

Daniel Dutkiewicz\*, Andrzej Dowgiałło\*\*

\*Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych

\*\*Morski Instytut Rybacki w Gdyni

Politechnika Koszalińska

## WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH SUROWCÓW RYBNYCH W ROZWOJU MECHANIZACJI ICH OBRÓBK

### Streszczenie

Ciągły proces poznawania właściwości fizycznych surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz otrzymywanych z nich produktów wzbogaca wiedzę, na której opiera się stały rozwój techniki, dostrzegany w postępach technologii i mechanizacji przetwórstwa spożywczego. Spośród celów osiągniętych dzięki poznaniu właściwości fizycznych ważne miejsce odgrywa ich wykorzystywanie jako źródła inspiracji twórczej w powstawaniu nowych sposobów realizacji operacji i procesów w maszynach i aparatach. Znajduje to odzwierciedlenie w przedstawionych przykładach opartych na poznanych właściwościach fizyko-mechanicznych ryb, kalmarów i kryla antarktycznego, wykorzystanych przez autorów w procesie projektowania nowych rodzajów maszyn do ich obróbki. Podkreślanie znaczenia przedstawianego pola aplikacji badań właściwości surowców i produktów spożywczych z wielu powodów nie znajduje wciąż jeszcze odpowiedniego wyrazu w piśmiennictwie, co nie przyczynia się do wzrostu wynalazczości.

**Słowa kluczowe:** właściwości fizyczne, obróbka, mechanizacja

### Znaczenie badań właściwości fizycznych surowców spożywczych w inspirowaniu wynalazków

W przemyśle spożywczym do przetwarzania surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego na produkty spożywcze, paszowe i techniczne, w skali światowej stosowanych jest kilkanaście tysięcy rodzajów i typów maszyn oraz aparatów. Tak wielka ich liczba wynika z ilości i zróżnicowania surowców oraz produktów pochodzenia biologicznego, co przekłada się na liczbę stosowanych w nim operacji jednostkowych i procesów, realizowanych w maszynach i aparatach, rozwiązania

których często są wynalazkami. W ich powstawaniu ważne znaczenie odgrywa wiedza, w tym pochodząca z badań różnych właściwości, w tym fizycznych, surowców i produktów pochodzenia biologicznego, która publikowana jest nie tylko w pracach o charakterze naukowym. Znajduje ona często swoje odzwierciedlenie również w treści zastrzeżeń patentowych wynalazków, chroniących sposoby realizacji operacji i procesów, a także konstrukcje do ich realizacji. Wynalazek, nieraz niesłusznie traktowany jako synonim pojęcia „odkrycie”, różni się od niego przede wszystkim tym, że jego przedmiotem nie może być coś, co już istnieje czy to w przyrodzie, czy to jako wytwór ludzkiego umysłu i rąk. Polega on bowiem na stworzeniu nowego urządzenia, narzędzia, bądź wymyśleniu oryginalnej technologii wytwarzania czegoś, mogących ponadto mieć zastosowanie w praktyce. Trudniejsze do uzyskania i wyżej cenione są wynalazki chroniące sposoby. Znacznie częściej powstają patenty wynalazcze dotyczące rozwiązań o charakterze konstrukcyjnym. Inną formą ochrony wiedzy znajdującej aplikacje w przemyśle, obejmującej również wyniki badań właściwości fizycznych surowców i produktów, jest coraz częściej „know-how”.

Termin właściwości fizyczne jest powszechnie stosowany, kiedy opisywane są te właściwości, które określone być mogą tylko fizycznymi metodami pomiaru bez niszczenia ich struktury chemicznej i składu materiału. W poszczególnych branżach przemysłu spożywczego powstała o nich bogata i wciąż rozszerzająca się wiedza, która poza zastosowaniami na polu wynalazczości wykorzystywana jest również w pracach naukowo-badawczych i projektowych, w tworzeniu modeli operacji i procesów przetwórstwa, obejmującym obróbkę surowców, utrwalanie (konserwację), kontrolę produkcji, transport i przechowywanie oraz inne. Ta wiedza stanowi ważny czynnik szybkiego wzrostu mechanizacji i automatyzacji we wszystkich branżach przetwórstwa spożywczego. Przyczynia się do tego również występujący od lat, wewnątrz poszczególnych branży nieraz słabo dostrzegany i niedoceniany, transfer osiągnięć technicznych pomiędzy nimi. Transfer techniki rozumianej wąsko jako zbiór maszyn i aparatów, znaczy przeniesienie, przekazanie. W potocznym języku występuje zamiennie z terminem dyfuzja techniki. Przetwórstwo rybne, za wyjątkiem specjalistycznych maszyn i aparatów, które wynikają ze specyfiki surowcowej, korzysta z osiągnięć technicznych powstałych w innych branżach i w sumie jest beneficjentem nakładów na rozwój nauki i techniki w nich ponoszonych.

W miarę jak przetwórstwo surowców rolniczych zamieniało się z ręcznego rzemiosła w coraz bardziej skomplikowany przemysł, stawało się oczywiste, że nie jest możliwe racjonalne projektowanie procesów technologicznych oraz maszyn i aparatów bez gruntownej znajomości właściwości surowca, który poddawany jest przetwarzaniu [Haman 1989]. Mimo stałych postępów na tym polu, wciąż jeszcze

zdarza się, że projektant maszyn i aparatów przemysłu spożywczego znajduje się w sytuacji niemożności wykonania obliczeń według znanych wzorów, gdyż brak mu danych liczbowych często dotyczących właściwości fizycznych. Bez nich powstają trudności w projektowaniu, które zmuszają do prowadzenia często kosztownych badań modeli rzeczywistych bądź prototypów.

Pierwszą kompletną monografią dotyczącą właściwości surowców biologicznych była wydana w Stanach Zjednoczonych Ameryki blisko 30 lat temu książka Nuri Mohsenina, w której zebrano parę tysięcy pozycji literatury prezentującej dorobek w tej dziedzinie [Mohsenin 1980].

W publikacjach przedstawiających syntezy stanu wiedzy w omawianej dziedzinie spotykane jest nieraz charakteryzowanie poszczególnych surowców biologicznych, a także produktów z nich uzyskanych, jako zbioru właściwości (cech) fizycznych (physical, engineering properties) w podziale na następujące grupy właściwości: geometryczne, mechaniczne, cieplne, akustyczne, optyczne, elektryczne, magnetyczne i inne. Wydzielane bywają jeszcze właściwości morfologiczne i morfometryczne, stanowiące między innymi podstawę projektowania wielu rodzajów maszyn do obróbki surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Ważne, chociaż w niedostatecznym stopniu odzwierciedlane w publikacjach, jest ich wykorzystanie jako podstawy tworzenia, najczęściej metodą heurystyczną, sposobów działania nowych maszyn i aparatów oraz w pewnym stopniu struktur (konstrukcji) do ich realizacji. O ich znaczeniu przekonać się możemy analizując opisy patentowe zastrzegające prawo autorskie i pierwszeństwo zgłaszanych sposobów i konstrukcji. Najczęściej istota sposobu zastrzeganego w wynalazku ściśle wiąże się z wykorzystaniem określonej właściwości fizycznej surowca, a często wręcz wynika z jej istoty. W analizie funkcje i struktury nieznanymi maszyn i aparatów bardzo często zasadne jest pytanie, jaka właściwość surowca, przynajmniej jedna a nieraz więcej, została wykorzystana w wynalezieniu sposobu realizowanego w maszynie lub aparacie. Odpowiedź na nie bywa niekiedy niełatwa, ale ma zasadnicze znaczenie dla zrozumienia istoty i zasady działania wynalazku.

Dla zobrazowania drogi tworzenia sposobu można, przyjmując pewne uproszczenie, przedstawić taką oto sekwencję: właściwość fizyczna generuje sposób, w jaki realizowana jest określona funkcja, a ta z kolei znajduje wyraz w strukturze (konstrukcji). W praktyce, z którą spotykamy się najczęściej, funkcja maszyny lub automatu jest zadana, a sposób jej realizacji powstaje w twórczym procesie myślowym kojarzenia elementów znajdujących się w dwóch zbiorach: znanych właściwości surowców i znanych, możliwych do zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych pochodzących z różnych dziedzin wiedzy bądź branż przetwórstwa spożywczego.

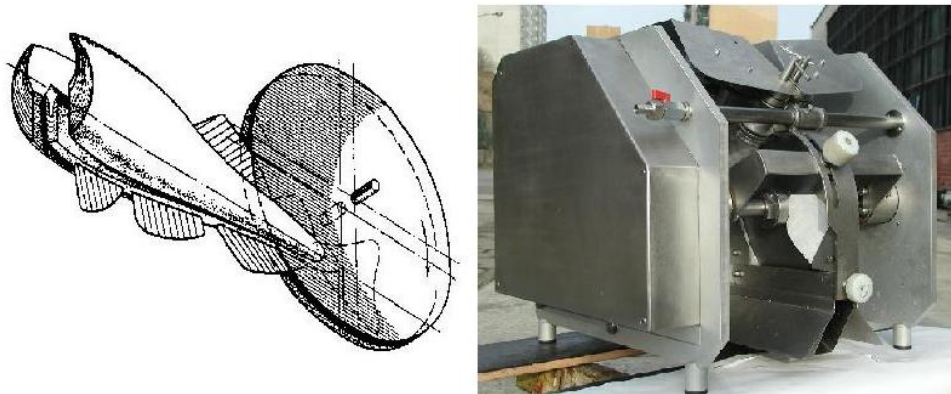
Wynalazki sposobów powstają również według innego scenariusza. Przykładem może być wynalezienie sposobu otwierania ostryg, jakiego dokonano przy okazji badań nad stosowaniem ciśnień rzędu 500 MPa w celu zabicia bakterii na żywych ostrygach. Pod działaniem tak wysokich ciśnień nieoczekiwanie okazało się, że muszle się otwierają i z łatwością można wyjmować z nich ostrygi. Tak powstał nieznan wcześniej sposób otwierania muszli ostryg.

Badania właściwości surowców i produktów spożywczych są zaliczane do studiów poznawczych. W momencie ich podejmowania zazwyczaj nie są ukierunkowane na uzyskanie wcześniej określonego celu związanego z potrzebami przemysłu. Tym nie mniej przedstawione dalej maszyny do obróbki ryb i bezkręgowców, powstałe przy udziale autorów w Morskim Instytucie Rybackim w Gdyni, są przykładami rozwiązania określonych potrzeb przemysłu, w których wykorzystano ukierunkowane badania właściwości fizycznych, umożliwiające stworzenie nowych sposobów działania tych maszyn.

### **Przykłady wykorzystania właściwości fizycznych ryb i bezkręgowców w tworzeniu sposobów pracy maszyn do obróbki**

Do obróbki ryb i bezkręgowców, polegającej na oddzieleniu części jadalnych od niejadalnych lub mało cennych, stosowanych jest wiele rodzajów maszyn i automatów. Odgrywają one ważną rolę, gdyż ręcznie wykonywane operacje obróbki są wysoce pracochłonne i ze względu na nietrwałość surowców muszą być zrealizowane w krótkim czasie. Spośród kilkudziesięciu właściwości ryb cechy morfologiczne i morfometryczne, symetria wzdłużna w ich budowie, podobieństwo geometryczne kształtu i wymiarów, różnice współczynników tarcia z łuską i pod łuskę, są najczęściej wykorzystywane w tworzeniu różnych sposobów pracy maszyn [Dutkiewicz 1971; Dutkiewicz, Dowgiałło 1995]. Wymieniona symetria wzdłużna budowy ryb jest przykładowo wykorzystywana w maszynach do filetowania, w których wycinanie kości wykonują zawsze pary noży. Parę obrotowych noży tarczowych zastosowano w budowanych w kraju kilku typach maszyn do płatowania wielu gatunków ryb uprzednio odgłowionych i patroszonych (rys. 1). Wykorzystano przy tym siły tarcia powstałe podczas cięcia do transportu ryb w maszynie.

Podobieństwo geometryczne kształtu i wymiarów w ramach tego samego gatunku może być wyrażone ilorazami wymiarów ryby, na przykład grubości maksymalnej, wysokości, długości głowy, odległości do otworu analnego do długości ryby lub jej masy, które charakteryzują się wartościami stałymi z odchyłkami, wynikającymi z indywidualnych cech surowca.



Rys. 1. Maszyna z rolkami prowadzącymi do płatowania tuszek ryb różnych gatunków  
Fig. 1. Machine with guide rolls for slicing carcasses of various species of fish

Pomiar jednego parametru, przyjmowanego jako zmienna niezależna równania regresji, umożliwia wyznaczenie, z dokładnością wystarczającą dla uzyskania odpowiedniej wydajności technologicznej obróbki, parametrów określających położenie linii, a tym samym i płaszczyzn cięcia ryb w maszynie. Zostało to zrealizowane w sposobie maszynowego odgławiania ryb różnych gatunków o wrzecionowatym kształcie ciała oraz w maszynie do produkcji tuszek (ryb odgłowionych i wypatroszonych), w której składowe operacje odbywają się jednocześnie, co nie było dotychczas stosowane. W odgławiarce położenie linii odcięcia głowy każdorazowo wyznaczane było metodą pośrednią w zależności od mierzonej metodą bezstykową długości ryby, wykonywaną czujnikiem fotoelektrycznym, którego stany przekazywano do mikroprocesorów.

W materiałach FAO w Rzymie i czasopismach fachowych produkowane w kraju odgławiarce (rys. 2) jak i maszyny do produkcji tuszek, uznawane były za rozwiązania pionierskie.

Ta sama właściwość została wykorzystana w stworzeniu sposobu maszynowego sortowania wielkościowego ryb żywych i śniętych (różnych gatunków w tym karpia i pstrąga) typu rolkowo-szczelinowego, w których na podstawie pomiaru parametru grubości maksymalnej ryby była pośrednio określana jej długość i masa (rys. 3).

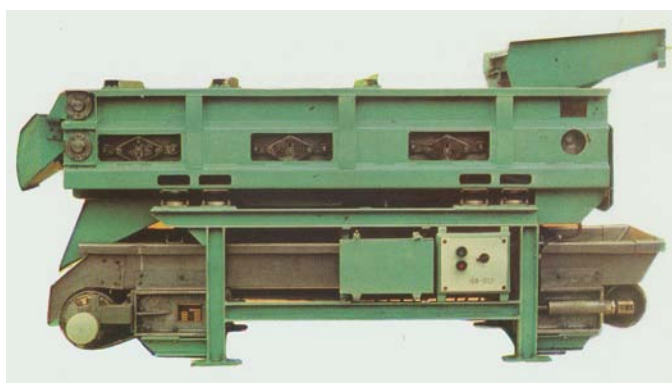


Rys. 2. Sterowana elektronicznie odgławiarka ryb różnych gatunków  
Fig. 2. Electronically controlled beheader for various species of fish



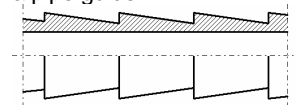
Rys. 3. Maszyna typu rolkowo-szczelinowego z bezpośrednim pomiarem grubości do sortowania wielkościowego żywych pstrągów i karp  
Fig. 3. Roller and aperture machine with direct thickness measurement for sorting alive trout and carp according to their size

W sortownicach szczelinowych dla szprotów i śledzi (rys. 4) zostały dodatkowo wykorzystane różne wartości współczynników tarcia w zależności od ruchu ryby głową lub ogonem do przodu, czyli zgodnego lub nie z osadzeniem łuski (z łuską czy pod łuskę). Osadzenie łuski na skórze ryb, podobne do ułożenia dachówek, stanowiło podstawę sposobu transportu ryb w wykonujących ruch postępowo-zwrotny prowadnicach rurkowych, tworzących rozszerzającą się w kierunku ruchu ryby szczelinę mierzącą grubość ryby. Prowadnice rurkowe mają kształt przyległych do siebie stożków ściętych, umożliwiających przesuw ryb tylko w kierunku zgodnym z ułożeniem łuski. Dzięki temu te szeroko stosowane na kutrach rybackich maszyny pracowały poprawnie nawet podczas przechyłów spowodowanych falowaniem morza.



Ukształtowanie powierzchni prowadnicy rurkowej

Form of the surface of a pipe guide



Rys. 4. Sortownica śledzi i szprotów, przystosowana do pracy na kutrach

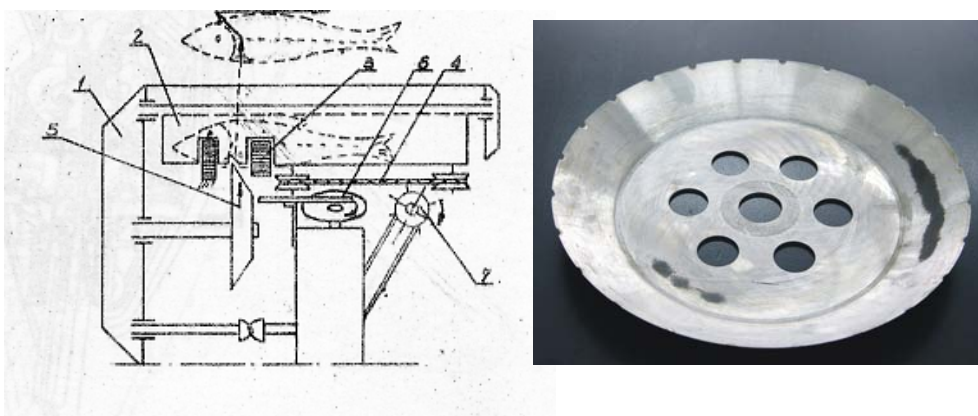
Fig. 4. Herring and sprat sorting machine that can be operated on fishing boats

Różnica we współczynnikach tarcia podczas ruchu ryb głową i ogonem do przodu została wykorzystana także w sposobach orientacji przestrzennej położenia ryb, zastosowanych maszynach do tworzenia strumieni ryb skierowanych głową do przodu i grzbietem do góry, połączonych z innymi maszynami do obróbki,

Istotna, bo ponad 20-krotna różnica pomiędzy jednostkowymi siłami cięcia tkanki mięsnej i kostnej jest wykorzystywana w kilku rodzajach maszyn. Szerokie stosowanie, początkowo w obróbce ryb, a następnie w przetwórstwie drobiarskim i mięsnym (doskonały przykład transferu techniki), znalazły separatory mięsno-kostne, w których tkanka mięsna jest przepychana przez otwory o średnicach od 1,2mm do 6mm w ściankach cylindra, najczęściej obrotowego. Otwory te stanowią rodzaj ostrzy nożowych, przez które nie przechodzą i są usuwane na zewnątrz kości, ości, łuski i nawet skóra. W Polsce pierwsze separatory dla ryb i kalmarów oraz (inny typ) kryła antarktycznego, skonstruowano i zbudowano w Instytucie Maszyn Spożywczych w Warszawie przy współpracy z MIR w Gdyni.



Wymieniona właściwość stała się również podstawą wynalezienia sposobu odgławiania oszczędnym cięciem, wykonywanym nowym rodzajem nożem kształtowym, stosowanym w maszynach produkowanych w kraju (rys. 5). Cięcie odgławiające wykonywane jest w nich przy pomocy obrotowego noża w kształcie stożka ściętego. Nóż ten, po przecięciu części brzusznej, dopiero w trakcie przecinania ośrodka twardego, jaki stanowi kość kręgosłupa, zmienia kierunek ruchu odgławianej ryby wzdłuż tworzącej części stożkowej noża. Wycinane jest przez to i pozostawiane przy tuszce mięso z górnej części przygłowej, a pas barkowy pozostaje przy głowie, co jest wymagane w maszynowym filetowaniu i odskórzaniu.



Rys. 5. Maszyna do produkcji tuszek z nowym rodzajem cięcia odgławiającego – kształtowego i nóż kształtowy

Fig. 5. Machine for production of carcasses with a new type of beheading cut: form cut and form tool knife

Wykorzystanie różnic twardości tkanek kostnej i mięśniowej umożliwiło podwyższenie wydajności technologicznej operacji maszynowego płatowania (filetowania z pozostawieniem kości żebrowych). Para obrotowych noży tarczowych została symetrycznie osadzona na wale, mającym nacięty lewy i prawy gwint. Zwiększenie oporów cięcia po napotkaniu tkanki kostnej kręgosłupa przez krawędzie tnące noży powoduje zmianę momentu i ich symetryczne rozsuniecie się poza jego obwód.

Ości znajdują się w wszystkich gatunkach należących do rodziny karpowatych, które stanowią blisko 2/3 światowej produkcji ryb pochodzących z wód śródlądowych.



Wpływają one niekorzystnie na ich atrakcyjność rynkową i stanowią zagrożenie dla zdrowia konsumentów (możliwość udławienia się). Badania rozmieszczenia ości i ich różnych właściwości fizycznych oraz możliwości ich usunięcia, doprowadziły do wniosku, że skoro nie można ich wyrwać, gdyż się urywają, to korzystne byłoby ich poprzecinanie na drobne, 4 mm odcinki [Dutkiewicz, Dowgiałło 2004]. W warunkach przemysłowych ręczne wykonanie kilkudziesięciu nacięć z obydwu stron ryby nie wchodzi w rachubę. Zbudowano prototyp maszyny nowego rodzaju - przecinarki ości w tuszkach (rys. 6), a inspiracją sposobu działania był układ ości w rybach karpiovatych.



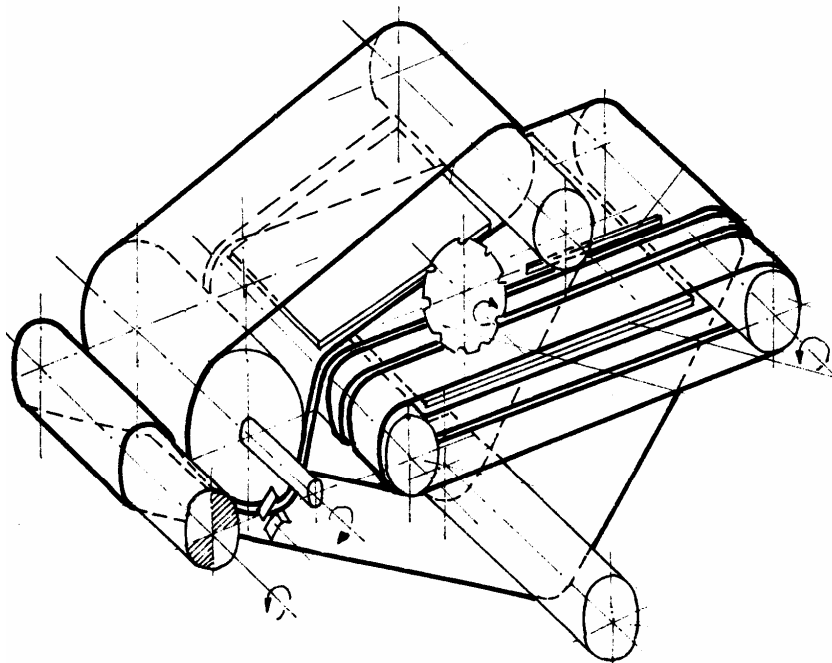
Rys. 6. Prototyp przecinarki ości w tuszkach ryb karpiovatych

Fig. 6. Prototype of fishbone cutter for carcasses of fish from carp family

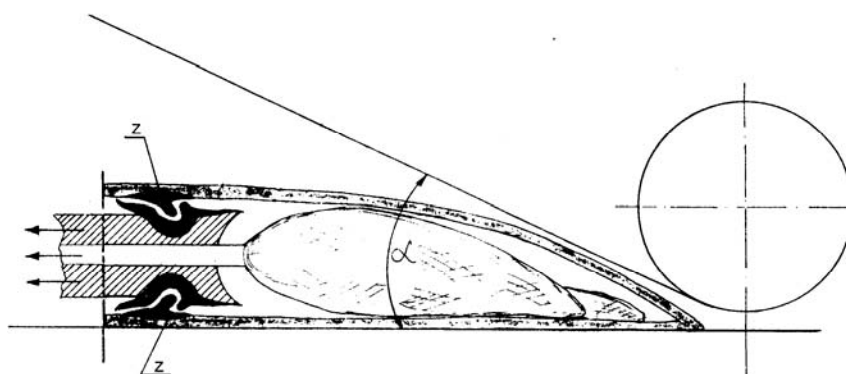
Nieznane wcześniej kalmary i kryl antarktyczny, poławiane przez polską flotę dalekomorską, stanowiły nowe skali światowej wyzwanie zarówno w odniesieniu do technologii przetwórstwa, jak i maszyn oraz aparatów do ich realizacji na statkach i w przetwórnich lądowych. Badania właściwości surowców umożliwiły stworzenie nieznanymi wcześniej sposobów ich obróbki, zastosowanych w narzędziach pracy i maszynach: łyżkach do patroszenia kalmarów i maszynach do wyciskania wnętrza i odgławiania kalmarów [Kawka, Dutkiewicz 1986] (rys. 7).

Spośród różnorodnego wyposażenia do przetwórstwa kryla światowe uznanie uzyskały automatyczne linie do jego odskorupiania metodą rolkowo-szczelinową. Ich najważniejszym elementem jest maszyna do odskorupiania kryla (rys. 8), której sposób działania został zainspirowany działaniem szypułkarek do owoców.

a.

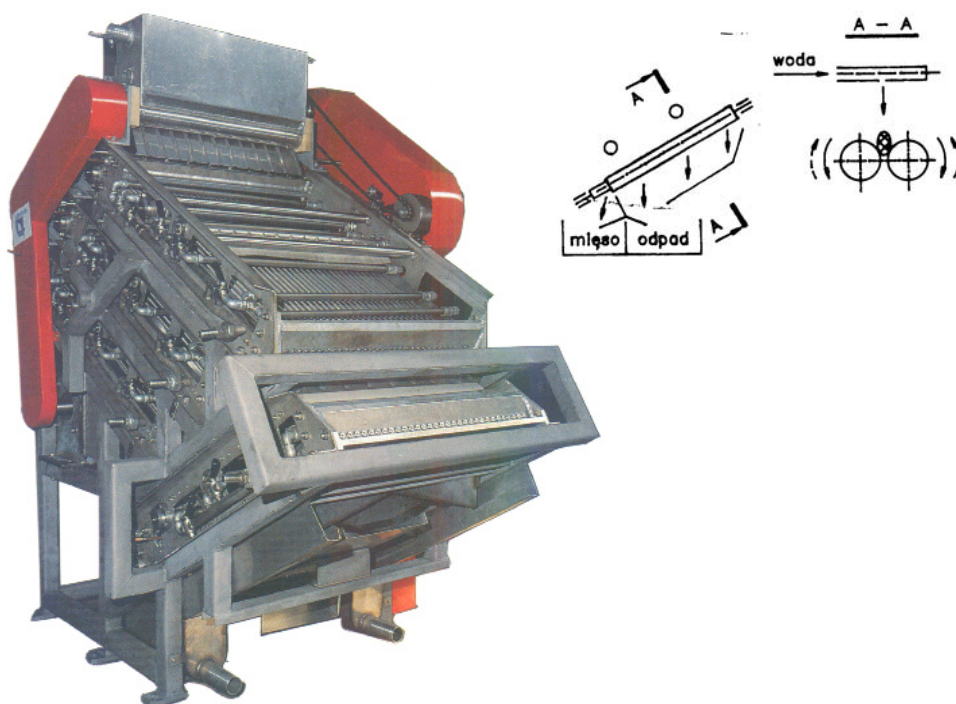


b.



Rys. 7. Maszyna do patroszenia i odgławiania kalmarów (a). Schemat sposobu patroszenia metodą wyciskania wykorzystującego otwieranie się zapinek (poz. z) – wiązań wewnętrzności z płaszczem (b)

Fig. 7. Machine for squid disembowelling and beheading (a). Chart of disembowelling with squashing method using opening of buckles (item z) – bonds between the bowels and the mantle (b)



Rys. 8. Pionierska w skali światowej maszyna do odskorupiania kryla, najważniejszy element automatycznych linii do produkcji mięsa z kryla na trawlerach-przetwórnich

Fig. 8. Machine for krill unshelling, the most important element of automatic lines for krill meat production on trawlers-processing plants

Poznanie niektórych właściwości osadzenia łusek na skórze ryb stworzyło podstawy skonstruowania maszyn do odłuszczenia typu bębnowego o poziomej i pionowej osi obrotów, w których przemieszczanie ryb po perforowanej powierzchni powodowało ich zrywanie oraz zmechanizowanych narzędzi pracy ręcznej w postaci obrotowych frezów z wałkiem giętkim. Za granicą najnowszym sposobem zdejmowania łuski, nie powodującym niekorzystnych zmian w tkance podskórnej, spowodowanych mechanicznym odłuszczeniem, jest stosowanie wysokociśnieniowej strugi wodnej w obiegu zamkniętym.

Po wielu latach od przeprowadzenia pierwszych prób nastąpiło niedawno przemysłowe zastosowanie wysokociśnieniowej strugi wodnej o średnicy 0,12 mm do maszynowego trzymowania filetów z łososia i wycinania ości filetów ryb dorszowatych. Jej przemieszczanie się sterowane jest dzięki wykorzystaniu różnic w zabarwieniu, rejestrowanych przez odpowiednie czujniki, trójwymiarowej wizji,

komputerów i silników krokowych. Dalszy rozwój mechanizacji obróbki ryb i bezkręgowców następować będzie zapewne z szerokim wykorzystaniem osiągnięć nowego kierunku, jakim stała się mechatronika. Stwarza ona nowe możliwości wykorzystywania znanych już i otwiera szerokie pole badań nowych właściwości surowców i produktów, jako podstawy inspiracji nowych wynalazków.

### **Bibliografia**

Dutkiewicz D. 1971. Parametry sterowania obróbką maszynową ryb różnych gatunków o kształcie wrzecionowatym. Prace MIR. Tom jubileuszowy, s. 489-504.

Dutkiewicz D., Dowgiałło A. 1995. Wykorzystanie właściwości morfometrycznych ryb słodkowodnych w projektowaniu odgławiarek. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 424, PAN. s. 45-52.

Haman J. 1989. Właściwości fizyczne surowców a problemy projektowania maszyn spożywczych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 355 PWN.

Mohsenin N. 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Vol.1. Gordon & Science Publishers, New York.

Kawka T., Dutkiewicz D. 1986. Maszyny do obróbki ryb i kalmarów. Zarys konstrukcji. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.

Dutkiewicz D., Dowgiałło A. 2004. Mechanizacja przecinania ości w rybach karpiovatych. Inżynieria Rolnicza 5(60). Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej.

## **USE OF PHYSICAL PROPERTIES OF FISH RAW MATERIALS IN THE DEVELOPMENT OF PROCESSING EQUIPMENT**

### **Summary**

The paper describes importance of physical properties of food raw materials as major factor in creation of new, inventive engineering solutions in food processing equipment. Examples are given of the use of some physical properties of fish in designing new fish processing machinery constructed in Poland.

**Key words:** physical properties, fish, processing