



**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Opracowanie technologii peklowania wędzonek
ze zmniejszonym dodatkiem azotynu sodu
z wykorzystaniem bakterii środowiskowych
i polifenoli dla małego przetwórstwa**



Raport z badań realizowanych w ramach: Zadanie 4: Opracowanie technologii peklowania wędzonek ze zmniejszonym dodatkiem azotynu sodu z wykorzystaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Umowa nr DRE.prz.070.1.2025

Warszawa, grudzień 2025

Kierownik projektu:

dr inż. Piotr Szymański

Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu IBPRS-PIB

REALIZACJA PROJEKTU

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy

Wykonawcy:

- Dr inż. Piotr Szymański
- Dr inż. Anna Okoń
- Dr inż. Beata Łaszkiewicz
- Prof. dr hab. Zbigniew Dolatowski
- Mgr inż. Aneta Kern-Jędrychowska
- Mgr inż. Urszula Siekierko
- Mgr Agnieszka Malitka
- Mgr inż. Dorota Grzeszczak
- Mgr inż. Zuzanna Moskal
- Mgr inż. Magdalena Skorupska
- Mgr inż. Jakub Kern-Jędrychowski

Spis treści

CZEŚĆ I Wprowadzenie, przegląd nauki i techniki w odniesieniu do przedmiotu badań, cel badań.....	4
CZEŚĆ II Metodyka badań.....	22
CZEŚĆ III Wyniki badań i ich analiza.....	36
CZEŚĆ IV Podsumowanie i wnioski.....	71
CZEŚĆ V Technologia produkcji wędzonek peklowanych z obniżoną ilością azotanu (III) sodu w małej skali - wymagania techniczno - technologiczne	72
CZEŚĆ VI Literatura.....	83

Część I Wprowadzenie, przegląd nauki i techniki w odniesieniu do przedmiotu badań

1. Wprowadzenie

Azotany(III) są powszechnie stosowane w produkcji produktów mięsnych, ponieważ mogą skutecznie stabilizować kolor przetworzonego mięsa, ale również hamują wzrost *Clostridium botulinum*, powodują pożądane zmiany smaku i zapachu peklowanych produktów mięsnych oraz wykazują działanie przeciwutleniające. Problemem jest, że związki te mogą być prekursorami nitrozoamin, z których część jest rakotwórcza. W opinii EFSA łączna ilość azotanów(III) pobieranych przez ludzi, zarówno tych celowo dodawanych do żywności, jak i pochodzących z jej zanieczyszczeń, może w przypadku niektórych grup ludności, w tym dzieci, przekraczać ustalone dla tych związków limity dopuszczalnego dziennego pobrania (ADI). Przepisy Unii Europejskiej zmierzają do ograniczenia stosowania azotanów(III) w przetwarzaniu mięsa. Nowe Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108 z dnia 6 października 2023 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 oraz załącznik do rozporządzenia Komisji (UE) nr 231/2012 w odniesieniu do dodatków do żywności: azotyny (E 249–250) i azotany (E 251–252) wprowadza zmiany w ilości maksymalnych dozwolonych dawek stosowania tych związków w produkcji wędlin. Nowe przepisy ograniczają stosowanie azotanów(III) do 80 mg/kg (w przeliczeniu na jon NO₂). Ponadto wprowadzone zostały maksymalne poziomy pozostałości tych związków w wyrobie gotowym. Nowe przepisy zaczęły obowiązywać od 9 października 2025 roku. W dalszej perspektywie planuje się przegląd badań i dalsze obniżenie stosowania azotanów (III) i (V), na co producenci muszą się również przygotować.

Istotne zmniejszenie ilości azotanów(III) w procesie peklowania mięsa może niekorzystnie wpłynąć na jakość i trwałość wędlin wytwarzanych metodami tradycyjnymi przez małych przetwórców i w gospodarstwach rolniczych funkcjonujących w ramach krótkich łańcuchów dostaw, gdzie w bardzo ograniczonym zakresie stosuje się inne chemiczne substancje dodatkowe, które mogą zwiększyć efektywność procesu peklowania, tak jak ma to miejsce w dużym konwencjonalnym przemyśle mięsnym.

Proponowane zadanie było kontynuacją prac prowadzonych w 2024 roku, gdzie prowadzono działania ograniczające ilość dodatku azotanu(III) sodu w produkcji kiełbas w małym przetwórstwie. W nowym zadaniu przewidzianym na 2025 rok zaplanowano opracowanie prostej w zastosowaniu przez małych przetwórców technologii produkcji

wędzonek surowych, fermentowanych/dojrzewających i poddawanych obróbce cieplnej z obniżoną ilością azotanów(III) sodu przy zastosowaniu środowiskowych mikroorganizmów pozyskiwanych z naturalnych źródeł (np. serwatka kwasowa, tradycyjne produkty mięsne) oraz polifenoli z przypraw, ziół lub innych łatwo dostępnych dla rolników roślin. Udział wybranych mikroorganizmów, w tym szczepów bakterii fermentacji mlekowej (LAB) w kształtowaniu pożądanych cech jakościowych produktów mięsnych związany jest z właściwościami biochemicznymi poszczególnych drobnoustrojów lub grup drobnoustrojów, wytwarzaniu specyficznych enzymów i metabolitów, które mają wpływ na przemiany związków azotowych w mięsie podczas peklowania, zwiększają redukcyjność mięsa i dynamikę nitrozylowania barwników hemowych, przez co mogą mieć wpływ na lepsze wykorzystanie dodanych do mięsa azotanów(III) i stabilizację barwy produktów wytwarzanych z ograniczonym dodatkiem azotanów(III) sodu. Ponadto substancje będące produktami szlaków metabolicznych bakterii, w tym kwasu mlekowego, octowego, pirogronowego oraz bakteriocyn o przeciwdrobnoustrojowych właściwościach, mogą kształtować jakość i trwałość wyrobów mięsnych. Polifenole to związki występujące naturalnie w roślinach (nasiona, liście, korzenie), które mogą mieć zastosowanie w peklowaniu mięsa ze zredukowaną ilością azotanów(III) sodu. Ze względu na swoje właściwości chemiczne, mogą działać jako naturalne substancje przeciwutleniające, ograniczać utlenianie białek i lipidów oraz mieć wpływ na stabilność nitrozomioglobiny, związku powstałego w procesach peklowania mięsa, poprzez reakcje tlenu azotu z mioglobina, który jest kluczowy w zachowaniu stabilnej pożądanej różowej barwy produktów mięsnych.

W badaniach, które były prowadzone w warunkach półtechniki (IBPRS-PIB) i przemysłowych (pilotażowe produkcje wyrobów w wybranych zakładach) została przygotowana technologia wytwarzania wędzonek obrabianych cieplnie i surowo dojrzewających z ograniczonym dodatkiem azotanów(III) sodu. Przygotowane zostały startowe grupy drobnoustrojów środowiskowych pozyskane z ekologicznej żywności oraz ekstrakty bogate w polifenole pozyskane z roślin, które wykorzystane zostały w procesie peklowania mięsa ze zredukowaną ilością azotanów(III) sodu. Produkty mięsne wytworzone w ramach pilotażu w zakładach mięsnych były ocenione bezpośrednio po produkcji i po przechowywaniu. Dokonana została ocena fizyczna, chemiczna, mikrobiologiczna i sensoryczna w zakresie niezbędnych cech jakościowych związanych z ograniczeniem azotanów(III). Oceniona została wartość odżywcza, trwałość i bezpieczeństwo zdrowotne wyrobów mięsnych. Podczas badań okresu trwałości zwrócono uwagę na profil mikrobiologiczny produktów, poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych (w tym bakterii patogennych), które ograniczają trwałość

przechowalniczą oraz zmiany oksydacyjne. Z oznaczeń fizykochemicznych wykonano między innymi następujące analizy: skład chemiczny, kwasowość, tekstura, analiza barwy i jej trwałości podczas przechowywania, profil kwasów tłuszczowych, zawartość resztkowych azotanów (III) i (V) i stabilność oksydacyjna.

Efektem prac jest opracowanie technologii produkcji wędzonek w małej skali z obniżoną ilością azotanu(III) sodu charakteryzujących się dobrą jakością i trwałością. Opracowana i udostępniona technologia implementowana do przetwórstwa pomoże producentom w dostosowaniu się do zmieniających się wymagań, przyczyni się do wzrostu konkurencyjności krajowych wyrobów tradycyjnych wytwarzanych w małej skali i dalszego rozwoju krótkich łańcuchów dostaw żywności w Polsce.

2. Analiza aktualnego stanu nauki i techniki w odniesieniu do przedmiotu badań

2.1. Technologiczne funkcje peklowania mięsa

Peklowanie to etap przetwarzania mięsa decydujący o trwałości, stabilności barwy i tworzeniu aromatu wędlin. Podczas peklowania dodajemy chlorek sodu (NaCl) i substancje peklujące - azotan(III) sodu/potasu lub/i azotan(V) sodu/potasu (wędliny surowe dojrzewające). Zasadnicze funkcje azotanów(III) (dodanych lub powstałych z redukcji azotanów(V)) w procesie peklowania mięsa to tworzenie typowej, różowej barwy produktów mięsnych, tworzenie smaku i zapachu charakterystycznego dla mięsa peklowanego, hamowanie rozwoju niektórych niepożądanych drobnoustrojów, w tym bakterii *Clostridium botulinum* oraz spowolnienie procesów utleniania (Honikel, 2008).

W praktyce mięso można otaczać solą peklującą na sucho, na mokro (solanka) bądź metodą kombinowaną. Sole te dyfundują do wnętrza kawałków mięsa. Bardzo ważną rolę podczas peklowania odgrywa temperatura panująca w peklowni. Aby ograniczyć rozwój niepożądanych drobnoustrojów należy utrzymywać temperaturę na poziomie nie przekraczającym 5 °C, co zmniejsza znacznie ryzyko zepsucia mikrobiologicznego. Decydujące znaczenie dla stabilności mikrobiologicznej oraz trwałości surowych wyrobów ma dodatek NaCl. Pełni on rolę środka konserwującego, a jednocześnie nadaje smak gotowemu wyrobowi. Wnikające do mięsa na drodze dyfuzji jony soli unieruchamiają część występującej w nim wody, zmniejszają jej aktywność, co obniża rozwój niepożądanych drobnoustrojów.

Istota peklowania polega na powstawaniu nitrozyłomioglobiny w reakcji tlenowania tlenkiem azotu natywnego barwnika tkanki mięśniowej – mioglobiny. W reakcji tej tlenek azotu zastępuje cząsteczkę wody przyłączoną do żelaza w części hemowej mioglobiny, tworząc nitrozokompleks, w którym żelazo pozostaje na +2 stopniu utlenienia. Inne reakcje są także możliwe i mogą one zachodzić równolegle, w zależności od warunków środowiskowych. Tworzenie się nitrozyłomioglobiny może zachodzić w reakcjach chemicznych, biochemicznych, enzymatycznych i nieenzymatycznych. Tworzenie się nitrozyłomioglobiny wskutek reakcji chemicznej polega na redukcji metmioglobiny przez grupy –SH związane z białkami, reakcja enzymatyczna prowadzona jest przez dehydrogenazy, a nieenzymatyczna przez NADH w obecności koenzymów FMN i FAD. Nitrozyłomioglobina może tworzyć się także w reakcji tlenku azotu z oksymioglobina obecna w mięsie przy wysokim ciśnieniu parcjalnemu tlenu. Podczas obróbki termicznej, część białkowa nitrozyłomioglobiny (NOMB) ulega denaturacji i powstaje nitrozyłomiochromogen o różowoczerwonej barwie. Bezpośrednie działanie technologiczne soli peklującej wynika z obecności anionu azotanowego. Azotan(III)

po reakcji do tlenku azotu działa na barwę mięsa stabilizująco. Tlenek azotu reaguje z barwnikiem mięsa mioglobina tworząc nitrozylomoglobinę, której szczególną cechą jest to, że swoje czerwone zabarwienie zachowuje również po denaturacji białka. Związki chemiczne powstające w wyniku reakcji azotanu(III) bądź produktów jego rozkładu ze składnikami mięsa współuczestniczą w wytwarzaniu typowego aromatu dla peklowanego mięsa. Ponadto azotan(III) działa jako środek konserwujący, poprzez właściwości bakterioostatyczne, bakteriobójcze jak i przeciwutleniające. Jedną z możliwości tworzenia się tlenku azotu w procesie peklowania jest rozpad azotanu(III) w środowisku kwaśnym. Środowisko kwaśne w przetworach mięsnych można uzyskać np. w wyniku przemian dodanych cukrów do kwasów lub glukono- δ -laktonu do kwasu glukonowego. Reakcje przemiany azotanu(III) do tlenku azotu mogą także zachodzić w obecności grup -SH (system cysteina-cystyna). Przemiana zachodzi też w obecności enzymów tkankowych i bakteryjnych. W powstawaniu tlenku azotu uczestniczy zredukowany cytochrom c oraz NADH. Proces tworzenia tlenku azotu może być także stymulowany zmianą potencjału redoks w wyniku dodania substancji redukujących (Zhang i in., 2023). Obecnie w konwencjonalnym przetwórstwie mięsa powszechnie stosowany jest w tym celu askorbinian sodu lub izoaskorbinian sodu. Zastosowanie tych substancji zwiększa efektywność peklowania mięsa i zmniejsza pozostałość azotanu(III) w wyrobie gotowym. Niemniej jednak mali przetwórcy i gospodarstwa rolnicze funkcjonujące w ramach, krótkich łańcuchów dostaw w bardzo ograniczonym zakresie stosują chemiczne substancje dodatkowe, które mogą zwiększyć efektywność procesu peklowania.

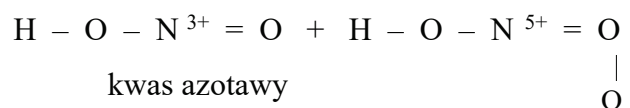
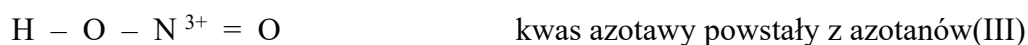
2.2. Przemiany azotanów(III) w mięsie podczas procesu peklowania

Atom azotu (N) jest pierwiastkiem, który może zmieniać stopień utlenienia w szerokim zakresie (tab. 1). W stanie podstawowym atom N ma pięć elektronów, które poruszają się wokół jądra w konfiguracji s^2p^3 . W takim stanie azot może przyjąć trzy dodatkowe elektrony i przejść na stopień utlenienia N^{3-} . W stanie N^{3-} azot występuje w amoniaku lub aminach. Jeżeli z kolei pierwiastek przekaże innym pięć elektronów przejdzie na stopień utlenienia N^{5+} . W stanie N^{5+} azot występuje w azotanach(V), natomiast w stanie N^{4+} w azotanach(III). Azotany(III) posiadają niesparowane elektrony przez co charakteryzują się dużą reaktywnością chemiczną (Sebranek i Bacus, 2007; Honikel, 2008; Ługowski i in., 2011).

Tabela. 1 Cząsteczki zawierające azot na różnym stopniu utlenienia (Honikel, 2008)

Cząsteczki zawierające azot	Stopień utlenienia	
NH ₃	-3	
N ₂	0	
N ₂ O	+1	
NO	+2	
HNO ₂ /N ₂ O ₃	+3	
NO ₂	+4	
HNO ₃	+5	utlenianie

Mięso normalne charakteryzuje się słabo kwaśnym pH. W takim środowisku azotany(III) występują przeważnie w formie zdysocjowanej (Honikel, 2008; Barbieri i in., 2013). Z pewnej części dodanych do mięsa azotanów(III) powstaje kwas azotawy. Kwas azotawy ulega przemianom w wyniku których powstaje tlenek azotu, który reaguje z barwnikami hemowymi mięsa lub innymi składnikami tkanki mięśniowej i tłuszczowej (Sebranek i Bacus, 2007; Honikel, 2008) (Rys. 1).



kwas azotawy



kwas azotowy

reakcja z mioglobina/metmioglobina,

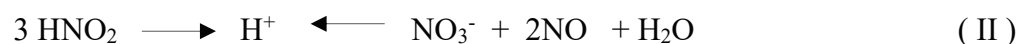
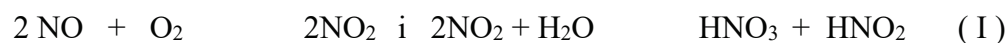
grupami –SH aminokwasami

i innymi składnikami mięsa

Rys. 1. Przemiany związków azotowych w środowisku mięsnym (Honikel, 2008).

Azotany(III) w postaci niezdysocjowanej również charakteryzują się wysoką reaktywnością chemiczną, co prowadzi do tworzenia wielu produktów pośrednich, które są nietrwałe i dlatego trudno je zidentyfikować, szczególnie w mięsie poddawany obróbce cieplnej (Barbieri i in., 2013). Podczas peklowania mięsa azotany(III) biorą udział w wielu konkurencyjnych reakcjach (Cassensa i in., 1978; Cassensa i in., 1990; Słowiński, 1997; Słowiński, 2006; Sebranek i Bacus, 2007; Barbieri i in., 2013). Z rezultatów badań Cassensa i in. (1978, 1990), w których do peklowania mięsa zastosowano azotan(III) zawierający promieniotwórczy izotop azotu – N^{15} wynika, że z wyjściowej dawki azotanów(III): 6-15 % azotanów(III) wiąże się z barwnikami mięsa (mioglobina i hemoglobina), 1-15 % z białkami niehemowymi, 1-5 % z glicerydami, 5-15 % z grupami sulfhydrylowymi, 1-10 % ulega dysmutacji do azotanu(V), 5-20 % pozostaje w postaci wolnej, 1-5 % wydzielą się jako gaz. Badaczom nie udało się zbilansować redystrybucji tlenu azotu w analizowanych frakcjach, a odzysk promieniotwórczego azotu wynosił w skrajnych przypadkach 38-100 %, zwykle jednak 70-80 % (Duda, 1998). Niektórzy autorzy wskazują, że ilość azotanów(III), która utlenia się podczas peklowania mięsa jest wyższa od tej, która wynika z szacunków Cassensa i in. (1978, 1990). Honikel (2008), na podstawie badań przeprowadzonych przez Dedererra (2005), dotyczących pozostałości azotanów(III) i (V) w wybranych produktach mięsnych wyprodukowanych w Niemczech w latach 2003 – 2005, stwierdził, że ilość azotanów(III) przekształcających się w azotany(V) podczas peklowania może wynosić 10 - 40 %.

W produktach mięsnych peklowanych przy użyciu azotanów(III) stwierdza się często wyższą zawartość azotanów(V) niż wynikałoby z wyliczeń teoretycznych (Arneth, 1998). Próbowano wyjaśnić to zjawisko. Arneth (1998) podaje, że Mohler (1974) wskazywał, że oprócz reakcji wtórnych jakim, ulega powstały tlenek azotu (rów. I) zachodzi dysmutacja kwasu azotawego do azotanu(V) i tlenu azotu (rów. II).



Inni badacze uważali to za mało prawdopodobne argumentując, że wodne roztwory kwasu azotawego są stabilne przez wiele dni. Ponadto w doświadczeniach modelowych zaobserwowano, że po kilku dniach inkubacji azotanów(III) z metmioglobina w warunkach zbliżonych do panujących w mięsie (pH=5,6) nie obserwuje się obecności azotanów(V).

Badania przeprowadzone na modelowych farszach kiełbasianych wykazały, że po wprowadzeniu azotanów(III), do mięsa, po 30 minutach wykrywane są azotany(V) w ilości 17 % dodanego azotanu(III) (Arneth, 1998). Nie jest do końca wyjaśnione, w wyniku jakich reakcji chemicznych, w produktach peklowanych azotanami(III) tworzą się często znaczne ilości

azotanów(V) (Arneth, 1998; Honikel, 2008). Wyniki badań dotyczące bilansu azotanu(III) podczas peklowania mięsa, nie są jednoznaczne. Tkanka mięśniowa jest gatunkowo i osobniczo niezwykle zróżnicowana oraz uzależniona od dużej ilości wzajemnie na siebie oddziałujących czynników i uwarunkowań pochodzenia endo i egzogenne, a także stanów fizjologicznych (Duda 1998; Sebranek i Bacus, 2007; Honikel, 2008). Wiadomo, że ogólny bilans azotanów(III) dodanych do mięsa podczas peklowania może być różny i zależny od wielu czynników tj. właściwości biochemicznych poszczególnych mięśni, warunków przeprowadzanego procesu technologicznego, mikroflory mięsa czy zastosowania substancji wspomagających ten proces (Cassens i in., 1978; Cassens, 1995; Arneth, 1998; Honikel, 2008; Sebranek i Bacus, 2007; Barbieri i in., 2013). Wydajność przemiany azotanów(III) do azotanów(V) jest szybsza w obecności askorbinianu sodu (Tyszkiewicz i Moch, 1986; Arneth, 1998). Zaobserwowano, że w modelowych farszach mięsnych, do których dodano tylko i wyłącznie azotan(III) sodu, wykrywane są azotany(V), których zawartość istotnie rośnie po wprowadzeniu do farszu kwasu askorbinowego (Arneth, 1998). Prawdopodobny mechanizm tej reakcji jest utlenianie oksymoglobiny przez azotany(III) z jednoczesnym ich autokatalitycznym utlenianiem do azotanów(V) (Gregorczyk i Mroczek, 1986). Arneth (1998) za Lee i in. (1978) stwierdził, że azotan(V) może powstawać z dodanego do mięsa azotanu(III) przy współdziałaniu mioglobiny, powstającej w wyniku redukcji metmioglobiny za pomocą kwasu askorbinowego, pod wpływem tlenu. Barbieri i in. (2013) prowadzili prace dotyczące kinetyki reakcji azotanów(III) ze składnikami tkanki mięśniowej, w temperaturze 55 - 72 °C. Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje zależność pomiędzy temperaturą prowadzenia procesu obróbki cieplnej mięsa, a dynamiką reakcji dysmutacji. Stwierdzono, że najszybsze obniżanie ilości azotanów(III) w układzie, spowodowane utlenianiem ich do azotanów(V), obserwowano w najniższej badanej temperaturze (55 °C) (Barbieri i in., 2013). W produktach surowych dojrzewających, azotany(V) powstałe z dodanych azotanów(III) mogą zostać zredukowane przez bakterie denitryfikujące (Honikel, 2008). W przypadku produktów poddawanych obróbce cieplnej, biorąc pod uwagę stosunkowo niską liczbę bakterii denitryfikujących w farszach mięsnych i krótki czas procesu produkcyjnego, nie jest to możliwe.

Bardziej efektywne wykorzystanie azotanów(III) w procesie peklowania mięsa jest istotne, biorąc pod uwagę aktualne tendencje do obniżania poziomu stosowania tych związków w przetwórstwie żywności, z powodu negatywnych skutków, jakie mogą wywierać na zdrowie człowieka.

2.3. Wymagania prawne dotyczące stosowania azotanów (III) i (V)

Przepisy Unii Europejskiej regulujące stosowanie dodatków do żywności to:

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (ze zmianami).
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1129/2011 z dnia 11 listopada 2011 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 poprzez ustanowienie unijnego wykazu dodatków do żywności (ze zmianami).

Zgodnie z wymaganiami dotyczącymi stosowania azotanów(III) i (V) w przetwarzaniu mięsa, które obowiązywały do 8 października 2025 roku, produkty mięsne poddawane obróbce cieplej mogły być peklowane za pomocą azotanów(III). Dopuszczalna ilość azotanu(III) sodu, którą można było dodać w toku produkcji to 150 mg/kg (w przeliczeniu na sól NaNO_2) z wyjątkiem produktów mięsnych sterylizowanych ($F_0 > 3,00$), w których związki te dopuszczone są w dawce do 100 mg/kg (w przeliczeniu na sól NaNO_2). Azotany(III) należy wprowadzić do mięsa w postaci peklosoli, mieszaniny soli spożywczej z azotanem(III) sodu lub potasu (NaCl -99,4%, Na/KNO_2 -0,6%). W przypadku produktów mięsnych niepoddawanych obróbce cieplej dozwolone są do stosowania zarówno azotany(III) w dawce do 150 mg/kg jak i azotany(V) w dawce 150 mg/kg również w przeliczeniu na sole. Związki te wprowadzamy do mięsa również w postaci mieszaniny z solą spożywczą. W metodzie peklowania przy użyciu azotanów(V) (saletry) stosowanej głównie w przypadku produkcji wyrobów surowych dojrzewających, niezbędna jest redukcja dodanych azotanów(V) do azotanów(III), która odbywa się przy udziale mikroflory środowiskowej mięsa lub kultur bakteryjnych dodawanych w procesie produkcyjnym. W metodzie tej azotany(V) stanowią źródło azotany(III), które biorą udział w późniejszych przemianach i reakcjach w mięsie. Przepisy dopuszczały również stosowanie azotanu(III) sodu w ilości do 150 mg/kg do niektórych krajowych surowych wyrobów mięsnych (kategoria 08.2, definicja w rozumieniu rozporządzenia (WE) nr 853/2004) takich jak kiełbasy surowej białej, kiełbasy surowej metki, tataro wołowego (danie tatarskie) i golonki peklowanej w dawce do 150 mg/kg. Rozporządzenie wprowadzało również oddzielne wymagania dla tradycyjnych produktów mięsnych, które są objęte odrębnymi wymaganiami w zależności od technologii wytwarzania. Przepisy nie uwzględniały limitu pozostałości resztkowych azotanów(III) i (V) w produktach gotowych z wyłączeniem niektórych produktów tradycyjnych dla których nie jest możliwe ustalenie dokładnej ilości dodatku do mięsa w trakcie procesu produkcji.

Niezależnie od korzyści wynikających ze stosowania azotanów(III), wiadomo, że związki te mogą być prekursorami nitrozoamin (NAs), w produktach mięsnych i w organizmie

człowieka, z których część jest rakotwórcza. W raporcie Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) opublikowanym w 2017 roku, dotyczącym ponownej oceny azotynu potasu (E 249) i azotynu sodu (E 250) jako dodatków do żywności, stwierdzono, że obowiązujące limity ich stosowania nie powodują przekroczenia wyznaczonej dla tych związków dopuszczalnej dziennej dawki (ADI) i zapewniają odpowiednią ochronę zdrowia konsumentów. Niemniej, biorąc pod uwagę całkowitą ilość azotanów(III), łącznie z zanieczyszczeniami obecnymi w żywności, uzyskane wyniki budzą niepokój, ponieważ ADI może zostać przekroczone w przypadku niektórych grup wiekowych populacji. Mówimy tutaj o szerszym problemie zanieczyszczenia środowiska azotanami(III) i (V). Źródło tych związków pochodzące z produktów mięsnych stanowi tylko niewielki ułamek spożywanych przez człowieka z żywnością. Stwierdzono również, że nawet jeśli azotany(III) i (V) stosowane są na dopuszczalnym poziomie, to biorąc pod uwagę inne ich źródła pochodzenia w żywności, mogą przyczyniać się do wzrostu ogólnego narażenia organizmu na NAs. Komisja Europejska na podstawie oceny przeprowadzonej przez EFSA oraz danych z krajów członkowskich dotyczących poziomów stosowania azotanów(III) i (V) przez przemysł dokonała ponownego przeglądu maksymalnych dopuszczalnych poziomów stosowania tych związków w produkcji żywności. Efektem tych prac są nowe wymagania stosowania w żywności azotanów(III) i (V) wprowadzone przez Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108 z dnia 6 października 2023 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 oraz załącznik do rozporządzenia Komisji (UE) nr 231/2012 w odniesieniu do dodatków do żywności: azotyny (E 249–250) i azotany (E 251–252), które zaczęły obowiązywać w UE, w tym w Polsce od 9 października 2025 roku

Nowe Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108 wprowadza zmiany w zakresie maksymalnej ilości azotanów(III) i (V) stosowanych w przetwarzaniu mięsa. Po pierwsze obniża wejściowy poziom dodatku azotanów do 80 mg/kg (wyrażone jako jon NO_2) w przypadku produktów mięsnych poddawanych obróbce cieplnej (niesterylizowanych) i do 55 mg/kg (wyrażone jako jon NO_2) w przypadku produktów sterylizowanych, oraz dodatkowo wprowadzono limit maksymalnej pozostałości azotanów(V) w produkcie gotowym (Tabela 2).

Tabela 2. Nowe wymagania Unii Europejskiej dotyczące stosowania i kontroli azotanów(III) w produktach mięsnych poddanych obróbce cieplnej (kategoria 08.3.2)

Numer według oznaczeń Unii Europejskiej	Nazwa substancji	Maksymalna ilość jaką można dodać w trakcie produkcji (mg/kg)	Uwagi	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym (mg/kg)
E 249-250	Azotany(III)	55 ^a (82 ^b)	Tylko sterylizowane produkty mięsne ($F_0 > 3,00$)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym przez cały okres przydatności do spożycia nie przekracza 25 ^a (37 ^b)
E 249-250	Azotany(III)	80 ^a (120 ^b)	Z wyjątkiem sterylizowanych produktów mięsne ($F_0 > 3,00$)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym przez cały okres przydatności do spożycia nie przekracza 45 ^a (67 ^b)

^a wyrażone jako jon NO_2 , ^b wyrażone jako sól NaNO_2 ;

Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108

Nowe wymagania wprowadziły również obniżenie stosowania azotanów(III) i (V) w przypadku produktów mięsnych niepoddanych obróbce cieplnej odpowiednio: do 80 mg/kg (wyrażone jako jon NO_2) i do 90 mg/kg (wyrażone jako jon NO_3). Oddzielne wymagania dla stosowania azotanów(V) (do 110 mg/kg wyrażone jako jon NO_3) ustalono dla dużych elementów rozbiorowych przeznaczonych na bekon i kielbasy suche niepoddane obróbce cieplnej do których nie stosuje się dodatku azotanu(III) (Tabela 3). Dla wyrobów mięsnych surowych (kategoria 08.2, definicja zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 853/2004,) takich jak kielbasa surowa biała, kielbasa surowa metka, tatar wołowy (danie tatarskie) i golonka peklowana obniżono poziom stosowania azotanów(III) (wyrażonych jako jon NO_2) do 80 mg/kg (Tabela 4). Dokonano również przeglądu i zmian w zakresie poziomów stosowania azotanów i azotanów w produkcji tradycyjnych produktów mięsnych, które w przepisie wyodrębniono w oddzielnej części, wraz z opisem wytwarzania.

Tabela 3. Nowe wymagania Unii Europejskiej dotyczące stosowania oraz kontroli azotanów(III) i (V) w produktach mięsnych niepoddanych obróbce cieplnej (kategoria 08.3.1)

Numer według oznaczeń Unii Europejskiej	Nazwa substancji	Maksymalna ilość jaką można dodać w trakcie produkcji (mg/kg)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym (mg/kg)
E 249-250	Azotany(III)	80 ^a (120 ^b)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym przez cały okres przydatności do spożycia nie może przekroczyć 45 ^a (67 ^b)
E 251-252	Azotany(V)	90 ^c (123 ^d)	W przypadku gdy ilość pozostałości ze wszystkich źródeł dla produktu gotowego do wprowadzenia do obrotu przez cały okres przydatności do spożycia produktu przekracza 90 ^c (123 ^d) wyrażonych jako jon NO ₃ , podmioty prowadzące przedsiębiorstwa spożywcze badają przyczynę tej nadwyżki
E 251-252	Azotany(V)	*110 ^c (150 ^d)	

^a wyrażone jako jon NO₂, ^b wyrażone jako sól NaNO₂, ^c wyrażone jako jon NO₃, ^d wyrażone jako sól NaNO₃

* tylko duże elementy rozbiorowe przeznaczone na bekon i kiełbasy suche bez dodatku azotanów

Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108

Tabela 4. Nowe wymagania Unii Europejskiej dotyczące stosowania oraz kontroli azotanów(III) w wyrobach mięsnych surowych (kategoria 08.2, definicja w rozumieniu rozporządzenia (WE) nr 853/2004)

Numer według oznaczeń Unii Europejskiej	Nazwa substancji	Maksymalna ilość jaką można dodać w trakcie produkcji (mg/kg)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym (mg/kg)
E 249-250	Azotany(III)	80 ^a (120 ^b)	Maksymalna pozostałość w produkcie gotowym przez cały okres przydatności do spożycia nie przekracza 45 ^a (67 ^b)

^a wyrażone jako jon NO₂, ^b wyrażone jako sól NaNO₂

Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108

Nowe przepisy zakładają kontrolę stosowania azotanów(III) i (V) na dwóch poziomach. Pierwszy dotyczy się ilości wprowadzonej, na etapie produkcji, która nie może zostać przekroczona. Zasadniczo koncepcja pozostaje ta sama, jak w przypadku dotychczasowych wymagań, różnią się jedynie dawki maksymalne, które zostały obniżone. Kontrole urzędowe/właścicielskie dotyczące prawidłowego stosowania limitowanych azotanów(III) (E 249-250) i azotanów(V) (E 251-252) powinny opierać się, między innymi, na wyliczeniach ilości substancji, jaką zakład dodaje w trakcie produkcji w oparciu o receptury zakładowe poszczególnych produktów. W praktyce maksymalna dozwolona ilość azotanów(III) i (V) dodanych w toku produkcji powinna być wyliczana w stosunku do łącznej wagi recepturowej farszu mięsnego obejmującej ilość surowca mięsno-tłuszczowego, wody, innych składników pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz dodatków do żywności. Takie podejście umożliwia prawidłowe limitowanie związków azotowych w przetwórstwie mięsa oraz zapewnia wystarczającą ich ilość na początku procesu produkcyjnego wędlin w celu osiągnięcia pożądanych efektów technologicznych.

Nowe przepisy wprowadziły również maksymalne pozostałości azotanów(III)/azotanów(V) w produkcie gotowym przez cały okres przydatności (Tabele 2-4). Tu sytuacja może być bardziej skomplikowana i wymagająca od producenta szerszej analizy procesu i uzyskanych wyników badań produktu gotowego. Generalnie ilość resztkowego azotanu(III) w produkcie gotowym zależy od wydajności jego przereagowania w mięsie podczas peklowania i dalszej obróbki technologicznej. Im to przereagowanie jest większe, tym zawartość azotanów(III) w produkcie jest mniejsza. Azotany(III) dodane do mięsa uczestniczą w wielu konkurencyjnych reakcjach chemicznych, z tkanką mięsną i tłuszczową, podczas których ulegają przemianom i tylko niewielka część powstałego ze zredukowanych azotanów(III) tlenku azotu reaguje z mioglobina, tworząc charakterystyczny kompleks, barwę mięsa peklowanego i produktu. Poziom resztkowego azotanu(III)/(V) skorelowany jest z wieloma czynnikami tj.: wielkością dawki wejściowej, zastosowaniem substancji redukujących/wspomagających peklowanie, mikrobiotą mięsa, poprawnością przeprowadzonego procesu produkcyjnego, zanieczyszczeniem surowca (mięso, woda, przyprawy), a nawet rodzajem asortymentu i podstawowym składem recepturowym (składniki mięsne i tłuszczowe). Jeżeli poziom resztkowych azotanów(III)/(V) w produkcie będzie wyższy od wartości wskazanych w przepisie, producent będzie musiał zbadać przyczynę tego przekroczenia i ewentualnie wdrożyć działania korygujące w recepturze lub procesie.

2.4. Rola środowiskowych bakterii kwasu mlekowego w przemianach barwników hemowych i peklowaniu mięsa

Bakterie z rodzaju *Lactobacillus* zaliczane są do bakterii fermentacji mlekowej (LAB – lactic acid bacteria), które stanowią obszerną grupę gram-dodatnich bakterii i wykazują wspólne właściwości morfologiczne, metaboliczne i fizjologiczne. LAB obejmują głównie względnie beztlenowe, nie posiadające cytochromów, nieprzetrwalnikujące, katalazo-ujemne pałeczki lub ziarniaki, zróżnicowane pod względem wielkości. Poza rodzajem *Lactobacillus*, do LAB należą drobnoustroje z rodzajów: *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, *Weissella* i *Bifidobacterium* (Vos i in., 2009; Jurkowski i Błaszczuk, 2012). Cechą wspólną tych mikroorganizmów jest wytwarzanie kwasu mlekowego, który jest głównym produktem fermentacji mlekowej. Bakterie te wykorzystują zarówno cukry proste, disacharydy, jak i niektóre oligo- i polisacharydy jako źródła węgla. W wyniku fermentacji LAB produkują od 0,6 do 3 % kwasu mlekowego. Bakterie mlekowe rosną w szerokim zakresie pH (4,0-9,6), mogą namnażać się w warunkach chłodniczych i przy zasoleniu nawet do 6,5 % NaCl (Gajewska i Błaszczuk, 2012; Vinderola i in., 2019). W skład naturalnej mikroflory mięsa mogą wchodzić różne szczepy bakterii, w tym bakterie kwasu mlekowego, które przedostają się do mięsa podczas uboju zwierząt, rozbioru mięsa, przetwarzania i pakowania produktu (Nychas i in., 2007; Nychas i in., 2008). Aktywność metaboliczna dzikich LAB może powodować psucie produktów mięsnych w postaci kwaśnych, nieprzyjemnych smaków, nieprzyjemnych zapachów, mlecznych wysięków, produkcji szlamu, pęcznienie opakowania poprzez wytwarzanie gazu i przebarwienia, np. zazielenienie (Borch i in., 1996; Jay, Loessner, Golden, 2006). Wyselekcjonowane pod względem cech biochemicznych, wybrane szczepy bakterii kwasu mlekowego stosowane są powszechnie w przetwórstwie mięsa do produkcji wędlin fermentowanych (Rubio i in., 2013). Nadają produktom specyficzny smak i aromat, a dzięki produkcji kwasów organicznych, w tym głównie kwasu mlekowego, powodują szybkie zakwaszenie surowca, przez co zwiększają bezpieczeństwo żywności. Ponadto produkcja kwasu octowego, etanolu, związków aromatycznych, egzopolisacharydów oraz enzymów, przyczynia się do poprawy tekstury i cech sensorycznych produktu końcowego (Leroy i De Vuyst, 2004). LAB mogą mieć również szerokie zastosowanie w bioprotekcji, ponieważ w naturalny sposób potrafią zdominować mikroflorę mięsa (Balciunas i in., 2013; Łaskiewicz, Szymański, Kołożyn-Krajewska, 2020; Łaskiewicz, Szymański, Zielińska, Kołożyn-Krajewska, 2021).

Wiadomo, że wybrane metabolity bakterii kwasu mlekowego mają wpływ na przemiany barwników hemowych w mięsie i produktach. Niektóre szczepy LAB są zdolne do redukcji NO₂ do NO poprzez produkcję kwasu i aktywność reduktaz azotynowych, zależnych od hemu lub niezależnych od hemu (Chen i in., 2016). Obniżenie pH w mięsie o 0,2 jednostki powoduje podwojenie redukcji azotanów(III) (Sebranek, 1979). NO może wchodzić w reakcje z DMb i w efekcie powstaje MbNO. Możliwa jest również reakcja NO z MMb, w wyniku której powstaje kompleks nitrozylometmioglobina (MMbNO) (Honikel, 2008), który zredukowany może zostać do MbNO przez NADH (McClure i in. 2011) lub chemicznie przez substancje redukujące dodane do mięsa (Arneth, 1998).

LAB to bakterie względnie beztlenowe. W warunkach niesprzyjających mogą wykorzystywać tlen jako końcowy akceptor elektronów. Jednym z produktów powstających w wyniku redukcji tlenu przez bakterie w łańcuchu oddechowym jest silnie utleniający nadtlenku wodoru (H₂O₂) (Bolotin i in., 1999; 2001). H₂O₂ jest toksyczny także dla samych bakterii i najczęściej ulega szybkiemu wydzieleniu do środowiska (O'Bryan, i in. 2014). H₂O₂ wytworzony przez bakterie może powodować utlenianie mioglobiny i nitrozylowych pochodnych barwników hemowych i mieć niekorzystny wpływ na barwę mięsa i przetworów wytworzonych z mięsa peklowanego.

Rola bakterii kwasu mlekowego w przemianach barwników hemowych mięsa nie jest do końca poznana. Nowy aspekt, który obecnie jest badany to mikrobiologiczna konwersja mioglobiny w inne pochodne formy. Zaobserwowano, że niektóre szczepy LAB między innymi *Limosilactobacillus fermentum* JCM1173 wpływają na konwersję MMb do MbNO. Wykazano również, że nitrozylomoglobina może być generowana przez szczep *Limosilactobacillus fermentum* AS1.1880 w farszu kielbasianym do którego nie dodano związków azotowych (Zhang, Kong i Xiong, 2007).

Udowodniono również, że niektóre szczepy bakterii z gatunków *Pediococcus pentosaceus* mogą uczestniczyć w przemianach mioglobiny skutkiem których jest zastąpienie atomu żelaza znajdującego się w centrum pierścienia porfiryнового atomem cynku i utworzeniem czerwonego barwnika (MbZn²⁺). Tego typu barwnik zidentyfikowano w chińskiej suszonej kielbasie wytwarzanej bez użycia związków azotowych. Nie wykazano dotychczas czy MbZn²⁺ może powstawać w obecności związków azotowych i wchodzić w reakcję z nimi, tworząc barwnik stabilny po obróbce cieplnej (Wakamatsu, Nishimura & Hattori, 2004; Adamsen i in., 2006). Szymański i in. (2021) wykazali wpływ zastosowania *Limosilactobacillus fermentum* S8 i *Staphylococcus carnosus* ATCC 51365 na efektywność peklowania mięsa z obniżoną dawką azotanu(III) sodu. Przeprowadzone badania wskazują na

udział *Limosilactobacillus fermentum* S8 wyizolowanego z serwatki kwasowej w kształtowaniu różowej barwy produktów mięsnych, niemniej dokładny mechanizm procesu nie został odkryty (Szymański i in., 2023).

2.5. Serwatka kwasowa

Kwaśna serwatka to surowiec uboczny po produkcji serów. Charakteryzuje się pH na poziomie 3,8 – 4,6 i zawartością kwasu mlekowego na poziomie do 0,7 %. Główne składniki serwatki (oprócz wody) to laktoza, białka serwatkowe, związki wapnia i fosforu, kwasy organiczne, witaminy z grupy B oraz związki o działaniu przeciwutleniającym tj. glutation i laktoferyna (Skryplonek & Jasińska, 2016). W ostatnim czasie wiele uwagi poświęca się korzyściom płynącym z białka serwatkowego w zakresie właściwości przeciwutleniających. Utlenianie jest jednym z najważniejszych mechanizmów degradacji składników mięsa, które wpływa na smakowitość, barwę, konsystencja i wartość odżywczą. W mięsie utlenianie może być inicjowane przez endogenne jony metali, zwłaszcza żelaza hemowego, oraz przez egzogenne reaktywne formy tlenu. Utlenianie lipidów, szczególnie frakcji nienasyconych kwasów tłuszczowych prowadzi do tworzenia aldehydów, ketonów i inne związków, które mogą być szkodliwe dla zdrowia i mogą niekorzystnie wpływać na ogólną jakość i akceptowalność produktów mięsnych. Właściwości przeciwutleniające białek serwatkowych zostały szeroko udowodnione *in vitro* poprzez zmniejszenie peroksydacji lipidów lub wymiatanie wolnych rodników. Przypisuje się je ich aminokwasom hydrofobowym i aromatycznym, które mogą służyć jako donatory protonów dla wolnych rodników. Za główny czynnik odpowiedzialny za aktywność antyoksydacyjną uważa się frakcję białka serwatkowego, składającą się z β -laktoglobuliny, α -laktoalbuminy, albuminy surowicy, immunoglobulin i laktoferyny.

Dominującą mikroflorą organicznej serwatki kwasowej są bakterie kwasu mlekowego (LAB), których stężenie w tradycyjnie pozyskiwanej serwatce jest zróżnicowane i może wynosić od 10^3 cfu/mL do 10^8 cfu/mL. Badania nad biochemicznymi cechami LAB izolowanych z ekologicznej serwatki wskazują, że wybrane szczepy bakterii mogą być przydatne w przetwórstwie mięsa. Wykazano, że wybrane szczepy z serwatki są w stanie przeprowadzać denitryfikację, a także mają silną aktywność β -galaktozydazy i zdolność do wykorzystywania argininy, sacharozy, mannitolu, arabinozy, trehalozy. Szczepy te nie posiadają żadnych genów oporności na antybiotyki i nie wytwarza szkodliwych enzymów. Szczepy serwatkowe wykazują również aktywność przeciwdrobnoustrojową przeciwko selektywnym bakteriom patogennym (*L. monocytogenes*, *S. enteritidis*, *Shigella spp*, *E. coli*)

(Rzepakowska i in., 2017). Właściwości biochemiczne szczepów bakterii serwatki kwasowej wskazują, że serwatka kwasowa może być źródłem grupy drobnoustrojów środowiskowych o zastosowaniu w przetwarzaniu mięsa (Szymański, i in., 2023). Badania prowadzone do tej pory wykazały pozytywny wpływ kwaśnej serwatki na kolor, smak i okres przydatności do spożycia niepeklowanych produktów mięsnych (Wójciak, Karwowska & Dolatowski, 2014; Karwowska, Wójciak & Dolatowski, 2015; Wójciak & Dolatowski, 2016; Karwowska & Kononiuk, 2018).

Specyficzne właściwości organicznej serwatki, szczególnie właściwości mikrobioty środowiskowej, zawartość kwasów organicznych i składników antyoksydacyjnych, stwarzają potencjalne możliwości wykorzystania jej w produkcji wyrobów mięsnych o obniżonej zawartości azotanów(III).

2.6. Ekstrakty roślinne jako źródło polifenoli w peklowaniu mięsa

Polifenole to obszerna grupa związków organicznych pochodzenia roślinnego, charakteryzujących się obecnością wielu grup hydroksylowych przy pierścieniach aromatycznych. Do najważniejszych klas polifenoli zalicza się flawonoidy, kwasy fenolowe, stilbeny oraz lignany. Związki te pełnią w roślinach istotną funkcję ochronną, zabezpieczając tkanki przed stresem oksydacyjnym, promieniowaniem ultrafioletowym oraz działaniem patogenów. Z punktu widzenia technologii żywności polifenole są cenione przede wszystkim ze względu na swoje właściwości przeciwutleniające. Polegają one na zdolności do neutralizacji wolnych rodników, hamowania reakcji łańcuchowych utleniania lipidów oraz chelatowania jonów metali przejściowych, takich jak żelazo i miedź. Ponadto polifenole mogą wykazywać aktywność przeciwdrobnoustrojową oraz wpływać na stabilność białek i barwników, co ma szczególne znaczenie w przypadku produktów mięsnych poddawanych peklowaniu azotanami(III). Ekstrakty roślinne stanowią bogate źródło związków bioaktywnych, wśród których szczególną uwagę zwraca się na polifenole. Substancje te występują powszechnie w różnych częściach roślin, takich jak liście, owoce, nasiona czy kora, a ich zawartość i skład jakościowy zależą od gatunku rośliny, warunków uprawy oraz metody ekstrakcji. W kontekście technologii mięsa coraz częściej analizuje się możliwość wykorzystania ekstraktów roślinnych w procesie peklowania azotanowego(III) jako dodatków wspomagających jego efektywność. Liście maliny (*Rubus idaeus*) są cennym źródłem polifenoli, w tym flawonoidów, tanin oraz kwasów fenolowych, takich jak kwas elagowy i galusowy. Związki te wykazują silne właściwości przeciwutleniające oraz zdolność do oddziaływania z białkami i lipidami mięsa. Liście pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica*)

zawierają znaczne ilości flawonoli, głównie kwercetyny i kemferolu, a także kwasów fenolowych, które oprócz działania antyoksydacyjnego wykazują również właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Zielona herbata (*Camellia sinensis*) jest jednym z najlepiej poznanych surowców roślinnych bogatych w polifenole, zwłaszcza katechiny, w tym galusan epigallokatechiny (EGCG), epigallokatechinę oraz epikatechinę, charakteryzujące się bardzo wysoką aktywnością przeciwutleniającą (Jaiswal i Lee, 2022; Luo i in., 2020). Zróżnicowany skład chemiczny ekstraktów roślinnych powoduje, że mogą one wpływać na wiele procesów zachodzących w mięsie podczas peklowania, jak i w trakcie dalszego przetwarzania oraz przechowywania.

3. Cel badań

Celem pracy było opracowanie technologii produkcji wędzonek peklowanych z obniżoną ilością azotanu(III) sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych i polifenoli dla małego przetwórstwa.

Część II Metodyka badań

1. Układ doświadczenia

W pierwszym etapie badań opracowano założenia metodyczne technologii wytwarzania wędzonek z obniżoną ilością azotanu(III) sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych oraz polifenoli pochodzących z wybranych ekstraktów roślinnych. Wytypowano źródło środowiskowych bakterii fermentacji mlekowej (LAB) do produkcji wyrobów doświadczalnych – ekologiczną serwatkę kwasową pochodzącą z województwa podkarpackiego (Dukla), charakteryzującą się specyficzną mikrobiotą, zdominowaną przez bakterie fermentacji mlekowej. W badaniach wykazano, że szczepy LAB obecne w serwatce kwasowej mogą uczestniczyć w procesie peklowania mięsa poprzez umiarkowane zakwaszenie środowiska oraz aktywność enzymatyczną, w szczególności reduktaz azotanowych, sprzyjających konwersji dodanych azotanów(III) do tlenku azotu. Serwatka wykorzystywana w badaniach została szczegółowo scharakteryzowana pod względem fizykochemicznym i mikrobiologicznym, a następnie przygotowano na jej bazie szczepionki startowe przeznaczone do aplikacji w mięsie. Jako źródło polifenoli oceniano przydatność wybranych naturalnych ekstraktów roślinnych, tj. ekstraktu z zielonej herbaty, ekstraktu z liści porzeczki oraz ekstraktu z pokrzywy, w peklowaniu mięsa z obniżoną dawką azotanu(III) sodu do produkcji wędzonek. Opracowano technologię przygotowania wodnych ekstraktów z suszonych surowców roślinnych.

W kolejnym etapie opracowano założenia recepturowe obejmujące dobór surowca mięsnego, technologię peklowania, zastosowanie dodatków oraz parametry obróbki technologicznej dla doświadczalnych wędzonek poddawanych obróbce cieplnej oraz wędzonek surowych dojrzewających. Uwzględniono parametry peklowania, wędzenia i obróbki cieplnej przy zmniejszonej ilości azotanu(III) sodu. Opracowano receptury modelowe dla: szynki rozdrobnionej wędzonej parzonej, schabu wieprzowego wędzonego parzonego oraz wędzonki surowej dojrzewającej. Receptury te zostały następnie wykorzystane w produkcjach doświadczalnych prowadzonych w warunkach przemysłowych.

Następnie przeprowadzono serię produkcji pilotażowych wędzonek poddawanych obróbce cieplnej oraz wędzonek surowych dojrzewających (2–3 szarże produkcyjne) z obniżoną dawką azotanu(III) sodu, z zastosowaniem środowiskowych bakterii fermentacji mlekowej pochodzących z ekologicznej serwatki kwasowej oraz polifenoli pochodzących z ekstraktów roślinnych przygotowanych zgodnie z technologią IBPRS-PIB. W zależności od grupy produktowej badano dodatek do peklowania mięsa: wyłącznie ekstraktów roślinnych,

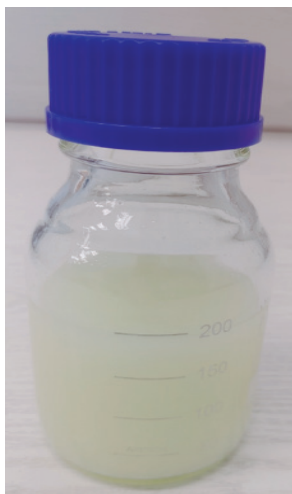
wyłącznie bakterii środowiskowych lub kombinacji ekstraktów i bakterii w celu oceny potencjalnego efektu synergistycznego.

W przypadku szynki rozdrobnionej zastosowano szybkie peklowanie na sucho (48 h) z dodatkiem polifenoli pochodzących z ekstraktów liści herbaty, maliny i porzeczki w stężeniach 1, 3 i 5%. Dla schabu wieprzowego poddanego obróbce cieplnej zastosowano peklowanie zalewowe, w którym solankę wzbogacano o bakterie środowiskowe, zarówno w połączeniu z dodatkiem polifenoli z liści maliny, jak i oddzielnie. Natomiast w przypadku schabu surowego dojrzewającego zastosowano peklowanie na sucho z udziałem bakterii środowiskowych oraz polifenoli z liści maliny, stosowanych zarówno indywidualnie, jak i łącznie. Próby kontrolne stanowiły wyroby peklowane z typową, stosowaną przemysłowo dawką azotanu(III) sodu oraz wyroby z obniżoną dawką azotanu(III) sodu, lecz bez dodatku naturalnych składników funkcjonalnych. Produkcje doświadczalne realizowano w warunkach przemysłowych w zakładach mięsnych Jasiołka w Dukli.

Wytworzone produkty mięsne poddano badaniom bezpośrednio po produkcji oraz po okresie przechowywania w celu oceny skuteczności zaproponowanych rozwiązań technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem ich przydatności dla małego przetwórstwa. Przeprowadzono ocenę fizyczną, chemiczną, mikrobiologiczną oraz sensoryczną w zakresie kluczowych cech jakościowych związanych z ograniczeniem lub eliminacją azotanów(III). Oceniano wartość odżywczą, jakość mikrobiologiczną, trwałość oraz bezpieczeństwo zdrowotne wyrobów mięsnych. W trakcie badań trwałości szczególną uwagę zwrócono na poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych, w tym obecność bakterii patogennych. W zakresie analiz fizykochemicznych wykonano m.in. oznaczenia składu chemicznego, kwasowości, tekstury, barwy oraz jej stabilności podczas przechowywania i naświetlania (symulacja warunków panujących w ladach chłodniczych), profil kwasów tłuszczowych, zawartość resztkowych azotanów(III) i azotanów(V) oraz ocenę stabilności oksydacyjnej.

2. Serwatka kwasowa – źródło środowiskowych bakterii kwasu mlekowego

Użyta w badaniach ekologiczna serwatka kwasowa pochodziła z produkcji serów pochodząca z gospodarstwa rolnego z województwa podkarpackiego (Dukla).



Rys. 2. Serwatka z Dukli

Tabela 5. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i parametrów barwy serwatki (średnia $\pm$ odchylenie standardowe).

Serwatka	ORP (mV)	pH	L*	a*	b*
Dukla	412,07 $\pm$ 4,43	4,81 $\pm$ 0,06	35,47 $\pm$ 3,51	-5,73 $\pm$ 0,42	4,15 $\pm$ 0,16

Tabela 6. Jakość mikrobiologiczna wyrażona jako log jtk/g serwatki zastosowanej w badaniach (średnia $\pm$ odchylenie standardowe).

Serwatka	Ogólna liczba drobnoustrojów	Liczba bakterii fermentacji mlekowej	<i>Salmonella</i> spp.	<i>Listeria monocytogenes</i>
Dukla	6,85 $\pm$ 0,43	8,64 $\pm$ 0,21	nw	nw

3. Ekstrakty roślinne – źródło polifenoli

Przygotowano 3 ekstrakty do wykonania modelowych produktów: z liści zielonej herbaty, z liści suszonej pokrzywy, z liści suszonej maliny.

H - Herbata zielona

M - Malina

P - Pokrzywa

Przygotowanie ekstraktów:

Do zlewki o poj. 1000-1500 ml odważono 5 g próbki i zalano 1000 ml wody destylowanej o temp. 80°C. Następnie parzono pod przykryciem (szkiełko nakrywkowe) przez 30 minut. Po wystudzeniu, przesączono przez sączek papierowy. Tak uzyskany ekstrakt wykorzystano do produkcji modelowych produktów.

Tabela 7. Zawartość azotanów (III) i (V) w badanych ekstraktach.

Zawartość [mg/kg]	Kod wariantu		
	H	M	P
NO ₂ -	<2,0	<2,0	<2,0
NO ₃ -	2,1±1,2	2,3±1,1	43,1±1,3

4. Technologia produkcji pilotażowych wędzonek

Produkcja 1

Szynka rozdrobniona wędzona parzona wytworzona ze zredukowaną ilością azotanu(III) sodu do 50 mg/kg z zastosowaniem polifenoli, których źródłem były ekstrakty roślinne.

Warianty badawcze:

C1- kontrola peklowana ze standardową ilością azotanu(III) sodu

C2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

H1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 1%

H3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 3%

H5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 5%

M1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 1%

M3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 3%

M5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 5%

P1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 1%

P3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 3%

P5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 5%

Sposób przygotowania, receptura bazowa:

Szynkę wieprzową (mięsień półbłoniasty obrobiony, bez tłuszczu i skór) rozdrabniano na wilku z użyciem szarpaka, mieszano z odpowiednimi dodatkami i pozostawiano do peklowania przez 24 h w temperaturze 2–4 °C. Następnie farsz napełniano do półprzepuszczalnych syntetycznych osłonek polimerowych o średnicy 65 mm, klipsowano, wędzono z parą (65–70°C przez 30 min) oraz parzono do osiągnięcia temperatury 70 °C w centrum produktu. Po obróbce cieplnej produkty wychłodzono (w pierwszym etapie w zimniej wodzie, następnie zimnym powietrzem w chłodni) do temperatury 4–6 °C. Produkty po wychłodzeniu przechowywano w chłodni do czasu przeprowadzenia badań. Zapakowane produkty były przechowywane w warunkach chłodniczych i badane w czasie 1 (po produkcji) oraz po 5 tygodniach przechowywania.

Receptury poszczególnych wariantów doświadczalnych przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Receptura szynki rozdrobnionej wędzonej parzonej w przeliczeniu na 100 kg surowca podstawowego.

Kod wariantu	Mięso z szynki wieprzowej [kg]	Azotan(III) sodu [g]	Sól [kg]	Ekstrakt [kg]	Woda do uzupełnienia za ekstrakt [kg]
C1	100	15	2	0	5
C2	100	5	2	0	5
H1	100	5	2	1	4
H3	100	5	2	3	2
H5	100	5	2	5	0
P1	100	5	2	1	4
P3	100	5	2	3	2
P5	100	5	2	5	0
M1	100	5	2	1	4
M3	100	5	2	3	2
M5	100	5	2	5	0

Tabela 9. Charakterystyka fizyko-chemiczna mięsa z szynki wieprzowej użytego do produkcji modelowych wędzonek (3 partie).

Parametr	Kod wariantu		
	I	II	III
Woda [%]	70,3±2,5	71,0±2,5	72,3±2,5
Białko [%]	19,7±1,1	19,6±1,5	20,5±1,5
Tłuszcz [%]	7,1±1,5	8,6±0,8	7,5±1,9
NaCl [%]	<0,5	<0,5	<0,5
Kolagen [%]	1,01±0,21	1,09±0,21	1,02±0,19
NO ₂ - [mg/kg]	<2,0	<2,0	<2,0
NO ₃ -[mg/kg]	<2,0	<2,0	<2,0

Produkcja 2

Schab parzony wędzony ze zredukowaną ilością azotanu(III) sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych (źródło bakterii kwasu mlekowego - serwatka kwasowa) i polifenoli (źródło ekstrakt z liści maliny)

Warianty badawcze:

K1- kontrola peklowana ze standardową zawartością azotanu(III) sodu

K2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

B3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin i serwatką

B4- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu i serwatką

B5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin

Sposób przygotowania, receptura bazowa:

Jako surowiec podstawowy do produkcji wędzonki zastosowano schab wieprzowy bez kości, bez tłuszczu i skóry. Peklowanie prowadzono w systemie na mokro z zastosowaniem zalewy peklującej. W zależności od wariantu doświadczalnego zastosowano określony skład zalewy peklującej (Tabela 10). W wariantach eksperymentalnych obniżono o połowę typowy dodatek azotynu sodu (zredukowany dodatek peklosoli i zastąpienie solą).

Tabela 10. Skład zalewy peklującej w zależności od wariantu.

Wariant zalewy peklującej	Woda [l]	Peklosól [kg]	Sól [kg]	Ekstrakt [l]	Serwatka [l]
K1	40	2,8	-	-	-
K2	40	1,4	1,4	-	-
B3	40	1,4	1,4	20	20
B4	20	1,4	1,4	-	20
B5	20	1,4	1,4	20	-

Schemat postępowania technologicznego:

1. Sporządzenie solanki peklującej.
2. Peklowanie mięsa w solance przez 3 dni.
3. Masowanie w celu rozprowadzenia solanki.
4. Kontynuacja peklowania w zalewie przez 3 dni.
5. Zawieszanie na kijach.
6. Obróbka cieplna – osuszanie powierzchni, następnie wędzenie (dym gorący 55–65 °C przez 1 h) i parzenie parą do osiągnięcia 70 °C wewnątrz, prowadzona w komorze wędzarniczo – parzalnicy typu Atmos.
7. Wychładzanie zimnym powietrzem do temperatury 4–6 °C wewnątrz.
8. Pakowanie próżniowe i przechowywanie w warunkach chłodniczych (4–6 °C).

Badania wykonywano w czasie 1 (po produkcji), 2 (po 1 tygodniu przechowywania), 3 (po 2 tygodniach przechowywania).

Produkcja 3

Wędzonki surowo dojrzewające ze zredukowaną ilością azotanu(III) sodu z zastosowaniem bakterii środowiskowych (źródło bakterii kwasu mlekowego - serwatka kwasowa) i polifenoli (źródło ekstrakt z liści maliny)

Warianty badawcze:

K1- kontrola peklowana ze standardową zawartością azotanu(III) sodu

K2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

B3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin i serwatką

B4- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu i serwatką

B5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin

Sposób przygotowania, receptura bazowa:

Jako surowiec podstawowy do produkcji wędzonki zastosowano schab wieprzowy bez kości, bez tłuszczu i skóry. Peklowanie prowadzono w systemie na sucho. W tabeli 11 zestawiono układ zastosowanych dodatków w zależności od wariantu doświadczalnego. W wariantach eksperymentalnych obniżono o połowę dodatek azotynu sodu (zredukowany dodatek peklosoli i zastąpienie solą).

Tabela 11. Układ zastosowanych dodatków w zależności od wariantu.

Wariant eksperymentalny	Peklosól [%]	Sól [%]	Ekstrakt [%]	Serwatka [%]	Glukoza [g/kg surowca]	Woda [%]
K1	1,6	-	-	-	5	5
K2	0,8	0,8	-	-	5	5
B3	0,8	0,8	2,5	2,5	5	-
B4	0,8	0,8	-	2,5	5	2,5
B5	0,8	0,8	2,5	-	5	2,5

Schemat postępowania technologicznego:

1. Surowiec zasypujemy peklosolą i/lub solą w zależności od wariantu doświadczalnego, następnie całość peklujemy w cymbrach przez 48 h.
2. Usuwamy osocze, dodajemy glukozę oraz wodę i/lub serwatkę i/lub ekstrakt roślinny w zależności od wariantu doświadczalnego, całość wmasowujemy ręcznie w mięśnie.
Leżakowanie-peklowanie 4-5 dni w cymbrach
3. Zawieszanie na kijach, obsuszanie prowadzimy na hali produkcyjnej i następnie kierujemy do komory dojrzewalniczej.
4. Proces dojrzewania prowadzimy w temperaturze 15-17 °C i wilgotności 70-85 % przez 42 dni. Po 4 dniach wędzonki wędzimy zimnym dymem (20 min, 20-25 °C).

5. Po procesie dojrzewania produkty wychładzamy do temp. 4-6 °C i pakujemy próżniowo w folie wielowarstwową wykonaną z poliamidu i polietylenu i przechowujemy w warunkach chłodniczych (4-6 °C).

Badania wykonywano w czasie 1 (po produkcji), 2 (po 6 tygodniach przechowywania), 3 (po 12 tygodniach przechowywania).



Rys. 3. Wybrane etapy procesu produkcyjnego doświadczalnych wędzonek – produkcje pilotażowe w zakładzie mięsnym.

5. Metody badań

Skład podstawowy produktów

- Zawartość wody. Oznaczenie wykonywano metodą wagową według PN-ISO 1442:2000.
- Zawartość białka. Oznaczenie wykonywano metodą miareczkową (Kjeldahla).
- Zawartość tłuszczu wolnego. Oznaczenie wykonywano metodą wagową (ekstrakcja techniką Soxhleta) według PN-ISO 1444:2000.
- Zawartość chlorków. Oznaczenie wykonywano metodą potencjometryczną według PN-ISO 1841-2:2002.

*Parametry barwy w systemie CIE L*a*b**

Metoda polega na pomiarze barwy za pomocą fotokolorymetru Chroma-Meter serii CR-300 firmy Minolta. Oznaczania wykonywano przy oświetleniu rozproszonym pod kątem 0° i średnicy przesłony 8 mm. Do wykonania oznaczenia użyto wyciętych plastrów wędliny o grubości 20 mm. Aparat przed użyciem kalibrowano. Kalibrację spektrofotometru przeprowadzono na wzorcu bieli, którego parametry stanowią punkt odniesienia wszystkich dokonywanych analiz. Pomiaru barwy dokonano w systemie CIE L*a*b*.

Ocena stabilności barwy produktów mięsnych w warunkach ekspozycji na światło

Składowe barwy L*, a* i b* oznaczono w produktach parzonych, dla szynki – po produkcji (czas 1) oraz po 5 tygodniach przechowywania (czas 2), dla schabu - po produkcji (czas 1), po 1 tygodniu przechowywania (czas 2) oraz po 2 tygodniach przechowywania (czas 3) oraz w wędzonkach surowo dojrzewających - po produkcji (czas 1), po 6 tygodniach przechowywania (czas 2) i po 12 tygodniach przechowywania (czas 3). Dodatkowo w wybranych etapach przechowywania analizowano stabilność barwy wyrobów poddanych ekspozycji na światło przez 0, 2, 5, 24 oraz 48 godzin. Ekspozycję prowadzono w warunkach chłodniczych, w temperaturze 4-7°C. Zastosowano fluorescencyjne światło białe o natężeniu 180–190 lx, symulujące warunki przechowywania ekspozycyjnego. Materiał badawczy stanowiły produkty mięsne w postaci bloków, krojonych poprzecznie. Podczas ekspozycji na światło próbki owinięto folią spożywczą w celu ograniczenia wysychania powierzchni produktu.

Oznaczenie potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP)

Pobierano 10 g rozdrobnionej wcześniej próby, mieszano z 50 ml wody destylowanej. Homogenizowano przy prędkości 6500 obr/min w czasie 1 minuty. Następnie w homogenacie

umieszczano elektrodę InLab Redox Pro i mierzono potencjał oksydacyjno-redukcyjny oraz temperaturę urządzeniem SevenCompact™ S220 firmy Mettler Toledo.

Wartość pH

Wartość pH oznaczano za pomocą pH-metru. Próbkę 10 g rozdrobnionego uprzednio produktu, zmieszano z 50 cm³ wody destylowanej i homogenizowano przez 1 minutę przy 6500 obrotów na minutę. Pomiaru dokonano urządzeniem SevenCompact™ S220 firmy Mettler Toledo z elektrodą InLab poprzez zanurzenie elektrody w próbce i po ustaleniu wskazań elektrody odczytano wynik z dokładnością do 0,01.

Oznaczenie wskaźnika TBARS

Oznaczenie wykonywano według zmodyfikowanej metody Saliha wg Pikula (1989). Dokonywano pomiaru absorbancji przy długości fali 532 nm wobec próby ślepej zawierającej 5 cm³ 4% kwasu nadchlorowego i 5 cm³ odczynnika TBA.

Skład kwasów tłuszczowych

Oznaczanie składu kwasów tłuszczowych wykonywano metodą GC (HP 6890 II z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym) wg EN ISO 5508:1996. Do rozdzielu estrów stosowano wysokopolarną kolumnę kapilarną BPX 70 (60 m×0,25 mm, 25 µm). Warunki analizy: temp. kolumny programowana w zakresie 140-210 °C, temp. dozownika: 210 °C, temp. detektora 250 °C, gaz nośny: hel.

Zawartość cholesterolu

W badaniu przeprowadzono ekstrakcję frakcji lipidowej z próbki, estryfikację kwasów tłuszczowych i derywatyzację cholesterolu w obecności wzorca wewnętrznego. Próbkę analizowano metodą chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną (GC-FID). Wartość cholesterolu wyrażano w mg/100 g produktu.

Oznaczenie zawartości azotanów (V) i (III)

Zawartość azotanów (V) i (III) oznaczono wg PN-EN 120414:2006 ze zmianą Siu i Henshall (1998). Do wykonania oznaczeń zastosowano chromatograf cieczowy wyposażony w detektor UV z kolumną analityczną IonPac® AS11-HC 4 x 250 mm i przedkolumną AG11-HC 4 x 50 mm. Zawartość anionów azotanowych (V) i azotanowych (III) w badanych próbkach podawano w przeliczeniu na sole: NaNO₃ i NaNO₂.

Oznaczenie zawartości nitrozylobarwników

W celu oznaczenia nitrozylobarwników (NOMb) przeprowadzono ich ekstrakcję wodnym roztworem acetonu wg metody podanej przez Hornsey'a (1956). W tym celu odważano 5 g rozdrobnionego produktu i dodawano do niego 20 ml acetonu oraz 1,5 ml wody destylowanej. Całość homogenizowano przez 30 sekund przy 12000 rpm. Po tym czasie homogenat odwirowano a supernatant filtrowano przez sączek szklany (Whatman GF/A) i mierzono absorbancję przesączu na spektrofotometrze Hitachi U2900, przy długości fali 540 nm wobec próby odczynnikowej.

Oznaczenie ogólnej zawartości barwników hemowych

W celu oznaczenia barwników ogółem przeprowadzano ich ekstrakcję zakwaszonym roztworem acetonu wg metody Hornsey'a (1956). W tym celu odważano 5 g (z dokładnością 0,01 g) rozdrobnionego produktu do zlewki i dodawano do niego 20 ml acetonu, 4,5 ml wody destylowanej oraz 0,5 ml stężonego kwasu solnego. Całość homogenizowano przez 60 sekund przy 12000 rpm. Następnie całość przenoszono w zaciemnione miejsce na 30 minut. Po tym czasie homogenat odwirowano przy 4000 obr/min przez 10 min. Supernatant filtrowano przez sączek szklany (Whatman GF/A) i mierzono absorbancję przesączu przy długości fali 640 nm w spektrofotometrze Hitachi U2900, wobec próby odczynnikowej.

Parametry tekstury

Teksturę określano przy wykorzystaniu testu TPA. Oznaczono twardość I, twardość II, adhezyjność, spoistość, sprężystość, gumowatość, żujność i odbojność. Testy przeprowadzono z wykorzystaniem teksturometru CT3 Texture Analyzer firmy Brookfield Ametek, USA. Badane próbki miały kształt sześcianu o boku 20 mm. Zastosowano głowicę cylindryczną o średnicy 38,1 mm i wysokości 20 mm o maksymalnej sile nacisku 10000 g. Deformacje prowadzono do 50% pierwotnej wysokości próbki z prędkością przesuwu głowicy 0,50 mm/s. Pomiar prowadzone były w 15 ± 5 min od wyjęcia prób z komory chłodniczej. Badanie przeprowadzono w 3 powtórzeniach.

Ocena mikrobiologiczna

W badaniach mikrobiologicznych zastosowano następujące podłoża mikrobiologiczne i metody badań:

- ogólnej liczby drobnoustrojów (OLD) – agar odżywczy - w celu określenia ogólnej liczby drobnoustrojów, zgodnie z normą PN-EN ISO 4833-1:2013-12 + A1:2022-06 - Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów. Metoda płytkowa w temperaturze 30°C.
- liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej (LAB) – agar MRS - w celu określenia liczby bakterii fermentacji mlekowej zgodnie z normą PN-ISO 15214:2002 – Mikrobiologia żywności i pasz – Horyzontalna metoda oznaczania liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej. Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C.
- liczby pałeczek bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* (ENT) – MacConkey agar - w celu określenia liczby pałeczek bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* zgodnie z normą PN-ISO 21528-2:2017-08 – Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda wykrywania i oznaczania liczby *Enterobacteriaceae*.
- *Salmonella* spp. (SALM) – agar BGA - w celu określenia obecności bakterii *Salmonella* zgodnie z normą PN-EN ISO 15213:2005 - Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda wykrywania *Salmonella* spp.
- Koagulazododatnie bakterie z rodzaju *Staphylococcus* (STAPH) określono zgodnie z PN-EN ISO 6888-1:2021 + AC:2005 na agarze Baird-Parker z żółtkiem jaja i telurem (Oxoid, Basingstoke, Wielka Brytania).
- obecności bakterii *Listeria monocytogenes* (LIST) – agar ALOA i agar PALCAM - w celu określenia obecności bakterii *Listeria monocytogenes* zgodnie z normą PN-EN ISO 11290-1:2017-07. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda wykrywania obecności i oznaczania *Listeria monocytogenes*.
- liczba bakterii redukujących siarczany (IV) rosnących w warunkach beztlenowych (CL) Oznaczenie liczby bakterii redukujących siarczany (IV) rosnących w warunkach beztlenowych wg normy PN-ISO 15213:2005, które tworzą charakterystyczne kolonie otoczone czarną strefą precypitatu spowodowanego redukcją siarczanów (IV) do siarczków, co powoduje zaczernienie kolonii w pożywce selektywnej TSC. Inkubację prowadzono w temperaturze 37°C, przez 20 ±2 h.

Ocena sensoryczna

Oceny sensoryczne przeprowadzono za pomocą metody Ilościowej Analizy Opisowej – QDA. Badania wykonywano zgodnie z wymaganiami normy ISO 13299:2016 przez przeszkolony zespół oceniających. Badane wyróżniki sensoryczne wybrano w dyskusji

panelowej i dotyczyły one zapachu, barwy, konsystencji i smaku. Analizę badanych produktów przeprowadzono po ich produkcji oraz po przechowywaniu w chłodniczym warunkach. Oceny QDA zostały przeprowadzone z udziałem 10-osobowego zespołu rzeczoznawców - pracowników IBPRS-PIB Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu w Warszawie. Członkowie zespołu oceniającego zostali przeszkoleni w zakresie metodyki wykonywanych analiz oraz przebadani pod względem wrażliwości sensorycznej. Wyróżnikiem podsumowującym cały profil sensoryczny badanych produktów była jakość ogólna produktów (brzegowe określenia „zła – bardzo dobra”). Podstawą wyników średnich było 10 ocen jednostkowych. Uzyskane wyniki przedstawiono za pomocą wykresów biegunowych. Próbkę wędlin w ilości 15-20 g wkładano do jednorazowych plastikowych, bezbarwnych pudełek, nakrywano wieczkami i kodowano kodami literowymi i cyfrowymi. Po około 15 minutach próbki podawano oceniającym do oceny wraz z przygotowaną uprzednio kartą ocen.

Matematyczno - statystyczna analiza wyników

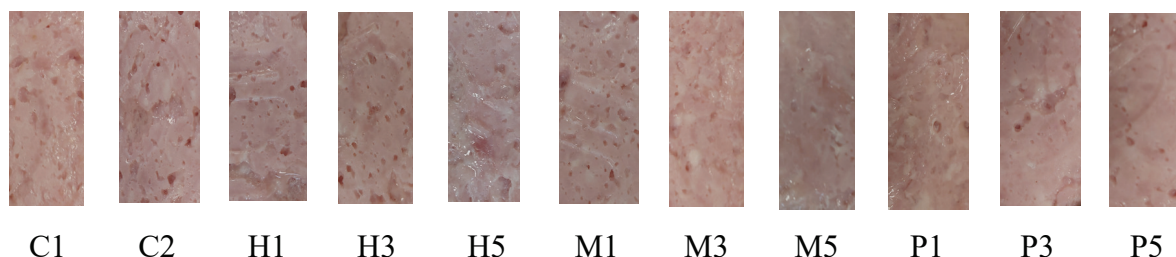
Pomiary wykonano w kilkukrotnym powtórzeniu dla każdej z badanych właściwości wyprodukowanych partii (serii) wyrobów. Wyniki przedstawiono jako średnią z badanych serii $\pm$ odchylenie standardowe. Otrzymane wyniki badań poddano analizie matematyczno - statystycznej. Do wykonania obliczeń wykorzystano pakiet Statistica wersja 13 oraz Microsoft Excel 2021.

CZĘŚĆ III Wyniki badań i ich analiza

1. Wyniki badań

Produkcja I

SZYNKA ROZDROBNIONA WĘDZONA PARZONA



Rys. 4. Zdjęcia przekroju produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów.

Warianty badawcze:

C1- kontrola peklowana ze standardową zawartością azotanu(III) sodu

C2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

H1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 1%

H3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 3%

H5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z zielonej herbaty na poziomie 5%

M1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 1%

M3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 3%

M5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z liści malin na poziomie 5%

P1- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 1%

P3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 3%

P5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z pokrzywy na poziomie 5%

Tabela 12. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe, n=6)

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
C1	65,30±0,80	7,20±0,40	9,73±0,20
C2	65,90±0,90	6,80±0,40	9,20±0,30
H1	65,23±1,00	7,09±0,51	9,42±0,45
H3	65,58±0,52	6,99±0,46	9,31±0,30
H5	65,99±0,85	6,76±0,43	9,45±0,34
M1	65,70±0,80	7,20±0,30	9,20±0,30
M3	65,20±0,50	7,30±0,20	9,10±0,40
M5	64,72±0,59	6,83±0,31	8,82±0,23
P1	64,91±0,73	7,08±0,41	9,30±0,21
P3	65,18±0,65	7,11±0,41	9,33±0,29
P5	65,11±0,61	7,02±0,16	9,45±0,40

Tabela 13. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych mięsnych produktów peklowanych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe, n=3)

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
C1	312,00±10,68	6,21±0,11	0,50±0,04
C2	307,00±12,68	6,18±0,08	0,53±0,06
H1	310,33±14,88	6,12±0,12	0,51±0,05
H3	291,00±6,53	6,22±0,04	0,52±0,08
H5	290,67±7,04	6,20±0,02	0,50±0,06
M1	292,00±9,27	6,16±0,02	0,54±0,06
M3	290,67±7,59	6,16±0,03	0,50±0,03
M5	288,00±4,97	6,19±0,02	0,51±0,04
P1	280,60±1,89	6,20±0,04	0,59±0,07
P3	281,33±2,87	6,18±0,01	0,50±0,04
P5	283,00±3,27	6,18±0,03	0,58±0,03

Tabela 14. Zawartość azotynów i azotanów w badanych mięsnych produktach peklowanych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe, n=3)

Kod wariantu	NO ₂ - [mg/kg]	NO ₃ - [mg/kg]
C1	44,2 $\pm$ 5,7	6,9 $\pm$ 1,6
C2	22,1 $\pm$ 2,8	6,9 $\pm$ 1,4
H1	22,0 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,2
H3	20,6 $\pm$ 1,6	4,2 $\pm$ 0,3
H5	22,2 $\pm$ 1,5	5,9 $\pm$ 2,3
M1	22,0 $\pm$ 0,8	3,9 $\pm$ 0,6
M3	19,9 $\pm$ 0,7	4,2 $\pm$ 0,1
M5	24,5 $\pm$ 2,8	4,3 $\pm$ 0,4
P1	21,4 $\pm$ 3,2	5,4 $\pm$ 0,1
P3	19,2 $\pm$ 0,5	5,4 $\pm$ 1,1
P5	23,1 $\pm$ 0,2	6,8 $\pm$ 0,7

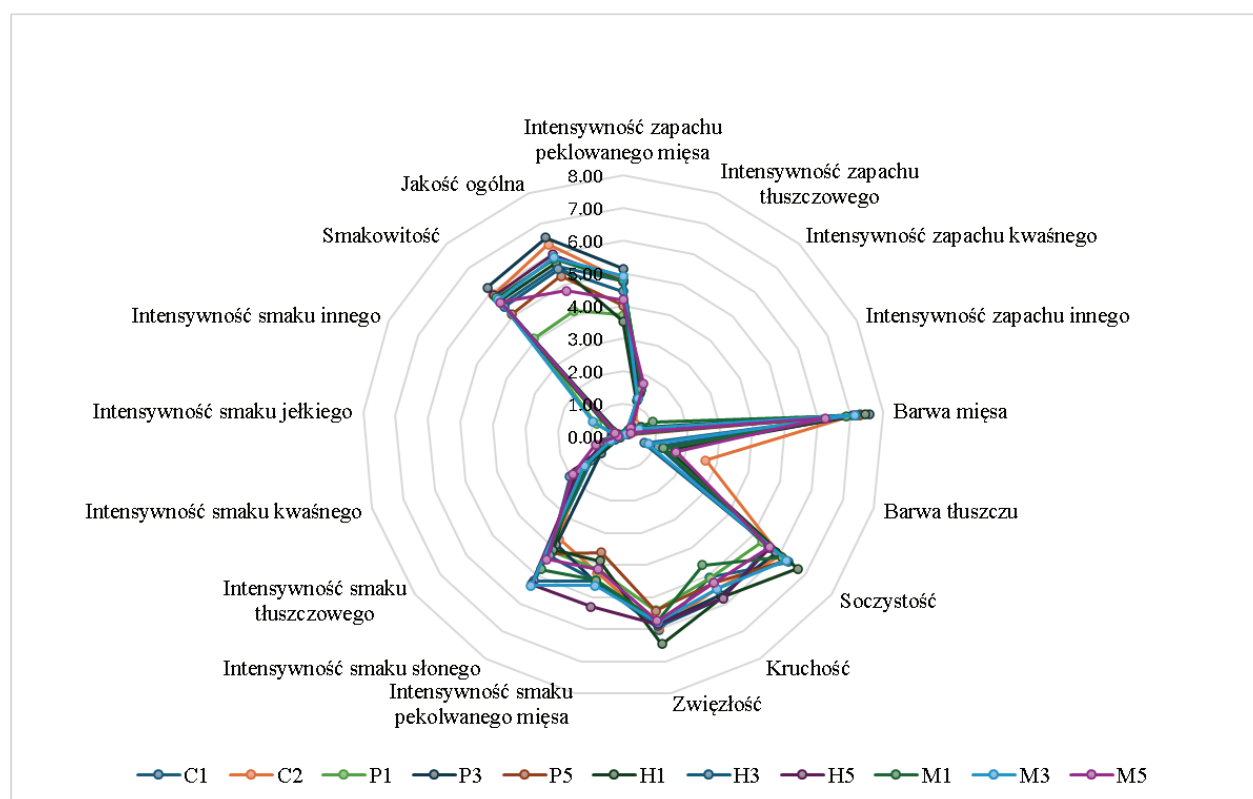
Tabela 15. Zawartość nitrozylobarwników w badanych mięsnych produktach peklowanych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe, n=3)

Kod wariantu	Nitrozylobarwniki [ppm]
C1	18,5 $\pm$ 0,5
C2	16,3 $\pm$ 1,0
H1	15,4 $\pm$ 0,6
H3	14,2 $\pm$ 1,0
H5	12,4 $\pm$ 1,1
M1	17,8 $\pm$ 0,7
M3	18,8 $\pm$ 1,2
M5	15,3 $\pm$ 1,1
P1	15,7 $\pm$ 0,4
P3	16,1 $\pm$ 0,2
P5	14,8 $\pm$ 0,4

Tabela 16. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]			Obecność bakterii	
	OLD	LAB	LIST	CL	STAPH
C1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
C2	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
H1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
H3	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
H5	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
P1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
P3	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
P5	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
M1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
M3	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
M5	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto



Rys. 5. Wyniki oceny sensorycznej mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po procesie produkcyjnym (czas 1).

Tabela 17. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe, n=6)

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
C1	65,91±0,82	6,74±0,41	10,01±0,23
C2	66,12±0,53	6,05±0,32	10,30±0,32
H1	65,76±1,00	6,40±0,57	10,08±0,40
H3	65,39±0,78	6,46±0,44	10,02±0,35
H5	66,49±1,10	6,06±0,76	10,06±0,58
M1	66,09±1,06	6,58±0,47	9,72±0,41
M3	65,73±0,81	6,81±0,32	9,70±0,42
M5	65,25±0,53	6,70±0,23	9,71±0,40
P1	66,13±1,35	6,29±0,73	9,80±0,27
P3	66,19±1,06	6,37±0,43	9,92±0,25
P5	65,78±0,94	6,41±0,44	9,74±0,30

Tabela 18. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych mięsnych produktów peklowanych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe, n=3)

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
C1	348,00±11,73	6,03±0,05	0,35±0,04
C2	321,56±5,06	6,07±0,07	0,33±0,03
H1	314,89±7,72	6,03±0,02	0,34±0,03
H3	311,11±1,85	5,95±0,05	0,47±0,05
H5	326,00±13,34	5,89±0,04	0,34±0,02
M1	308,50±6,12	6,05±0,03	0,38±0,05
M3	307,33±4,50	5,93±0,07	0,40±0,03
M5	300,50±3,62	5,89±0,08	0,38±0,02
P1	295,67±1,37	6,09±0,02	0,37±0,04
P3	357,83±35,25	6,25±0,06	0,35±0,04
P5	326,33±9,27	6,04±0,05	0,30±0,04

Tabela 19. Zawartość azotynów i azotanów w badanych mięsnych produktach peklowanych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe)

Kod wariantu	NO ₂ - [mg/kg]	NO ₃ - [mg/kg]
C1	15,0 $\pm$ 0,5	9,4 $\pm$ 1,2
C2	8,1 $\pm$ 0,7	4,5 $\pm$ 0,1
H1	7,6 $\pm$ 0,5	5,7 $\pm$ 0,4
H3	8,6 $\pm$ 1,2	5,3 $\pm$ 0,5
H5	8,1 $\pm$ 0,1	4,7 $\pm$ 0,3
M1	7,8 $\pm$ 0,9	5,8 $\pm$ 0,7
M3	8,1 $\pm$ 0,4	5,3 $\pm$ 0,5
M5	8,2 $\pm$ 0,4	5,6 $\pm$ 0,9
P1	8,0 $\pm$ 0,7	5,3 $\pm$ 0,5
P3	8,3 $\pm$ 0,6	5,6 $\pm$ 0,3
P5	7,9 $\pm$ 0,2	7,0 $\pm$ 0,5

Tabela 20. Zawartość nitrozylobarwników w badanych mięsnych produktach peklowanych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe, n=3).

Kod wariantu	Nitrozylobarwniki [ppm]
C1	17,4 $\pm$ 1,7
C2	14,4 $\pm$ 1,1
H1	12,1 $\pm$ 2,2
H3	12,5 $\pm$ 2,4
H5	12,3 $\pm$ 1,1
M1	17,3 $\pm$ 4,2
M3	18,9 $\pm$ 1,4
M5	16,7 $\pm$ 1,9
P1	14 $\pm$ 1,1
P3	15,6 $\pm$ 0,3
P5	12,9 $\pm$ 1,1

Tabela 21. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2).

KT [%]	Kod wariantu										
	C1	C2	H1	H3	H5	M1	M3	M5	P1	P3	P5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3
15:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16:0	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,9	23,9	23,9	23,8	23,8	23,8
16:1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
17:0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
17:1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18:0	12,9	13,0	13,1	13,1	13,1	13,0	13,0	13,1	13,0	13,1	12,9
18:1trans	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18:1cis9	39,4	39,3	39,5	39,7	39,5	39,4	39,6	39,5	39,6	39,6	39,7
18:1cis11	3,3	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
18:1 c inne	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
18:2	11,3	11,3	11,1	11,0	11,1	11,3	11,1	11,0	11,1	10,9	11,1
18:3 n3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18:2c9t11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
20:2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
20:3n6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20:4n6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
20:3n3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:4n6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
22:5n3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:6 DHA	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-	0,2	0,1	0,1
Σ SFA	38,8	38,9	38,9	38,9	38,8	39,0	38,9	39,1	38,9	39,0	38,8
Σ MUFA	47,3	47,2	47,3	47,6	47,3	47,3	47,4	47,4	47,5	47,5	47,5
Σ PUFA	13,9	14,0	13,7	13,7	13,9	13,8	13,6	13,5	13,7	13,5	13,8
Σ UFA	61,3	61,2	61,0	61,3	61,2	61,0	61,1	60,9	61,2	61,1	61,3

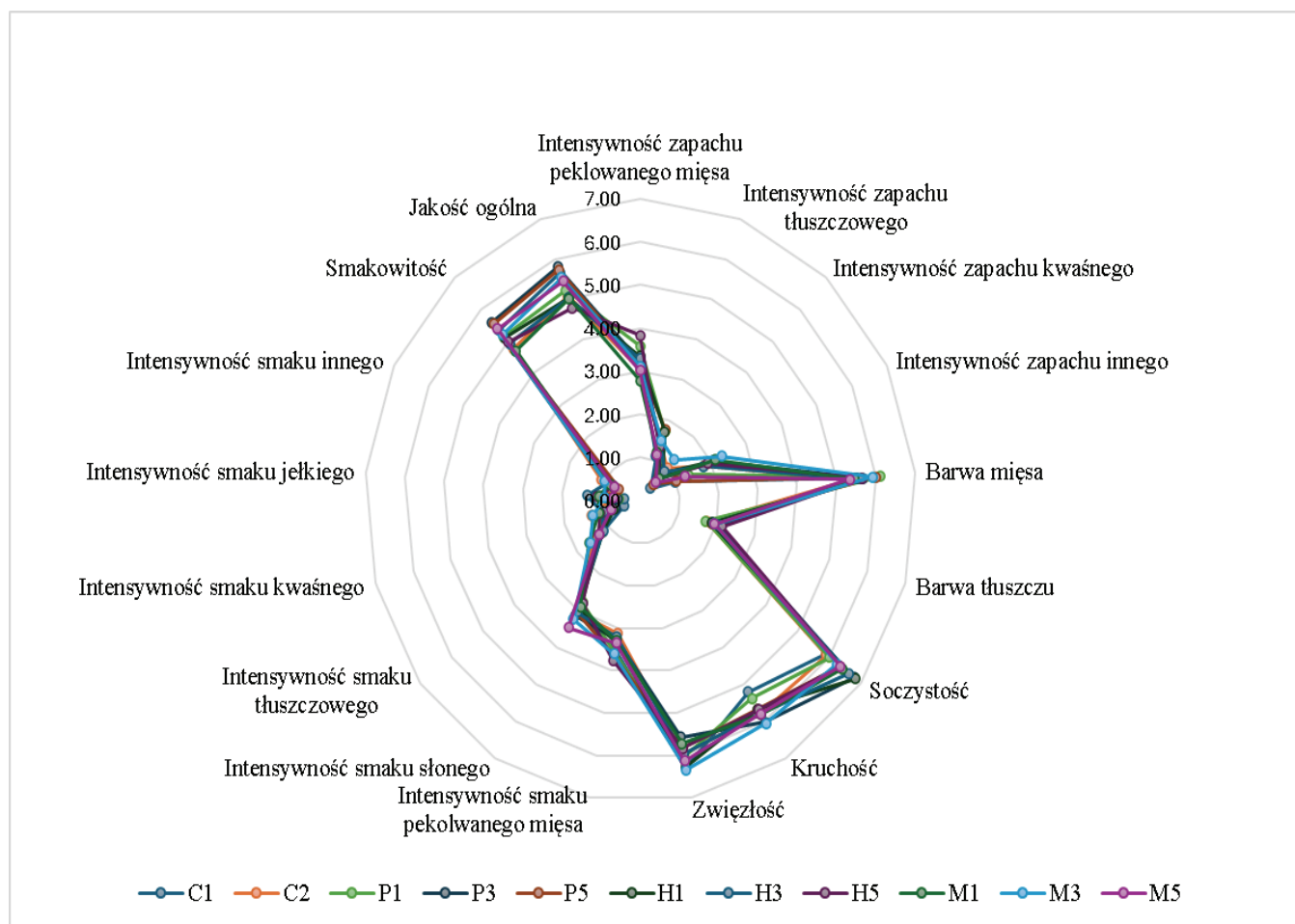
Tabela 22. Właściwości przeciwutleniające (średnia; n=3) badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2).

Kod wariantu	ABTS [%]
C1	10,5±0,9
C2	13,3±0,7
H1	12,1±0,6
H3	11,8±0,7
H5	14,1±1,4
P1	10,6±0,0
P3	12,0±0,0
P5	10,4±0,4

Tabela 23. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]			Obecność bakterii	
	OLD	LAB	LIST	CL	STAPH
C1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
C2	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
H1	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw
H3	1,81±0,14	<1,0	<1,0	nw	nw
H5	1,60±0,00	<1,0	<1,0	nw	nw
P1	1,60±0,00	<1,0	<1,0	nw	nw
P3	1,60±0,00	<1,0	<1,0	nw	nw
P5	1,76±0,15	<1,0	<1,0	nw	nw
M1	2,00±0,12	<1,0	<1,0	nw	nw
M3	2,06±0,65	<1,0	<1,0	nw	nw
M5	<1,0	<1,0	<1,0	nw	nw

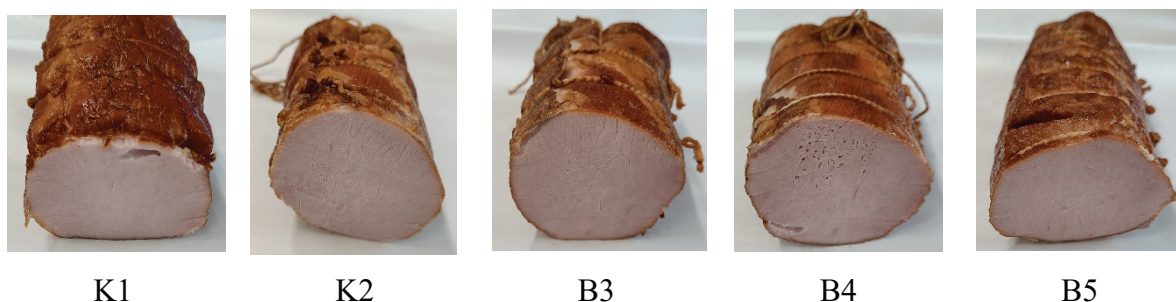
nw – nie wykryto



Rys. 6. Wyniki oceny sensorycznej mięsnych produktów modelowych z dodatkiem ekstraktów po 35 dniach (czas 2).

Produkcja II

SCHAB PARZONY WĘDZONY



Rys. 7. Zdjęcia wyprodukowanych schabów parzonych wędzonych.

Warianty badawcze:

K1- kontrola peklowana ze standardową zawartością azotanu(III) sodu

K2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

B3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin i serwatką

B4- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu i serwatką

B5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin

Badanie właściwości fizykochemicznych parzonych produktów mięsnych

Tabela 24. Skład chemiczny badanych schabów parzonych wędzonych (średnia $\pm$ odchylenie standardowe, n=3).

Kod wariantu	Woda [%]	Białko [%]	Tłuszcz [%]	NaCl [%]
K1	68,7 $\pm$ 1,0	25,3 $\pm$ 0,4	3,4 $\pm$ 0,5	1,8 $\pm$ 0,1
K2	70,5 $\pm$ 1,3	24,7 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,9	1,5 $\pm$ 0,2
B3	68,7 $\pm$ 1,4	24,8 $\pm$ 0,6	2,6 $\pm$ 1,0	1,9 $\pm$ 0,1
B4	70,0 $\pm$ 0,1	25,1 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,1
B5	68,9 $\pm$ 0,8	25,0 $\pm$ 0,4	2,9 $\pm$ 0,5	1,8 $\pm$ 0,1

Tabela 25. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów parzonych wędzonych po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	72,11±1,76	4,08±0,83	9,39±0,35
K2	75,42±1,39	2,73±0,63	9,43±0,25
B3	72,48±1,14	4,38±0,46	10,00±0,20
B4	73,99±0,82	3,65±0,61	10,09±0,26
B5	72,69±1,72	4,41±0,88	9,82±0,36

Tabela 26. Wpływ czasu naświetlania na zmiany parametrów barwy (L*, a*, b*) schabów parzonych wędzonych badanych po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=6).

Parametr/ Wariant		Czas naświetlania (godziny)				
		0	2	5	24	48
L*	K1	72,11±1,76	75,48±1,82	76,44±1,08	75,86±1,25	76,80±0,87
	K2	75,42±1,39	74,09±1,79	74,87±1,64	74,73±1,73	75,04±1,99
	B3	72,48±1,14	73,99±1,03	74,17±1,18	74,37±0,58	74,41±0,75
	B4	73,99±0,82	73,66±0,96	74,09±0,92	74,37±1,41	74,41±0,64
	B5	72,69±1,72	74,55±1,69	75,71±1,28	74,71±1,43	75,12±2,12
a*	K1	4,08±0,83	0,39±0,60	-0,97±0,37	2,76±0,33	2,23±0,27
	K2	2,73±0,63	0,24±0,65	-0,85±0,63	2,59±0,52	2,08±0,65
	B3	4,38±0,46	0,42±0,23	0,18±0,23	3,37±0,20	3,26±0,23
	B4	3,65±0,61	0,71±0,49	0,31±0,53	3,18±0,22	2,80±0,23
	B5	4,41±0,88	0,15±0,46	-0,83±0,40	2,65±0,44	2,26±0,51
b*	K1	9,39±0,35	11,15±0,21	11,12±0,12	6,83±0,23	6,72±0,20
	K2	9,43±0,25	10,99±0,27	11,07±0,28	6,92±0,24	7,06±0,20
	B3	10,00±0,20	11,13±0,18	11,32±0,19	7,19±0,22	7,06±0,14
	B4	10,09±0,26	11,34±0,29	11,62±0,28	7,44±0,22	7,30±0,17
	B5	9,82±0,36	11,71±0,28	11,81±0,19	7,83±0,20	7,74±0,18

Tabela 27. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów parzonych wędzonych po produkcji (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	362,67 $\pm$ 3,78	5,63 $\pm$ 0,06	0,70 $\pm$ 0,04
K2	352,67 $\pm$ 5,01	5,68 $\pm$ 0,07	0,63 $\pm$ 0,05
B3	342,67 $\pm$ 2,07	5,56 $\pm$ 0,07	0,68 $\pm$ 0,11
B4	352,67 $\pm$ 2,25	5,55 $\pm$ 0,02	0,69 $\pm$ 0,06
B5	346,33 $\pm$ 3,72	5,65 $\pm$ 0,09	0,61 $\pm$ 0,05

Tabela 28. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach parzonych wędzonych po produkcji (czas 1).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3
15:0	-	0,1	0,1	0,1	-
16:0	24,5	23,3	23,5	23,3	23,7
16:1	3,3	3,3	2,9	3,0	2,9
17:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
17:1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18:0	13,2	12,1	13,4	12,8	12,9
18:1trans	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
18:1cis9	40,4	38,0	35,0	34,7	34,5
18:1cis11	3,7	3,7	3,2	3,4	3,3
18:1 c inne	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
18:2	8,6	11,4	13,5	14,2	14,5
18:3 n3	0,4	0,4	0,9	0,8	1,0
18:2c9t11	0,1	0,1	0,1	-	0,1
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
20:2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
20:3n6	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3
20:4n6	1,3	2,6	2,0	2,4	1,8
20:3n3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20:5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
22:4n6	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3
22:5n3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Σ SFA	39,5	37,3	39,0	38,1	38,5
Σ MUFA	49,0	46,7	42,8	42,7	42,4
Σ PUFA	11,5	16,2	18,2	19,3	19,1
Σ n3	0,7	0,9	1,4	1,3	1,4
Σ n6	1,8	3,4	2,7	3,2	2,4
Cholesterol (mg/100g)	53,4±1,9	50,5±2,6	54,5±1,2	50,8±1,4	51,9±1,2

Tabela 29. Zawartość azotynów i azotanów, ogólna zawartość barwników, zawartość żelaza hemowego oraz nitrozylobarwników w badanych próbkach schabów parzonych wędzonych po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - (mg/kg)	15,8±2,0	6,8±0,4	5,1±1,2	11,1±0,9	9,9±1,2
NO ₃ - (mg/kg)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
OZB (ppm)	27,77±0,83	34,11±4,07	40,46±2,98	36,04±3,87	38,76±2,91
Nitrozylobarwniki (ppm)	5,41±1,85	1,98±0,66	9,59±1,05	10,73±1,94	8,12±4,34

Tabela 30. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych schabów parzonych wędzonych po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	3,14±0,69	2,64±1,06	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	2,93±0,06	2,83±0,10	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	2,68±1,13	3,06±1,07	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	3,51±0,81	3,41±0,93	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	3,84±0,72	3,79±0,69	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
Twardość 1 [N]	33,77±7,18	34,36±3,23	49,15±6,10	45,41±4,32	43,15±6,95
Adhezyjność [mJ]	0,27±0,22	0,28±0,16	0,40±0,36	0,30±0,16	0,35±0,16
Twardość 2 [N]	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Spoistość	0,67±0,02	0,72±0,06	0,67±0,03	0,72±0,05	0,64±0,03
Sprężystość [mm]	2,28±0,20	2,31±0,20	2,49±0,13	2,75±0,19	2,47±0,12
Gumowatość [N]	22,63±5,41	24,49±2,49	32,89±3,87	32,45±3,80	27,79±4,66
Żujność [mJ]	52,28±15,72	56,85±9,78	82,05±10,28	89,67±14,68	68,73±13,36
Odbojność	0,31±0,02	0,30±0,05	0,29±0,05	0,30±0,01	0,29±0,01

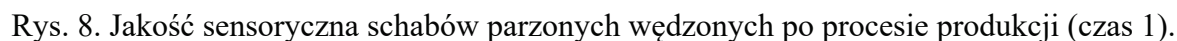


Tabela 32. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	73,16±1,86	3,79±0,94	9,27±0,55
K2	76,62±0,99	2,51±0,53	9,25±0,25
B3	73,59±1,17	4,66±0,58	9,84±0,22
B4	74,76±1,04	3,78±0,76	9,62±0,26
B5	73,56±1,72	4,61±0,50	9,53±0,35

Tabela 33. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	373,33±3,83	5,73±0,04	0,77±0,08
K2	360,50±3,21	5,85±0,11	0,94±0,20
B3	355,83±3,49	5,69±0,06	0,74±0,17
B4	362,83±5,19	5,64±0,06	0,71±0,13
B5	356,50±3,39	5,90±0,13	0,68±0,06

Tabela 34. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia ± odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 2).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3
15:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16:0	24,2	23,7	23,5	23,3	23,8
16:1	3,5	3,4	3,1	2,9	2,8
17:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
17:1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18:0	12,3	11,9	13,2	12,8	12,9

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
18:1trans	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
18:1cis9	40,1	38,8	36,4	35,0	34,1
18:1cis11	3,9	3,9	3,5	3,3	3,3
18:1 c inne	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
18:2	9,3	10,4	11,9	14,1	14,7
18:3 n3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9
18:2c9t11	-	0,1	0,1	-	0,1
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
20:2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
20:3n6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
20:4n6	1,7	2,3	2,2	2,2	2,2
20:3n3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20:5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:4n6	0,3	1,1	0,3	0,3	0,3
22:5n3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Σ SFA	38,2	37,5	38,8	38,1	38,7
Σ MUFA	49,1	47,8	44,7	42,9	41,8
Σ PUFA	12,8	15,4	16,5	18,9	19,6
Σ n3	0,7	0,8	1,2	1,3	1,4
Σ n6	2,3	3,7	2,8	2,8	2,9
Cholesterol (mg/100g)	49,7±1,8	49,7±2,8	51,7±3,0	52,2±2,8	50,7±2,9

Tabela 35. Zawartość azotynów i azotanów w badanych próbkach schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - [mg/kg]	11,6±1,2	5,1±0,2	3,4±0,2	8,6±1,3	6,0±0,2
NO ₃ - [mg/kg]	7,6±1,0	4,7±0,3	6,5±1,8	8,6±0,8	5,3±0,5

Tabela 36. Wyniki analizy mikrobiologicznej schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 2) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	6,64 $\pm$ 0,49	5,94 $\pm$ 0,36	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	5,33 $\pm$ 1,06	4,96 $\pm$ 0,67	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	5,30 $\pm$ 0,80	5,15 $\pm$ 0,66	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	5,41 $\pm$ 0,72	4,86 $\pm$ 0,98	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	6,79 $\pm$ 0,96	5,82 $\pm$ 0,41	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto

Tabela 37. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	72,72 $\pm$ 1,35	3,50 $\pm$ 0,73	9,66 $\pm$ 0,41
K2	73,38 $\pm$ 1,07	2,42 $\pm$ 0,59	9,59 $\pm$ 0,27
B3	72,41 $\pm$ 1,53	4,41 $\pm$ 0,71	10,06 $\pm$ 0,18
B4	74,35 $\pm$ 1,31	3,41 $\pm$ 1,00	9,83 $\pm$ 0,23
B5	73,30 $\pm$ 1,54	4,23 $\pm$ 0,64	9,78 $\pm$ 0,40

Tabela 38. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	385,67 $\pm$ 2,07	5,82 $\pm$ 0,07	0,98 $\pm$ 0,19
K2	376,33 $\pm$ 4,46	5,85 $\pm$ 0,10	0,78 $\pm$ 0,12
B3	380,50 $\pm$ 2,43	5,65 $\pm$ 0,09	1,25 $\pm$ 0,21
B4	375,33 $\pm$ 4,23	5,66 $\pm$ 0,07	1,04 $\pm$ 0,19
B5	369,83 $\pm$ 1,17	5,80 $\pm$ 0,09	0,99 $\pm$ 0,10

Tabela 39. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia ± odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,2	1,1	1,4	1,3	1,3
15:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16:0	23,9	23,3	23,2	22,6	23,5
16:1	3,5	3,3	3,0	2,9	2,8
17:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
17:1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18:0	12,5	12,2	13,3	12,7	12,9
18:1trans	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
18:1cis9	39,5	39,6	36,1	35,1	34,3
18:1cis11	3,9	3,8	3,4	3,3	3,1
18:1 c inne	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18:2	9,4	10,2	12,6	14,4	15,2
18:3 n3	0,4	0,4	0,7	0,8	1,0
18:2c9t11	0,1	0,1	0,1	-	0,1
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9
20:2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
20:3n6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
20:4n6	1,9	2,1	2,3	2,3	1,9
20:3n3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20:5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:4n6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
22:5n3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
Σ SFA	38,3	37,3	38,6	37,3	38,4
Σ MUFA	48,4	48,2	43,9	42,7	41,7
Σ PUFA	13,3	14,4	17,4	19,4	19,9

KT [%]	K1	K2	B3	B4	B5
$\Sigma n3$	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4
$\Sigma n6$	2,6	2,8	3,0	3,1	2,5
Cholesterol (mg/100g)	49,5±1,96	50,1±2,79	48,4±3,01	50,6±1,00	48,0±1,46

Tabela 40. Zawartość azotynów i azotanów, ogólna zawartość barwników, zawartość żelaza hemowego oraz nitrozylobarwników w badanych próbkach schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - (mg/kg)	10,3±1,2	4,7±0,4	2,9±0,3	8,5±0,3	6,2±0,3
NO ₃ - (mg/kg)	9,2±0,9	5,8±0,2	7,6±0,4	10,9±0,5	6,2±0,5
OZB (ppm)	30,37±1,09	42,27±3,32	49,30±7,86	52,59±11,28	52,81±8,51
Nitrozylobarwniki (ppm)	6,26±2,15	3,83±1,93	7,04±1,97	8,37±0,96	13,49±2,12

Tabela 41. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych schabów parzonych niepeklowanych po przechowywaniu (czas 3) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

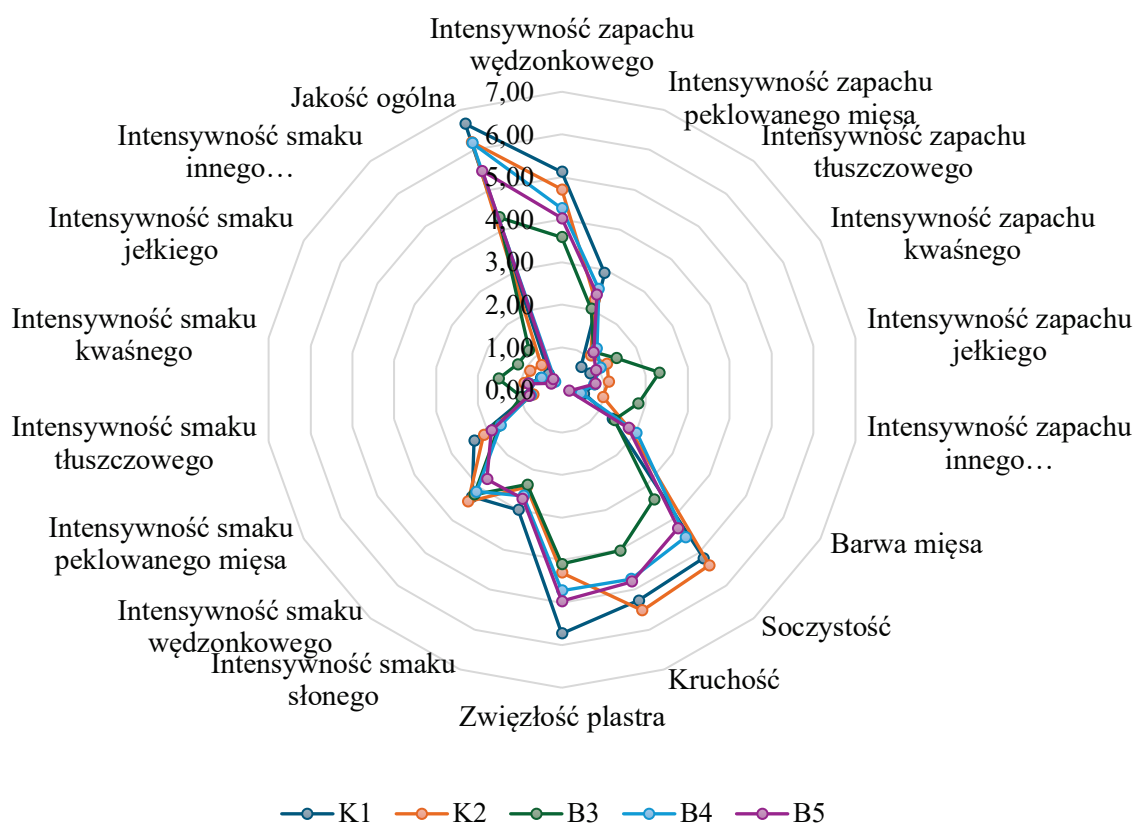
Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	8,48±0,25	8,12±0,15	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	8,08±0,24	7,49±0,59	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	7,99±0,43	7,33±1,02	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	7,47±0,81	6,84±1,04	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	8,12±0,27	7,89±0,31	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto

Tabela 42. Parametry tekstury badanych schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
Twardość 1 [N]	36,35±8,07	36,09±6,89	50,78±5,07	44,74±4,08	48,95±8,05
Adhezyjność [mJ]	0,28±0,28	0,23±0,32	0,42±0,40	0,25±0,19	0,37±0,26
Twardość 2 [N]	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Spoistość	0,66±0,02	0,69±0,03	0,65±0,05	0,66±0,05	0,64±0,03

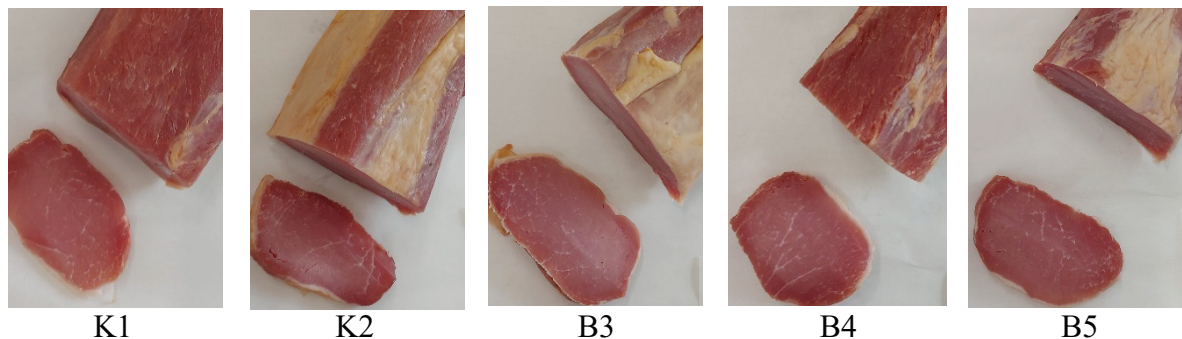
Parametr	K1	K2	B3	B4	B5
Sprężystość [mm]	2,25±0,21	2,27±0,14	2,45±0,11	2,37±0,18	2,49±0,03
Gumowatość [N]	23,98±5,93	24,79±4,93	33,03±2,27	29,32±3,33	31,48±5,16
Żujność [mJ]	54,80±17,50	56,65±14,62	80,92±5,57	69,80±12,74	78,35±13,47
Odbojność	0,29±0,01	0,28±0,02	0,28±0,04	0,28±0,02	0,29±0,02



Rys. 9. Jakość sensoryczna schabów parzonych wędzonych po przechowywaniu (czas 3).

Produkcja III

SCHAB SUROWO DOJRZEWAJĄCY



Rys. 10. Zdjęcia wyprodukowanych schabów surowo dojrzewających.

Warianty badawcze:

K1- kontrola peklowana ze standardową zawartością azotanu(III) sodu

K2- kontrola peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu

B3- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin i serwatką

B4- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu i serwatką

B5- próba peklowana z obniżoną zawartością azotanu(III) sodu z ekstraktem z malin

Badanie właściwości fizykochemicznych surowo dojrzewających produktów mięsnych

Tabela 43. Skład chemiczny badanych schabów surowo dojrzewających (średnia $\pm$ odchylenie standardowe, n=3).

Kod wariantu	Woda [%]	Białko [%]	Tłuszcz [%]	NaCl [%]
K1	57,4 $\pm$ 0,5	32,2 $\pm$ 1,2	5,9 $\pm$ 1,3	2,3 $\pm$ 0,3
K2	58,1 $\pm$ 0,5	31,5 $\pm$ 0,8	6,1 $\pm$ 0,5	1,9 $\pm$ 0,4
B3	55,8 $\pm$ 0,6	32,7 $\pm$ 0,6	6,2 $\pm$ 1,8	2,4 $\pm$ 0,2
B4	57,8 $\pm$ 1,1	32,5 $\pm$ 0,2	6,0 $\pm$ 2,1	1,6 $\pm$ 0,2
B5	58,3 $\pm$ 1,1	32,1 $\pm$ 0,8	5,2 $\pm$ 2,2	2,1 $\pm$ 0,3

Tabela 44. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów surowo dojrzewających po produkcji (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	60,49 $\pm$ 4,15	6,58 $\pm$ 0,70	4,29 $\pm$ 1,49
K2	57,77 $\pm$ 2,03	6,88 $\pm$ 0,80	2,82 $\pm$ 1,15
B3	56,69 $\pm$ 2,67	7,99 $\pm$ 1,31	3,62 $\pm$ 0,96
B4	56,49 $\pm$ 3,51	8,66 $\pm$ 1,00	3,46 $\pm$ 0,80
B5	58,89 $\pm$ 3,13	9,03 $\pm$ 0,85	2,48 $\pm$ 0,74

Tabela 45. Wpływ czasu naświetlania na zmiany parametrów barwy (L*, a*, b*) schabów surowo dojrzewających badanych po produkcji (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=6).

Parametr/ Wariant		Czas naświetlania (godziny)				
		0	2	5	24	48
L*	K1	60,49 $\pm$ 4,15	47,00 $\pm$ 2,21	46,97 $\pm$ 2,68	47,47 $\pm$ 2,62	47,75 $\pm$ 1,64
	K2	57,77 $\pm$ 2,03	47,77 $\pm$ 2,35	47,86 $\pm$ 1,62	48,12 $\pm$ 1,72	48,59 $\pm$ 1,86
	B3	56,69 $\pm$ 2,67	47,60 $\pm$ 1,63	48,17 $\pm$ 2,68	49,12 $\pm$ 2,50	49,74 $\pm$ 2,84
	B4	56,49 $\pm$ 3,51	46,68 $\pm$ 4,05	46,28 $\pm$ 4,19	47,17 $\pm$ 4,20	47,81 $\pm$ 3,91
	B5	58,89 $\pm$ 3,13	47,76 $\pm$ 2,52	48,47 $\pm$ 2,06	49,26 $\pm$ 2,83	49,33 $\pm$ 2,99
a*	K1	6,58 $\pm$ 0,70	5,28 $\pm$ 1,08	4,14 $\pm$ 1,16	3,48 $\pm$ 1,08	3,13 $\pm$ 0,86
	K2	6,88 $\pm$ 0,80	4,96 $\pm$ 0,79	3,84 $\pm$ 0,94	3,08 $\pm$ 0,75	2,86 $\pm$ 0,61
	B3	7,99 $\pm$ 1,31	5,36 $\pm$ 0,52	4,04 $\pm$ 0,57	3,35 $\pm$ 0,61	3,09 $\pm$ 0,55
	B4	8,66 $\pm$ 1,00	5,58 $\pm$ 1,26	4,61 $\pm$ 1,10	4,02 $\pm$ 0,86	3,65 $\pm$ 0,78
	B5	9,03 $\pm$ 0,85	6,09 $\pm$ 0,63	4,57 $\pm$ 0,61	3,59 $\pm$ 0,64	3,15 $\pm$ 0,67
b*	K1	4,29 $\pm$ 1,49	4,07 $\pm$ 1,25	4,49 $\pm$ 1,27	5,03 $\pm$ 1,53	4,81 $\pm$ 1,42
	K2	2,82 $\pm$ 1,15	4,02 $\pm$ 1,20	3,61 $\pm$ 1,42	3,66 $\pm$ 1,23	3,93 $\pm$ 1,24
	B3	3,62 $\pm$ 0,96	3,97 $\pm$ 1,12	4,00 $\pm$ 0,95	4,43 $\pm$ 1,34	4,16 $\pm$ 1,07
	B4	3,46 $\pm$ 0,80	3,71 $\pm$ 0,79	3,90 $\pm$ 0,82	4,34 $\pm$ 0,88	4,43 $\pm$ 0,75
	B5	2,48 $\pm$ 0,74	3,40 $\pm$ 0,53	3,64 $\pm$ 0,90	3,85 $\pm$ 0,70	3,88 $\pm$ 0,77

Tabela 46. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów surowo dojrzewających po produkcji (czas 1) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	370,83 $\pm$ 11,07	5,25 $\pm$ 0,16	1,76 $\pm$ 0,21
K2	381,50 $\pm$ 9,73	5,58 $\pm$ 0,09	1,82 $\pm$ 0,32
B3	359,83 $\pm$ 5,74	5,55 $\pm$ 0,08	1,70 $\pm$ 0,18
B4	356,17 $\pm$ 9,95	5,71 $\pm$ 0,14	1,30 $\pm$ 0,14
B5	362,17 $\pm$ 3,92	5,34 $\pm$ 0,16	1,55 $\pm$ 0,41

Tabela 47. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach surowo dojrzewających po produkcji (czas 1).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1
15:0	-	-	-	-	-
16:0	23,3	23,9	24,2	23,4	22,5
16:1	2,5	3,0	2,9	2,8	2,8
17:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
17:1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
18:0	14,0	13,0	13,2	13,6	12,4
18:1trans	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
18:1cis9	40,6	41,1	41,3	41,7	43,2
18:1cis11	3,2	3,5	3,5	3,6	3,6
18:1 c inne	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18:2	9,4	8,7	8,2	8,2	8,6
18:3 n3	1,0	0,9	0,8	0,7	0,8
18:2c9t11	-	-	-	0,1	-
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1

KT [%]	K1	K2	B3	B4	B5
20:2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
20:3n6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:4n6	1,0	1,0	0,9	1,2	1,2
20:3n3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
20:5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:4n6	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
22:5n3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
Σ SFA	39,1	38,7	39,2	38,7	36,6
Σ MUFA	47,8	49,2	49,4	49,7	51,3
Σ PUFA	12,7	11,7	11,3	11,4	11,8
Σ n3	1,4	1,2	1,3	1,1	1,3
Σ n6	1,4	1,3	1,3	1,6	1,5
Cholesterol (mg/100g)	62,1±0,60	60,9±1,80	60,7±2,55	65,4±4,60	58,3±3,23

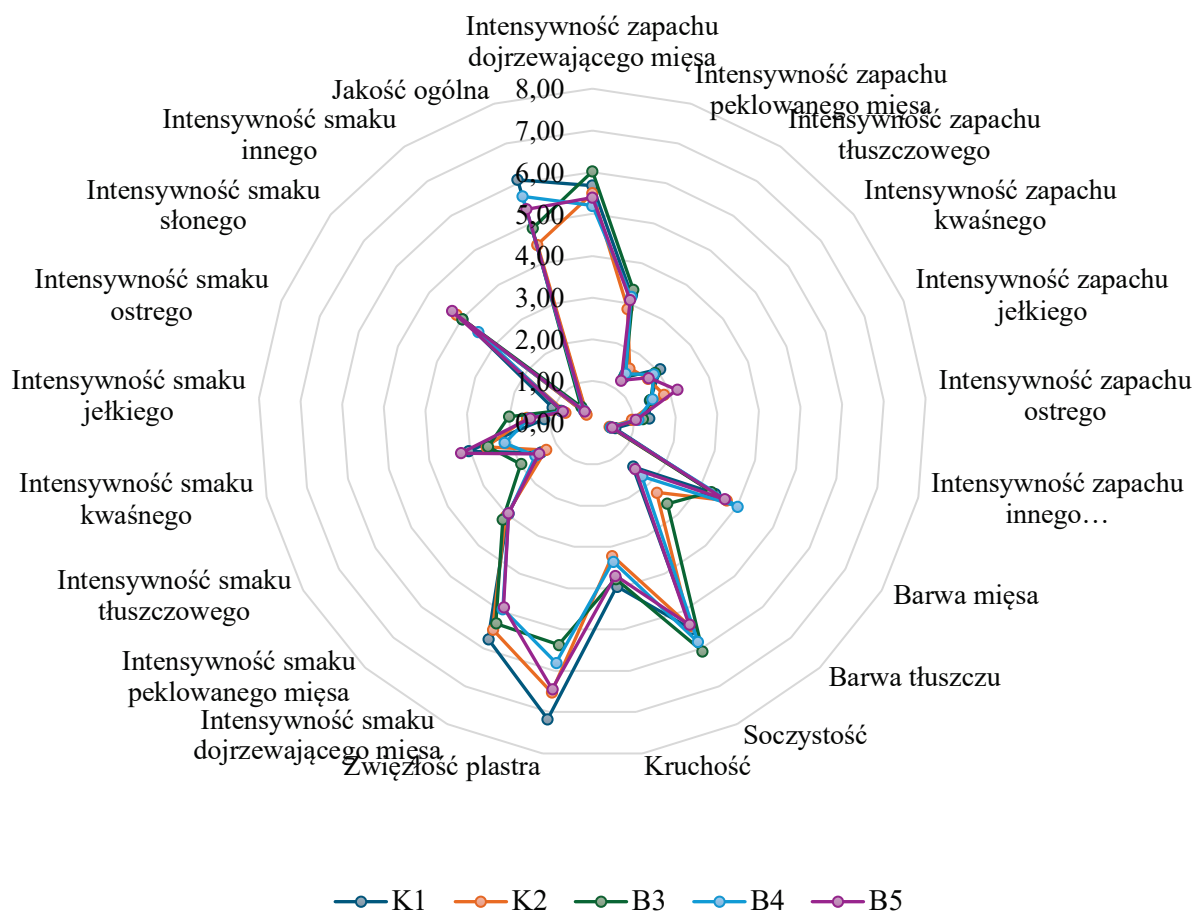
Tabela 48. Zawartość azotynów i azotanów w badanych próbkach schabów surowo dojrzewających po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - [mg/kg]	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
NO ₃ - [mg/kg]	4,9±0,5	10,9±1,1	5,4±1,3	6,9±2,1	3,2±1,5

Tabela 49. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych schabów surowo dojrzewających po produkcji (czas 1) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	8,47	8,37	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	7,97	7,89	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	8,41	8,33	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	8,38	8,33	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	8,33	8,29	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto



Rys. 11. Jakość sensoryczna schabów surowo dojrzewających po produkcji (czas 1).

Tabela 50. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	49,16 $\pm$ 2,78	7,67 $\pm$ 1,59	2,68 $\pm$ 1,53
K2	47,15 $\pm$ 3,70	8,47 $\pm$ 1,00	4,49 $\pm$ 1,01
B3	49,41 $\pm$ 2,38	7,88 $\pm$ 1,24	4,14 $\pm$ 0,73
B4	48,16 $\pm$ 2,94	8,18 $\pm$ 0,78	3,52 $\pm$ 1,43
B5	48,83 $\pm$ 1,92	7,62 $\pm$ 0,73	3,43 $\pm$ 0,79

Tabela 51. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	390,50 $\pm$ 6,09	5,49 $\pm$ 0,15	0,68 $\pm$ 0,08
K2	384,33 $\pm$ 12,40	5,81 $\pm$ 0,23	0,92 $\pm$ 0,13
B3	374,33 $\pm$ 3,98	5,63 $\pm$ 0,08	0,83 $\pm$ 0,25
B4	375,00 $\pm$ 5,76	5,71 $\pm$ 0,09	0,89 $\pm$ 0,12
B5	376,17 $\pm$ 6,27	5,63 $\pm$ 0,05	0,80 $\pm$ 0,05

Tabela 52. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
12:0	0,10	0,10	0,10	0,13	0,10
14:0	1,23	1,27	1,17	1,47	1,30
15:0	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
16:0	24,40	24,67	23,47	24,90	25,03
16:1	2,87	2,73	2,60	2,97	3,53
17:0	0,20	0,17	0,20	0,17	0,13
17:1	0,10	0,10	0,17	0,10	0,10
18:0	13,80	14,50	13,43	14,27	12,73
18:1trans	0,17	0,10	0,17	0,20	0,13
18:1cis9	40,17	40,73	41,93	39,10	40,47
18:1cis11	3,43	3,30	3,37	3,53	3,93
18:1 c inne	0,30	0,30	0,27	0,30	0,30
18:2	8,60	7,83	8,67	8,73	7,87
18:3 n3	0,77	0,77	0,80	0,53	0,73
18:2c9t11	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
20:0	0,43	0,20	0,20	0,20	0,20
20:1	1,00	1,03	1,13	1,00	0,93
20:2	0,33	0,33	0,37	0,37	0,30

KT [%]	K1	K2	B3	B4	B5
20:3n6	0,20	0,17	0,20	0,20	0,20
20:4n6	1,13	0,90	1,00	1,17	1,13
20:3n3	0,13	0,13	0,17	0,10	0,10
20:5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
22:4n6	0,17	0,17	0,17	0,20	0,13
22:5n3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Σ SFA	40,3	41,0	38,7	41,2	39,6
Σ MUFA	48,0	48,3	49,6	47,2	49,4
Σ PUFA	11,7	10,5	11,6	11,5	10,7
Σ n3	1,0	1,0	1,1	0,7	0,9
Σ n6	1,5	1,2	1,4	1,6	1,5
Cholesterol (mg/100g)	60,23±3,54	66,83±1,05	62,23±4,18	57,87±3,47	63,40±4,61

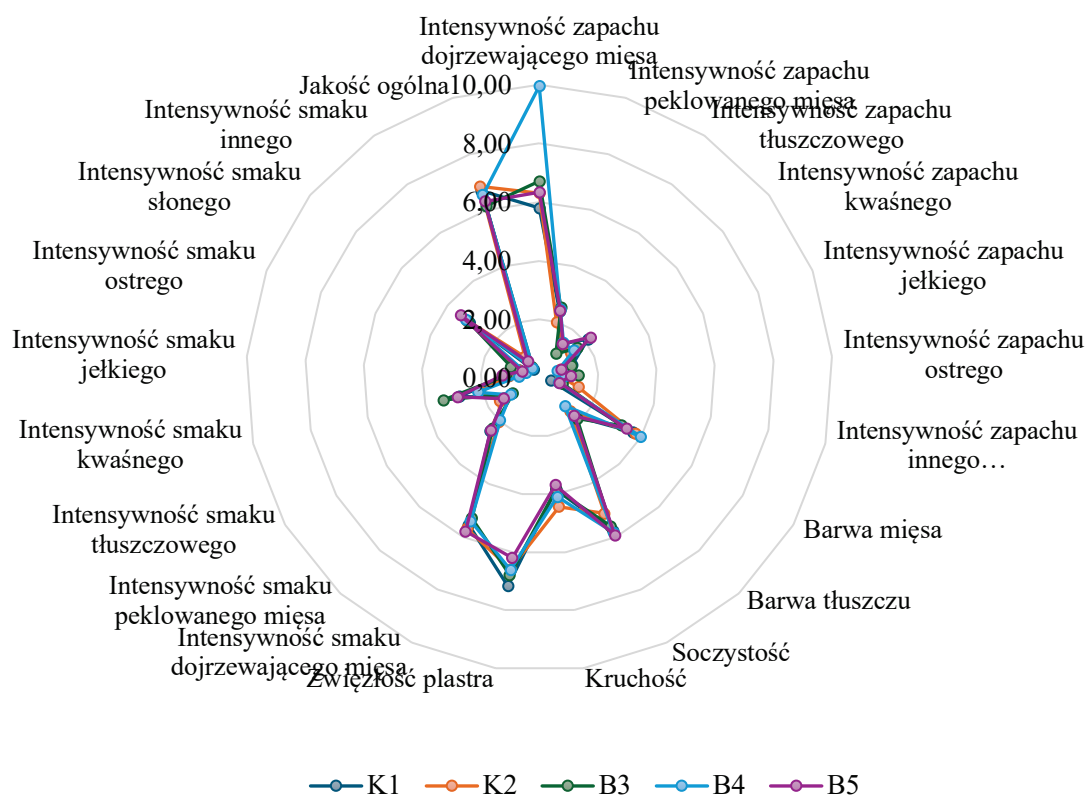
Tabela 53. Zawartość azotynów i azotanów w badanych próbkach schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - [mg/kg]	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
NO ₃ - [mg/kg]	<2,0	3,27±1,68	1,87±0,97	3,87±1,70	3,10±1,02

Tabela 54. Wyniki analizy mikrobiologicznej schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2) (średnia; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	8,41	8,34	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	7,64	7,52	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	7,83	7,75	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	8,30	8,24	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	8,13	8,07	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto



Rys. 12. Jakość sensoryczna schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 2).

Tabela 55. Parametry barwy w systemie L*a*b* badanych schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=6).

Kod wariantu	Parametry barwy		
	L*	a*	b*
K1	48,20 $\pm$ 3,09	8,54 $\pm$ 1,22	4,35 $\pm$ 0,82
K2	45,83 $\pm$ 1,66	9,59 $\pm$ 0,66	4,91 $\pm$ 1,21
B3	47,53 $\pm$ 1,78	8,43 $\pm$ 1,18	3,85 $\pm$ 0,55
B4	46,51 $\pm$ 1,47	9,22 $\pm$ 0,98	3,70 $\pm$ 0,74
B5	45,12 $\pm$ 1,23	9,26 $\pm$ 0,97	3,35 $\pm$ 1,00

Tabela 56. Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), wartość pH i wskaźnik TBARS badanych schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3).

Kod wariantu	ORP (mV)	pH	TBARS (mg MDA/kg)
K1	372,17 $\pm$ 11,60	5,30 $\pm$ 0,15	0,84 $\pm$ 0,07
K2	357,83 $\pm$ 3,66	5,46 $\pm$ 0,28	1,05 $\pm$ 0,11
B3	354,17 $\pm$ 8,66	5,35 $\pm$ 0,13	0,94 $\pm$ 0,19
B4	351,00 $\pm$ 7,87	5,56 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,10
B5	357,50 $\pm$ 9,01	5,41 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,12

Tabela 57. Profil kwasów tłuszczowych (średnia; n=3) oraz zawartość cholesterolu (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; n=3) w badanych schabach surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3).

KT [%]	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
10:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12:0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14:0	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3
15:0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
16:0	24,5	24,8	23,8	24,5	25,1
16:1	2,9	2,8	2,6	2,8	3,2
17:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
17:1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
18:0	13,6	14,5	13,5	13,9	13,2
18:1trans	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
18:1cis9	40,2	39,9	42,2	39,9	40,3
18:1cis11	3,4	3,3	3,3	3,4	3,5
18:1 c inne	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18:2	8,9	8,2	8,2	8,9	8,3
18:3 n3	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9
18:2c9t11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20:0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20:1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0
20:2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

KT [%]	K1	K2	B3	B4	B5
20:3n6	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
20:4n6	1,1	1,1	0,8	1,1	0,8
20:3n3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
20:5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22:4n6	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
22:5n3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Σ SFA	40,0	41,2	39,1	40,5	40,3
Σ MUFA	48,1	47,6	49,9	47,7	48,6
Σ PUFA	11,9	11,4	10,9	11,7	11,0
Σ n3	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2
Σ n6	1,5	1,5	1,0	1,4	1,1
Cholesterol (mg/100g)	52,4±4,1	52,6±2,9	45,7±1,4	50,1±1,8	52,3±3,7

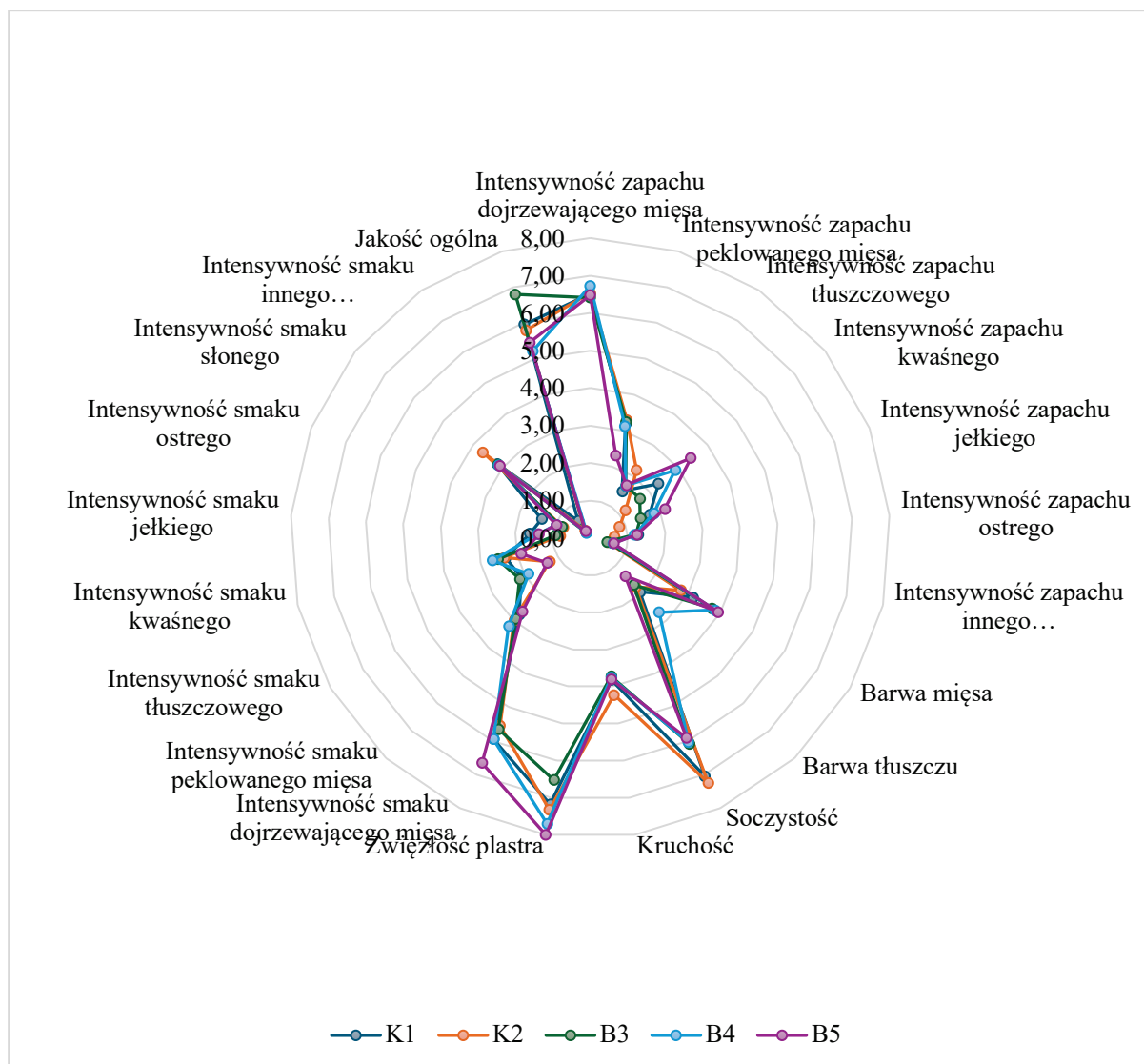
Tabela 58. Zawartość azotynów i azotanów w badanych próbkach schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3) (średnia ± odchylenie standardowe; n=3).

Parametr	Kod wariantu				
	K1	K2	B3	B4	B5
NO ₂ - [mg/kg]	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
NO ₃ - [mg/kg]	3,9±0,8	10,0±0,2	4,0±0,2	8,7±2,0	5,0±1,7

Tabela 59. Wyniki analizy mikrobiologicznej badanych schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3) (średnia; n=3).

Wariant	Liczba bakterii [log jtk/g]				Obecność bakterii	
	OLD	LAB	CL	STAPH	SAL	LIST
K1	7,84	7,76	<1,0	<1,0	nw	nw
K2	7,56	7,54	<1,0	<1,0	nw	nw
B3	7,52	7,47	<1,0	<1,0	nw	nw
B4	7,91	7,90	<1,0	<1,0	nw	nw
B5	7,92	7,77	<1,0	<1,0	nw	nw

nw – nie wykryto



Rys. 13. Jakość sensoryczna schabów surowo dojrzewających po przechowywaniu (czas 3).

Tabela 60. Wpływ czasu naświetlania na zmiany parametrów barwy (L^* , a^* , b^*) schabów surowo dojrzewających badanych po przechowywaniu (czas 3) (średnia $\pm$ odchylenie standardowe; $n=6$).

Parametr/ Wariant		Czas naświetlania (godziny)				
		0	2	5	24	48
L^*	K1	48,20 $\pm$ 3,09	49,19 $\pm$ 1,69	48,48 $\pm$ 2,18	48,59 $\pm$ 2,34	48,63 $\pm$ 1,47
	K2	45,83 $\pm$ 1,66	45,57 $\pm$ 1,25	46,47 $\pm$ 1,62	46,25 $\pm$ 1,40	46,51 $\pm$ 1,10
	B3	47,53 $\pm$ 1,78	47,98 $\pm$ 1,41	48,34 $\pm$ 1,90	48,48 $\pm$ 1,49	48,86 $\pm$ 1,66
	B4	46,51 $\pm$ 1,47	46,97 $\pm$ 2,05	46,90 $\pm$ 1,62	47,45 $\pm$ 1,87	47,37 $\pm$ 0,99
	B5	45,12 $\pm$ 1,23	46,19 $\pm$ 1,33	46,26 $\pm$ 1,60	46,36 $\pm$ 1,17	47,42 $\pm$ 0,58
a^*	K1	8,54 $\pm$ 1,22	6,29 $\pm$ 0,64	5,80 $\pm$ 0,94	3,73 $\pm$ 0,69	3,24 $\pm$ 0,58

	K2	9,59±0,66	7,27±0,71	6,17±0,76	4,13±0,43	3,67±0,39
	B3	8,43±1,18	5,82±0,74	4,88±0,99	3,44±0,60	2,97±0,89
	B4	9,22±0,98	6,60±1,12	5,42±0,45	3,60±0,76	3,41±0,60
	B5	9,26±0,97	6,66±0,98	5,65±0,91	4,07±0,54	3,20±0,40
b*	K1	4,35±0,82	4,91±0,60	5,13±0,50	5,23±0,65	5,27±0,71
	K2	4,91±1,21	5,36±0,77	5,76±0,67	5,55±0,87	5,51±0,72
	B3	3,85±0,55	4,73±0,51	4,75±0,69	5,42±0,49	5,02±0,56
	B4	3,70±0,74	4,17±0,48	4,49±0,73	4,70±0,50	4,69±0,71
	B5	3,35±1,00	3,71±0,79	4,07±0,58	4,58±0,46	4,63±0,73

2. Analiza uzyskanych wyników badań

Podstawowym elementem w produkcji wędzonek z obniżoną ilością azotanów(III) sodu jest zwiększenie efektywności peklowania mięsa przy wykorzystaniu dostępnych związków azotowych. Efektywność peklowania należy tu rozumieć jako stopień, w jakim zastosowane związki peklujące, w szczególności azotany(III), ulegają pożądanym przemianom chemicznym w tkance mięśniowej. Przemiany te obejmują redukcję azotanów(III) do tlenku azotu (NO) oraz reakcję NO z barwnikami hemowymi (mioglobina i jej pochodnymi), prowadzącą do powstania stabilnych kompleksów nitrozylowych odpowiedzialnych za utrwalenie charakterystycznej barwy peklowanego mięsa. Jednocześnie istotne jest ograniczenie ilości resztkowych azotanów(III) i azotanów(V) oraz minimalizacja reakcji niepożądanych.

Efektywność procesu peklowania zależy od wielu czynników środowiskowych, warunków prowadzenia procesu technologicznego oraz właściwości surowca mięsnego. Kluczowym elementem jest zapewnienie takich warunków środowiskowych w mięsie, które sprzyjają z jednej strony redukcji wprowadzonych azotanów(III) do NO, a z drugiej – redukcji azotanów(V) powstających w wyniku reakcji dysmutacji części dodanych azotanów(III). Wiadomo bowiem, że część azotanów(III) dodanych do mięsa ulega utlenieniu do azotanów(V), co w niektórych układach recepturowych może ograniczać dostępność azotanów(III) w reakcjach chemicznych i tym samym zmniejszać efektywność procesu peklowania. Wysoka efektywność peklowania jest również ściśle związana z dynamiką nitrozylowania barwników hemowych, rozumianą jako stopień reakcji NO z barwnikami hemowymi mięsa, który powinien być jak największy. Efektem wysokiej efektywności procesu peklowania jest uzyskanie pożądanых cech surowca i produktu mięsnego, takich jak

bezpieczeństwo mikrobiologiczne, trwałość, cechy sensoryczne, barwa, stabilność oksydacyjna oraz wysoka wydajność, przy możliwie niskim dodatku azotanu(III) sodu.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zastosowanie polifenoli pochodzących z ekstraktów roślinnych oraz bakterii środowiskowych z serwatki kwasowej w peklowaniu mięsa z obniżoną ilością azotanu(III) sodu zwiększa efektywność tego procesu. Rozwiązanie to wpływa korzystnie na dynamikę nitrozylowania barwników hemowych oraz na kształtowanie pożądanych cech jakościowych produktów mięsnych. Wędzonki wytworzone z dodatkiem ekstraktów roślinnych, szczególnie z liści maliny, oraz z udziałem bakterii środowiskowych charakteryzowały się trwałą różową barwą, wysoką stabilnością oksydacyjną oraz dobrą jakością sensoryczną i mikrobiologiczną, a także wysoką trwałością przechowalniczą. Zarówno bezpośrednio po produkcji, jak i po okresie przechowywania, szynki z dodatkiem polifenoli wykazywały istotnie wyższe stężenie nitrozylomyoglobiny (MbNO) oraz niższy potencjał redoks w porównaniu z próbą kontrolną. Wyniki te wskazują na zwiększenie zdolności redukcyjnych systemu mięsnego oraz intensyfikację tworzenia MbNO. Zjawisko to znajduje potwierdzenie w pomiarach potencjału redoks badanych produktów, a w przypadku niektórych ekstraktów, głównie z liści porzeczki, również w zwiększonych zdolnościach przeciwutleniających.

Zastosowanie polifenoli pochodzących z ekstraktów roślinnych w procesie peklowania azotanowego(III) mięsa, jak wynika z przeprowadzonych badań, może przynosić szereg korzyści technologicznych. Jednym z najważniejszych aspektów jest ograniczenie procesów utleniania lipidów, które prowadzą do pogorszenia jakości sensorycznej wyrobów mięsnych, powstawania niepożądanych aromatów oraz skrócenia trwałości przechowalniczej. Silne właściwości przeciwutleniające polifenoli umożliwiają skuteczne spowalnianie tych procesów zarówno podczas peklowania, jak i w trakcie obróbki cieplnej oraz przechowywania gotowych produktów. Polifenole mogą również wpływać na przebieg reakcji barwnikowych zachodzących w mięsie peklowanym. Dzięki właściwościom redukującym niektórych związków fenolowych możliwe jest zwiększenie efektywności przemian azotanów(III) do tlenu azotu, co sprzyja tworzeniu nitrozylomyoglobiny – kompleksu odpowiedzialnego za charakterystyczną barwę mięsa peklowanego. Jednocześnie polifenole mogą stabilizować powstałe formy barwników, ograniczając ich degradację pod wpływem tlenu, światła oraz wysokiej temperatury. Istotnym zagadnieniem jest również potencjalna rola polifenoli w ograniczaniu tworzenia N-nitrozoamin. Związki fenolowe mogą reagować z reaktywnymi formami azotu powstającymi w trakcie peklowania azotanowego(III), zmniejszając ich dostępność do reakcji nitrozowania amin. Mechanizm ten może przyczyniać się do obniżenia

poziomu niepożądanych związków o potencjalnym działaniu rakotwórczym w produktach mięsnych. Dodatkową korzyścią wynikającą z zastosowania polifenoli jest ich aktywność przeciwdrobnoustrojowa.

W naszych badaniach obserwowano również synergistyczne działanie polifenoli pochodzących z ekstraktów roślinnych oraz bakterii środowiskowych z serwatki kwasowej. Korzystny wpływ bakterii fermentacji mlekowej związany jest z umiarkowanym zakwaszeniem środowiska mięsnego, ich aktywnością enzymatyczną (m.in. reduktazy azotanowej, syntazy tlenu azotu, peroksydazy glutationowej, dysmutazy ponadtlenkowej i reduktazy glutationowej) oraz obecnością metabolitów o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych.

Warianty wędzonek parzonych (schaby) z obniżoną ilością azotanów(III), wytwarzane zgodnie z opracowaną technologią, charakteryzowały się pożądaną i stabilną barwą, zbliżoną do barwy produktów typowo peklowanych. Barwa ta pozostawała stabilna po okresie przechowywania, natomiast jej degradacja podczas naświetlania wykazywała podobną dynamikę jak w przypadku zastosowania wyższej dawki azotanu(III) sodu. Obserwacja ta wskazuje, że zaproponowane rozwiązanie skutecznie chroni pigmenty nitrozytowe przed degradacją pod wpływem promieniowania UV. Problem szarzenia wędlin w trakcie ekspozycji na światło w ladach chłodniczych jest obecnie powszechny i dotyczy szczególnie małych producentów wytwarzających wyroby metodami tradycyjnymi, bez dodatku chemicznych reduktorów. Zastosowana technologia może stanowić skuteczne rozwiązanie tego problemu.

Obiecujące wyniki uzyskano również w przypadku wędzonek surowych dojrzewających. Badania wykazały kształtowanie poświadanych cech sensorycznych produktów, szczególnie w zakresie nut smaku i zapachu charakterystycznych dla mięsa dojrzewającego. Zastosowanie ekstraktów roślinnych oraz bakterii środowiskowych wykazywało działanie przeciwutleniające porównywalne z efektem uzyskiwanym przy zastosowaniu wyższej dawki azotanu(III) sodu. Barwa produktów charakteryzowała się wysokim udziałem składowej czerwonej a^* w porównaniu z wariantami kontrolnymi z obniżoną ilością dodatku azotanu(III) sodu. Mechanizm tworzenia barwy w produktach surowych dojrzewających mógł mieć charakter dwukierunkowy. W zależności od warunków środowiskowych mioglobina (Mb) w mięsie może występować w różnych formach redoks, takich jak purpurowo czerwona dezoksymioglobina (DMb), jaskrawoczerwona oksymioglobina (OMb) oraz brązowa metmioglobina (MMb). W obecności azotanów(III) Mb reaguje z NO, tworząc nitrozyłomioglobinę – barwnik o czerwonej barwie. Jednak w produktach surowych dojrzewających nie cała mioglobina ulega tej reakcji. Pozostała część barwnika, w warunkach środowiskowych kształtowanych przez obecność

polifenoli i bakterii środowiskowych, może występować w formach OMb i DMb, co również sprzyja utrzymaniu pożądanego odcienia barwy. Dostępne dane literaturowe wskazują, że niektóre bakterie fermentacji mlekowej wykazują zdolność redukcji metmioglobiny (MMb) do dezoksymioglobiny (DMb), co prowadzi do zmiany barwy mięsa z brązowej na jasnoczerwoną. Serwatka kwasowa stanowi również źródło peptydów o właściwościach przeciwutleniających, które mogą uczestniczyć w stabilizacji barwy produktów peklowanych z obniżoną dawką azotanu(III) sodu. Ponadto nasze badania wykazały, że dodatek kwaśnej serwatki w niektórych przypadkach korzystnie wpływał na profil kwasów tłuszczowych podczas przechowywania, powodując wzrost procentowego udziału kwasów tłuszczowych jednonienasyconych (MUFA) i wielonienasyconych (PUFA).

Azotany(III), oprócz kluczowej roli w zapobieganiu rozwojowi *Clostridium botulinum*, wykazują również działanie hamujące wzrost innych drobnoustrojów. Azotany(III) uczestniczą w tworzeniu reaktywnych form tlenu azotu (ONOO⁻/ONOOH) w mięsie, które mogą uszkadzać komórki bakteryjne. Tlenek azotu blokuje aktywność katalazy, natomiast NO₂ może wnikać do komórek bakteryjnych przez transporter azotynowy NirC i uczestniczyć w generowaniu nadtlenu wodoru, prowadzącego do uszkodzeń DNA bakterii. Z tego względu istotna była ocena trwałości i jakości mikrobiologicznej produktów mięsnych peklowanych z obniżoną dawką azotanu(III) sodu. Produkty mięsne wytworzone zgodnie z proponowaną technologią charakteryzowały się dobrą jakością mikrobiologiczną i wysoką trwałością. Zarówno po produkcji, jak i po okresie przechowywania nie stwierdzono obecności drobnoustrojów chorobotwórczych, takich jak *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus spp.*, *Salmonella*, *Escherichia coli* ani bakterii redukujących siarczany(IV) rozwijających się w warunkach beztlenowych. Ogólna liczba bakterii fermentacji mlekowej utrzymywała się na akceptowalnym poziomie. Bakterie środowiskowe kwasu mlekowego pochodzące z serwatki kwasowej mogą działać ochronnie na mięso i produkty mięsne, dominując nad mikroflorą saprofityczną. Ich aktywność przeciwdrobnoustrojowa związana jest m.in. z produkcją kwasów organicznych, nadtlenu wodoru, diacetylu, CO₂ oraz substancji białkowych o charakterze bakteriobójczym i bakteriostatycznym, określanym jako bakteriocyny. Badania wędzonek dojrzewających przeprowadzone po przedłużonym, trzymiesięcznym okresie przechowywania potwierdziły dobrą jakość mikrobiologiczną i sensoryczną oraz wysoką stabilność oksydacyjną produktów.

CZĘŚĆ IV. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość zastosowania ekstraktów roślinnych jako źródła polifenoli oraz ekologicznej serwatki kwasowej jako źródła środowiskowych bakterii kwasu mlekowego w peklowaniu mięsa i produkcji wędzonek, zarówno surowych dojrzewających, jak i poddawanych obróbce cieplnej, z obniżoną ilością azotanu(III) sodu. Wędzonki wytworzone zgodnie z proponowaną przez IBPRS-PIB technologią charakteryzowały się pożądaną i stabilną barwą, dobrą jakością mikrobiologiczną, wysoką wartością odżywczą, dobrą jakością sensoryczną oraz trwałością przechowalniczą porównywalną z produktami peklowanymi w sposób tradycyjny. Dodatkowo badania wędzonek surowych dojrzewających z obniżoną ilością azotanów(III), przeprowadzone po przedłużonym trzymiesięcznym okresie przechowywania, wykazały utrzymanie dobrej jakości mikrobiologicznej, sensorycznej i stabilności oksydacyjnej, co potwierdza praktyczną przydatność opracowanej technologii. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie serwatki kwasowej w połączeniu z ekstraktami roślinnymi może skutecznie kształtować jakość i trwałość wyrobów mięsnych z obniżoną ilością azotanu(III) sodu.

Ze względu na prostotę aplikacji proponowane rozwiązanie może być szczególnie przydatne w małym przetwórstwie, ograniczając jednocześnie konieczność stosowania innych chemicznych substancji dodatkowych. Opracowana technologia produkcji może wspomóc dostosowanie się małych producentów do nowych przepisów Unii Europejskiej ograniczających ilość azotanu(III) sodu stosowanego w przetwórstwie mięsa. Udostępnienie wyników badań i wdrożenie technologii w praktyce produkcyjnej może przyczynić się do wzrostu konkurencyjności krajowych wyrobów tradycyjnych oraz dalszego rozwoju krótkich łańcuchów dostaw żywności pochodzenia zwierzęcego w Polsce.

Część V. Technologia produkcji wędzonek peklowanych z obniżoną ilością azotanu (III) sodu w małej skali - wymagania techniczno - technologiczne

1. Wstęp

1.1. Przedmiot wytycznych

Opracowanie dotyczy wytycznych techniczno-technologicznych dla peklowania mięsa i produkcji wędzonek wytwarzanych z obniżoną ilością azotanu(III) sodu w małej skali, z uwzględnieniem dobrych praktyk produkcyjnych i higienicznych.

1.2. Definicje

1.2.1. Produkty mięsne - produkty przetworzone, uzyskane w wyniku przetworzenia mięsa lub dalszego przetworzenia takich produktów przetworzonych, co w konsekwencji powoduje utratę właściwości mięsa świeżego na powierzchni przekroju.

1.2.2. Wędzonki - produkty mięsne bez osłonek lub w osłonkach o zachowanej lub częściowo zachowanej strukturze tkankowej, wyprodukowane z jednego lub kilku kawałków części anatomicznej tuszy, peklowane lub solone, wędzone lub nie wędzone, suszone, surowe, parzone, pieczone.

2. Wykaz pomieszczeń, maszyn i urządzeń niezbędnych do wytwarzania kielbas w małej skali

2.1 Wykaz pomieszczeń

- Pomieszczenie chłodnicze do rozbioru półtuszy i wykrawania mięsa – temp. do 12 °C.
- Pomieszczenie produkcyjne z wydzieloną częścią do obróbki cieplnej, wędzarniczej i dojrzewania.
- Pomieszczenie chłodnicze do peklowania mięsa 0-6 °C.
- Pomieszczenie do przechowywania produktów – magazyn gotowego wyrobu temp. 2-8 °C.

2.2 Wykaz maszyn i urządzeń

- Wilk (opcjonalnie).
- Mieszalnik (opcjonalnie).
- Cymbry masarskie lub inne pojemniki przystosowane do kontaktu z żywnością do prowadzenia peklowania w zalewie.
- Komora wędzarnicza – tradycyjna, najlepiej opomiarowana (możliwość pomiaru temperatury w batonie wędzonki, temperatury dymu, ewentualnie temperatury w palenisku) lub urządzenia parzalnico – wędzarnicze typu atmos.

- Komora dojrzewalnicza z możliwością ustawienia temperatury i wilgotności (przy produktach surowych dojrzewających).

3. Opakowania

W zależności od możliwości technicznych, modelu dystrybucji i czasu przechowywania, pojemniki plastikowe przeznaczone do kontaktu z żywnością lub pakowanie z zastosowaniem folii wielowarstwowej z wykorzystaniem technologii VAC (pakowanie próżniowe) lub MAP (pakowanie z zastosowaniem gazów obojętnych) (niezbędne są dodatkowe urządzenia pakujące).

4. Surowce

4.1 Mięso wieprzowe

Najważniejszym i najczęściej stosowanym mięsem przetwórczym do produkcji wędlin, w tym wędzonek w Polsce jest wieprzowina. Do produkcji wyrobów mięsnych mięso musi zostać pozyskane z trzody chlewnej z produkcji przemysłowej lub własnej. Surowiec podstawowy do produkcji wędzonek otrzymywany jest z rozbioru i wykrawania półtuszy wieprzowych.

Typowy podział wieprzowiny na części zasadnicze:

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| - głowa | - podgardle |
| - karkówka | - żeberka |
| - schab | - boczek z żeberkami |
| - biodrówka | - pachwina |
| - szynka z golonką | - nogi przednie i tylne |
| - słonina | - ogon |

W wyniku wykrawania i doczyszczania (usunięcie części tkanki tłuszczowej, tkanki łącznej i mięsnej) elementów zasadniczych powstają skrawki mięsa i tłuszcz, które są klasyfikowane w zależności od zawartości mięsa chudego, tłuszczu, tkanki łącznej i ścięgien. Mięso to jest odpowiednio klasyfikowane (tabela 61) i wykorzystywane w zależności od swojej funkcji technologicznej w produkcji wędlin. Podczas wykrawania i obrabiania elementów zasadniczych pozyskiwany jest tłuszcz drobny. Do produkcji wędzonek wykorzystuje się najczęściej elementy zasadnicze np. karkówka, łopatka, schab, szynka, boczek, w postaci całych mięśni lub po procesie rozdrobnienia w zależności od kategorii produktu (wędzonki z całych mięśni lub wytworzone z surowca rozdrobnionego). W zależności od technologii rozbioru i asortymentu do produkcji wędzonek wykorzystuje się również wybrane mięśnie elementów zasadniczych, na przykład w przypadku szynki mięsień czterogłowy, mięsień półbłoniasty, mięsień dwugłowy z półścięgnistym, mięsień biodrowy.

Tabela 61. Podział mięsa wieprzowego na klasy

Klasa	Cechy charakterystyczne
I	Chude, nieścięgniste
II	Średnio tłuste, nieścięgniste
III	Średnio tłuste, ścięgniste
IV	Krwawe, ścięgną, węzły chłonne

4.2 Ocena jakości surowca

Surowce mięsne i tłuszczowe muszą być pozyskane z półtuszy uznanych przez odpowiednie jednostki kontroli urzędowej za zdatne do spożycia bez zastrzeżeń. Do produkcji wędzonek stosuje się mięso chłodzone lub mrożone. To ostatnie jednak, często w wyniku niewłaściwego rozmrażania, wykazuje gorszą zdolność wchłaniania i wiązania wody i jest mniej trwałe podczas przechowywania. Mięso rozmrażane może również charakteryzować się niższą zawartością barwników hemowych, i jeżeli dodatkowo zastosujemy obniżoną zawartość azotanów (III) do jego zapiekowania, możemy uzyskać niesatysfakcjonujące efekty procesu peklowania.

Surowce mięsne muszą być dobrej jakości higienicznej i technologicznej. Mięso powinno być prawidłowo wychłodzone, a temperatura mięsa nie powinna przekraczać 7 °C. Temperatura mięsa jest parametrem krytycznym, mającym wpływ na jakość mikrobiologiczną mięsa i produktu z niego wytwarzanego, szczególnie, jeżeli stosujemy obniżoną ilość substancji peklujących. Zapach mięsa powinien być typowy dla wieprzowiny lub dopuszcza się mięso, które opisać można jako „bez zapachu”. Zapach wskazujący na rozpoczynający się proces psucia lub inny obcy, nietypowy dyskwalifikuje surowiec do dalszego przerobu. Barwa mięsa powinna być typowa, czerwona dla wieprzowiny, mięso generalnie nie powinno wykazywać wad PSE (jasne, miękkie, wodniste) i/lub DFD (suche, włókniste, ciemne), a po 24 h od uboju mięso powinno charakteryzować się pH na poziomie 5,6-6,0. Jest to istotne szczególnie w przypadku produkcji wędzonek, ponieważ potencjalne wady mięsa będą miały wpływ na wydajność i cechy sensoryczne, szczególnie barwę i teksturę produktu gotowego. Barwa okrywy tłuszczowej elementów mięsnych powinna być naturalna, typowa dla tłuszczu wieprzowego, biała z odcieniem kremowym, jasnoróżowym lub jasnoszarym. Tłuszcz żółty, nietypowy może wskazywać na postępujące zmiany oksydacyjne (np. spowodowane długim przechowywaniem w stanie zamrożonym).

4.3 Dodatki do żywności i przyprawy

W produkcji wędzonek jest możliwość stosowania dużej grupy dodatków do żywności, składników pełniących głównie funkcje technologiczne i sensoryczne, jak również mikroelementów oraz substancji pomocniczych w przetwórstwie. Dozwolone substancje

dotatkowe stosujemy zgodnie z Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności ze zmianami oraz Rozporządzeniem Komisji (UE) nr 1129/2011 ustanawiającym unijny wykaz dodatków do żywności ze zmianami.

Natomiast najczęściej stosowane przyprawy w przetwórstwie mięsa to czosnek, pieprz biały i czarny, papryka, jałowiec, gorczyca, gałka muskatołowa, majeranek, rozmaryn, kardamon, kolendra, ziele angielskie, bazylia, kminek, imbir, tymianek, liść laurowy, cebula. W przypadku produkcji wędzonek najczęściej sporządza się wywary z wybranych przypraw i ziół, które dodaje się do solanek peklowniczych aby wprowadzić pożądaných aromat lub stosuje się suche przyprawy do posypania na powierzchni elementów mięsnych.

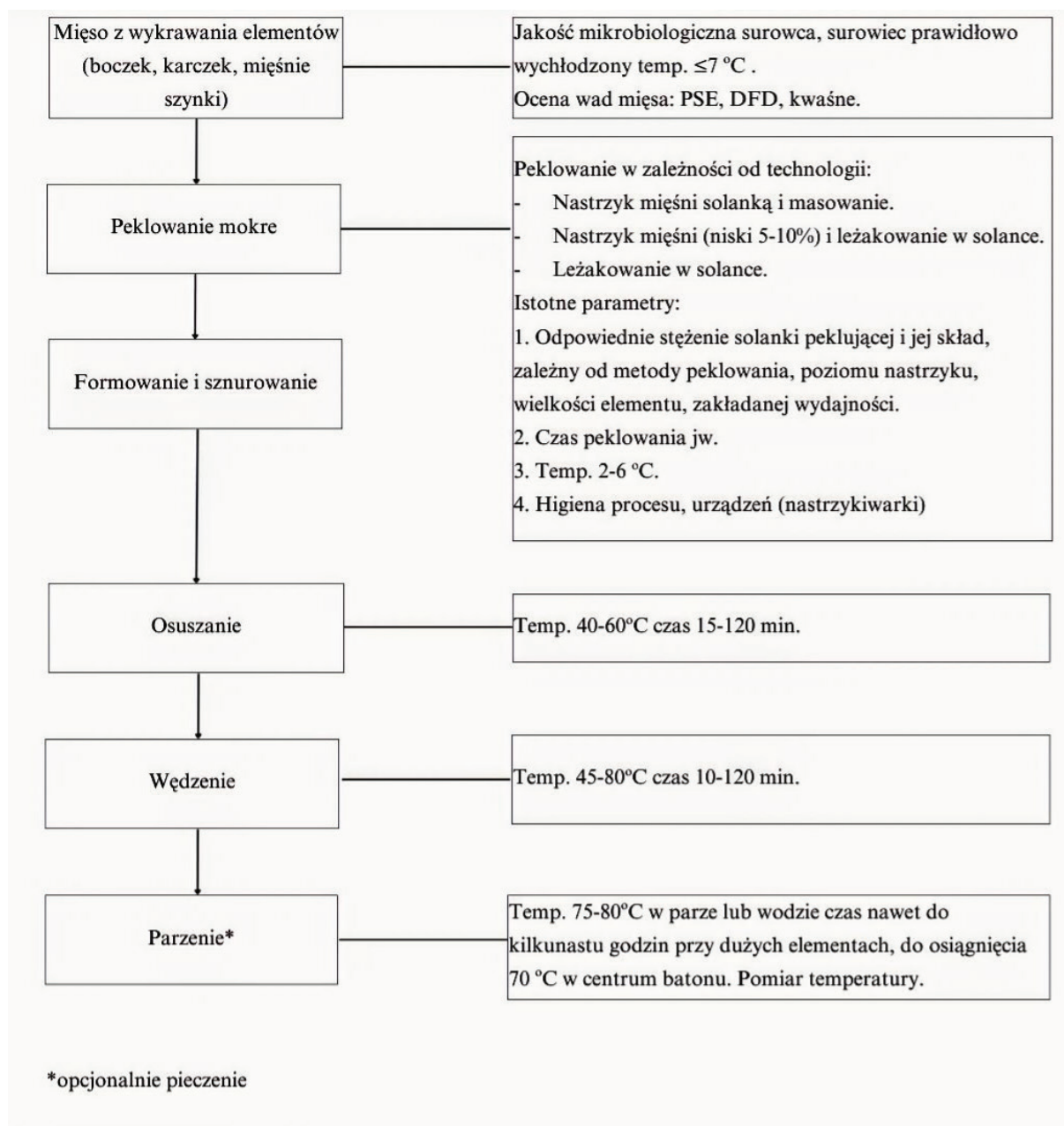
5. Technologia produkcji wędzonek

5.1 Ogólny schemat produkcji wędzonek

Podstawowe etapy procesu produkcji wędzonek poddawanych obróbce cieplnej przedstawiono na schemacie 1. W przypadku produktów dojrzewających, po zawieszeniu na kijach i powierzchniowym obsuszeniu powierzchni na hali produkcyjnej, prowadzimy proces dojrzewania w komorach dojrzewalniczych. W zależności od rodzaju produktu, zastosowanego wsadu i zakładanych efektów wydajności procesu, dojrzewanie prowadzimy w odpowiedniej temperaturze i wilgotności od kilku do kilkunastu tygodni, w przypadku niektórych wyrobów proces dojrzewania może trwać nawet ponad rok. W trakcie dojrzewania wędzonki dodatkowo mogą być wędzone zimnym dymem (15-25°C).

5.2 Peklowanie mięsa

Peklowanie polega na oddziaływaniu soli peklującej na surowiec mięsny w celu uzyskania pożądaných efektów technologicznych, takich jak: utrwalenie barwy, kształtowanie cech sensorycznych, poprawa trwałości mikrobiologicznej oraz przygotowanie mięsa do dalszych etapów obróbki. Proces peklowania prowadzony jest w warunkach chłodniczych, najlepiej w temperaturze 2–6°C. Peklowanie stanowi jeden z kluczowych procesów determinujących jakość wyrobów mięsnych. Sól peklująca (mieszanecz peklująca) jest mieszaniną soli kuchennej (chlorku sodu) oraz azotanu(III) sodu (azotynu sodu) i/lub azotanu(V) sodu (azotanu sodu), stosowanych w ściśle określonych, regulowanych prawnie proporcjach. Przykładowo klasyczna sól peklująca azotynowa zawiera 99,4% soli kuchennej oraz 0,60% azotanu(III) sodu. Obecnie na rynku dostępne są również mieszanki peklujące o obniżonej zawartości azotanów(III) i/lub (V), co wynika z obowiązujących przepisów ograniczających maksymalne poziomy ich stosowania w żywności.



Schemat 1. Podstawowe etapy procesu produkcji wędzonek poddawanych obróbce cieplnej ze wskazaniem na kluczowe parametry procesu.

Metody peklowania całych elementów mięsa

W przypadku całych elementów zasadniczych (np. karczek, boczek, schab, szynka) przeznaczonych do produkcji wędzonek, najczęściej stosuje się peklowanie w solance peklującej. Solanka peklująca jest wodnym roztworem zawierającym peklosól oraz w zależności od technologii – substancje dodatkowe i pomocnicze, takie jak: askorbiniany, izoaskorbiniany, cytryniany, fosforany, cukry, białka roślinne lub zwierzęce, skrobie, a także

ekstrakty lub wywary przyprawowe. Składniki te pełnią określone funkcje technologiczne, m.in. poprawiają stabilność barwy, wydajność, teksturę i cechy sensoryczne produktu.

W zależności od asortymentu, przyjętej technologii oraz zakładanych parametrów jakościowych i wydajnościowych produktu gotowego, peklowanie z zastosowaniem solanki może być prowadzone jednym z trzech sposobów:

- **Peklowanie zalewowe** – polega na zalaniu mięsa solanką peklującą, najczęściej w cymbrach masarskich. Czas peklowania zależy od wielkości elementów i wynosi od kilku do kilkunastu dni. Proces prowadzony jest w warunkach chłodniczych.
- **Peklowanie nastrzykowo-zalewowe** – polega na wstępnym nastrzyku mięsa niewielką ilością solanki peklującej przy użyciu nastrzykiwarki, a następnie na dalszym peklowaniu zalewowym w cymbrach masarskich. Czas procesu wynosi zazwyczaj kilka lub kilkanaście dni.
- **Peklowanie nastrzykowe** – polega na wprowadzeniu solanki peklującej do mięsa wyłącznie metodą nastrzyku. Po nastrzyku mięso poddawane jest masowaniu w masownicach obrotowych. Czas procesu zależy od asortymentu (np. szynka, schab, boczek), wielkości nastrzyku oraz zakładanego przyrostu masy i wydajności, i wynosi od kilku do kilkunastu godzin. Proces prowadzony jest w warunkach chłodniczych, pod próżnią.

Peklowanie mięsa rozdrobnionego na wędzonki

W przypadku wędzonek wytwarzanych z mięśni rozdrobnionych (np. z użyciem szarpaka) możliwe jest peklowanie poprzez bezpośredni dodatek peklosoli do mięsa i dokładne wymieszanie. Peklowanie prowadzone jest w warunkach chłodniczych przez okres 24–48 godzin. Dodatek peklosoli, w przeliczeniu na masę mięsa, wynosi najczęściej 2,0–2,4% dla wędzonek poddawanych obróbce cieplnej.

Peklowanie wędzonek surowych dojrzewających

W przypadku wędzonek surowych dojrzewających, wytwarzanych z całych elementów mięśniowych, najczęściej stosuje się peklowanie na sucho. Metoda ta polega na nacieraniu powierzchni mięsa oraz przesypywaniu elementów (karczek, schab, boczek, szynka) peklosolą. Następnie mięso układane jest w cymbrach peklowniczych i peklowane przez okres od kilku do kilkunastu dni w warunkach chłodniczych. Po zakończeniu peklowania elementy są oczyszczane z osocza i pozostałości peklosoli, a następnie kierowane do dalszych etapów procesu technologicznego. W tej metodzie ilość stosowanej peklosoli, w zależności od wielkości elementów i czasu dojrzewania, wynosi zazwyczaj 1,8–2,8% w stosunku do masy mięsa.

Ograniczanie dodatku azotanów(III) i (V)

Aktualne wyniki badań naukowych wskazują na potrzebę ograniczania stosowania azotanów(III) i (V) w produkcji żywności, ze względu na ich potencjalnie niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. W związku z tym podejmowane są działania badawcze, prawne i informacyjne mające na celu zmniejszenie ich udziału w technologii przetwórstwa mięsa.

W praktyce technologia ta może obejmować częściowe zastępowanie peklosoli solą spożywczą. Ograniczenie ilości azotanów(III) wymaga jednak zastosowania dodatkowych zabiegów technologicznych, które zwiększają redukcyjność środowiska i poprawiają wykorzystanie dodanych azotanów(III), zwłaszcza w zakresie intensyfikacji nitrozylowania barwników hemowych. W przeciwnym razie produkt gotowy może wykazywać wady technologiczne, takie jak niestabilna barwa, obniżona stabilność oksydacyjna czy skrócona trwałość.

Naturalne substancje wspomagające peklowanie z obniżoną ilością azotanu(III) sodu

W przetwórstwie mięsa na małą skalę, gdzie stosowanie chemicznych reduktorów jest ograniczone, możliwe jest wykorzystanie naturalnych dodatków wspomagających peklowanie, takich jak:

- ekologiczna serwatka kwasowa (produkt uboczny produkcji serów),
- ekstrakty roślinne, w szczególności z liści maliny i porzeczki.

Serwatka kwasowa może być stosowana bezpośrednio do mięsa w ilości 3–5% w stosunku do masy surowca lub jako dodatek do solanki peklującej – wówczas jej udział może sięgać nawet 50% objętości solanki. Parametry peklowania (czas i temperatura) pozostają takie same jak w technologii standardowej. Serwatka powinna być świeża, schłodzona oraz charakteryzować się typowymi cechami sensorycznymi. Przed wdrożeniem do produkcji zaleca się przeprowadzenie prób technologicznych, ze względu na możliwą zmienność składu serwatki wynikającą z różnic technologicznych i mikrobiologicznych pomiędzy przetwórniami. Alternatywnie lub uzupełniająco można stosować ekstrakty z suszonych roślin, takich jak zielona herbata, malina czy pokrzywa.

Przykładowy sposób przygotowania ekstraktów roślinnych

Do naczynia o pojemności 1000–1500 ml odważa się 5 g surowca roślinnego i zalewa 1000 ml wody destylowanej o temperaturze około 80°C. Następnie mieszaninę parzy się pod przykryciem przez 30 minut. Po wystudzeniu ekstrakt przesącza się przez sączonek papierowy lub tkaninę filtracyjną. Uzyskany ekstrakt stosuje się jako dodatek do peklowania mięsa w ilości 1–5% w stosunku do masy mięsa lub w przypadku peklowania zalewowego do 50% objętości solanki.

Opisane naturalne dodatki mogą być stosowane pojedynczo lub łącznie w celu uzyskania efektu synergii. Każdorazowo zaleca się przeprowadzenie prób technologicznych przed wdrożeniem do produkcji na większą skalę, ze szczególnym uwzględnieniem oceny barwy, jej stabilności, cech sensorycznych, trwałości oraz wydajności produktu. W zależności od jakości produktów z produkcji pilotażowych należy skorygować ilość dodawanych składników. Zarówno serwatka jak i ekstrakty roślinne mogą charakteryzować się pewną zmiennością składu, w tym związków aktywnych, związaną z miejscem pozyskania, okresem czy sposobem przygotowania.

Substancje wspomagające peklowanie stosowane w konwencjonalnym przemyśle

Do substancji powszechnie stosowanych w przemyśle mięsnym, które mogą być wykorzystywane w celu poprawy efektywności peklowania, należą m.in.:

- kwas askorbinowy i/lub izoaskorbinowy,
- askorbinian sodu i/lub izoaskorbinian sodu,
- kwas cytrynowy i jego sole,
- kwas mlekowy,
- mleczan sodu,
- glukono-delta-lakton,
- kwas octowy i jego sole,
- cukry redukujące.

Czynniki wpływające na efektywność peklowania

Na przebieg i efektywność procesu peklowania wpływają m.in.:

- rodzaj i jakość surowca mięsnego (zawartość kolagenu i tłuszczu),
- pH mięsa,
- czas trwania procesu,
- temperatura procesu,
- warunki dyfuzji składników peklujących,
- ilość początkowa azotanów(III),
- profil mikrobiologiczny surowca.

5.3 Wędzenie

Wędzenie jest jedną z najstarszych metod utrwalania żywności. Jest to specyficzny rodzaj obróbki cieplnej prowadzonej w dymie wędzarniczym, mającym za zadanie (oprócz cech nadawanych przez zwykłą obróbkę cieplną) nadanie mięsu i jego przetworom specyficznego smaku i aromatu. Na końcowy efekt procesu wędzenia wpływ ma wiele czynników, tj. rodzaj drewna, budowa wędzarni, swoiste cechy wędzonego produktu, czas, intensywność dymu oraz

jego temperatura. W produkcji konwencjonalnej najczęściej stosowane są urządzenia wędzarniczo parzelnicze typu Atmos, w których materiał do wytworzenia dymu stanowią zrębki wędzarnicze. Z kolei w wędzarniach tradycyjnych proces wędzenia prowadzi się z użyciem szczap drewna.

Skład dymu wędzarniczego zależy od różnych czynników. Sam proces spalania regulowany jest wilgotnością drewna i dostępem tlenu oraz temperaturą żarzenia bądź spalania drewna. Obecnie znanych jest wiele możliwości wywołania pirolizy drewna, niezbędnej dla procesu wędzenia. W zależności od metody jej wytwarzania, otrzymuje się dym o różnych właściwościach i tym samym różnej przydatności technologicznej. Najczęściej stosowanym drewnem w procesach wędzenia są buk i olcha, ale można również stosować takie gatunki drewna jak jabłoń, wiśnia, dąb (może dawać gorzkawy posmak), które będą dawać nieco odmienne efekty sensoryczne w produkcie gotowym.

Bardzo ważnym zagadnieniem związanym z procesem wędzenia jest tworzenie się w wyniku pirolizy drewna niekorzystnych zdrowotnie (substancje kancerogenne) zanieczyszczeń chemicznych, jakimi są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które mogą przedostawać się do wędzonej żywności. Obecnie obowiązują przepisy, które regulują limity zawartości dla wybranych WWA tj. benzo(a)pirenu oraz sumy 4 WWA - benzo(a)pirenu, chryzenu, benzo(a)antracenu i benzo(b)fluorantenu. Prowadzenie wędzenia w taki sposób, aby zawartość WWA w produkcie była na dozwolonym poziomie i można było uznać, że produkt jest bezpieczny, niesie za sobą konieczność kontroli procesu. Należy zwrócić szczególną uwagę m.in. na:

- Konstrukcję wędzarni – wędzony produkt nie może mieć bezpośredniej styczności z żarzącymi się szczapami drewna/zrębkami.
- W trakcie wędzenia drewno powinno się żarzyć nie palić, możemy ten proces kontrolować dostępem powietrza.
- Do komory wprowadzamy produkt suchy.
- Staramy się aby wędzenie przeprowadzać w stosunkowo niskich temperaturach (30-50°C).
- Stosować odpowiedni rodzaj drewna, najlepiej buk, olsza ewentualnie dodatek dębu.
- Drewno do wędzenia powinno być okorowane i charakteryzować się odpowiednią wilgotnością (nie może być mokre, ale również nie może być przesuszone, ponieważ będzie łatwo ulegać samozapłonowi).

- W przypadku produkcji wędlin ekologicznych, powinniśmy używać drewna ekologicznego, pochodzącego z wyznaczonych obszarów, specjalnie przygotowanego.

5.4 Obróbka cieplna (parzenie/gotowanie/pieczenie)

Obróbka cieplna w wysokiej temperaturze jest stosowana w celu utrwalenia i/lub uzyskania przydatności do spożycia surowców mięsnych i ich utrwalenia. Główne cele ogrzewania to nadanie mięsu/półproduktowi pożądanej smakowitości i tekstury oraz wydłużenie trwałości (inaktywacja drobnoustrojów saprofitycznych, chorobotwórczych, enzymów). Czas i warunki ogrzewania zależą od zastosowanej obróbki cieplnej. W technologii produkcji wędzonek i większości innych wędlin podstawowe metody obróbki cieplnej to parzenie, gotowanie i pieczenie. Parzenie to proces, który odbywa się w parze lub wodzie o temperaturze 70 – 95 °C, gotowanie przeprowadzamy w wodzie w temperaturze 100 °C, natomiast pieczenie odbywa się w suchym gorącym powietrzu lub gorącym dymie.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktu obrabianego cieplnie ważne jest dostarczenie do produktu takiej dawki ciepła, która zapewni stabilność mikrobiologiczną produktu i jego trwałość. Ta wymagana dawka ciepła osiągalna jest przy osiągnięciu temperatury w centrum produktu na poziomie 70 do 72 °C. Bardzo ważny na tym etapie produkcji jest pomiar temperatury i dotrzymanie zakładanych parametrów procesu.

5.5 Studzenie i chłodzenie

Studzenie wyrobów parzonych prowadzi się pod natryskiem zimnej wody do temperatury około 20-30 °C. Wyrób pieczony chłodzi się w chłodnym pomieszczeniu. Wędliny wystudzone wychładza się w pomieszczeniu chłodniczym do temperatury poniżej 8°C wewnątrz batonu.

6. Higiena ludzi, pomieszczeń, narzędzi, maszyn i urządzeń

Na każdym etapie przetwarzania mięsa i produkcji wędlin higiena ludzka, pomieszczeń, narzędzi, maszyn i urządzeń jest podstawowym elementem wytwarzania bezpiecznej żywności.

Niewłaściwie umyte urządzenia, powierzchnie (np. stoły), narzędzia mogą doprowadzić do zanieczyszczenia mikrobiologicznego surowca i mieć wpływ na jakość mikrobiologiczną i przydatność do spożycia produktu. Zanieczyszczenie surowca poprzez nieprawidłową higienę produkcji może również mieć poważne konsekwencje zakażenia produktów drobnoustrojami patogennymi. Dlatego bardzo ważne jest każdorazowe mycie rąk, dezynfekcja noży (najlepiej sparzyć we wrzątku) czyszczenie, mycie i dezynfekcja pomieszczeń, maszyn i urządzeń po każdej produkcji. Należy zwrócić szczególną uwagę na takie urządzenia/części urządzeń jak masownice, nastrzykiwarki, wilk, noże do wilka i siatki, ponieważ właśnie przy nieprawidłowej higienie tych elementów podczas masowania, rozdrabniania surowca może dojść do znacznego

zanieczyszczenia mięsa i mieć dalsze konsekwencje w produkcie gotowym. Do mycia i dezynfekcji używane powinny być jedynie środki chemiczne atestowane, dopuszczone do stosowania w przemyśle spożywczym. Bardzo ważną rzeczą, o której bezwzględnie należy pamiętać jest prawidłowe spłukanie powierzchni po przeprowadzonym procesie mycia tak, aby żadne pozostałości środków myjących nie przedostały się później do surowca/produktu w czasie procesów przetwórczych. Należy zwrócić uwagę również na wszelkiego innego rodzaju zagrożenia higieniczne.

Część VI Literatura

1. Adamsen, C. E., Moller, J. K. S., Laursen, K., Olsen, K. i Skibsted, L. H. (2006). Zn-porphyrion formation in cured meat products: Effect of added salt and nitrite. *Meat Science*, 72(4), 672–679.
2. Arneth, W. (1998). Chemische Grundlagen der Umrötung. *Fleischwirtschaft*, 8, 868–874.
3. Balciunas, E. M., Castillo Martinez, F. A., Todorov, S. D., Franco, G. d. M. B. D., Converti, A. i Oliveira, R. P. d. S. (2013). Novel biotechnological applications of bacteriocins: a review. *Food Control*, 32(1), 134–142.
4. Barbieri, G., Bergamaschi, M., Barbieri, G. i Franceschini, M. (2013). Kinetics of nitrite evaluated in a meat product. *Meat Science*, 93(2), 282–286.
5. Bekhit, A. E. D. i Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science*, 71(3), 407–439.
6. Benjamin, N. i Collins, J. (2003). Nitrite. W: N. J. Russell i G. W. Gould (red.), *Food Preservatives* (s. 102–118). Kluwer Academic/Plenum Publishers.
7. Bolotin, A., Mauger, S., Malarne, K., Ehrlich, S. D. i Sorokin, A. (1999). Low-redundancy sequencing of the entire *Lactococcus lactis* IL1403 genome. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 76(1–4), 27–76.
8. Bolotin, A., Wincker, P., Mauger, S., Jaillon, O., Malarne, K., Weissen-Bach, J., Ehrlich, S. D. i Sorokin, A. (2001). The complete genome sequence of the lactic acid bacterium *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* IL1403. *Genome Research*, 11(5), 731–753.
9. Borch, E., Kant-Muermans, M. L. i Blixt, Y. (1996). Bacterial spoilage of meat and cured meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 103–120.
10. Borys, A. (1996). Wędzenie produktów mięsnych. *Gospodarka Mięsna*, 1.
11. Brooke, N., McClure, N., Sebranek, G. J., Kim, Y. H. i Sullivan, G. A. (2011). The effects of lactate on nitrosylmyoglobin formation from nitrite and metmyoglobin in a cured meat system. *Food Chemistry*, 129(3), 1072–1079.
12. Bryan, N. S. (2006). Nitrite in oxide biology: Cause or consequence? A systems-based review. *Free Radical Biology and Medicine*, 41(5), 691–701.
13. Cassens, R. G. (1995). Use of sodium nitrite in cured meats today. *Food Technology*, 49(7), 72–80.
14. Cassens, R. G., Ito, I., Lee, M. i Buege, D. (1978). The use of nitrite in meat. *Bioscience*, 28(10), 633–637.
15. Chen, X., Li, J., Zhou, T., Li, J., Yang, J., Chen, W. i Xiong, Y. L. (2016). Two efficient nitrite-reducing *Lactobacillus* strains isolated from traditional fermented pork (Nanx Wudl) as competitive starter cultures for Chinese fermented dry sausage. *Meat Science*, 121, 302–309.
16. Cierach, M. (2007). Azotyny w procesie peklowania mięsa - funkcje, aspekty zdrowotne, peklowanie bezazotynowe Część I. *Gospodarka Mięsna*, 4, 24–27.
17. Dolatowski, Z. J. i Skórnicki, H. (2014). Tradycyjne wędzenie i pieczenie bezpieczne pod względem zdrowotnym. *Przemysł Spożywczy*, 11, 20–23.
18. Duda, Z. (1998). Wybrane zagadnienia stosowania azotynu w przetwórstwie mięsa. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(3), 80–83.
19. European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Re-evaluation of potassium nitrite (E 249) and sodium nitrite (E 250) as food additives. *EFSA Journal*, 15(6), 4786. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4786>
20. Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R. i Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86–94.

21. Fisher, A., Bristle, A., Gehring, U., Herrmann, K. i Gibis, M. (2005a). Umrötung von Brühwurst ohne Nitritpökelsalz. *Fleischwirtschaft*, 4, 110–115.
22. Fisher, A., Bristle, A., Ulmer, K. i Wolf, G. (2005b). Umrötung von Brühwurst ohne Nitritpökelsalz. *Fleischwirtschaft*, 5, 106–108.
23. Gajewska, J. i Błaszczuk, M. K. (2012). Probiotyczne bakterie fermentacji mlekowej (LAB). *Postępy Mikrobiologii*, 51(1).
24. Gajewska, M. i Czajkowska-Mysiek, A. (2015). Ocena poziomu zanieczyszczenia azotanami (III) i (V) suszonych roślin przyprawowych dostępnych w sprzedaży detalicznej. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 48(3), 310–315.
25. Gajowiecki, L., Kotowicz, M., Lachowicz, K., Dąbrowski, W., Koronkiewicz, A., Żochowska-Kujawska, J., Sobczak, M. i Żych, A. (2005). Zastosowanie mleczanów do produkcji wyrobów drobiowych niezawierających dodatku azotanu(III) sodu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3(44), 86–99.
26. Heaton, K. M., Cornforth, D. P., Moiseev, I. V., Egbert, W. R. i Carpenter, C. E. (2000). Minimum sodium nitrite levels for pinking of various cooked meats as related to use of direct or indirect-dried soy isolates in poultry rolls. *Meat Science*, 55(3), 321–329.
27. Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1–2), 68–76.
28. Hunt, M. (2009). *Colour stability of fresh meat*. The 55th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Copenhagen, Denmark.
29. Iammarino, M. i Di Taranto, A. (2012). Nitrite and nitrate in fresh meats: a contribution to the estimation of admissible maximum limits to introduce in directive 95/2/EC. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(9), 1852–1858.
30. Jachacz, L. i Dolatowski, Z. J. (2011). Wpływ dodatku naparu rozmarynu i majeranku na stabilność oksydacyjną pasteryzowanego produktu mięsnego podczas chłodniczego przechowywania. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 66(1), 113–126.
31. Jaiswal, V. i Lee, H.-J. (2022). Antioxidant Activity of *Urtica dioica*: An Important Property Contributing to Multiple Biological Activities. *Antioxidants*, 11(12), 2494.
32. Jay, J. M., Loessner, M. J. i Golden, D. A. (2006). *Modern Food Microbiology* (7. wyd.). Food Science Text Series. Springer.
33. Jira, W. (2004). Chemical reactions of curing and smoking. Part 1: Curing. *Fleischwirtschaft*, 84(5), 235–239.
34. Jurkowski, M. i Błaszczuk, M. (2012). Charakterystyka fizjologiczno-biochemiczna bakterii fermentacji mlekowej. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 61(3), 493–504.
35. Karbowski, M., Okoń, A., Łaskiewicz, B., Szymański, P., & Zielińska, D. (2025). Novel Applications of Lactic Acid and Acetic Acid Bacteria Preparations in Shaping the Technological and Microbiological Quality of Ready-to-Cook Minced Pork. *Foods*, 14(11), 1934. <https://doi.org/10.3390/foods14111934>
36. Karwowska, M. i Dolatowski, Z. J. (2007). The effect of natural antioxidants on the oxidative processes in beef. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(1), 17–25.
37. Karwowska, M. i Kononiuk, A. (2018). Addition of acid whey improves organic dry-fermented sausage without nitrite production and its nutritional value. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 246–253.
38. Kim, Y. H., Hunt, M. C., Mancini, R. A., Seyfert, M., Loughin, T. M. i Kropf, D. H. (2006). Mechanism for lactate-color stabilization in injection-enhanced beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21), 852–858.

39. Kim, Y. H., Keeton, J. T., Smith, S. B., Berghman, L. R. i Savell, J. W. (2009). Role lactate dehydrogenase in metmyoglobin reduction and color stability of different bovine muscles. *Meat Science*, 83(3), 376–382.
40. Kołczak, T. (2008). Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(56), 5–22.
41. Leroy, F. i De Vuyst, L. (2004). Lactic Acid Bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78.
42. Lucke, F. K. (2008). Effect of the use of nitrite on safety and shelf life of cooked meats. *Fleischwirtschaft*, 12, 91–94.
43. Luo, T., Chen, S., Zhang, H., Jia, S. i Wang, J. (2020). Phytochemical composition and potential biological activities assessment of raspberry leaf extracts from nine different raspberry species and raspberry leaf tea. *Journal of Berry Research*, 10, 295–309.
44. Łaszkiewicz, B., Szymański, P., Zielińska, D. i Kołożyn-Krajewska, D. (2021). Application of *Lactiplantibacillus plantarum* SCH1 for the Bioconservation of Cooked Sausage Made from Mechanically Separated Poultry Meat. *Applied Sciences*, 11(4), 1576.
45. Majou, D. i Christieans, S. (2018). Mechanisms of the bactericidal effects of nitrate and nitrite in cured meats. *Meat Science*, 145, 273–284.
46. Neubauer, H. i Götz, F. (1996). Physiology and interaction of nitrate and nitrite reduction in *Staphylococcus carnosus*. *Journal of Bacteriology*, 178(7), 2005–2009.
47. Nychas, G-J. E., Marshall, D. i Sofos, J. (2007). Meat poultry and seafood. W: M. P. Doyle, L. R. Beuchat i T. J. Montville (red.), *Food Microbiology Fundamentals and Frontiers*. ASM Press.
48. Nychas, G-J. E., Skandamis, P. N., Tassou, C. C. i Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78(1–2), 77–89.
49. O'Bryan, C. A., Crandall, P. G., Ricke, S. C. i Ndaetuye, J. B. (2014). Lactic acid bacteria (LAB) as antimicrobials in food products: Analytical methods and applications. W: M. Taylor (red.), *Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (t. 7, s. 117–151). Woodhead Publishing.
50. Parthasarathy, D. K. i Bryan, N. S. (2012). Sodium nitrite: The “cure” for nitric oxide insufficiency. *Meat Science*, 92(3), 274–279.
51. Pezacki, W. (1981). *Technologia mięsa*. WNT.
52. Pisula, A. i Pospiech, E. (2011). *Mięso - Podstawy nauki i technologii*. Wydawnictwo SGGW.
53. Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/2108 z dnia 6 października 2023 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 oraz załącznik do rozporządzenia Komisji (UE) nr 231/2012 w odniesieniu do dodatków do żywności: azotyny (E 249–250) i azotany (E 251–252).
54. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1129/2011 z dnia 11 listopada 2011 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 poprzez ustanowienie unijnego wykazu dodatków do żywności (Dz. Urz. UE L 295/1).
55. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (Dz. Urz. UE L 354/16).
56. Rubio, R., Aymerich, T., Bover-Cid, S., Guardia, M. D., Arnau, J. i Garriga, M. (2013). Probiotic strains *Lactobacillus plantarum* 299V and *Lactobacillus rhamnosus* GG as starter cultures for fermented sausages. *LWT - Food Science and Technology*, 54(1), 51–56.
57. Rzepkowska, A., Zielińska, D., Ołdak, A. i Kołożyn-Krajewska, D. (2017). Organic whey as a source of *Lactobacillus* strains with selected technological and antimicrobial properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(9), 1983–1994.
58. Sebranek, J. G. (1979). Advances in the technology of nitrite use and consideration of alternatives. *Food Technology*, 33(7), 58–62.

59. Sebranek, J. G. i Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: What are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136–147.
60. Semeriak, K. i Jarmoluk, A. (2011). Wpływ naturalnych antyoksydantów na barwę peklowanych przetworów mięsnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(77), 138–150.
61. Sindelar, J. J. i Houser, T. A. (2009). Alternative Curing Systems. W: R. Tarte (red.), *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality, and Applications* (s. 379–404). Springer Science + Business Media.
62. Sindelar, J. J. i Milkowski, A. L. (2011). Sodium Nitrite in Processed Meat and Poultry Meats: A Review of Curing and Examining the Risk/Benefit of Its Use. *AMSA White Paper Series*, 3, 1–14.
63. Skryplonek, K. i Jasińska, M. (2016). The quality of fermented probiotic drinks obtained from frozen acid whey and milk during cooling storage. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(104), 32–44.
64. Słowiński, M. (2011). Peklowanie Mięsa. W: A. Pisula i E. Pospiech (red.), *Mięso – Podstawy Nauki i Technologii* (s. 332–340). Wydawnictwo SGGW.
65. Soltanizadeh, N. i Kadivar, M. (2012). A new, simple method for the production of meat-curing pigment under optimised conditions using response surface methodology. *Meat Science*, 92(4), 538–547.
66. Szymański, P. (2006). Obowiązujące wymagania Unii Europejskiej w zakresie higieny i bezpieczeństwa żywności ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu mięsnego. *Gospodarka Mięsna*, 9.
67. Szymański, P. (2009). Aktualne wymagania krajowe dotyczące stosowania dozwolonych substancji dodatkowych. *Gospodarka Mięsna*, 3, 18–22.
68. Szymański, P. (2010). Aktualny stan prawny i perspektywy zmian przepisów dotyczących stosowania dozwolonych substancji dodatkowych w przetwórstwie mięsa. *Gospodarka Mięsna*, 10, 18–22.
69. Szymański, P. (2013). Unijny wykaz dodatków do żywności - nowe przepisy dla branży mięsnej. *Gospodarka Mięsna*, 2, 24–27.
70. Szymański, P. (2016). Aktualne problemy dotyczące stosowania azotynów w przetwórstwie mięsa w aspekcie zmian prawa żywnościowego. *Gospodarka Mięsna*, 9, 24–28.
71. Szymański, P. (2018). Perspektywy stosowania azotynów i azotanów w przetwórstwie mięsa. *Gospodarka Mięsna*, 12, 42–47.
72. Szymański, P. i Borys, A. (2012). Skażenie WWA mięsa i wędlin - nowe regulacje prawne. *Przemysł Spożywczy*, 12, 32–35.
73. Szymański, P., Łaszkiewicz, B. i Kołożyn-Krajewska, D. (2023). The effect of the use of *Limosilactobacillus fermentum* S8 isolated from organic acid whey on nitrosyl pigment concentration and the colour formation of uncured cooked meat products. *Meat Science*, 196, 109031.
74. Szymański, P., Łaszkiewicz, B., Kern-Jędrychowska, A., Siekierko, U. i Kołożyn-Krajewska, D. (2021). The Use of the Mixed Bacteria *Limosilactobacillus fermentum* and *Staphylococcus carnosus* in the Meat Curing Process with a Reduced Amount of Sodium Nitrite. *Applied Sciences*, 11(3), 904.
75. Szymański, P., Łaszkiewicz, B., Siekierko, U. i Kołożyn-Krajewska, D. (2020). Effects of the Use of *Staphylococcus carnosus* in the Curing Process of Meat with a Reduced Amount of Sodium Nitrite on Colour, Residue Nitrite and Nitrate, Content of Nitrosyl Pigments, and Microbiological and the Sensory Quality of Cooked Meat Product. *Journal of Food Quality*, 2020, Article ID 6141728.

76. Trout, G. R. (1989). Variation in myoglobin denaturation and color of cooked beef, pork, and turkey meat as influenced by pH, sodium chloride, sodium tripolyphosphate, and cooking temperature. *Journal of Food Science*, 54(3), 536–544.
77. Tyburcy, A., Gielec, A. i Florowski, T. (2008). Wpływ ekstraktu rozmarynu na zmiany oksydacyjne w farszu i modelowych pieczeniach wieprzowych. *Roczniki Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego*, 46(2), 83–91.
78. Tyburcy, A., Maziarczyk, D. i Florowski, T. (2011). Wpływ sposobu dodawania ekstraktu rozmarynu do mięsa na jego właściwości antyoksydacyjne. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 66(1), 126–137.
79. Veiss, J., Gibis, M., Schuh, V. i Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 196–213.
80. Vinderola, G., Ouwehand, A., Salminen, S. i von Wright, A. (red.). (2019). *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects* (5. wyd.). CRC Press.
81. Vos, P., Garrity, G., Jones, D., Krieg, N. i Ludwig, W. (2009). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol. 3: The Firmicutes*. Springer.
82. Vossen, E., Utrera, M., De Smet, S., Morcuende, D. i Estevez, M. (2012). Dog rose (*Rosa canina* L.) as a functional ingredient in porcine frankfurters without added sodium ascorbate and sodium nitrite. *Meat Science*, 92(3), 451–457.
83. Wakamatsu, J., Nishimura, T. i Hattori, A. (2004). A Zn-porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67(1), 95–100.
84. Wójciak, K. M. i Dolatowski, Z. J. (2015). Effect of acid whey on nitrosylmyoglobin concentration in uncured fermented sausage. *LWT – Food Science and Technology*, 64(2), 713–719.
85. Wójciak, K. M. i Dolatowski, Z. J. (2016). Evaluation of natural preservatives in combination with acid whey for use in fermented sausage. *Scientia Agricola*, 73(2), 125–133.
86. Wójciak, K. M., Karwowska, M. i Dolatowski, Z. J. (2016). Use of acid whey and mustard seed to replace nitrites during cooked sausage production. *Meat Science*, 96(2), 750–756.
87. Zhang, X., Kong, B. i Xiong, Y. (2007). Production of cured meat color in nitrite-free Harbin red sausage by *Lactobacillus fermentum* fermentation. *Meat Science*, 77(4), 593–598.
88. Zhang, Y., Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z. i Liu, D. (2023). Nitrite and Nitrate in Meat Processing: Functions and Alternatives. *Current Research in Food Science*, 6, 100470.