

Prof. dr inż. Daniel DUTKIEWICZ
Dr hab. inż. Tadeusz BIL, prof. nzw.
Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska

ANALIZA POMIARU PARAMETRÓW STEROWANIA MASZYNOWĄ OBRÓBKĄ RYB DLA PROJEKTOWANIA ROZWIĄZAŃ MECHATRONICZNYCH®

Celem pracy zaprezentowanej w artykule jest przedstawienie analizy sposobu pomiaru parametrów ryb, wykorzystywanych do sterowania maszyn do obróbki ryb, na przykładzie operacji odgławiania. Celem analizy jest określenie przydatności pomiarów pośrednich i bezpośrednich w operacjach obróbki w zależności od osiągniętej wydajności technologicznej. Uzasadniono konieczność prowadzenia prac nad mechatronicznymi systemami pomiaru parametrów, jako podstawy sterowania maszyn dla podniesienia ich wydajności i uniwersalizacji pod względem gatunków obrabianych ryb.

CEL ANALIZY POMIARÓW POŚREDNICH I BEZPOŚREDNICH

Obróbkę ryb przy pomocy maszyn, której celem jest oddzielenie części jadalnych od niejadalnych, wciąż cechuje niższa wydajność technologiczna niż przy obróbce ręcznej. Wielkość uzyskiwanej w maszynach wydajności (iloraz masy uzyskanego produktu do masy zużytego surowca) decyduje o celowości stosowania maszyn w przedsiębiorstwie.

Ryby charakteryzuje zróżnicowanie pod względem wielkości i gatunku. Znajduje to wyraz w cechach morfologicznych i morfometrycznych budowy ich ciała oraz struktury szkieletu kostnego. Trudności w projektowaniu maszyn do obróbki ryb, o wysokiej wydajności technologicznej dorównującej uzyskiwanej przy pracy ręcznej, wynikają ze zróżnicowania wielkości obrabianych ryb i niemożności stosowania w maszynach bezpośredniego pomiaru parametrów obrabianych ryb. O wydajności uzyskiwanej w maszynie decyduje dokładność określania parametrów obróbki, a więc wyznaczanie punktów, linii i płaszczyzn cięcia przez system sterowania położenia ryby w stosunku do narzędzi obróbki (noży). Niedokładność określania tych parametrów przy pomocy pomiaru pośredniego, powoduje zmniejszenie wydajności niekiedy nawet o kilka procent w stosunku do poziomu uzyskiwanego w obróbce ręcznej.

Podczas obróbki ręcznej linie cięcia są ustalane wzrokowo. Dla uzyskania najwyższej wydajności, przykładowo w operacji odgławiania ryby, linie te przechodzą tuż przy końcu pokrywy skrzelowej. W maszynie określenie miejsca położenia tej linii pomiarem bezpośrednim, nie jest dotychczas stosowane.

W istniejących maszynach wyznaczanie miejsca linii cięcia na ciele ryby realizowane jest metodą pomiaru pośredniego – mierzony jest nie poszukiwany parametr a inny związany z nim znaną zależnością korelacyjną. Zależność ta wynika z podobieństwa budowy ciała i szkieletu kostnego ryb w ramach tego samego gatunku. W zakresie parametrów obróbki uzyskanych przy pomocy pomiaru bezpośredniego (rzeczywistego) i uzyskanych pomiarem pośrednim, występują różnice, nazywane odchyłkami [2]. Występowanie odchyłek powoduje straty nawet kilkuprocentowe obrabianego surowca i wpływa na obniżanie wydajności uzyskiwanej przy obróbce maszyno-

wej w stosunku do pracy ręcznej. Analiza odpowiedniej ilości pomiarów bezpośrednich parametrów morfometrycznych ryb, przedstawionych dalej na schemacie, umożliwia określenie wielkości tych odchyłek oraz identyfikację rodzaju rozkładu odchyłek, jak i obliczenie powstałych z tego powodu strat surowca, które to obniżają wydajność.

Analizy tego problemu nie były dotychczas publikowane. Ich wyniki przyczyniają się do ukierunkowania dróg rozwoju sterowanych maszyn do obróbki ryb, stosowanych w przetwórstwie od lat dwudziestych ubiegłego wieku, w odniesieniu do uzyskiwanej wydajności i ich uniwersalizacji pod względem gatunków obrabianych ryb.

Wyniki prac poświęconych omawianym zagadnieniom, szczególnie prowadzonych w ośrodkach rozwojowych znanych w świecie producentów maszyn bądź przez nich finansowanych, nie są publikowane z wiadomych względów.

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku mechatroniką nazwano nową dziedzinę wiedzy i działalności inżynierskiej, w której skład wchodzi: mechanika, elektronika i informatyka, uzupełnione optyką, fotoniką i nowymi technologiami produkcji. Efekt synergii stwarza możliwości realizacji przez maszyny i automaty nowych funkcji, które mieszczą się w pojęciu inteligencja, rozumiana jako możliwość komunikowania się z otoczeniem i rozwoju systemów regulacji i sterowania. Dla uzyskania takich efektów w projektowaniu urządzeń mechatronicznych łączone są ze sobą: napęd, zestaw sensorów, zbierających informacje o obrabianym surowcu i najczęściej mikroprocesorowy układ sterowania.

Rozwój mechatroniki stworzył możliwości uzyskania znaczących postępów również w doskonaleniu systemów sterowania maszyn do obróbki ryb dzięki różnorodnym, bezdotykowym czujnikom identyfikującym różne cechy fizyczne obrabianego surowca, w tym umożliwiające pomiar bezpośredni parametrów obróbki ryb.

Dzięki transferowi, w okresie ostatnich kilkunastu lat, nowoczesne rozwiązania mechatroniczne dotarły również do wielu sektorów przemysłu spożywczego. Nieliczne przykłady, w których stosowane są już zdalne czujniki (sensory) pomiaru pośredniego wielkości parametrów lub identyfikacji cech plastycznych obrabianego surowca, znajdują już zastosowanie w zmechanizowaniu i zautomatyzowaniu operacji obróbki ryb, do niedawna wykonywanych ręcznie a także takich, które

dotychczas w skali przemysłowej nie mogły być zrealizowane nawet ręcznie (trzymywanie filetów z wykorzystaniem wizji, wykrywanie i usuwanie ości z filetów, porcjowanie filetów wg ustalonych standardów wagowych i inne).

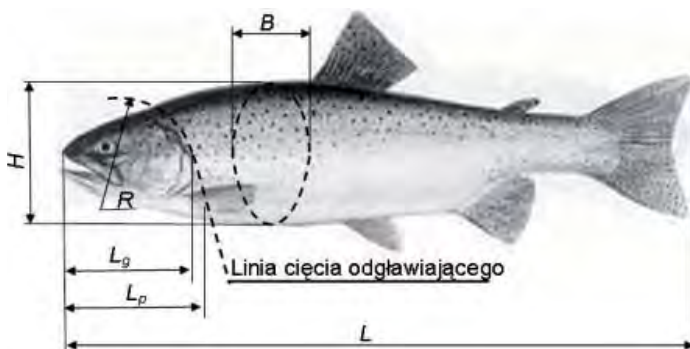
Ich stosowanie stwarza możliwości zwiększenia wydajności technologicznej w stosunku do obecnie uzyskiwanej w maszynach sterowanych mechanicznymi systemami z pomiarem pośrednim parametrów obróbki [2] przez zwiększenie dokładności wyznaczania parametrów obróbki i realizację nowej funkcji, jaką jest ich uniwersalność pod względem gatunków obrabianych ryb. Uzyskać to można dzięki czujnikom elektronicznym (w tym wagowe), fotoelektrycznym, akustycznym i innym w systemach sterowania opartych na wykorzystaniu dotychczas niestosowanego pomiaru bezpośredniego w ramach określonego gatunku oraz stworzeniu możliwości dokonywania zmian oprogramowania przy zmianie gatunku obrabianych ryb.

Szerokie możliwości wykorzystania rozwiązań mechatronicznych wytyczają nowe kierunki poszukiwań dróg zmniejszenia wielkości różnic dokładności wyznaczania parametrów obróbki maszynowej w zależności od stosowanych metod pośredniego i bezpośredniego określania położenia linii cięcia oraz zwiększenia wydajności.

Możliwym do zrealizowania wydaje się również postulat nadania maszynom cechy większej uniwersalności pod względem gatunków obrabianych ryb.

METODY I SCHEMAT POMIARU PARAMETRÓW OBRÓBKİ RYB

Badania właściwości morfometrycznych ryb, które są wykorzystywane do programowania mechanicznych systemów sterowania w istniejących rozwiązaniach konstrukcyjnych maszyn do obróbki wykazały, że powiązania długości głowy z wymiarami określającymi ich długość całkowitą, masę a także wysokość i grubość w określonym, ustalonym miejscu ryby, grubość kręgosłupa w ustalonym miejscu i innych parametrów określających linie cięcia, charakteryzują się prostymi zależnościami z różnymi odchyłkami od linii regresji. Wielkości odchyłek, od tych zależności, oraz częstotliwość ich pojawiania się wynika z indywidualnego zróżnicowania cech (zmienności osobniczej) w ramach danego gatunku. Kryterium wyboru jednego z przedstawionych mierzalnych parametrów, charakteryzujących wielkość obrabianej ryby, stanowić będzie o uzyskaniu najwyższej wydajności obróbki.



Rys. 1. Schemat określenia linii oszczędnego cięcia odgławiającego i pomiaru parametrów pstrąga tęczowego.

Powyższe odnosi się do wyznaczania parametru obróbki metodą pośrednią [3], dotychczas jedyną możliwą do stosowania w mechanicznych systemach pomiaru parametrów i sterowania obróbką maszynową. Stosowanie sensorów w rozwiązaniach mechatronicznych umożliwia wyznaczanie parametru obróbki także metodą bezpośrednią a przy tym bezdotykową. Pod pojęciem metody bezpośredniej rozumiemy pomiar bazujący bezpośrednio na mierzonym elemencie. Jest to w istocie również pomiar pośredni, ale niewykorzystujący zależności funkcyjnych między wielkością docelową a inną, która jest mierzona. Przykładem może być np. pomiar długości głowy ryby L_g (rys. 1). Długość głowy jest określaną najczęściej w taki sposób:

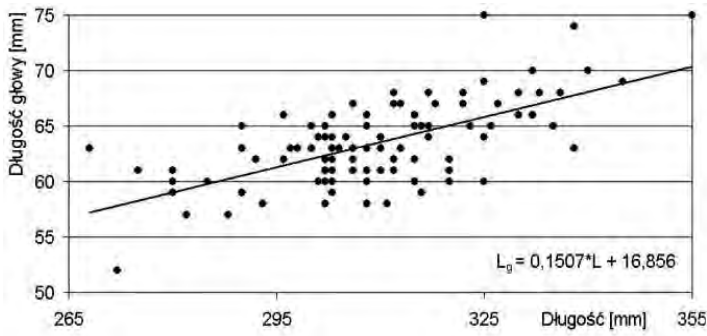
$$L_g = a_x X + b_x \quad (1)$$

gdzie X może być zastąpione przez długość całkowitą ryby L , jej wysokość H , grubość B , odległość do nasady płetwy piersiowej L_p , czy masę ryby M . Współczynniki a są w każdym przypadku wyznaczane na podstawie badań empirycznych poszczególnych parametrów z uwzględnieniem gatunku ryby, terminu połowu a często również miejsca połowu.

Wybór metody pomiaru oraz dobór odpowiedniego rodzaju czujnika i sposobu transformacji uzyskiwanego sygnału opierać należy na wynikach analizy matematycznej, porównującej wielkość odchyłek parametrów uzyskanych metodą pomiaru pośredniego w zależności od rzeczywistej linii cięcia, parametru obróbki, wyznaczonego metodą bezpośrednią przy uwzględnieniu złożoności aspektów projektowych i skutków ekonomicznych.

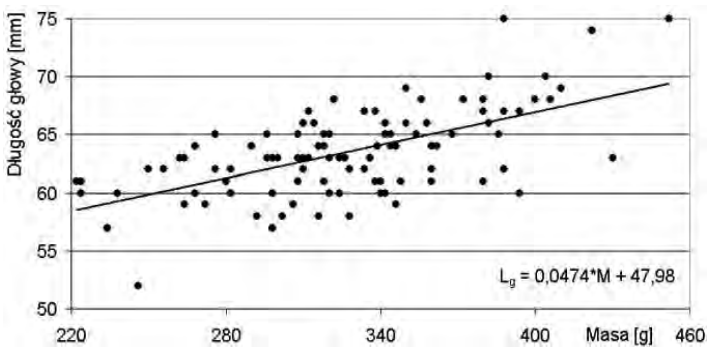
ANALIZA DOKŁADNOŚCI WYZNACZENIA PARAMETRÓW OBRÓBKİ PRZY POMOCY METODY POŚREDNIEJ I BEZPOŚREDNIEJ, JAKO PODSTAWY WYBORU CZUJNIKÓW SYSTEMÓW STEROWANIA OBRÓBKĄ RYB

W celu określenia możliwych odchyłek długości głowy, wykonanych pomiarem pośrednim, wykonano pomiary 100 kolejnych egzemplarzy ryb pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*). Mierzono długość całkowitą ryby, długość jej głowy do końca pokrywy skrzelowej i masę całkowitą ryby. Na podstawie analizy tych pomiarów stwierdzono, że długość głowy w zależności od długości całkowitej charakteryzuje się największym współczynnikiem korelacji liniowej. Na rysunkach przedstawiono wyniki zależności długości głowy od długości całkowitej ryby (rys. 2.) i od masy (rys. 3.), której współczynnik korelacji jest porównywalnie wysoki [4]. Zależności od wysokości i grubości nie są przedstawione, gdyż charakteryzują się znacznie niższym współczynnikiem korelacji.



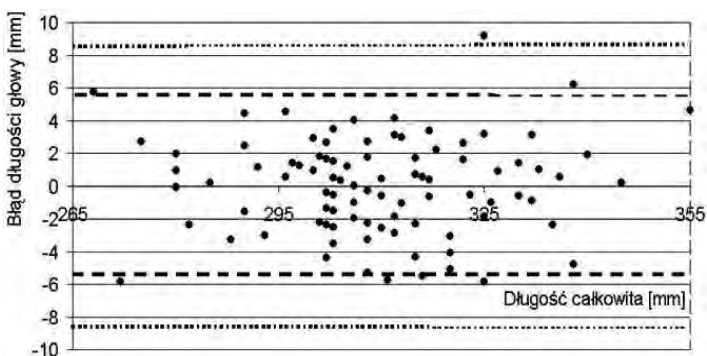
Rys. 2. Wyniki pomiarów długości głowy w zależności od długości całkowitej pstrąga tęczowego i linia regresji.

Na rysunkach przedstawiono wyniki pomiarów i prostą określającą trend liniowy między przedstawionymi wartościami. Podane są również liniowe zależności długości głowy (L_g) od długości całkowitej ryby (L) lub od masy (M).



Rys. 3. Wyniki pomiarów długości głowy w zależności od masy pstrąga tęczowego i linia regresji.

Rozrzut wyników w stosunku do linii trendu dla zależności długości głowy od długości całkowitej przedstawiony został na rysunku 4. Na rysunku tym liniami kropkowanymi przedstawiono granice wartości $\pm 8,59$ mm przy założeniu poziomu istotności 0,27% (granice $\pm 3s$, s – odchylenie standardowe). Liniami przerywanymi przedstawiono granice wartości $\pm 5,62$ mm przy założeniu poziomu istotności 5% ($\pm 1,96s$). W pierwszym przypadku tylko jeden punkt znalazł się poza granicami a w drugim przypadku takich wartości jest 8. Obliczenia testowe zgodności rozkładu błędów z rozkładem normalnym nie pozwalają odrzucić hipotezy o rozkładzie normalnym.

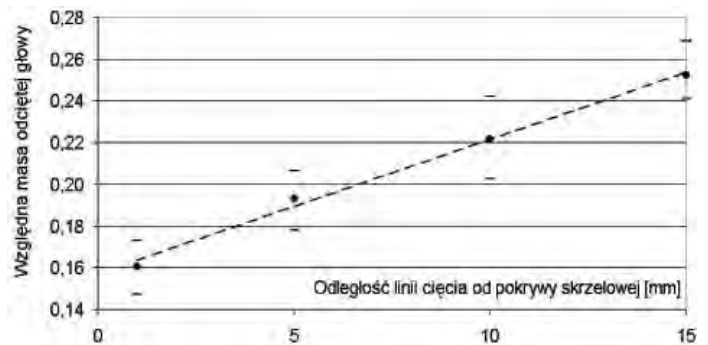


Rys. 4. Odchylenia średniej długości głowy, jako różnica wielkości zmierzonej i obliczonej na podstawie trendu liniowego w zależności od długości całkowitej ryby.

W celu oceny ilościowej straty surowca wynikającej z odchylek lokalizacji linii cięcia odgławiającego przeprowadzono pomiary masy ryby przed operacją odgławiania i masy odciętej głowy. Odgławianie przeprowadzono wg linii cięcia przedstawionej na rysunku 1. Dla każdego przesunięcia linii cięcia względem pokrywy skrzelowej wykonano 5 pomiarów, których wyniki przedstawione są na rysunku 5. Na wykresie zaznaczone są wartości: maksymalna, średnia i minimalna. Na podstawie wartości średnich poprowadzono prostą regresji. Z analizy otrzymanej zależności wynikają następujące ustalenia:

- średnia masa poprawnie odciętej głowy może stanowić ok. 15, 7% masy ryby przed odgławianiem;
- na każdy milimetr błędu określenia linii cięcia strata wynosi średnio 0, 65% masy surowca (w wyniku przesunięcia linii cięcia).

Oszacowany błąd określenia długości głowy, na podstawie przedstawionych na rysunkach 2 i 3 zależności, jest dość duży, niezależnie od wysokiej korelacji między wymiarami. Jeżeli przyjąć poziom istotności 5%, to linię cięcia należałoby przesunąć w stosunku do linii trendu o 5,62 mm (górna linia przerywana na rysunku 4), czyli 95% ryb zostałoby odgłowionych ze stratą surowca. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów (rys. 5.) stwierdzono, że takie odgławianie spowodowałoby stratę w wysokości ok. $4,2 \pm 0,2\%$ masy ryb w stosunku do cięcia po linii końca pokrywy skrzelowej, co często nie może być zaakceptowane przez użytkowników maszyn. Przy takim cięciu 5% ryb należałoby poprawiać ręcznie, ze względu na przecięcie pokrywy skrzelowej i łuku barkowego ryby. Dla zmniejszenia liczby ryb poprawianych ręcznie, przy założeniu np. poziomu istotności 0,27%, straty surowca byłyby jeszcze większe (przesunięcie średnio o 8,59 mm, górna linia kropkowana na rysunku 4) i osiągnęłyby wartość rzędu $6,1 \pm 0,2\%$ masy ryb.



Rys. 5. Wyniki pomiarów względnej masy głów w zależności od odległości linii cięcia od pokrywy skrzelowej pstrąga tęczowego i prosta regresji.

Na podstawie przedstawionych na rysunkach 2 i 3 wyników pomiarów wykonano analizę jednoczesnego wpływu na określenie długości głowy dwóch parametrów mierzonych, czyli długości ryby i jej masy wg następującej zależności:

$$L_g = aL + bM + c \quad (2)$$

Próba wykorzystania podanej zależności dokładniej określiła długość głowy, w porównaniu z wynikami obliczeń oddzielnie od masy i oddzielnie od długości, ale zwiększenie dokładności jest bardzo małe, przez co brak jest uzasadnienia stosowania takich działań. Odchylenia standardowe odchyłek długości głowy dla zależności od masy wynosiło $s = 3,00$ mm, w zależności od długości $s = 2,86$ mm a od masy i długości jednocześnie $s = 2,82$ mm.

WNIOSKI

Przedstawione wyniki analiz statystycznych wykazują, że zastosowanie w nowych konstrukcjach maszyn do obróbki ryb pomiaru pośredniego parametrów obróbki na podstawie długości ryb (podobnie jak masy), chociaż korzystniejsze od stosowanych dotychczas pomiarów grubości bądź wysokości, nie stwarzają podstaw do uzyskiwania oczekiwanego poziomu wydajności technologicznej obróbki, porównywalnego do wyników obróbki ręcznej. Podwyższenie uzyskiwanej dotychczas, (niezadowalającej) wydajności, nastąpić może po zastosowaniu dokładniejszych niż obecnie stosowane metody pośrednie określania parametrów obróbki.

Uzasadnioną wydaje się propozycja zastosowania pomiaru bezpośrednio przynajmniej jednej z tych wielkości, od których zależy sterowanie maszyną. Rozwój mechatroniki stworzył takie możliwości dzięki różnorodnym, bezdotykowym czujnikom identyfikującym różne cechy fizyczne obrabianego surowca. Uzyskać to można dzięki czujnikom fotoelektrycznym, akustycznym i innym, co powinno wyznaczać niezbędne kierunki badań. Przy operacji odgławiania możliwym już jest odejście od pośredniego pomiaru, które można zastąpić bazowaniem, czyli ustalaniem końca pokrywy skrzelowej w płaszczyźnie pracy noża.

Postulat, nadania maszynom cech szerszej uniwersalności pod względem gatunków obrabianych ryb, będzie mógł być spełniony, kiedy znajdą zastosowanie mechatroniczne systemy pomiaru parametrów obróbki ryb i sterowania maszyn.

LITERATURA

- [1] Dutkiewicz D.: Parametry sterowania obróbką maszynową różnych gatunków ryb o kształcie wrzecionowatym, Prace MIR, Tom jubileuszowy, 1971, s. 489-504.
- [2] Dutkiewicz D., Dowgiałło A.: Wykorzystanie właściwości morfometrycznych ryb słodkowodnych w projektowaniu odgławiarek, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 424, 1995, s. 45-52.
- [3] Kawka T., Dutkiewicz D.: Maszyny do obróbki ryb i kalmarów, Zarys konstrukcji, Wydawnictwa Morskie, Gdańsk 1986.
- [4] Majewski J.: Parametry maszynowego odgławiania oraz zmienność pracy cięcia odgławiającego płoci w cyklu rocznym, Praca doktorska, Akademia Rolnicza, Szczecin, 2005.

ANALYSIS OF PARAMETERS FOR MECHATRONIC STEERING OF FISH PROCESSING MACHINES

SUMMARY

Article provides analysis of fish measurement parameters used for steering of fish processing machines, eg. for de-heading. The task of experiments was to evaluate usefulness of direct or indirect measurements for steering the operations of processing machines and impact of these measurements on the yield. Further need for research on use of mechatronic systems of direct measurement of different parameters for steering fish processing machines for improved yield and use the same machines for different fish species is highlighted.