

TECHNICZNE, TECHNOLOGICZNE I ZDROWOTNE ASPEKTY WĘDZENIA MIĘSA

Anna Bagnowska, Radosław Mostowski, Anna Trzęsowska,
Lucjan Krala
Politechnika Łódzka

Streszczenie. Głównymi czynnikami decydującymi o właściwościach wędzonych produktów są sposób i warunki wytwarzania dymu oraz gatunek użytego drewna. Najczęściej do wytwarzania dymu wykorzystuje się drewno lub zrębki twardych drzew liściastych. Dym może być wytwarzany przez powolne, kontrolowane spalanie (piroliza) lub tarcie drewna o określonej wilgotności. Proces wędzenia prowadzi się w różnych temperaturach, przy różnej gęstości dymu i cyrkulacji powietrza w komorze wędzarniczej. Niewłaściwe warunki wędzenia, a zwłaszcza wytwarzania dymu wędzarniczego, mogą sprzyjać nadmiernej kumulacji w wędzonych produktach wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), spośród których 16 jest uznanych za niebezpieczne dla zdrowia, potencjalnie rakotwórcze. Zagrożenie takie jest wyeliminowane, jeżeli zamiast tradycyjnego sposobu wędzenia stosuje się płynne preparaty dymu wędzarniczego, uzyskiwane przez usunięcie z kondensatu dymu szkodliwych WWA oraz substancji smolistych. Preparaty takie spełniają wszystkie funkcje tradycyjnego dymu wędzarniczego, to jest tworzą charakterystyczną, delikatną barwę wędzonego produktu, nadają aromat oraz działają bakteriobójczo i antyoksydacyjnie, przyczyniając się do przedłużenia okresu trwałości.

Słowa kluczowe: wędzenie, dym wędzarniczy, metody wędzenia, WWA, bezpieczeństwo zdrowotne wędzenia

WSTĘP

Proces wędzenia ma na celu przedłużenie trwałości mięsa i jego przetworów oraz uzyskanie określonej, pożądanej przez konsumenta jakości sensorycznej. Zależnie od metody i czasu trwania procesu wędzenia, można uzyskać produkty o różnej trwałości i odmiennych cechach sensorycznych. Wcześniejsze solenie i peklowanie produktów mięsnych ułatwia przenikanie składników dymu w głąb produktu [Rahman i Perera 2007, Zin i Znamirowska 2003].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Anna Bagnowska, Politechnika Łódzka, Instytut Chemicznej Technologii Żywności, Zakład Technologii Chłodnictwa Żywności, ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź, e-mail: anna.bagnowska1@gmail.com

W procesie wędzenia przetwory mięsne lub inne produkty spożywcze, jak ryby czy sery, poddaje się jednoczesnemu działaniu ciepła i związków chemicznych zawartych w dymie, otrzymanym najczęściej przez pirolizę drewna. W nowoczesnych wędzarniach dym wytwarzany jest z kawałków, trocin lub zrębków różnych gatunków drewna, w specjalnie do tego celu skonstruowanych dymogeneratorach. Dym wędzarniczy najczęściej wytwarzany jest przez termiczny rozkład drewna (pirolizę) i utlenienie gazowych produktów rozkładu w strefie dyfuzyjnej nad żarem [Martuscelli i in. 2009, Vandendriessche 2008].



Rys. 1. Urządzenie do wytwarzania dymu wędzarniczego metodą tarcia drewna zainstalowane w komorze wędzarniczej w ZPM WiR w Łopusznie (fot. L. Krala)

Fig. 1. The device for producing smoke by the friction installed in the smoking chamber in the ZPM WiR Łopuszno (phot. L. Krala)



Rys. 2. Wędzone przetwory mięsne – przykłady (fot. L. Krala)

Fig. 2. Smoked meat products – examples (phot. L. Krala)

Proces wytwarzania dymu może być realizowany przez kontrolowane spalanie, zżaranie lub tarcie drewna (rys. 1). Dym może być wprowadzany także do przetworów mięsnych w postaci płynnej, jako rafinowany kondensat (oczyszczony ze związków szkodliwych) [Ciecierska i Obiedziński 2007, Maryniak 2010].

Intensywność i ton barwy produktów uwędzonych (rys. 2) zależą od wielu czynników, takich jak skład produktu, gatunek użytego drewna, sposób wytwarzania dymu, jego gęstość, czas i temperatura procesu wędzenia. Stąd też celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie wybranych aspektów technicznych, technologicznych i zdrowotnych procesu wędzenia na podstawie aktualnych danych literaturowych.

WPLYW TEMPERATURY PIROLIZY NA TOKSYCZNOŚĆ DYMU WĘDZARNICZEGO

Dym wędzarniczy zawiera ponad 1000 różnych związków chemicznych, głównie pochodnych węglowodorów alifatycznych i aromatycznych, między innymi związki fenolowe (np. fenol, krezole, pirokatechol, ksylenol, naftol, tymol), karbonylowe (np. aldehyd mrówkowy, furfural, aceton, wanilina) i kwasy organiczne (np. kwas octowy, kwas mrówkowy). Właściwości wytworzonego dymu oraz jego skład zależą między innymi od temperatury procesu pirolizy. Największa ilość dymu powstaje w temperaturze od 270°C do 380°C. W temperaturze około 250°C następuje termiczny rozkład hemiceluloz, w temperaturze 300°C rozkłada się celuloza, zaś w temperaturze 400°C ligniny. Powyżej temperatury 500°C zwiększa się ilość powstających WWA. Z tego względu zaleca się, aby podczas wytwarzania dymu nie przekraczać temperatury 425°C.

Lotne produkty rozkładu żarzonego drewna tworzą nad nim otoczkę, której zewnętrzna część miesza się z tlenem i powstaje tzw. warstwa dyfuzyjna. Warstwa ta ogranicza dostęp tlenu do żarzonego drewna. Zatem utlenianie lotnych składników dymu zachodzi tylko w warstwie dyfuzyjnej nad żarem, przy czym proces ten przebiega tym gwałtowniej, im wyższa jest temperatura warstwy dyfuzyjnej.

Mimo kontroli warunków termicznych procesu pirolizy zazwyczaj dym wędzarniczy zawiera pewne ilości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), spośród których część jest niepożądana. Według obecnej wiedzy w organizmie konsumenta wędzonek niektóre z WWA, przy udziale enzymów takich jak hydroksylaza arylowa, mogą zostać utlenione do związków dihydrodiolowych. Związki takie są uważane za czynniki potencjalnie rakotwórcze, zdolne do tworzenia wiązań kowalencyjnych z białkami i kwasami nukleinowymi. W celu zbadania mutagenności WWA, czyli zdolności do wywoływania trwałych i dziedzicznych zmian w budowie genomu komórki, wyizolowano z wędzonych i pieczonych przetworów mięsnych 16 najczęściej powstających WWA i poddano je wielokierunkowym analizom. Miarą szkodliwości WWA dla organizmu człowieka jest wartość współczynnika toksyczności TEF (ang. Toxicity Equivalence Factors). Główne wyniki badań właściwości 11 WWA, zamieszczono w tabeli 1. Według United States Environmental Protection Agency (USEPA), najwyższy potencjał mutageny zaobserwowano we frakcji WWA zawierającej benzo[*a*]antracen, chryzen oraz antracen i piren [Ciecierska i Obiedziński 2007, Djinovic i in. 2008, Kuhn i in. 2009, Ma i Chen 2003, Šimko 2005].

Tabela 1. Wartości współczynników toksyczności TEF wybranych WWA, według różnych źródeł [Djinovic i in. 2008, Maryniak 2010, Šimko 2005]

Table. 1. The Toxicity Equivalence Factors (TEF) of selected PAH obtained from various sources

Związek Compound	Źródło danych – Reference			
	Kangsadaeampai K. 1997	Nisbet I.C.T. 1992	USEPA 1993	Al-Yakoob S.N. 1994
Dibenzo[a,h]antracen Dibenzo[a,h]anthracene	5,00	1,00	-	1,00
Benzo[a]piren Benzo[a]pyrene	1,00	1,00	1,00	1,00
Indeno[c,d]piren Indeno[c,d]pyrene	0,10	0,10	-	0,10
Benzo[b]fluoranten Benzo[b]fluorantene	0,10	0,10	-	0,10
Benzo[k]fluoranten Benzo[k]fluorantene	0,10	0,01	-	0,10
Benzo[a]antracen Benzo[a]anthracene	0,10	0,10	0,145, 0,62	0,10
Chryzen Chrysene	0,01	0,001	0,0044, 0,37	0,01
Benzo[g,h,i]perylene Benzo[g,h,i]perylene	0,01	-	-	-
Antracen Anthracene	0,01	-	0,32, 0,06	-
Piren Pyrene	0,001	-	0,081, 0,2	0,001
Fenol, fluoranten, naftalen Phenol, fluoranthene, naphthalene	0,001	-	-	-

Gdy produkt przed wędzeniem jest solony lub peklowany, to wówczas związki fenolowe zawarte w dymie wędzarniczym łatwiej przenikają w głąb wędzonego produktu, działając niszcząco na drobnoustroje (głównie beztlenowe). Działanie bakteriobójcze fenoli zwiększa wysoka temperatura procesu wędzenia [Berzins i in. 2007, McIlven 1996, Michalski 2010, Rahman 2007, Šimko 2005]

ZNACZENIE DREWNA UŻYTEGO W PROCESIE WĘDZENIA

Do najważniejszych czynników decydujących o efektach wędzenia zalicza się gatunek użytego drewna, ilość i gęstość dymu, szybkość jego przepływu przez wędzarnię oraz stopień przenikania związków chemicznych zawartych w dymie w głąb mięsa. Dym powstający podczas pirolizy drewna, oprócz wymienionych wyżej składników, zawiera parę wodną, tlenek węgla oraz cząstki stałe (sadza) i substancje smoliste. Właściwości dymu uzależnione są od wilgotności drewna i dopływu powietrza [Flores 1997, Michalski 2010, Sebastian i in. 2005, Šimko 2005]. Dym uzyskany z drewna wilgotnego ma niepożądany zapach pogorzaliskowy, jest ciemny i zawiera dużo sadzy oraz popiołu.

Do wędzenia przeważnie stosowane jest twarde drewno drzew liściastych. Najczęściej wykorzystuje się gatunki takie jak: buk, olsza, klon, jawor, okorowana brzoza oraz drewno drzew owocowych. Nie stosuje się drewna drzew iglastych, ponieważ zawierają duże ilości związków żywicznych (furfuralu, dwuacetyl), które wpływają na gorzkawy

smak wędzonek. Ponadto drewno drzew iglastych wpływa na powstawanie nieprzyjemnego zapachu wędzonego produktu oraz gromadzenie się dużych ilości sadzy wewnątrz wędzarni i na powierzchni produktu. Wyjątek stanowią gałązki bądź jagody jałowca, dodawane do drewna podczas wytwarzania dymu, w celu nadania produktom specyficznego smaku i aromatu, preferowanego przez konsumentów.

Rodzaj użytego drewna wpływa na barwę produktu, np.: drewno bukowe, jawor i klon nadają wędzonom zabarwienie żółto-żłociste, drewno dębu i olchy zbarwienie brązowe, drewno gruszy ciemnoczerwone, a akacji cytrynowe.

TECHNOLOGICZNA CHRAKTERYSTYKA WĘDZENIA

Do najczęściej stosowanych obecnie metod wędzenia zaliczamy wędzenie zimne, gorące oraz wędzenie z równoczesnym pieczeniem. Różnice technologiczne wymienionych metod wędzenia zilustrowano w tabeli 2. Wędzenie zimne, ze względu na niską temperaturę dymu, powinno odbywać się w specjalnych wędzarniach, gwarantujących utrzymanie wymaganej, niskiej temperatury. Podczas zimnego wędzenia, przetwory wysychają równomiernie w całym przekroju, zaś składniki dymu całkowicie impregnują wędzony produkt. Barwa mięsa waha się od jasnobrązowej do ciemnobrązowej, a tłuszczu od słomkowej do żłocistej. Gotowy produkt jest twardy i odporny na psucie się. Na zimno wędzi się: wędzonki trwałe, kielbasy surowe trwałe i półtrwałe, słoninę, boczek i niektóre kielbasy z grup półtrwałych-parzonych i powtórnie wędzonych, czy też kiszkę paszтетową i wątrobianą [Rahman i Perera 2007].

Tabela 2. Parametry procesu wędzenia [Michalski 2010, Rahman i Perera 2007]
Table 2. Parameters of smoking processes

Metoda wędzenia Smoking method	Temperatura Temperature °C	Wilgotność dymu Humidity of smoke, %	Szybkość prze- pływu powietrza Air flow rate m/min	Czas wędzenia duration	Ubytek masy Mass losses, %
Wędzenie zimne Cold smoking	16÷22	90÷95	7÷15	od kilku godzin do 14 dni	5÷20
Wędzenie gorące Hot smoking	dymem ciepłym warm smoke 22÷45	70÷90	7÷15	4÷48 godzin	2÷10
	dymem gorącym hot smoke 40÷90	b.d.	>15	40 minut do 2,5 godziny	5÷12
Wędzenie z równoczesnym pieczeniem Simultaneous smoking and roasting	50÷90	b.d.	b.d.	1,5÷2,5 godziny	15÷20

Wędzenie dymem ciepłym powoduje nasycanie warstw zewnętrznych produktu składnikami dymu. Na powierzchni produktu powstają zeschnięcia i stwardnienia tkanki mięsnej, które hamują ubytki wody podczas parzenia i działają dodatnio na jego trwałość podczas przechowywania. W wyniku wędzenia dymem ciepłym uzyskuje się barwę produktu od żółtej do brązowej, z odcieniem od różowego do czerwonego, oraz charakterystyczny połysk. Stosując tę metodę, wędzi się wszystkie wędzonki półtrwałe i nie-

które powtórnie wędzone oraz wędzonki poddawane później obróbce cieplnej [Rahman i Perera 2007].

Wędzenie dymem gorącym obejmuje trzy etapy: osuszanie powierzchni; zasadnicze wędzenie; powierzchniowe przypieczenie produktu. Suszenie powierzchni produktu ma na celu zintensyfikowanie działania azotanów. Podczas drugiej fazy procesu przetwory zostają nasycone składnikami dymu, barwa powierzchni waha się od jasnożółtej do ciemnobrązowej z odcieniem od różowego do ciemnoczerwonego, a osłonki z jelit naturalnych stają się ściśle i mocne. W ostatniej fazie wędzenia następuje ścięcie białka w zewnętrznej warstwie produktu, natomiast wewnętrzne warstwy pozostają niezmiennione. Powierzchnia przetworów ulega nieznacznemu pomarszczeniu oraz nabiera dość ściślejszej konsystencji i połysku. Metoda wędzenia dymem gorącym umożliwi najszybsze uzyskanie produktu finalnego. Dymem gorącym wędzi się kielbasy nietrwałe, przeznaczone do parzenia po uwędzeniu, oraz kielbasy trwałe i półtrwałe, przeznaczone do parzenia i powtórnego wędzenia w dymie ciepłym, a następnie do suszenia [Rahman i Perera 2007].

Wędzenie z równoczesnym pieczeniem stosuje się przede wszystkim przy wędzeniu kielbas. Wędzenie tą metodą przeprowadza się podobnie jak w dymie gorącym, z tą różnicą, że w trzeciej fazie procesu, zależnie od przekroju i składu kielbasy, podwyższa się temperaturę i przedłuża czas pieczenia, aż nastąpi całkowite ścięcie białka. Kielbasy pieczone są trwalsze od kielbas wędzonych parzonych oraz zawierają większą ilość białka, które nie zostało wymyte przez wodę w procesie parzenia. Wędzenie z równoczesnym pieczeniem nie jest stosowane zbyt często ze względu na wyższy koszt i długi czas trwania procesu oraz związany z tym duży ubytek masowy, wynoszący nawet 30% masy początkowej [Rahman i Perera 2007].

PREPARATY DYMU WĘDZARNICZEGO

Stosowanie opisanych wyżej sposobów wędzenia nie daje pewności, że w produkcie po wędzeniu nie ma składników dymu wędzarniczego niebezpiecznych dla zdrowia konsumenta. Alternatywną metodą, pozwalającą uzyskać korzystne efekty wędzenia, a nienarządzającą konsumenta na spożycie wraz z produktem substancji szkodliwych, jest zastosowanie płynnych preparatów dymu wędzarniczego. Preparaty dymu mają, podobnie jak klasyczny dym wędzarniczy, właściwości barwiące, aromatyzujące, bakterioobójcze i antyoksydacyjne. Znane są różne sposoby stosowania płynnych preparatów lub aromatów dymu wędzarniczego, takie jak: wędzenie, zanurzenie, zraszanie, dodatek aromatu dymu do solanki pekującej lub farszów mięsnych, impregnowanie osłonek do wędlin.

Metoda wytwarzania preparatów dymu wędzarniczego polega na skropleniu (absorpcja w wodzie lub oleju roślinnym) składników dymu wędzarniczego i usunięciu z otrzymanego kondensatu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), potencjalnie rakotwórczych oraz innych niepożądanych związków chemicznych. Stosując preparaty dymu wędzarniczego, ogranicza się możliwość dodatkowego tworzenia N-nitroamin w wędzonych produktach, poprzez eliminację tlenków azotu, które mogą się tworzyć podczas termicznego rozkładu drewna. Zawartość w preparacie dymu WWA, związków smolistych i fenolowych jest bardzo mała w stosunku do trady-

cyjnego dymu wędzarniczego. Dlatego wędzenie przy użyciu preparatów dymu wędzarniczego, otrzymanych z kondensatu klasycznego dymu, zostało uznane przez instytucje odpowiedzialne za bezpieczeństwo żywności, za bezpieczne i stanowiące mniejsze zagrożenie dla zdrowia niż wędzenie tradycyjne. Niewątpliwą zaletą stosowania preparatu dymu wędzarniczego jest także wysoka i powtarzalna jakość gotowych produktów. Ponadto preparaty te umożliwiają m.in. wyeliminowanie emisji do atmosfery szkodliwych lub niepożądanych substancji chemicznych, skrócenie czasu obróbki termicznej produktu, zmniejszenie ubytków masy w porównaniu z wędzeniem tradycyjnym oraz obniżenie kosztów [Hattula i in. 2001, Jimenez-Colmenero i in. 2010, Kuhn i in. 2009, Ma i Chen 2003, Šimko 2005].

PODSUMOWANIE

W zależności od metody i parametrów procesu wędzenia uzyskuje się przetwory mięsne o różnej trwałości i odmiennych cechach sensorycznych. Właściwości produktu wędzonego zależą przede wszystkim od gatunku użytego drewna oraz stopnia wysycenia produktu chemicznymi składnikami dymu. Niestety wędzenie może powodować nagromadzenie w produkcie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), potencjalnie rakotwórczych. Ryzyko to może być wyeliminowane, jeżeli zamiast wędzenia do przetworów mięsnych będzie dodany rafinowany kondensat dymu wędzarniczego. Preparat taki umożliwia uzyskanie pożądanej barwy, aromatu, powstrzymuje rozwój drobnoustrojów i przeciwdziała zmianom oksydacyjnym. Smakowitość oraz trwałość tak wędzonych przetworów jest jednak inna niż wędzonych tradycyjnie.

PIŚMIENNICTWO

- Berzins A., Hoerman A., Lunden J., Korkeala H., 2007. Factors associated with *Listeria monocytogenes* contamination of cold-smoked pork products produced in Latvia and Lithuania. *Int. J. Food Microbiol.*, 115 (2), 173–179.
- Ciecierska M., Obiedziński M., 2007. Influence of smoking process on polycyclic aromatic hydrocarbons' content in meat products. *Acta Sci. Pol. Technol. Alim.*, 6 (4), 17–28.
- Djinovic J., Popovic A., Spiric A., Turubatovic L., Jira W., 2008. 16 EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the wood smoke and in smoked ham. *Tehnolog. Mesa*, 49 (5–6), 185–187.
- Flores J., 1997. Mediterranean vs northern European meat products. Processing technologies and main differences. *Food Chem.*, 59, 505–510.
- Hattula T., Elfving K., Mroueh U.-M., Luoma T.T., Hattula K., Elfving U.-M., Mroueh T., 2001. Use of liquid smoke flavouring as an alternative to traditional flue gas smoking of rainbow-trout fillets (*Oncorhynchus mykiss*). *Lebens. Wiss. Technol.*, 34 (8), 521–525.
- Jimenez-Colmenero F., Carballo J., Cofrades S., 2010. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Sci.*, 84 (1), 1–13.
- Kuhn K., Seidel A., Lampen A., Nowak B., Behnke A., 2009. Effect-based and chemical analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat: a practical food-monitoring approach. *Food Addit. Contam. A*, 26 (7), 1104–1112.

- Ma M. Chen L., 2003. Using smokeless smoking to decrease content of carcinogenic 3,4-benzo-pyrene from traditional cured meat product. *Shipin Kexue* (Beijing, China), 24 (8), 29–33.
- Martuscelli M., Lupieri L., Neri, L., Manetta, A.C., Pittia, P., Casamassima, L.M., 2009. Effect of intensity of smoking treatment on the free amino acids and biogenic amines occurrence in dry cured ham. *Food Chem.*, 116 (4), 955–962.
- Maryniak B., 2010. Kontrolowane wędzenie – bezpieczne i ekonomiczne. *Kalejdoskop Mięśny.*, (1) 53–58.
- McIlven H., Valley G., 1996. Something's smoking in the development kitchen. *Nutr. Food Sci.*, 96 (6) 34–38.
- Michalski M., 2010. Rodzaje i systemy wędzenia produktów pochodzenia zwierzęcego. *Kalejdoskop Mięśny*, 1, 48–52.
- Rahman M.S., 2007. Food Preservation: Overview. [In:] *Handbook of Food Preservation*. ed. by Rahman M.S., Boca R. 2nd ed. CRC Press/Taylor & Francis Group. s. 3–18.
- Rahman M.S., Perera C O., 2007. Drying and Food Preservation. [In:] *Handbook of Food Preservation*. ed. by Rahman M.S. Boca Raton. 2nd ed. CRC Press/Taylor & Francis Group. s. 403–432.
- Sebastian P., Rivier M., Collignan A., Bruneau D., 2005. Drying and smoking of meat: heat and mass transfer modeling and experimental analysis. *J. Food Eng.*, 70(2), 227–243.
- Šimko P., 2005. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. *Mol. Nutr. Food Res.*, 49(10), 639–647.
- Vandendriessche F., 2008. Meat products in the past, today and in the future. *Meat Sci.*, 78, (1–2), 104–113.
- Zin M., Znamirowska A., 2003. Historia konserwowania mięsa. *Gospod. Mięśna*, 55 (1), 22–26.

TECHNICAL, TECHNOLOGICAL AND HEALTH SAFETY ASPECTS SMOKING OF MEAT

Abstract. Main factors deciding of characteristics of smoked meat products are the method and conditions of smoke generation and wood species. Usually the smoke is generated by using wood or chips of hard deciduous trees. The smoke can be produced through the slow, controlled incineration, pyrolysis, glowing or rubbing of wood with the defined humidity. The smoking process may be conducted in various temperatures, various smoke density and air circulation in the smoking chamber. Improper smoking conditions, and in particular conditions of smoke generating, can lead to elevated accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), sixteen of them are regarded as potentially carcinogenic agents, in smoked goods. This threat is eliminated when the traditional smoking processes are replaced by treatment with liquid smoke preparations which can be derived through elimination of hazardous PAHs and tar substances from smoke condensates. These preparations replace the traditional smoke in all aspects because they ensure the characteristic, delicate color of smoked products, delicate aroma and act as antibacterial and antioxidative agents thereby contributing to the increased shelf-life.

Key words: meat smoking, the smoke, smoking methods, PAHs, health safety of meat smoking

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 17.05.2011