

EDWARD KOŁAKOWSKI

FIZYCZNE METODY TEKSTUROWANIA ŻYWNOSCI

Streszczenie

Dokonano przeglądu fizycznych metod tekstutowania żywności z podziałem na metody *kompozycyjne*, oparte na odpowiednim doborze składników żywności i metody *operacyjne*, oparte na wytworzeniu nowych właściwości w wyniku określonych operacji technologicznych. W pierwszej grupie metod omówiono m.in. mieszanie surowców o zróżnicowanych właściwościach fizycznych, nadziewanie, laminowanie, a w drugiej grupie mechaniczną tenderyzację, masowanie, rozdrabnianie mrożonych bloków mięsnych bez uprzedniego ich rozmrażania, płatkowanie, prasowanie kawałków mrożonego mięsa w bloki przeznaczone do porcjowania, ogrzewanie prasowanego mięsa, ciasta panierujące typu „tempura”, formowanie i utrwalanie w ciekłych czynnikach chłodniczych, nagazowywanie, rozdmuchiwanie wybuchowe, wytwarzanie analogów mięsa z surimi, przedzenie włókien, kierunkowe zamrażanie, ekstruzję, stosowanie bardzo wysokich ciśnień i inne.

Wprowadzenie

Tekstutowanie, czyli kształtowanie lub modyfikacja właściwości reologicznych żywności, jest jednym z najstarszych, a zarazem bardzo aktualnych i ciągle rozwijanych zadań technologii żywności. Obejmuje zarówno zapobieganie niekorzystnym zmianom tekstury podczas przetwarzania lub składowania żywności jak również kreowanie nowych cech reologicznych żywności poprzez jej strukturowanie. Może odbywać się zarówno w fazie wstępnego przetwarzania (przygotowywania) surowców podstawowych i pomocniczych, wprowadzania dodatków do żywności, jak również komponowania gotowych wyrobów. Potrzeba tekstutowania szczególnie uwidacznia się podczas wytwarzania żywności mrożonej o dużym stopniu przygotowania do spożycia oraz przetwarzania mięsa rozdrobnionego lub mechanicznie odkostnionego.

Wpływ tekstury na akceptację produktów żywnościowych został bardzo przejrzyście przedstawiony w referacie Aliny Surmackiej Szcześniak [39]. Do lubianych przez konsumenta cech tekstury autorka zalicza kruchość, chrupkość, miękkość, soczystość, jędrność i kremistość, zaś do cech nielubianych rozmiękłość, rozkruszalność, twar-

dość, wodnistość, grudkowatość i śluzowatość.

Proces technologiczny i obowiązujące normy zużycia surowców przewidują z reguły takie parametry i sposoby postępowania, które gwarantują uzyskanie optymalnych dla danego asortymentu właściwości reologicznych. Praktyczna realizacja tych założeń nie zawsze jest jednak zadowalająca, a opracowanie nowych technologii i nowych przetworów zmusza do poszukiwania coraz to lepszych rozwiązań. Można więc przyjąć, że teksturowanie jest zadaniem *ciągłym* współczesnej technologii żywności, a uzyskane osiągnięcia w tym zakresie najlepiej świadczą o dynamice jej rozwoju.

Metody teksturowania, w dużym uproszczeniu, można podzielić na trzy podstawowe grupy: fizyczne, chemiczne i enzymatyczne (biotechnologiczne).

Fizyczne metody teksturowania należą do najprostszych i najbardziej bezpiecznych z punktu widzenia zdrowotności żywności. W zależności od sposobu wykonania można je podzielić na: *kompozycyjne* i *operacyjne*.

Metody kompozycyjne

Metody *kompozycyjne* opierają się na odpowiednim doborze składników żywności tak, by ich właściwości funkcjonalne wzajemnie uzupełniały się. Wykorzystywane są najczęściej naturalne właściwości reologiczne składników żywności lub powstające po ich wymieszaniu. Kompozycyjne teksturowanie często łączy się z korzystną zmianą składu chemicznego i wartości odżywczej żywności.

Mieszanie surowców o zróżnicowanych właściwościach fizycznych. Jest najprostszy przykładem kompozycyjnych metod teksturowania. Przedstawicielem tej grupy wyrobów mogą być galantyny rybno-warzywne. Na skalę wielkoprzemysłową zaczęto je produkować we Francji dopiero w drugiej połowie lat osiemdziesiątych. Roczny przyrost produkcji galantyn rybnych wynosi ok. 7%. Fazę ciągłą w galantynach stanowi drobnorozdrobnione mięso rybne kutrowane z roztworem soli kuchennej jako rozpuszczalnikiem białek miofibrylarnych i z dodatkami wiążącymi, jak: skrobia, jaja, mleko w proszku, żelatyna, gumy spożywcze i inne. Fazę rozproszoną stanowi przeważnie krajanka konserwowych warzyw i owoców (szpinak, groszek zielony, fasolka szparagowa, marchew, papryka czerwona i inne), filety lub kawałki filetów z ryb o czerwonej barwie mięsa (łosoś, tuńczyk) oraz bagietki analogów z surimi. Dobór składników o wyraźnie zróżnicowanej teksturze i barwie nadaje galantynom rybnym szczególnie cechy sensoryczne. Warzywa wnoszą do produktu składniki nie występujące w mięsie rybnym (np. witamina C, włóknik) oraz poprawiają proporcje niektórych makro- (np. stosunek potasu do sodu) i mikroelementów. Bardzo cenną właściwością niektórych galantyn jest mała lub prawie żadna wyczuwalność zapachu rybiego.

W Katedrze Technologii Żywności, Akademii Rolniczej w Szczecinie opracowano technologię galantyn rybnych z małowartościowych ryb słodkowodnych, jak leszcz, krap, płóc.

Osnową produktu jest odkostniona i oczyszczona na streinerze rozdrobniona mięso zmieszane z solą, mączką ziemniaczaną i przyprawami. Dodatek warzyw (np. marchew + groszek zielony) wynosi do 50%. Łączenie składników następuje podczas łagodnego mieszania. Otrzymana masa poddawana jest pieczeniu w foremkach aluminiowych lub gotowaniu w osłonkach z tworzyw sztucznych. Gotowy produkt charakteryzuje się pożądaną teksturą, a równocześnie wyraźną poprawą smaku i zapachu mięsa rybnego.

Nadziewanie. Jest stosowane głównie do kształtowania właściwości przetworów formowanych z rozdrobnionego mięsa i wypełnianych masą o komplementarnych właściwościach sensorycznych. W skład tej masy wchodzi najczęściej warzywa, owoce, ser topiony, bułka tarta, majonez i inne składniki.

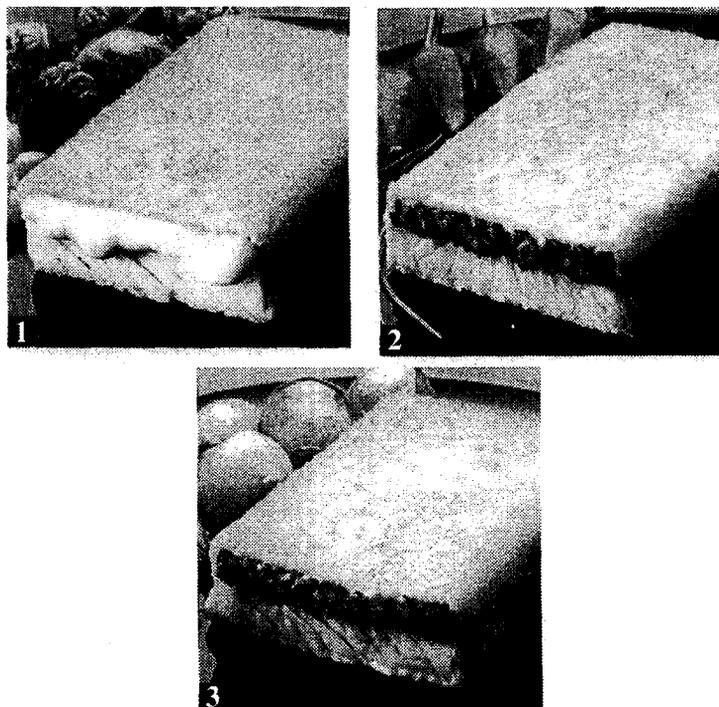
Wykorzystanie zimnej ekstruzji pozwoliło wprowadzić nadziewane do produkcji wielkoprzemysłowej. Warstwę otaczającą nadzienie stanowi przeważnie masa o plastycznej konsystencji, jak: farsz rybnny lub mięsny, ciasto, masa czekoladowa i inne, co ułatwia proces formowania, jednak w dużym stopniu ogranicza możliwości wyboru i kształtowania cech reologicznych produktu, bowiem pierwotna struktura surowca ulega znacznemu zniszczeniu podczas przygotowywania masy. Ostatnio pojawiły się urządzenia do wytwarzania nadziewanych wyrobów z surowców nierozdrobnionych, np. z filetów rybnych. Działają one na zasadzie współśrodkowego sprzężenia dwóch wytłaczarek (np. ekstrudery typu HB 200/300 firmy Brunnar Ltd, Grindavik, Islandia). Gotowy produkt po panierowaniu i obsmażeniu wygląda ostatecznie jak zwarty kawałek.

Laminowanie. Mechaniczne nakładanie (łączenie) warstw produktu o zróżnicowanych właściwościach fizycznych, jest coraz częściej stosowane w liniach przemysłowych o dużym stopniu automatyzacji. Np. warstwa kremu warzywnego lub serowego jest nakładana na porcje cięte z mrożonych filetów rybnych (Rys. 1). W innych rozwiązaniach technicznych krem stanowi lepiszcze do łączenia porcji rybnych. Ostatecznie produkt jest poddawany panierowaniu i obsmażaniu tak, że z zewnątrz przypomina zwartą jednostkę, natomiast widoczne na przekroju warstwy różnią się znacznie zarówno pod względem właściwości reologicznych, barwy jak również składu chemicznego. Stosowanie łączących warstw pośrednich jest wykorzystywane szczególnie w technologii mrożonych przetworów rybnych z ryb dorszowatych, które wykazują tendencję do rozwarstwiania się miomerów po rozmrożeniu jak również po obróbce cieplnej. Podobną funkcję spajająco-profilującą spełnia panierowanie, które w produkcji mrożonek rybnych jest stosowane powszechnie [15].

Do *kompozycyjnych* metod teksturowania można zaliczyć także stosowanie dodatków do żywności, które zmieniają jej cechy reologiczne bez udziału reakcji chemicznej, np. galaktomannany, ksantan, karboksymetyloceluloza i inne.

Metody operacyjne

Metody operacyjne opierają się na wytworzeniu nowych (pierwotnie nie występujących) właściwości, w wyniku przemiany lub interakcji składników żywności pod wpływem określonych operacji technologicznych. Typowymi przykładami *operacyjnych* metod fizycznego teksturowania żywności są: mechaniczna tenderyzacja, masowanie, rozdrabnianie mrożonych bloków mięsa bez uprzedniego ich rozmrażania, płatkowanie, prasowanie kawałków mrożonego mięsa w bloki, ogrzewanie prasowanego mięsa, „Tempura”, formowanie i utrwalanie w ciekłych czynnikach chłodniczych, powierzchniowe obsuszanie gazami, nagazowywanie, rozdmuchiwanie wybuchowe, wytwarzanie surimi i kamaboko, wytwarzanie analogów mięsa krabów, wytwarzanie włókien spożywczych, kierunkowe zamrażanie, ciepła i gorąca ekstruzja, stosowanie bardzo wysokich ciśnień i inne.



Rys. 1. Porcje rybne (panierowane, mrożone) laminowane metodą nakładania warstwy: 1 – ser topiony; 2 – brokuły z majonezem; 3 – groszek z majonezem.

Mechaniczna tenderyzacja. Jest znanym w przetwórstwie surowców zwierzęcych sposobem skruszania mięsa poprzez jego nakłuwanie zestawem noży tnących, przeciskanie pomiędzy dwoma wałkami wyposażonymi w noże tnące lub też masowanie w bębnie masownicy z zamontowanymi nożami [32]. Oprócz rozluźnienia struktury w czasie tej operacji następuje znaczne zwiększenie powierzchni kawałka mięsa [34]. Dlatego mechaniczną tenderyzację stosuje się najczęściej tuż przed peklowaniem mięsa.

Masowanie. Polega na wykorzystaniu siły uderzeniowej kawałków mięsa w obracającym się, zamkniętym bębnie masownicy w warunkach normalnego lub obniżonego (do 10 kN/m^2) ciśnienia. Masowanie stosuje się głównie podczas wytwarzania szynki. Mięso przed pobraniem do uplastyczniania jest peklowane metodą zalewową lub nastrzykiwane solanką peklującą; rzadziej zaś wprowadza się solankę bezpośrednio do bębna masownicy.

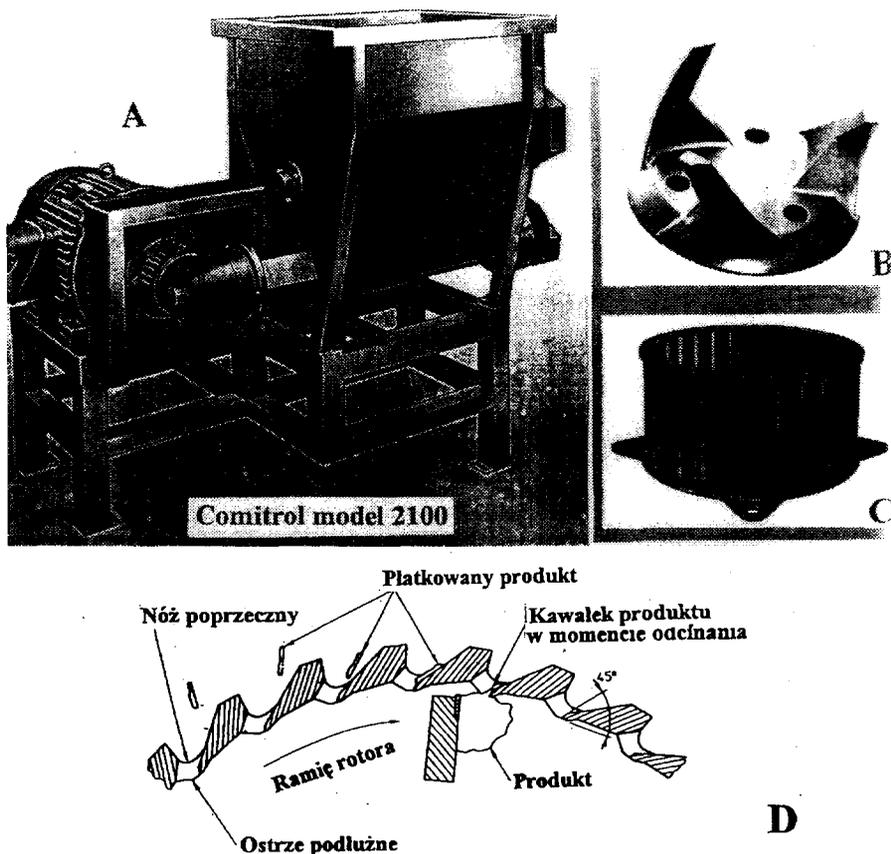
Efektywny czas masowania waha się najczęściej w granicach 1–6 godz., a czas całkowity (razem z przerwami) 6–12 godz. przy 5–15 obr./min. bębna [8, 36]. Operacja ta pozwala otrzymać znaczną poprawę tekstury mięsa, szczególnie po obróbce cieplnej.

Zmniejszenie twardości i gumowatości, a także zwiększenie kruchości idzie w parze ze wzrostem pożądalności sensorycznej tekstury mięsa [8].

Korzystny wpływ masowania na teksturę mięsa tłumaczy się destrukcją tkanki na poziomie komórkowym, polegającą głównie na: rozrywaniu i podłużnym rozdzielaniu się miofibryl, pęcznieniu białek miofibrylarnych i częściowym ich rozpuszczaniu, przemieszczaniu się białek sarkoplazmatycznych ku powierzchni kawałków mięsa i in. [41, 42]. Stała frakcja włóknista mięsa znacznie zwiększa swoją zdolność do wiązania i unieruchomienia wody, a półpłynne lepiszcze o konsystencji zbliżonej do emulsji mięsnej działa spajająco na strukturę mięsa [36].

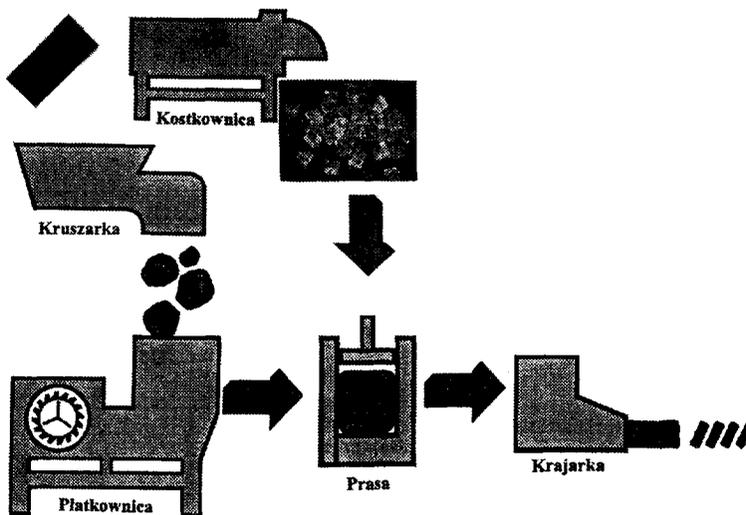
Rozdrabnianie mrożonych bloków mięsnych (bez uprzedniego rozmrażania). Rozdrabnianie mięsa metodą mielenia, a nawet odciskania w separatorach bębnowych powoduje znaczne uszkodzenie jego pierwotnej struktury i tym samym wzrost podatności na żelowanie. Formowane z rozdrobnionego mięsa produkty, takie jak hamburgery, fishburgery, krokiety i inne charakteryzują się zbyt spoistą i elastyczną teksturą określaną potocznie jako „gumiasta”. Wady te w znacznym stopniu pogłębiają się podczas zamrażalniczego przechowywania. Rozdrabnianie mrożonych bloków w wilku wyposażonym w zespół specjalnych noży tnących i tarcz przepustowych o odpowiednio zróżnicowanej średnicy otworów [15] pozwala rozdrabniać te bloki, bez potrzeby ich wstępnego kruszenia, na cząstki o zbliżonej wielkości w zależności od średnicy otworów w końcowej tarczy przepustowej wilka. Otrzymana masa jest wolna od wad wynikających z nadmiernego zniszczenia pierwotnej struktury tkanki mięśniowej,

jednak trudna do mieszania z dodatkami, szczególnie uwodnionymi, z powodu ich ogniskowego przymarzania do mięsa. Wadę tę można wyeliminować poprzez zastosowanie tzw. emulsji niezamarzających. Emulsje niezamarzające opracowane w naszej Katedrze w latach siedemdziesiątych są mieszaniną skrobi, białka i oleju oraz innych dodatków w odpowiednich proporcjach, która po schłodzeniu do temperatury -15 do -20°C pozostaje w postaci plastycznej [19]. Dzięki temu może być łatwo mieszana z rozdrobnionym mięsem mrożonym bez obawy ogniskowego zamarzania surowców pomocniczych i dodatków na powierzchni lub w głębi tego mięsa. Mieszanie mrożonego mięsa z emulsją niezamarzającą prawie nie powoduje uszkodzenia jego struktury.



Rys. 2. Zasada działania urządzenia do rozdrabniania mrożonego mięsa metodą płatkowania: A - widok ogólny urządzenia; B - rotor; C - głowica; D - schemat układu tnącego.

Płatkowanie. Polega na cięciu wstępnie rozdrobnionych bloków rybnych na drobne kawałki o kształcie płatków. Urządzenie do płatkowania jest pod względem ogólnej budowy podobne do wilka, ma jednak specjalny układ tnący, który składa się ze statora i rotora (Rys. 2). Stator, stanowiący pierścieniową głowicę tnącą, jest wyposażony w układ noży działających na zasadzie klina. Rotor jest rodzajem wirnika łopatkowego. Jego zadaniem jest podawanie mrożonych kawałków bloku, dzięki sile odśrodkowej, na nieruchomą ściankę statora oraz odcinanie tych płatków, które weszły w szpary nieruchomego układu tnącego. Zasadę rozdrabniania mięsa metodą płatkowania wyjaśnia rys. 2D na przykładzie urządzenia Comitrol 2100 firmy Urschel (USA). Płatkowanie może być również stosowane do upostaciowania drobno- lub średniorozdrobnionego mięsa świeżego. Wyroby z mięsa płatkowanego charakteryzują się luźną, wysoce pożądaną teksturą i dobrą soczystością.



Rys. 3. Schemat ideowy produkcji porcji ciętych z prasowanych bloków kostkowanego lub płatkowanego mięsa mrożonego.

Prasowanie kawałków mrożonego mięsa w bloki przeznaczone do porcjowania. Jest jedną z metod wytwarzania „formowanych” wyrobów z wyeliminowaniem tradycyjnego rozdrabniania mięsa. Mrożone bloki odkórzonych filetów rybnych są cięte na kostkę i formowane metodą prasowania w specjalne bloki przystosowane do bezpośredniego cięcia na porcje (Rys. 3). Do kostek z mięsa mogą być dodawane mrożone warzywa, owoce lub inne surowce pomocnicze w celu urozmaicenia składu wyrobów. Najkorzystniejsze sprasowanie masy uzyskuje się przy ciśnieniu 0,3–0,4 MPa [15]. Cięcie uformowanych bloków na porcje wykonuje się przy użyciu zwykłych pił

taśmowych lub specjalnych urządzeń zwanych kotleciarkami. Poszczególne porcje są panierowane, domrażane w tunelu i pakowane podobnie jak inne mrożone przetwory. Tekstura tych przetworach jest bardzo zbliżona do naturalnych filetów rybnych z tym, że jest ona bardziej luźna i pożądana.

Ogrzewanie prasowanego mięsa. Celem tej operacji jest poprawa spistości plastra składającego się z kawałków mięsa poprzez lepsze ich przyleganie (związanie). Efekt uzyskuje się poprzez sterylizację rozdrobnionych surowców w zamkniętych puszkach, wypełnionych maksymalnie treścią lub poprzez pasteryzację w specjalnych naczyniach (formach) pod ciśnieniem co najmniej 980,7 kPa [33].

„Tempura”. Tempura jest w zasadzie ciastem panierującym o lepkości 20–50 tys. cps, a więc znacznie większej od lepkości zwykłego panieru płynnego. Służy do otaczania rdzenia surowcowego grubą warstwą ciasta (ok. 100% przyrostu masy), która po zanurzeniu w gorącym oleju znacznie zwiększa swoją objętość, nadając ostatecznemu wyrobowi stosunkowo foremny kształt.

W skład ciasta panierującego, wzorowanego na tradycyjnych tempurach japońskich, wchodzi oprócz wody i mąki także inne składniki, jak: proszek jajowy, kazeinian sodu, olej, przyprawy, emulgatory i proszek do pieczenia [21].

Rdzeń przetworów typu tempura stanowią głównie kawałki mięsa rybnego, drobiowego, wieprzowego lub wołowego, a także kalmary, krewetki, kraby, homary, małże, ostrygi, przegrzebki, jaja, grzyby, warzywa i inne. Ostateczny kształt przetworów może być bardzo różny; dominują jednak formy kuliste, walcowate, owalne, krążki i pierścienie. Stosunek wagowy ciasta do rdzenia po obsmażeniu wyrobu wynosi zwykle jak 2:3, jednak pod względem objętościowym kształtuje się wyraźnie na korzyść ciasta. Np. prostopadłościenny rdzeń w *Fish bites* ważący 15–20 g stanowi zaledwie ok. 1/3 objętości produktu.

Formowanie i utrwalanie w ciekłych czynnikach chłodniczych. Metoda polega na połączeniu mrożenia w ciekłych gazach z formowaniem metodą wytłaczania [29]. Produkt po wyjściu z głowicy formującej spada wprost do wanny lub na specjalny przenośnik, gdzie ulega szybko powierzchniowemu zamrożeniu. Dalsze domrożenie produktu następuje podczas jego przejścia pod natryskiem ciekłego czynnika chłodniczego. Po wyjściu z urządzenia produkt poddawany jest panierowaniu lub panierowaniu i obsmażaniu, pakowany i przechowywany w stanie zamrożonym.

Metoda jest bardzo przydatna do produkcji przetworów formowanych o małej masie jednostkowej (10–20 g) i wyszukanych kształtach (pierścienie, półpierścienie i inne), bardzo wrażliwych na deformację. Masa przeznaczona do formowania może mieć nawet konsystencję półpłynną (pastowatą) co nie przeszkadza w otrzymaniu foremnych kształtów.

Powierzchniowe obsuszanie gazem. Metoda opiera się na częściowej denaturacji białek w powierzchniowej warstwie past rybnych z surimi poprzez obsuszanie ich strumieniem gazu (N_2 , CO_2 , O_2) podawanego bezpośrednio na ich powierzchnię przed właściwą obróbką cieplną [6]. Obdmuchiwanie pasty zmniejsza zawartość wody i zwiększa stężenie białka w powierzchniowej warstwie pasty, w wyniku czego białko ulega częściowej agregacji i tworzy po obróbce cieplnej lepszy żel niż w pastach niegazowanych. Mechanicznie rozdrobnione mięso rybne przemywa się dwukrotnie 0,4% roztworem $NaHCO_3$ –0,15% $NaCl$ i odwirowuje tak, aby zawartość wody mieściła się w granicach 79–81%, po czym miesza z solą (2,5%) aż do uzyskania pastowatej konsystencji. Odczyn pasty powinien być zbliżony do obojętnego (pH 6,8–6,9) co można osiągnąć poprzez dodanie $NaOH$ (0,1%). Pastę pakuje się do metalowych form, gazuje przez 30–60 min. z szybkością ok. $70 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{min}$. i poddaje obróbce cieplnej (70°C , 20 min.).

Nagazowywanie. Oparte jest na wykorzystaniu lepko-plastycznych właściwości masy mięsnej, która po wymieszaniu z odpowiednimi dodatkami, jak frymulsjon, alginian sodu i inne [23] daje układ zdolny do utrzymania wtłoczonego gazu. Operacja nagazowywania masy prowadzona jest w specjalnych kutromikserach ciśnieniowych. Jako gaz można stosować dwutlenek węgla, azot lub gazy szlachetne. Utrwalanie tekstury nagazowanego produktu następuje podczas jego obróbki termicznej (mrożenie, smażenie lub gotowanie). Jakość tekstury zależy głównie od trzech czynników: ciśnienia gazu w kutromikserze, czasu kutrowania i lepkości masy rybnej. Zawartość CO_2 w produkcie wzrasta z czasem kutrowania w funkcji zbliżonej do logarytmicznej. Przy ciśnieniu w kutromikserze wynoszącym $19,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ optymalny czas kutrowania wynosi ok. 3 minut [22]. Wzrost lepkości masy rybnej polepsza utrzymanie zdyspergowanego gazu w produkcie, jednak nadmierna lepkość utrudnia proces nagazowywania.

Teksturowanie produktów spożywczych metodą nagazowywania znajduje praktyczne zastosowanie głównie w przemyśle cukierniczym (np. ptasie mleczko, czekolada) i mleczarskim (nadanie lodom puszystości).

Rozdmuchiwanie wybuchowe jest najpowszechniej znane w produkcji ziaren dętych, przeznaczonych do bezpośredniego spożycia (np. ryżu). Odluszczone ziarna, czasem dodatkowo nawilżone przez krótkie moczenie w roztworze soli lub cukru, poddaje się obróbce cieplnej w specjalnych armatkach pod ciśnieniem ok. 10 atm. Gwałtowne rozładowanie armatek powoduje wybuchowe rozprężenie się pary wodnej i rozcięcie ziarna do objętości kilkakrotnie większej w porównaniu z objętością pierwotną. W ten sposób ziarna stają się chrupkie, szybko miękną w ustach i mają przyjemny smak [14].

Metoda rodmuchiwania wybuchowego jest coraz częściej stosowana do dosuszania-tekstutowania krajanki warzyw (np. ziemniaki, marchew) i owoców (np. jabłka), a także drobnych owoców całych (np. czarne porzeczki) w sposób ciągły. Jak wiadomo proces suszenia w konwencjonalnych warunkach pozwala stosunkowo szybko obniżyć wilgotność produktu do ok. 1/2–1/3 wartości stanu początkowego, podczas gdy dalsze suszenie produktu do niższej wilgotności trwa bardzo długo. Faza dosuszania jest również bardzo niekorzystna dla jakości produktu, szczególnie jego barwy i wartości odżywczej. Wprowadzenie metody rodmuchiwania eliminuje te wady. Kawalki surowca podsuszone metodą konwencjonalną do zawartości wody 15–35%, są ogrzewane parą wodną pod ciśnieniem 3–5 atm., w specjalnej komorze ciśnieniowej na siatkowym przenośniku, a następnie podawane do armatki ciśnieniowej wyposażonej w samoczynny mechanizm rozładowujący. Rozładowanie armatki powoduje gwałtowne odparowanie wody połączone z wybuchowym rozprężeniem się pary wodnej w produkcie. Jego struktura staje się porowata. Dobierając odpowiednio parametry procesu, a szczególnie wilgotność po podsuszeniu surowca, temperaturę i czas obróbki cieplnej, ciśnienie i inne, można praktycznie dowolnie kształtować właściwości fizyczne produktu [37, 38].

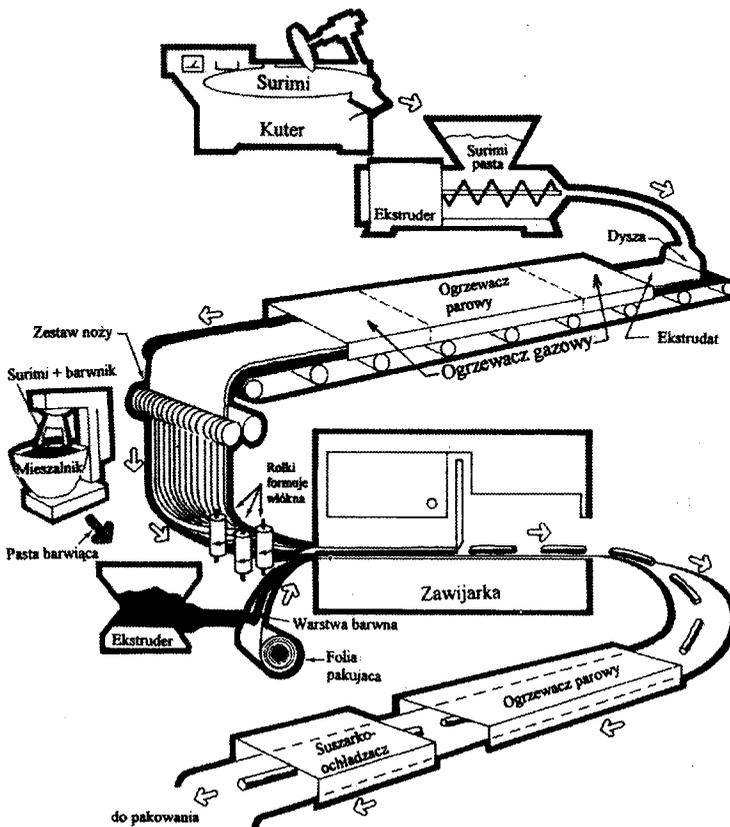
Surimi i kamaboko. Wielokrotne przemycie rozdrobnionego mięsa wodą i dokładne roztarcie (kutrowanie lub specjalne mieszanie) miofibryl z roztworem soli lub innych substancji stabilizujących pozwala otrzymać preparat o wyjątkowo dużej zdolności do żelowania po obróbce cieplnej nawet po dłuższym okresie zamrażalniczego składowania [17]. Z surimi wytwarzane są głównie wyroby o elastycznej i spęzystej teksturze [40]. W zależności od rodzaju stosowanej obróbki cieplnej rozróżnia się kilka typów tych przetworów o nazwie *kamaboko* (parowane), *chikuwa* (opiekane), *hanpen* (parzone) i *satsumaage* (smażone), chociaż w uproszczeniu określa się je jako kamaboko.

Elastyczność i wytrzymałość żelu wyrobów typu kamaboko jest tak wysoka, że plasterki o grubości 3 mm pozwala się złożyć na czworo bez pęknięcia (I klasa jakości).

Wytwarzanie analogów mięsa krabów i krewetek. Opiera się na wykorzystaniu specyficznych właściwości reologicznych żelów białkowych z ryb, głównie surimi. Praktycznie można mówić o powstaniu nowej generacji żywności. Produkcja analogów rozwinęła się w Japonii i na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych została przeniesiona do USA i Europy Zachodniej [28]. Skład recepturowy tych wyrobów jest stosunkowo prosty, jednak proces technologiczny przebiegający w liniach o działaniu ciągłym jest dość skomplikowany (Rys. 4). Masa rybną jest wytlączana na zimno w postaci wstęgi, przekształcana w żel za pomocą obróbki cieplnej i cięta na paski. Paski żelu są następnie zwijane w rulony lub we „włókna” powlekane warstwą

barwnego surimi i cięte na pałeczki lub formowane w kształty przypominające odnóża krabów. Metoda ta pozwala uzyskać produkty o wyraźnie upostaciowanej strukturze i bardzo pożądanymi właściwościami sensorycznymi.

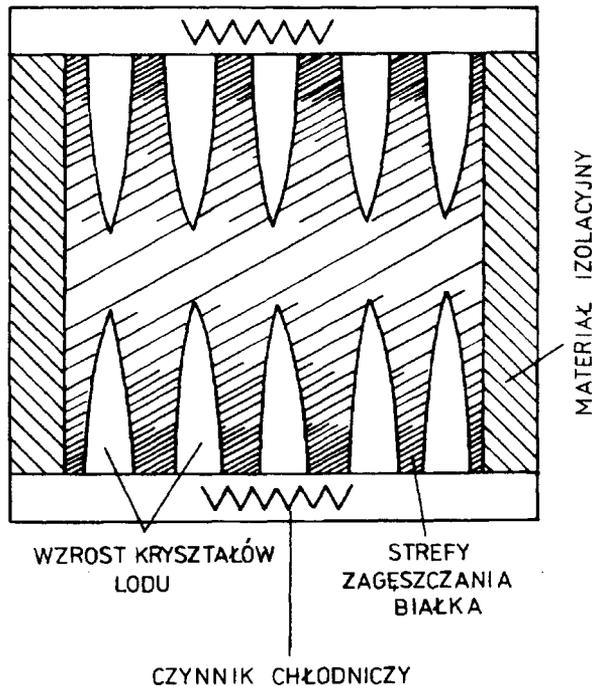
Wytwarzanie włókien spożywczych (przędzenie). Klasyczna metoda polega na wytłaczaniu alkalicznych roztworów białek przez „sito” z małymi otworami - dyszami o średnicy 60–200 μm do wanny ze środkiem koagulującym (najczęściej kwasem, lub kwaśnym buforem), gdzie następuje koagulacja białka. Metoda przędzenia włókien spożywczych nie jest więc typową metodą fizyczną, chociaż zasadnicze upostaciowanie produktu wynika z operacji wytłaczania. Uzyskane włókna są następnie płukane (obmywane), wzmacniane przez rozciąganie lub inne ich modyfikacje i łączone w pęczki tworzące analogi mięsa.



Rys. 4. Schemat linii do produkcji analogów mięsa krabów z surimi rybnego (wg 26).

Do wytwarzania analogów mięsa najbardziej przydatne są globularne białka mleka [4], izolaty białek sojowych i inne białka roślinne, chociaż dobre rezultaty otrzymano również stosując białka mięśniowe ryb [27].

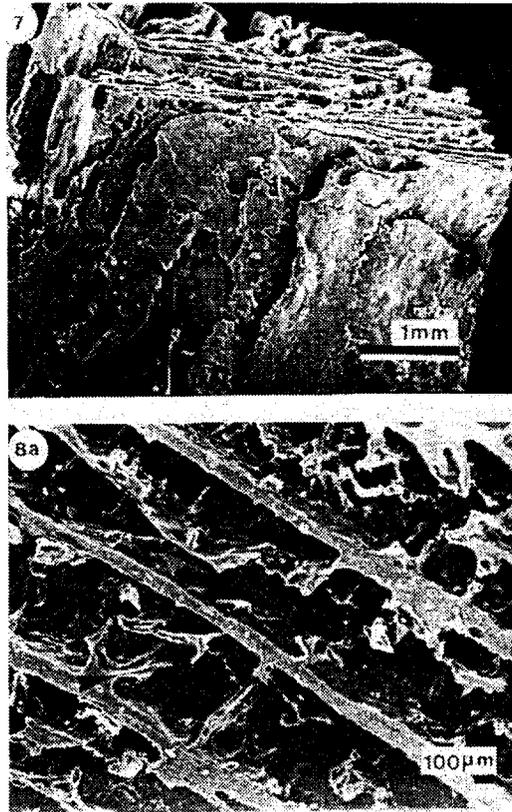
Podatność białek na przędzenie można poprawić poprzez mieszanie izolatów białek roślinnych z białkami zwierzęcymi (np. izolat sojowy + kazeina), dodatek polisacharydów tworzących żel z danym białkiem (np. alginian sodu z kazeiną), dodatek polisacharydów nieżelujących (np. *gamma*-karagen, karboksymetyloceluloza, ksantan) zwiększających lepkość roztworów białkowych, użycie substancji impregnujących (np. skrobie dialdehydowe), wprowadzenie jonów wspomagających żelowanie (np. Ca^{2+}) i inne [1, 12, 13].



Rys. 5. Schemat kierunkowego zamrażania masy białkowej w formach z materiału izolacyjnego.

Kierunkowe zamrażanie. Metoda ta wywodzi się z tradycyjnego, japońskiego sposobu wytwarzania „kori-tofu” z soi. Do teksturowania produktów roślinnych została wprowadzona w latach czterdziestych, a do teksturowania produktów pochodzenia zwierzęcego w latach siedemdziesiątych [24]. Jest szczególnie przydatna do tych półproduktów białkowych, które podczas otrzymywania tracą swoją naturalną strukturę, jak mechanicznie odkostnione mięso (MOM) poddane doczyszczaniu na streinerze,

izolaty białkowe z odpadów mięsnych i inne. Metoda polega na zamrażaniu białkowej masy w specjalnych formach izolacyjnych tak, by jej styczność z czynnikiem chłodniczym ograniczała się tylko do dwóch szczytowych powierzchni. Powstające w białkowej masie długie kryształy lodu układają się równoległe do kierunku wymiany ciepła, powodując jej zagęszczenie w przestrzeniach międzykryształicznych (Rys. 5). Za utrwalenie struktury odpowiedzialne są wiązania sieciujące, powstające w białku już podczas zamrażania masy, głównie jednak podczas obróbki cieplnej (gotowanie, parowanie lub smażenie). Gotowy produkt przyjmuje strukturę szczelinowo-płatowatą, przypominającą naturalne miomery tkanki mięśniowej (Rys. 6). Dla otrzymania odpowiednio dużych por i szczelin w produkcie (struktura płatowata) niezbędne jest stosowanie odpowiednio wysokich temperatur zamrażania, optymalnie -15° do -5°C [25]. Niektóre masy mięsne, np. z ryb słodkowodnych, wymagają specjalnej modyfikacji biochemicznej w celu poprawienia ich podatności na teksturowanie [20].



Rys. 6. Szczelinowo-płatowata struktura izolatu białkowego z mięsa drobiowego, teksturowanego metodą kierunkowego zamrażania (wg 24).

Ciepła i gorąca ekstruzja. Opiera się na wytlaczaniu mieszanin skrobiowo-białkowych, ogrzanych powyżej punktu kleikowania skrobi przez dyszę ekstrudera pod odpowiednim ciśnieniem (5–15 MPa), co pozwala otrzymać różne rodzaje upostacowania żywności. W ekstruzji cieplej są to najczęściej termoplastyczne żele, które po wysuszeniu przyjmują szklaną teksturę, zaś po ogrzaniu w tłuszczu lub innym czynniku ekspandują w ekstrudaty przypominające chrupki. W ekstruzji gorącej ekstrudat przyjmuje spienioną strukturę bezpośrednio po wyjściu z dyszy ekstrudera. Głównymi czynnikami teksturotwórczymi są: wysokie ciśnienie, temperatura i szybkość ścinania. Warunki te wymuszają uporządkowanie nadcząsteczkowej struktury makrocząsteczek, przez co powstają siły o wektorze przeciwnym do kierunku ścinania. One to i rozprężająca się para wodna są głównie odpowiedzialne za proces ekspandowania teksturowanej masy [30].

Zastosowanie nowej generacji ekstruderów dwuślimakowych pozwala osiągać wyższe ciśnienia podczas wytłaczania i równomierniejsze podawanie mieszaniny podczas jej teksturowania. Umożliwia to stosowanie niższych temperatur podczas ekstruzji i teksturowanie mas bardziej uwodnionych, co z kolei ułatwia wprowadzenie większej ilości białka do produktu. W Katedrze Technologii Żywności AR w Szczecinie prowadzone są prace nad otrzymywaniem ekstrudatów skrobiowo-białkowych z udziałem koncentratu białkowego z kryla antarktycznego i surimi rybnego [18, 43].

Stosowanie bardzo wysokich ciśnień. Pierwsze próby dotyczące zastosowania bardzo wysokich ciśnień w przemyśle spożywczym zostały podjęte w USA na przełomie 19. i 20. stulecia [3, 9], a pierwsze produkty spożywcze produkowane przemysłowo (dżemy z truskawek, jabłek i owoców kiwi) przy użyciu wysokich ciśnień wprowadziła japońska firma Meidi-ya w 1990 r., która już w następnym roku poszerzyła liczbę asortymentów o nowe wyroby, jak: jogurty, żele, soki owocowe i dresingi sałatkowe. Pod koniec 1991 roku dwie inne firmy japońskie „Pokka” i „Wakayama” zainstalowały linię UHP do pół-ciągłej pasteryzacji soków cytrusowych o wydajności odpowiednio 6000 i 4000 l/h [2].

W ostatnich latach zainteresowanie wykorzystaniem wysokich ciśnień w utrwalaniu i przetwórstwie żywności wyraźnie wzrosło. Najważniejszym kierunkiem jest utrwalanie żywności poprzez „pasteryzację” i „sterylizację” w niskich lub umiarkowanych temperaturach. Umożliwia ono zachowanie pierwotnych właściwości fizycznych i odżywczych żywności typowych dla surowca, np. owoce, warzywa, mleko.

Wysokie ciśnienia mogą być również wykorzystane do kształtowania tekstury żywności z pominięciem obróbki cieplnej, m.in. poprzez zmianę równowagi fazowej wody, wymuszone żelowanie makrocząsteczek, inaktywację enzymów i inne.

Kanda i Aoki [11] wprowadzili metodę zwaną „*Pressure-shift freezing*”. Twaróg sojowy poddawali ciśnieniu 200 MPa i schładzali do -20°C , a następnie szybko do-

prowadzali do ciśnienia atmosferycznego. W wyniku tego w produkcji powstawały bardzo małe, okrągłe kryształki lodu. Po rozmrożeniu, twaróg wykazywał homogeniczną strukturę, mały wyciek i bardzo dobrą teksturę, zbliżoną do produktu niemrożonego.

Białka globularne poddane wysokim ciśnieniom ulegają początkowo asocjacji, a następnie agregacji i żelowaniu. Miozyna królika rozpuszczona w 0,5 M roztw. KCl o pH 6,0 nie ulega istotnym zmianom pod ciśnieniem do 70 MPa, a powyżej 210 MPa ulega agregacji już po 10 minutach [44]. W tworzeniu międzycząsteczkowych połączeń uczestniczą grupy SH1 i SH2 główek miozyny, natomiast ogon miozyny nie bierze w nich udziału, co wskazuje, że wysokie ciśnienia hamują proces helisowego sieciowania miozyny. Podobne zmiany pod wpływem wysokich ciśnień wykazuje ciężka meromiozyna, natomiast lekka meromiozyna nie podlega agregacji.

Znane zjawisko żelowania białek pod wpływem wysokich ciśnień (powyżej 300 MPa) może być wykorzystane w produkcji nowej generacji żywności z surimi rybnego. Do żelowania surimi słonego optymalne ciśnienie wynosi 3,0 kbary, a czas działania ok. 10 min. w temp. 0°C [35]. Wysokie ciśnienie (powyżej 1500 atm.) pozwala również teksturować białka sarkoplazmatyczne ryb [31], które są znane ze stosunkowo wysokiej termooporności na żelowanie.

Wysokie ciśnienia inaktywują większość enzymów występujących w żywności, jednak ich podatność na bardzo wysokie ciśnienia jest zróżnicowana. Kalpains I i II nie podlegają inaktywacji pod ciśnieniem 75-200 MPa działającym przez 5-10 min. Wyższe ciśnienia powodują ich częściową inaktywację, a ciśnienie 400 MPa i powyżej całkowitą inaktywację [5].

Warzywa (fasola, marchew, ziemniaki) pasteryzowane pod ciśnieniem 600 MPa zachowują prawie identyczną teksturę jak warzywa surowe (świeże), a niewielkie zmiany dotyczą jedynie barwy [7].

Mięso ryb poddane działaniu bardzo wysokich ciśnień podlega kompresji proporcjonalnej do wartości ciśnienia. Na przykładzie mięsa karpia poddanym ciśnieniu 196 MPa przez 2 godz. ustalono, że zmniejszenie objętości fazy wodnej wynosi ok. 7%, a pozostałych składników ok. 12%. Ze wzrostem ciśnienia i czasu jego działania rośnie stopień usieciowania białka i żelowanie mięsa. Mechanizm denaturacji białka jest zbliżony do tej jaka zachodzi pod wpływem ogrzewania przy czym najważniejszą rolę odgrywają międzycząsteczkowe oddziaływania hydrofobowe [10].

Wyższa podatność konektyny na fragmentyzację niż białek linii „Z” może stworzyć nowe możliwości w sterowaniu procesem dojrzewania mięsa. Destrukcja lizosomów, następująca już przy ciśnieniu powyżej 500 atm., może być wykorzystana do przyspieszenia procesu dojrzewania marynowanych ryb.

Wszystkie te wymienione przykłady świadczą o dużej możliwości wykorzystania wysokich ciśnień w kreowaniu tekstury żywności, chociaż ze względu na szczególne wymagania techniczne przy budowie linii przetwórczych, metoda ta jest trudna do szerszego upowszechnienia w przemyśle i traktowana raczej jako przeszłościowa.

Podsumowanie

Fizyczne metody teksturowania należą do najbardziej bezpiecznych z punktu widzenia zdrowotności żywności.

Metody operacyjne charakteryzują się dużą różnorodnością pod względem kształtowania tekstury i mogą być bezpośrednio powiązane z procesem technologicznym. Metody kompozycyjne powinny być stosowane wszędzie tam, gdzie obok poprawy tekstury zachodzi potrzeba uzupełnienia lub wzbogacenia właściwości odżywczych żywności.

Zastosowanie wysokiego ciśnienia hydrostatycznego pozwala przede wszystkim utrzymywać żywność bez naruszenia jej pierwotnej struktury, tzn. z możliwością zachowania naturalnej struktury surowca. Ponadto możliwość wybiórczego wykorzystania UHP w regulacji aktywności enzymatycznej wpływającej na teksturę, w żelowaniu białek, w ultraszybkim zamrażaniu żywności i in. pozwala przypuszczać, że metoda ta znajdzie szersze zastosowanie w przemyśle spożywczym.

LITERATURA

- [1] Aguilera J.M., Stanley D.W.: Food structuring. In: *Microstructural Principles of Food Processing & Engineering*, Elsevier Applied Science, London and New York. Chapter 4, 1990, 130-160.
- [2] Balny C., Hayashi R., Heremans K., Masson P. (eds): *High Pressure and Biotechnology*, Colloque Inserm/John Libbey Eurotext, **224**, 1992, 1-565.
- [3] Bridgeman P.W.: The coagulation of albumin by pressure. *J. Biol. Chem.*, **19**, 1914, 511-512.
- [4] Burges K.J., Coton G.: Production of textured foodstuffs based on milk proteins. In: *Food Proteins*, Edited by P.F. Fox and J.J. Condon, Applied Science Publ., London and New York, 1982, 211-224.
- [5] Deschamps O., Cottin P., Largeteau A., Demazeau G., Ducastaing A.: Incidence of high pressures on the kinetic parameters of the Ca^{2+} dependent thiol proteases (calpains) from rabbit skeletal muscle. In: *High Pressure and Biotechnology*, Eds. C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans & P. Masson, Colloque INSERM/John Libbey Eurotext Ltd., **224**, 1992, 175-177.
- [6] Endo K., Nagashima Y., Tanaka M., Taguchi T.: Effects of gas treatment on the thermal gelation of flying fish muscle proteins. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **58**, 1992, 2391-2395.
- [7] Eshtiaghi M.N., Stute R., and Knorr D.: High-pressure and freezing pretreatment effects on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes. *J. Food Sci.*, **59**, 6, 1994, 1168-1170.
- [8] Gajowiecki L., Lachowicz K., Aleksandrów W., Wojciechowska I.: Wpływ czasu masowania na teksturę szynek. W: *Wkład Nauk Rolniczych w Rozwój Gospodarczy Pomorza Zachodniego*. Materiały Sesji Naukowej, Akademia Rolnicza w Szczecinie, 23 września 1994, 222-225.

- [9] Hite B.H.: The effect of pressure on the preservation of milk. *Bull. West Virginia Univ. Agr. Expt. St.*, **58**, 1899, 15-35.
- [10] Iso S., Mizuno H., Ogawa H., Mochizuki Y., Mihori T., Iso N.: Physico-chemical properties of pressurized carp meat. *Fisheries Sci.*, **60**, 1994, 89-91.
- [11] Kanda Y., Aoki M.: Development of pressure-shift freezing method: Part. 1. Observation of ice crystals of frozen „Tofu”. In: *High Pressure Bioscience and Food Science*, ed. R. Hayashi, San-Ei Shuppan Co., Tokyo 1993.
- [12] Kelley J., Pressey R.: Studies with soybean protein and fiber formation. *Cereal Chem.*, **43**, 1966, 195-206.
- [13] Kinsella J.E.: Texturized proteins: fabrication, flavoring, and nutrition. *CRC Critic. Rev. in Food Sci. Nutr.*, **11**, 1978, 147-207.
- [14] Koj F.: *Podstawy technologii potraw*. WNT, Warszawa 1980.
- [15] Kołakowski E.: *Technologia mrożonych przetworów rybnych*. Wyd. Morskie, Gdańsk 1984.
- [16] Kołakowski E.: *Technologia farszów rybnych*. PWN, Warszawa 1986.
- [17] Kołakowski E.: Technologia surimi z ryb. W: *Technologia Surimi z Surowców Zwierzęcych*, Redakcja: Jacek Kijowski. Materiały Pierwszego Seminarium Krajowego z Udziałem Referentów Zagranicznych, Katedra Technologii Produktów Drobiarskich Akademii Rolniczej w Poznaniu, 28-29 kwiecień, 1994, 9-27.
- [18] Kołakowski E., Grzegorzewski W., Wianecki M., Radziun K.: Próba wykorzystania półfabrykatów z kryła do produkcji żywności teksturowanej metodą gorącego wytłaczania. *Przem. Spoż.*, **11-12**, 1980, 442-444.
- [19] Kołakowski E., Lachowicz K., Kamiński L.: Sposób wytwarzania formowanych hamburgerów rybnych. *Urząd Pat. P-199779*. Data zgłoszenia 21.06.1977.
- [20] Kołakowski E., Wianecki M.: Sposób teksturowania rozdrobnionego mięsa głównie rybnego. *Urz. Pat. RP*, Patent nr 299515. Data zgłoszenia 1993-06-28. Uprawniony z patentu: Akademia Rolnicza w Szczecinie, 1993.
- [21] Kurosawa H., Katano T.: Frozen tempura. *Jpn. Tokkyo Koho* 79 44,729 (Cl. 23L1/76), 27 Dec. 1979, *Appl. 77/35*, 238, 31 Mar 1977; *Nisshin Oil Mills., Ltd.*, 1979, 3.
- [22] Lachowicz K., Kołakowski E.: Application of carbon dioxide to texturization of fish hamburgers. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **3/44**, No. 3. 1994, 26-33.
- [23] Lachowicz K., Kołakowski E.: Effects of selected food additives on fish hamburger texturisation with carbon dioxide gas. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **3/44**, 4, 1994, 175-179.
- [24] Lawrence R., Consolation F., Jelen P.: Formation of structured protein foods by freeze texturization. *Food Technol.*, **3**, 1986, 77-82, 90.
- [25] Lawrence R.A., Jelen P.: Freeze-induced fibre formation in protein extracts from residues of mechanically separated poultry. *Food Microstr.*, **1**, 1982, 91-97.
- [26] Lee Ch.M.: Surimi manufacturing and fabrication of surimi-based products. *Food Technol.*, **3**, 1986, 115-124.
- [27] Mackie I.M., Thomson B.W.: The preparation and assessment of spun fibres from fish proteins using a wet spinning process. *J. Fd Technol.*, **17**, 1982, 483-498.
- [28] Martin R.E., Collette R.L. (eds.): *Engineered Seafood Including Surimi*. Noyes Data Corporation, Park Ridge 1990.
- [29] Morgan J.R.: Feasibility study: extruding foods into liquid freon freezer. Technical Report E.J. du Pont de Nemours and Co., No. KSS-7700, 1974, 1-5
- [30] O'Connor (ed): *Extrusion Technology for the Food Industry*. Elsevier Applied Science, London and New York 1986.

- [31] Okazaki E., Nakamura K.: Factors influencing texturization of sarkoplasmic protein of fish by high pressure treatment. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **58**, 1992, 2197-2206.
- [32] Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Grabowskiego: *Technologia mięsa drobiowego*. WNT, Warszawa 1993.
- [33] Praca zbiorowa pod redakcją Wincentego Pezackiego: *Technologia Mięsa*. WNT, Warszawa 1981.
- [34] Scheld D.: Cooked ham manufacture. Pumping, mechanical treatment and heat treatment. *Fleischwirtschaft*, **66**, 1986, 1022-1026.
- [35] Shoji S., Saeki H., Wakemeda A., Nakamura M., Nonaka M.: Gelation of salted paste of Alasca pollock by high pressure and change in myofibrillar protein in it. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **56**, 1990, 2069-2076.
- [36] Siegel D.G., Theno D.M., Schmidt G.R., Norton H.W.: Meat massaging; the effects of salt, phosphate and massaging on cooking loss, binding strength and exudate composition in selectioned and formed ham. *J. Food Sci.*, **43**, 1978, 331-333.
- [37] Sullivan J.F., Craig J.C., Dekazos E.D., Leiby S.M., Konstance R.P.: Dehydrated blueberries by the continuous explosion-puffing process. *J. Food Sci.*, **47**, 1982, 445-448.
- [38] Sullivan J.F., Craig J.C., Konstance R.P., Egoville M.J., Aceto N.C.: Continuous explosion-puffing of appels. *J. Food Sci.*, **45**, 1980, 1550-1558.
- [39] Szcześniak A.: Tekstura W: *Food Product Development*. Opracowywanie nowych produktów żywnościowych. Praca zbiorowa pod redakcją Janusza Czapskiego, Wyd. AR w Poznaniu, 1995, 195-206.
- [40] Tanikawa E.: *Marine products in Japan*, Koseisha-Koseikaku Company, Tokyo 1971.
- [41] Tyszkiewicz I.: Wpływ czasu masowania na zdolność sorpcyjną mięsa i skład wycieku. W: *Jakość żywności - uwarunkowania surowcowe i technologiczne*, XXIV Sesja Naukowa Komitetu Technologii i Chemii Żywności PAN, Wrocław 29-30 czerwca 1993, Referaty, 138-141.
- [42] Tyszkiewicz I., Olkiewicz M.: Contribution to mechanisms of meat softening in the plasticization processes. *Roczniki IPMiT*, **XXXI**, 1994, 31-39.
- [43] Wianecki M.: Otrzymywanie ekstrudatów skrobiowych z mięsem ryb. Praca doktorska wykonana w Katedrze Technologii Żywności Akademii Rolniczej w Szczecinie. 1995, 1-61.
- [44] Yamamoto K., Miura T., Yasui T.: Gelation of myosin filaments under high hydrostatic pressure. *Food Structure*, **9**, 1990, 269-277.

PHYSICAL METHODS OF FOOD TEXTURIZATION

Summary

The following methods of compositional and operational food texturization have been reviewed. (A) Compositional methods (based on supplement connection of food ingredients): 1) texturization by combining of materials with different rheological properties, 2) filling, 3) lamination. (B) Operational methods (based on formation of new textural profile due to defined technological operations): 1) mechanical tenderisation, 2) tumbling, 3) crushing and mixing of frozen blocks, 4) flake cutting, 5) directional freezing, 6) pressing of frozen grinded meat into blocks ready for cutting into portions, 7) thermal gelation of pressed meat blocks, 8) battering of „tempura” style, 9) cold extrusion in liquid refrigerated gases, 10) thermal extrusion, 11) gas-injection texturization, 12) fabrication of texturized meat analogues from surimi, 13) preparation of spun fibres, 14) explosion puffing, 15) ultra high pressure and others. ☒