

# Zastosowanie techniki wysokich ciśnień w technologii żywności, a szczególnie w przetwórstwie mięsa

ELŻBIETA HAĆ-SZYMAŃCZUK, JAN MROCZEK\*

Zakład Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności Katedry Biotechnologii, Mikrobiologii i Oceny Żywności,  
\*Zakład Technologii Mięsa Katedry Technologii Żywności Wydziału Technologii Żywności SGGW,  
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-787 Warszawa

Hać-Szymańczuk E., Mroczek J.

## Applying high pressure techniques in food technology, and meat processing in particular

### Summary

The review presents possible ways of applying high pressure techniques in the food industry as a method of preserving food. Applying UHP to a wide range of processed meats in combination with vacuum packaging and cooling room storage appears very promising, especially in the case of products which are exposed to recontamination during portioning and slicing.

**Keywords:** food preservation, high pressure, microorganisms

W celu sprostania wymaganiom rynku, przemysł żywnościowy musi ciągle zwiększać bezpieczeństwo oraz polepszać jakość i trwałość przechowalniczą swoich produktów (31). Konsument oczekuje, że zastosowane metody przetwarzania i utrwalania spowodują w produkcie jak najmniejsze zmiany i zachowają zalety organoleptyczne surowca (naturalny zapach, smak, świeży wygląd). Coraz częściej mówi się o żywności minimalnie lub delikatnie przetworzonej, którym to terminem określa się zwykle produkt pod względem cech bardzo zbliżony do surowca, zabezpieczony przed zepsuciem na czas jego dostarczenia od producenta do konsumenta (co najmniej 4-7 dni) (18).

Najpowszechniej stosowanymi fizycznymi metodami utrwalania żywności są: zamrażanie oraz pasteryzacyjna i sterylizacyjna obróbka cieplna skojarzona z użyciem hermetycznych opakowań, tj. przede wszystkim puszek, a także wielowarstwowych, termokurczliwych folii. Te metody utrwalania, na zróżnicowanym poziomie, zapewniają mikrobiologiczne bezpieczeństwo żywności. Jednak produkt poddany działaniu ciepła rzadko zachowuje zalety surowca (22).

Ostatnio pojawiło się kilka nowych, fizycznych metod konserwowania żywności. Wielu autorów (5, 18, 22, 31) wśród nietermicznych metod utrwalania żywności wymienia: napromienianie żywności, homogenizację wysokociśnieniową, pulsujące pole elektryczne, pulsujące pole magnetyczne, pulsujące światło, ultrawysokie ciśnienia (UHP).

### Rozwój technologii wysokich ciśnień

Technologia wysokich ciśnień jest stosunkowo młodą dziedziną wiedzy. Jej początki sięgają XIX wieku. Bert H. Hite w 1897 r. poszukując alternatywnej do sterylizacji cieplnej metody utrwalania, poddał działaniu wyso-

kiego ciśnienia sok owocowy, mleko i mięso. W mleku, na które działano w temperaturze pokojowej ciśnieniem 680 MPa, liczba drobnoustrojów zmniejszyła się z  $10^7$  komórek do  $10^1$ - $10^2$ /cm<sup>3</sup>. Odchylenia jakościowe produktów poddanych działaniu wysokiego ciśnienia były, w porównaniu z nie poddanymi ciśnieniu, mniej wyraźne niż gdy zastosowano inne metody utrwalania (16).

Chociaż od pierwszego zastosowania wysokiego ciśnienia w celu utrwalenia żywności minęło ponad sto lat, dopiero teraz można na rynku spotkać produkty konserwowane tą metodą. Asortyment produktów jest duży i obejmuje (18, 35): soki, konfitury, desery, koncentraty owocowe (Japonia), puree z awokado, świeżo wyciskane soki, ostrygi (USA), produkty mleczne (Wielka Brytania), pasztety z gęsich wątróbek, świeże soki (Francja, Portugalia), produkty mięsne – szynka gotowana (Hiszpania) oraz preparaty owocowe (Niemcy).

Już na początku XX wieku zaobserwowano, że pod wysokim ciśnieniem hydrostatycznym białka ulegają denaturacji, a mikroorganizmy dezaktywacji. Pomysł, aby wykorzystać te zjawiska do przetwarzania i utrwalania żywności, nasunęło ich podobieństwo do zjawisk zachodzących w wysokiej temperaturze (34). Przy działaniu wysokich ciśnień zmiany w produkcie zachodzą głównie wskutek zmniejszenia się odległości między cząsteczkami i zachodzącymi między nimi interakcjami. Zgodnie z regułą przekory Le Chateliera i Brauna, procesy, które prowadzą do zmniejszenia objętości molowej składnika pod wpływem ciśnienia, przebiegają łatwo i są odwracalne (22, 30, 35). Wysokie ciśnienie oddziałuje na duże cząsteczki (polimery), takie jak: białka, enzymy i polisacharydy, ponieważ ich objętość molowa maleje, podczas gdy cząsteczki mniejsze: aminokwasy, witaminy czy substancje smakowe pozostają nienaruszone (3, 22).

Poddając żywność krótkotrwałemu działaniu ciśnienia od 100 do 1000 MPa (czas działania wynosi zwykle kilka minut) można ją wysterylizować, bez niekorzystnego wpływu ciepła na produkt, środków chemicznych czy promieniowania (9, 35).

Produkty żywnościowe poddane działaniu wysokiego ciśnienia można przechowywać w niskiej temperaturze bez ich zamrażania. Zjawisko to związane jest z obniżeniem się punktu zamarzania wody pod wpływem ciśnienia:  $-5^{\circ}\text{C}$  przy 70 MPa,  $-10^{\circ}\text{C}$  przy 125 MPa oraz  $-20^{\circ}\text{C}$  przy 200 MPa (6). Czas rozmrażania mięsa głęboko zamrożonego pod ciśnieniem 200 MPa w temp.  $5^{\circ}\text{C}$  może zostać skrócony nawet o połowę w porównaniu do konwencjonalnych metod rozmrażania (11). Rozmrażając ryby w temperaturze niższej od  $-10^{\circ}\text{C}$  przy ciśnieniu 200 MPa, osiągnąć można zwiększenie prędkości rozmrażania, zmniejszenie strat rozmrażalniczych oraz poprawę jakości mięsa (24).

Zasada metody jest stosunkowo łatwa do wyjaśnienia. Produkt spożywczy, umieszczony w komorze ciśnieniowej wykonanej ze specjalnej stali, poddawany jest ciśnieniu hydrostatycznemu rzędu od 50 do 1000 MPa. Ciśnienie może być wywierane jednym z dwóch sposobów. W systemie bezpośrednim, hydraulicznie napędzany tłok porusza się bezpośrednio w komorze ciśnieniowej. W systemie pośrednim, medium przenoszące ciśnienie jest włączane do komory ciśnieniowej za pomocą pompy (5, 9). Zastosowanie wysokich ciśnień jest procesem nietermicznym i dlatego jego użycie nie powoduje tworzenia się substancji toksycznych (jak np. podczas wędzenia lub grillowania) oraz odchylenia zapachu i smaku. Produkty zapakowane w elastyczną folię zostają pod wpływem zastosowanego ciśnienia mniej lub bardziej zagęszczone, przestrzenie wypełnione gazem znikają, a podczas późniejszej redukcji ciśnienia zostaje odtworzona ich pierwotna forma. Obróbka przy użyciu wysokiego ciśnienia przebiega niezależnie od rodzaju produktu i nie powoduje gradientów, w odróżnieniu od ogrzewania w wysokiej temperaturze. Równocześnie ciśnienie działa poprzez medium (którym najczęściej jest woda) ze wszystkich stron na materiał, niezależnie od jego kształtu (25).

Wielu autorów (9, 18, 27) podaje, że dzięki zastosowaniu wysokiego ciśnienia następuje w żywności inaktywacja drobnoustrojów i enzymów, zmiana właściwości funkcjonalnych, zachowane zostają natomiast cechy smakowo-zapachowe.

### Wpływ wysokiego ciśnienia na drobnoustroje

Spośród wszystkich gałęzi przemysłu żywnościowego najbardziej uzasadnioną potrzebę udokumentowania bezpieczeństwa swoich wyrobów ma przemysł mięsny (20). Surowe mięso łatwo ulega zepsuciu (rozkładowi). Czas jego przechowywania jest ograniczony, głównie ze względu na rozwój mikroflory bakteryjnej (8). W próżniowo pakowanych wyrobach wędliniarskich, w wyniku zahamowania rozwoju tlenowej mikroflory, rozwijać się mogą względnie beztlenowe drobnoustroje psychrotrofowe (bakterie fermentacji mlekowej), nierzadko chorobotwórcze (*Clostridium botulinum* typ E, *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* i *Yersinia enterocolitica*) (21).

Wysokie ciśnienie hydrostatyczne niszczy formy wegetatywne drobnoustrojów. Choć mechanizm jego dzia-

łania nie został jeszcze do końca wyjaśniony, decydującą rolę odgrywają zmiany morfologiczne komórek, tj. ich deformacja i zmiana struktury błony komórkowej, zmiany w jądrze komórkowym oraz aktywności enzymów komórkowych (5, 8). Stopień inaktywacji drobnoustrojów zależy od takich czynników, jak: rodzaj mikroorganizmu, wysokość ciśnienia, temperatura i czas procesu, pH i składniki żywności lub środowiska dyspersyjnego (30, 34).

Pod względem wrażliwości na wysokie ciśnienie mikroorganizmy podzielono na trzy grupy (5, 22): bakterie Gram-ujemne, które ulegają inaktywacji przy ciśnieniu 300 MPa i wyższym, grzyby (drożdże i pleśnie) – przy 400 MPa oraz bakterie Gram-dodatnie – ulegające inaktywacji przy ciśnieniu 600 MPa i wyższym.

Komórki drożdży znajdujące się w stacjonarnej fazie wzrostu są bardziej odporne na ciśnienie niż komórki drożdży znajdujące się w fazie logarytmicznej. Ponadto komórki małe są bardziej odporne niż komórki duże (16).

Wyjątkowo odporne są przetrwalniki, można je zniszczyć tylko w fazie kiełkowania (31). Przetrwalniki bakterii i wirusy można inaktywować, stosując bardzo wysokie ciśnienie (ponad 1000 MPa) lub równoczesne ogrzewanie (5, 22). Pod ciśnieniem 400 MPa i w temperaturze  $50^{\circ}\text{C}$  uzyskuje się 1000 razy większy efekt sterylizacji niż działając tym samym ciśnieniem w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$  (26). Dobre efekty inaktywacji form wegetatywnych uzyskuje się w temperaturze  $50-70^{\circ}\text{C}$  i prawdopodobnie  $0^{\circ}\text{C}$ , a przetrwalników  $80-100^{\circ}\text{C}$  (30). Poddając zaszczepiony mikroorganizmami homogenat mięsa wieprzowego o pH 6-7 w temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$  przez 10 minut działaniu ciśnienia 400 MPa stwierdzono, że drobnoustroje, takie jak: *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*, *Saccharomyces cerevisiae* i *Candida utilis* ulegają redukcji o 6 cykli logarytmicznych. Natomiast *Micrococcus luteus* i *Streptococcus faecalis* ulegają redukcji w podobnym stopniu dopiero przy zastosowaniu ciśnień rzędu 500-600 MPa (29). Do zniszczenia bakterii Gram-dodatnich potrzebne jest ciśnienie wyższe od 600 MPa, np. *Staphylococcus aureus* wymaga w temperaturze pokojowej ciśnienia 800 MPa (2). Zadowalające rezultaty stosowania wysokiego ciśnienia osiągnięto w przypadku wędzonych schabów i sucho peklowanych kiełbas – przy ciśnieniu 600-800 MPa osiągnięto redukcję liczby bakterii *E. coli* o 5 rzędów wielkości, bez wpływu na jakość sensoryczną kiełbas, lecz z objawami „ugotowania” wędzonych schabów (31).

Jednym z groźniejszych patogenów występujących w produkcji, obrocie i konsumpcji mięsa oraz jego przetworów jest względnie beztlenowa Gram-dodatnia laseczka *Listeria monocytogenes* (28). Należy ona do bakterii stosunkowo wrażliwych na podwyższoną temperaturę i zarówno zabiegi termiczne stosowane podczas przygotowywania posiłków w domu (gotowanie, smażenie, duszenie, pieczenie), jak i przemysłowa obróbka cieplna wędlin prowadzą do jej całkowitej inaktywacji. Problem stanowią jednak zanieczyszczenia wtórne, do których dochodzi podczas przemysłowego plasterkowania i pakowania peklowanych, pasteryzowanych przetworów mięsnych (32).

*Listeria monocytogenes* jest obecna w produktach mięsnych w liczbie poniżej 100 jtk/g produktu. Jednak zarów-

no niska temperatura przechowywania (2°C), jak i np. zredukowane warunki tlenowe w żywności pakowanej próżniowo, pozwalają jej się namnażać do wykrywalnego poziomu (33). Podobne wyniki uzyskali wcześniej inni autorzy (28), którzy badali pakowaną polędwicę. Przed pakowaniem była ona wolna od *L. monocytogenes*, natomiast po 36 dniach przechowywania w temperaturze 2°C zidentyfikowano 4,4% próbek z obecnością tej bakterii w badanej partii.

W próbkach surowego mięsa, stosując ciśnienie 400 MPa przez 15 min., stwierdzono redukcję liczby listerii o ponad 5 cykli logarytmicznych, natomiast w peklowanej i gotowanej szynce (przy takich samych parametrach ciśnienia i czasu) liczba listerii zmniejszyła się o ponad 6 cykli logarytmicznych, przy zmienionych cechach organoleptycznych produktu (32).

Badając możliwość zastosowania wysokich ciśnień do inaktywacji larw *Trichinella spiralis* obecnych w wieprzowinie zaobserwowano, że w przypadku użycia ciśnienia 200 MPa w temperaturze 5-25°C, przez 10-30 min. zostały one całkowicie zainaktywowane. Tym samym metoda ta może być przydatna do unieszkodliwiania larw *T. spiralis* (25).

W badaniach własnych, poddając działaniu ciśnienia 600 MPa/10 min. szynkę gotowaną (tradycyjną – nisko wydajną), zaobserwowano wyraźny efekt hamowania rozwoju drobnoustrojów. Wzrost bakterii mezofilnych i psychrofilnych nastąpił dopiero po 6 tygodniach przechowywania próbek szynki w warunkach chłodniczych, a bakterie kwaszące nie pojawiły się w czasie 8-tygodniowego okresu przechowywania (27). Natomiast zastosowanie do próżniowo zapakowanej surowej polędwicy wędzonej ciśnienia 500 MPa/30 min. w podwyższonej do 40°C temperaturze medium skutecznie hamowało rozwój bakterii mezofilnych, psychrofilnych, kwaszących, enterokoków oraz bakterii z grupy *coli* (14).

### Wpływ wysokiego ciśnienia na białka i enzymy

Od lat badany jest efekt, jaki powoduje działanie wysokiego ciśnienia na białka i enzymy. W zakresie ciśnień 100-400 MPa występują zmiany konformacyjne, a także procesy dysocjacji i asocjacji, które mogą inaktywować enzymy lub zwiększać ich aktywność (22). Z licznych danych wynika, że takie enzymy, jak: peroksydaza, lipooksygenaza, lipaza (z tkanki mięśniowej ryb), aminopeptydaza i karboksypeptydaza (z tkanek mięśni bydłowych) i enzymy pektynolityczne były pod wpływem wysokiego ciśnienia częściowo inaktywowane. Wielu autorów (7, 19) podaje, że zastosowanie wysokich ciśnień powoduje w mięsie surowym uwolnienie enzymów proteolitycznych z lizosomów komórkowych i prowadzi do przyspieszonej proteolizy białek, wzrostu ich rozpuszczalności oraz rozluźnienia struktury tkankowej.

Na największe zmiany narażona jest czwartorzędowa struktura białek, przy czym zmiany te mogą być odwracalne lub nieodwracalne. Polipeptydy przy ciśnieniach poniżej 150 MPa ulegają często degradacji, której towarzyszy zmniejszenie objętości nawet do 500 ml/mol. Przy ciśnieniach powyżej 200 MPa zmiany struktury trzeciorzędowej mogą mieć charakter odwracalny, natomiast zmiany struktury drugorzędowej nieodwracalny (27). Wielu autorów (3, 8, 10) podaje, że wysokie ciśnienie osłabia

interakcje hydrofobowe, natomiast wzmacnia wiązania wodorowe. Wiązania kowalencyjne występujące w białkach oraz ich pierwszorzędowa struktura pozostają najmniej uszkodzone w wyniku działania wysokiego ciśnienia. Po obróbce produktu wysokim ciśnieniem może nastąpić – jako skutek przemian strukturalnych – poprawa strawności i biodostępności białek (5).

Liczne badania (4, 17) wykazały, że działanie ciśnień rzędu 100-200 MPa w temperaturze pokojowej powoduje: dysocjację oligomerycznej struktury białek w kierunku monomerów, częściowe rozfałdowanie i denaturację monomerów, agregację białek, żelowanie przy dostatecznej koncentracji białek i wysokości ciśnienia oraz wzrost ilości międzycząsteczkowych wiązań –S–S–.

Poddając działaniu ciśnienia 150 i 500 MPa przez 5 minut pakowane próżniowo plastry mięsna najdłuższego zauważono, że w mięsie nastąpił wzrost ogólnej ilości białek rozpuszczalnych, a wśród nich łańcuchów o dużej masie cząsteczkowej (7). Oceniając wpływ wysokich ciśnień na rozpuszczalność kolagenu w mięsie gotowanym stwierdzono, że ciśnienia rzędu 100 i 200 MPa nie zmieniają jego termicznej oporności, natomiast ciśnienie 300 MPa działające przez 5 i 10 min. powoduje wzrost ogólnej ilości kolagenu rozpuszczalnego (20). Poddanie działaniu ciśnienia 500 MPa/30 min. w temperaturze 40°C próbek surowej polędwicy wędzonej powodowało zmniejszenie zawartości białek rozpuszczalnych (sarkoplazmatycznych i miofibrylarnych) w porównaniu do próbek kontrolnych, co świadczy o częściowej denaturacji białek mięśniowych podczas ciśnieniowania (12).

Surowe mięso poddane działaniu wysokiego ciśnienia (ok. 100 MPa, 30-35°C, 1-4 min.) przed osiągnięciem stężenia poubojowego ulega skurczowi i twardnieje, jednak po ugotowaniu staje się bardziej kruche i soczyste oraz ma niższe wartości siły cięcia niż mięso kontrolne. Świadczyć to może o daleko posuniętej destrukcji sarkomerów w mięśniach oraz o rozpadzie białek miofibrylarnych w wyniku działania ciśnienia (3, 8, 34).

W przypadku mięsa w stanie *post-rigor* nie zaobserwowano skruszającego efektu stosowania wysokiego ciśnienia (150 MPa, 30°C) nawet przez kilka godzin. Uzyskano jedynie poprawę tekstury mięsa, które wcześniej uległo skurczowi chłodniczemu (23, 34). Lepsze efekty w odniesieniu do takiego mięsa uzyskano stosując podwyższoną temperaturę w czasie działania ciśnienia (150 MPa, 60°C) (23). W przypadku zastosowania wysokiego ciśnienia (500 MPa/30 min., temperatura 40°C) do próżniowo pakowanej surowej polędwicy wędzonej, niekorzystnym efektem okazało się istotne, nienaturalne rozjaśnienie barwy wyrobu oraz wzrost ilości wycieku przechowalniczego (13).

### Działanie wysokiego ciśnienia na lipidy

Utlenianie lipidów jest jedną z głównych przyczyn pogarszania się jakości długo przechowywanego mięsa i produktów mięsnych, zwłaszcza tych, które zawierają znaczące ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych (34). Stwierdzono jednak, że poddanie kwasów tłuszczowych działaniu wysokiego ciśnienia powoduje znaczne spowolnienie procesu ich autooksydacji (5). Jednak w wieprzowinie i mięsie ryb szybkość reakcji utleniania tłuszczu była większa, począwszy od pewnej wielkości ciśnienia

(ok. 400 MPa). W przypadku krojonych sardynek zastosowanie ciśnienia 100-400 MPa przez 30 min. spowodowało deaktywację lipazy, co ochroniło je przed akumulacją wolnych kwasów tłuszczowych. Jednak ubocznym efektem tego procesu było wzmożone utlenianie lipidów (2). Jako przyczynę tego zjawiska wymienia się uwalnianie jonów metali z połączeń kompleksowych, co katalizuje procesy utleniania (5). Poszukując optymalnej wartości ciśnienia i czasu jego działania w celu zapobieżenia zmianom barwy oraz powstrzymania procesu oksydacji w pakowanym próżniowo pieczonym schabie stwierdzono, że traktowanie schabu ciśnieniem 119,48 MPa w czasie 22,75 min. daje w tym przypadku najlepsze efekty (1).

### Podsumowanie

Wiele przesłanek przemawia za tym, że zastosowanie wysokich ciśnień w przetwórstwie mięsa da dobre efekty: uzyska się bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktów, korzyści ekonomiczne, wynikające ze skrócenia procesu technologicznego, oszczędność energii w porównaniu z metodami termicznymi oraz utrzymana zostanie lub polepszona jakość produktów (11).

Oprócz wpływu wysokich ciśnień na jakość poszczególnych produktów, dodatkowych badań wymaga sama technologia oraz wyposażenie techniczne (11). Podstawowymi wadami tej metody utrwalania jest okresowość produkcji, mała wydajność oraz wysoki koszt komór ciśnieniowych (27, 30). Z drugiej strony, zalety, takie jak: ograniczone zmiany termiczne w produkcji, krótki czas trwania procesu, możliwość automatyzacji, niewielkie zapotrzebowanie na energię (ok. 20 kWh/t produktu) – otwierają nowe możliwości w dziedzinie utrwalania i kreowania produktów spożywczych (35). Koszt obróbki 1 kg wyrobu wysokim ciśnieniem wynosi 0,03-0,08 euro (31).

Biorąc pod uwagę hamujący wpływ wysokich ciśnień na rozwój drobnoustrojów, ale jednocześnie niekorzystne oddziaływanie na barwę wędzonki surowej oraz na wzrost wycieku w opakowaniu gotowego wyrobu, należałoby tę metodę utrwalania stosować do wędzonek tradycyjnych (tj. o wydajności poniżej 100%), poddanych przynajmniej łagodnej obróbce termicznej (do temperatury ok. 60°C) (13-15).

W niektórych krajach Unii Europejskiej (Francja, Niemcy, Wielka Brytania) przeprowadzono badania ankietowe wśród konsumentów celem określenia ich gotowości do zakupu produktów poddanych działaniu wysokiego ciśnienia. Chęć taką wyraziło 71% Francuzów, 74% Niemców oraz 55% Anglików. Wzrastająca świadomość konsumentów w odniesieniu do korzyści płynących ze stosowania tej metody utrwalania żywności (średni poziom poparcia – 67%) może stanowić dla producentów interesujące wyzwanie (35).

### Piśmiennictwo

1. Cava R., Mingoarranz F. J., Carrasco J. A.: Color and lipid oxidation changes in dry-cured loins treated with high hydrostatic pressure: development of a response surface model to optimize the combination of pressure and time of treatment. 48<sup>th</sup> ICoMST, Rome 2002, 1, 178-179.
2. Cheftel J. C.: Effect of high hydrostatic pressure on food constituents: an overview. High Pressure Biot., Coll. INSERM, Libbey Eurotext Ltd. 1992, 224, 195-210.
3. Cheftel J. C., Ciulioi J.: Effect of high pressure on meat: a review. Meat Sci. 1997, 46, 211-236.
4. Cheftel J. C., Dumay E.: In The Role of Water in Foods. Wyd. D. S. Reid, Chapman, New York 1997.

5. Dehne L. I., Pfister M. K.-H., Bogl K. W.: Verfahren zur Haltbarmachung. Fleischwirtschaft 2000, 81, 41-45.
6. Deuchi T., Hayashi R.: Pressure Processed Food-Research and Development, San-Ei Publ. Co., Kyoto 1990, 37-51.
7. Drobisz-Kopydłowska D.: Wpływ wysokich ciśnień na rozpuszczalność białek mięsa wieprzowego. Mat. XXVII Sesji Nauk. KTiChŻ PAN, Szczecin 1996, s. 182-183.
8. Drobisz-Kopydłowska D.: XLII Międzynarodowy Kongres Nauki o Mięsie i Technologii w Lillehammer. Wpływ wysokich ciśnień na żywność. Gosp. Mięsna 1997, 49, 32-33.
9. Drozdowski R., Majewski J.: Zastosowanie wysokich ciśnień w utrwalaniu żywności. Przegl. Gastron. 2000, 54, 37-38.
10. Galazka V. B., Dickinson E., Ledward D. A.: Influence of high pressure processing on protein solutions and emulsions. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 2000, 5, 182-187.
11. Haack E., Heinz V.: Mit Hochdruckbehandlung die Lebensmittelsicherheit verbessern. Fleischwirtschaft 2001, 81, 119-123.
12. Hać-Szymańczuk E.: Wpływ wysokiego ciśnienia na rozpuszczalność białek i trwałość surowej polędwicy wędzonej. Mat. XXXIV Sesji Nauk. KNoŻ PAN, Wrocław 2003, s. 192.
13. Hać-Szymańczuk E., Waśkiewicz S., Mroczek J., Windyga B., Górecka K., Fonberg-Broczek M., Porowski S.: Wpływ wysokiego ciśnienia na wybrane cechy jakościowe surowej polędwicy wędzonej. Roczn. Inst. Przem. Mięsn. Tuszcz. 2003a, 40, 101-110.
14. Hać-Szymańczuk E., Waśkiewicz S., Mroczek J., Windyga B., Ścieżyńska H., Fonberg-Broczek M., Porowski S.: Wpływ wysokiego ciśnienia na jakość i trwałość surowej polędwicy wędzonej z różną ilością substancji pektynujących. Medycyna Wet. 2003b, 59, 634-638.
15. Hać-Szymańczuk E., Mroczek J.: Wpływ składu solanki, temperatury dogrzenia oraz działania wysokiego ciśnienia na jakość polędwicy sopockiej. Post. Techn. Przetw. Spoż. 2004, 14/25, 16-19.
16. Hamada K., Shimada S.: High Pressure Science for Food. San-Ei Publ. Co., Kyoto 1991, s. 181-188.
17. Heremans K., Van Camp J., Huyghebaert A.: High pressure effects on protein. Fundamentals of Food Proteins and their Applications in Foods. Ed. A. Paraf. S. Damodaran, Marcel Dekker, New York 1997, s. 473-502.
18. Hugas M., Garriga M., Monfort J. M.: New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. 48<sup>th</sup> ICoMST, Rome 2002, 1, 85-94.
19. Kolakowski P., Reys A., Babuchowski A.: Przydatność wysokich ciśnień w utrwalaniu i przetwarzaniu żywności. Przem. Spoż. 1994, 48, 108-111.
20. Korzeniowski W., Jankowska B., Kwiatkowska A.: Wpływ wysokich ciśnień na tkankę łączną. Mat. XXVII Sesji Nauk. KTiChŻ PAN, Szczecin 1996, s. 171.
21. Leszczyńska-Fik A., Fik M.: Jakość mikrobiologiczna próżniowo pakowanych wędlin plasterkowanych. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość 2002, 9, 52-60.
22. Lewicki P. P.: Tendencje w rozwoju technologii żywności. Przem. Spoż. 1998, 52, 33-35.
23. Macfarlane J. J., McKenzie I. J., Turner R. H.: Pressure-heat treatment of meat: changes in myofibrillar proteins and ultrastructure. Meat Sci. 1986, 17, 161-176.
24. Murakami T., Kimura I., Yamagishi T., Yamashita M., Sugimoto M., Satake M.: Thawing of frozen fish by hydrostatic pressure. High Pressure Biot. 1992, 224, 329-331.
25. Nöckler K., Heinz V., Lemkau K., Knorr D.: Inaktivierung von Trichinella spiralis in Schweinefleisch durch Hochdruckbehandlung. Fleischwirtschaft 2001, 82, 85-88.
26. Patterson M. F., Quinn M., Simpson R., Gilmour A.: The sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate buffered saline and foods. J. Food Prot. 1995, 58, 524-529.
27. Pietrzak D., Mroczek J.: Zastosowanie wysokich ciśnień w przemyśle mięsnym. Przem. Spoż. 2002, 56, 38-41.
28. Saide-Albornoz J. J., Knipe L. C., Murano E. A., Beran G. W.: Contamination of pork carcasses during slaughter, fabrication and chilled storage. J. Food Prot. 1995, 58, 993-997.
29. Shigehisa T., Ohmori T., Saito A., Taji S., Hayashi R.: Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. Int. J. Food Microbiol. 1991, 12, 207-216.
30. Skrabka-Blotnicka T.: Wpływ wysokich ciśnień na mięso. Żywność. Technologia. Jakość 1997, 4, 67-74.
31. Søltøft-Jensen J., Stoumann Jensen J.: New equipment for meat manufacturing and minimal processing-existing and potential uses. 47<sup>th</sup> ICoMST, Kraków 2001, 1, 56-59.
32. Szczawiński J., Pęcunek J., Fonberg-Broczek M., Arabas J., Szczawińska M.: Możliwość zastosowania wysokich ciśnień do inaktywacji L. monocytogenes w mięsie i przetworach mięsnych. Magazyn Wet. 1995, 4, 516-519.
33. Szymańska L., Mędrala D.: Listeria monocytogenes w mięsie, produktach mięsnych i środowisku przetwórstwa mięsnego. Medycyna Wet. 2003, 59, 18-22.
34. Tyszkiewicz I.: Perspektywy ciśnieniowania w technologii mięsa. Gosp. Mięsna 1997, 49, 26-30.
35. Volker H.: Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln. Fleischwirtschaft 2003, 83, 106-110.

Adres autora: dr inż. Elżbieta Hać-Szymańczuk, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-787 Warszawa; e-mail: hac@alpha.sggw.waw.pl