,64 / (4,729 * 10^{-6}) = 135 \text{ kPa} = 1,35 \text{ bar}$$

Obliczenia wartości ciśnień występujących podczas przebijania próbek przeprowadzono dla wszystkich rodzajów zastosowanych igieł. Dalszy etapy badań oraz analiz oparto na wynikach obliczeń dla igły nr 5, której krawędź tnąca miała postać podstawy walca. Przyczyną zastosowania tego typu uproszczenia był fakt, iż dla tej igły wyniki obliczeń były najbardziej stabilne. Związane było to z niewystarczającą wiedzą na temat wielkości pola powierzchni styku ostrza z próbką podczas jej przekłuwania, oraz rozkładem sił działających na tej powierzchni.

Obliczenia wartości ciśnień występujących podczas przebijania próbki igłą nr 5 przeprowadzono, przyjmując iż pole powierzchni, na którym działa siła, jest kołem. Zatem pole powierzchni ostrza igły nr 5 wynosiło $7,88 \cdot 10^{-7} m^2$, a obliczona wartość ciśnienia P_m potrzebna do przebicia skóry i mięśnia była równa 131 barów. Dla przebicia samego mięśnia wyznaczona wartość ciśnienia P_m była niższa i wynosiła 11 barów.

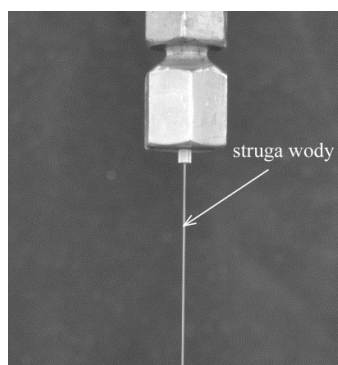
Tab. 1. Wyznaczone wartości ciśnień występujących podczas przekłuwania skóry i mięśnia

Tab. 1. Calculation of the pressure acting at the puncture of the skin and muscle

Zmienne	Pole powierzchni, m ²	Ciśnienie podczas przebicia skóry	Ciśnienie podczas przebicia mięśnia
Pole powierzchni ½ sfery	$S_s = 8,737 \cdot 10^{-9}$	$P_s = 254549 \text{ kPa} = 2545 \text{ bar}$	$P_s = 73251 \text{ kPa} = 732,51 \text{ bar}$
Pole powierzchni ½ sfery + pole powierzchni bocznej stożka dla $l = 1 \text{ mm}$	$S = 1,582 \cdot 10^{-6}$	$P_s = 1406 \text{ kPa} = 14,06 \text{ bar}$	$P_s = 404 \text{ kPa} = 4,04 \text{ bar}$
Pole powierzchni ½ sfery + pole powierzchni bocznej stożka dla $l = 2 \text{ mm}$	$S = 3,155 \cdot 10^{-6}$	$P_s = 705 \text{ kPa} = 7,05 \text{ bar}$	$P_s = 203 \text{ kPa} = 2,03 \text{ bar}$
Pole powierzchni ½ sfery + pole powierzchni bocznej stożka dla $l = 3 \text{ mm}$	$S = 4,729 \cdot 10^{-6}$	$P_s = 470 \text{ kPa} = 4,70 \text{ bar}$	$P_s = 135 \text{ kPa} = 1,35 \text{ bar}$

6. Badania eksperymentalne przy zastosowaniu strugi wodnej

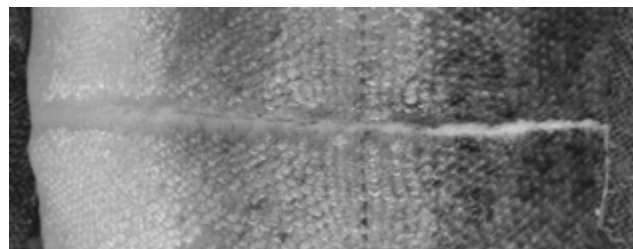
Wstępne wyniki badań przy użyciu igieł umożliwiły zbudowanie stanowiska prototypowego, w którego skład wchodzi wysoki ciśnieniowa pompa wody As500/15a, generująca ciśnienie maksymalne 500 barów przy wydatku na poziomie 15 l/min, wyposażona w pistolet zakończony dyszą z otworem o średnicy nominalnej 1 mm (rys. 9). Regulację ciśnienia prowadzono w zakresie 0-100 barów z dokładnością do 1 bara oraz w zakresie 0-500 barów z dokładnością do 5 barów. Badania prowadzono na świeżym pstrągu tęczowym, który po odłowieniu był segregowany na grupy wymiarowe. Podziału na grupy dokonywano na podstawie pomiarów masy i długości z odchyleniem wyników $\pm 5\%$ wartości. Badania przeprowadzono na trzech grupach wymiarowych, z których każda liczyła po siedem sztuk.



Rys. 9. Struga wypływająca z dyszy o średnicy 1 mm wykorzystana do badań eksperymentalnych

Fig. 9. Water-jet flowing out of the nozzle with a diameter of 1 mm used to verify the results of the calculations

Badania związane z przekłuwaniem skóry przeprowadzono dwuetapowo, dla dwóch wartości ciśnień. Pierwszy etap zrealizowano ustawiając ciśnienie zasilania na poziomie 100 barów. Wykonano serię pomiarów statycznych, pozostawiając głowicę tnącą nieruchomą, oraz dynamicznych, w których głowicę tnącą przesuwano nad surowcem z prędkością 300 mm/min (rys. 10).



Rys. 10. Efekt zastosowania strugi o ciśnieniu zasilania 100 bar do przecięcia skóry z posuwem 300 mm/min

Fig. 10. Result of using a stream with supply pressure 100 bar in skin cutting with moving nozzle 300 mm/min

Przeprowadzone badania pokazały, że struga wody wypływająca z dyszy o średnicy 1 mm przy ciśnieniu zasilania 100 barów przebija skórę wraz z mięśniem na całej grubości surowca. Po wprowadzeniu posuwu dyszy okazało się, że struga wody o ciśnieniu 100 barów i średnicy otworu wodnego 1 mm nie była w stanie przeciąć próbki na całej jej grubości. Przy zastosowaniu prędkości posuwu dyszy na poziomie 300 mm/min możliwa była jedynie perforacja skóry, podczas której struga uległa rozproszeniu do tego stopnia, iż nie miała wystarczającej energii aby zdegradować znajdujący się pod skórą mięsień, rys. 10.

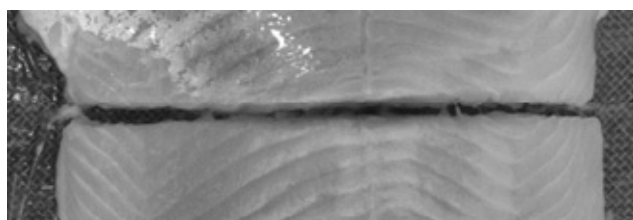
Drugi etap badań związanych z przekłuwaniem skóry przeprowadzono wyłącznie w sposób dynamiczny. W tym etapie rezygnacja z części statycznej związana była z efektywnym przekłuwaniem skóry strugą o ciśnieniu zasilania 100 barów. Badanie przeprowadzono dla ciśnienia zasilającego 130 barów, średnicy otworu wodnego 1 mm oraz prędkości posuwu dyszy 300 mm/min. Efekty przeprowadzonych badań przedstawiono na rys. 11. Wyniki eksperymentu pokazują, iż zastosowanie strugi wodnej do obróbki surowca rybnego umożliwia przecięcie zarówno skóry jak i mięśnia na całej grubości.



Rys. 11. Efekt zastosowania strugi wypływającej z dyszy o średnicy 1 mm, ciśnieniu zasilania 130 barów oraz prędkości posuwu dyszy 300 mm/min

Fig. 11. Result of using a stream flowing out of the nozzle with diameter 1 mm, supply pressure 130 bar, and moving of nozzle with 300 mm/min

Wykorzystanie strugi wodnej do badań związanych z przekłuwaniem mięśnia przeprowadzono bazując na tej samej metodyce. Pierwszy etap zrealizowano ustawiając ciśnienie zasilania na poziomie 12 barów. Wykonano serię pomiarów statycznych, pozostawiając głowicę tnącą nieruchomą, oraz dynamicznych, w których głowicę tnącą przesuwano nad surowcem z prędkością 300 mm/min. Efekty badań dynamicznych przedstawiono na rys. 12.

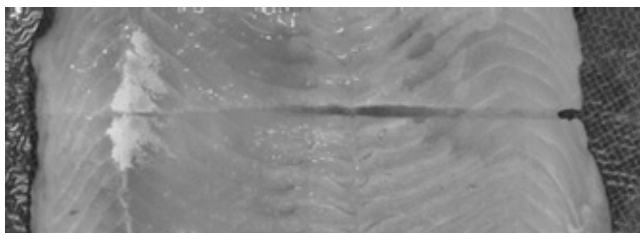


Rys. 12. Efekt zastosowania strugi wypływającej z dyszy o średnicy 1 mm, ciśnieniu zasilania 12 barów oraz prędkości posuwu dyszy 300 mm/min do przecięcia mięśnia

Fig. 12. Result of using a stream flowing out of the nozzle with diameter 1 mm, supply pressure 12 bar and moving of nozzle with 300 mm/min for muscle cutting

Przeprowadzone badania wykazały, iż struga wodna generowana w dyszy o średnicy 1 mm i ciśnieniu zasilania 12 barów umożliwia degradację mięśnia na całej grubości surowca, zarówno przy przebijaniu (z nieruchomą głowicą) jak i przecinaniu (z głowicą przesuwaną się nad surowcem z prędkością 300 mm/min).

Kolejny etap badań związanych z przekłuwaniem mięśnia przeprowadzono ustawiając ciśnienie zasilania na poziomie 5 barów. Wykonano serię pomiarów statycznych, pozostawiając głowicę tnącą nieruchomą oraz dynamicznych, w których głowica tnąca przesuwała się nad surowcem z prędkością 300 mm/min. Efekt badań dynamicznych przedstawiono na rys. 13.



Rys. 13. Efekt zastosowania strugi wypływającej z dyszy o średnicy 1 mm, ciśnieniu zasilania 5 bar oraz prędkości posuwu dyszy 300 mm/min do przecięcia mięśnia

Fig. 13. Result of using a stream flowing out of the nozzle with diameter 1 mm, supply pressure 5 bar and moving of nozzle with 300 mm/min for muscle cutting

Przeprowadzony ostatni etap badań pozwolił zaobserwować, że struga wody wypływająca z dyszy o średnicy 1 mm i ciśnieniu zasilania 5 barów jest w stanie przebić mięsień na całej grubości surowca przy nieruchomej dyszy. Przy zastosowaniu natomiast strugi wody o takich samych parametrach i posuwie 300 mm/min, degradacji ulegnie wyłącznie wierzchnia (1...2 mm) warstwa mięśnia, rys. 13.

7. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wykorzystujące model igłowy, symulujący strugę wody miały na celu wyznaczenie teoretycznego zakresu ciśnień, przy których możliwe jest przekłucie i przecięcie skóry oraz mięśnia pstrąga tęczowego. Wyliczony zakres ciśnień był wstępem do badań laboratoryjnych i umożliwił dobór zakresu parametrów pompy wykorzystanej do budowy stanowiska badawczego do obróbki ryb za pomocą wysokociśnieniowej strugi cieczy.

Skonstruowane stanowisko badawcze posłużyło do przeprowadzenia eksperymentów przy użyciu ciśnieniowej strugi wody, jako potencjalnego narzędzia obróbczego w przetwórstwie rybnym. Sprawdzenie wstępnych badań potwierdziło słuszność podjętej inicjatywy zastąpienia strumienia wody za pomocą modelu igłowego. W rzeczywistości struga wody nie jest tak jednorodna jak igła. Związane jest to między innymi z faktem iż w rzeczywistych warunkach struga medium tnącego na całej swojej długości ulega rozpraszaniu [Chomka 2006, Mohaup i in.1978, Jackson i in. 1984]. W przeprowadzonych badaniach, dokładne odwzorowanie modelowe rzeczywistych warunków nie było istotne ze względu na charakter badań. Miały one wyłącznie pomóc w doborze parametrów elementów instalacji budowanego stanowiska badawczego do obróbki materiałów spożywczych za pomocą ciśnieniowej strugi cieczy.

Badania eksperymentalne wykazały, że skóra zostaje przebita przez strugę wypływającą z dyszy o średnicy 1 mm przy ciśnieniu zasilania 100 barów, a całkowite przecięcie próbki składającej się ze skóry i mięśnia przeprowadzono przy użyciu dyszy o takiej samej średnicy i ciśnieniu zasilania 130 barów. Teoretycznie wyliczone wartości naprężeń na podstawie igieł dla tego etapu to 131 barów.

W przypadku badań związanych z przekłuwaniem i przecinaniem mięśnia, perforację próbki uzyskano stosując dyszę o średnicy 1 mm i ciśnieniu zasilania 5 barów, jednak struga cieczy o takich parametrach poruszająca się z prędkością 300 mm/min nie była w stanie całkowicie przeciąć próbki. Pełne przecięcie próbki składającej się z samego mięśnia uzyskano przy zastosowaniu strugi o tej samej średnicy i posuwie, przy podwyższonym ciśnieniu zasilania do 12 barów, natomiast wartość obliczonego ciśnienia występującego podczas przekłuwania mięśnia za pomocą igły nr 5 o płaskiej powierzchni ostrza, wynosiła 11 barów.

8. Literatura

- [1] Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A.: Ogólna technologia żywności. WNT, Warszawa, 1984.
- [2] Stabnikow W. N., Popow W.D.: Procesy i aparaty w przemyśle spożywczym. WNT, Warszawa, 1978.
- [3] Dowgiałło A.: Siły cięcia w obróbce ryb. MIR, Gdynia, 2002.
- [4] Dowgiałło A.: Mechaniczna obróbka karpia. MIR, Gdynia, 2012.
- [5] Taylor J. J., Hoyt J. W.: Water Jet Photography - Techniques and Methods, San Diego. Calif., 1983.
- [6] Foldyna J., Sitek L., Scucka J., Martinec P., Valicek J., Palenikova K.: Effects of pulsating water jet impact on aluminium surface, Journal of Materials Processing Technology 209, 2009.
- [7] Sitek L., Bodnarova L., Valek J., Zelenak M., Klich J., Foldyna J., Novotny M.: Effects of water jet on heat-affected concretes, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques; Procedia Engineering 57, 2013.
- [8] Stoić A., Duspara M., Kosec B., Stoić M., Samardžić I.: Application of water jet for cutting polymer materials, Metalurgija 52, 2013.
- [9] Oertel J., Gaab M. R., Piek J.: Waterjet resection of brain metastases - first clinical results with 10 patients, European Journal of Surgical Oncology, 2003.
- [10] Tschan C., Gaab M., Krauss J., Oertel J.: Waterjet dissection of the vestibulocochlear nerve: an experimental study, Journal Neurosurgeon, 2009.
- [11] Hubert J., Mourey E., Suty J. M., Coissard A., Floquet J., Mangin P.: Water-jet dissection in renal surgery: experimental study of a new device in the pig, Springer-Verlag, 1996.
- [12] Magritz R., Jurk V., Reusche E., Siegert R.: Water-jet dissection in parotid surgery: an experimental study in dogs, Laryngoscope 111, 2001.
- [13] Izumi R., Yabushita K., Shimizu K., Yagi M., Yamaguchi A., Konishi K., Nagakawa T., Miyazaki I.: Hepatic resection using a water jet dissector, Surgery Today, Springer-Verlag, 1993.
- [14] Chomka G., Podstawy stosowania wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej do usuwania powłok lakierniczych. Rozprawa Doktorska, Koszalin, 2006.
- [15] Mohaup U. H., Burns D. J., Yie G. G., Mellors W. Design and Dynamic response of a pulse-jet pavement breaker. 4th International Symposium of Jet Cutting Technology. Canterbury, U. K., 1978.
- [16] Jackson M. K., Davies T. W. Optimization of nozzle flow/head requirements for China Clay Mining. 7th International Symposium of Jet Cutting Technology. Ottawa, Canada, 1984.

otrzymano / received: 21.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 02.09.2014

artykuł recenzowany / revised paper