



Sposoby cięcia filetów świeżych i mrożonych na paski (etap

III, część 1 – opracowanie prototypu urządzenia do cięcia

filetów karpi świeżych i mrożonych w paski)

Opracowanie zbiorcze – ETAP 3 część 1

Autorzy opracowania:

Dr hab. inż. Marek Jakubowski, prof. PK

Prof. dr hab. inż. Andrzej Dowgiałło

Prof. dr hab. inż. Jarosław Diakun

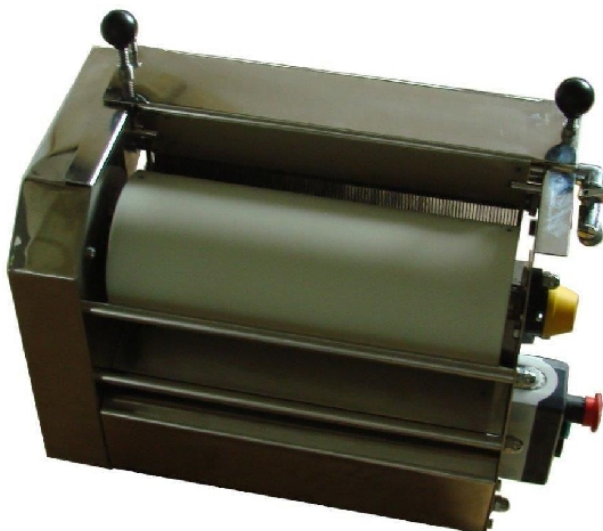
Koszalin, czerwiec/lipiec 2022

Spis treści

1. CIĘCIE FILETÓW ŚWIEŻYCH NA PASKI.....	3
2. CIĘCIE FILETÓW MROŻONYCH NA PASKI.....	5
2.1. Wprowadzenie	5
2.2. Analiza procesu podziału materiałów spożywczych	6
2.2.1. Systemy cięcia w inżynierii żywności	6
2.2.1.1. Konwencjonalny proces cięcia.....	6
2.2.1.2. Minimalizowanie współczynnika tarcia pomiędzy narzędziem a obrabianym materiałem.....	7
2.2.1.3. Minimalizacja powierzchni kontaktu współpracującej pary ciernej	8
2.2.1.4. Cięcie ultrasoniczne	9
2.2.1.5. Cięcie strugą wodną	11
2.2.1.6. Wytwarzanie wysokiego ciśnienia wody.....	12
2.2.1.7. Wytwarzanie strugi wodnej	12
2.2.1.8. Cięcie samą wodą.....	13
2.2.1.9. Cięcie wodą z materiałem ściernym	13
2.2.1.10. Cięcie laserem	16
2.2.1.11. Niekonwencjonalnych metod cięcia - podsumowanie.....	17
2.2.2. Cięcie mrożonych materiałów spożywczych	17
2.2.2.1. Cięcie przed zamrożeniem	17
2.2.2.2. Cięcie strumieniem wody.....	17
2.2.2.3. Wycinanie	18
2.2.2.4. Łamanie.....	18
2.2.2.5. Cięcie gilotynowe	19
2.2.2.6. Łupanie.....	23
2.2.2.7. Cięcie nożem tarczowym	24
2.2.2.8. Cięcie piłą taśmową	27
2.2.2.9. Cięcie mrożonych materiałów spożywczych - podsumowanie	28
3. OPRACOWANIE KONCEPCJI.....	29
3.1. Przecinarka przenośnikowa	29
3.2. Przecinarka „wrzutowa”	32
3.3. Podsumowanie	33
4. LITERATURA	34
Spis rysunków	36

1. CIĘCIE FILETÓW ŚWIEŻYCH NA PASKI

Filet powstaje po usunięciu głowy, płetw, kręgosłupa, wnętrzności oraz żeber. Spotyka się również filety pozbawione skóry. Oznacza to że filet to praktycznie czyste mięso z ryby. Ponieważ opory cięcia świeżego mięsa z ryb, pozbawionego części kostnych są niewielkie (Dowgiało 2002), zmechanizowanie cięcia filetów świeżych na paski nie powinno nastręczać większych trudności. Wydaje się, że najprostszymi rozwiązaniami zmechanizowania takiego ciecicia jest przystosowanie do tego celu znanych maszyn do przecinania ości w filetach ryb karpiowatych – opracowanej wraz z MIR-PIB w ramach projektu „Kompleksowy system przetwarzania karpia na nowoczesne produkty spożywcze i paszowe” stołowej przecinarki ości (rys. 1) lub opracowanej nieco wcześniej w MIR przecinarki przenośnikowej (rys. 2).



Rys. 1. Stołowa przecinarka ości



Rys. 2. Przenośnikowa przecinarka ości

W obu rozwiązaniach ich modyfikacja do postaci urządzenia przecinającego świeże filety na paski byłaby bardzo prosta i polegałaby głównie na zmniejszeniu ilości noży, zwiększeniu ich średnicy oraz przystosowaniu modułów transportujących (bębna lub taśmy przenośnikowej) do przecinania filetów. Nie wyklucza to oczywiście opracowania w toku dalszych prac innej koncepcji rozwiązania urządzenia do cięcia świeżych filetów na paski.

2. CIĘCIE FILETÓW MROŻONYCH NA PASKI

2.1. Wprowadzenie

Nawet przemysłowa produkcja żywności charakteryzuje się sezonowością zbiorów. Konieczne staje się przechowywanie pozyskanych produktów w celu przetworzenia ich w okresach późniejszych. Mrożenie żywności zachowuje jej wysoką jakość i wysoką atrakcyjność handlową jednak efekty natychmiastowego zamrożenia są często zaprzepaszczone przez nieodpowiednie metody rozmrażania.

Rozmrażanie jest mało docenianym procesem, który przeprowadzany w sposób niekontrolowany powoduje obniżenie jakości produktu. Na jakość produktu po rozmrożeniu bezpośredni wpływ ma, oprócz długości przechowywania i parametrów przygotowania przed zamrożeniem, proces rozmrażania a ściślej wartość temperatury w funkcji czasu upływającego w tym procesie. Skoro żaden sposób rozmrażania nie jest w stanie zapewnić pełnej odwracalności właściwości fizycznych produktu do stanu sprzed zamrożenia (ze względu na zawsze występujący wyciek soków i związane z tym zmiany konsystencji i barwy), tym bardziej podczas rozmrażania należy stworzyć szczególne warunki dla jak najpełniejszej odwracalności zjawiska. Takie warunki może stworzyć technika ogrzewania powierzchniowego. Przy rozmrażaniu technikami ogrzewania powierzchniowego czas procesu maleje wraz ze wzrostem różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią produktu i otoczeniem oraz wraz ze zwiększaniem się natężenia ruchu otaczającego medium w stosunku do produktu. Dodatkowo, oprócz techniki rozmrażania, na czas rozmrażania wpływ mają podstawowe cechy produktów takie jak właściwości cieplne i fizyczne wymiary.

Powyższe uwarunkowania wskazują, że korzystnie jest wykonywać wszystkie niezbędne operacje technologiczne (przykładowo cięcie, panierowanie mokre i suche) na produkcie zamrożonym, a następnie szybko go poddawać operacji termicznej (przykładowo smażeniu w głębokim oleju). Taka metoda przetwarzania wymaga poszukiwania nowych sposobów podziału surowca mrożonego na części o wymaganych przez proces wymiarach. Dodatkowo, zachowanie bezpieczeństwa procesu narzuca konieczność podziału surowca bezpośrednio po wyjęciu z chłodni, tuż przed obróbką termiczną.

2.2. Analiza procesu podziału materiałów spożywczych

2.2.1. Systemy cięcia w inżynierii żywności

Proces cięcia jest podstawowym procesem w inżynierii żywności. Ma na celu, ze względów technologicznych lub użytkowych, uzyskiwanie produktów o określonym wymiarze i kształcie.

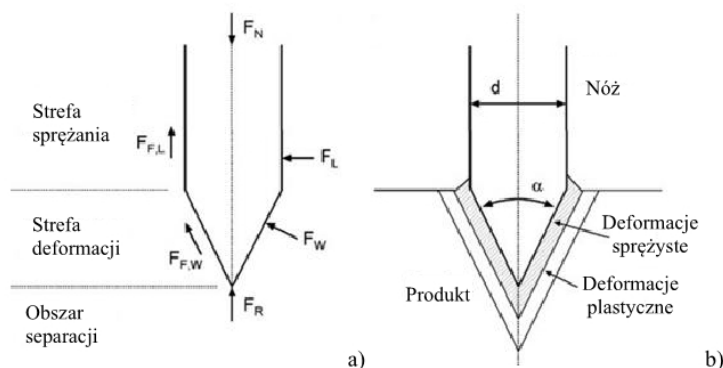
Cięcie polega na rozdzielaniu wiązań atomowych w płaszczyźnie cięcia wzdłuż określonej linii bez wpływu na stan fizyczny materiału (Dowgiałło 2006). Czynniki, które mają zasadniczy wpływ na przebieg procesu są przede wszystkim właściwości materiału - ściśle związane z jego budową i strukturą wewnętrzną oraz technologia cięcia i związane z nią rozwiązania techniczne (parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne stosowanych urządzeń).

W zależności od właściwości reologicznych ciała dzielimy na lepkie, sprężyste i plastyczne. Każdy ten rodzaj materiału żywnościowego szczególnie zachowuje się podczas cięcia. Przykładowo obrane banany mają cechy charakterystyczne dla ciał lepkich, twaróg jest zbliżony do ciał sprężysto-plastycznych, truskawki do ciał lepko-sprężystych, a pomarańcze i pomidory lokują się pomiędzy tymi trzema obszarami (lepko-elastyczno-plastyczne). Niezależnie od właściwości reologicznych materiały spożywcze różnią się stopniem jednorodności i strukturalnymi właściwościami. Przykładowo mięso bez kości jest materiałem jednorodnym, ale z kością i owoce z pestkami już nie. Te zróżnicowane właściwości sprawiają, że ciągle są poszukiwane i badane nowe sposoby cięcia.

2.2.1.1. Konwencjonalny proces cięcia

W konwencjonalnym procesie cięcia głównym celem jest przerwanie więzów wewnętrznych w materiale przez obciążenie elementów strukturalnych. Cięcie zaczyna się, gdy całkowite naprężenie przekracza wewnętrzną wytrzymałość ciętego materiału. Cięte produkty żywnościowe charakteryzują się w większości lepko-sprężystymi odkształceniami, które są związane ze zdolnością do relaksacji naprężenia i odkształceń pełzających. Z tych powodów prędkość cięcia musi przekraczać prędkość relaksacji naprężenia by osiągnąć granicę pęknięcia, w przeciwnym razie, produkt nie będzie cięty, a tylko ściskany.

Schemat ilustrujący zasadę konwencjonalnego cięcia pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Uproszczony schemat cięcia konwencjonalnego (Schneider i in. 2011): a - rozkład sił podczas cięcia, b - odształcenia podczas cięcia; F_N - siła normalna, F_R - siła oporu produktu; F_W - siła boczna, F_L - boczna siła kompresji; $F_{F,W}$ - siła tarcia wzdłuż klina tnącego; $F_{F,L}$ - siła tarcia wzdłuż boków, d - grubość noża; α - kąt klina

W trakcie zagłębiania się narzędzia tnącego w produkt, powstają trzy strefy o różnych oddziaływaniach: separacji, odształcenia i kompresji (rys. 3a). Strefa separacji znajduje się w obszarze najbliższym krawędzi tnącej, strefa deformacji wzdłuż klina noża, a strefa sprężania wzdłuż boków noża. Obserwujemy dwa obszary deformacji: strefę odształcenia plastycznego i sprężystego (rys. 3b). Strefa deformacji plastycznej znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie krawędzi tnącej tuż obok występuje obszar deformacji sprężystej.

Proces cięcia charakteryzuje się dużą energochłonnością, na którą wpływ mają dwa zasadnicze czynniki - właściwości ciętych materiałów oraz tarcie występujące pomiędzy narzędziem a obrabianym materiałem. Wymienione czynniki w znacznym stopniu determinują również jakość cięcia. Ponieważ właściwości ciętych materiałów można zmieniać w ograniczonym zakresie (np. przez obróbkę termiczną, suszenie, mrożenie) prace usprawniające proces cięcia koncentrują się głównie na poszukiwaniu sposobów obniżenia tarcia między surowcem a narzędziem. Poniżej omówiono efekty tych prac.

2.2.1.2. Minimalizowanie współczynnika tarcia pomiędzy narzędziem a obrabianym materiałem

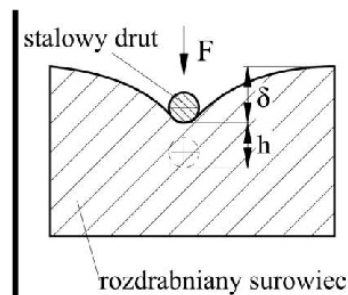
Doskonalenie klasycznego cięcia realizowane jest przez zmianę konstrukcji zespołów tnących. Równoległe z optymalizacją geometrii ostrza i kinematyki maszyny, dąży się do minimalizowania tarcia występującego pomiędzy narzędziem a obrabianym surowcem.

Tarcie można obniżyć albo przez nałożenie na nóż powłoki charakteryzującej się małym współczynnikiem tarcia albo przez wprowadzanie pomiędzy współpracującą parę cierną środka smarnego. Po wprowadzeniu tych środków zaobserwowano (Kowalik 2011)

niewielkie różnice w jednostkowej energochłonności procesu cięcia wybranych materiałów (sery). Użycie narzędzia pokrytego powłoką TiN jest korzystne w ograniczonym zakresie ($0,3 \div 20\%$, Kowalik i in. 2013), a stosowania technologii cięcia nożem smarowanym olejem daje nieistotne zmiany.

2.2.1.3. Minimalizacja powierzchni kontaktu współpracującej pary ciernej

Kolejnym sposobem zmniejszania oporów wynikających z tarcia elementu tnącego i surowca jest zminimalizowanie powierzchni bocznej narzędzia. Efekt taki uzyskamy zastępując klasyczny nóż drutem.



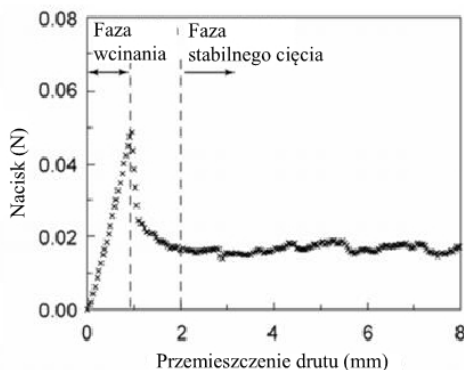
Rys. 4. Schemat cięcia drutem δ - wstępna deformacja, h - grubość rozdzielanego materiału

Schemat rozdrabniania przez cięcie metalowym drutem przedstawiono na rysunku 4. Dzięki działaniu siły F , drut jest przemieszczany prostopadle do przenikania przez masę surowca. Materiał początkowo odkształca się na głębokość δ , zwaną głębokością penetracji. Przy dostatecznie dużej sile, zostaje zainicjowane cięcie (rozrywanie) warstwy materiału, a drut przemieszcza się w nowo tworzonym rozdarcu (Panaite-Lehadus, 2016). Proces jest kontynuowany przy zmniejszającej się sile cięcia do momentu uzyskania stanu ustalonego (rys. 5).

W przypadku miękkich ciał stałych ostrze musi wniknąć głęboko w materiał zanim osiągnięty zostanie krytyczny nacisk niezbędny do zerwania wiązań. W przeciwieństwie do klasycznego krojenia ruch prowadzi do zarodkowania pęknięć. Proces cięcia obejmuje zerwania, a także duże odkształcenia. Eksperymenty wykazały (Gamonpilas, 2009), że na powierzchni cięcia pojawiają się wtórne uszkodzenia, a tym samym wymagana jest większa energia zrywania niż wynikałoby z pojedynczych pęknięć.

Siła F potrzebna do cięcia jest proporcjonalna do średnicy drutu (Goh i in. 2005), rośnie również wraz z prędkością cięcia (dla wszystkich średnic drutu). Zwiększanie średnicy drutu powoduje pogarszanie jakości uzyskiwanej powierzchni cięcia.

Kolejną modyfikacją procesu cięcia jest stosowanie drutu podgrzewanego. W przypadku cięcia surowców spożywczych o miękkiej konsystencji (owoce, warzywa, ser, masło, marmolady, galaretki itd.) za pomocą metalowego drutu ogrzanego do 97° C można uzyskać powierzchnie cięcia bardziej regularne przy niższych siłach tnących oraz mniejszych stratach materiałowych (Panaite-Lehadus i in. 2016).



Rys. 5. Typowa zależność siły cięcia od przemieszczenia (żel, średnica drutu 0,25 mm, prędkość przemieszczania 5 mm/min, Gamonpilas 2009).

Cięcie metalowym drutem jest odpowiednie dla materiałów żywnościowych o miękkiej konsystencji i jednolitym składzie. Zastosowanie tej technologii skutkuje zmniejszeniem jednostkowej energochłonności procesu cięcia (nawet o 80,3% dla sera i o 36,6% dla marchwi - Kowalik 2011). Stosowanie drutu ogrzewanego pozwala uzyskiwać powierzchnie tnące z niewielką liczbą zgrubień, zmniejszyć siły cięcia oraz zredukować straty soku i materiału powstałego w wyniku cięcia.

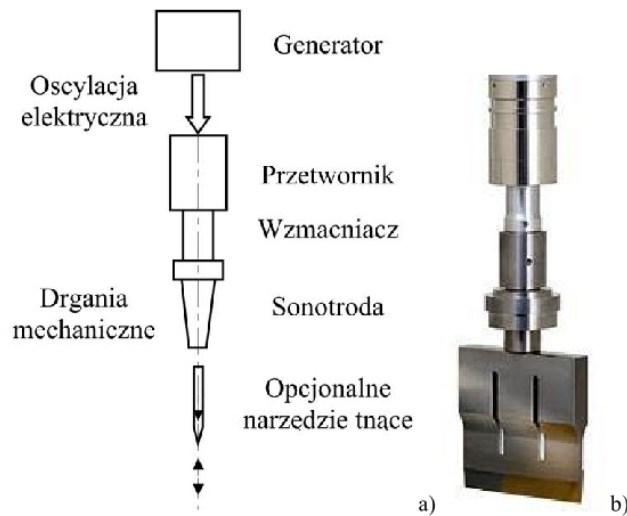
2.2.1.4. Cięcie ultrasoniczne

Kolejnym sposobem redukcji sił tnących jest cięcie ultradźwiękowe. Jego zasadą jest dodawanie do konwencjonalnego ruchu narzędzia wibracji ultrasonicznej. W efekcie uzyskujemy modyfikację interakcji obrabianego materiału z narzędziem na krawędzi tnącej i wzdłuż krawędzi bocznych narzędzia.

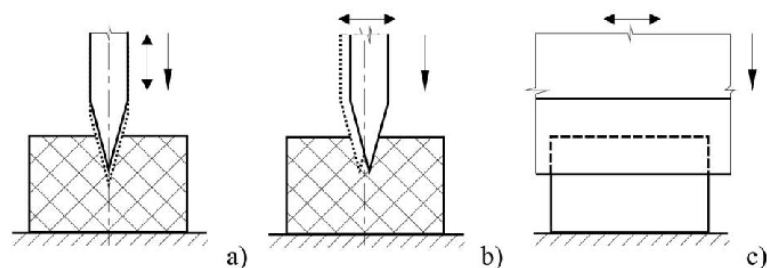
Systemy cięcia ultradźwiękowego składają się z łańcucha elementów (rys. 6), które generują i propagują ultradźwiękowe wibracje do strefy separacji. Typowy ultradźwiękowy system cięcia, tworzą cztery zespoły: zasilacz, przetwornik, wzmacniacz i narzędzie tnące (Schneider i in. 2011). Zasilacz soniczny (generator) generuje prąd o częstotliwości ultradźwiękowej (zazwyczaj w zakresie 20-50 kHz). Przetwornik ultradźwiękowy jest elektromechanicznym urządzeniem, które przekształca energię elektryczną o wysokiej

częstotliwości na drgania mechaniczne (przetwornik piezoelektryczny). Wzmacniacz (jednostka sprzęgająca) przenosi wibracje mechaniczne w postaci fali dźwiękowej na sonotrodę, zwiększa lub obniża amplitudę mechanicznego ruchu narzędzia (w zależności od układu mas na każdym końcu). Sonotroda działa jak mechaniczny rezonator, który wibruje głównie wzdłuż osi drgań. Narzędzie tnące jest urządzeniem, które wykonuje rzeczywiste cięcie.

Mechaniczne oddziaływanie pomiędzy powierzchniami styku narzędzia i materiału zależy od względnego ukierunkowania ruchu przesuwnego i ultradźwiękowego (rys. 7). Występują trzy przypadki: - oś wibracji i oś ruchu narzędzia tnącego jest identyczna, a kierunek wibracji jest prostopadły do krawędzi tnącej (rys. 7a), - kierunek wibracji jest prostopadły zarówno do osi narzędzia jak i krawędzi tnącej (rys. 7b) i - kierunek drgań jest prostopadły do narzędzia ale równoległy do krawędzi tnącej (rys. 7c). Wszystkie trzy konfiguracje mogą prowadzić do zmniejszenia siły tarcia (Littmann i in. 2001). Przyjmuje się, że wibracje, w wyniku bezwładności masy lub zależnego od czasu odtwarzania odkształcenia ciętego materiału prowadzą do zmniejszenia średnich nacisków na narzędzie i w rezultacie siła potrzebna do oddzielenia materiału maleje.



Rys. 6. Cięcie ultrasoniczne: a - schemat układu tnącego, b - przykładowy nóż



Rys. 7. Główne interakcje między ciętym materiałem i narzędziem tnącym (strzałki - kierunek cięcia, strzałki podwójne - kierunek drgań)

Wielkość siły cięcia zależy od parametrów przetwarzania, takich jak geometria cięcia, prędkość cięcia, kierunek, częstotliwość i amplituda vibracji, a także od właściwości produktu, takich jak mikrostruktura, wilgotność, zawartość tłuszczu, wrażliwość na temperaturę. Na przykład, wykazano (Wang i in. 2002), że siły cięcia kruchych materiałów są odwrotnie proporcjonalne do czasu kontaktu narzędzia tnącego z produktem.

Charakterystyczne dla cięcia ultrasonicznego jest to, że siła cięcia rośnie, podobnie jak podczas cięcia gilotynowego, ale tylko do niewielkiego zagłębienia się noża w materiał. Dalszy wzrost następuje w niewielkim stopniu lub siła pozostaje na niezmiennym poziomie.

Do zalet cięcia ultradźwiękowego należy doskonała powierzchnia cięcia, zmniejszone deformacje, mniejsza tendencja do rozbicia (kruszenia), niewielkie rozmazywanie. Szczególną zaletą jest możliwość wycinania cienkich plastrów (np. chleba).

Oprócz krojenia klasycznego typu gilotyna, produkowane są ostrza, które pozwalają na kreowanie produktów spożywczych o różnych formach i kształtach (np. ostrza okrągłe).

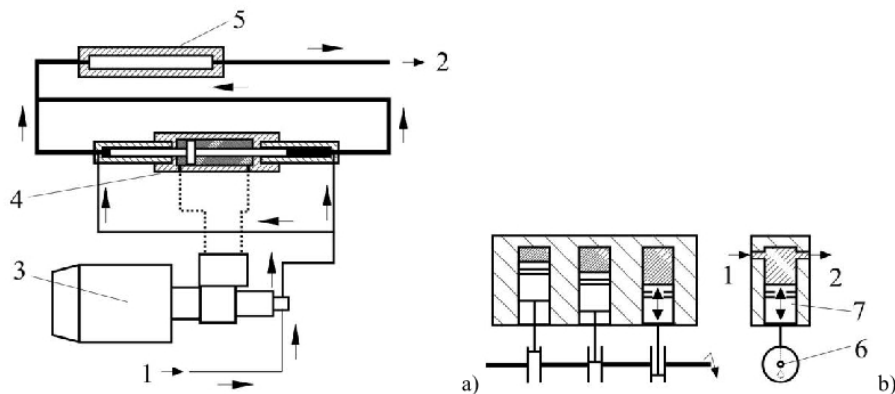
Metoda jest uniwersalna, dobre efekty uzyskujemy zarówno przy cięciu produktów kruchych i heterogenicznych (ciasta, wyroby cukiernicze i piekarnicze) jak i tłustych (lepkich) (Arnold i in. 2009). Przykładowo nadaje się do cięcia serów, gotowanego mięsa, pasztetów, szynki, wypieków i wyrobów cukierniczych, kanapek, żywność mrożonej.

2.2.1.5. Cięcie strugą wodną

Cięcie wodą jest technologią przecinania materiałów za pomocą strumienia wody pod bardzo wysokim ciśnieniem. Stosując wysokociśnieniowe pompy lub hydrauliczne wzmacniacze ciśnienia, doprowadza się wodę do ciśnienia powyżej 500 MPa – w efekcie prędkość strumienia często przekracza prędkość dźwięku.

2.2.1.6. Wytwarzanie wysokiego ciśnienia wody

Powszechnie stosowane są pompy ze wzmacniaczem (rys. 8a). W tych rozwiązaniach ciśnienie wody podnoszone jest w dwóch etapach. W pierwszym pompa podnosi ciśnienie wody do ok. 0,7 MPa, w następnym wzmacniacz hydrauliczny zagęszcza wodę do ok. 600 MPa. Akumulator ciśnienia (tłumik wartości szczytowych ciśnienia) utrzymuje ciśnienie na stałym poziomie na wyjściu. Pompa połączona jest z głowicą tnącą za pomocą przewodów rurowych.



Rys. 8. Schemat pompy wysokociśnieniowej: a) ze wzmacniaczem (wg KMT, 2010), b - z napędem bezpośrednim; 1 - woda, 2 - woda pod ultrawysokim ciśnieniem, 3 - pompa, 4 - wzmacniacz hydrauliczny, 5 - akumulator, 6- wał korbowy, 7 - tłok

Istnieją również pompy o napędzie bezpośrednim (rys. 8b). Pompy te korzystają z silnika elektrycznego napędzającego wał korbowy, który porusza trzy lub więcej tłoków tworzących ciśnienie wody. Stosuje się je, gdy wymagane jest niższe ciśnienie. Ponadto pompy o napędzie bezpośrednim mogą uruchamiać więcej niż jedną głowicę tnącą tylko w przypadku, gdy wszystkie głowice tną ten sam element w tym samym czasie. Z pompą ze wzmacniaczem można uruchamiać głowice tnące na wielu maszynach, tnących różne elementy, włączając i wyłączając głowice w dowolnej kolejności.

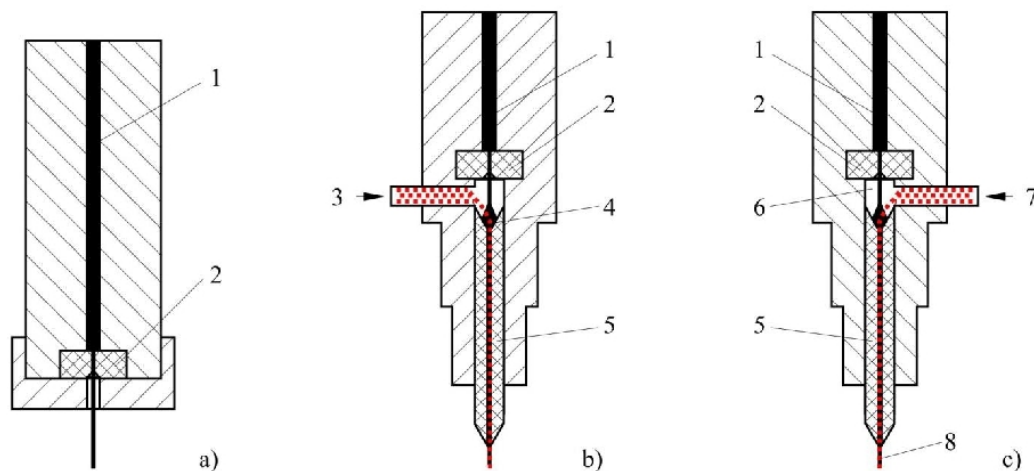
2.2.1.7. Wytwarzanie strugi wodnej

Opracowano dwie technologie - technologię przecinania samą wodą oraz technologię przecinania wodą z dodatkiem ścierniwa.

Zasada powstawania strugi czystej wody polega na "przeciskaniu" jej przez bardzo mały otwór (0,18 - 0,4 mm) w tzw. dyszy wodnej, w której najczęściej osadzony jest diament (rys. 9a). W celu uzyskania wydajnego strumienia wody wymagane jest ciśnienie około 130 -

400 MPa. Powstały w ten sposób cienki strumień wody o bardzo wysokiej gęstości energii jest w stanie przeciąć miękkie materiały.

Zasada powstawania strugi wodno-ścierniej polega na użyciu wody do przyspieszenia ziaren ścierniwa (rys. 9b). Poniżej poziomu dyszy wodnej bardzo duża prędkość wody pod wysokim ciśnieniem wywołuje podciśnienie, które sprawia samoczynne zasysanie ścierniwa. Ścierniwo po wymieszaniu z wodą w komorze mieszania i uformowaniu w tzw. dyszy mieszającej tworzy strugę zdolną przeciąć twarde materiały.



Rys. 9. Głowice tnące: a - zasada powstawania strumienia wody, b - zasada powstawania strugi wodno-ścierniej, c - zasada powstawania strugi wody z lodem. 1 - woda pod wysokim ciśnieniem, 2 - dysza wodna, 3 - ścierniwo, 4 - mieszanina woda-ścierniwo, 5 - dysza mieszająca, 6 - komora mieszania, 7 - ciekły azot, 8 - trójfazowy strumień woda (lód), woda (płyn), azot (gaz)

2.2.1.8. Cięcie samą wodą

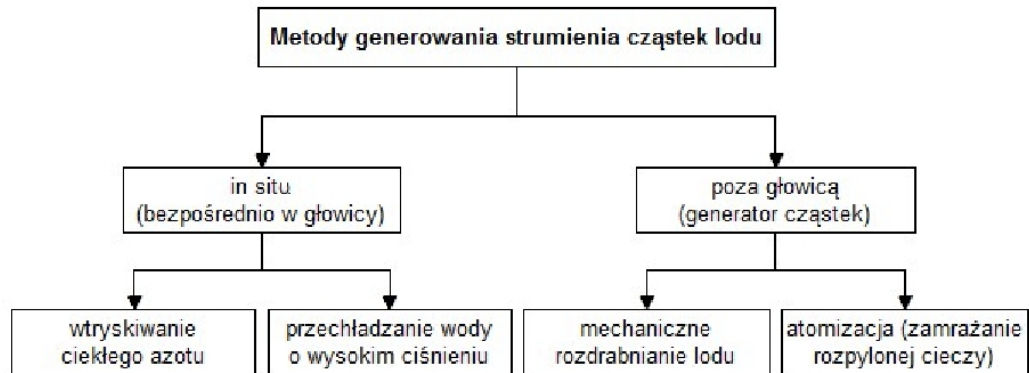
Cięcie samą wodą pozwala stosować mniejsze kryzy i przez to uzyskiwać większe prędkości strugi (do $Ma = 3$). Szybkość i siła strumienia wody tnącej jest wystarczająca do cięcia niektórych materiałów. Główną wadą takiego cięcia jest niska efektywność przenoszenia energii pomiędzy strumieniem i przedmiotem obrabiania. Powoduje to ograniczenia stosowania strumienia wody do obróbki materiałów stosunkowo miękkich i cienkich. Przykładowo stosowana jest do cięcia owoców, warzyw, miękkiego mięsa, pieczywa i wyrobów cukierniczych.

2.2.1.9. Cięcie wodą z materiałem ściernym

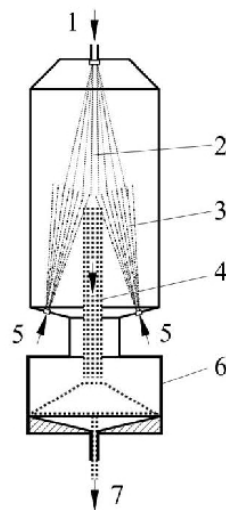
Gdy mają być penetrowane duże przekroje poprzeczne lub produkt zawiera twardsze elementy konieczne jest dodanie ścierniwa do strumienia wody. Stosowane w innych

dziedzinach mineralne materiały ściernie są niedopuszczalne w produktach spożywczych. Inne rodzaje ścierniw (sól, cukier, skrobia) mają niewystarczające działanie ściernie. Najbardziej obiecującą alternatywą okazały się cząsteczki (kryształki) lodu.

Istnieją dwa podejścia do generowania cząstek lodu - zastosowanie generatora lodu lub tworzenie cząsteczek lodu in situ (rys. 10).



Rys. 10. Klasyfikacja metod generowania cząstek lodu wg sposobu produkcji



Rys. 11. Układ generowania cząstek lodu przez atomizację i zamrażanie kropelek wody (CANO, 2013): 1 - ciekły azot, 2 - rozproszone krople ciekłego azotu, 3 - rozproszone krople wody, 4 - cząstki lodu, 5 - woda + powietrze, 6 - chłodzony kolektor cząstek lodu, 7 - przewód do głowicy tnącej

Przykładowy generator lodu przedstawiono na rys. 11. Wprowadzamy ciekły azot (-196°C) do zatamizowanych kropel wody, woda jest zamieniana na cząstki lodu, które gromadzą się w chłodzonym zbiorniku. Cząstki ze zbiornika zasysa głowica wodno-ścierna (rys. 9b).

Wytwarzanie cząsteczek lodu in situ polega na wytwarzaniu cząsteczek podczas tworzenia strumienia wody. W tym przypadku strumień cząstek może być wytwarzany albo przez wstępne przechłodzenie wody pod wysokim ciśnieniem i kontrolowaną przemianę fazową podczas zmniejszania jej ciśnienia w obszarze dyszy strumieniowej, albo przez przemianę fazową w czasie porywania wody przez ciekły azot w komorze mieszania (rys. 9c).

Dokonując analizy technicznej technologii IceJet można stwierdzić, że produkcja i wstrzykiwanie cząstek lodu do strumienia wody nie jest skomplikowanym zadaniem, jednak wymaga ciągłego monitorowania procesu kontrolowania temperatur w celu uniknięcia zatkania i topienia cząstek lodu. Można to jednak zautomatyzować.

Mniejsza twardość cząstek lodu w porównaniu z klasycznymi materiałami ściernymi pociąga za sobą mniejsze prędkości cięcia, jednak mimo to cząsteczki lodu wspomagające cięcie strumieniem wody oferują do 40% większą skuteczność cięcia w porównaniu z cięciem czystą wodą (McGeough 2016). Pozwala to na cięcie nawet mięsa z kością oraz mrożonych produktów spożywczych.

Szybkości cięcia jest bardzo zróżnicowana. W konkretnym przypadku można ją określić tylko za pomocą testów.

Do zalet cięcia produktów spożywczych strumieniem wody zaliczamy: eliminację zagrożenia bakteryjnego, brak potrzeby czyszczenia lub ostrzenia narzędzia tnącego, mniejsze straty produktów, dysze tnące mogą być nieruchome (pozwala na podawanie produktów spożywczych przez przenośnik), możliwe jest cięcie we wszystkich kierunkach z dużą precyzją.

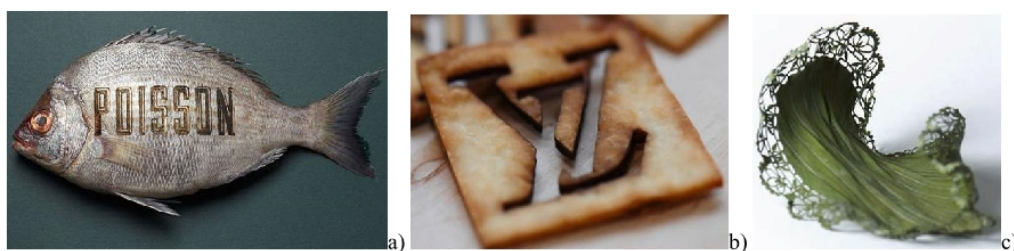
Cięcie czystą wodą jest skuteczną metodą cięcia owoców i warzyw, mięsa, wypieków i wyrobów cukierniczych, pizzy, kanapek, oraz wszystkich rodzajów mrożonek.

Jest to jedna z droższych metod cięcia. Wadą cięcia wodą jest wysoki koszt sprzętu - głównie koszt pompy próżniowej z wysokimi wymaganiami energetycznymi. Niższe ciśnienie potrzebne do cięcia miękkich biomateriałów zmniejsza ten koszt jednak nadal jest on istotny.

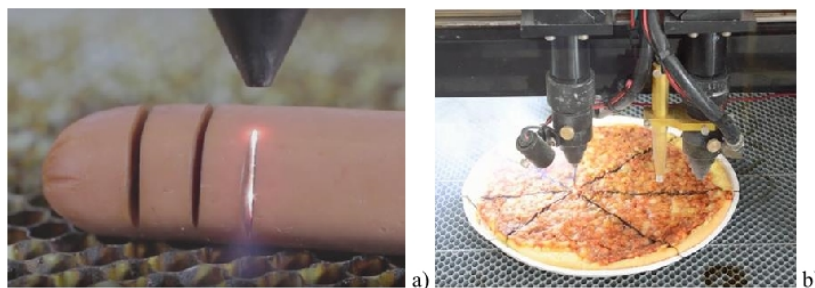
2.2.1.10. Cięcie laserem

Dzięki swym szczególnym właściwościom w przybliżeniu równoległy promień światła kierowany jest bezpośrednio na obrabiany materiał. Ostro skupiony promień o wysokiej gęstości energetycznej przemieszcza się po konturach cięcia lub grawerki wczytanych w układzie CNC. Obróbka promieniem lasera odbywa się całkowicie bezdotykowo. Brak jest oddziaływania siłowego spowodowanego posuwem narzędzi. Nie mocuje się ciętego materiału. Dzięki absorpcji energii na jego powierzchni następuje obróbka. Cięcie laserem może odbywać się przez: odparowanie, topienie lub wypalanie. Najczęściej mamy do czynienia z kontrolowanym spalaniem lub rozkładem termicznym w temperaturach do 1000°C (piroliza).

Mimo wysokich temperatur cięcie laserowe znajduje zastosowanie w obróbce żywności. Stosujemy lasery do oznaczania żywności, dekorowania i wycinania (rys. 12).



Rys. 12. Lasery w przemyśle spożywczym: a - grawerowanie, b- wycinanie, c – dekorowanie



Rys. 13. Przykłady cięcia laserem: a - parówka, b - pizza

Cięcie laserem, gdy mamy do czynienia z dużą grubością materiału, prowadzi do rozdziału surowca (rys. 13), lecz wysoka temperatura na tyle zmienia właściwości i smak, że otrzymane produkty nie nadają się do spożycia.

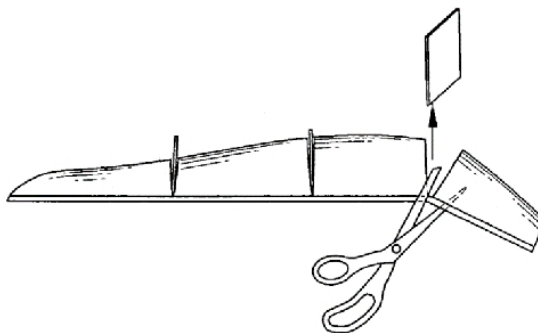
2.2.1.11. Niekonwencjonalnych metod cięcia - podsumowanie

Z niekonwencjonalnych metod cięcia do podziału produktów mrożonych można zastosować jedynie cięcie wodą (skuteczna dla cienkich warstw) i cięcie laserowe (destrukcyjne działanie wysokich temperatur). Dodatkowo biorąc pod uwagę koszty tych rozwiązań uznano za celowe ograniczenie dalszej analizy do konwencjonalnych metod podziału surowca.

2.2.2. Cięcie mrożonych materiałów spożywczych

2.2.2.1. Cięcie przed zamrożeniem

Najprostszym sposobem uzyskania pożądanych porcji produktów mrożonych jest podział surowca przed jego zamrożeniem. Przykład porcjowania filetów zobrazowano na rys. 14. W celu umożliwienia podziału na mniejsze kawałki filet rybny ze skórą jest wstępnie przecinany po wewnętrznej stronie. Skóra nie jest naruszona, więc filet pozostaje jednolitą strukturą. W każdym nacięciu osadza się separator z papieru, po czym filet jest zamrażany. Separator po zamrożeniu umożliwia rozdzielanie filetu przez jego wygięcie.

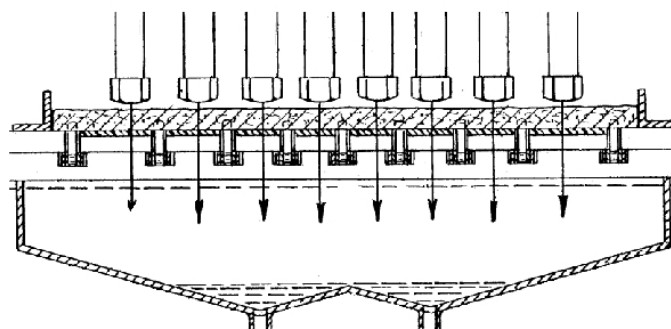


Rys. 14. Nacinanie filetów przed zamrażaniem (Girton 2006)

2.2.2.2. Cięcie strumieniem wody

Przykładem zastosowania niekonwencjonalnej metody do cięcia mrożonej ryby jest wykorzystanie strumienia wody rys. 15.

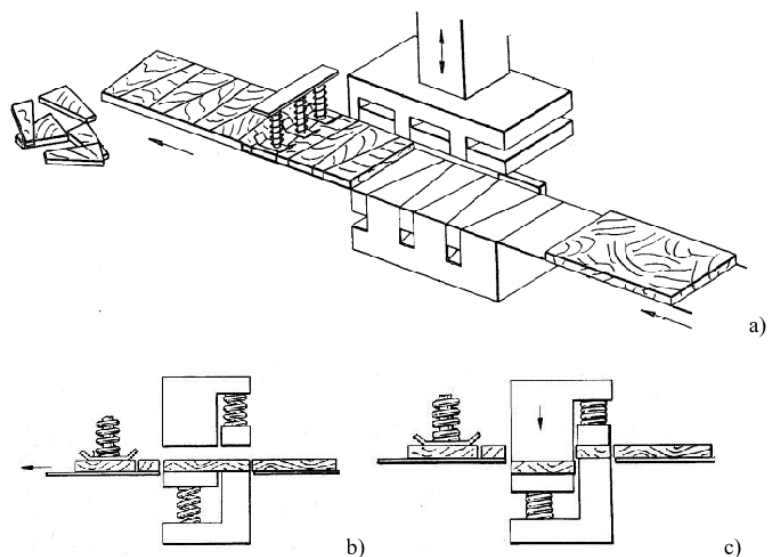
Mrożone ryby, uformowane w bloki, wprowadzane są pojedynczo na przenośnik utworzony przez szereg plastikowych taśm tworzących między sobą szczeliny. Pod każdą szczeliną jest łańcuch bez końca, mający serię skierowanych w górę zabieraków, które przesuwają surowiec pod zestawem urządzeń strumieniowych (dysz).



Rys. 15. Cięcie mrożonej ryby strumieniem wody (Lohash 1991)

2.2.2.3. Wycinanie

Rysunek 16 przedstawia kolejny sposób porcjowania mrożonych filetów rybnych. Surowiec dzielony jest na pożądane części przy pomocy stempla w specjalnej matrycy prasy ścinającej. Stempel ma odpowiadające formie wypukłości, które mają szerokość równą szerokości wycinanych kawałków. Dodatkowo prasa posiada sprężyste uchylne przytrzymujące szczęki, zapewniające równomierny kontakt surowca z przemieszczającymi się szczękami. W ten sposób otrzymujemy duże naprężenie ścinające wzdłuż płaszczyzny pomiędzy wspomnianymi częściami jednostkowymi.

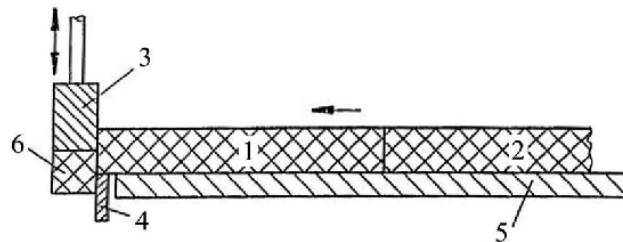


Rys. 16. Wycinanie przy pomocy stempla w prasie (Marshall, 1975)

2.2.2.4. Łamanie

Na rysunku 17 pokazano zespół obróbczy urządzenia, w którym porcje materiału oddzielane są przy pomocy współpracujących ze sobą ruchomego popychacza i nieruchomej

listwy. W przeciwieństwie do cięcia gilotynowego popychacz oddziałuje na materiał płaską powierzchnią, a nie krawędzią tnącą.



Rys. 17. Łamanie mrożonych bloków, zespół obróbczy: 1, 2 - cięty materiał, 3 - popychacz (część ruchoma), 4 – listwa (część nieruchoma), 5 - blat, 6 - odcinana porcja surowca (Rosenberger 2001)

2.2.2.5. Cięcie gilotynowe

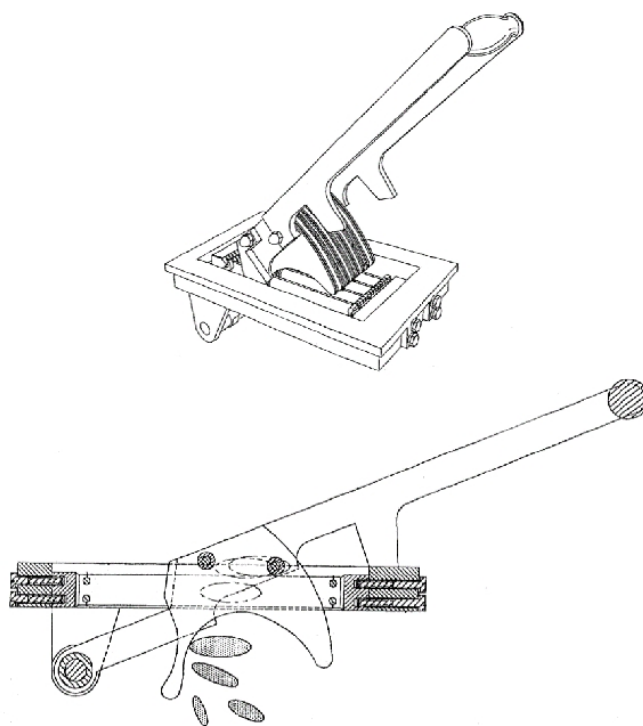
Stosowane są rozwiązania jednoostrzowe lub wielostrzowe obsługiwane siłą wywołowaną ręcznie lub ze wspomaganiem.

Jednoostrzowy przyrząd do cięcia gilotynowego przedstawiono na rysunku 18. Służy do wykonywania cięć brył o dużych przekrojach poprzecznych.

Rozwiązania wielostrzowe stosowane są w przypadku obróbki małych ryb. Na rysunku 19 przedstawiono rozwiązanie z ręcznym wymuszaniem siły cięcia, natomiast na rys. 20 pokazano przykład rozwiązania, w którym cięcie wspomagane jest siłownikiem.

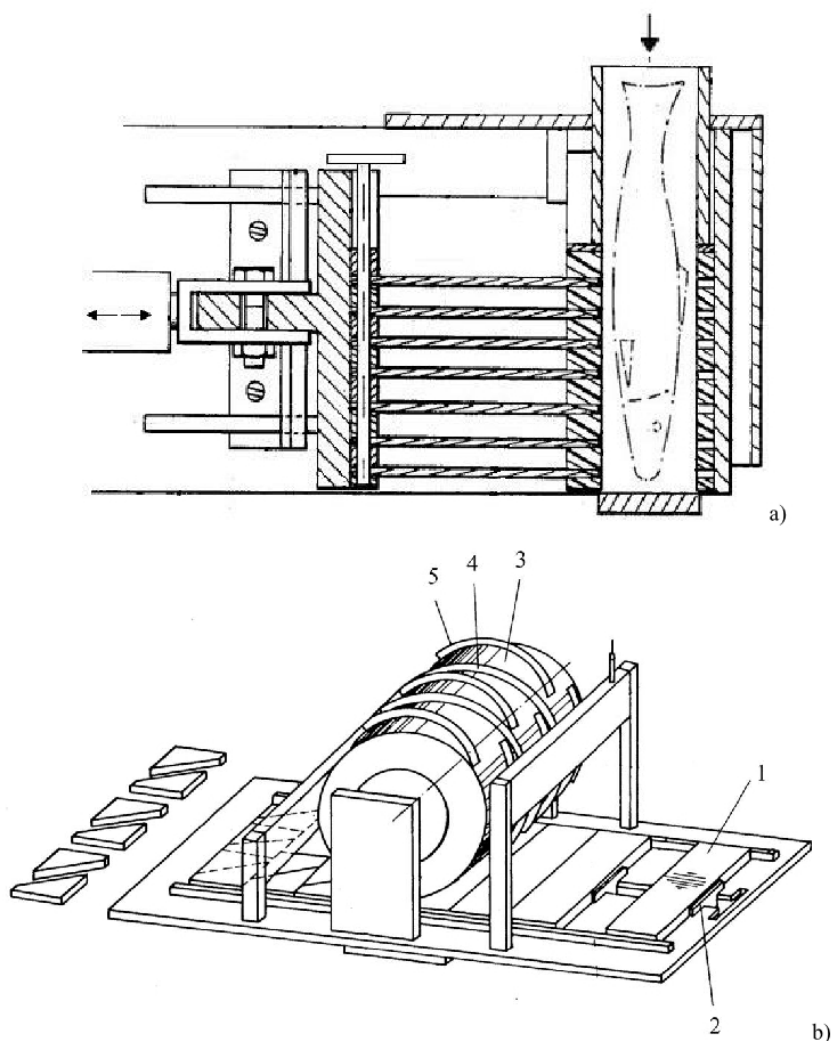


Rys. 18. Gilotyna do mrożonego surowca (wg ALIEXPRESS Shop)



Rys. 19. Ręcznie sterowane urządzenie do dzielenia na porcje małych ryb (Nidelka 2003)

W pierwszym przypadku (rys. 19) człon podstawy stanowi ramka z wieloma oddalonymi od siebie nożami tworzącymi w przybliżeniu płaską powierzchnią tnącą przystosowaną do przyjmowania na niej ryb. Ramię dźwigni jest przegubowo przymocowane do członu podstawowego. Do ramienia dźwigni dołączono zespół prowadzący rybę. Zespół ten składa się z wielu niesymetrycznie łukowo ukształtowanych powierzchni. Przy pomocy ramieniem dźwigni dociskamy ryby do ramki z nożami. Niesymetrycznie łukowo ukształtowana powierzchnie dociskowe przepychają surowiec w dół i jednocześnie przesuwają go w poziomie wzdłuż ostrzy noży.

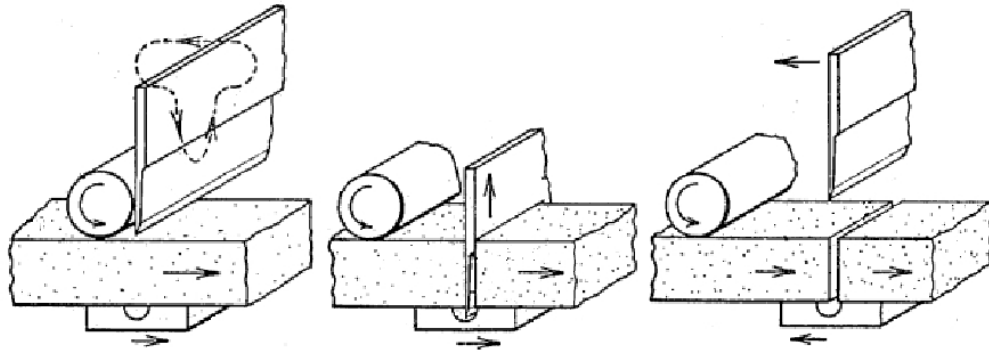


Rys. 20. Urządzenia do dzielenia na porcje: małych ryb (a) i bloków (b) ze wspomaganiem (Adams 1986)

W przykładzie rozwiązania ze wspomaganiem (rys. 20) aparat do cięcia mrożonej ryby zawiera głowicę tnącą mającą liczne rozmieszczone w odstępie ostrza, które są przemieszczane przesuwnie w otworach bloku komory na surowiec. Blok tworzy stos przekładek i klocków dystansowych. Dno komory jest uchylne. Głowica tnąca wykonuje ruchy postępowo-zwrotne wywołane siłownikami.

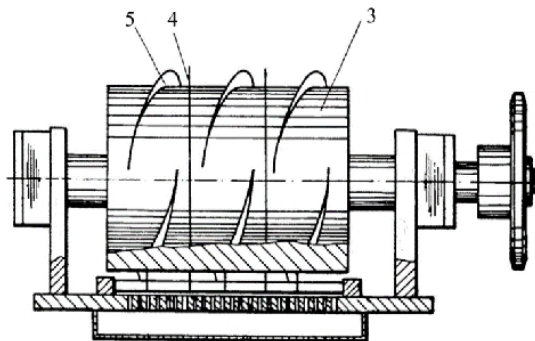
Budowane są również urządzenia jednoostrzowe ze zautomatyzowanym ruchem ostrza i posuwu materiału. Przykład takiego rozwiązania zilustrowano na rys. 21 przedstawiający system do okresowego cięcia na plastry ciągle przemieszczającego się surowca w kierunku równoległym do długości. Ostrze tnące jest usytuowane powyżej i normalnie do kierunku

ruchu materiału. Mechanizm maszyny ciągle przemieszcza ostrze po ścieżce pokazanej linią przerywaną w celu okresowego cięcia jednakowych długości produktu. W razie potrzeby zmiany długości szybkość tnącej ścieżki ostrza może się zmieniać.



Rys. 21. System do cięcia na plastry surowca ciągle przemieszczającego się (Bernard 1980)

Ciekawym przykładem cięcia gilotynowego jest rozwiązanie, w którym wykorzystywane są podgrzewane ostrza (rys. 22).



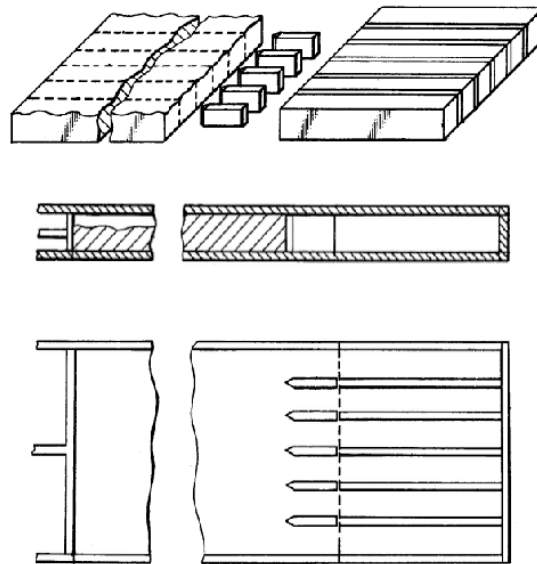
Rys. 22. Cięcie gilotynowe rozgrzanym ostrzem – opis numeracji w tekście (Rosenberger 1992)

Urządzenie służy do porcjowania głęboko mrożonych artykułów spożywczych w postaci płyt. Płyty (1) są podawane na transporter z zabierakami (2) do bębna (3) którego powierzchnia, znajdująca się powyżej ścieżki transportowej, jest wyposażona w podgrzewane oddzielając wstęgi (4, 5). Ogrzane wstęgi oddzielające (4, 5) przymocowane do bębna (3) napędzanego synchronicznie z surowcem (1) dzielą surowiec na porcje. Kształt porcji zależy od rozmieszczenia wstęg oddzielających (4, 5) na powierzchni bębna (3). Podgrzewane wstęgi zmiękczając głęboko mrożony surowiec w miejscu cięcia eliminują straty cięcia.

2.2.2.6. Łupanie

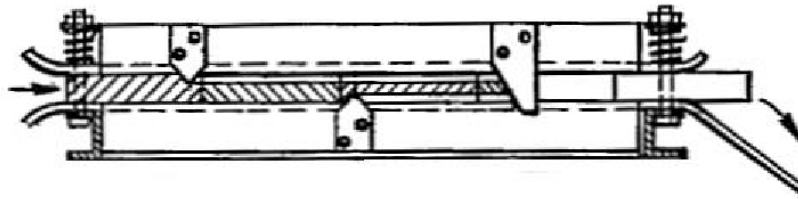
Metoda polega na przepychaniu mrożonego surowca przez nieruchome ostrza. Stosowane są dwa sposoby przepychania - jednostopniowe i wielostopniowe.

Przedstawiona na rys. 23 jednostopniowa metoda dzielenia bloku mrożonej ryby wykorzystuje temperaturę roboczą od -30°C do -6°C i ciśnieniem procesowe co najmniej 100 at. Ryba lub pasek bloku są przeciskane poprzez kratownicę utworzoną przez sieć równoległych nieruchomych noży.



Rys. 23. Przepychanie surowca przez sieć nieruchomych noży (Hartmann 1980)

Metodę wielostopniową ilustruje z kolei rys. 24.



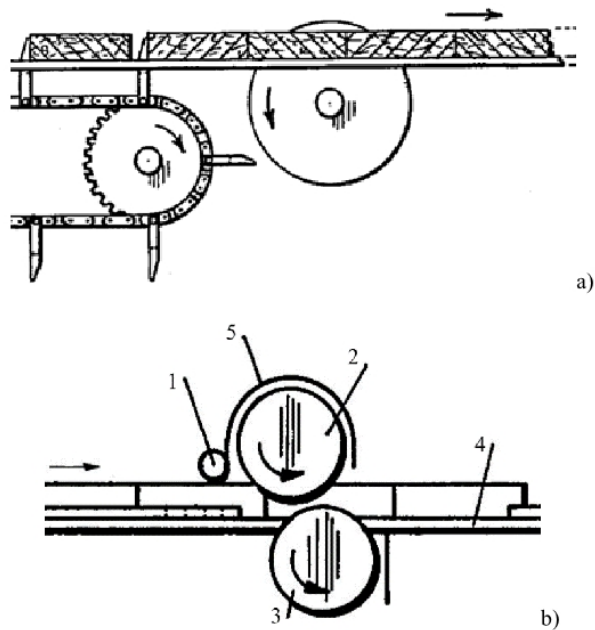
Rys. 24. Przepychanie przez 3 rzędy ostrzy nieruchomych, (Frank i Hills 1965)

Blok zamrożonej ryby jest wprowadzany przez popychacz do komory nożowej a następnie przepychany przez kolejne ryby, w komorze trafia na trzy rzędy nieruchomych

noży. Każdy rząd nacina $1/3$ grubości płyty. W ten sposób bloki można ciąć bez przerw. Jednakowy rozstaw noży w każdym rzędzie określa szerokość uzyskiwanych porcji.

2.2.2.7. Cięcie nożem tarczowym

Cięcie nożem tarczowym ma wiele odmian. Wyróżniamy układy z jednym, dwoma a nawet sześcioma wałkami nożowymi. Również występują różne systemy transportujące surowiec w obszarze cięcia. Istotny wpływ na transport ma postać surowca mrożonego (pojedyncze ryby, mrożenie bloki).

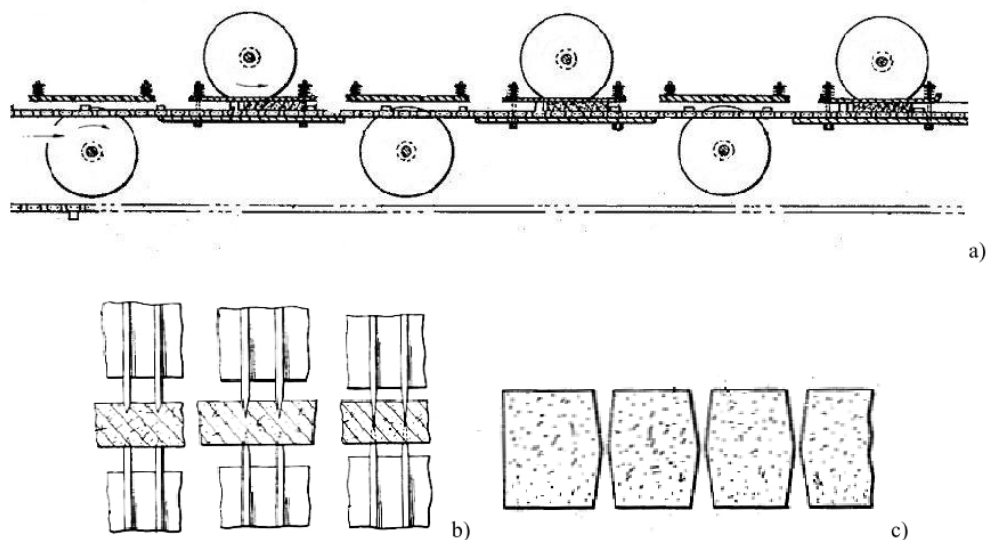


Rys. 25. Zespoły tnące stosowane przy cięciu bloków mrożonej ryby: a - układ z jednym zespołem współosiowych obrotowych pił (Oldershaw 1963), b - układ z dwoma zespołami współosiowych obrotowych pił (Europäisches Patentamt 1988)

Rys. 25a przedstawia układ, w którym paski zamrożonych bloków są wybierane z magazynu i przepychane przez obszar układu współosiowych obrotowych pił, przez popychacze w postaci prętów umieszczonych na łańcuchach bez końca umieszczonych pod stołem obróbczym w taki sposób, aby górna część popychacza wystawała ponad stół z piłą, aby zacząć, a następnie przepchać je w kierunku piły.

System dwuosiowy (rys. 25b) składa się z dwóch wałków z piłami tarczowymi (2, 3) umieszczonych nad i pod płytą transportową (4) oraz rolki wprowadzającej (1) z osłoną noży (5). Surowiec jest przepychany między wałkami nożowymi.

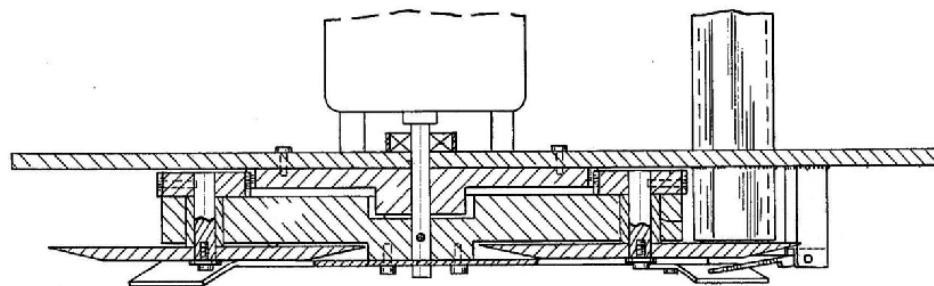
Na rys. 26 pokazano układ z trzema parami wałków z nożami.



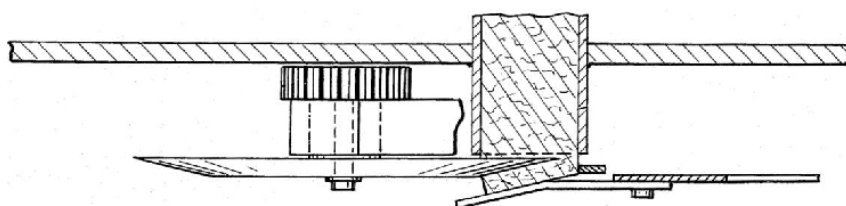
Rys. 26. Układ z sześcioma zespołami współosiowych obrotowych pił (McCalfer 1960): a - układ wałków nożowych, b - etapy zagłębiania noży, c - widok obszaru cięcia

Noże tarczowe obracające się z dużymi prędkościami (ok. 1000-3000 obr./min.) nie zapewniają satysfakcjonujących wyników z powodu powstających strat w postaci trocin (10-12%). Strat tych można uniknąć stosując niskie prędkości cięcia. Skuteczne cięcie uzyskano przez cięcie bloków w kierunku ich ruchu zestawami noży o stopniowo zagłębiających się ostrzach o małej prędkości. Prędkość krawędzi tnących względem bloku jest równa różnicy pomiędzy liniowymi prędkościami krawędzi tnących i przenośnika. W ten sposób nacięcia bloku są coraz bardziej pogłębiane. Pierwsze ostrza tnące mają krótkie ukosowanie i wykonują cięcia płytkie i stosunkowo szerokie w stosunku do ich głębokości. Dzięki temu cięcie w kolejnych etapach odbywa się bez nadmiernych nacisków i frezowania brzegów szczeliny.

Przykłady cięcia pojedynczych ryb zobrazowano na rys. 27 - 29.



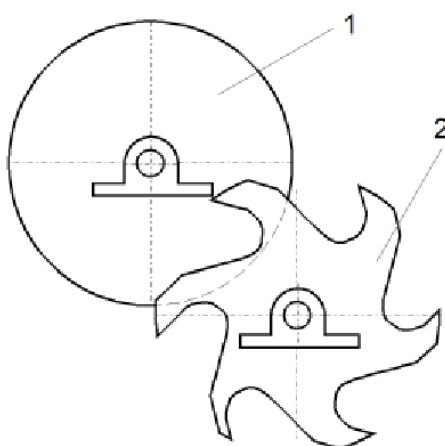
Rys. 27. Schemat urządzenia do plasterkowania ryb (Tsuchiya i in. 1975)



Rys. 28. Odcinanie pojedynczych plasterków w urządzeniu z rys. 25 (Tsuchiya i in. 1975)

Urządzenie do odcinania plasterków (rys. 27) zawiera poziomy stół z zasobnikiem mrożonej ryby oraz obrotowe noże, które poruszają się względem surowca w ten sposób, że odcinają z niego plasterki (rys. 28). Urządzenie zawiera ślizg do podtrzymywania plasterka i surowca w zasobniku w trakcie cięcia i wygarniak do usuwania odciętego kawałka.

Schemat układu do jednoczesnego cięcia całej ryby pokazano na rys. 29, a stosowane noże na rys. 30.



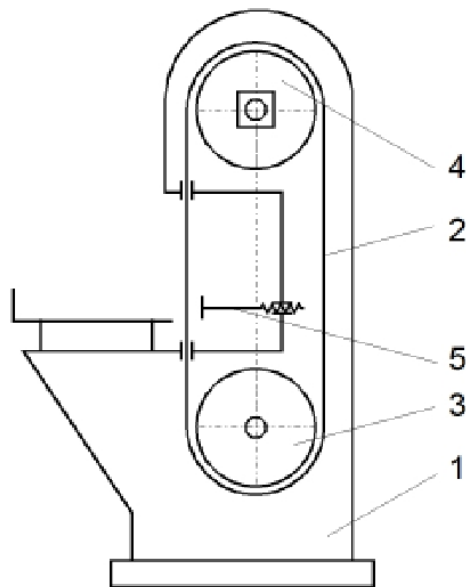
Rys. 29. Schemat krajalnicy z rolką wprowadzającą: 1 - zespół wałka z nożami krążkowymi (tarczowymi), 2 - rolka wprowadzająca



Rys. 30. Nóż tarczowy stosowany do cięcia produktów mrożonych (GSP)

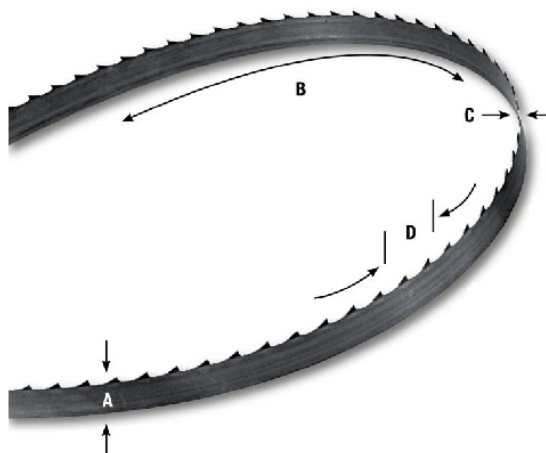
2.2.2.8. Cięcie pilą taśmową

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem do cięcia mrożonej ryby jest piła taśmowa (rys. 31).



Rys. 31. Schemat piły taśmowej: 1 - korpus, 2 - nóż taśmowy, 3,4 - koła pasowe, 5 - mechanizm regulacji grubości cięcia

Do cięcia używana jest stalowa taśma z ząbkowaną utwardzoną krawędzią tnącą (rys. 32).



Rys. 32. Parametry piły taśmowej stosowanej do cięcia surowca mrożonego: A - szerokość, B - długość, C - grubość, D - podziałka (ilość zębów na cal) (Starret 2013)

2.2.2.9. *Cięcie mrożonych materiałów spożywczych - podsumowanie*

Większość znanych sposobów porcjowania mrożonych materiałów spożywczych odnosi się do cięcia mrożonych bloków rybnych. Rozwiązania dotyczące cięcia indywidualnie mrożonych surowców wiążą się głównie z całymi rybami o małych rozmiarach. Większość rozwiązań jest technicznie złożona i nie nadaje się do zastosowania w małych przetwórnich rybnych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że klasyczne cięcie przy pomocy piły taśmowej lub tarczowej jest na tyle uniwersalne, że również powinno sprawdzić się przy cięciu indywidualnie mrożonych ryb. Z obu klasycznych narzędzi tnących, biorąc pod uwagę kryterium złożoności konstrukcji i koszty urządzenia, lepszym rozwiązaniem jest cięcie nożami tarczowymi. Głównymi mankamentami klasycznych rozwiązań jest fakt, że stosowane noże do cięcia materiałów mrożonych posiadają agresywne uzębienie (rys. 30, 32). Zastosowanie takich ostrzy do cięcia filetów prowadziłoby do powstawania niepożądanych strat cennego mięsa.

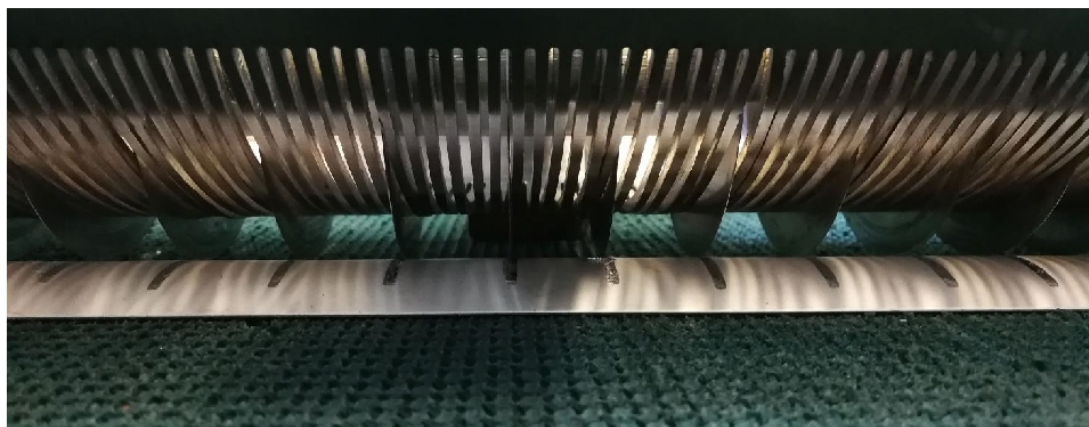
Biorąc powyższe pod uwagę prace modelowe prowadzono koncentrując na narzędziach tnących w postaci noży tarczowych. Szczególny nacisk położono na opracowanie prostego rozwiązania technicznego pozwalającego na ograniczenie strat mięsa przy cięciu.

3. OPRACOWANIE KONCEPCJI

Przed opracowaniem koncepcji urządzenia do cięcia świeżych i mrożonych filetów na paski przeprowadzono dwie serie prób modelowych z wykorzystaniem, zgodnie z sugestią przedstawioną w punkcie 1 niniejszego opracowania, przenośnikowej przecinarki ości oraz modelu odwzorowującego bębnową przecinarkę ości.

3.1. Przecinarka przenośnikowa

W celu przystosowania przenośnikowej przecinarki ości do przecinania filetów dokonano drobnej zmiany w jej konstrukcji. Zmieniony moduł tnący pokazany jest na rysunku 33.



Rys. 33. Moduł tnący przenośnikowej przecinarki ości po przystosowaniu do cięcia filetów na paski

Dokonana zmiana polegała na zamontowaniu umożliwiającego przecinanie filetów na paski grzebienia dystansowego pomiędzy zespołem tnącym 8 (rys. 34) a taśmą przenośnika. Zmieniono także rozstaw noży tnących z 3 mm na 10 mm (założona szerokość paska z fileta).

Na tak zmodyfikowanym urządzeniu przeprowadzono próby przecinania na paski filetów świeżych i mrożonych. Na rysunku 35 przedstawiono wyniki prób laboratoryjnych. Na podstawie wyników prób stwierdzono, że:

- urządzenie posiada potencjalne możliwości stosunkowo prostego przystosowania do cięcia świeżych filetów na paski,
- cięcie filetów mrożonych wymaga dokonania zmian przede wszystkim modułu transportu filetów do postaci zapewniającej ich przesuw względem noży w czasie cięcia. Tarcie pomiędzy taśmą przenośnikową przecinarki a mrożonymi filetami było

zbyt małe - nie zapewniało płynnego przesuwu filetów względem noży. Ponadto cięcie mrożonych filetów wymaga zastosowania noży nie z gładką lecz uzębioną krawędzią cięcia.

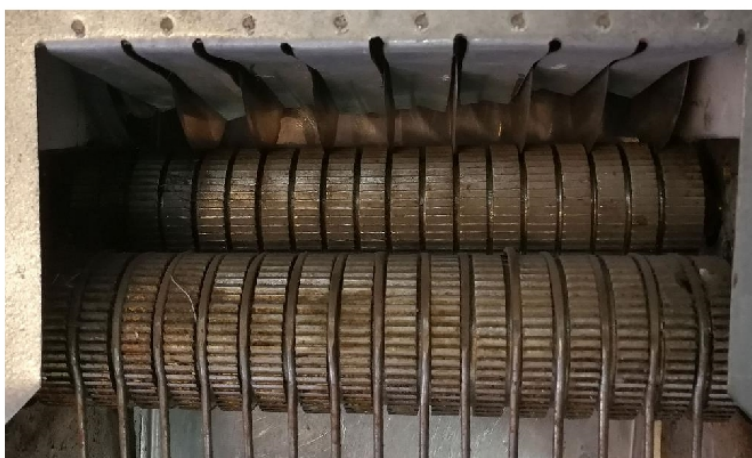


Rys. 35. Paski ze świeżego fileta pociętego w zmodyfikowanej przenośnikowej przecinarnie ości

3.2. Przecinarka „wrzutowa”

Opracowaną drugą koncepcję przecinarki filetów nazwano przecinarką „wrzutową”. W koncepcji tej filety ręcznie podawane są poprzez ześlizg lub wałek pośredniczący do strefy cięcia. Dla wstępnego zweryfikowania takiej koncepcji urządzenia zbudowano niewielki model, pokazany na rysunku 36. W modelu zastosowano nie gładki ześlizg lecz ząbkowany wałek pośredniczący, wspomagającej transport twardych mrożonych filetów.

Przeprowadzona próba wykazała, że przedstawiona koncepcja stwarza warunki do zaprojektowania urządzenia przecinania filetów mrożonych i spełniającego postawione mu założenia. Cięcie filetów świeżych, co wykazały doświadczenia zdobyte przy projektowaniu stołowej przecinarki ości, nie nastręcza trudności i będzie mogło być dokonywane w tym samym urządzeniu.

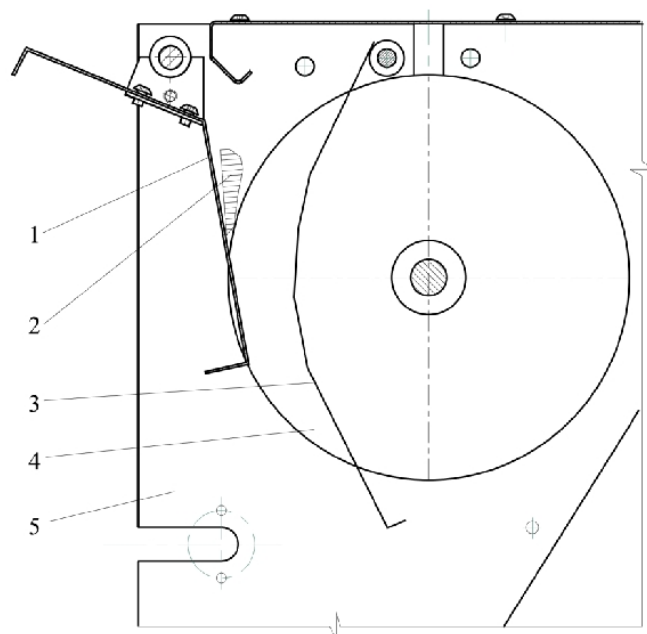


Rys. 36. Model „wrzutowej” przecinarki filetów - widok z góry

3.3. Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych prób zdecydowano, że koncepcję przecinarki filetów na paski należy oprzeć na urządzeniu z „wrzutowym” systemem podawania filetów do strefy ich cięcia na paski. Dążąc do ograniczenia strat surowca w czasie cięcia, należy w konstrukcji urządzenia rozważyć możliwość stosowania noży o ząbkowanej krawędzi cięcia (w przypadku cięcia filetów mrożonych) i gładkiej (w przypadku cięcia filetów świeżych) na przykład poprzez prostą wymianę wału z nożami.

Rozwiązanie koncepcyjne takiej przecinarki pokazane jest na rysunku 37.



Rys. 37. Podstawowa wersja: 1 - element docinający, 2 - surowiec, 3 - element wygarniający, 4 - nóż tarczowy, 5 - korpus

4. LITERATURA

1. Adams D. J.: Bait cutting device. Patent US 4,625,364, 1986.
2. Bernard V. E.: Portion controlled frozen food. Patent US 4,193,272, 1980.
3. CANO J. G., 2013. METHOD OF MEASURING THE WATER JET DIAMETER.
Universiudad Politecnica de Cartagena
4. Dowgiałło A.: Siły cięcia w obróbce ryb. 2002. Wyd. Morski Instytut Rybacki.
5. Dowgiałło A.: Modelowanie operacji cięcia materiałów rolno-spożywczych. Postępy techniki przetwórstwa spożywczego 1/2006, s. 47-49.
6. Europäisches Patentamt: Vorrichtung zum Zerteilen quaderförmiger Blöcke aus tiefgefrorenen Lebens-oder Futtermitteln in kleinere quaderförmige Einheiten (Platten). EP 0 305 673 A2, 1988
7. Frank Ch. J., Hills W.: Frozen-food cutter. Patent US 3,196,917, 1965.
8. Gamonpilas C., Charalambides M., Williams J., 2009. On the study of fracture properties of starch gels. 5th International Symposium on Food Rheology and Structure, 276-279.
9. Gamonpilas C., Charalambides M., Williams J.G., Dooling P.J., Gibbon S.R.: On the study of wire cutting of starch gels. Imperial College London, Mechanical Engineering Department, London.
10. Girton M. H.: Pre-portioned fish fillet and method of making same. Patent US 7,033,265 B1, 2006.
11. Goh S. M., Charalambides M. N., Williams J. G.: On the mechanics of wire cutting of cheese. Engineering Fracture Mechanics 72/2005, 931-946.
12. Goh S., Charalambides M., Williams J., 2005. On the mechanics of wire cutting of cheese. Eng Fract Mech 72, 931-946
13. GSP - High Tech Saws, s.r.o.: <http://www.slitting-saw.com/Slitting-Saw-HSS-and-Carbide-saws/Fish-saw-blades/>
14. Hartmann K.: Process for production of individual portions from blocks of deep-frozen foodstuffs. Patent US 4,213,360, 1980.
15. KMT Waterjet Systems, 2010. Water Jet Cutting - A Technology on the Rise. Materiały informacyjne firmy.
16. Kowalik K., Sykut B., Opielak M., Michałek W., Tomporowski A. 2013. Cięcie serów nożem z powłoką TiN. Inż. Ap. Chem. , 52, 2, 118-119.
17. Kowalik K.: Wpływ technologii cięcia wybranych produktów spożywczych na energochłonność procesu. Rozprawa doktorska, Lublin 2011.

18. Littmann, W., Storck, H., Wallaschek, J., 2001. Sliding friction in the presence of ultrasonic oscillations: Superposition of longitudinal oscillations. *Archive of Applied Mechanics*, 71, 549-554.
19. Lohash F., Lyons J. T., Morrison C. H.: Apparatus and method utilizing a water jet for cutting frozen fish slabs into a plurality of individual portions. Patent US 5,031,496, 1991.
20. Marshall R., Hartmann K., Kraffert E.: Methods for forming unit portions of frozen food materials. Patent US 3,924,012, 1975.
21. McCalfery F. X.: Apparatus for cutting a frozen slab. Patent US 2,941,560, 1960.
22. McGeough J.A., 2016. Cutting of Food Products by Ice-particles in a Water-jet. 18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII). *Procedia CIRP* 42 863 - 865
23. Nedelka J.: Baitfish chunking apparatus. Patent US 6,558,244, 2003.
24. Oldershaw. C. G.: Frozen fish block cutting and aligning machine. Patent US 3,079,964, 1963.
25. Panaite-Lehadus M., Olaru C., Nedeff V., Olaru I., Mosnegutu E., 2016. The study behavior of food materials with soft texture subjected to shredding by cutting. 7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 147 (2016) 012150 doi:10.1088/1757-899X/147/1/012150
26. Rosenberger J.: Method for dividing a cubed block of deep frozen food into portions with a precise volume. Patent US 6,210,733, 2001.
27. Rosenberger J.: Portioning device for parallelepipedic slabs of deep-frozen foodstuffs, more particularly fish. Patent US 5,158,010, 1992.
28. Schneider Y., Zahn S., Rohm H. 2011. Chapter 9 Ultrasonic Cutting of Foods. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
29. The L.S. Starrett Company: Band Saw Blade for Food Processing, 2013
30. Tsuchiya T., Valentas K. J., Morse D. W.: Frozen fish cutter. Patent US 3,867,858, 1975. Arnold G., Leiteritz L., Zahn, S., Rohm, H., 2009. Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work reduction and energy demand. *Int. Dairy J.* 19, 314-320.
31. Wang, X., Zhou, M., Gan, J.G.K., Ngoi, B., 2002. Theoretical and experimental studies of ultraprecision machining of brittle materials with ultrasonic vibration. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 20, 99-102.

Spis rysunków

Rys. 1. Stołowa przecinarka ości.....	3
Rys. 2. Przenośnikowa przecinarka ości	4
Rys. 3. Uproszczony schemat cięcia konwencjonalnego (Schneider i in. 2011): a - rozkład sił podczas cięcia, b - odkształcenia podczas cięcia; F_N - siła normalna, F_R - siła oporu produktu; F_W - siła boczna, F_L - boczna siła kompresji; $F_{F,W}$ - siła tarcia wzdłuż klina tnącego; $F_{F,L}$ - siła tarcia wzdłuż boków, d - grubość noża; α - kąt klina	7
Rys. 4. Schemat cięcia drutem δ - wstępna deformacja, h - grubość rozdzielanego materiału	8
Rys. 5. Typowa zależność siły cięcia od przemieszczenia (żel, średnica drutu 0,25 mm, prędkość przemieszczania 5 mm/min, Gamonpilas 2009).	9
Rys. 6. Cięcie ultrasoniczne: a - schemat układu tnącego, b - przykładowy nóż.....	10
Rys. 7. Główne interakcje między ciętym materiałem i narzędziem tnącym (strzałki - kierunek cięcia, strzałki podwójne - kierunek drgań)	11
Rys. 8. Schemat pompy wysokociśnieniowej: a) ze wzmacniaczem (wg KMT, 2010), b - z napędem bezpośrednim; 1 - woda, 2 - woda pod ultrawysokim ciśnieniem, 3 - pompa, 4 - wzmacniacz hydrauliczny, 5 - akumulator, 6- wał korbowy, 7 - tłok.....	12
Rys. 9. Głowice tnące: a - zasada powstawania strumienia wody, b - zasada powstawania strugi wodno-ścierniej, c - zasada powstawania strugi wody z lodem. 1 - woda pod wysokim ciśnieniem, 2 - dysza wodna, 3 - ścierniwo, 4 - mieszanina woda-ścierniwo, 5 - dysza mieszająca, 6 - komora mieszania, 7 -ciekły azot, 8 - trójfazowy strumień woda (lód), woda (płyn), azot (gaz)	13
Rys. 10. Klasyfikacja metod generowania cząstek lodu wg sposobu produkcji	14
Rys. 11. Układ generowania cząstek lodu przez atomizację i zamrażanie kropelek wody (CANO, 2013): 1 - ciekły azot, 2 - rozproszone krople ciekłego azotu, 3 - rozproszone krople wody, 4 - cząstki lodu, 5 - woda + powietrze, 6 - chłodzony kolektor cząstek lodu, 7 - przewód do głowicy tnącej	14
Rys. 12. Lasery w przemyśle spożywczym: a - grawerowanie, b- wycinanie, c - dekorowanie	16
Rys. 13. Przykłady cięcia laserem: a - parówka, b - pizza	16
Rys. 14. Nacinanie filetów przed zamrażaniem (Girton 2006)	17
Rys. 15. Cięcie mrożonej ryby strumieniem wody (Lohash 1991)	18
Rys. 16. Wycinanie przy pomocy stempla w prasie (Marshall, 1975).....	18
Rys. 17. Łamanie mrożonych bloków, zespół obróbczy: 1, 2 - cięty materiał, 3 - popychacz (część ruchoma), 4 – listwa (część nieruchoma), 5 - blat, 6 - odcinana porcja surowca (Rosenberger 2001)	19
Rys. 18. Gilotyna do mrożonego surowca (wg ALIEXPRESS Shop)	19
Rys. 19. Ręcznie sterowane urządzenie do dzielenia na porcje małych ryb (Nidelka 2003)...	20
Rys. 20. Urządzenia do dzielenia na porcje: małych ryb (a) i bloków (b) ze wspomaganie (Adams 1986)	21
Rys. 21. System do cięcia na plastry surowca ciągle przemieszczającego się (Bernard 1980)22	
Rys. 22. Cięcie gilotynowe rozgrzanym ostrzem (Rosenberger 1992)	22

Rys. 23. Przepychanie surowca przez sieć nieruchomych noży (Hartmann 1980).....	23
Rys. 24. Przepychanie przez 3 rzędy ostrzy nieruchomych, (Frank i Hills 1965)	23
Rys. 25. Zespoły tnące stosowane przy cięciu bloków mrożonej ryby: a - układ z jednym zespołem współosiowych obrotowych pił (Oldershaw 1963), b - układ z dwoma zespołami współosiowych obrotowych pił (Europäisches Patentamt 1988).....	24
Rys. 26. Układ z sześcioma zespołami współosiowych obrotowych pił (McCalfery 1960): a - układ wałków nożowych, b - etapy zagłębiania noży, c - widok obszaru cięcia	25
Rys. 27. Schemat urządzenia do plasterkowania ryb (Tsuchiya i in. 1975).....	26
Rys. 28. Odcinanie pojedynczych plasterków w urządzeniu z rys. 25 (Tsuchiya i in. 1975) ..	26
Rys. 29. Schemat krajalnicy z rolką wprowadzającą: 1 - zespół wałka z nożami krążkowymi (tarczowymi), 2 - rolka wprowadzająca	26
Rys. 30. Nóż tarczowy stosowany do cięcia produktów mrożonych (GSP)	27
Rys. 31. Schemat piły taśmowej: 1 - korpus, 2 - nóż taśmowy, 3,4 - koła pasowe, 5 - mechanizm regulacji grubości cięcia	27
Rys. 32. Parametry piły taśmowej stosowanej do cięcia surowca mrożonego: A - szerokość, B - długość, C - grubość, D - podziałka (ilość zębów na cal) (Starret 2013)	28
Rys. 33. Moduł tnący przenośnikowej przecinarki ości po przystosowaniu do cięcia filetów na paski.....	29
Rys. 34. Rysunek konstrukcyjny urządzenia do przecinania ości.....	31
Rys. 35. Paski ze świeżego fileta pociętego w zmodyfikowanej przenośnikowej przecinarnie ości.....	32
Rys. 36. Model „wrzutowej” przecinarki filetów - widok z góry	32
Rys. 37. Podstawowa wersja: 1 - element docinający, 2 - surowiec, 3 - element wygarniający, 4 - nóż tarczowy, 5 - korpus	33