

OCENA PRZYDATNOŚCI TECHNOLOGII WYSOKOCIŚNIENIOWEJ DO KONSERWOWANIA MIĘSA. STUDIUM PRZYPADKU

Aleksander J. Rostocki¹⁾, Stanisław Ptasznik²⁾, Halina Makala²⁾, Rafał Tarakowski¹⁾

¹⁾Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Zakład VI Badań Wysokociśnieniowych,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, arostock@if.pw.edu.pl

²⁾Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego,
Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu, ul. Jubilerska 4, 04-190 Warszawa

Streszczenie

Przedmiotem badań była ocena przydatności technologii wysokociśnieniowej do celów konserwacji mięsa surowego. Próbkki surowego mielonego mięsa wołowego poddawane były działaniu ciśnienia o wartości 600 MPa. Czas działania wysokiego ciśnienia na próbki mięsa wołowego wynosił odpowiednio: 1, 10, 15 i 20 minut, po czym oceniano ogólną liczbę drobnoustrojów mezofilnych w 1g. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istotny spadek populacji drobnoustrojów po 10 minutach działania ciśnienia. Dalsza ekspozycja próbek na działanie wysokiego ciśnienia spowodowała dodatkowe obniżenie ilości drobnoustrojów. Otrzymane wyniki wskazują na możliwości zastosowania metody wysokiego ciśnienia do konserwacji surowych produktów mięsnych, dla których nie stosuje się utrwalania metodą termiczną.

Słowa kluczowe: wysokie ciśnienie, mięso wołowe, drobnoustroje mezofilne

ASSESSMENT OF THE USEFULNESS OF HIGH-PRESSURE TECHNOLOGY FOR MEAT MAINTENANCE. CASE STUDY

Summary

The subject of the research was to assess the suitability of high-pressure technology for the preservation of raw meat. Samples of raw minced beef were subjected to a pressure of 600 MPa. The duration of high pressure on beef samples was respectively: 1, 10, 15 and 20 minutes, after which the total number of mesophilic microorganisms in 1g was assessed. As a result of the research, a significant decrease in the microbial population was found after 10 minutes of pressure. Subsequent exposure of the samples to high pressure resulted in an additional reduction in the amount of microorganisms. The obtained results indicate the

possibility of using the high pressure method for the preservation of raw meat products for which thermal fixing is not used.

Key words: high pressure, beef, mesophilic microorganisms

WSTĘP

1.1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII WYSOKICH CIŚNIEŃ

W ostatnich latach rozwinęła się nowoczesna technika utrwalania żywności, polegająca na poddaniu produktów spożywczych (płynnych lub stałych) działaniu ciśnienia od 100 do 900 MPa równomiernie w całej ich objętości [Hać-Szymańczuk, Mroczek 2006, Kłoczko, Chudoba; 2007; Simonin et al., 2012]. Technologia wysokich ciśnień (w skrócie HPP – High Pressure Processing) jest stosowana najczęściej w celu przedłużenia trwałości żywności na skutek redukcji liczby drobnoustrojów lub aktywności enzymów. Zastosowanie wysokiego ciśnienia hydrostatycznego może być alternatywą obróbki cieplnej, pozwalając nie tylko na konserwację żywności i niszczenie szkodliwych mikroorganizmów, ale również może mieć istotny wpływ na kształtowanie tekstury, właściwości funkcjonalnych oraz cech sensorycznych produktu bez wywierania negatywnych skutków na jego składniki odżywcze [Dudzińska i in. 2014]. Może być również wykorzystana do modyfikowania właściwości funkcjonalnych zarówno składników surowca jak i gotowego produktu, a tym samym kreowania nowych właściwości reologicznych [Malinowska-Pańczyk, Kołodziejska, 2007; 2009; Mor-Mur, Yuste, 2003; Pietrzak, 2010]. Mechanizm niszczenia mikroorganizmów przez wysokie ciśnienie polega na tym, że tak wysokie ciśnienie zakłóca funkcje komórkowe organizmów żywych, wywołuje niekorzystne reakcje biochemiczne i powoduje nieodwracalne zmiany w błonie komórkowej oraz w błonie form przetrwalnikowych. Procesy te następują w przeciągu kilku- kilkunastu minut. Największą wrażliwość na wysokie ciśnienie wykazują komórki wegetatywne bakterii Gram-ujemnych. Obumierają one przy ciśnieniu powyżej 100MPa. Bardziej wytrzymałe są komórki bakterii Gram-dodatnich, a zwłaszcza formy przetrwalnikowe. Przetrwalniki bakterii rodzajów *Bacillus* i *Clostridium* są w stanie wytrzymać ciśnienie rzędu 1200MPa. [Tonello, 2010; Jung et al, 2011].

Po raz pierwszy niszczący wpływ podwyższonego ciśnienia na drobnoustroje zaobserwowano w końcu XIX wieku. Przyjmuje się, że odkrycie tego faktu i związaną z tym możliwość konserwacji żywności zawdzięczamy Bertowi H. Hite (1899), który zastosował wysokie ciśnienie do konserwacji mleka. Konserwacja na skalę przemysłową przy zastosowaniu tej metody rozpoczęła się jednak dopiero sto lat później. Jako początek tej technologii przyjmuje się uruchomienie w Japonii w 1991 roku pierwszej półautomatycznej

linii konserwacji soków cytrusowych konserwowanych metodą wysokociśnieniową. Od tego czasu nastąpił rozwój techniki wysokociśnieniowej konserwacji różnych produktów żywnościowych głównie w USA, Japonii a w Europie głównie w Hiszpanii i w Niemczech. Obecnie metodami wysokociśnieniowymi konserwowanych jest kilkaset różnych produktów żywnościowych, takich jak warzywa, owoce i ich przetwory, owoce morza, wędliny, mleko, produkty gotowe do spożycia i inne [Lanciotti et al., 2004; Altuner et al., 2006; Hać-Szymańczuk, Mroczek, 2006; Pietrzak, 2010; Marszałek i in., 2011; Liu et al., 2013].

Do zalet metody wysokociśnieniowej zalicza się: zwiększenie trwałości produktów w wyniku niszczenia drobnoustrojów, równomierność działania ciśnienia w całej objętości, krótki czas trwania procesu oraz niewielkie zapotrzebowanie na energię (stosuje się taką samą ilość energii bez względu na wielkość wsadu produkcyjnego [Tonello, 2010].

Oddziaływanie wysokiego ciśnienia na produkty żywnościowe polega na:

1. oddziaływaniu mechanicznym zmniejszając odległości międzyatomowe w nieznacznym stopniu wpływając na proste związki chemiczne,
2. działaniach termodynamicznych i przemianach fazowych tj. zmiana stanu skupienia, w tym przemiany fazowe w wodzie i lipidach oraz fosfolipidach,
3. oddziaływaniu na związki białkowe w tym na peptydy łańcuchowe,
4. niszczącym działaniu na mikroorganizmy, takie jak drożdże, bakterie, zarodniki bakterii, przy czym najistotniejsze wydają się być przemiany fazowe prowadzące do uszkodzenia błon komórkowych mikroorganizmów [Jung et al. 2011; Balny et al., 2012].

O zastosowaniu metod HPP w przemyśle spożywczym krajów zachodnich zdecydowały przede wszystkim mechanizmy wymienione w punktach 3 i 4. Konserwacja zwana czasem pasteryzacją ciśnieniową, a nawet paskalizacją (dla podkreślenia roli ciśnienia) wynika z punktu 4, podczas gdy mechanizmy opisane w punkcie 3 umożliwiają ciśnieniową tenderyzację produktów [Kulisiewicz, 2003; Fonberg-Broczek i in., 2005; Molenda, 2007; Pietrzak D. i in., 2007; Norton et al., 2008].

1.2. ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII WYSOKICH CIŚNIEŃ DO MIĘSA I PRZETWORÓW MIĘSNYCH

Metoda HPP jest stosowana głównie jako skuteczna metoda odkażania produktów mięsnych w opakowaniach z folii wielowarstwowej. Ma to na celu zapewnienie bezpieczeństwa do spożycia produktów długo przechowywanych (RTE – Ready To Eat), szczególnie w przypadkach, gdy obróbka cieplna jest niemożliwa lub niewygodna. Poziomy ciśnienia stosowane do pasteryzacji mięsa i produktów mięsnych zawierają się w zakresie

400–600 MPa przez 3–7 min w temperaturze pokojowej. Wiele firm na świecie wprowadziło na rynek mięso wcześniej poddane działaniu ciśnienia, np. hamburgery (USA), carpaccio (Holandia), tatar (Holandia), przekąski mięsno-serowe (Grecja), pieczony kurczak (USA) [Romanek, Opiela, 2015].

Pietrzak [2010] przedstawiła możliwości zastosowania technologii HHP w produkcji żywności wygodnej z mięsa drobiowego w celu zagwarantowania jej bezpieczeństwa i wysokiej jakości. Rodrigues i in. [2016] badali możliwości zastosowania wysokiego ciśnienia do obniżenia zawartości soli w produkcji żywności i wykazali, iż jest to technika dająca duże możliwości jej praktycznego zastosowania, z uwagi na to, że mięso i produkty mięsne są uważane za drugie co do wielkości udziału spożycia sodu w diecie. Grossi i in. [2012] badali efekt wysokiego ciśnienia hydrostatycznego (400, 600 i 800 MPa) połączony z użyciem składników takich jak marchew i włókna skrobi ziemniaczanej w kielbasach wieprzowych o niskiej zawartości soli (1,2 i 1,8%). HPP okazało się również obiecującą techniką poprawy słonego smaku w szynkach suszonych pod ciśnieniem 300, 600 i 900 MPa / 300 s [Picouet et al., 2012].

Struktury białkowe występujące w mięsie i przetworach mięsnych, należą do najbardziej wrażliwych na ciśnienie makrocząsteczek w komórce. Podobnie jak lipidy, białka dostosowują się do podwyższonego ciśnienia, zmieniając swoją konformację. W wyniku działania ciśnienia naturalnie spotykanego w środowisku prawie żadne białko nie ulega denaturacji. Zmiany w konformacji są jednak wystarczające, aby wpływać na funkcjonowanie białek i zmienić ich właściwości lub całkiem je dezaktywować [Balny i in., 2002; Northrop, 2002; Romanek, Opiela, 2015]. Jego stosowanie w mięsie nadaje stabilność mikrobiologiczną i zmiany właściwości funkcjonalnych białek, takie jak absorpcja i retencja wody, poprawa zdolności emulgowania i solubilizacji białek miofibrylarnych [Iwasaki i in., 2006].

Hać-Szymańczuk i in. [2005] oceniali wpływ wysokiego ciśnienia na wybrane cechy jakościowe i trwałość polędwicy sopockiej oraz surowej polędwicy wędzonej. Próbkę poddawano działaniu ciśnienia 600 MPa przez 30 min w temp. pokojowej i przechowywano przez 0, 6 i 8 tygodni w chłodniach. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że zastosowanie HHP wydłużyło trwałość polędwicy sopockiej do 6 tygodni przechowywania w warunkach chłodniczych, bez pogorszenia smaku, zapachu i konsystencji. Zaobserwowano, że w czasie przechowywania surowej polędwicy wędzonej, poddanej działaniu wysokiego ciśnienia, nie rozwijały się drobnoustroje mezofilne, psychrofilne i kwaszące.

Metoda HHP może powodować też niekorzystne zmiany w mięsie. Są to zmiany w barwie zależne od zawartości mioglobiny, bardziej widoczne w świeżym mięsie czerwonym

np. wołowym niż w mięsie wieprzowym czy drobiowym, jak również w wędlinach. Mięso w wyniku działania wysokiego ciśnienia staje się jaśniejsze i przyjmuje konsystencję żelu, tracąc typowy wygląd świeżego mięsa. W badaniach Hać-Szymańczuk i in. [2005] stwierdzili iż, zastosowanie obróbki wysokociśnieniowej spowodowało niekorzystne zwiększenie ilości wycieku, zarówno w próbkach polędwicy sopockiej, jak i surowej polędwicy wędzonej oraz istotne rozjaśnienie barwy surowej polędwicy wędzonej. Niepożądane zmiany mogą być ograniczone przez zmianę parametrów procesu, usuwanie tlenu i podnoszenie pH produktów przez zastosowanie odpowiednich dodatków [Bajovic i in., 2012].

Pod względem wartości odżywczej wołowina jest bardzo cenionym gatunkiem mięsa. Zwyczajowo wykorzystywana jest do przygotowania tatar, wyrobu garmazeryjnego z rozdrobnionego mięsa wołowego, niepeklowanego, pochodzącego wyłącznie z półtuszy świeżych, z dodatkiem lub bez dodatku oleju, z dodatkiem przypraw oraz dodatków dekoracyjnych [PN-A- 82012:1996].

W wyniku procesu rozdrabniania, podobnie jak w procesie dojrzewania, następuje rozluźnienie struktur wewnątrz- i międzykomórkowych, powstają nowe przestrzenie dostępne dla wody a tym samym zwiększa się wodochłonność mięsa. Rozkład struktur białkowych, a więc i wcześniej utworzonych „kanałów” prowadzi do powstawania swoistego „efektu gąbki”, w wyniku czego woda fizycznie zatrzymywana jest wewnątrz tkanki mięśniowej, a wielkość wycieku zmniejsza się [Domaradzki i in. 2016]. Mięso na tatar nie może być konserwowane metodami fizycznymi (tj. gotowanie, wędzenie) czy chemicznymi (peklowanie). Mięso to jest bardzo dobrą pożywką dla rozwoju drobnoustrojów. Tak więc być może metoda wysokociśnieniowa jest to jedyna bezpieczna metoda konserwacji prowadząca do redukcji drobnoustrojów w tego rodzaju produktach.

CEL BADAŃ

Celem pracy była charakterystyka i ocena przydatności metody wysokociśnieniowej jako sposobu utrwalania (konserwacji) produktów mięsnych, spożywanych zwyczajowo na surowo na przykładzie tatar wołowego.

MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiał do badań stanowiło surowe mięso wołowe - mięso z udźca wołowego. Mięso, zakupiono w sklepie, z trzech różnych partii produkcyjnych, rozdrobniono w wilku laboratoryjnym a następnie podzielono na porcje po ok. 100 g. W celu sprawdzenia skuteczności ocenianej metody mięso pozostawiono w pojemnikach z polietylenu na okres

5 dni w temperaturze pokojowej $\pm 20^{\circ}\text{C}$ i wilgotności 70% celem namnożenia mikroflory i sprawdzenie skuteczności działania zastosowanej metody w zakresie niszczącego działania na mikroorganizmy.

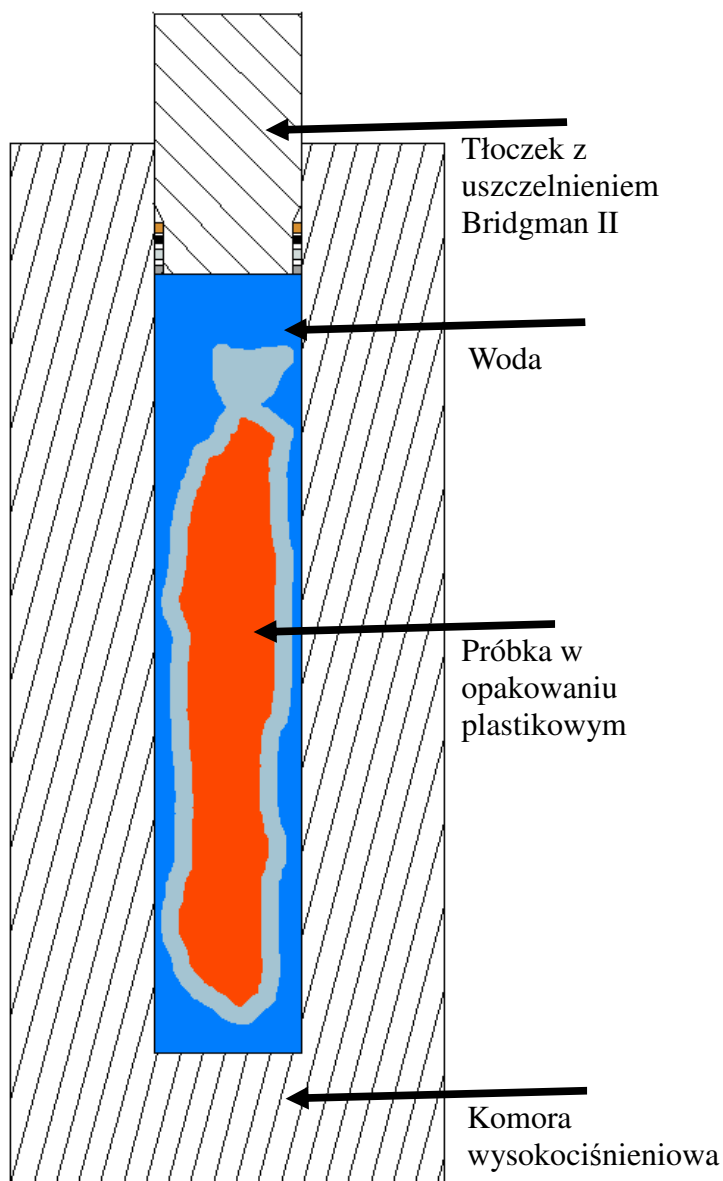
STANOWISKO BADAWCZE

Do przeprowadzenia badań użyto aparatury wysokociśnieniowej przedstawionej na fotografii 1. Składa się ona z komory wysokiego ciśnienia o średnicy wewnętrznej 17 mm, zaprojektowanej i wykonanej w Laboratorium Badań Wysokociśnieniowych. Komora ta zaprojektowana do pracy z zakresie do 1 GPa wykonana została ze stali 45HMNF i wyposażona w stalowy tłoczek zaopatrzony w uszczelnienie wysokociśnieniowe typu Bridgman II.



Fotografia 1. Aparatura wysokociśnieniowa zastosowana do przeprowadzenia badań

Przekrój komory z umieszczoną w środku próbką pokazano na Fot.2. Komora ta współpracuje z prasą hydrauliczną o nacisku 20 ton produkcji Unipress. Ze względu na ośrodki przenoszące ciśnienie, którym była woda nie było możliwości bezpośredniego pomiaru ciśnienia i dlatego ciśnienie było określane na podstawie nacisku prasy, a właściwie na podstawie ciśnienia działającego na tłoczysko prasy.



Fotografia 2. Przekrój komory z umieszczoną w środku próbką

W celu uproszczenia procedury pomiarowej wyliczony został współczynnik multiplikacji, czyli proporcje ciśnienia wytwarzanego w komorze do ciśnienia roboczego w prasie. Stosunek ten jest równy stosunkowi powierzchni przekroju tłoczyska prasy do powierzchni przekroju tłoka wysokociśnieniowego. W tym przypadku stosunek ten wynosił $n = 21$. Ciśnienie określone było na podstawie pomiarów ciśnienia roboczego prasy odczytywanego cyfrowym manometrem firmy Peltron typu PXWG 1000 o dokładności 0,1%. Niezależnie wykonane pomiary w komorze wypełnionej olejem z umieszczonym wewnątrz czujnikiem manganinowym wykazały, że błąd takiej metody pośredniej jest mniejszy od 1%

[Kiełczyński i in., 2012; 2014].

METODYKA

Próbki do badań umieszczano w pojemnikach z polietylenu. Ośrodkiem przenoszącym ciśnienie był gotowana woda. Próbki zostały poddane ciśnieniu hydrostatycznemu ok. 650 MPa przez 1, 10, 15 lub 20 minut i porównane z próbkami kontrolnymi. Zostały przeprowadzone dwie serie pomiarowe.

Z każdej serii pomiarowej wykonano badania mikrobiologiczne wg PN-A- 82055-6, obejmujące oznaczenia ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych, mezofilnych w 1g dla każdej z pobranych próbek. Wykonywano odpowiednie rozcieńczenia dziesiętne badanych próbek, posiewano na pożywkę Plate count agar na płytkach Petriego. Płytki inkubowano w temperaturze 30°C przez 72h. Po tym czasie dokonywano pomiaru liczby drobnoustrojów.

Przedstawione wyniki stanowią średnią z 10 jednostkowych pomiarów mikrobiologicznych, z trzech partii produkcyjnych dla każdego przedziału czasowego, obejmującego czas działania ciśnienia na próbkę.

DYSKUSJA I WYNIKI

Uzyskane średnie wyniki ogólnej liczby drobnoustrojów mezofilnych w zależności od czasu działania ciśnienia na próbkę przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wyniki ogólnej liczby drobnoustrojów mezofilnych w zależności od czasu działania ciśnienia na próbkę

Czas ekspozycji na ciśnienie [min]	Ogólna liczba drobnoustrojów mezofilnych w 1g			
	Próbka 1	Próbka 2	Próbka 3	średnia
0	$2,4 \times 10^8$	$1,5 \times 10^9$	$1,4 \times 10^8$	$6,3 \times 10^8$
1	$9,9 \times 10^7$	$3,2 \times 10^8$	$3,9 \times 10^7$	$1,5 \times 10^8$
10	$1,0 \times 10^4$	$3,9 \times 10^5$	$1,6 \times 10^4$	$1,4 \times 10^5$
15	$6,4 \times 10^3$	$2,6 \times 10^4$	$5,6 \times 10^3$	$1,3 \times 10^4$
20	-	$2,0 \times 10^2$	-	$0,6 \times 10^2$

Jakość mikrobiologiczna wyprodukowanego mięsa mielonego powinna spełniać wymagania normy PN-97/A-82009 i PN-98/A-82009/A1. Zgodnie z tymi normami ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych mezofilnych w żadnej ze zbadanych 5 próbek z partii nie

może przekroczyć wartości $M = 5,0 \times 10^6$ j.t.k./g, a dla dwóch z 5 próbek, może mieć wartość zawartą między M i m tj. między $5,0 \times 10^6$ j.t.k./g. a $5,0 \times 10^5$ j.t.k./g.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono ponad dwukrotny spadek ilości drobnoustrojów już po minucie działania wysokiego ciśnienia. Obiecujące rezultaty uzyskano jednak dopiero po 10 minutach działania wysokiego ciśnienia, pozwalające na spełnienie wymagań mikrobiologicznych zawartych w normie PN-A-82009:1997 dla mięsa mielonego. Zaobserwowano wówczas spadek populacji drobnoustrojów dla średniej z badanych próbek o 3 rzędy wielkości (1000 razy). Kolejne 5 minut oddziaływania wysokiego ciśnienia na badane próbki zmniejszyło ilość drobnoustrojów o kolejny rząd wielkości (10 razy). Dalsza ekspozycja próbki na działanie wysokiego ciśnienia, 20 minut, spowodowała dalsze obniżenie ilości drobnoustrojów. Nie zaobserwowano wizualnych zmian zabarwienia ani konsystencji badanego mięsa.

Drużkowski i Pietrzyk [2006] wykazali, iż metoda wykorzystująca wysokie ciśnienie hydrostatyczne, rzędu 300–1000 MPa, jest skuteczna w stosunku do wegetatywnych form bakterii, drożdży i pleśni. Pod wpływem ciśnienia 100 MPa ilość pałeczek *Escherichia coli* ulega 99,9% redukcji, a drożdże saprofityczne *Saccharomyces cerevisiae* i chorobotwórcze *Candida albicans* giną pod ciśnieniem hydrostatycznym ok. 500 MPa, w ciągu 5 minut. W wyniku zastosowania przypraw do mięsa mielonego i poddaniu go działaniu wysokiego ciśnienia efektem niekorzystnym jest zmniejszenie ilości olejków eterycznych [Brodowska i in., 2014; Kunicka–Styczyńska, Śmigielski 2011].

PODSUMOWANIE

Technologia konserwacji mięsa przy użyciu wysokiego ciśnienia hydrostatycznego daje możliwości jego zastosowania, w szczególności do produktów finalnych z mięsa mielonego.

Zastosowanie tej metody dla takiego wyrobu jak surowe mięso wołowe (mielone, siekane), spożywane zwyczajowo bez obróbki termicznej, pozwala na wydłużenie jego okresu przydatności do spożycia.

Formy przetrwalnikowe niektórych bakterii mogą przetrzymać działanie wysokiego ciśnienia, dlatego też na drodze eksperymentalnej należy indywidualnie dostosować parametry ciśnienia i czasu.

PIŚMIENNICTWO

1. Bajovic B., Bolumar T., Heinz V. (2012). Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Sci.*, 92: 280–289
2. Balny C., Masson P., Heremans K. (2002). High pressure effects on biological macromolecules: from structural changes to alteration of cellular processes. *Biochim. Biophys. Acta*, 1595, 3–10
3. Brodowska A., Śmigielski K., Nowak A. (2014). Porównanie metod dekontaminacji przypraw i ziół. *CHEMIK*, 68, 2, 97–102
4. Domaradzki P., Litwińczuk Z., Florek M., Litwińczuk A. (2016). Zmiany właściwości fizykochemicznych i sensorycznych mięsa wołowego w zależności od warunków jego dojrzewania. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3 (106), 35 – 53
5. Drużkowski M., Pietrzyk S. (2006). Nowoczesne metody utrwalania żywności. *Laboratorium*, 32, 8–9
6. Dudzińska A., Domagała J., Wszolek M. (2014). Wpływ wysokiego ciśnienia hydrostatycznego na podstawowe składniki mleka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2 (93), 19 – 32. DOI: 10.15193/zntj/2014/93/019-032
7. Fonberg-Broczek M., Windyga B., Szczawiński J., Szczawińska M., Pietrzak D., Prestamo G. (2005). High Pressure Processing for Food Safety. *Acta Biochim. Pol.*, 52, 721–724
8. Grossi, A., Søltoft-Jensen, J., Knudsen, J. C., Christensen, M., & Orlie, V. (2012). Reduction of salt in pork sausages by the addition of carrot fibre or potato starch and high pressure treatment. *Meat Science*, 92(4), 481-489. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.015>. PMID:22682686
9. Hać-Szymańczuk E., Mroczek J., Tworzydłak S., Stolpe B. (2005). Wpływ wysokiego ciśnienia na wybrane cechy jakościowe polędwicy sopockiej i surowej polędwicy wędzonej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4, 42–51
10. Hać-Szymańczuk E., Mroczek J. (2006). Zastosowanie techniki wysokich ciśnień w technologii żywności, a szczególnie w przetwórstwie mięsa. *Med. Weter.*, 62, 637-640
11. Iwasaki, T., Noshiroya, K., Saitoh, N., Okano, K., & Yamamoto, K. (2006). Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. *Food Chem.*, 95(3), 474-483. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.024>.
12. Jung S., Tonello C., Lamballerie M. (2011). Alternatives to Conventional Food Processing. Chapter 6 , 254-305, RSC Publishing.. Editor A Proctor

13. Kiełczyński P., Szalewski M., Balcerzak A., Małanowski A., Siegoczyński R.M., Ptasznik S. (2012). Investigation of high pressure phase transitions in DAG (diacylglycerol) oil using the Bleustein–Gulyaev ultrasonic wave method. *Food Res. Int.*, 49, 60–64
14. Kiełczyński P., Szalewski M., Balcerzak A., Wieja K., Rostocki A.J., Siegoczyński R.M., Ptasznik S. (2014). Application of ultrasonic wave celerity measurement for evaluation of physicochemical properties of olive oil at high pressure and various temperatures. *LWT-Food Sci. Technol.*, 57, 253–259
15. Kłoczko I., Chudoba T. (2007). Próba zastosowania wysokich ciśnień hydrostatycznych (UHP) do dekontaminacji mięsa zarażonego larwami włośnia (*Trichinella spiralis*). *Bromat. Chem. Toksykol.* – XL, 2, 195 – 203
16. Knorr D. (1993). Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technol.*, 47(6), 156–61
17. Kulisiewicz L. (2003). Konserwacja żywności metodą wysokich ciśnień. *Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna*, 12, 448-450
18. Kunicka–Styczyńska A., Śmigielski K. (2011). Bezpieczeństwo mikrobiologiczne surowców ziołowych. *Przem. Spoż.*, 6, 50–54
19. Malinowska-Pańczyk E., Kołodziejska I. (2007). Wpływ połączonego działania wysokiego ciśnienia i innych czynników na mikroorganizmy. *Med. Wet.*, 63, 515-518
20. Malinowska-Pańczyk E., Kołodziejska I. (2009). Możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia w przemyśle mięsnym i rybny. *Med. Wet.*, 65, 455-459
21. Molenda J. (2007). Selected unconventional methods of food preservation. *Medycyna Wet.*, 63 (9), 1016-1020
22. Mor-Mur M., Yuste J. (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis. *Meat Sci.*, 65, 1187-1191
23. Norton T., Da-Wen Sun. (2008) Recent Advances in the Use of High Pressure as an Effective Processing Technique in the Food Industry. *Food Bioprocess Technol* 1:2–34. DOI 10.1007/s11947-007-0007-0
24. Northrop D.B. (2002). Effects of high pressure on enzymatic activity. *Biochim. Biophys. Acta*, 1595, 71–79
25. Picouet, P. A., Sala, X., Garcia-Gil, N., Nolis, P., Colleto, M., Parella, T., & Arnau, J. (2012). High pressure processing of dry-cured ham: ultrastructural and molecular changes affecting sodium and water dynamics. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 16, 335-340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2012.07.008>

26. Pietrzak D., Fonberg-Broczek M., Mucka A., Windyga B. (2007). Effect on high Pressure treatment on the quality of cooked pork ham prepared with different levels of curing ingredient. *High Pressure Res.*, 1(27), 27–31
27. Pietrzak D. (2010). Perspektywy stosowania wysokich ciśnień w produkcji żywności wygodnej z mięsa drobiowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2 (69), 16–28
28. PN-A-82009. Mięso i przetwory mięsne. Mięso mielone. 1997
29. PN-A-82009/A1. Mięso i przetwory mięsne. Mięso mielone. (Zmiana A1). 1998
30. PN-A-82055.6. Mięso i przetwory mięsne. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie ogólnej liczby drobnoustrojów. 1994
31. PN-A-82012. Wyroby garmażeryjne. Wyroby gotowe z mięsa i podrobów. Wymagania. 1996
32. Report of the FAO expert consultation on the trade impact of *Listeria* in fish products.” *FAO Fisheries Report*, 1999, 604, 3.
33. Rodrigues F.R., Rosenthal A., Tiburski J.H., Gomes da Cruz A. (2016). Alternatives to reduce sodium in processed foods and the potential of high pressure technology. *Food Sci. Technol*, Campinas, 36(1), 1-8, Jan.-Mar. 2016 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6833>
34. Romanek J., Opiela J. (2015). Zastosowanie wysokiego ciśnienia hydrostatycznego (HHP) w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz medycynie. *Wiadomości Zootechniczne*, R. LIII 4, 34–40
35. Simonin H., Duranton F., de Lamballerie M. (2012). New Insights into the High-Pressure Processing of Meat and Meat Products, *Comprehensive Reviews in Food. Sci. Food Safety*, 11, 285-306
36. Tonello, C. (2010). Case Studies on High-Pressure Processing of Foods, chapter 4 in *Nonthermal Processing Technologies for Food* (eds H. Q. Zhang, G. V. Barbosa-Cánovas, V.M. Balasubramaniam, C. P. Dunne, D. F. Farkas and J. T.C. Yuan), Wiley-Blackwell, Oxford, UK. doi: 10.1002/9780470958360.ch4
37. Liu Y., Hu X., Zhao X., Song H. (2013). Combined effect of high pressure carbon dioxide and mild heat treatment on overall quality parameters of watermelon juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 13, 112–119