

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

mgr inż. Bartłomiej Ruda

Wpływ optymalizacji procesu wędzenia tradycyjnego na poziom WWA oraz jakość sensoryczną i mikrobiologiczną produktu mięsnego

The influence of optimizing the traditional smoking process on the level of
PAHs and the sensory and microbiological quality of the meat product

Praca doktorska
Doctoral thesis

Promotor:

prof. dr hab. Zbigniew J. Dolatowski
Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Wacława Dąbrowskiego w Warszawie
Państwowy Instytut Badawczy

Promotor pomocniczy:

dr inż. Piotr Szymański
Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Wacława Dąbrowskiego w Warszawie
Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu

Recenzenci:

Prof. dr hab. Mirosław Słowiński
SGGW w Warszawie
Instytut Nauk o Żywności

Prof. dr hab. Krzysztof Kwiatek
Państwowy Instytut Weterynaryjny
Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Warszawa, 2024

Pragnę serdecznie podziękować Promotorowi Panu
prof. dr hab. Zbigniewowi Dolatowskiemu
za zaangażowanie, pomoc oraz cenne rady i wskazówki.

Bardzo dziękuję Promotorowi pomocniczemu Panu
dr inż. Piotrowi Szymańskiemu
za zaangażowanie i wsparcie w dążeniu do celu.

Dziękuję dyrekcji Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Wacława Dąbrowskiego Państwowemu Instytut Badawczy
w Warszawie za możliwość przeprowadzenia badań oraz pracownikom
Zakładu Technologii Mięsa i Tłuszczu za współpracę i cenną pomoc.

Dziękuję władzom Instytutu Nauk o Żywieniu Człowieka, Szkoły Głównej
Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za możliwość przeprowadzenia
badań i pracownikom Zakładu Higieny i Zarządzania Jakością Żywności za
pomoc w przeprowadzeniu badań.

Chciałabym również podziękować rodzinie a w szczególności żonie za
wyrozumiałość oraz okazane wsparcie.

Oświadczenie promotora pracy

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora.

Data..... Podpis promotora pracy

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że rozprawa doktorska przygotowana przeze mnie nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona rozprawa nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego w wyższej uczelni lub innej uprawnionej instytucji naukowej.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data..... Podpis autora pracy

Streszczenie

Wpływ optymalizacji procesu wędzenia tradycyjnego na poziom WWA oraz jakość sensoryczną i mikrobiologiczną produktu mięsnego

Wędzenie jest specyficznym rodzajem obróbki termicznej, podczas której produkt żywnościowy poddawany jest oddziaływaniu ciepła oraz związków chemicznych zawartych w dymie wędzarniczym. W wędzeniu tradycyjnym dym jest produktem spalania drewna. W wyniku tego procesu produkty żywnościowe uzyskują specyficzny smak, zapach i zabarwienie powierzchni. Problemem jest, że podczas wędzenia tradycyjnego, w trakcie spalania szczap drewna mogą tworzyć się znaczne ilości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), które przedostają się do wędzonego produktu. WWA to substancje uznawane za szkodliwe dla organizmu ludzkiego. Dotychczasowe próby ograniczenia zawartości WWA w produktach tradycyjnie wędzonych przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych cech jakościowych produktów tradycyjnych były niezadawalające.

Celem pracy była optymalizacja procesu wędzenia tradycyjnego poprzez opracowanie innowacyjnej wędzarni o konstrukcji, która zapewni mniejszą emisyjność niekorzystnych związków do produktu i środowiska, przy zachowaniu pożądanych cech tradycyjnych produktów mięsnych i bezpieczeństwa zdrowotnego.

Zakres badań realizowano w trzech etapach. W etapie pierwszym opracowano założenia do projektu i wykonano wędzarnię innowacyjną do tradycyjnego wędzenia. W etapie drugim prowadzono badania modelowe procesu wędzenia w typowej wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej z oceną wpływu na środowisko oraz oceną zastosowanych rozwiązań na cechy fizykochemiczne (podstawowy skład chemiczny, kwasowość i potencjał oksydacyjno-redukcyjny), jakość sensoryczną, mikrobiologiczną oraz zawartość WWA w produktach wędzonych. Trzeci etap badań miał na celu sprawdzenie skuteczności działania innowacyjnej wędzarni w produkcji przemysłowej wybranych produktów, które są w stałej produkcji w Zakładzie Mięsnym Jasiołka w Dukli.

Materiałem użytym do badań w etapie drugim pracy były kielbasa cienka, kielbasa gruba, boczek wędzony i schab wędzony. W badaniach przemysłowych (etap trzeci) wybrano następujące produkty do badań: kielbasę szynkową, wędzonkę dukielską szynkę, wędzonkę dukielską schab, wędzonkę dukielską boczek, kabanosa dukielskiego, kielbasę suchą dukielską, kielbasę kruchą oraz kielbasę domową.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie innowacyjnej wędzarni w procesie produkcji wędlin wpływa hamująco na poziom WWA w wyrobach mięsnych. Udowodniono, że wędzenie i obróbka cieplna wyrobów mięsnych w innowacyjnej wędzarni zapewnia jakość sensoryczną, fizykochemiczną i mikrobiologiczną produktów tradycyjnie wędzonych. Ponadto stwierdzono, że wędzenie w innowacyjnej wędzarni zmniejsza poziom zanieczyszczenia środowiska i obniża koszty energetyczne produkcji wyrobów tradycyjnie wędzonych.

Słowa kluczowe: wędzenie tradycyjne, budowa wędzarni, innowacja, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, benzo[a]piren, zanieczyszczenie środowiska, jakość produktu tradycyjnego

Abstract

The influence of optimizing the traditional smoking process on the level of PAHs and the sensory and microbiological quality of the meat product

Smoking is a specific type of thermal treatment during which a food product is exposed to heat and chemical compounds contained in the liquid smoke. In traditional smoking, smoke is a product of wood burning. As a result of this process, food products acquire a specific taste, smell, and surface color. The problem is that during traditional smoking, burning wood chips may produce significant amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which end up in the smoked product. PAHs are substances considered harmful to the human body. Previous attempts to reduce the content of PAHs in traditionally smoked products while maintaining the desired quality characteristics of traditional products have been unsatisfactory.

The work aimed to optimize the traditional smoking process by developing an innovative smokehouse with a design that will ensure lower emission of unfavorable compounds into the product and the environment, while maintaining the desired features of traditional meat products and health safety.

The scope of the research was carried out in three stages. In the first stage, assumptions for the project were developed and an innovative smokehouse for traditional smoking was built. In the second stage, model tests of the smoking process were carried out in a typical traditional smokehouse and an innovative smokehouse with an assessment of the impact on the environment and an assessment of the solutions used on physicochemical features (basic chemical composition, acidity, and oxidation-reduction potential), sensory and microbiological quality and PAH content in smoked products. The third stage of the research aimed to check the effectiveness of the innovative smokehouse in the industrial production of selected products that are constantly produced at the Jasiołka Meat Processing Plant in Dukla.

The materials used for research in the second stage of the work were thin sausage, thick sausage, smoked bacon, and smoked pork loin. In industrial research (stage three), the following products were selected for testing: ham sausage, smoked Dukla ham, smoked Dukla loin, smoked Dukla bacon, dry Dukla sausage, Brittle sausage, and Homey sausage.

The research has shown that using an innovative smokehouse in the production of cold meats has an inhibiting effect on the level of PAHs in meat products. It has been proven that smoking and heat treatment of meat products in an innovative smokehouse ensures traditionally smoked products' sensory, physicochemical, and microbiological quality. Moreover, it was found that smoking in an innovative smokehouse reduces the level of environmental pollution and reduces the energy costs of producing traditionally smoked products.

Key words: traditional smoking, smokehouse construction, innovation, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzo[a]pyrene, environmental pollution, traditional product quality

SPIS TREŚCI

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ	13
WSTĘP	14
1. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA.....	16
1.1 Drewno i dym wędzarniczy	16
1.1.1 Budowa i skład drewna.....	16
1.1.2 Drewno używane do wędzenia	19
1.1.3 Tworzenie dymu i rozkład termiczny drewna	20
1.1.4 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	24
1.1.5. Regulacje prawne	34
1.2 Technologie wędzenia	36
1.2.1 Metody wytwarzania dymu wędzarniczego	39
1.3 Rodzaje i budowa wędzarni	44
1.3.1 Wędzarnie tradycyjne	44
1.3.2 Wędzarnie przemysłowe.....	47
2. CEL, HIPOTEZY I ZAKRES BADAŃ	51
2.1 Cel badań	51
2.2 Hipotezy badawcze	52
2.3 Zakres badań	53
3. MATERIAŁ I METODY BADAWCZE.....	56
3.1 Materiał użyty do badań.....	56
3.1.1 Surowiec mięsny.....	56
3.1.2 Produkty mięsne	56
3.1.3 Drewno do wędzenia	59
3.2 Metody badań.....	60
3.2.1 Technologia produkcji	60

3.2.2 Pomiar temperatury	63
3.2.3 Pomiar wilgotności drewna	64
3.2.4 Pomiar masy	64
3.2.5 Pomiar czasu procesu wędzenia	64
3.2.6 Podstawowy skład chemiczny	64
3.2.7 Kwasowość	65
3.2.8 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny	65
3.2.9 Zawartość benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu i chryzenu	65
3.2.10 Analiza mikrobiologiczna.....	66
3.2.11 Analiza sensoryczna	66
3.2.12 Analiza zanieczyszczeń powietrza pyłem PM 2,5 i PM 10.....	69
3.2.13 Przygotowanie i pobór produktów do badań.....	71
3.2.14 Analiza statystyczna wyników badań.....	72
4. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE.....	73
4.1 Budowa i zasada działania wędzarni tradycyjnej	73
4.2 Budowa i zasada działania wędzarni innowacyjnej.....	75
4.2.1 Dokumentacja konstrukcyjno-techniczna wędzarni innowacyjnej	76
4.3 Proces wędzenia.....	86
4.3.1 Proces wędzenia w wędzarni tradycyjnej	86
4.3.2 Proces wędzenia w wędzarni innowacyjnej	86
4.4 Parametry procesu wędzenia.....	90
4.5 Wilgotność drewna i jego zużycie do wędzenia	96
4.6 Podstawowy skład chemiczny użytych surowców i produktów mięsnych	98
4.7 Wyniki kwasowości i potencjału oksydacyjno-redukcyjnego produktów mięsnych	101
4.8 Zawartość benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu i benzo[a]pirenu w produktach mięsnych.....	102

4.9 Analiza jakości mikrobiologicznej produktów mięsnych.....	108
4.10 Analiza sensoryczna produktów mięsnych.....	110
4.11 Zawartość pyłu PM 2,5 oraz PM 10 w powietrzu	125
5. WYNIKI Z PRODUKCJI PRZMYSŁOWEJ.....	128
5.1 Kielbasa Szynkowa.....	129
5.2 Wędzonka Dukielska Szynka	132
5.3 Wędzonka Dukielska Schab	137
5.4 Wędzonka Dukielska Boczek	140
5.5 Kabanos Dukielski	143
5.6 Kielbasa Sucha Dukielska.....	147
5.7 Kielbasa Krucha.....	151
5.8 Kielbasa Domowa.....	155
6. DYSKUSJA WYNIKÓW.....	160
7. STWIERDZENIA I WNIOSKI.....	173
8. SPIS LITERATURY	175
9. SPIS NORM	190
ANEKS	191

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

B(a)a – benzo[a]antracen

B(a)P – benzo[a]piren

B(b)f – benzo[b]fluoranten

BC – Brain Concentration,

Chr – chryzen

D-A – reakcjaDielsa-Aldera

EFSA – Europejska Komisja ds. Bezpieczeństwa Żywności

FN – Liczba Federa

HACA – odłączenie wodoru i przyłączenie acetylenu

HAERA - addycja rodnika etynylowego

HAVA – odłączenie wodoru i przyłączenie winyloacetylenu

IARC – Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem

kV – kilo Vat

MAC - Cyklizacja addycyjna metylu

min. – minuta

MPa – Mega Pascal

ORP – Potencjał oksydacyjno-redukcyjny

PAC – Cyklizacja addycyjna fenylu

PFF – wskaźnik Protein Fat Free

RSR - Rodniki stabilizowane rezonansowo

SCF – Naukowy Komitet Żywności Komisji Europejskiej

SD – Odchylenie Standardowe

T/B – stosunek tłuszczu do białka

TEF - (ang. Toxicity Equivalence Factors) współczynnik toksyczności

temp. – temperatura

UE – Unia Europejska

USEPA – (ang. United States Environmental Protection Agency) Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych

VA – winyloacetylen

wbp – Wielka Biała Polska

WE – Wspólnota Europejska

WWA – Wielopierścieniowe Węglowodory Aromatyczne

WSTĘP

Wraz z wynalezieniem ognia ludzkość zaczęła stosować go do obróbki dotąd surowo spożywanych pokarmów. Zauważono, że przetrzymywanie surowców nad ogniskiem powoduje zahamowanie psucia się żywności, głównie mięsa i ryb. Tak powstało wędzenie, czyli jedna z najstarszych metod utrwalania żywności. Pierwsze metody wędzenia żywności były bardzo naturalne i proste, stały się nieodłącznym elementem przygotowywania potraw i posiłków mięsnych. Dopiero z rozwojem przemysłu zaczęły powstawać specjalne urządzenia i konstrukcje, które spełniały funkcję obecnych wędzarni. Metody wędzenia również zostawały ulepszone i dopracowywane, aby produkt, który został poddany procesowi wędzenia, oprócz lepszej strawności oraz dłuższej trwałości, posiadał przyjemny aromat, smak, zapach oraz wygląd, jednak nie zwracano uwagi na bezpieczeństwo zdrowotne wędzonych produktów. Podczas wędzenia skupiano się na cechach organoleptycznych zapominając o właściwościach zdrowotnych i wpływie ubocznych produktów procesu spalania drewna na zdrowie człowieka. Z biegiem czasu ludzie zaczęli pogłębiać swoją wiedzę i umiejętności dotyczące wędzenia. Zaczęto konstruować i ulepszać urządzenia do wędzenia, po to, aby zaoszczędzić czas i surowce potrzebne do procesu obróbki cieplnej, czyli drewno, zastępując je tańszymi substancjami energetycznymi takimi jak: gaz, olej opałowy czy energia elektryczna. Dym zaczęto zastępować innymi substancjami o podobnym efekcie końcowym, takimi jak koncentraty i aromaty dymu wędzarniczego. W miarę rozwoju metod badawczych poznano właściwości zdrowotne wędzonych produktów i zaczęto eliminować powstawanie szkodliwych związków podczas procesu wędzenia. Wkroczyliśmy więc w etap wędzenia przemysłowego, gdzie wytwarzanie dymu opiera się w przeważającej mierze na zżaraniu w kontrolowanych warunkach zrębków wędzarniczych w specjalnych urządzeniach (dymogeneratorach) lub stosowaniu ciekłych pirolizatów dymu wędzarniczego, które nanoszone są na powierzchnię wędzonego produktu. Taki sposób wędzenia jest bezpieczny pod względem występowania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, jednakże nieoddający w pełni wszystkich cech produktu wędzonego w sposób tradycyjny, czyli z użyciem całych szczap drewna, które spalane są w palenisku. W obecnych czasach zauważamy wzrost zainteresowania konsumentów żywnością tradycyjną, taką jak wędliny, ryby, sery wędzone tradycyjnie. Coraz więcej ludzi wraca do smaku i aromatu wędlin produkowanych w naturalny sposób. W badaniach konsumenckich przeprowadzonych na temat żywności tradycyjnej i regionalnej, aż 78 % respondentów zadeklarowało, że kupuje żywność tradycyjną i regionalną. Większość z nich jako

argument wyboru podaje, że taka żywność jest „zdrowa”, „mniej przetworzona”, oraz „smaczna” [131]. Przeciętne spożycie mięsa i jego przetworów w naszym kraju w roku 2020 wynosiło 61,08 kg na osobę w ciągu roku, w tym spożycie wędlin wędzonych i przetworów mięsnych wynosiło 23,52 kg/osobę/rok[93]. Żywność tradycyjna jest pozytywnie postrzegana wśród konsumentów, a szczególne znaczenia mają jej walory smakowe. Badania te pokazują, że spożycie produktów wędzonych, nie tylko wędlin, ale również ryb i serów utrzymuje się na stałym poziomie, nie tylko w Polsce a również w niektórych krajach Unii Europejskiej [66], [94]. Wraz ze spożyciem tych produktów dostarczamy do naszego organizmu szkodliwe substancje powstałe na skutek spalania drewna, głównie wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, chryzen i wiele innych. Ważne jest, aby w jak największym stopniu ograniczyć powstawanie oraz przedostawanie się tych szkodliwych substancji do produktów żywnościowych, z którymi dostarczamy je do naszego organizmu. Problem jaki towarzyszy tradycyjnemu wędzeniu cały czas pozostaje. Jest nim zbyt wysoka zawartość niebezpiecznych dla organizmu człowieka związków, które spożywamy wraz z wędzoną żywnością. Prób optymalizacji wędzenia celem pozbycia się tych związków było wiele, jednak produkty uzyskiwane tymi sposobami znacząco odbiegały od produktów wędzonych tradycyjnie.

W Polsce problem z wędzeniem tradycyjnym ujawnił się w 2014 roku, od kiedy zaczęło obowiązywać Rozporządzenie Komisji (UE) NR 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011, które obniżyło dopuszczalne poziomy zawartości związków z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w żywności. Wcześniej nie zauważano tego problemu, gdyż badania produktów mięsnych wędzonych w sposób przemysłowy (konwencjonalny) nie budziły zastrzeżeń. Dopiero gdy krajowe inspekcje zaczęły badać produkty od lokalnych przetwórców, którzy głównie wędzą w sposób tradycyjny, czyli spalając szczapy drewna okazało się, że produkty te nie tylko nie spełniają nowych obostrzeń, ale również w większości przekraczają limity obowiązujące przed 1 września 2014 roku.

W pracy podjęta została próba optymalizacji procesu tradycyjnego wędzenia poprzez opracowanie innowacyjnej wędzarni, konstrukcji, która zapewnić ma bardziej efektywne wykorzystanie dymu i ciepła oraz mniejszą emisyjność niekorzystnych związków do produktu i środowiska przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych cech tradycyjnie wędzonych wędlin.

1. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

Wędzenie jest specyficznym rodzajem obróbki termicznej, podczas której produkt żywnościowy poddawany jest oddziaływaniu ciepła oraz związków chemicznych zawartych w dymie wędzarniczym. W wyniku tego procesu produkty żywnościowe uzyskują specyficzny smak, zapach i zabarwienie powierzchni. Zabieg ten ma również na celu denaturację składników pokarmowych, głównie białek oraz przedłużenie okresu trwałości produktów żywnościowych poprzez zmniejszenie zawartości mikroorganizmów niekorzystnych, powodujących psucie się żywności [20].

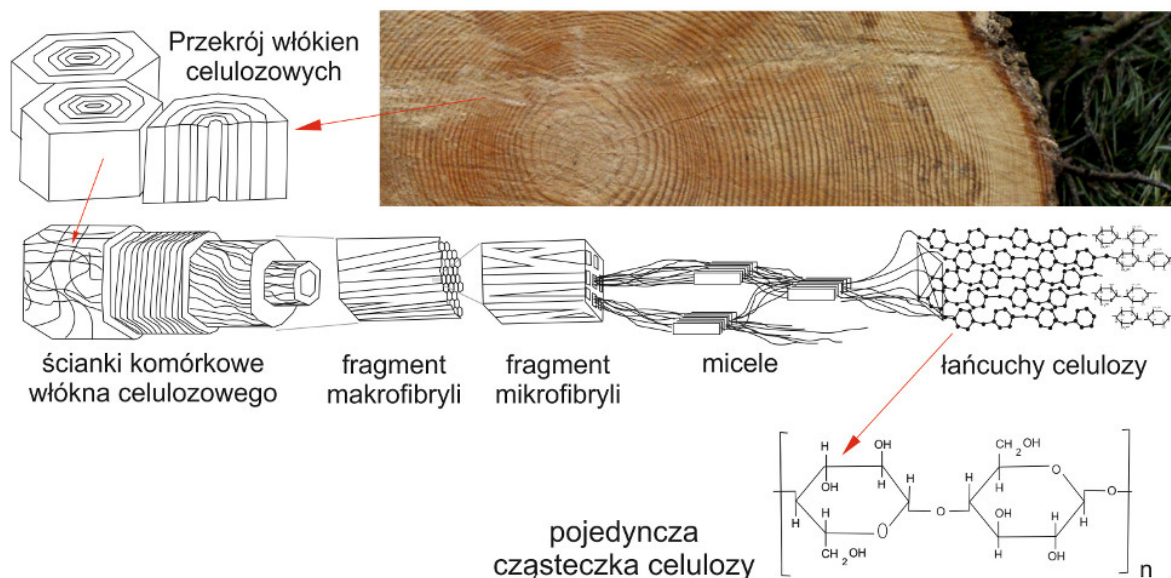
1.1 Drewno i dym wędzarniczy

Dym wędzarniczy jest produktem spalania drewna. Tworzy złożoną, wieloskładnikową mieszaninę związków chemicznych, której skład uzależniony jest od metody i warunków powstawanie dymu oraz rodzaju drewna. Związki te (lotne i nie lotne) powstające na skutek przemian substancji tworzących strukturę drewna przedostają się do powietrza i wraz z nim transportowane są do atmosfery. Ze względu na skład i właściwości bakteriostatyczne dym wędzarniczy wykorzystywany jest do wędzenia produktów żywnościowych.

1.1.1 Budowa i skład drewna

Drewno składa się z suchej substancji i wody. W skład suchej masy wchodzi związków organicznych takich jak celulozy, hemicelulozy i ligniny oraz związków nieorganicznych składających się z wapnia, potasu, fosforu, magnezu, chloru, żelaza, sodu oraz innych pierwiastków. Celuloza stanowi od 40 do 45%, hemicelulozy od 20 do 35% a ligniny od 15 do 30%. Zawartość lignin jest różna u drzew liściastych i iglastych. Ligniny to związki aromatyczne, w drewnie drzew liściastych występują w ilości od 19% do 26 %, natomiast w drewnie drzew iglastych od 26% do 29% [119]. W drewnie z drzew iglastych w większym stopniu niż z drzew liściastych występują również substancje żywiczne, w skład których wchodzi kwasy żywiczne (terpenoidy), kwasy tłuszczowe, oraz garbniki. Odpowiadają one za kwaśny odczyn, gorzki smak i nieprzyjemny zapach dymu. Dlatego większa część drzew iglastych nie nadaje się do wytwarzania dymu wędzarniczego [118][119][118]. Na rysunku 1 przedstawiono schemat struktury drewna z rozbiciem na poszczególne frakcje tworzące włókna celulozowe. Pojedyncze cząstki celulozy łączą

tworząc łańcuchy, z których powstają micelle. Te z kolei wchodzą w skład fibryli, które odpowiadają za powstawanie włókna celulozowego (rys. 1).



Rys. 1 Schemat struktury fibryli celulozowych [37][49]

Główny składnik drewna czyli celuloza jest polisacharydem zbudowanym z cząsteczek β -d-glukozydowych połączonych za pomocą mostków tlenowych między węglami 1 i 4 w długie nierozgałęzione łańcuchy. W drewnie łańcuch celulozy może się składać z około 10000 cząsteczek glukozy [37][49]. Ma ona charakter włóknisty, budowę krystaliczną i należy do koloidów liofilowych o gęstości ok. $1,58 \text{ g/cm}^3$, ciepłe właściwym w zakresie temperatury od 0 do 100°C i ciepłe spalania 17600 J/g . Celuloza w procesie pirolizy rozkłada się 6 razy szybciej niż lignina i proces ten zaczyna się już w temperaturze ok. 160°C , jednak rozkład w wyniku którego zostaje wydzielana energia cieplna występuje dopiero w temperaturze 275°C . W tej temperaturze bardzo szybko zachodzi rozpad zmniejszenie stopnia polimeryzacji łańcucha celulozy do wartości 160 cząsteczek oraz utlenianie grup alkoholowych do grup aldehydowych i karboksylowych. W zależności od tempa i temperatury prowadzenia pirolizy, proces utleniania celulozy może przebiegać dwukierunkowo w zależności od tego czy prekursorem procesu była bezpośrednio celuloza, czy produkty jej częściowego rozkładu. Pierwszy prowadzi do tworzenia lewoglukozy, a drugi do aldehydu hydroksooctowego, zwanego potocznie glikoloaldehydem, który został potwierdzony jako główny produkt pirolizy celulozy. Hemicelulozy stanowią mieszaninę różnych polisacharydów zbudowanych z reszt heksoz, pentoz, metylopentoz i kwasów uronowych występujących w liczbie od 30 do 300

cząsteczek w łańcuchu hemiceluloz, który w przeciwieństwie do celulozy jest rozgałęziony. Mogą się różnić między sobą składem chemicznym, masą cząsteczkową i strukturą. Ze względu na skład chemiczny i właściwości można wykazać dwie podstawowe grupy związków zwane pentozanami i heksozanami. Pentozały składają się z reszt cukrowych pentozy, głównie D-ksylozy i L-arabinozy. W drewnie gatunków drzew liściastych ich zawartość jest dwukrotnie wyższa (wynosi 20-25%) niż w drewnie gatunków drzew iglastych, gdzie zawartość pentozan jest nieduża i wynosi 8-12%. Heksozały są zbudowane z reszt cukrów sześciowęglowych, takich jak mannoza, galaktoza i glukoza. Większość z nich składa się z reszt cząsteczki D-mannozy i D-glukozy rozmieszczonych nierównomiernie w rozgałęzionych łańcuchach glukomannanów. W drewnie drzew iglastych zawartość heksozanów wynosi od 11-13,5 %, inaczej wygląda w drewnie drzew liściastych, gdzie jest ich tylko od 3,5 do 5%. Stosunek wagowy pentozanów do heksozanów w drewnie znacząco wpływa na właściwości barwiące dymu z drewna poszczególnych gatunków drzew. Ma to wpływ na barwę dymu, a co za tym idzie na kolor i wybarwienie produktu wędzonego (Tab. 1) [9], [118][129].

Ligniny są silnie powiązane z hemicelulozami, a te z kolei z celulozą tworząc kompleksy lignowęglowodanowe drewna, które odpowiadają za procesy drewnienia i zwiększenia twardości w drewnie. Ligniny nie tworzą jednorodnego związku chemicznego, lecz do nich należy grupa związków wysoko spolimeryzowanych o analogicznych właściwościach chemicznych. Szkieletem tego polimeru jest układ fenylopropanowy a resztami aromatycznymi są najczęściej reszty gwajacylowe dla drewna iglastego lub reszty syryngowe w wypadku drewna liściastego. Więcej lignin o charakterze aromatycznym zawiera drewno iglaste natomiast tylko 1/7 lignin zawartych w drewnie z drzew liściastych ma charakter aromatyczny. Pozostałe z nich są to ligniny zawierające układy pierścieniowe heterocykliczne, powstałe w wyniku odwodnienia cukrów oraz zawierające grupy metoksyłowe, hydroksylowe, karboksylowe, karbonyłowe oraz ketonolowe. Podwyższenie temperatury spalania do około 300°C powoduje polimeryzację i polikondensację łańcucha lignin, który w temperaturze 380-396°C ulega termicznemu rozkładowi, co prowadzi do powstania szeregu substancji gazowych, destylatów wodnych i substancji smolistych. Do głównych produktów utleniania ligniny możemy zaliczyć wanilinę, kwas wanilinowy oraz ich pochodne, aldehyd p-hydroksybenzoesowy, kwas syryngowy i aldehyd syryngowy. Oprócz tego powstaje również woda, metanol, aceton, kwas i aldehyd octowy. Związki powstałe z rozkładu ligniny, w dużym stopniu odpowiadają za cechy smakowo-zapachowe i antyoksydacyjne dymu wędzarniczego [71].

1.1.2 Drewno używane do wędzenia

Jednym z bardzo ważnych czynników decydującym o rezultatach wędzenia jest gatunek użytego drewna. Rodzaj użytego drewna wpływa na barwę, zapach i smak wędzonych produktów. Do wędzenia stosuje się drewno twarde drzew liściastych gatunków takich jak: buk, olcha, klon, jawor, jesion oraz drewno z drzew owocowych np. czereśni, jabłoni, śliwy. Nie używa się drewna drzew iglastych, ponieważ zawierają duże ilości związków żywicznych między innymi: furfural idiacetyl, które wpływają negatywnie na smak produktów wędzonych. Ponadto wpływają na powstawanie nieprzyjemnego zapachu w wędzonych produktach oraz powodują gromadzenie się dużych ilości sadzy w wędzarni i na powierzchni produktów. Do niektórych rodzajów wędlin, głównie kiełbas, można stosować gałązki lub owoce jałowca pod koniec wędzenia, co stanowi wyjątek w używaniu drewna z drzew iglastych. Drewno do wędzenia musi być bez śladów rozkładu przez grzyby i pleśnie oraz bez udziału kory. Pozyskane w odpowiednim okresie, najlepiej od listopada do marca, ponieważ w tym okresie drewno wykazuje najmniejszą wilgotność. Czas składowania (tzw. sezonowanie) zależy od gatunku, okresu ścinki oraz od sposobu jego przechowywania. Im większa gęstość drewna oraz im mniejsza cyrkulacja powietrza w miejscu składowania, tym dłuższy jest czas jego suszenia. Drewno liściaste powinno być sezonowane od roku do dwóch lat. Im bardziej jest ono pocięte i porozszczipiane tym szybsze staje się odparowywanie wody, dzięki zwiększeniu powierzchni. Przechowuje się go w odpowiednio przygotowanych zadaszonych wiatach z możliwością cyrkulacji powietrza, aby nie dochodziło do zalewania przez deszcz i śnieg oraz do zawilgocenia i pleśnienia. Drewno przeznaczone do wędzenia powinno mieć wilgotność w granicach 15-20%, przy naturalnym suszeniu nie osiągniemy wilgotności poniżej 13%. Należy unikać stosowania drewna mokrego o wilgotności powyżej 30% oraz bardzo suchego o wilgotności poniżej 10%. W zależności od rodzaju użytego drewna do wędzenia możemy otrzymać produkty o różnych cechach smakowo-zapachowych oraz o różnych odcieniach barwy zewnętrznej produktu (Tab. 1) [4][65][76].

Tab. 1 Wpływ rodzaju drewna na barwę zewnętrzną i cechy smakowo-zapachowe produktu wędzonego [64][76][opracowanie własne]

Rodzaj drewna	Barwa i cechy smakowo-zapachowe produktu wędzonego	Zalecane stosowanie
BUK	żółcistożółta, łagodny, aromatyczny zapach i przyjemny smak	wędzenie wieprzowiny, jagnięciny, drobiu i ryb
OLCHA	ciemnożółta przechodząca w brąz, łagodny zapach i smak, bez wyczuwalnej goryczki	wędzenie wszystkich gatunków mięsa i ryb
DĄB BIAŁY	ciemnożółta, łagodny smak i zapach	wędzenie dziczyzny, wołowiny, drobiu i ryb
DĄB CZERWONY	brązowa do brązowoszarej, wyczuwalny smak miodu oraz ziemisty z odrobiną goryczki	wędzenie dziczyzny, wołowiny, drobiu i ryb
JESION	żółcistożółta, zapach ostry z lekkim wyróżniającym go smakiem	wędzenie dziczyzny
AKACJA	Cytrynowa	wędzenie drobiu i wieprzowiny
JABŁOŃ	czerwona do ciemnobrązowej, zapach łagodny, smak lekko słodki z owocowym posmakiem	wędzenie drobiu
GRUSZA	ciemno czerwona do brązowej, zapach łagodny, smak lekko słodki	wędzenie drobiu
WIŚNIA	ciemnobrązowa, zapach świeży, smak lekko owocowy	wędzenie drobiu i cielęciny
ŚLIWA	czerwona z połyskiem, smak delikatnie słodkawy, zapach owocowy	wędzenie wieprzowiny
ORZECH	ciemnożółta, aromatyczny zapach, lekko gorzkawy smak	wędzenie drobiu i ryb

1.1.3 Tworzenie dymu i rozkład termiczny drewna

Rozkład termiczny drewna określany może być jako: palenie się drewna (przy pełnym dostępie tlenu atmosferycznego), termoliza (przy całkowitym braku dostępu tlenu), piroliza (przy ograniczonym dostępie tlenu atmosferycznego). Termiczny rozkład drewna przy naturalnym dostępie tlenu atmosferycznego, przejawia się spalaniem z widocznym świecącym płomieniem. Drewno dużych rozmiarów pali się wolniej niż w postaci szczap (mniejsze kawałki) lub zrębków. Temperatura spalania wzrasta w czasie termicznego rozkładu drewna i na początku zapłonu wynosi 300-350°C, w momencie pełnego spalania osiąga do 800°C, a nawet można uzyskać 1100°C, przy czym końcowymi produktami spalania są CO₂, para wodna i popiół w ilości ok. 1%. Produkty powstające podczas palenia się drewna przy pełnym dostępie tlenu atmosferycznego nie zawierają dużych ilości składników wędzarniczych i dym powstały w procesie takiego spalania nie jest przydatny w wędzeniu. Aby uzyskać dym nadający się do celów wędzarniczych należy stworzyć warunki niecałkowitego spalania drewna. W praktyce można to osiągnąć umieszczając nad

palącymi się szczapami drewna warstwę wilgotnych trocin, co powoduje zmniejszenie się intensywności spalania. Podczas niecałkowitego spalania drewna następuje tylko częściowe utlenianie lotnych związków organicznych i dym nasycy się składnikami wędzarniczymi. Dym uzyskany poprzez niecałkowite spalanie drewna wykazuje różnice jakościowe i ilościowe od dymu uzyskanego w procesie całkowitego spalania drewna. Różnić się mogą parametry takie jak wilgotność, gęstość, temperatura, ale przede wszystkim różnić się będzie skład dymu, czyli zawartość substancji termicznego rozkładu drewna. Temperatura i dostęp tlenu podczas wytwarzania dymu należą do najważniejszych czynników wpływających na proces wędzenia, skład chemiczny dymu i w efekcie na produkt finalny [9].

Proces wytwarzania dymu jest dwuetapowy i składa się z termicznego rozkładu drewna oraz utleniania lotnych produktów. W zależności od osiąganego temperatury w etapie termicznego rozkładu drewna można wyróżnić następujące fazy:

- intensywne wydzielanie się wody, temperatura do 170°C, dym jasny,
- rozkład ligniny, temperatura od 210 do 260°C, dym jasnobrązowy,
- intensywny rozkład celulozy i hemicelulozy, temperatura od 300 do 425°C, dym jasnoczerwony,
- druga faza rozkładu ligniny, temperatura od 350 do 450°C, dym bezbarwny,

Optymalne z punktu technologicznego stężenie pożądanych związków gazowych w dymie występuje w trzech zakresach temperatury spalania drewna: pierwszy zakres 200-300°C odpowiada rozkładowi hemicelulozy, drugi 300-425°C odpowiada celulozie i ligninie oraz trzeci, powyżej 425°C odpowiada ligninie. Dlatego, w celu otrzymania dużego stężenia pożądanych związków fenolowych w dymie niezbędne jest doprowadzenie temperatury pirolizy do temperatury 425°C. W drugim etapie procesu wytwarzania dymu lotne produkty powstałe w pierwszej fazie podczas termicznego rozkładu drewna tworzą nad żarzoną drewnem otoczkę. Zewnętrzna część otoczki miesza się z tlenem i powstaje tzw. warstwa dyfuzyjna. Warstwa ta ogranicza dostęp tlenu do palącego się drewna powodując jego pirolizę. W warstwie dyfuzyjnej zachodzi utlenianie lotnych składników dymu, a tempo tego procesu zależy od temperatury spalania, im wyższa tym gwałtowniej przebiega ten proces. W związku z dużą złożonością reakcji fizycznych i chemicznych zależnych od czynników biologicznych i technologicznych, a także z dużą niestabilnością w samym środowisku dymu wędzarniczego proces pirolizy składników drewna w znacznym stopniu stanowi tajemnicę i nie można jednoznacznie określić dokładnego składu chemicznego dymu wędzarniczego. Jednak znając zasadnicze

parametry pirolizy i składniki drewna można określić powstające z nich grupy związków chemicznych (Tab.2) [4][49].

Tab. 2 Związki chemiczne powstające podczas pirolizy suchych składników drewna [49]

Składniki drewna	Temperatura rozkładu (°C)		Główne związki chemiczne	
	początkowego	Intensywnego	pośrednie	Końcowe
Hemicelulozy				
- pentozany	ok. 170	230-260	furfural, anhydroksyloza	furan i jego pochodne, alifatyczne kwasy karboksylowe, związki huminowe
- heksozany	ok. 250	270-280	glukoza, β -glukozan, 5-hydroksymetylofurfural	podobne jak celuloza
Celuloza	ok. 280	300-350	glukoza, β -glukozan, 5-hydroksymetylofurfural	kwasy organiczne: octowy, mrówkowy, lewulinowy, winowy i inne; aldehydy (hydrooctowy)
Lignina	240-300	380-450	Kwas ferulowy	Fenole, stery fenolowe, ich homologi i pochodne (wanilina, gwajakol, syryngol, kwas wanilinowy, acetowanillon i inne)

Termiczny rozkład drewna jest procesem wielokrotnie złożonym i trudnym do uogólnienia ze względu na równoległe powstające różnorodne zjawiska. Podejmowane są próby opisanie zjawisk zachodzących w czasie pirolizy drewna za pomocą modeli matematycznych. Niektóre z nich przedstawiają tworzące się produkty pirolizy oraz zmianę objętości i struktury kawałków drewna. Uwzględniając rozmiar użytego do procesu drewna, wartość temperatury oraz przepływ energii w czasie procesu [11][35]. Jednak przydatność tych modeli w praktyce jest ograniczona poprzez zmienność składu drewna, złożoność zjawisk zachodzących w trakcie termicznego rozkładu drewna oraz niestabilne warunki temperaturowe występujące w trakcie procesu. Aby ustalić produkty termicznego rozkładu drewna należy przeanalizować termiczny rozkład celulozy, hemicelulozy oraz ligniny, czyli głównych składników drewna. Określić warunki w jakich przeprowadzono pirolizę oraz zestawić otrzymane wyniki w zależności od procentowej zawartości poszczególnych składowych drewna. Określono to za pomocą metody termogravimetrycznej i otrzymano ilość lotnych składników oraz węgla drzewnego. W wyniku termicznego rozkładu drewna olchy otrzymano 86% lotnych składników i 13,7% węgla drzewnego, odpowiednio dla drewna buku 86,5% i 13,1% oraz dla dębu 84,4% i 15,5% [17]. Wykazano również, że ilość węgla drzewnego i lotnych składników powstających w wyniku termicznego rozkładu jest ściśle związana z ilością ligniny w drewnie. Z ligniny drewna bukowego podczas termicznego rozkładu powstaje 51,5% lotnych składników oraz 47,1% węgla drzewnego. Podczas termicznego rozkładu drewna ważne jest również określenie temperatur progowych. Ustalono, że proces ten dla drewna olchy rozpoczyna się w temperaturze 242°C, maksimum szybkości rozkładu osiąga w temperaturze 349°C i kończy się w temperaturze 371°C. Dla drewna buku temperatury poszczególnych ekstremów wynoszą odpowiednio 248°C, 349°C i 372°C co niewiele różni się od temperatur dla olchy. Natomiast nieco niższe temperatury progowe występują w przypadku dębu i wynoszą odpowiednio 237°C, 338°C i 360°C [33].

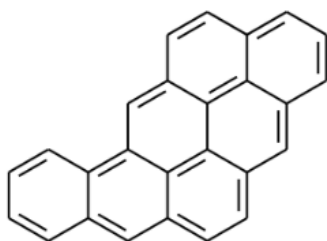
Oprócz pożądaných lotnych związków chemicznych, w trakcie pirolizy drewna powstają również niekorzystne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, niektóre z nich uważane są za toksyczne. Wykrywalne ilości tych związków powstają już w temperaturze spalania drewna powyżej 400°C. Wskazuje się, że jeden z najbardziej toksycznych benzo[a]piren zauważany jest dopiero w temperaturze powyżej 500°C, a optymalny zakres temperatury dla jego powstawania mieści się pomiędzy 800-900°C. Inni autorzy uznają, że podczas wędzenia nie należy przekroczyć temperatury pirolizy drewna powyżej 425°C [53]. W 1977 roku udało się zidentyfikować w fazie smolistej kondensatu

dymu 27 związków posiadający strukturę wielopierścieniową. Wiele z nich oznaczono w kondensacie dymu po raz pierwszy [79]. Ilość tworzącego się benzo[a]pirenu jest wysoce zależna od temperatury żarzenia drewna. Podczas termicznego rozkładu tytoniu w temperaturze poniżej 500°C ilość benzo[a]pirenu w składnikach pirolizatu jest niewykrywalna, natomiast w temperaturze 800°C jego ilość wzrasta do ponad 1300 µg/kg. Podobne doświadczenie przeprowadzono ze szczapami drewna. W wynikach tych badań stwierdzono, że zawartość benzo[a]pirenu w kondensacie dymu otrzymanego podczas spalania szczap drewna w temperaturze 800°C wynosi tylko 5 µg/kg. Tak niski poziom benzo[a]pirenu spowodowany jest tym, że część powstałego związku usadza się na chłodnej warstwie zrębków drewna i ulega termicznemu rozkładowi podczas ich spalania. Mamy do czynienia ze zjawiskiem kondensacji węglowodorowych związków policyklicznych na powierzchni drewna, które nie jest jeszcze całkowicie spalane. Następnie związki te pod wpływem temperatury spalania drewna same ulegają rozkładowi. Części z nich wraz z lotnymi składnikami dymu jest przenoszona i kondensuje się na innych powierzchniach, które napotka na swojej drodze.

1.1.4 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

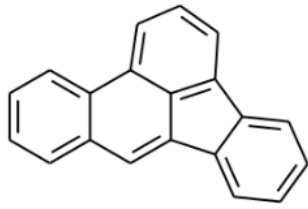
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne powstają na skutek reakcji mniejszych cząsteczek, głównie rodników powstałych podczas utleniania lotnych produktów pirolizy drewna. Związki te ulegają łączeniu i aromatyzacji tworząc pierścienie, które reagując między sobą tworzą szereg związków o podobnej budowie i właściwościach. Obecnie w bazie Amerykańskiego Narodowego Instytutu Standaryzacji i Technologii (*National Institute of Standards and Technology*) znajduje się ponad 1070 nazw i wzorów strukturalnych policyklicznych węglowodorów aromatycznych [78].

a)



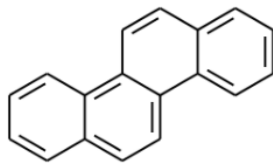
Benzo[a]antracen (C₂₆H₁₄)

b)



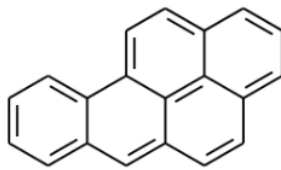
Benzo[b]fluoranten($C_{20}H_{12}$)

c)



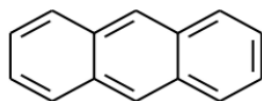
Chryzen ($C_{18}H_{12}$)

d)



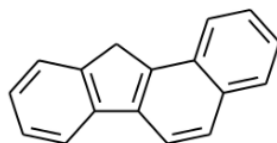
Benzo[a]piren($C_{20}H_{12}$)

e)



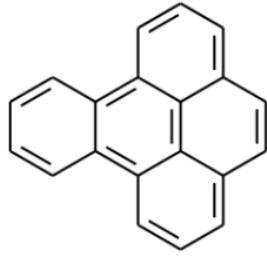
Antracen ($C_{14}H_{10}$)

f)



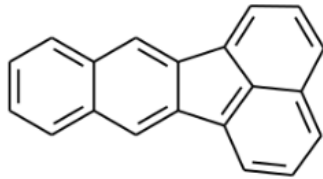
Benzo[c]fluoren ($C_{17}H_{12}$)

g)



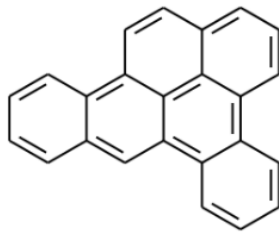
Benzo[e]piren ($C_{20}H_{12}$)

h)



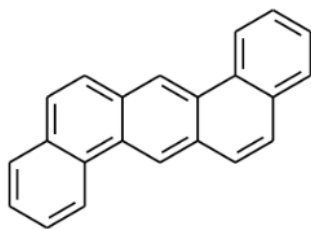
Benzo[k]flouranten ($C_{20}H_{12}$)

i)



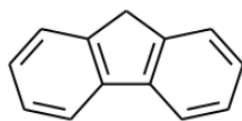
Dibenzo[a,e]piren ($C_{24}H_{14}$)

j)



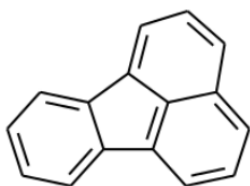
Dibenz[a,h]antracen ($C_{22}H_{14}$)

k)



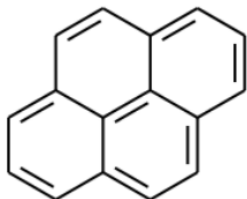
Fluoren ($C_{13}H_{12}$)

l)



Fluoranten ($C_{16}H_{10}$)

m)



Piren ($C_{16}H_{10}$)

Rys. 2 Wzory strukturalne i sumaryczne wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych: a) benzo[a]antracen, b) benzo[b]fluoranten, c) chryzen, d) benzo[a]piren e) antracen, f) benzo[c]fluoren, g) benzo[e]piren, h) benzo[k]fluoranten, i) dibenzo[a,e]piren, j) dibenzo[a,h]antracen, k) fluoren, l) fluoranten, m) piren [78]

W dymie wędzarniczym nie występują one pojedynczo, można zaobserwować kilkadziesiąt różnych związków chemicznych z czego 16 w tym benzo[a]piren i benzo[a]antracen uznawane są za najbardziej toksyczne. W żywności zidentyfikowano ponad 200 związków [88][108]. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne mogą powstawać również z tłuszczu, podczas obróbki termicznej. Przykładem tego jest smalec, w którym stwierdzono zawartość benzo[a]pirenu na poziomie $1,026 \mu\text{g/kg}$, a nie stwierdzono występowania benzo[a]pirenu w surowcu przeznaczonym do wytopu. Z uwagi na powyższe dane i wysoką temperaturę obróbki surowca tłuszczowego przeznaczonego na smalec, można stwierdzić, że WWA tworzą się również ze składników tłuszczu podczas reakcji zachodzących pod wpływem temperatury [128][134].

Mechanizmów powstawania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych jest kilka, jednym z nich jest piroliza organicznych składników żywności takich jak tłuszcze, węglowodany i białka w temperaturze powyżej 200°C . Najkorzystniejszą temperaturą do powstawania WWA jest przedział od $500\text{--}900^\circ\text{C}$. Tłuszcz kapiący z produktów podczas obróbki termicznej spada na rozgrzaną wędzarnię lub bezpośrednio do źródła ciepła gdzie następuje piroliza składników odżywczych. Powstające związki, unoszą się wraz z dymem i ciepłem osadzając na powierzchni wędzonych produktów [46][36].

W związku z próbami opisanie reakcji powstawania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych powstało kilka modeli. Najważniejsze typy mechanizmów powstawania WWA zidentyfikowane i opisane na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat opierają się na reakcjach kondensacji i cyklizacji mniejszych cząsteczek organicznych, głównie acetylenu i winyloacetylenu oraz reakcjach rodnikowych. Jednym z pierwszych mechanizmów powstawania WWA jakie zostały opracowane był mechanizm „hydrogenabstraction and acetyleneorcarbonaddition” pierwotnie zaprezentowany przez Frenklacha i in. w 1984 roku [29], a później określony jako mechanizm HACA. W ramach którego tworzenie WWA ma miejsce w wysokiej temperaturze z udziałem etanu, etylenu i acetylenu. Mechanizm przedstawiono jako dwuetapowy proces polegający na oddaniu wodoru, co początkuje aktywację cząsteczki aromatycznej, a następnie dodaniu acetylenu (C_2H_2) w pozycji rodnikowej. Zaletą mechanizmu HACA jest jego ciągłe tworzenie WWA. To z kolei przypisuje się stosunkowo małej odwracalności reakcji i zwiększonemu powinowactwu atomów wodoru ze względu na niskie bariery energetyczne w całym procesie. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę szybkość reakcji, uważa się, że mechanizm HACA działa słabiej w porównaniu ze stosunkowo szybkim procesem tworzenia się WWA [83].

Aby zrozumieć chemizm tworzenia WWA, zaproponowano inne ścieżki podobne do HACA. Jedną z nich jest proces Bittnera–Howarda, polegający na sekwencyjnym dodawaniu dwóch cząsteczek C_2H_2 w celu uzyskania łańcucha C_4H_4 , co w konsekwencji prowadzi do powstania dodatkowego pierścienia aromatycznego [7]. Jednakże ten mechanizm uznano za nierealny lub bardzo ograniczony w warunkach spalania w niskim ciśnieniu lub wysokiej temperaturze pod względem czasu w jakim przebywają niestabilne rodniki [69].

Kolejny z mechanizmów to mechanizm Dielsa-Aldera, który obejmuje reakcję acetylenu z olefiną, w wyniku której powstaje związek cykliczny. Polega on na utworzeniu adduktu Dielsa-Aldera (DA) w wyniku cyklicznego przyłączenia acetylenu, po której następuje utrata wodoru i wynikające z tego zamknięcie pierścienia [109]. Mechanizmowi DA towarzyszy wysokie zapotrzebowanie energetyczne w całym procesie oraz niska szybkość reakcji, co może być przyczyną niskiej użyteczności tego mechanizmu [47].

Pokrewnym do HACA jest mechanizm eliminacji wodoru i przyłączenia winyloacetylenu zwany jako HAVA. Winyloacetylen, podobnie jak acetylen jest powszechnie obecny w procesie spalania i bierze udział w tworzeniu WWA. Mechanizm ten polega na addycji winyloacetylenu (VA) poprzez eliminację wodoru, bez potrzeby

stosowania dodatkowych form węgla. Reaktywna forma VA (wiązania podwójne i potrójne) przyłącza się do rodnika WWA, a następnie następuje cyklizacja, czyli tworzenie pierścienia. Badania mechanizmu HAVA wykazały, że jest on bardzo realny w różnych warunkach (niskie bariery energetyczne reakcji, szerokie zakresy temperatur i ciśnień) [70].

Cyklizacja addycyjna metylu (MAC) to kolejny model powstawania WWA. Rodnik metylowy jest jednym z powszechniej występujących rodników alkilowych w płomieniach spalania spośród potencjalnych rodników. Ze względu na przewagę rodnika metylowego MAC odgrywa ważną rolę w tworzeniu WWA. Proces ten rozpoczyna się od utworzeniem łańcuchów etylowych lub propylowych w strukturze WWA (dodanie 2–3 rodników metylowych), po czym następuje eliminacja wodoru i późniejsze zamknięcie pierścienia [32]. Mniej spotykaną odmianą mechanizmu HACA jest mechanizm addycji rodnika etynylowego (HAERA). Obejmuje on rodnik etynylowy, który może stanowić potencjalną drogę reakcji tworzenia WWA w niskich temperaturach. Przewiduje się, że tworzeniu fenyloacetyleny z benzenu i rodnika etynylowego odpowiada mechanizm przyłączenia etynylu (EAM). Niedawne badania wykazały powstawanie benzo(a)pirenu z chryzenu za pomocą eliminacji wodoru i przyłączenia rodników etynylowych (HAERA) [90]. Przyłączanie rodnika winylowego (HAVA*) może również prowadzić do tworzenia WWA. Potwierdzono to w badaniu pirolizy i wskazano możliwość zastosowania przy tworzeniu cyklopentanowych WWA oraz powstawaniu pirogennych WWA w umiarkowanych warunkach temperaturowych [1]. Powstawanie WWA możliwe jest również podczas pirolizy toluenu. Proponowana metoda polega na przyłączaniu rodnika fenyloвого, eliminacji wodoru, dehydrocyklizacji, a następnie przekształceniu w termicznie stabilne skondensowane WWA (PAC). Ze względu na niską zawartość benzenu podczas pirolizy w porównaniu do acetyleny udział tego mechanizmu w tworzeniu WWA jest niewielki. Jednak przypisuje się mu tworzenie asymetrycznych WWA, z dużą wydajnością, jeśli obecny jest rodnik fenyłowy [83].

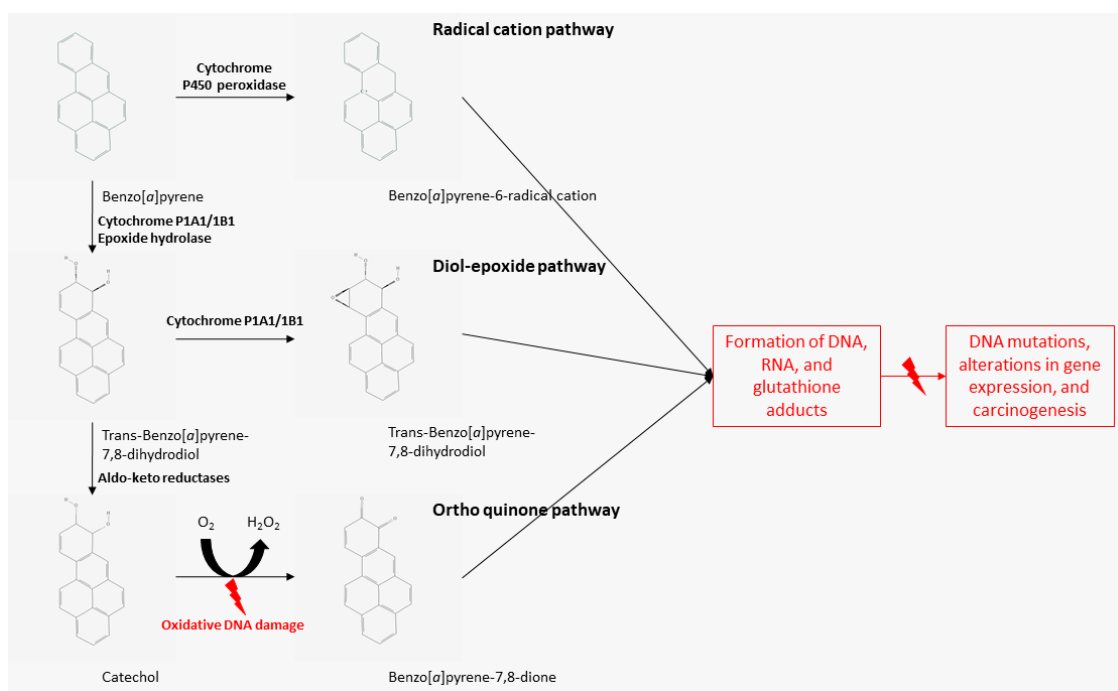
Środowisko pirolizy jest odpowiednim miejscem do wystąpienia reakcji rekombinacji (rodnikowo-rodnikowej, rodnikowo-obojętnej) z udziałem rodników stabilizowanych rezonansowo (RSR), które są stosunkowo stabilne i występują w płomieniach w wysokich stężeniach. Badania obliczeniowe szlaków RSR wskazały na trzy ważne składniki w mechanizmie tworzenia WWA są to: rodnik propargilowy [132], rodnik cyklopentadienylowy [61] i rodnik indenylowy [111].

Nie można jednoznacznie stwierdzić jaki mechanizm jest całkowicie odpowiedzialny jest za powstawanie WWA, wszystko zależy od warunków środowiskowych (temperatury i ciśnienia) oraz składu pirolizowanych substancji. Można przypuszczać, że w procesie pirolizy składników drewna ma miejsce każdy albo prawie każdy z powyższych mechanizmów, ponieważ proces spalania jest tak niestabilny i nieprzewidywalny, gdyż warunki mogą ulec zmianie w trakcie trwania procesu. Niestety nie udało się jeszcze opracować mechanizmu całkowicie blokującego powstawanie WWA, co wpłynęłoby na obniżenie stężenia WWA w składnikach dymu, jednak możemy wpływać na warunki spalania i regulować je tak, aby w jak w najmniejszym stopniu sprzyjały powstawaniu WWA.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne można podzielić na trzy grupy ze względu na ich masę cząsteczkową tj. o niskiej (152-178 g/mol), średniej (202 g/mol) i wysokiej (228-278 g/mol) masie cząsteczkowej. Masa cząsteczkowa tych związków związana jest ściśle z budową i ilością pierścieni aromatycznych. Związki o niskiej masie cząsteczkowej posiadają od dwóch do trzech pierścieni, o średniej masie – cztery pierścienie, natomiast o wysokiej masie posiadają od pięciu do siedmiu pierścieni aromatycznych [84]. Metabolizm i biotransformacja WWA w organizmie człowieka są złożone. Metabolizowane są one przez kilka enzymów w różnych szlakach do pośrednich metabolitów o wysokiej reaktywności i toksyczności. W szlaku epoksydowym diol-epoksyd, enzym fazowy cytochrom P1A1/1B1 i enzym epoksydowy II fazy transformują B(a)P w epoksydy dihydrodiolowe, tj. (+)Benzo[a]piren-7,8-dihydrodiol-9,10-epoksydowe. Te nowo utworzone „aktywowane” związki mają zwiększoną polarność i elektrofilowość, nadając im zwiększoną reaktywność. Aktywowane są one głównie przez cytochrom P450, w wyniku czego tworzą addukty z DNA, RNA i glutationu, w ten sposób indukując mutacje, zmiany ekspresji genów i rakotwórczość. Związki te są uważane za potencjalnie rakotwórcze, gdyż są zdolne do tworzenia wiązań kowalencyjnych z białkami i kwasami nukleinowymi. Część tych związków, mimo nieudowodnionych właściwości kancerogennych, może wykazywać działania synergistyczne. Związki te występując wspólnie w organizmie mogą powodować wzmocnienie negatywnego oddziaływanie na żywe komórki organizmu [4][77][130].

Wysokie spożycie produktów mięsnych wiąże się ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na nowotwory. Może ono wynikać z dużej zawartości tłuszczu, białka lub substancji rakotwórczych takich jak heterocykliczne aminy biogenne i policykliczne węglowodory aromatyczne powstające podczas obróbki mięsa w wysokich temperaturach.

Związki te mogą modyfikować syntezę DNA, zwiększać proliferację komórek, wpływać na metabolizm hormonów, zwiększać insulinopodobność i przyczyniać się do powstawania wolnych rodników, co prowadzi do rozwoju nowotworu [12][13]. Poziom ryzyka powstania nowotworu spowodowanego spożyciem kiełbas i produktów mięsnych wędzonych mieści się na znaczącym poziomie ryzyka ($>1E-4$). W związku z tym zaleca się ograniczenie spożycia produktów mięsnych wędzonych lub rekomenduje się obniżenie poziomu WWA w produktach wędzonych [107]. Narażenie organizmu na WWA może również powoduje zmiany strukturalne i funkcjonalne w szpiku kostnego, które powodują istotne konsekwencje zdrowotne. Szpik kostny jest centralnym narządem hematopoezy i ważnym miejscem wytwarzania komórek układu odpornościowego. Dlatego dostarczenie do organizmu WWA z pożywieniem może skutkować obniżeniem odporności a nawet nieodwracalne zmiany w szpiku kostnym[85].



Rys. 3 Szlak aktywacji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i jej wpływ na zdrowie ludzkie [108][41][108]

Tab. 3 Wartość współczynników toksyczności TEF wybranych WWA, według różnych źródeł [4][82]

Związek	Źródło danych			
	Kangsadaeampai K. 1997	Nisbet I.C.T. 1992	USEPA 1993	AL.-Yakoob S.N. 1994
Dibenzo[a,h]antracen	5,00	1,00	-	1,00
Benzo[a]piren	1,00	1,00	1,00	1,00
Benzo[b]fluoranten	0,10	0,10	-	0,10
Benzo[k]fluoranten	0,10	0,01	-	0,10
Benzo[a]antracen	0,10	0,01	0,145 – 0,62	0,10
Chryzen	0,01	0,001	0,0011 – 0,37	0,01
Benzo[g,h,i]perylene	0,01	-	-	-
Antracen	0,01	-	0,32 – 0,06	-
Piren	0,001	-	0,081 – 0,2	0,001

W badaniach na modelach zwierzęcych stwierdzono, że WWA powodują różne rodzaje nowotworów, a niektóre z WWA uznanych za rakotwórcze są aktywowane poprzez mechanizmy genotoksyczności. Inne jedynie mogą promować i potęgować pojawianie się nowotworów [23][31]. W 2012 roku benzo[a]piren (BaP) został sklasyfikowany jako rakotwórczy dla ludzi (związek grupy 1) przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem [43].

Generalnie, WWA same w sobie nie reagują z cząsteczkami biologicznymi w organizmach żywych. Jednak metaboliczna aktywacja WWA prowadzi do zauważalnych reakcji toksycznych w organizmie. W środowisku mogą one reagować z tlenkami siarki i azotu, co zwiększa ich toksyczność[106]. WWA wykazują wrażliwość na działanie światła, tlenu, ozonu i innych utleniaczy. Związki te wykazują fotodynamiczną toksyczność, czyli zdolność do uszkodzenia organizmu w obecności światła i tlenu, właściwość ta towarzyszy wielu rakotwórczym, jak i nierakotwórczym związkom. Prawdopodobnym warunkiem takiego zjawiska jest obecność reaktywnego tlenu, który wytwarzany jest w trakcie przemiany energii oraz w podobnych reakcjach WWA z ozonem lub czynnymi kationami. Dowiedziono, że podobne mechanizmy reakcji zachodzące w żywych organizmach mogą wytwarzać tlen i doprowadzić do ich uszkodzenia [58]. Potwierdzeniem właściwości mutagennych WWA, czyli zdolności do wywoływania trwałych i dziedzicznych zmian w budowie genomu komórkowego jest współczynnik toksyczności TEF (ang. Toxicity

Equivalence Factors). Wartość TEF odnosi się do dioksyny o najbardziej toksycznym wpływie na organizm człowieka, za punkt odniesienia przyjęto, najbardziej toksyczną 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioksynę. Wartości współczynnika toksyczności dla wybranych WWA przedstawia tabela 3, najwyższą możliwość działania mutagennego według United States Environmental Protection Agency (USEPA) wykazują obok benzo[a]pirenu, benzo[a]antracen, chryzen oraz antracen i piren [4][62].

Głównymi źródłami WWA są paliwa kopalniane takie jak węgiel oraz asfalt, z których są one uwalniane do środowiska, jak również paliwa energetyczne i ciepłe takie jak drewno, węgiel drzewny oraz ropa, z których powstają w trakcie spalania. Powstają także w czasie wytwarzania energii w elektrowniach i elektrociepłowniach. Do powietrza dostają się poprzez gazy wytwarzane w transporcie samochodowym, dymy z kotłowni, urządzeń grzewczych i zakładów przemysłowych, w szczególności przemysłu ciężkiego, hut i koksowni. Innym, ale także ważnym źródłem WWA może być aktywność wulkanów i pożary lasów. Stwierdzono, że uprawa i hodowla zwierząt na terenach skażonych wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi może sprzyjać gromadzeniu się tych związków w surowcach i produktach rolnych. Mogą być one pobierane przez rośliny z powietrza poprzez liście oraz z gleby i wody przez korzenie i bulwy. Zwierzęta natomiast mogą pobierać WWA nie tylko z pokarmem roślinnym poprzez pasze, ale również z gleby podczas wypasu, jak i z wody przy stałych naturalnych zbiornikach wodnych występujących w skażonym środowisku. WWA mogą kumulować się w zwierzęcej tkance tłuszczowej, co przekłada się na surowce mięsne stosowane do produkcji żywności, a wraz z nią wzrasta ryzyko wprowadzania substancji szkodliwych do organizmu człowieka. Produkty spożywcze, takie jak ryby oraz owoce morza mogą być narażone na zanieczyszczenie WWA występujące w ich środowisku bytowania. Zawartość WWA w tych produktach zależy od zanieczyszczenia wód i osadów dennych oraz od zdolności organizmów wodnych do ich metabolizowania. Skorupiaki i mięczaki akumulują więcej WWA niż ryby należące do kręgowców, które metabolizują mniejsze ilości tych związków, ale w szybszym tempie [8][39][58][68]. Przykładem występowania WWA w surowcach zwierzęcych są badania Kandil i inni [44] nad poziomem WWA w mleku krowim pochodzącym z gospodarstw rolnych i w mleku rynkowym. Średnia najwyższa zawartość sumy badanych 18 związków w mleku krowim wynosiła 17,93 µg/kg [44]. Innym źródłem WWA w żywności są procesy obróbki takie jak: wędzenie, grillowanie, pieczenie co dotyczy produktów mięsnych, ryb i serów. Również takie procesy jak suszenie, ekstrakcja oraz palenie kawy mogą powodować zawartość WWA w żywności suszonej, kawie i

olejach [14]. Dodatkowo potwierdzono naukowo, że im wyższa temperatura i dłuższy czas procesów obróbki technologicznej, tym większa zawartość policyklicznych węglowodorów aromatycznych w gotowym produkcie [21][67][121]. Analizując zawartość kancerogennych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w produktach spożywczych oraz średnie dzienne spożycie poszczególnych produktów stwierdza się, że najczęściej WWA do dziennego pobrania z żywnością w Polsce wnoszą produkty zbożowe, produkty mięsne oraz oleje roślinne [127]. Oszacowano, że człowiek wraz ze spożywaną żywnością dostarcza do organizmu około 80 % tych związków, ze środowiska wraz z wdychanym powietrzem 19%, a pijąc wodę 1 %. Ilość WWA w naszej diecie zależy od wzorców żywieniowych, tradycji przygotowywanych potraw oraz miejsca w jakim żyjemy [133]. Obecność szkodliwych związków w środowisku stała się obiektem zainteresowań nauki, ze względu na narażenie ludzi na kontakt ze skażonym powietrzem, jednakże drogą narażenia ludzi na związki WWA o podobnej sile działania jest żywność, dym tytoniowy, smog w powietrzu [28].

1.1.5. Regulacje prawne

Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) określiła w 1987 roku benzo[a]piren (BaP), jako główny ludzki kancerogen ustalając go jako marker całkowitej zawartości WWA. Jednak w żywności BaP stanowi czasami tylko 1-20% ogólnej zawartości WWA. W efekcie czego w 2002 roku Naukowy Komitet Żywności (SCF) Komisji Europejskiej wydał zalecenie, aby oprócz BaP w celu oznaczenia zanieczyszczeń WWA brane były pod uwagę pozostałe związki z tej grupy [100]. Rozporządzenie Komisji Unii Europejskiej (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 roku [99] ustala najwyższy dopuszczalny poziom tylko dla benzo[a]pirenu, który wynosił 5µg/kg świeżej masy w mięsie wędzonym i produktach mięsnych wędzonych. W roku 2007 zanieczyszczeniom WWA w żywności zaczęła przyglądać się Europejska Komisja ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA), która również wykazała, że oznaczanie zanieczyszczeń WWA przez badanie wyłącznie zawartości benzo[a]pirenu jest nieadekwatne do zawartości WWA [27]. Ustanawiając Rozporządzenie NR 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 roku [98] Komisja Unii Europejskiej zmieniła dotychczasowe normy, które miały obowiązywać od 1.09.2014 roku dla benzo[a]pirenu z 5 µg/kg do 2 µg/kg w mięsie wędzonym i produktach wędzonych. Dodatkowo ustanowiła najwyższy dopuszczalny poziom dla sumy benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu i chyzenu do 30 µg/kg obowiązujący do 31.08.2014 roku oraz do 12 µg/kg od 1.09.2014 roku dla mięsa wędzonego i produktów mięsnych wędzonych. Dnia 12 grudnia 2014 roku ukazało się Rozporządzenie Komisji nr

1327/2014 [97], które odnosiło się do mięsa wędzonego tradycyjnie i produktów mięsnych wędzonych tradycyjnie, ustalając dla niektórych państw, w tym Polski odstępstwo czasowe, które zezwala na wprowadzenie do obrotu na terenie swojego kraju mięsa wędzonego tradycyjnie i produktów mięsnych wędzonych tradycyjnie, w których zawartość benzo[a]pirenu nie przekracza 5 µg/kg a suma 4WWA nie przekracza 30 µg/kg. Ostatecznie Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/1255z dnia 7 września 2020 roku zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w tradycyjnie wędzonych mięsach i produktach mięsnych [95] w wybranych państwach Europejskich, w tym Polsce utrzymują odstępstwo bez określenia czasowego. Krajowe przepisy ustanowione Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [104] oraz Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 grudnia 2014 r. w sprawie wymagań weterynaryjnych przy produkcji produktów mięsnych wędzonych w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) [102] z późniejszym ujednoliceniem w 2018 roku [80] są spójne z rozporządzeniem Komisji Europejskiej i zezwalają na produkcję i wprowadzanie na rynek, wyłącznie na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, produktów mięsnych wędzonych tradycyjnie, w których najwyższy dopuszczalny poziom zanieczyszczenia dla: benzo[a]pirenu wynosi nie więcej niż 5 µg/kg, a sumy WWA wynosi nie więcej niż 30 µg/kg. Ze względu na wielokrotne wprowadzanie istotnych zmian w rozporządzeniu 1881/2006 Komisja Europejska postanowiła zastąpić je nowym. Dnia 25 kwietnia 2023 r. ukazało się rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 [96] w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006. Najwyższe dopuszczalne poziomy w odniesieniu do wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zostają utrzymane z rozporządzenia (WE) nr 1881/2006. Ustanowiono odstępstwo od tych poziomów dla niektórych tradycyjnie wędzonych mięs i produktów mięsnych wędzonych w Irlandii, Hiszpanii, Chorwacji, na Cyprze, na Łotwie, w Polsce, Portugalii, Słowacji, Finlandii i Szwecji oraz niektórych tradycyjnie wędzonych ryb i wędzonych produktów rybołówstwa na Łotwie, w Finlandii i Szwecji. Odstępstwo to ustanowiono bez ograniczeń czasowych w odniesieniu do lokalnej produkcji i spożycia niektórych tradycyjnie wędzonych mięs i produktów mięsnych wędzonych oraz tradycyjnie wędzonych ryb i wędzonych produktów rybołówstwa wyłącznie w tych państwach członkowskich o ile produkty te nie zawierają więcej niż 5,0 µg/kg benzo[a]pirenu oraz 30,0 µg/kg sumy benzo[a]pirenu,

benz[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu i chryzenu. Wymienione państwa członkowskie UE u których ustanowiono odstępstwo i właściwe podmioty prowadzące przedsiębiorstwa spożywcze mają nadal monitorować obecność WWA w tradycyjnie wędzonych mięsach i produktach mięsnych wędzonych i zapewniać, aby w miarę możliwości stosowano dobre praktyki wędzarnicze bez utraty typowych właściwości organoleptycznych tych produktów [114].

1.2 Technologie wędzenia

Wyróżniamy trzy systemy wędzenia, należą do nich system otwarty, półotwarty i zamknięty. W systemie otwartym wędzenie odbywa się przy otwartym ogniu i w ograniczonym stopniu regulowanym dopływie powietrza. Gazy odlotowe i substancje szkodliwe powstające w procesie pirolizy usuwane są do atmosfery w stanie nieoczyszczonym. Jest to najstarszy system wędzenia, stosowany w produkcji wyrobów tradycyjnych oraz w małych przetwórnictwach mięsa i ryb od setek lat. W systemie półotwartym, dym wytwarzany jest ze zrębków i trocin spalanych w specjalnych dymogeneratorach. Trociny są umiejscawiane w leju zasypowym, przez który trafiają na rozżarzoną płytę lub grzałkę. Od spodu doprowadzane jest powietrze i wraz z nim dym przenoszony jest do komory wędzarniczej. W procesie wytwarzania dymu ma miejsce żarzenie szczap drewna, zrębków lub trocin. W zależności od użytego surowca uzyskamy dym wędzarniczy o różnym składzie. W przypadku zastosowania zrębków z drewna mogą być one przedmuchiwane większą, regulowaną ilością powietrza. W wyniku czego powstają wyższe temperatury, co prowadzi do otrzymania dymu wędzarniczego z większą zawartością substancji smolistych niż w przypadku użycia trocin. W zamkniętym systemie, obieg dymu wędzarniczego jest przyjazny dla środowiska, co jest bardzo ważnym elementem, który ma odzwierciedlenie w przepisach dotyczących ochrony środowiska oraz na który uwagę zwracają ekolodzy. System ten jest również energooszczędny oraz pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie tych frakcji dymu, które są najbardziej pożądane technologicznie i organoleptycznie. Główną zaletą systemu zamkniętego jest to, że wytworzony w dymogeneratorze dym wędzarniczy doprowadzany jest do komory wędzarniczej, w której następuje proces wędzenia, po czym zawracany jest ponownie do dymogeneratora, bez znaczącej emisji do środowiska. Przez co uzyskuje się wysokie stężenie pożądanych składników dymu, przy małej objętości i małym nakładzie wytwarzanego dymu. Dopiero po zakończeniu procesu wędzenia dym i cała atmosfera zawarta w komorze wędzarniczej przekazana jest na zewnątrz do otoczenia. Zmniejsza to

masę wydzielanych zanieczyszczeń do atmosfery, co wpływa korzystnie na jakość powietrza w obszarach zamkniętych i zurbanizowanych. Oprócz zmniejszonej emisji zanieczyszczeń jest zmniejszone zużycie energii i zmniejszone ubytki wagowe obrabianych produktów. Zastosowanie zamkniętego obiegu dymu ogranicza w 90% emisję składników do atmosfery i nie wymaga stosowania katalizatorów. System ten stosowany jest w przemysłowej produkcji wędlin, ryb i serów [22][72][110].

Ze względu na temperaturę dymu można wyróżnić cztery rodzaje wędzenia. Należą do nich wędzenie zimne, wędzenie ciepłe, wędzenie gorące oraz wędzenie gorące z równoczesnym pieczeniem. Różnice parametrów w procesach wędzenia różnymi temperaturami dymu prezentuje tabela 4. Wędzenie dymem zimnym odbywa się w temperaturze dymu 16-22°C przy wilgotności dymu osiągającej 90-95% w czasie ok. 1-14 dni w zależności od rodzaju obrabianego produktu. Podczas tego procesu powierzchnia produktu ulega całkowitemu obeschnięciu, składniki dymu przenikają całkowicie produkt powodując równomierne odparowanie wilgoci na całym przekroju produktu. Produkty wędzone dymem zimnym charakteryzują się dużą trwałością i odpornością na pleśnienie. Wadą jest znaczna utrata masy produktu oraz długi czas trwania procesu.

Tab. 4 Parametry procesu wędzenia [4][22]

Metoda wędzenia	Temperatura °C	Wilgotność dymu %	Szybkość przepływu powietrza m/min	Czas wędzenia	Ubytek masy %
Wędzenie dymem zimnym	16-22	90-95	7-15	1-14 dni	5-20
Wędzenie dymem ciepłym	30-40	70-80	7-15	2-24 godzin	2-10
Wędzenie dymem gorącym	30-95	b.d.	>15	50-160 min	5-12
Wędzenie dymem gorącym z równoczesnym pieczeniem	40-95	b.d.	b.d.	70-240 min	20-40

Wędzenie dymem ciepłym wykonuje się w temperaturze dymu 30-40°C przy wilgotności względnej 70-80% przez 2-24 godziny. Powierzchnia produktu zostaje mocno podsuszona jednak wewnątrz produktu zachowuje cechy surowca, co przekłada się na

nierównomierne rozłożenie wilgotności w produkcie oraz nasycenie produktu składnikami dymu. Produkty takie, aby zachowały trwałość poddaje się dalszej obróbce termicznej głównie parzeniu. Wędzenie dymem gorącym składa się z trzech faz. Pierwszą fazą jest suszenie produktu w temperaturze 30-40°C przez 10-40 min. Faza druga, czyli wędzenie zasadnicze, odbywa się w temp. 40-55°C w czasie 30-100 min. W trzeciej fazie następuje powierzchniowe przypieczenie produktu w temp. 70-95°C przez 10-20 min. następnie podgrzewanie produktu utrzymując tą temperaturę do osiągnięcia temp. 72°C w środku produktu. W pierwszej fazie następuje usunięcie nadmiaru wilgoci, wykonuje się ją bez dymu lub przy bardzo rzadkim dymie na pełnym przepływie powietrza przy otwartych przewodach kominowych. W drugiej fazie ograniczamy dopływ powietrza, przez co otrzymujemy gęstszy dym, dzięki czemu następuje przesycenie produktu jego składnikami. Podczas tej fazy otrzymujemy odpowiednią barwę produktu. W fazie trzeciej zachodzi denaturacja białek powierzchniowych, powierzchnia produktu ulega nieznacznemu pomarszczeniu i nabiera połysku. Temperatura wewnątrz produktu dochodzi do 40°C. Korzystniej jest dalszą obróbkę cieplną przeprowadzać parząc produkt, gdyż daje to mniejsze utraty masy i nie wpływa negatywnie na jakość sensoryczną produktu, ponieważ powierzchnia produktu została zapieczona. Wędzenie dymem gorącym z jednoczesnym pieczeniem również przebiega trójfazowo. Pierwsza faza, także ma na celu osuszenie powierzchni produktu, przeprowadza się ją stosując rzadki dym w temp. 40-55°C przez 20-40 minut (w praktyce do całkowitego osuszenia powierzchni produktu). Faza druga wędzenia gorącego przebiega w temp. 55°C przez 30-120 minut. Podobnie jak przy wędzeniu gorącym w tej fazie produkt nabiera odpowiedniej barwy poprzez nasycenie powierzchni składnikami dymu, dodatkowo występują interakcje substancji występującej w dymie ze związkami białkowymi osłonki. Trzecia faza odbywa się w temperaturze 80-95°C w czasie potrzebnym do osiągnięcia wewnątrz produktu temp. 68°C. W tej fazie następuje pieczenie całego produktu, czego efektem jest znaczny wytop tłuszczu i duże odparowanie wody. Ubytki masy produktu sięgają nawet do 40%. Ze względu na utrzymywanie przez dłuższy czas wysokiej temperatury w komorze wędzarniczej oraz jednocześnie wysokiej temperatury w palenisku, produkty przygotowane tym rodzajem są najbardziej narażone na wysokie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [50][60].

1.2.1 Metody wytwarzania dymu wędzarniczego

Dym jest mieszaniną gazów, cieczy w fazie pary oraz bardzo drobnych ciał stałych, powstałych w wyniku procesu spalania drewna, przy ograniczonym dostępie powietrza, zwanego pirolizą. Istnieje kilka metod wytwarzania dymu wędzarniczego. Do powszechnie stosowanych w warunkach przemysłowych należą zaliczyć metodę: żarową, cierną, parową oraz fluidalną. Możliwa jest również metodą dwustopniową wytwarzania dymu wędzarniczego, jednakże stosuje się ją wyłącznie w laboratoriach w celu określenia optymalnych warunków rozkładu materiału dymotwórczego i maksymalnej wydajności lotnych produktów termicznego rozkładu drewna. Mniej popularna i rzadziej stosowana w produkcji dymu wędzarniczego jest metoda wylewania, która polega na pirolizie zrębków lub trocin sprasowanych w dość ścisłych blokach bez dostępu powietrza do temperatury 400°C.

W zależności od zastosowanej metody wytwarzania dymu wędzarniczego, otrzymuje się dym o różnych właściwościach (Tab.5). Stosując różne metody i parametry otrzymywania dymu, możemy regulować jego skład chemiczny i właściwości technologiczne, w wyniku czego uzyskujemy produkt o określonych cechach organoleptycznych [49].

Tab. 5 Metody wytwarzania dymu wędzarniczego [22]

Metoda	Temperatura wytwarzania	Właściwości dymu
Żarowa (płomieniowa) tradycyjna	400-800°C	suchy, gęsty
Cierna (bezpłomieniowa)	300-500°C	suchy, gęsty
Parą wodną (bezpłomieniowa)	300-400°C	wilgotny, gęsty
Fluidyzacyjna (bezpłomieniowa)	300-400°C	suchy, gęsty
Dwustopniowa (bezpłomieniowa)	300-400°C	suchy, gęsty
Wylewaniem (bezpłomieniowa)	300-400°C	suchy, gęsty

Metoda żarowa jest najstarszym i jednocześnie najtańszym, dotychczas używanym sposobem wytwarzania dymu. Nie wymaga ona dopływu energii z zewnątrz, gdyż jest ona

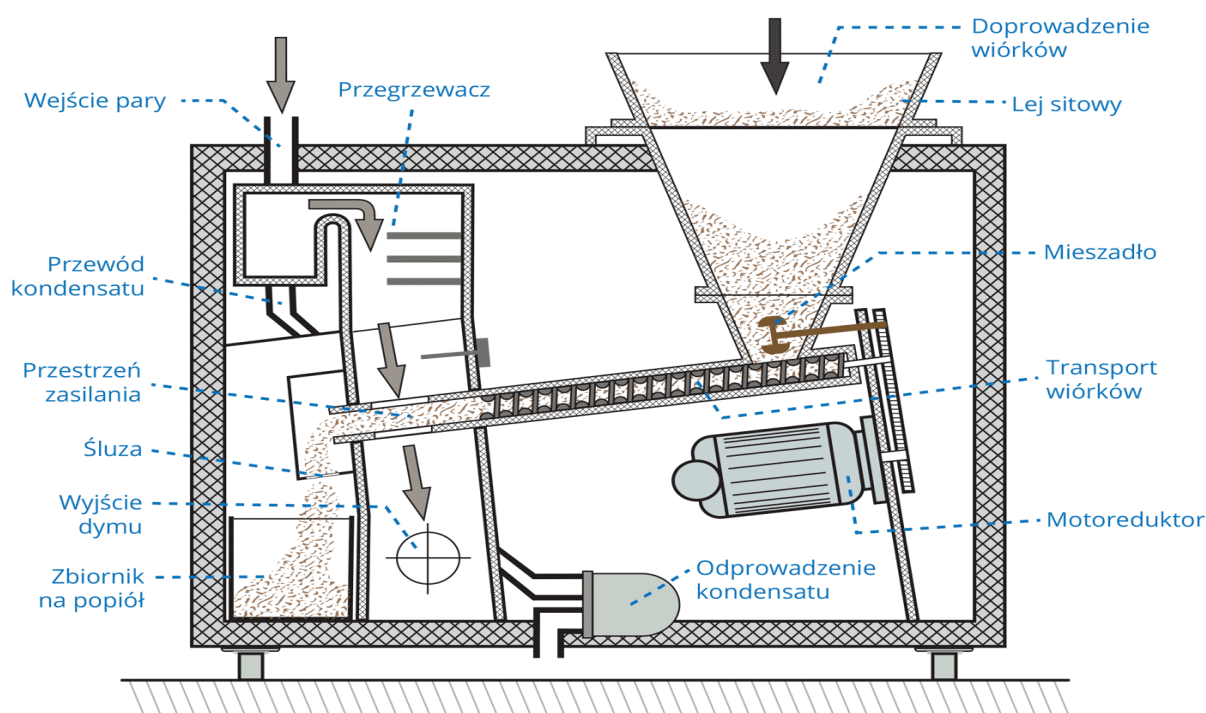
wytwarzana w wyniku częściowego spalania materiału drzewnego. Energia z zewnątrz potrzebna jest tylko do inicjacji procesu pirolizy drewna, zrębek lub trocin. Najprostszym i najtańszym urządzeniem do żarowego wytwarzania dymu jest palenisko złożone z płonących polan drewna.



Rys. 4 Przykład wytwarzania dymu w metodzie żarowej [opracowanie własne].

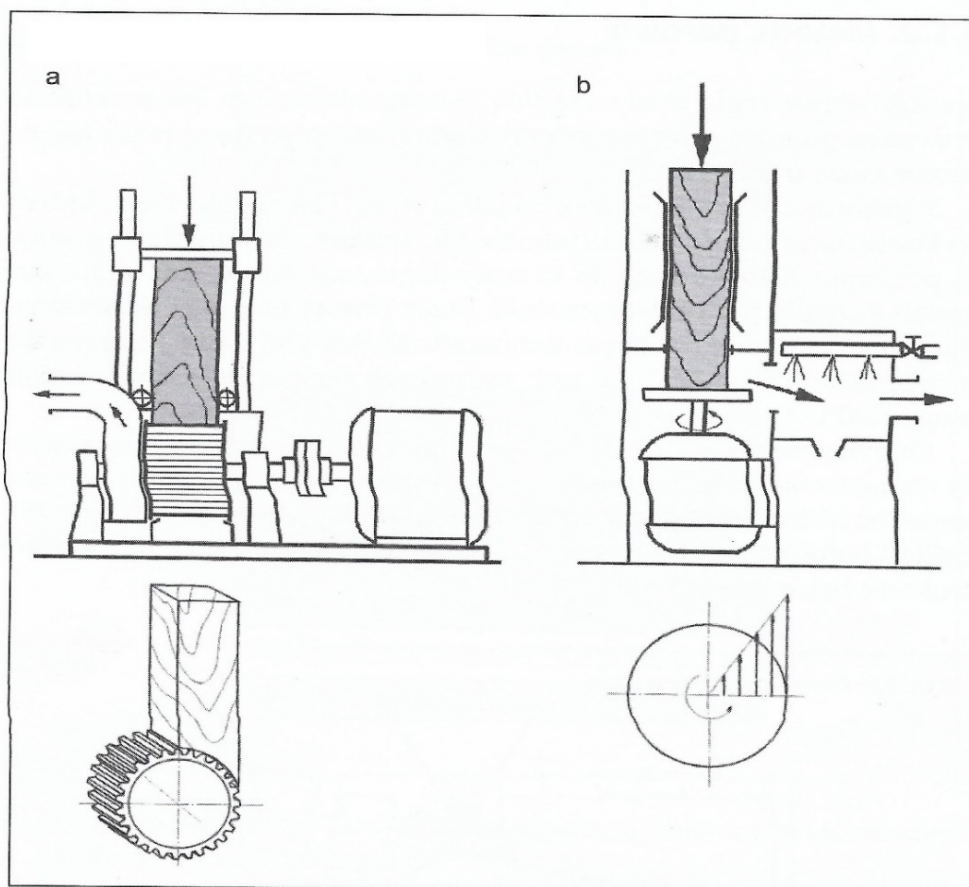
Unowocześnioną i zmodernizowaną odmianą paleniska są dymogeneratory, czyli urządzenia, w których zrębki, wiórka lub trociny drzewne żarzą się na ruszcie przy naturalnym bądź też wymuszonym przepływie powietrza przez materiał palny. Materiał dymotwórczy, którym najczęściej są zrębki, podawany jest z zasobnika do paleniska, następnie w wyniku ruchu mieszałki dostaje się on na ruszt. Proces żarzenia zapoczątkowuje się za pomocą zapalarki elektrycznej. Powstały w procesie pirolizy dym odprowadzany jest z urządzenia za pomocą wentylatora. Zanim trafi do komory wędzarniczej wcześniej może jeszcze zostać oczyszczony przez filtr wodny. Przepływ powietrza oraz ziarnistość materiału dymotwórczego wpływa bezpośrednio na skład dymu, co w konsekwencji przekłada się na intensywność barwy i aromat wędzonych produktów. Przy swobodnym przepływie powietrza otrzymuje się dym o podobnych parametrach jakościowych, jaki powstaje w tradycyjnym palenisku. Mankamentem urządzeń o naturalnym przepływie powietrza jest trudność wytwarzania dymu w kontrolowanych i stałych warunkach co powoduje zmienny skład dymu wędzarniczego [49]. W nowocześniejszych, przemysłowo wykorzystywanych wytwornicach dymu, poprzez regulowany przepływ powietrza utrzymuje się stałą temperaturę w palenisku, dzięki czemu

Wędrzenie metodą żarową odbywać się może jedynie w systemie otwartym i półotwartym. W systemie otwartym, powietrze niezbędne do prowadzenia procesu pirolizy zrębków jest w sposób ciągły doprowadzane z zewnątrz, a strumień powietrza transportuje wytworzony dym do komory i w całości odprowadza go do atmosfery poprzez komin komory. W systemie półotwartym dymogenerator część powietrza pobiera z zewnątrz, a część zaciąga z komory wędrzarniczej, powodując redukcję emisji do atmosfery. Metoda żarowa nie może zostać zastosowana w zamkniętym systemie wędrzenia. Jedną z przyczyn, dla których nie stosuje się tej metody w systemie zamkniętym jest możliwość wybuchu w palenisku lub w komorze wskutek powstania mieszaniny dymu i gazów palnych, które są produktami ubocznymi spalania drewna. Przyczyną ekonomiczną niestosowania systemu zamkniętego w metodzie żarowej jest bardzo niska intensywność dymu, co niesie ze sobą niską efektywność wędrzenia oraz wydłużenie czasu wędrzenia [48].



Metoda parowa wytwarzania dymu polega na rozkładzie drewna za pomocą przegrzanej pary wodnej przepływającej przez nieruchome złożę zrębków lub trocin. Jest to metoda Fessmanna, której konstrukcję urządzenia wykorzystywanego do produkcji dymu pokazano na rysunku 5. Dym parowy wytwarzany jest za pomocą przegrzanej pary,

która przenika przez zrębki wędzarnicze. Wszystkie składniki wiórków odpowiedzialne za powstawanie barwy i smaku są pochłaniane przez parę i doprowadzane do komory w postaci dymu parowego. Otrzymany tą metodą dym jest w istocie parą wodną wzbogaconą w niektóre tylko składniki termicznego rozkładu drewna, ponieważ temperatura złoża zrębków osiąga 200°C , wystarcza ona zaledwie do rozkładu hemiceluloz i w pewnym stopniu celuloz, niewiele naruszając strukturę lignin, przez co nie powstają uboczne produkty spalania drewna. Para unosi ze sobą powstałe w tym procesie substancje dymne i aromatyczne i ulega ona kondensacji na powierzchni produktu. Niesione z parą składniki dymu ulegają wchłonięciu, dzięki czemu produkt nabiera intensywnej barwy oraz pożądanego smaku. Jest to szybki rodzaj wędzenia, jednak często odrzucany, ze względu na nie zawsze akceptowalny smak wyrobów oraz zbyt ciemną barwę [48][49].

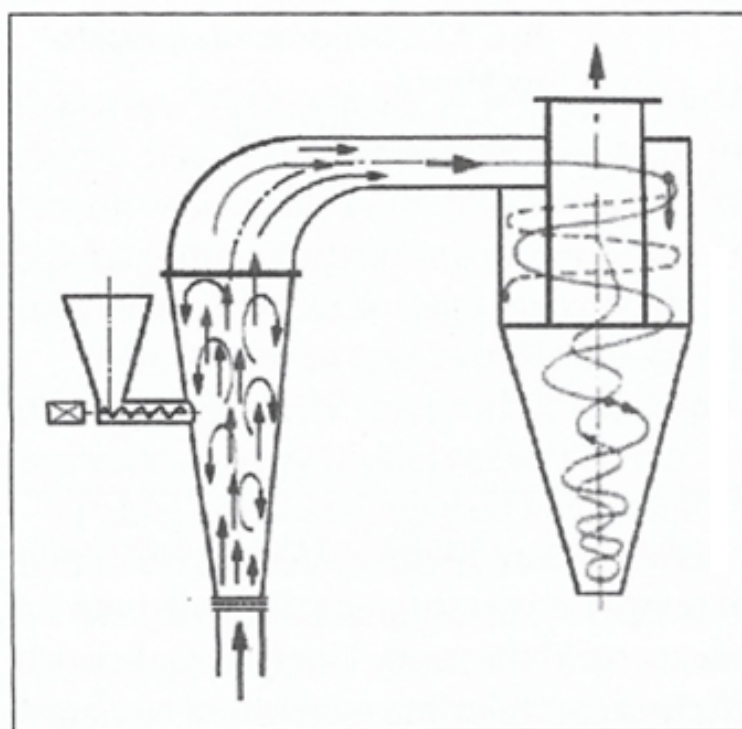


Rys. 6 Schemat ciernych wytwornic dymu a) przykład urządzenia z walcem zębatego o poziomej osi obrotu, b) przykład urządzenia z wirującą tarczą o pionowej osi obrotu [49]

Cierne wytwarzanie dymu polega na termicznym rozkładzie drewna pod wpływem podwyższenia jego temperatury w wyniku tarcia po przyłożeniu drewnianego kłosa do obracającego się metalowego koła lub zębatego walca. Energia kinetyczna potrzebna do

pokonania tarcia zamieniana jest na energię ciepłą powodując termiczny rozkład drewna. Temperatura powstała w wyniku tarcia osiągnęta jest w granicach 350-400°C. Pierwotna wytwornica ciarna została skonstruowana przez Rasmussena. Może występować w dwóch wersjach, z bębnem lub walcem zębatym o poziomej osi obrotu (rys. 6a) lub z wirującą tarczą o pionowej osi obrotu (rys. 6b). W porównaniu z wytwornicami żarowymi dym jest produkowany przy niższej temperaturze pirolizy drewna, podczas której pełnej degradacji ulegają hemicelulozy i celulozy, natomiast nie następuje całkowity rozkład lignin. W wyniku czego otrzymany dym ma inny skład niż otrzymany metodą żarową, co wpływa na barwę i smak wędzonych produktów. Intensywność nasycenia dymu składnikami możemy regulować poprzez zmianę prędkości obrotowej koła zębatego lub tarczy oraz siły docisku drewna do powierzchni trącej [72],[86].

Dym wędzarniczy wytwarza się również w złożu fluidalnym. Metoda ta polega na umieszczeniu materiału dymotwórczego (wiórek, trocin) w stanie fluidalnym wywołanym przez strumień przepływającego gazu (powietrza lub powietrza z domieszką innych gazów).



Rys. 7 Schemat fluidalnej metody wytwarzania dymu wędzarniczego [49]

Rozkład trocin następuje pod wpływem gazu o temperaturze od 150-350°C uzyskiwanego ze strumienia podgrzanego gazu stanowiącego tzw. fazę ciągłą. Gazem tym jest powietrze, powietrze wzbogacane tlenem lub też azotem albo mieszanina azotu z powietrzem. Strumień gazu doprowadzający ciepło do komory fluidyzacyjnej ogrzewany jest elektrycznie lub ciepłem powstałym ze spalania zwęglonych trocin odprowadzanych ze złoża fluidalnego. Trociny powinny być bardzo drobnej granulacji nie przekraczającej 0,8 mm. Dym wędzarniczy przed wprowadzeniem do komory wędzarniczej zostaje oczyszczony od zwęglonych trocin oraz innych cząstek stałych w separatorze cyklonowym [5]. Zaletą tego systemu wędzenia jest bardzo duża wydajność dymu w porównaniu z innymi metodami wędzenia oraz możliwość utrzymania niskiego poziomu zanieczyszczenia gotowego produktu wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi [5][18].

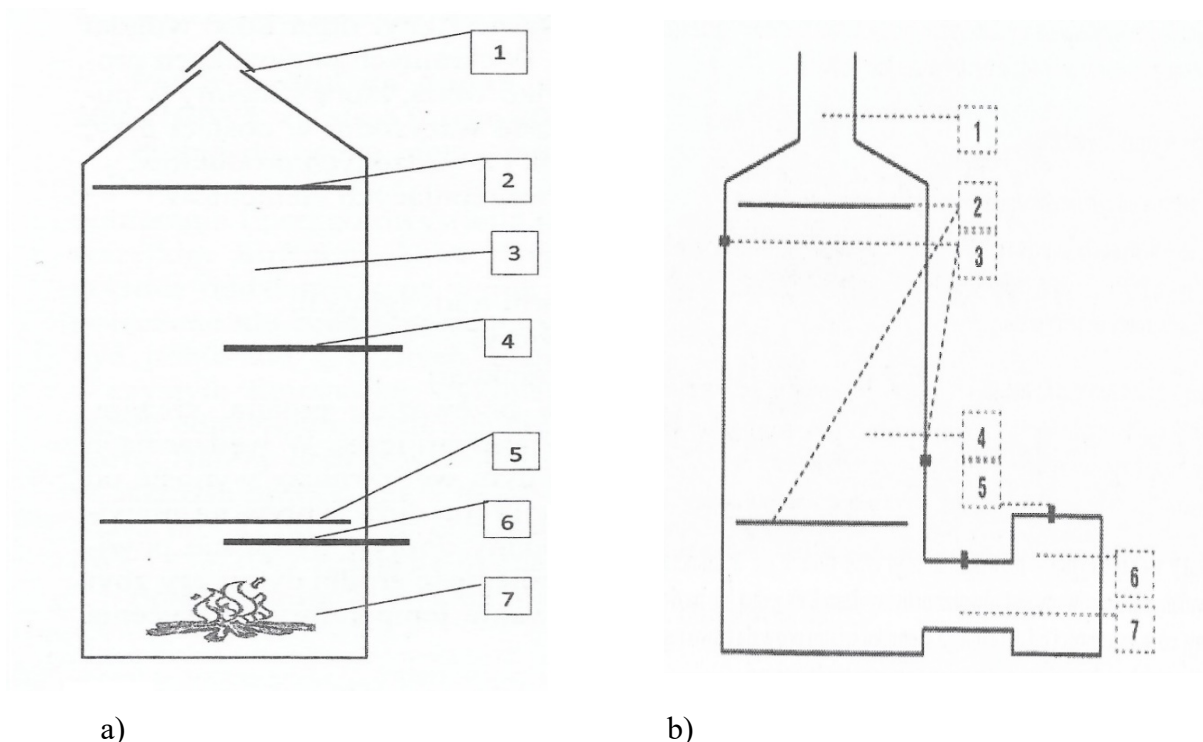
1.3 Rodzaje i budowa wędzarni

Ze względu na metody wędzenia wyrobu, wytwarzania dymu i dostarczania ciepła, wyróżniamy wędzarnie do wędzenia tradycyjnego oraz do wędzenia przemysłowego. Wędzarnie tradycyjne to takie, w których dym i ciepło wytwarzane jest poprzez spalanie kawałków drewna. Natomiast w wędzarniach przemysłowych do wytwarzania dymu stosuje się metody: cierną, parową, fluidalną oraz żarową [49], a ogrzewanie produktu odbywa się za pomocą ciepła otrzymanego z innego źródła niż drewno. Ciepło powstaje na skutek spalanie paliwa (gaz, olej, ropa) w specjalnych palnikach lub za pomocą grzałek elektrycznych i wymuszonym obiegiem wtłaczane jest do komory wędzarniczej. Dlatego występuje bardzo dużo rodzajów wędzarni różniących się pod względem budowy komory oraz pod względem wytwarzania dymu i metod otrzymywania ciepła.

1.3.1 Wędzarnie tradycyjne

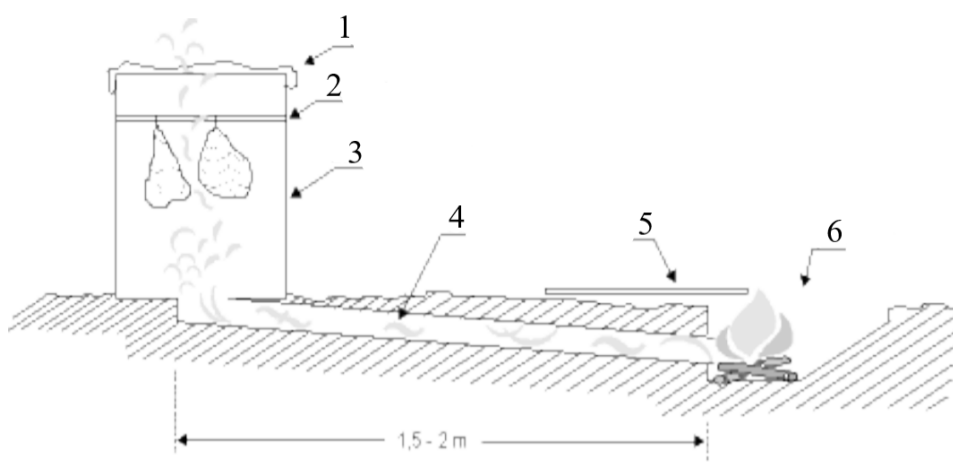
Wędzarnie do wędzenia tradycyjnego, mogą być zbudowane z różnego rodzaju materiałów, począwszy od drewna poprzez cegły, betony i stal. Tak samo istnieje też kilka typów wędzarni tradycyjnych, ze względu na konstrukcję i umiejscowienie paleniska wobec komory wędzarniczej. Wyróżniamy wędzarnie z paleniskiem umiejscowionym bezpośrednio pod wędzonym produktem (rys. 8a). Jest to jeden z najprostszych i najtańszych rodzajów wędzarni, ale jednocześnie najtrudniejszy w spełnieniu wymagań dotyczących poziomu WWA, czyli utrzymania prawidłowej pirolizy drewna. Produkt poddawany procesowi wędzenia powinien być umiejscowiony na odpowiedniej wysokości

od paleniska w komorze wędzarniczej – 3 (rys. 8a). Możliwe jest również zastosowanie deflektora dolnego – 5 (rys. 8a), który będzie miał za zadanie oddzielać zanieczyszczenia stałe od dymu dostającego się do komory wędzarniczej oraz korzystne jest również na stropie wędzarni zastosować kolejny deflektor – 2 (rys.8a), a w kominie wylotowym szyber – 1 (rys.8a) w celu regulacji ilości dymu i ciepła w komorze wędzarniczej. W celu kontroli temperatury w komorze wędzarniczej umieszcza się termometr, który wskazuje temperaturę wędzenia. Nad paleniskiem jest umiejscowiony pirometr – 5 (rys.8b), czyli termometr przystosowany do pomiaru temperatury spalania drewna. Za pomocą pirometru odczytujemy temperaturę jaka występuje podczas spalania drewna. Dzięki temu możemy śledzić temperaturę pirolizy drewna i sterować nią poprzez regulowanie dopływu powietrza do paleniska.



Rys. 8 Schemat wędzarni: a) z paleniskiem bezpośrednim, 1 – komin wylotowy, 2 – deflektor górny, 3 – komora wędzarnicza, 4 – czujnik temperatury w komorze, 5 – deflektor dolny, 6 – czujnik temperatury w palenisku, 7 – palenisko, b) z paleniskiem pośrednim, 1 – komin wylotowy, 2 – deflektory, 3 – czujniki temperatury w komorze, 4 – komora wędzarnicza, 5 – czujnik temperatury w palenisku, 6 – palenisko, 7 – kanał dymny [opracowanie własne]

Innym rozwiązaniem, które wydaje się być najbardziej optymalnym, jest budowa komory wędzarniczej z paleniskiem obok komory tzw. paleniskiem pośrednim (bocznym). Jednym z pierwszych przykładów tego typu wędzarni są bardzo prymitywne wędzarnie wykonane z beczki, w których palenisko umieszczone z boku komory (zwykle wykonane w zagłębieniu ziemi lub obłożone cegłą) połączone jest za pomocą rury lub kamiennej rynny wkopanej w ziemi (rys. 9).



Rys. 9 Przykład wędzarni z paleniskiem pośrednim, 1 – przykrycie beczki, 2 – kij wędzarniczy z produktem, 3 – beczka lub skrzynia, 4 – rura, kanał dymny, 5 – przykrycie paleniska, 6 – palenisko [opracowanie własne]

Bardziej zaawansowaną konstrukcją jest budynek wędzarni murowany lub drewniany. Przykładem takiej wędzarni jest wędzarnia dworska w Szczorsach (obecna Białoruś) powstała w XVIII wieku. Na zdjęciu (rys. 10) widzimy wędzarnie w kształcie baszty, krytą gontem. Jest ona zachowana do dziś. Nazwana przez poetę Adama Mickiewicza „mlaskówką” ze względu na pyszne wędzonki [51]. Podstawa jest murowana z cegły w kształcie koła, z widocznymi zarysami zamurowanych okien. Powyżej murów są drewniane zwężające się ku górze ściany z otworami w kształcie fal i spadzisty dach pokryty gontem. Produkty wędzono w niej przeważnie dymem zimnym. Tego typu wędzarnia spełniała też rolę przechowalni, gdyż uwędzone mięso trafiało na wyższe kondygnacje, a jego miejsce zajmowało świeże i w taki sposób było cały czas konserwowane i zabezpieczane przed szkodnikami. Obecne wędzarnie są mniejszych rozmiarów, gdyż nie ma potrzeby by spełniały one również funkcję przechowalnicze. Mogą być wolnostojące lub umieszczone w budynku. Palenisko w takiej wędzarni jest oddalone

od komory w odległości 700-1400 mm, odległość ta liczona powinna być od środka paleniska do środka komory (rys. 8b). Istotne jest dobre izolowanie kanału dymnego, które



zwiększa sprawność wędzarni, powodując mniejsze straty ciepła oraz niższą zawartość WWA w komorze, a tym samym i w produkcie. Przyjmuje się, że minimalna wartość izolatora umieszczonego wokół kanału dymnego to ok 70 mm. Pomiędzy paleniskiem a komorą wędzarniczą jest zamontowany szyber, służący do regulowania ilości dymu i ciepła doprowadzanego do komory. Wlot dymu do komory jak również wylot do komina jest ograniczony deflektorem, w celu wstępnego oczyszczania dymu. W kominie również znajduje się szyber, który zapewni regulację odpływu dymu i utrzymywanie temperatury w komorze [49][73].

Rys. 10 Wędzarnia dworska w Szczorsach [51]

1.3.2 Wędzarnie przemysłowe

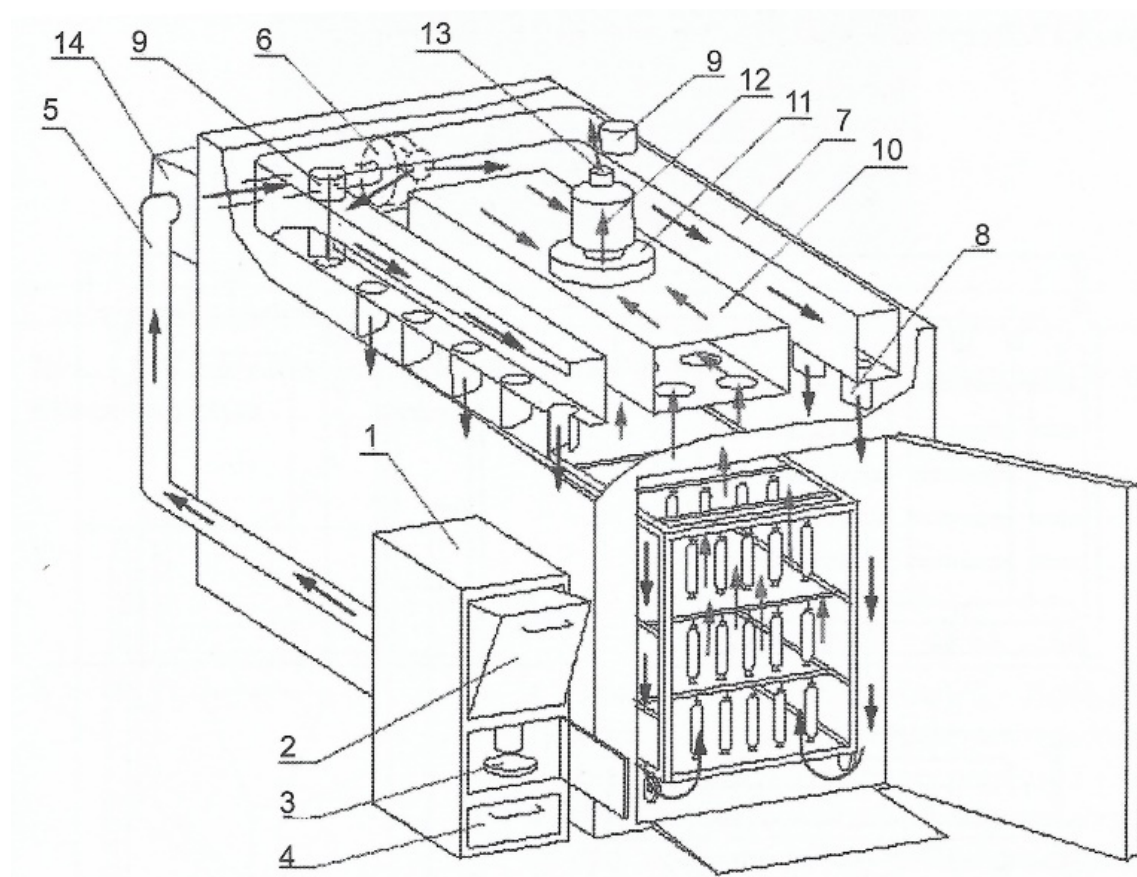
Postęp techniczny oraz chęć automatyzacji i korzyści ekonomicznych doprowadziły do opracowania urządzeń wędzarniczych, w których można utrzymywać zadane parametry procesu takie jak temperatura, wilgotność, czas i sterować poszczególnymi etapami podczas procesu wędzenia. Wędzarnie przemysłowe, ze względu na budowę i cykl wędzarnicze, można podzielić na komorowe oraz o ruchu ciągłym. Ze względu na warunki oddziaływania dymu na surowce, wędzarnie komorowe dzielimy na owiewowe, elektrostatyczne i takie, w których stosuje się preparaty dymu wędzarniczego [55]. Do najczęściej stosowanych należą wędzarnie owiewowe, czyli takie w których ruch strumienia dymu występuje względem powierzchni surowców. Najprostszym przykładem takiej wędzarni jest szafa wędzarnicza, w której ruch wymuszany jest poprzez zjawisko

konwekcji naturalnej. Jednak ze względu na małą możliwość regulacji parametrów dymu, urządzenia tego typu nie nadają się do racjonalnego i ekonomicznego prowadzenia przemysłowego procesu wędzenia. Znacznie wydajniejszą i nowocześniejszą odmianą wędzarni komorowej, z wysoką możliwością regulacji parametrów procesu, jest komora wędzarniczo-parzelnicza typu Atmos (rys. 11) [49]. Surowiec zawieszony na kijach wędzarniczych umieszczany jest na wózku lub ramkach i może być nieruchomy lub przesuwany okresowo bądź ciągle za pomocą posiadanego napędu. Czynniki, które w procesie wędzenia odpowiadają za osiągnięte cechy sensoryczne: temperatura, wilgotność, gęstość, natężenie i prędkość przepływu dymu oraz powietrza, można sterować i sprawować nad nimi ciągłą kontrolę co zapewnia powtarzalność cech jakościowych produktu gotowego [56].

Źródłem ciepła w takiej komorze są nagrzewnice elektryczne lub palnik gazowy bądź olejowy. Nagrzane powietrze bądź dym jest wtłaczany do komory za pomocą dysz z dużą prędkością, dzięki czemu w komorze powstaje silna turbulencja powietrza sprzyjająca procesowi przenoszenia ciepła. Powoduje to znaczne przyspieszenie obsychania powierzchni surowca, przy zachowaniu prawidłowej wilgotności w komorze. Wadliwie dobrana wilgotność może spowodować silniejszą kontaminację składników dymu czego efektem mogą być wady jakościowe i zdrowotne produktu. Zbyt wysoka wilgotność dymu może powodować kumulację związków fenolowych oraz WWA na powierzchni wędzonych surowców. Z dotychczas przeprowadzonych analiz poziomu zanieczyszczeń WWA w wyrobach mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia można dowiedzieć się, że wędzenie w wędzarniach przemysłowych nie zawsze zapewnia bezpieczeństwo przed powstawaniem i absorpcją WWA do wędzonych produktów [57]. Jednak badania nad modyfikacjami konstrukcji dysz zasilających w komorach wędzarniczo-parzelniczych sprawiły, że wędzenie w takich komorach stało się bezpieczne pod względem zawartości WWA, nie oznacza to jednak, że w produkt wędzonym taką metodą pozbawiony jest całkowicie obecności związków WWA [52].

Innym rodzajem wędzenia przemysłowego jest wędzenie elektrostatyczne, czyli w polu elektrycznym. Polega ono na wywołaniu różnicy potencjałów między wędzonym produktem umieszczonym na elektrodzie dodatniej a zjonizowanymi cząstkami dymu wędzarniczego o ładunku ujemnym wynoszącym ok. 40 kV. Po nadaniu ruchu, zjonizowane cząsteczki dymu, kierują się w stronę elektrody, do której podwieszony jest produkt wędzony. W ten sposób związki zawarte w dymie osiadają na powierzchni produktu nadając mu cechy produktu wędzonego. Efektywność procesu wędzenia

elektrostatycznego zależy od różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami, odległości pomiędzy nimi, gęstości dymu i jego prędkości przepływu przez strefę jonizacji, temperatury oraz czasu trwania procesu [49].



Rys. 11 Schemat komory wędzarniczo-parzelniczej typu Atmos, 1 – generator żarowy, 2 – zasobnik trocin, 3 – płyta złoża trocin, 4 – popielnik, 5 – przewód doprowadzający dym do komory, 6 – wentylator tłoczący dym do komory, 7 – kanał dymowy, 8 – dysze, 9 – zawory sterujące przepływem dymu, 10 – kolektor wylotowy dymu, 11 – wentylator wyciągowy, 12 – dopalacz gazów, 13 – przewód kominowy odprowadzający dym na zewnątrz, 14 – nagrzewnica (palnik) dymu [49]

Procesem pozwalającym określić skład i ilość produktów termicznego rozkładu drewna jest wędzenie przy użyciu preparatów dymu wędzarniczego. Nadają one produktom podobne cechy jak dym wędzarniczy, wykazując właściwości barwiące, aromatyzujące, bakteriobójcze i antyoksydacyjne. Wytwarzanie preparatów dymu wędzarniczego umożliwia ingerencję w skład takich produktów. Pozwala uzyskać preparaty dymu wędzarniczego bez udziału szkodliwych substancji smolistych zawierających wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Daje możliwość nadania preparatom różnych aromatów dymnych o różnej kondensacji oraz wzbogacania o niektóre

składniki mineralne. Preparaty dymu wędzarniczego mogą być stosowane poprzez: atomizację, czyli rozpylanie w komorze wędzarniczej, natryskiwanie, zanurzanie produktów, dodatek do mieszanek pekujących lub bezpośrednio do farszu, odparowanie płynnego dymu na gorących powierzchniach komory wędzarniczej oraz powlekanie wewnętrznych powierzchni sztucznych osłonek przetworów mięsnych. Proces atomizacji polega na jednoczesnym podawaniu pod ciśnieniem ok 0,4-0,6 MPa do komory wędzarniczej mieszaniny powietrza i płynnego dymu. W komorze tworzy się chmura aerozolu, którego cząstki osiadają na powierzchni wędzonego produktu i dyfundują do jego wewnętrznych warstw. Proces natrysku następuje tuż po procesie podsuszania i przeprowadza się w szczelnie zamkniętych komorach wędzarniczych bez cyrkulacji powietrza. W metodzie tej produkt ma większy kontakt z preparatem dymu wędzarniczego, niż z dymem podczas wędzenia. Dużo też odbiega jakość takich wyrobów, od wyrobów wędzonych tradycyjnie. Uznawane są one za wyroby przemysłowe, sztucznie malowane. Głównie tej metodzie poddaje się wyroby wysokowydajne i o wysokiej zawartości tłuszczu [9][10][49].

2. CEL, HIPOTEZY I ZAKRES BADAŃ

2.1 Cel badań

Spożycie mięsa i wyrobów mięsnych w Polsce w ostatnich latach wzrosło. W 2010 roku spożycie mięsa wynosiło średnio na jednego mieszkańca 69,9 kg, w 2021 roku 70,5 kg, a w 2022 roku 73,4 i jest to najwyższe średnie spożycie mięsa w ostatnich 70 latach. Wśród spożywanych gatunków mięs najczęściej spożywa się wieprzowiny, następnie drobiu i wołowiny. Średnie spożycie mięsnych produktów wędzonych w Polsce na jednego mieszkańca w 2021 roku wynosiło 24,12 kg w ciągu roku. Spożycie wędzonych ryb i serów wynosiło średnio 7,5 kg na jednego mieszkańca w ciągu roku [93]. Jak wynika z sondażu CBOS przeprowadzonego na początku 2020 roku, 80 % Polaków jest przekonana, że odżywia się zdrowo lub bardzo zdrowo, 17 % badanych deklaruje, że ich dieta jest niezdrowa, a 3 % respondentów nie potrafi tego jednoznacznie określić. Przekonanie o zdrowej diecie zależy od oceny własnych warunków materialnych - badani, którzy uważają je za złe, znacznie rzadziej zdrowo się odżywiają niż ci, którzy oceniają je jako dobre. Można przypuszczać, że niezależnie od tego, co konkretnie jedzą Polacy, w większości są przekonani, że jest to zdrowe.

Produkty tradycyjne, których jakość lub wyjątkowe cechy i właściwości wynikają ze stosowania tradycyjnych metod produkcji, stanowią element dziedzictwa kulturowego regionu, w którym są wytwarzane, oraz są elementem tożsamości lokalnej społeczności. Za tradycyjne metody produkcji uważa się metody wykorzystywane co najmniej od 25 lat [122]. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 grudnia 2014 roku [102] definiuje produkty wędzone tradycyjne jako produkty wędzone bez udziału środków aromatyzujących dymu wędzarniczego, a źródłem ciepła i dymu jest spalane drewno [75].

Obecnie konsumenci coraz częściej wybierają tzw. zdrową żywność, mniej przetworzoną lub przetworzoną w jak najmniejszym stopniu. Zwracają uwagę na skład i dodatki chemiczne oraz na rodzaj wykonywanych procesów. Produkty tradycyjne znajdują uznanie wśród 78 % badanych konsumentów [112]. W związku z tym konsumenci częściej decydują się na zakup wędlin tradycyjnych lub sami podejmują się produkcji wędlin domowym sposobem. Jednak duża część produktów, głównie mięso i produkty mięsne wędzone, wędzone sery i ryby zanieczyszczona jest wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. W przypadku wyrobów mięsnych wędzonych metodami tradycyjnymi ilość zanieczyszczeń WWA uwarunkowana jest od gatunku i wilgotności drewna, temperatury spalania, ilość dymu przepływającego przez komorę, czasu i sposobu

wędzenia a także od budowy wędzarni [74]. W produkcji wyrobów mięsnych tradycyjnych, jednym z czynników decydujących o bezpieczeństwie zdrowotnym jest zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, które powstają w trakcie procesu wędzenia [115]. Raport opublikowany przez EFSA wskazuje zanieczyszczenia wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi żywności w 17 krajach członkowskich Unii Europejskiej. Z ponad 1,5 tys. przebadanych próbek mięs i produktów mięsnych wędzonych, 2,8 % stanowiły produkty, w których zawartość benzo[a]pirenu przekroczyła 5 µg/kg, powyżej 2 µg/kg przekroczyło ponad 5 % produktów mięsnych. Podobny procent zanieczyszczeń WWA stanowiły ryby i produkty rybne wędzone.

Celem pracy była optymalizacji procesu wędzenia tradycyjnego poprzez opracowanie innowacyjnej wędzarni o konstrukcji, która zapewni mniejszą emisyjność niekorzystnych związków do produktu i środowiska, przy zachowaniu pożądanych cech tradycyjnych produktów mięsnych i bezpieczeństwa zdrowotnego.

Nowa wędzarnia umożliwi wyodrębnienie etapów procesu wędzenia i prowadzenie ich w taki sposób, aby zapewnić bezpieczeństwo zdrowotne produktom wędzonym poprzez obniżenie poziomu szkodliwych dla zdrowia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Jednocześnie zachowa istotę wędzenia tradycyjnego, którego cechami są specyficzny, pożądany, smak, zapach i wygląd produktów wędzonych tradycyjnie. Zaprojektowanie i wykonanie wędzarni, ma również na celu zoptymalizowanie procesu wędzenia pod względem ochrony środowiska poprzez obniżenie emisji zanieczyszczeń związanych ze spalaniem drewna do środowiska. Pod względem ekonomicznym zastosowana konstrukcja umożliwi skrócenie czasu wędzenia oraz ilość zużywanego drewna, co przekłada się na obniżenie kosztów produkcji wyrobów tradycyjnie wędzonych.

2.2 Hipotezy badawcze

Do zrealizowania założonego celu badawczego sformułowano następujące hipotezy:

1. Wędzenie tradycyjne w innowacyjnej wędzarni zapewnia bezpieczeństwo zdrowotne wędzonych produktów żywnościowych w zakresie ustawowo dopuszczalnej zawartości WWA.
2. Produkty wędzone w wędzarni innowacyjnej spełniają wymagania jakościowe, sensoryczne, fizykochemiczne i mikrobiologiczne dla produktów tradycyjnie wędzonych.

3. Wędzenie w innowacyjnej wędzarni zmniejsza koszty energetyczne procesu oraz obniża poziom zanieczyszczenia środowiska ubocznymi produktami spalania drewna.

2.3 Zakres badań

Zakres badań został zrealizowany w trzech etapach:

Etap 1

Opracowanie założeń do projektu i wykonanie wędzarni innowacyjnej do tradycyjnego wędzenia

Etap 2

Badania modelowe procesu wędzenia w typowej wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej z oceną wpływu na środowisko oraz oceną zastosowanych rozwiązań na cechy fizykochemiczne, jakość sensoryczną, mikrobiologiczną oraz zawartość WWA w produktach wędzonych.

Etap 3

Badania przemysłowe z zastosowaniem wędzarni innowacyjnej w produkcji wyrobów tradycyjnych oraz ocena jakości sensorycznej, mikrobiologicznej i bezpieczeństwa zdrowotnego wyrobu gotowego.

Etap pierwszy obejmował zaprojektowanie i wykonanie innowacyjnej wędzarni do wędzenia tradycyjnego. Założenia do projektu oparte zostały o wiedzę i praktyczne doświadczenie autora w zakresie wędzenia tradycyjnego oraz dostępnych danych literaturowych obejmujących między innymi czynniki wpływające na tworzenie się wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Przeprowadzono również badanie stanu techniki w zakresie analizy obecnej wiedzy w dziedzinie wędzarnictwa, w kontekście istniejących rozwiązań, technologii, projektów wędzarni i opublikowanych wyników badań naukowych.

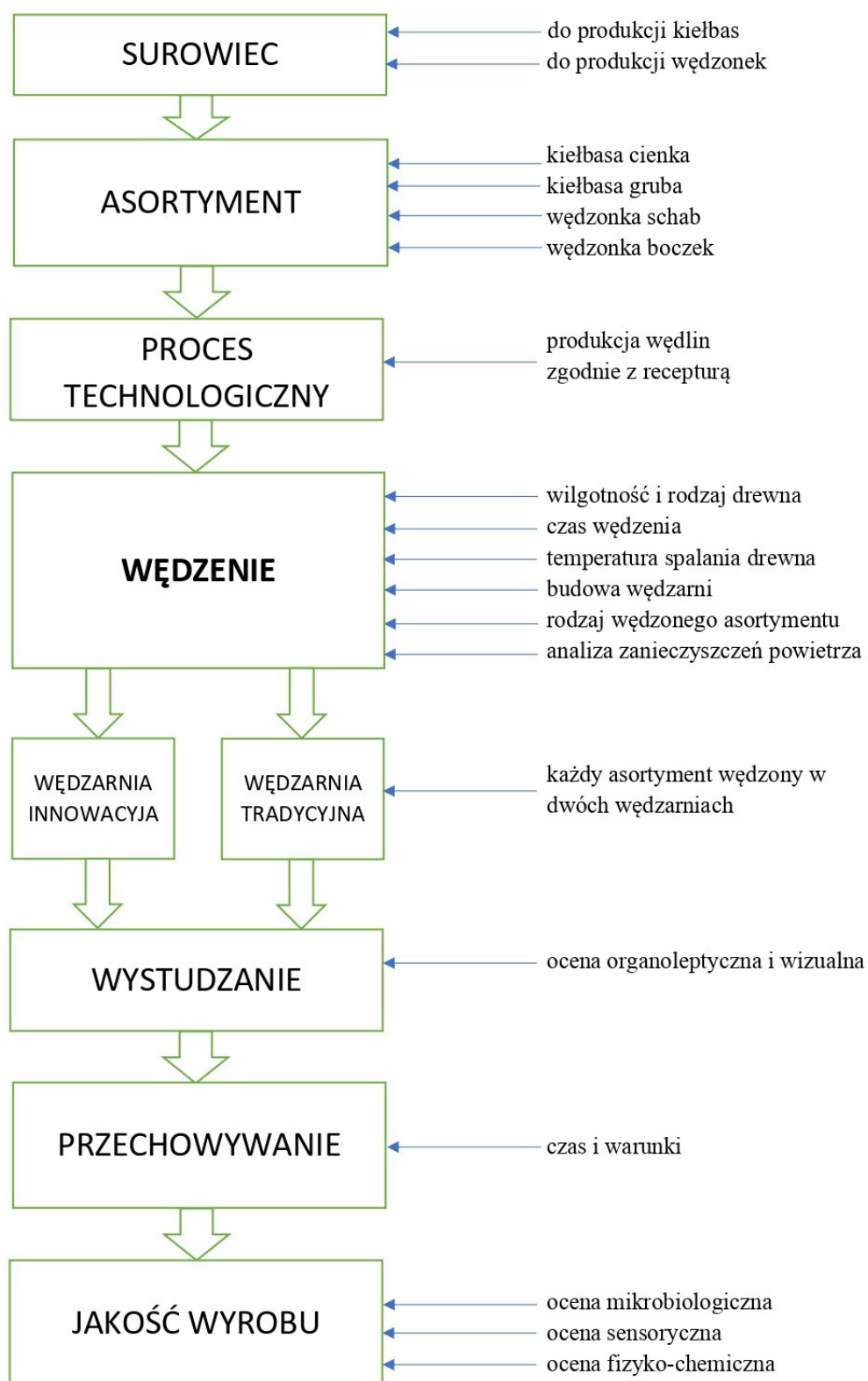
W drugim etapie pracy przeprowadzano proces wędzenia w wykonanej wędzarni innowacyjnej oraz w typowej wędzarni tradycyjnej. Przeprowadzano szereg procesów technologicznych oraz porównywano jakość produktów wyprodukowanych w zaprojektowanej wędzarni innowacyjnej z produktami otrzymanymi z klasycznej wędzarni tradycyjnej. Skupiono się na porównaniu wyników procesu wędzenia wybranych

produktów mięsnych w innowacyjnej wędzarni oraz w klasycznej wędzarni tradycyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka. Przed przystąpieniem do procesu wędzenia w obu wędzarniach, sprawdzono jakość użytego drewna poprzez ocenę wizualną oraz pomiar wilgotności. Zmierzono zużycie drewna w trakcie procesów technologicznych w badanych wędzarniach. Monitorowano parametry temperatury podczas procesów wędzenia oraz wpływ procesu wędzenia w różnych wędzarniach na jakość powietrza i środowisko. Dokonano oceny jakościowej badanych produktów. Sprawdzono poziom czterech głównych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych benzo[a]antracenu, benzo[b]flourantenu, chryzenu i benzo[a]pirenu oraz zbadano cechy fizyko-chemiczne produktów takie jak podstawowy skład chemiczny, kwasowość i potencjał oksydacyjno-redukcyjny. Przeprowadzono szeroką ocenę sensoryczną ukierunkowaną na profil smakowo-zapachowy wędzonych produktów. Wykonano analizy mikrobiologiczne na obecność ogólnej liczby drobnoustrojów oraz bakterii chorobotwórczych po procesie produkcyjnym i w trakcie przechowywania produktów. Z otrzymanych wyników wykonano analizę statystyczną i wyciągnięto wnioski z osiągniętych rezultatów. Zakresem badań było również porównanie budowy dwóch wędzarni: klasycznej wędzarni tradycyjnej oraz innowacyjnej wędzarni do tradycyjnego wędzenia. Budowa i zasada działania oraz różnice pomiędzy wędzarniami omówiono w rozdziale 4.1. Schemat badań modelowych (etap drugi pracy), począwszy od doboru surowca po ocenę jakościową produktu obrazuje rys. 12. Schemat przedstawia poszczególne etapy produkcyjne oraz procesy zachodzące na poszczególnych jego etapach.

Trzeci etap badań miał na celu sprawdzenie skuteczności działania innowacyjnej wędzarni w produkcji przemysłowej wybranych produktów, które są w stałej produkcji i występują w ciągłej sprzedaży w Zakładzie Mięsnym Jasiołka w Dukli. Badania przeprowadzono dla dwóch partii wybranych produktów wytworzonych w odstępach rocznych, tak aby móc ocenić również powtarzalność jakości wyrobów. Pierwszą partię wytworzono po roku pracy od momentu wdrożenia wędzarni innowacyjnej w zakładzie i oznaczono symbolem I, drugą po dwóch latach pracy wędzarni, oznaczoną symbolem II. W partiach wytworzonych produktów badano te same cechy fizykochemiczne, mikrobiologiczne oraz sensoryczne, co w badaniach modelowym (etap drugi pracy).

Wybrano 8 losowych asortymentów, które są produktami wędzonymi i reprezentują one różne grupy technologiczne tj.: wędzonki (Wędzonka Dukielska Szynka, Wędzonka Dukielska Schab, Wędzonka Dukielska Boczek), kielbasy grube (Kielbasa Szynekowa,

Kiełbasa Sucha Dukielska), kiełbasy cienkie (Kiełbasa Domowa, Kiełbasa Krucha) i kiełbasy w jelitach baranich (Kabanos Dukielski).



Rys. 12 Schemat prowadzonych badań modelowych (etap drugi pracy)

3. MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

3.1 Materiał użyty do badań

3.1.1 Surowiec mięsny

Surowcem użytym do badań było mięso wieprzowe pochodzące od świń rasy biała zwisłoucha, wielka biała polska. Waga przyżyciowa żywca przeznaczonego do uboju wynosiła od 130 kg do 150 kg. Surowiec mięsny schłodzony do temp poniżej 4 °C, był dostarczany w formie półtuszy do Zakładu Mięsnego Jasiołka w Dukli. Następnie dokonano rozbioru na elementy podstawowe oraz mięsa drobne odpowiedniej klasy, które w dalszej kolejności przekazywane były do produkcji prób badawczych i kontrolnych. Z przekazanych surowców pobierano próby do badania jakości fizyko-chemicznej surowca.

3.1.2 Produkty mięsne

Badania (etap drugi) przeprowadzono na dwóch rodzajach kiełbas i dwóch rodzajach wędzonek produkowanych w Zakładzie Mięsnym Jasiołka w Dukli. Skład wyrobów opierał się na recepturach stosowanych w zakładzie. Procentowy udział poszczególnych składników przedstawiono w tabeli 6. Kiełbasy zróżnicowano pod względem zawartości tłuszczu i średnicy batonu. Wybrano kiełbasę cieką (KC) o średnicy ok. 28mm, długości ok. 350 mm i o zawartości tłuszczu około 25 % oraz kiełbasę grubą (KG) o średnicy ok. 50 mm, długości ok. 400 mm i zawartości tłuszczu poniżej 11 %. Do produkcji kiełbasy cienkiej użyto jelit naturalnych wieprzowych kaliber 26-28 mm. Kiełbasa gruba nadziewana była w jelita białkowe (niejadalne) o średnicy 55 mm.

Tab. 6 Procentowy udział składników w badanych kiełbasach

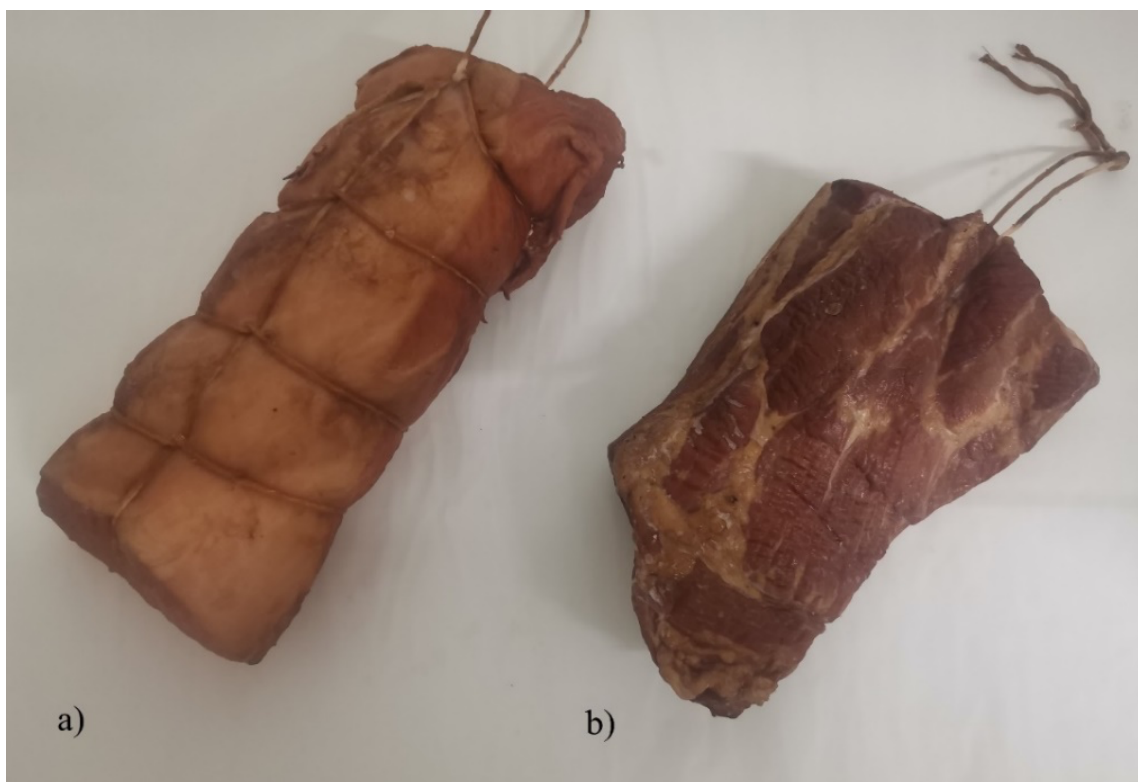
Użyte surowce	Kiełbasa cienka (KC) %	Kiełbasa gruba (KG) %
Wieprzowina klasy I	-	62
Wieprzowina klasy II A	43,5	14,5
Wieprzowina klasy II B	43,5	14,5
Sól	1,3	-
Pekłosól	-	1,4
Przyprawy	0,7	0,9
Woda	11	6,7

Wędzonki również zostały zróżnicowane pod względem zawartości tłuszczu i do badań wybrano schab (SW), który charakteryzował się zawartością tłuszczu poniżej 5 % oraz

boczek (BW), który charakteryzował się zawartością tłuszczu powyżej 20 %. Schab posiadał wagę ok 0,7-0,8 kg i wymiary ok. 300 mm długości, 110 mm szerokości oraz 50 mm wysokości, wygląd zbliżony do spłaszczonego walca. Boczek ważył ok. 0,5-0,6 kg, kształt zbliżony do prostokąta o wymiarach ok. 250 mm długości, 150 mm szerokości i 30 mm wysokości. Farsze do kielbas zostały przygotowane z jednych surowców i podzielone zostały na dwie jednakowe części o wadze ok 50 kg dla każdego wariantu badawczego. Wygląd, kształt i wielkość badanych produktów przedstawiono na rys. 13 i rys. 14.



Rys. 13 Badane produkty a) kielbasa cienka, b) kielbasa gruba



Rys. 14 Badane produkty a) schab wędzony b) boczek wędzony

W badaniach przemysłowych (etap trzeci) użyto produkty, które są w stałej produkcji Zakładu Mięsnego Jasiołka w Dukli. Wybrano następujące produkty: Kiełbasę Szynkową, Wędzonkę Dukielską Szynkę, Wędzonkę Dukielską Schab, Wędzonkę Dukielską Boczek, Kabanosa Dukielskiego, Kiełbasę Suchą Dukielską, Kiełbasę Kruchą oraz Kiełbasę Domową. Badania przeprowadzono na dwóch partiach wymienionych wyrobów. Pierwszą partię (I) wytworzono po roku od wdrożenia wędzarni innowacyjnej do zakładu, drugą partię (II) wytworzono po dwóch latach pracy wędzarni innowacyjnej w zakładzie. Charakterystykę wybranych produktów do badań przedstawiono poniżej.

Kiełbasa Szynkowa - jest to kiełbasa gruba o średnicy batonu ok. 55 mm, grubo rozdrobniona, wędzona i parzona. Kiełbasa składa się głównie z mięsa wieprzowego z szynki, klasy I (90 %), oraz mięsa wieprzowego klasy II A (10 %) . Farsz nadziewany w osłonki białkowe, niejadalne.

Wędzonka Dukielska Szynka - należy do grupy technologicznej wędzonki, jest to pojedynczy mięsień szynki wieprzowej, peklowany zalewowo. Po zawiązaniu i powieszeniu na kijach wędzarniczych jest ona umieszczana w wędzarni i wędzona a następnie pieczona do temperatury 72°C wewnątrz produktu.

Wędzonka Dukielska Schab - należy do grupy technologicznej wędzonki, jest to mięsień najdłuższy grzbietu tuszy wieprzowej, peklowany zalewowo. Po zawiązaniu i powieszeniu na kijach wędzarniczych jest on umieszczany w wędzarni i wędzony a następnie pieczony do temperatury 72°C wewnątrz produktu.

Wędzonka Dukielska Boczek - należy do grupy technologicznej wędzonki, jest to element części brzusznej tuszy wieprzowej, bez pachwiny, peklowany zalewowo. Po zawiązaniu i powieszeniu na kijach wędzarniczych jest on umieszczany w wędzarni i wędzony a następnie pieczony do temperatury 72°C wewnątrz produktu.

Kabanos Dukielski - to kielbasa wieprzowa, średnio rozdrobniona w naturalnej osłonce baraniej. Po wymieszaniu farszu i nadzianiu nim naturalnych jelit wieprzowych następuje wędzenie do uzyskania 72°C w środku produktu a następnie suszenie przez 12 godzin w wolnym przepływie dymu.

Kielbasa Sucha Dukielska - jest to kielbasa grubo rozdrobniona w jelicie niejadalnym o średnicy 45 mm. Jest kielbasą chudą, o niskiej zawartości tłuszczu. Po wymieszaniu farszu i napełnieniu osłonek następuje wędzenie do uzyskania 72°C wewnątrz produktu, a następnie kielbasa jest poddawana suszeniu przez ok. 12 godzin w wolnym przepływie dymu.

Kielbasa Krucha - zaliczana do kielbas cienkich o średnicy batonu ok. 30 mm, jest średnio rozdrobniona w naturalny jelicie wieprzowym. Wędzona do osiągnięcia 72°C wewnątrz produktu.

Kielbasa Domowa - jest kielbasą cienką (średnica batonu ok. 30 mm) o dużej zawartości tłuszczu, średnio rozdrobniona w naturalny jelicie wieprzowym. Wędzona do osiągnięcia 72°C wewnątrz produktu.

3.1.3 Drewno do wędzenia

Drewno przeznaczone do badań procesu wędzenia pozyskano z drzew liściastych (buk). Drewno pochodziło z terenów Beskidu Niskiego z miejsca bez zabudowań. Od momentu ścięcia do użycia w procesie wędzenia drewno zostało poddane sezonowaniu przez okres jednego roku. Drewno do sezonowania przygotowano poprzez podzielenie na jednometrowe kawałki i ułożenie ich na stosie w przewiewnym, zadaszonym miejscu, co umożliwiło powolne wysychanie drewna. Następnie drewno pozbawione kory, pocięto na

mniejsze kawałki o długości ok. 35 cm piłą elektryczną tarczową i rozłupywano siekierą na mniejsze szczapy o zbliżonej wielkości (Rys. 15). Drewno przechowywano w zadaszonym składzie i na bieżąco dostarczano do pomieszczenia w którym znajdowały się paleniska wędzarni.



Rys. 15 Drewno użyte do wędzenia

3.2 Metody badań

3.2.1 Technologia produkcji

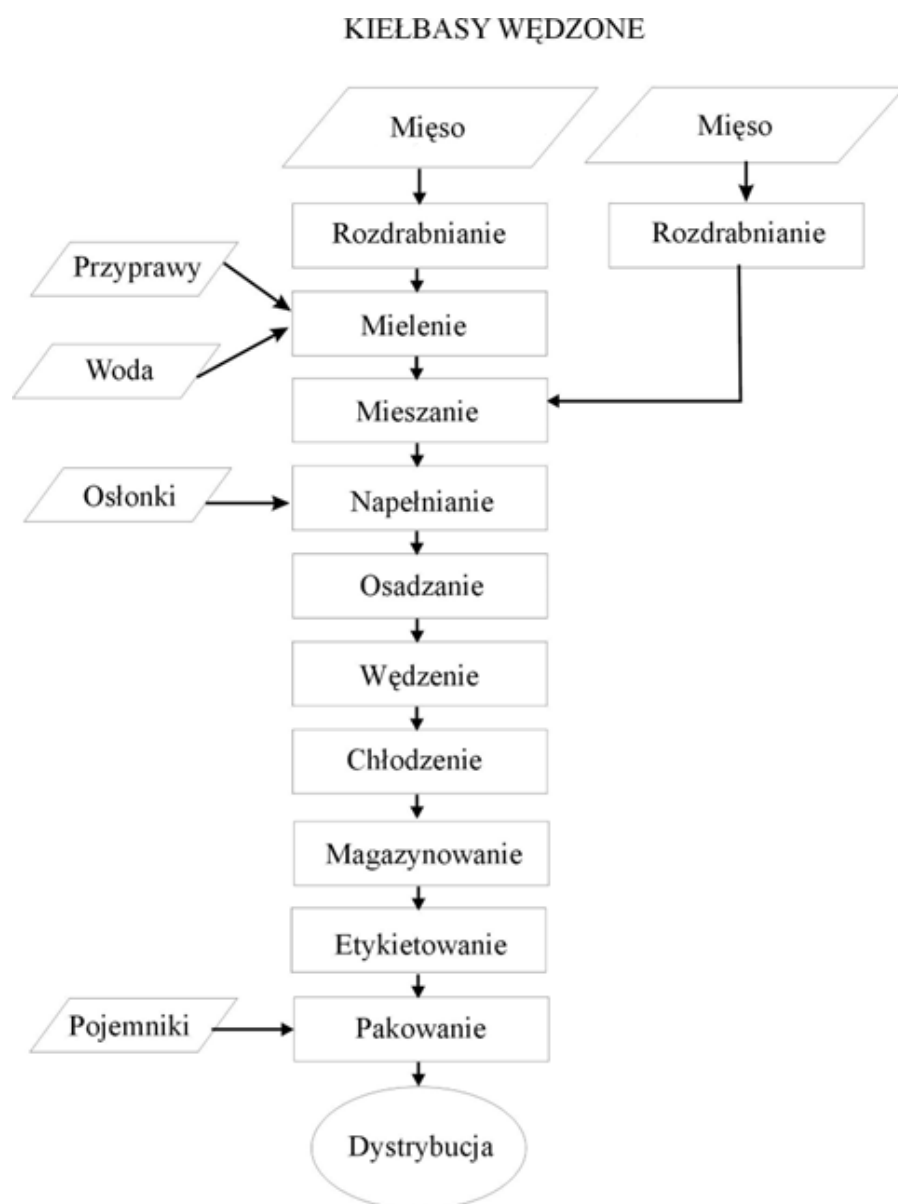
Zakład przed przystąpieniem do produkcji, został umyty i zdezynfekowany według procedur i instrukcji zawartych w księdze HACCP. W etapie drugim pracy proces produkcji kielbas rozpoczynała się od pobrania założonej ilości surowców mięsnych odpowiednich klas zgodnie z recepturą i ich przygotowaniu do procesu. Po rozdrobnieniu

surowców mięsnych i dodaniu przypraw farsz był mieszany mieszanką z mieszałem łopatkowym. Wsad surowcowy dla jednej partii wynosił 100 kg. Gotowy farsz dzielono na połowę, po 50 kg dla każdej z badanych wędzarni. Następnie farsz przekładano do nadziewarki tłokowej i nadziewano jelita: dla kielbasy cienkiej użyto jelita naturalne wieprzowe kaliber 26-28 mm, dla kielbasy grubej użyto jelita białkowe kaliber 55 mm. Kielbasy zostały rozłożone na kijach wędzarniczych w równych odstępach. Kije zostały umieszczone na dwóch jednakowej budowy wózkach wędzarniczych, po jednym wózka dla próby kontrolnej i badawczej. Kielbasy, każdy z wariantów w zależności od jego przeznaczenia umieszczono w wędzarni tradycyjnej i innowacyjnej.

Pierwszym etapem w technologii produkcji wędzonek było wykrojenia i sklasyfikowania poszczególnych mięśni wieprzowych i ich obróbce wstępnej. Masa elementów dla jednej partii wynosiła 100 kg i zostały one podzielone na połowę, po 50 kg dla każdego wariantu badawczego. Elementy, schab i boczek, były peklowane na mokro. Peklowanie polegało na zanurzeniu przygotowanych kawałków mięsa w marynacie (solance), w której rozpuszczono peklosól w ilości 2% wsadu całkowitego masy surowca. Proces peklowania trwał 5 dni, w tym czasie surowiec był poddawany dwukrotnemu masowaniu przy 15 obrotach na minutę, które trwało łącznie ok 1,5 godziny. Podczas leżakowania surowiec był całkowicie zanurzony w solance. Po peklowaniu, surowiec został poddany ociekaniu, następnie był formowany za pomocą przędzy wędliniarskiej. Półprodukty podzielono na dwie równe części, zawieszono na kijach wędzarniczych, po 6 szt., w równych odstępach. Kije zostały zawieszone na jednakowych wózkach wędzarniczych w identyczny sposób. Następnie wyroby przekazano do wędzenia, jedną część do wędzarni innowacyjnej a drugą do wędzarni tradycyjnej.

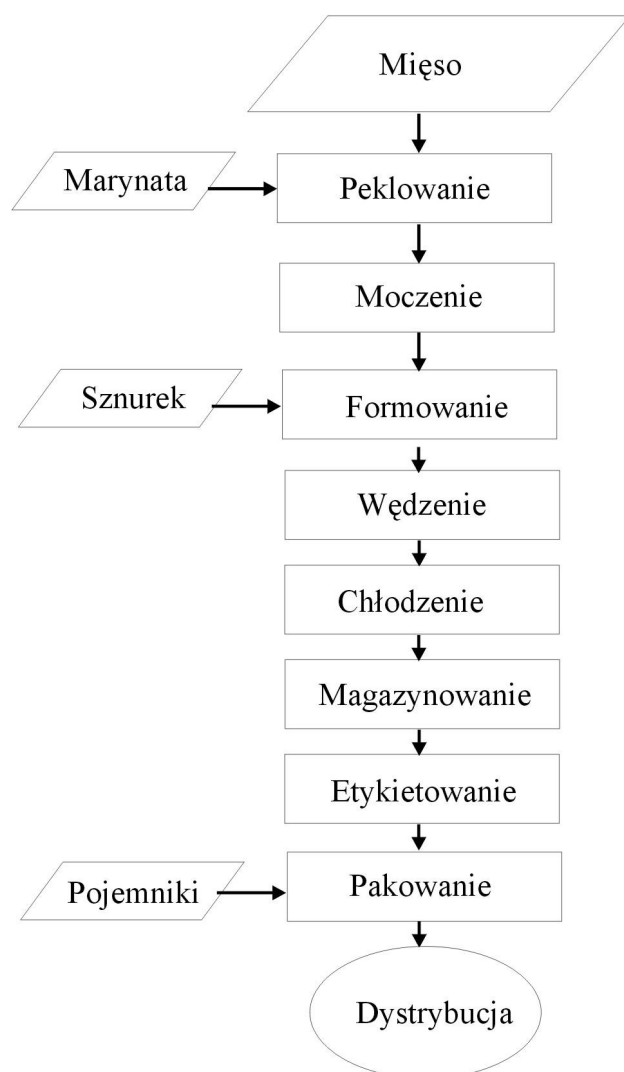
Proces wędzenia wyrobów rozpoczął się z chwilą wprowadzenia wózków do wcześniej nagrzanego wędzarni (produkty w wędzarni tradycyjnej oznaczono literą „T”, a w wędzarni innowacyjnej oznaczono literą „I”). Za koniec procesu wędzenia przyjęto osiągnięcie temperatury 72°C w centralnej części produktu, a barwa wędzonego produktu była jednakowa dla obu wariantów w ocenie wizualnej. Po zakończeniu procesu wózki wyciągnięto z wędzarni i pozostawiono do wystudzenia w temperaturze 12°C. Po wychłodzeniu zostały przetransportowane do chłodni o temperaturze 4°C, skąd pobierano próby do badań. Szczegółowe fazy procesów technologicznych produkcji kielbas i wędzonek przedstawiono na rys. 16 i rys. 17. W etapie drugim pracy (badania modelowe) wytworzono trzy modelowe partie wyrobów, które poddane zostały badaniom.

W etapie trzecim pracy, czyli w produkcji przemysłowej technologia produkcji była zbliżona do tej, którą wykorzystywano w przypadku produkcji wyrobów modelowych w etapie drugim pracy. Technologia opierała się na tych samych schematach produkcyjnych przedstawionych na rys. 16 i rys. 17. W etapie trzecim pracy, badaniach przemysłowych wytworzono dwie partie ośmiu wybranych wyrobów, w pierwszym i w drugim roku użytkowania wędzarni innowacyjnej, które zostały poddane badaniom. Schemat i sposób poboru prób do badań opisano w rozdziale 3.2.13.



Rys. 16 Schemat procesów technologicznych produkcji kielbasy cienkiej i kielbasy grubej

WĘDZONKI WĘDZONE



Rys. 17 Schemat procesów technologicznych produkcji boczków i schabów wędzonych

3.2.2 Pomiar temperatury

Do pomiaru temperatury w produktach użyto termometru DT-34 z sondą ST-01-1120 firmy Termoprodukt. W wędzarniach do pomiaru temperatury w komorze wędzarniczej użyto głowicowe czujniki temperatury AR-151 oraz w palenisku - głowicowe czujniki termoelektryczne (termopara) AR-154 firmy APAR. Poprawność działania czujników sprawdzano przy pomocy termometru wzorcowego DT-11 firmy Termoprodukt. Komora wędzarnicza tradycyjna oraz komora wędzarnicza innowacyjna zostały wyposażone w czujniki temperatury umiejscowione w identycznych miejscach w stosunku do surowca umieszczonego na wózku wędzarniczym dla każdej z wędzarni.

Czujniki zostały podłączone do rejestratora w celu ciągłego monitoringu temperatury podczas procesu wędzenia i obróbki cieplnej.

3.2.3 Pomiar wilgotności drewna

Do pomiaru wilgotności drewna użyto wilgotnościomierza firmy Tanel model HIT-3. Oznaczenie wilgotności wykonano poprzez lekkie uderzenie urządzeniem w kawałek szczapy drewna w poprzek jego włókien do zagłębienia się igieł w strukturze drewna. Następnie wynik odczytywano z ekranu urządzenia z dokładnością do 0,1 %. Wykonano po trzy powtórzenia dla kawałka drewna, bezpośrednio przed umieszczeniem szczap w palenisku wędzarni. Badania wykonywano dla drewna użytego do wszystkich procesów wędzarniczych wykonywanych w wędzarni innowacyjnej i w wędzarni tradycyjnej.

3.2.4 Pomiar masy

Pomiar masy dokonywano na legalizowanej wadze firmy Rad-Wag o nośności do 150 kg i dokładności 10 g. Przed przystąpieniem do pomiarów wagę sprawdzano odważnikiem kontrolnym. Pomiary masy stosowano podczas przygotowywania surowców do produkcji oraz w celu sprawdzenia zużycia drewna do wędzenia w wędzarni innowacyjnej i w wędzarni tradycyjnej.

3.2.5 Pomiar czasu procesu wędzenia

Pomiar czasu dokonywano zegarem w trakcie prowadzenia procesów obróbki cieplnej. Zmiany parametrów temperatury w czasie trwania procesu zapisywane były na rejestratorze.

3.2.6 Podstawowy skład chemiczny

Oznaczono:

- a) Zawartość wody metodą suszenia [PN-ISO-1442:2000],
- b) zawartość tłuszczu metodą ekstrakcyjną Soxhleta [PN-ISO 1444:2000],
- c) zawartość wody metodą suszarkową [PN-ISO 1442:2000],
- d) zawartość białka metodą Kjeldahla [PN-75/A-04018/Az3:2002],
- e) zawartość soli kuchennej [PN-73/A-82118/Az1:2002].

Wyliczono również tak zwane wtórne wskaźniki, mające charakter niezmienniczy: Feder Number $FN=W/B$, Protein Fat Free $PFF=B/100-T$, Brain Concentration

$BC=S/(W+S)$ oraz stosunek tłuszczu do białka (T/B) i stosunek chlorku sodu do wody (S/W).

3.2.7 Kwasowość

Pomiaru kwasowości dokonano zgodnie z PN-ISO 2917:2001 przy użyciu pH/konduktometru cyfrowego CPC-501 wyposażonego w elektrodę zespoloną typu ERH-111. Próbkę o masie 10 g homogenizowano z 50 ml wody destylowanej (temp. 20°C) przy prędkości 9500 obr/min w czasie 60 sekund. Po ustaleniu wskazań elektrody odczytywano wynik z dokładnością do 0,01pH.

3.2.8 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny

Próbkę o masie 10 g homogenizowano z 50 ml wody destylowanej (temp. 20°C) przy prędkości 9500 obr/min w czasie 60 sekund. Następnie zanurzano elektrodę platynową zespoloną w homogenizowanej próbce i zanotowano wynik pomiaru po jego ustabilizowaniu się. Pomiary wykonywano z wykorzystaniem elektrody zespolonej platynowej typ ERPt-13 oraz cyfrowego pH/konduktometru CPC-501. Uzyskany wynik pomiaru przeliczano na wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego względem standardowej elektrody wodorowej E_h [mV]. W tym celu do zmierzonej wartości potencjału dodawano znaną wartość potencjału elektrody odniesienia ($E_{odn}=211$ mV w 20°C) podaną przez producenta.

3.2.9 Zawartość benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu i chryzenu

Pomiar WWA wykonywano metodą wysokosprawnej chromatografii ciekowej z detekcją fluorescencyjną (HPLC-FLD). Do szklanych probówek odważano 1 g uprzednio zhomogenizowanej próbki, dodawano wzorca wewnętrznego 100 μ l B[b]Ch (50 ng·ml⁻¹), a następnie 1,5 ml metanolu. Próbkę wytrząsano za pomocą urządzenia typu Vortex przez 1 min, następnie dawano 3 ml chloroformu i 1,5 ml wody. Całość wytrząsano ponownie przez 3 min, a następnie wirowano przez 10 min przy 10 000 obr./min. Roztwór chloroformowy zawierający frakcję lipidową WWA sączono do probówki (10 ml) przez bibułę Whatman nr 4. Próbkę ponownie ekstrahowano 3 ml chloroformu, wytrząsano za pomocą urządzenia typu Vortex przez 3 min, następnie wirowano przez 10 min przy 10 000 obr./min. Frakcję chloroformową ponownie filtrowano przez sączek. Połączone frakcje chloroformowe odparowywano do sucha w strumieniu azotu w łaźni

wodnej (40°C). Pozostałość rozpuszczano w 4 ml dichlorometanu. Tak przygotowane ekstrakty próbek poddawano oczyszczaniu z wykorzystaniem chromatografii preparatywnej wykluczenia sterycznego (SEC). Etap oczyszczania z wykorzystaniem chromatografii preparatywnej wykluczenia sterycznego (SEC) wykonywano w warunkach izokratycznych z zastosowaniem fazy ruchomej – dichlorometanu (DCM) o prędkości przepływu 1 ml·min⁻¹. System detekcji stanowił detektor UV dokonujący pomiaru przy długości fali $\lambda = 254$ nm. Przygotowany ekstrakt próbki w dichlorometanie w ilości 400 μ l poddawano oczyszczaniu. Eluent zbierano w kolektorze frakcji, a następnie odparowywano do sucha w strumieniu azotu w łaźni wodnej (40°C). Suchą pozostałość rozpuszczano w 200 μ l ACN. Tak przygotowane próbki nanoszono na szczyt kolumny chromatograficznej aparatu HPLC/FLD. Wyniki WWA przedstawiono w μ g/kg.

3.2.10 Analiza mikrobiologiczna

Zakres badań mikrobiologicznych produktów wędzonych w wędzarni innowacyjnej oraz tradycyjnej obejmował: ogólną liczbę drobnoustrojów, liczbę bakterii fermentacji mlekowej oraz obecność *Salmonella* spp. i *Listeriamonocytogenes* w 25 g. Zakres i metodykę badań mikrobiologicznych opisano poniżej:

- ogólna liczbę drobnoustrojów w 1 g wg PN-EN ISO 4833-1:2013-12 + Ap1:2016-11 (pożywka PCA, inkubacja 30°C $\pm$ 1°C, 72 h $\pm$ 3 h);
- pałeczki z rodziny *Enterobacteriaceae* zgodnie z normą PN-ISO 21528-2:2005;
- obecność *Salmonella* spp. w 25 g wg PN-EN ISO 6579-1:2017-04 (Inkubacja w workach w zbuforowanej wodzie peptonowej (WPZ) 37°C $\pm$ 1°C, 18 h $\pm$ 2 h. Po inkubacji posiew 0,1 ml do RVS - inkubacja 41,5°C $\pm$ 1°C, 24 h $\pm$ 3 h oraz posiew 1,0 ml do MKTT - inkubacja 37°C $\pm$ 1°C, 24 h $\pm$ 3 h. Po inkubacji posiew na pożywki stałe: XLD i BGA, inkubacja 37°C $\pm$ 1°C, 24 h $\pm$ 3 h);
- obecność *Listeriamonocytogenes* w 25 g wg PN-EN ISO 11290-1:2017-07.

3.2.11 Analiza sensoryczna

Analiza sensoryczną badanych wyrobów przeprowadzono się w laboratorium sensorycznym, spełniającym wymagania zgodnie z PN-EN ISO 8589:2010. Charakterystykę sensoryczną produktów przeprowadzano za pomocą metody profilowania (Ilościowej Analizy Opisowej – QDA – Quantitative Descriptive Analysis) zgodnie z wymaganiami normy ISO 13299:2016. W badaniach wstępnych ustalono i zweryfikowano zestaw wyróżników do badań zasadniczych. W badaniach zasadniczych oceniano: 8

wyróżników smaku, 4 wyróżniki zapachu, 2 wyróżniki tekstury, 2 wyróżniki barwy i jakość ogólną. Jako narzędzie badawcze używano skalę liniową niestrukturowaną o długości 100 mm z odpowiednimi znaczeniami brzegowymi. Zakres skali stanowił 10 umownych jednostek (j. u.). Dla każdego wyróżnika była przypisana oddzielna skala ze ściśle sprecyzowanymi określeniami brzegowymi. Oceniający nanosili na skalę pionową kreskę w miejscu odpowiadającym odniesionemu wrażeniu. Uzyskane wyniki sprowadzono do wartości liczbowych na podstawie zmierzenia odległości od lewego końca skali do punktu zaznaczonego przez oceniających. Ocenę sensoryczną przeprowadzono w temperaturze pokojowej bezpośrednio po zakończonym procesie produkcji wyrobów i po okresie dwutygodniowego przechowywania chłodniczego. Wykonywał ją 10 – osobowy odpowiednio wyszkolony w zakresie stosowania metody zespół oceniający o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej. Przygotowanie prób polegało na pokrojeniu wędlin na plastry o grubości 2 mm bezpośrednio po procesie produkcji lub po bezpośrednim otworzeniu opakowań przed oceną po ich przechowywaniu. Pojedyncze plastry umieszczono w bezwonnych, jednorazowych pojemnikach szczelnie zamykanych wieczkami. Pojemniki wcześniej poddano kodowaniu. Oceniający każdorazowo otrzymywali zestaw zakodowanych próbek, karty oceny i herbaty. Z każdej przeprowadzonej oceny zbierano 10 indywidualnych wyników, które zostały uśrednione.

Tab. 7 Charakterystyka wyróżników analizy sensorycznej i ich oznaczeń brzegowych

Nazwa wyróżnika	Definicja	Oznaczenia brzegowe
Zapach wędzonego mięsa	Określenie udziału zapachu wędzenia w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Zapach suszonego mięsa	Określenie udziału zapachu suszonego mięsa w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Zapach ostry	Zapach wywołujący drażniące wrażenie przy wachaniu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Zapach inny	Zapach inny, obcy, niespecyficzny dla tego typu wyrobu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Ton barwy	Określenie nasycenia i jasności barwy zewnętrznej wyrobu	Bardzo mało nasycony, jasna barwa Intensywnie nasycony, ciemna barwa
Jednolitość barwy	Określenie jednolitego nasycenia barwą produktu	Niejednolita barwa Jednolita barwa
Soczystość	Określenie soczystości wyrobu	Suchy Bardzo soczysty
Rozdrobnienie	Określenie rozdrobnienia tkanki mięsnej w wyrobie	Małe Duże
Smak wędzonego mięsa	Określenie udziału smaku wędzenia w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak suszonego mięsa	Określenie udziału smaku suszonego mięsa w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak słony	Określenie udziału smaku słonego w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak ostry	Określenie udziału smaku wywołującego ostre, piekące wrażenie przy przetrzymywaniu na podniebieniu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak kwaśny	Określenie udziału smaku kwaśnego w wyrobie	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak gorzki	Określenie udziału smaku wywołującego goryczkę przy przetrzymywaniu na podniebieniu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak przechowalniczy	Określenie udziału smaku spowodowanego przechowywaniem wyrobu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Smak inny	Określenie udziału smaku wywołującego inne, obce odczucie przy przetrzymywaniu na podniebieniu	Niewyczuwalny Bardzo intensywny
Jakość ogólna	Określenie ogólnej jakości ocenianego wyrobu	Bardzo zła Bardzo dobra

3.2.12 Analiza zanieczyszczeń powietrza pyłem PM 2,5 i PM 10

Analizę jakości powietrza przeprowadzono w celu określenia wpływu wybranego rodzaju wędzarni na zawartość pyłów zawieszonych PM 2,5 oraz PM 10 w powietrzu o średnicy cząstek do 2,5 μm oraz o średnicy cząstek do 10 μm za pomocą urządzenia do automatycznego pomiaru. Otrzymany wynik jest równoważny do metody referencyjnej, wykorzystującej urządzenia do automatycznych pomiarów pyłu zawieszonego dopuszczone do pomiarów, które wykorzystywane są do celów oceny jakości powietrza. Do pomiarów wykonywanych tą metodą zastosowano miernik automatyczny AR258 firmy APAR, który posiada certyfikat MCERTS, potwierdzający równoważność z metodą referencyjną. Miernik ten na bieżąco mierzy stężenia pyłów, co umożliwia zapisywanie ich w rejestratorze. Czujnik pyłów był zgodny ze standardem DIN EN 15267 - Europejska norma jakości powietrza. Pomiar pyłu zawieszonego wykonano zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy [26] oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [103], a szczegółowa metodyka określona została w normie PN-EN 12341:2014 Powietrze atmosferyczne – Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określania stężeń masowych frakcji PM10 lub PM2,5 pyłu zawieszonego.



Rys. 18 Schemat umiejscowienia czujnika pyłów zawieszonych, 1 – komin wędzarni tradycyjnej, 2 – czujnik pyłów zawieszonych, 3 – kominy wędzarni innowacyjnej [opracowanie własne]

W badaniach prowadzono pomiary pyłu zawieszonego PM 10 o średnicach cząstek do 10 μm oraz PM 2,5 o średnicach cząstek do 2,5 μm . Pył PM 2,5 jest zatem drobniejszą frakcją pyłu PM 10 i wchodzi w jego skład. Czujnik pyłów zawieszonych zamontowano w odległości 1 metra od każdego z kominów wędzarni, w których były prowadzone procesy wędzenia. Został on podłączony do rejestratora, dzięki czemu możliwy był zapis mierzonych parametrów. Otrzymane wyniki odczytywano z dokładnością do 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Procesy wędzenia prowadzono w oddzielnych cyklach tak, aby zanieczyszczenia pochodzące z poszczególnych wędzarni nie mieszały się i nie zostały wspólnie ocenione przez urządzenie do analizy jakości powietrza. Proces wędzenia oraz pomiar prowadzono w tym samym dniu tak aby warunki pogodowe były takie same podczas prowadzonych badań. Wyliczono średnie stężenie dla każdego z badanych parametrów oraz porównano je z legendą przyjętą przez Inspekcję Ochrony Środowiska (tab.8).

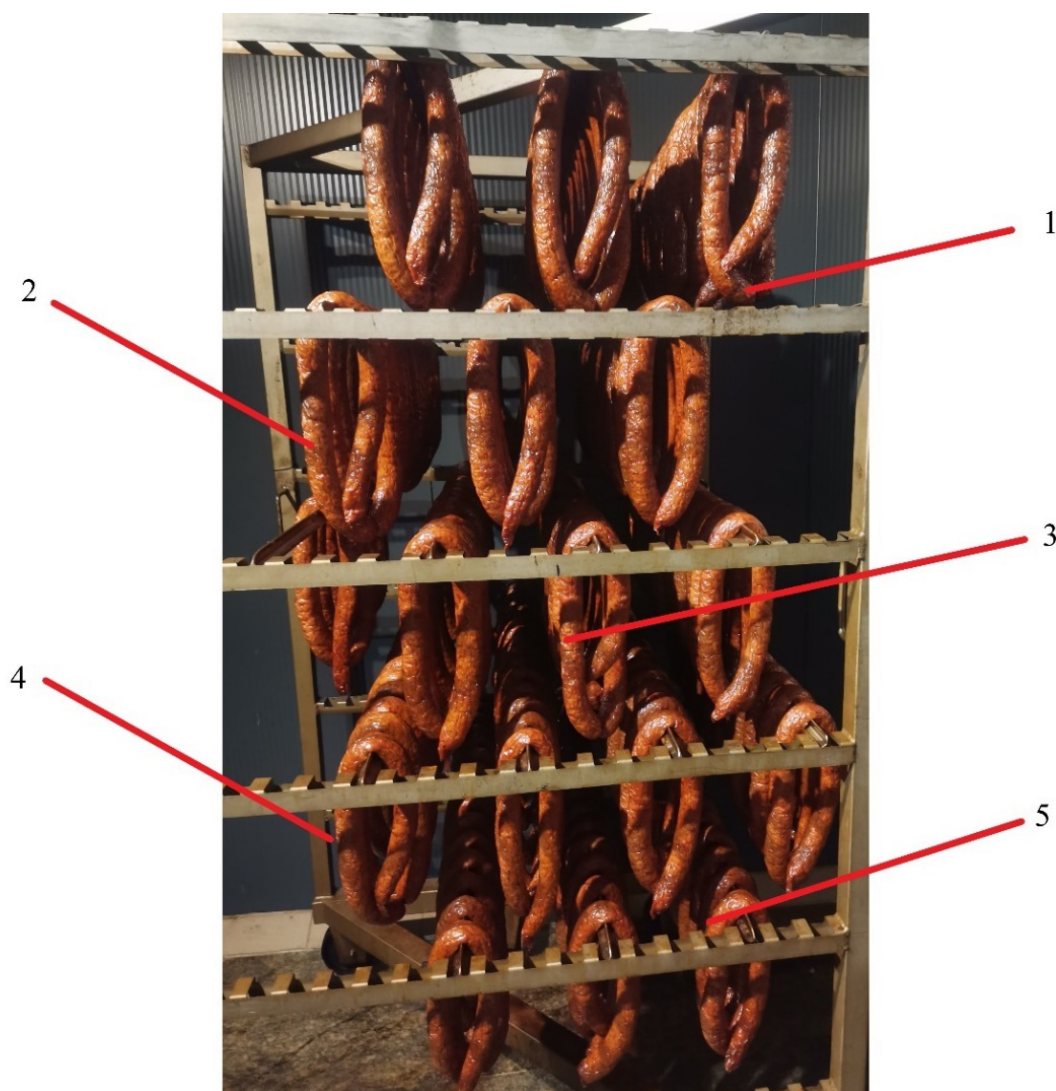
Tab. 8 Legenda określająca stan jakości powietrza z uwzględnieniem stężenia pyłów PM 2,5 oraz PM 10 [92]

PM 2,5	Stan jakości powietrza	PM 10
0 - 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bardzo dobry	0 - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
13.1 - 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dobry	20.1 - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
35.1 - 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Umiarkowany	50.1 - 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
55.1 - 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dostateczny	80.1 - 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
75.1 - 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zły	110.1 - 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
> 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bardzo zły	> 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.2.13 Przygotowanie i pobór produktów do badań

Wszystkie badania technologiczne i procesowe wykonano w Zakładzie Mięsnym Jasiołka w Dukli. Analizę chemiczną realizowano w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym w Zakładzie Technologii Mięsa i Tłuszczu. Natomiast analizę mikrobiologiczną i ocenę sensoryczną przeprowadzono w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie w Katedrze Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności.

Próby do badań WWA pobierano zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (WE) Nr 333/2007 z dnia 28 marca 2007 roku. Z każdej partii ok. 50 kg gotowego produktu pobierano 5 prób pierwotnych o masie 1 kg, z różnych miejsc wózka wędzarniczego, tak aby pobrane próby były reprezentatywne dla całej partii. Starano się, aby próby były pobrane z dolnej, środkowej oraz górnej części wózka, zarówno z przodu jak i z tyłu (rys. 19). Próbkę do oznaczenia WWA, przed kontaktem z tworzywem sztucznym pobierano bez rękawiczek, czystymi i zdezynfekowanymi rękami oraz zabezpieczono poprzez szczelne owinięcie w folii aluminiowej, przed jej umieszczeniem w opakowaniu. Następnie próbki dostarczono do laboratorium w celu przeprowadzeniu analizy. Transport odbywał się w warunkach chłodniczych. W laboratorium wykonano analizy pobranych próbek wyrobów. Otrzymane wyniki uśredniono. W drugim etapie pracy oznaczenie zawartości WWA, kwasowości i potencjału oksydacyjno-redukcyjnego przeprowadzono bezpośrednio po produkcji. Analizy mikrobiologiczne i sensoryczne wykonano bezpośrednio po produkcji, po 7 i 14 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych. Analizę zanieczyszczeń powietrza wykonano w trakcie prowadzonych procesów wędzenia. W trzecim etapie pracy badanie zawartości WWA, kwasowości i potencjału oksydacyjno-redukcyjnego przeprowadzono bezpośrednio po produkcji. Analizę mikrobiologiczną w zależności od produktu wykonano tylko bezpośrednio po produkcji lub również po 7 i 14 dniach przechowywania. Ocenę sensoryczną przeprowadzono bezpośrednio po produkcji oraz po 14 dniach przechowywania. Dodatkowo dla dwóch wybranych produktów przeprowadzono również po 7 dniach przechowywania.



Rys. 19 Wózek wędzarniczy z gotowym produktem; 1, 2, 3, 4, 5 – miejsca poboru prób do badań

3.2.14 Analiza statystyczna wyników badań

Badania modelowe przeprowadzono dla trzech oddzielnych partii produkcyjnych wyrobów (trzy powtórzenia, $n=3$). W badaniach przemysłowych analizy przeprowadzono dla dwóch partii wyrobów. Wyniki badań poddano analizie statystycznej. Istotność różnic między średnimi wartościami wyznaczono z jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) na poziomie istotności $p \leq 0,05$. Różnice średnich zweryfikowano korzystając z testu T-Tuckey'a. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Microsoft Office Excel 2010.

W analizie uwzględniono następujące oznaczenia:

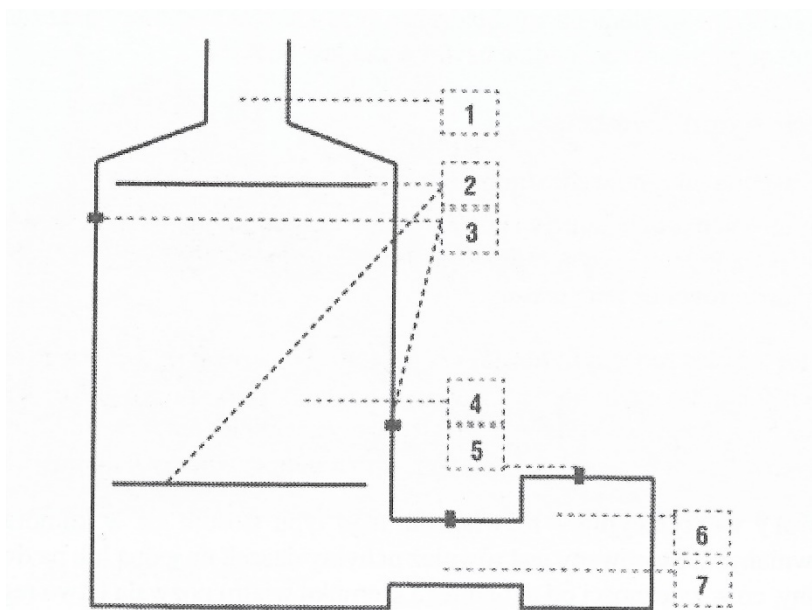
$\bar{x}$ – średnia arytmetyczna,

SD – odchylenie standardowe.

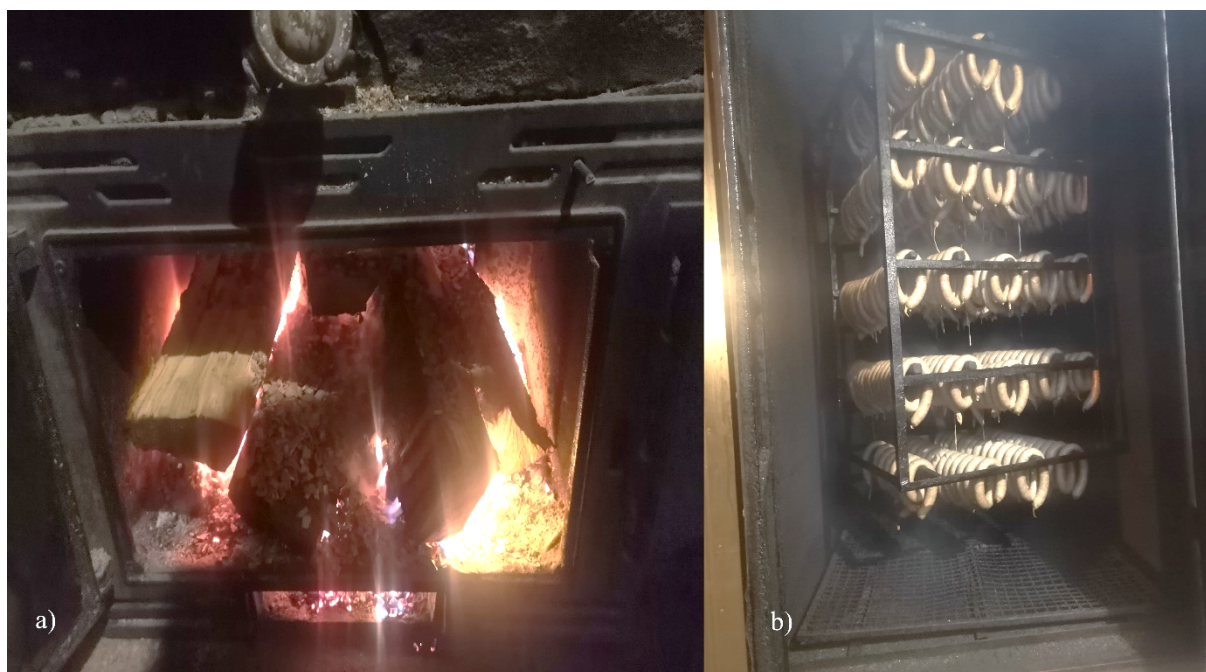
4. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

4.1 Budowa i zasada działania wędzarni tradycyjnej

Badania procesu wędzenia tradycyjnego przeprowadzono w wędzarni tradycyjnej, murowanej, z bocznym, odsuniętym od komory paleniskiem (Rys. 20). Odległość paleniska od komory wynosiła 1 metr. Ściany komory wędzarni wykonane z cegły pokryte metalową siatką i tynkiem, sufit drzwi i komin, wykonane z blachy nierdzewnej. Palenisko i kanał dymny łączący je z komorą wędzarniczą wykonane zostały z cegły szamotowej. Palenisko zostało wyposażone w żeliwne drzwiczki w celu regulacji dopływu powietrza. W środku paleniska zamontowany jest żeliwny ruszt, na którym spalają się szczapy drewna, a pod nim umiejscowiony jest popielnik. W komorze wędzarniczej znajduje się metalowy wózek wędzarniczy zawieszony na szynie, którym można wyjechać z komory w celu załadunku i rozładunku. W palenisku, kanale dymnym oraz w komorze zostały rozmieszczone czujniki temperatury i podłączono je do rejestratora z wyświetlaczem, co umożliwiało na bieżąco obserwowanie zmian temperatury w poszczególnych sekcjach wędzarni. Rysunek 21 przedstawia palenisko (rys. 21a) w trakcie procesu wędzenia oraz komorę wędzarniczą z produktem (rys. 21b) w początkowym etapie procesu wędzenia.



Rys. 20 Schemat wędzarni tradycyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka. 1 – komin, 2 – deflektory, 3 – czujniki temperatury w komorze, 4 – komora wędzarnicza, 5 – czujnik temperatury w palenisku, 6 – palenisko, 7 – kanał dymny



Rys. 21 Zdjęcie wędzarni tradycyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka, a) palenisko, b) komora wędzarnicza

Wędzarnie tradycyjne mają swoje zalety ale mają też i wady. Do prawidłowo przeprowadzonego procesu wędzenia w wędzarni tradycyjnej potrzeba doświadczonych i wykwalifikowanych wędzarzy, którzy muszą ocenić i kontrolować temperatury występujące w paleniskach oraz w komorach wędzarniczych. W większości wędzarnie tradycyjne nie są wyposażone w czujniki temperatur, dlatego to wędzarcha poprzez swoje doświadczenie podejmuje decyzje o zwiększeniu bądź obniżeniu temperatury w palenisku. W wędzarni tradycyjnej jest brak możliwości sterowania procesem i panowania nad temperaturą panującą w palenisku. Sprzyja to tworzeniu się dużych ilości WWA, które w trakcie procesu przenoszone są do komory wędzarniczej, gdzie osadzają się na wędzonych produktach. Skłoniło to do zaprojektowania i wykonania wędzarni, w której będzie możliwość sterowania procesami, przepływem dymu oraz temperaturą w palenisku. Ze względu na duży wpływ czynników zewnętrznych (ciśnienie atmosferyczne, wilgotność i temperatura powietrza) oraz brak sterowania temperaturą produkty z wędzarni tradycyjnej są mało powtarzalne, różnią się nasyceniem składników dymu, kolorem oraz aromatem. W celu dążenia do standaryzacji produktów wędzonych tradycyjnie konieczne jest wyeliminowanie tych czynników.

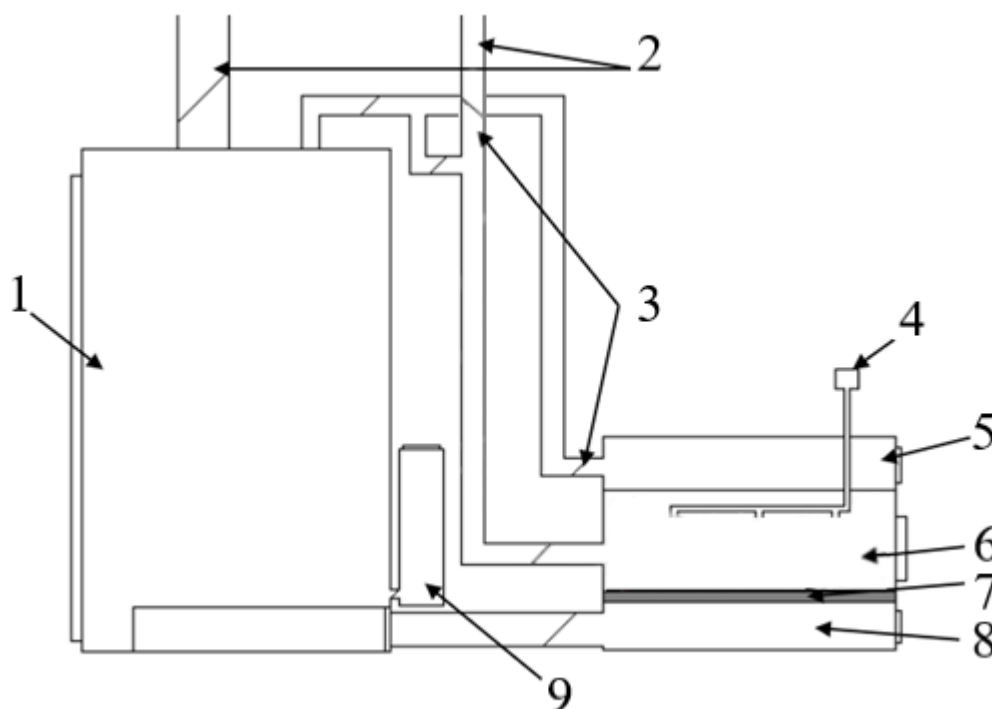
4.2 Budowa i zasada działania wędzarni innowacyjnej

Wędzarnię innowacyjną, w której prowadzono proces wędzenia, wykonano ze stali nierdzewnej. Wędzarnia posiada duże, odsunięte od komory wędzarniczej boczne palenisko, nad którym znajduje się komora ciepłego powietrza. Wyposażona jest w dwa kominy, jeden wychodzi bezpośrednio z paleniska, drugi wychodzi z komory wędzarniczej. Ten pierwszy wykorzystywany jest w pierwszych fazach procesu tj. podczas rozpalania i podczas suszenia oraz w fazie końcowej tj. podczas pieczenia. Drugi komin odprowadza dym z komory wędzarniczej podczas wędzenia. Istotą tej wędzarni jest to, że powstające w palenisku podczas rozpalania wysokie stężenia szkodliwych związków nie przedostają się do komory ani nie osiadają w jej wnętrzu i na produkcie, tylko są odprowadzane za zewnątrz.

Podobnie jest w fazie końcowej procesu, zamyka się kanał łączący palenisko z komorą, dzięki czemu możemy zwiększyć temperaturę w palenisku. Wzrost temperatury w palenisku skutkuje utrzymaniem warunków cieplnych w komorze, jednocześnie powodując zwiększone spalanie substancji powstających z termicznego rozpadu drewna. Rozdzielenie paleniska z komorą wędzarniczą zapobiega przedostawaniu się szkodliwych substancji z dymu do produktów wędzonych. Jednocześnie nie tracąc ciepła w komorze wędzarniczej, ponieważ komorę ciepłego powietrza umieszczono bezpośrednio nad paleniskiem. Nagrzane w niej powietrze zaciągane jest specjalnym kominem do komory wędzarniczej, rozgrzewając ją, dzięki czemu przed umieszczeniem produktu w komorze mamy już wstępnie rozgrzaną wędzarnię. Podczas końcowego etapu procesu, również dostarczamy do niej ciepło z komory ciepłego powietrza w celu zapieczenia produktów i osiągnięcia w nich żądanej temperatury obróbki, co skutkuje zakończeniem procesu.

Palenisko z komorą wędzarniczą połączone jest za pomocą kanału o długości 1010 mm (rys. 22). Systemy kominowe, czyli specjalnie rozprowadzone rury ze stali nierdzewnej, zaopatrzone są w pneumatyczne siłowniki zamykające bądź otwierające daną sekcję komina. Palenisko zaopatrzone jest w system doprowadzania i rozprowadzania oraz regulacji dopływu świeżego powietrza, dzięki któremu można w znacznym stopniu regulować dostęp tlenu, a tym samym temperaturę spalania drewna. Wędzarnia wyposażona jest w czujniki temperatury umiejscowione w palenisku, kanale, w komorze wędzarniczej oraz w sondę do sprawdzania temperatury we wnętrzu produktu (rys. 22). Czujniki te mierzą aktualną temperaturę i wyświetlają ją na urządzeniu, które je

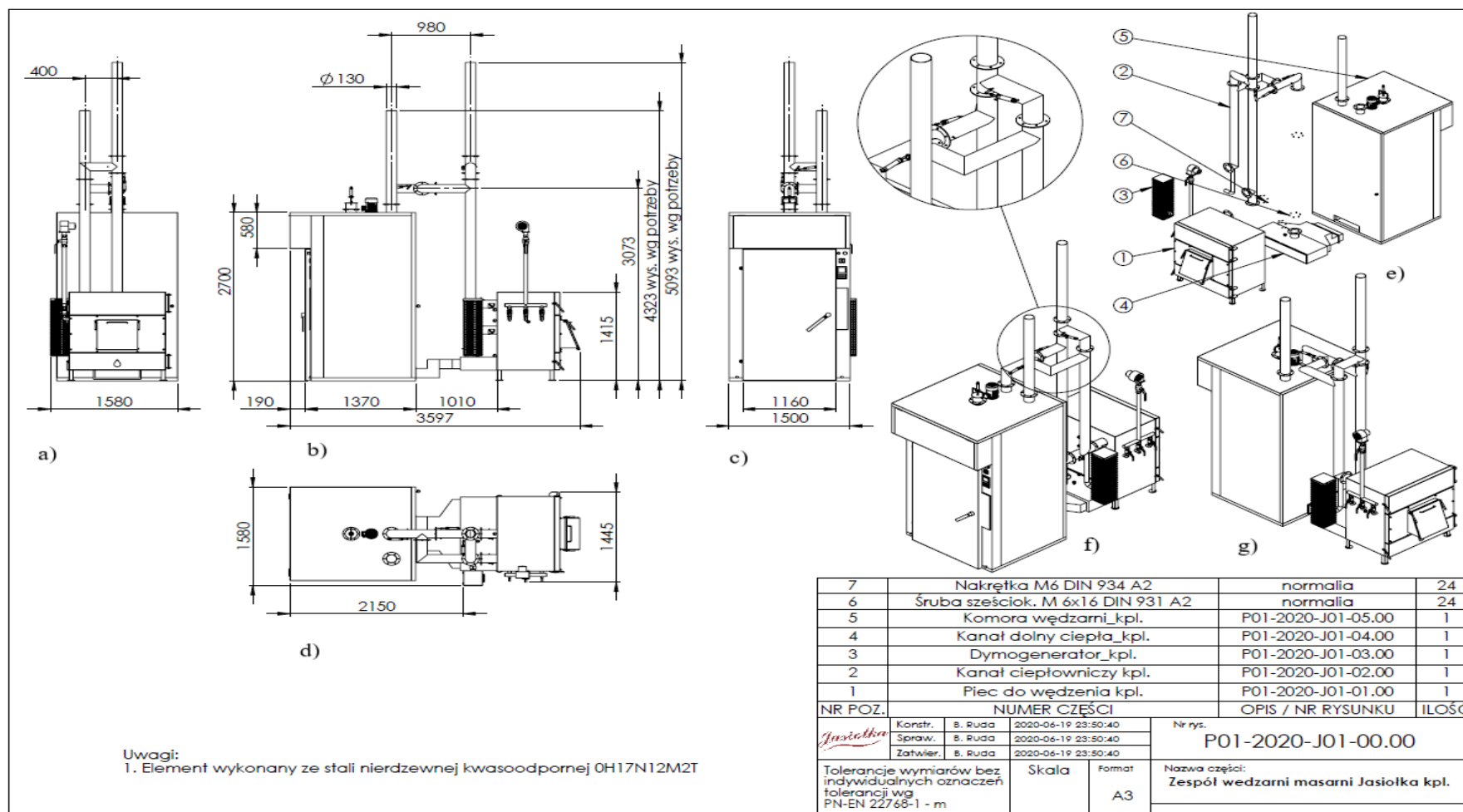
jednocześnie rejestruje zapisując w pamięci. Zmiany temperatury w czasie procesu można prezentować na wykresie.



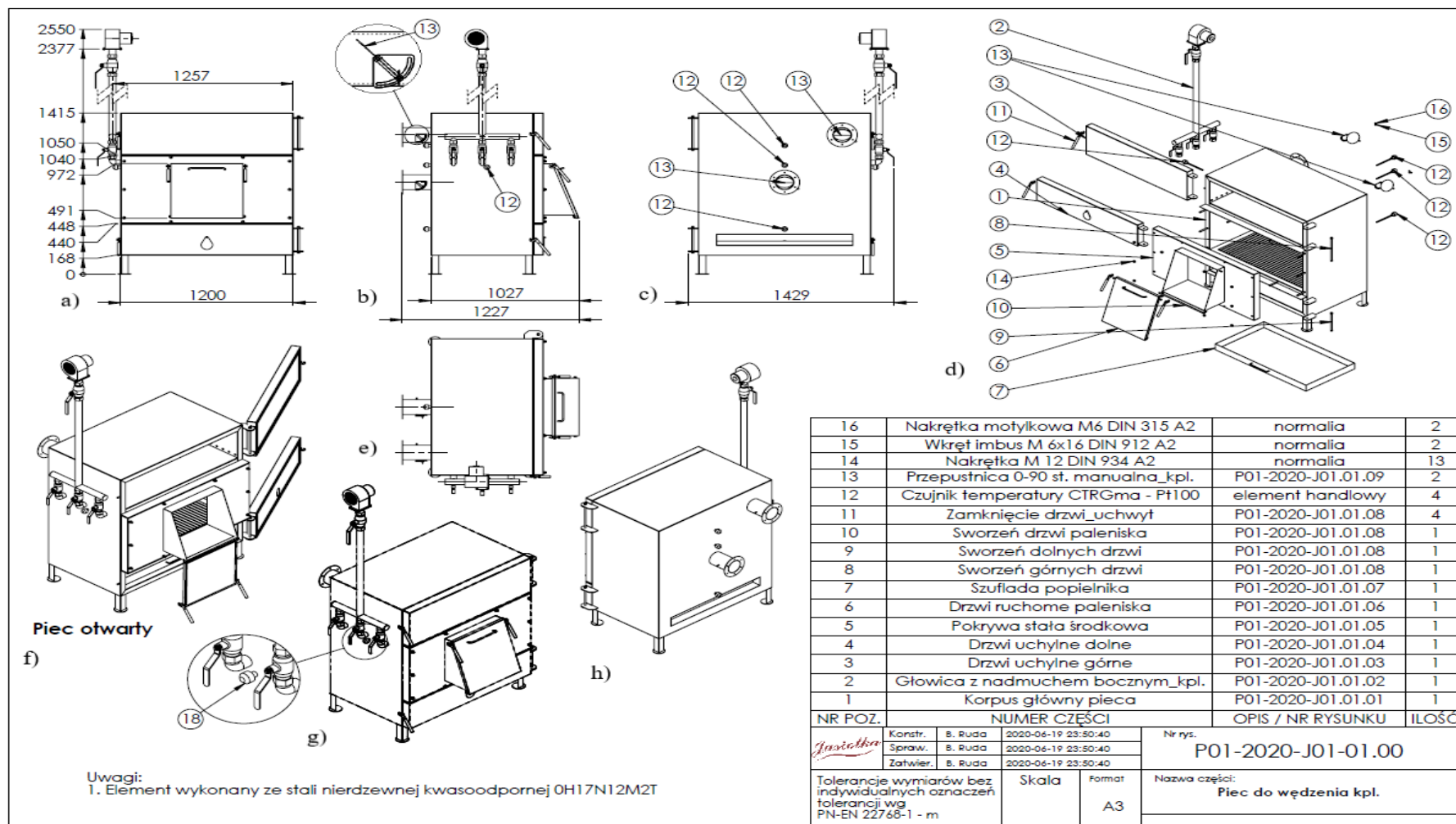
Rys. 22 Schemat wędzarni innowacyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka, 1 – komora wędzarni, 2 – kominy, 3 – klapy zamykane i otwierane na siłowniki, 4 – dopływ świeżego powietrza, 5 – komora ciepłego powietrza, 6 – palenisko, 7 – ruszta, 8 – popielnik, 9 – dymogenerator [opracowanie własne, Zakład Mięсны Jasiołka]

4.2.1 Dokumentacja konstrukcyjno-techniczna wędzarni innowacyjnej

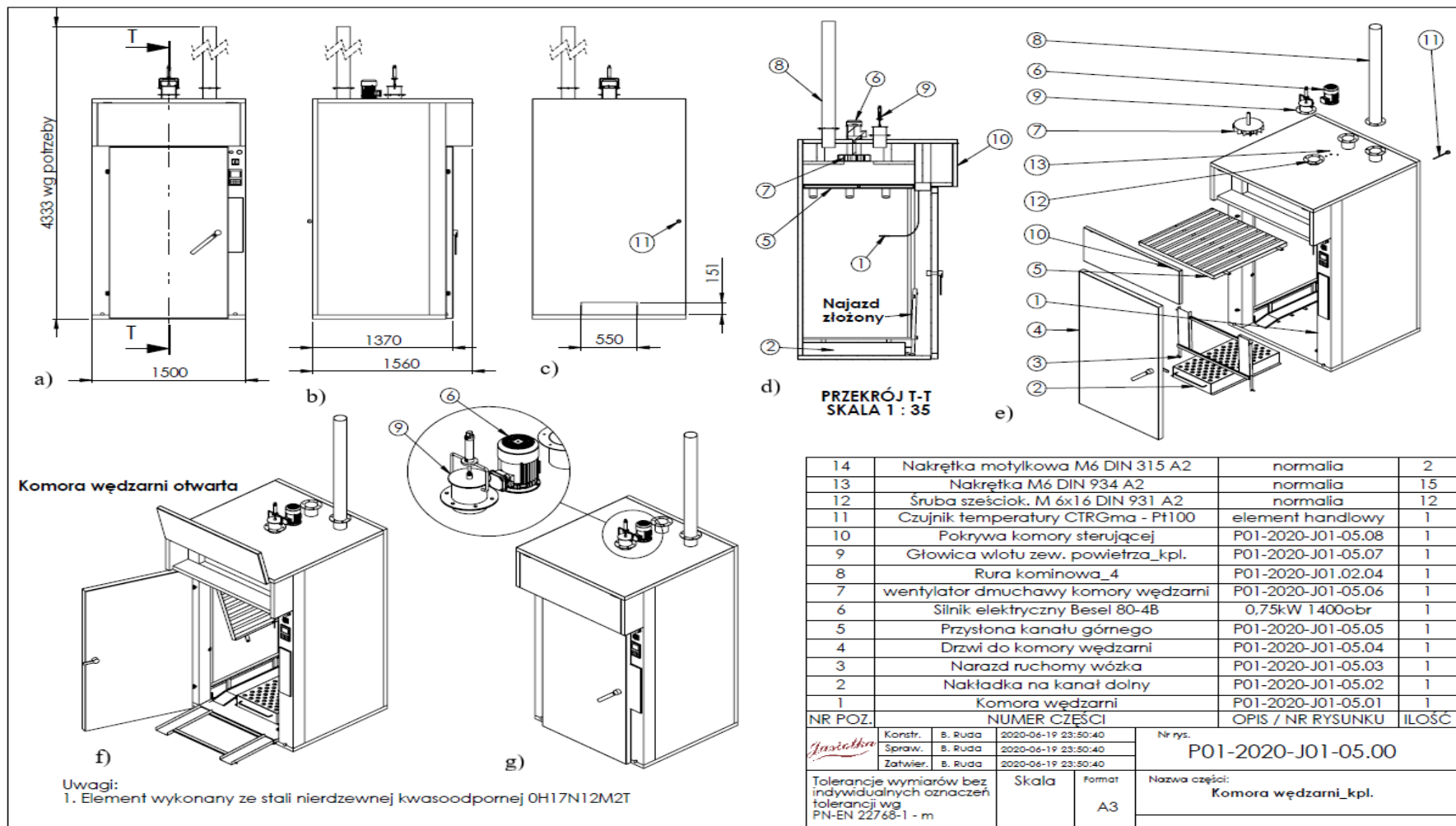
Projekt wędzarni innowacyjnej zaproponowano na podstawie obserwacji procesów wędzenia, badań produktów wędzonych różnymi sposobami oraz w wędzarniach o odmiennych budowach. Po wstępnych prototypowych modelach wędzarni, dopracowano oraz stworzono i umiejscowiono w Zakładzie Mięsnym Jasiołka wędzarnię innowacyjną, która łączy w sobie tradycyjne wędzenie wyrobów mięsnych i dba o bezpieczeństwo zdrowotne produktów. Wędzarnia jest w ciągłym użytkowaniu i wykorzystywana jest w produkcji wyrobów mięsnych. Wędzarnia innowacyjna posiada dokumentację konstrukcyjno-techniczną (rys. 23, rys. 24, rys. 25 i rys. 26).



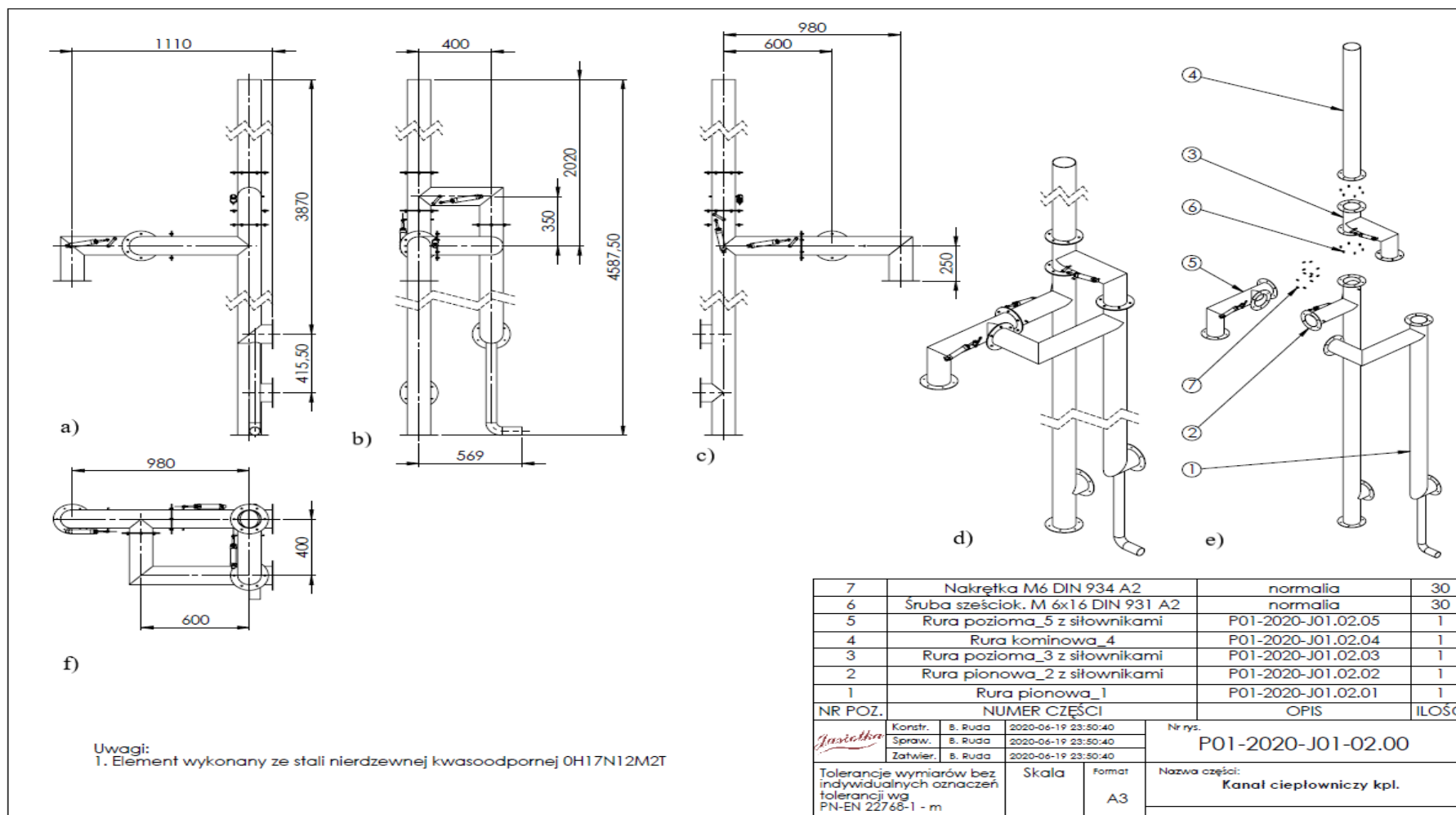
Rys. 23 Schemat konstrukcyjny budowy wędzarni innowacyjnej: a) rzut z przodu paleniska, b) rzut z boku, c) rzut z przodu komory wędzarniczej, d) rzut od góry, e) rzut z rozbiciem na poszczególne elementy, f) rzut przestrzenny od strony komory wędzarniczej, g) rzut przestrzenny od strony paleniska



Rys. 24 Schemat konstrukcyjny paleniska wędzarni innowacyjnej, a) rzut z przodu paleniska, b) rzut z boku, c) rzut z tyłu, d) rzut z rozbić na poszczególne elementy, e) rzut od góry, f) rzut przestrzenny z przodu z otwartymi drzwiczkami, g) rzut przestrzenny z przodu, h) rzut przestrzenny z tyłu



Rys. 25 Schemat konstrukcyjny komory wędzarniczej wędzarni innowacyjnej, a) rzut z przodu komory wędzarniczej, b) rzut z boku, c) rzut z tyłu, d) przekrój boczny podłużny, e) rzut z rozbiciem na poszczególne elementy, f) rzut przestrzenny od strony komory wędzarniczej z otwartymi drzwiami, g) rzut przestrzenny od strony komory wędzarniczej z zamkniętymi drzwiami



Rys. 26 Schemat konstrukcyjny systemu kominów dymnych wędzarni innowacyjnej, a) rzut z prawej strony wędzarni, b) rzut z przodu patrząc od strony komory wędzarniczej, c) rzut z lewej strony wędzarni, d) rzut przestrzenny od strony komory wędzarniczej, e) rzut przestrzenny z rozbiciem na poszczególne elementy, f) rzut od góry

Schematy konstrukcyjne służą do budowy wędzarni innowacyjnej i są wykonane według przepisów inżynierskich dotyczących budowy i konstrukcji maszyn. Za pomocą schematów konstrukcyjnych można odtworzyć budowę wędzarni innowacyjnej. Wędzarnia innowacyjna w całości została wykonana ze stali nierdzewnej, jest to rozwiązanie umożliwiające dokładne czyszczenie wszystkich elementów wędzarni, zarówno komory wędzarniczej, paleniska oraz systemu kanałów dymnych. Łatwe utrzymanie czystości wędzarni jest ważne ze względu na osadzające się zanieczyszczenia, które przedostają się do komory wędzarniczej oraz do produktu. Częste mycie i konserwacja wszystkich elementów wędzarni pozwala na zmniejszenie ilości zanieczyszczeń osadzających się na konstrukcji, które powstają podczas procesu spalania drewna w palenisku. Rysunek 27 przedstawia rzeczywisty wygląd wędzarni innowacyjnej na której przeprowadzano badania w Zakładzie Mięsnym Jasiołka. Na rysunku 27a) pokazane jest palenisko w czasie pracy wędzarni, natomiast rysunek 27b) prezentuje komorę wędzarniczą z produktem w czasie wędzenia.



Rys. 27 Wędzarnia innowacyjna w Zakładzie Mięsnym Jasiołka: a) palenisko, b) komora wędzarnicza

4.3 Proces wędzenia

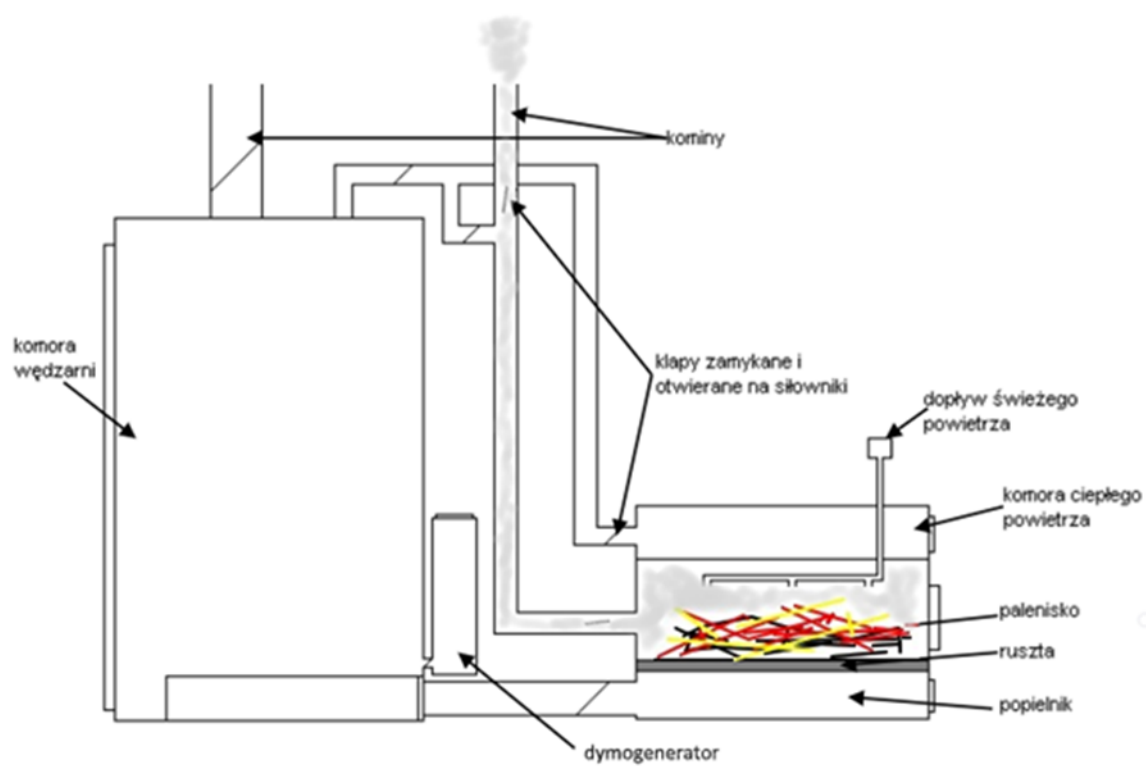
4.3.1 Proces wędzenia w wędzarni tradycyjnej

Proces wędzenia prowadzono zgodnie z zasadami dobrej praktyki produkcyjnej i wędzarniczej. Komora i palenisko przed przystąpieniem do procesu wędzenia zostały oczyszczone. Zarówno wózki jak i kije wędzarnicze zostały wcześniej umyte i pozbawione wszelkich substancji smolistych, które mogłyby wpływać na późniejsze wyniki. Proces wędzenia w wędzarni tradycyjnej rozpoczynał się od rozpalenia ognia w palenisku, to tego celu użyte były cienkie szczapki drewna oraz kawałki papieru, nie używano rozpałek ani innych paliw wspomagających powstawanie ognia. Po rozpaleniu ognia do paleniska podkładano szczapy drewna, które zostały przeznaczone do procesu wędzenia. Po osiągnięciu w komorze wędzarniczej temperatury 40°C następowało wprowadzenie do komory przygotowanego surowca. W pierwszym etapie prowadzono osuszanie, mające na celu pozbycie się zewnętrznej wilgoci na osłonce, które trwało ok. 60 minut. Po tym procesie następowało wędzenie, w trakcie którego do paleniska dokładano zrębki bukowe w celu powstania gęstego, jasnoszarego dymu. Dym kanałem dymowym dostawał się do komory wędzarniczej i następowało wędzenie produktu. Po procesie wędzenia, który trwał ok. 25 minut, następowało pieczenie, któremu towarzyszył stopniowy wzrost temperatury w komorze wędzarniczej do ok. 85°C. Proces ten prowadzono do osiągnięcia w środku batonu 72°C. Następnie wyjmowano produkt z komory wędzarniczej i schładzano do temperatury ok. 10-12°C. Po schłodzeniu przekazywano do chłodni o temperaturze 4°C, skąd pobierano próby do badań.

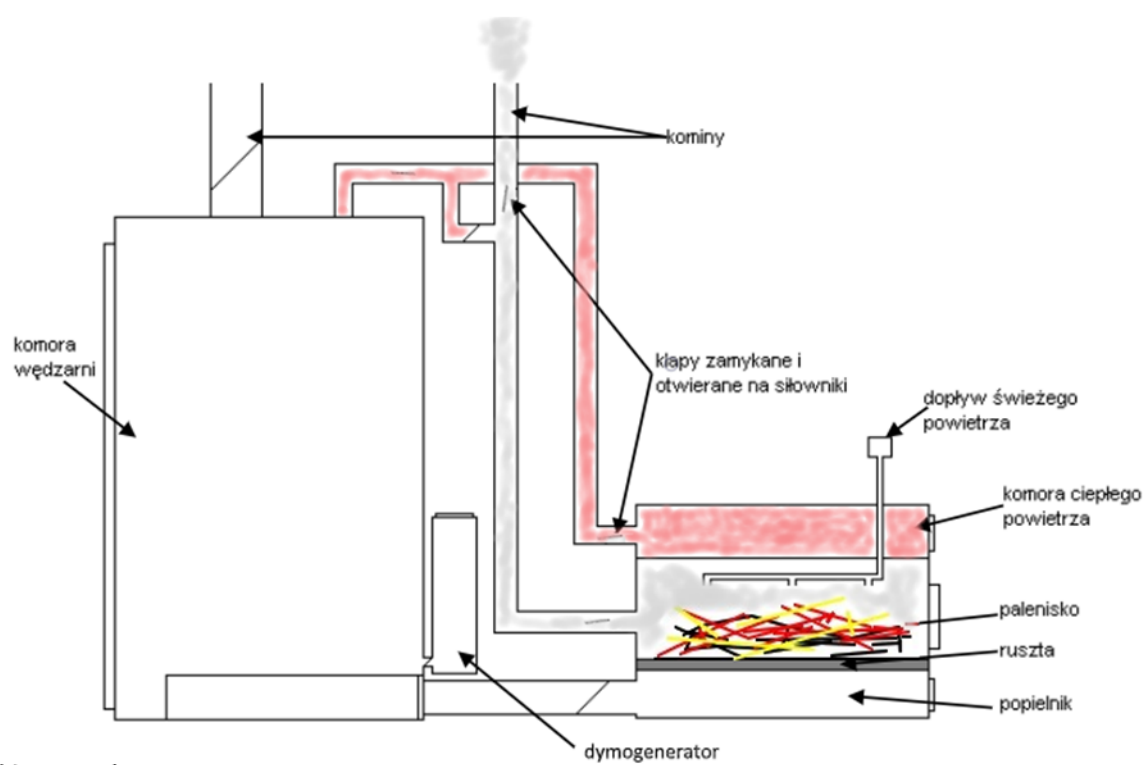
4.3.2 Proces wędzenia w wędzarni innowacyjnej

Proces wędzenia produktów mięsnych w wędzarni innowacyjnej był przeprowadzony w podobny sposób jak w wędzarni tradycyjnej zachowując te same etapy procesu technologicznego. Niemniej w oparciu o wiedzę, doświadczenie oraz wstępne badania, został on unowocześniony i zoptymalizowany, ale przy zachowaniu tradycyjnego charakter wytwarzanych wyrobów. Podczas rozpalania ognia w palenisku dym bezpośrednio nie dostawał się do komory wędzarniczej, lecz był odprowadzany pierwszym z dwóch kominów na zewnątrz, zapobiegając w ten sposób przedostawanie się substancjom powstałym w trakcie rozpalania drewna do wewnątrz komory. Istotą tego procesu jest intensywne rozpalanie z pełnym dostępem powietrza. Trwa to krócej niż w wędzarni tradycyjnej, a dym wydalany na zewnątrz, zawiera mniej substancji smogowych, te

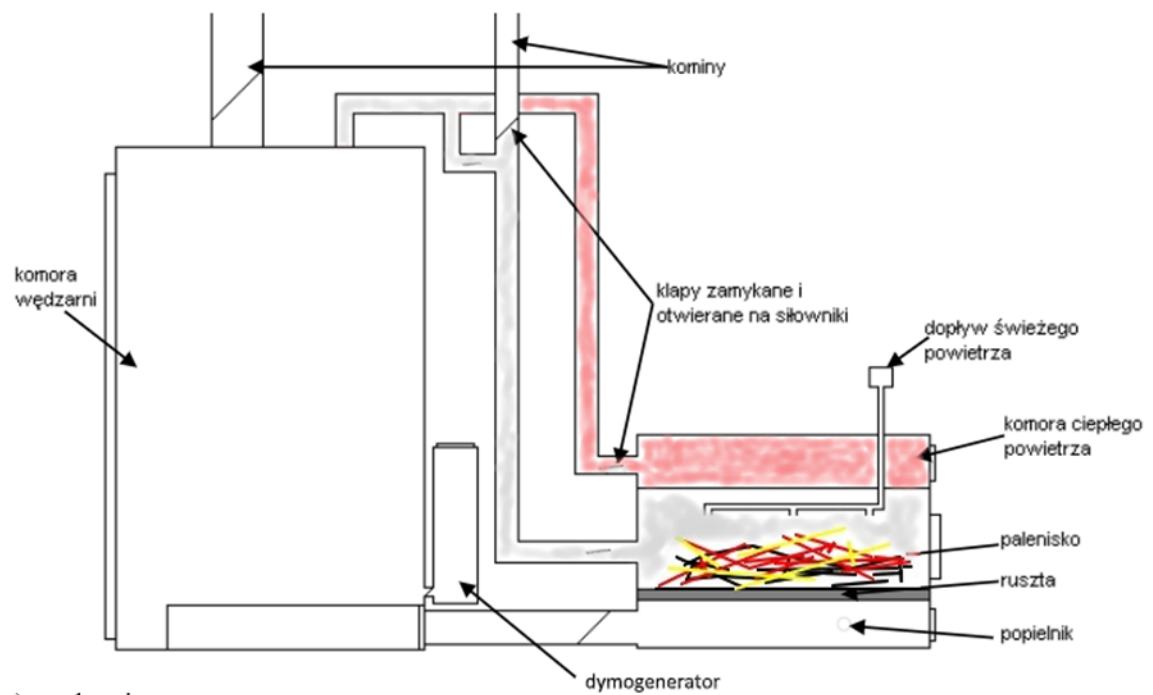
natomiast nie osadzają się na ścianach komory wędzarniczej, gdyż dym ten nie przechodzi przez nią. Umieszczona bezpośrednio nad paleniskiem komora ciepłego powietrza pozwala wykorzystać ciepło powstające w palenisku, które za pomocą wentylatorów zaciągane jest do komory wędzarniczej, rozgrzewając ją bez udziału dymu. W eksperymencie produkty były umieszczane w rozgrzanej do ok. 40°C komorze wędzarniczej. Następowo osuszenie powierzchni zewnętrznej produktów, które trwało ok. 60 minut, a po nim przystępowano do procesu wędzenia. Wędzenie trwało ok. 25 minut, w trakcie którego otwarta została kłapa w kanale dymnym, łączącym palenisko z komorą, a zamknięta została kłapa znajdująca się w pierwszym kominie, odprowadzającym dym z paleniska bezpośrednio na zewnątrz. Temperatura w palenisku została obniżona poprzez zmniejszenie dopływu powietrza, do palących się szczap dokładano zrębki bukowe i kontrolowano temperaturę w palenisku, aby nie przekroczyła 450 °C. Powstający dym dostawał się do komory wędzarniczej powodując przenikanie składników dymu do wędzonych produktów oraz do osadzania się na ich powierzchni. Po etapie wędzenia następowała faza pieczenia z wędzeniem, a po uzyskaniu zadowalającej barwy z nasycenia produktu składnikami dymu, samo pieczenie. Podczas pieczenia kłapa w kanale dymnym była zamknięta, a ciepło dostawało się do komory w ten sam sposób jak podczas procesu suszenia, dlatego można było podnieść temperaturę w palenisku, co pozwoliło osiągnąć wyższą temperaturę w komorze i umożliwiło szybkie osiągnięcie w produkcie temperatury 72°C, co świadczyło o zakończeniu procesu. Istotę działania wędzarni innowacyjnej przedstawiają schematy (rys. 28) poszczególnych etapów procesu: rozpalamie, suszenie, wędzenie, wędzenie z pieczeniem i pieczenie. Dla każdego etapu zaznaczono przepływ dymu (kolor szary) oraz przepływ ciepłego powietrza (kolor czerwony).



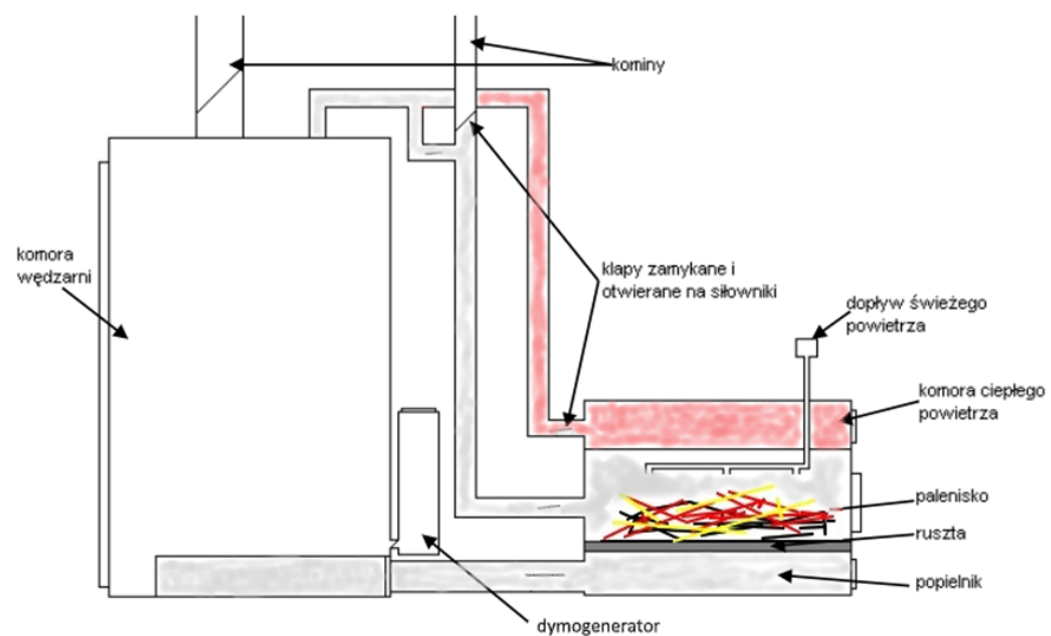
a) rozpalanie



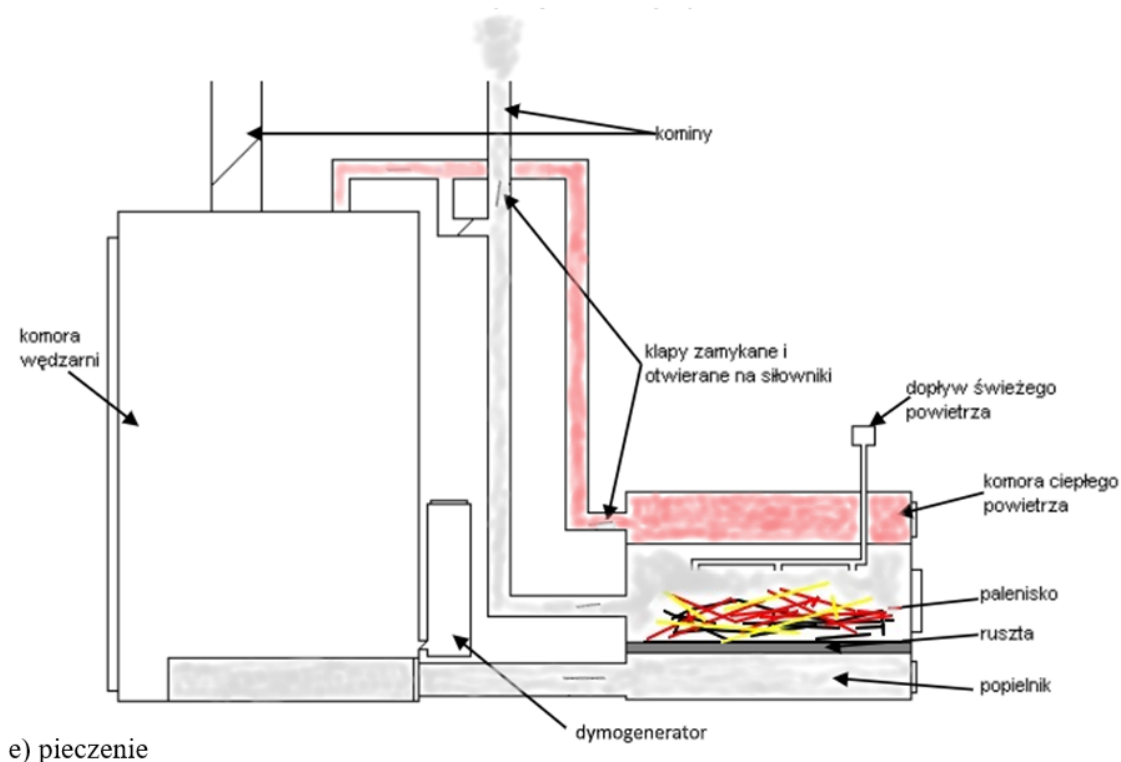
b) suszenie



c) wędzenie



d) wędzenie z pieczeniem



Rys. 28 Schemat i zasada działania wędzarni innowacyjnej podczas etapów: a) rozpalania, b) suszenia, c) wędzenia, d) wędzenia z pieczeniem, e) pieczenia

Po zakończeniu procesu produkty zostały wyjęte z komory wędzarniczej i schłodzone do temperatury ok. 10-12°C. Po schłodzeniu przekazywano je do chłodni o temperaturze 4°C, skąd pobierano próby do badań.

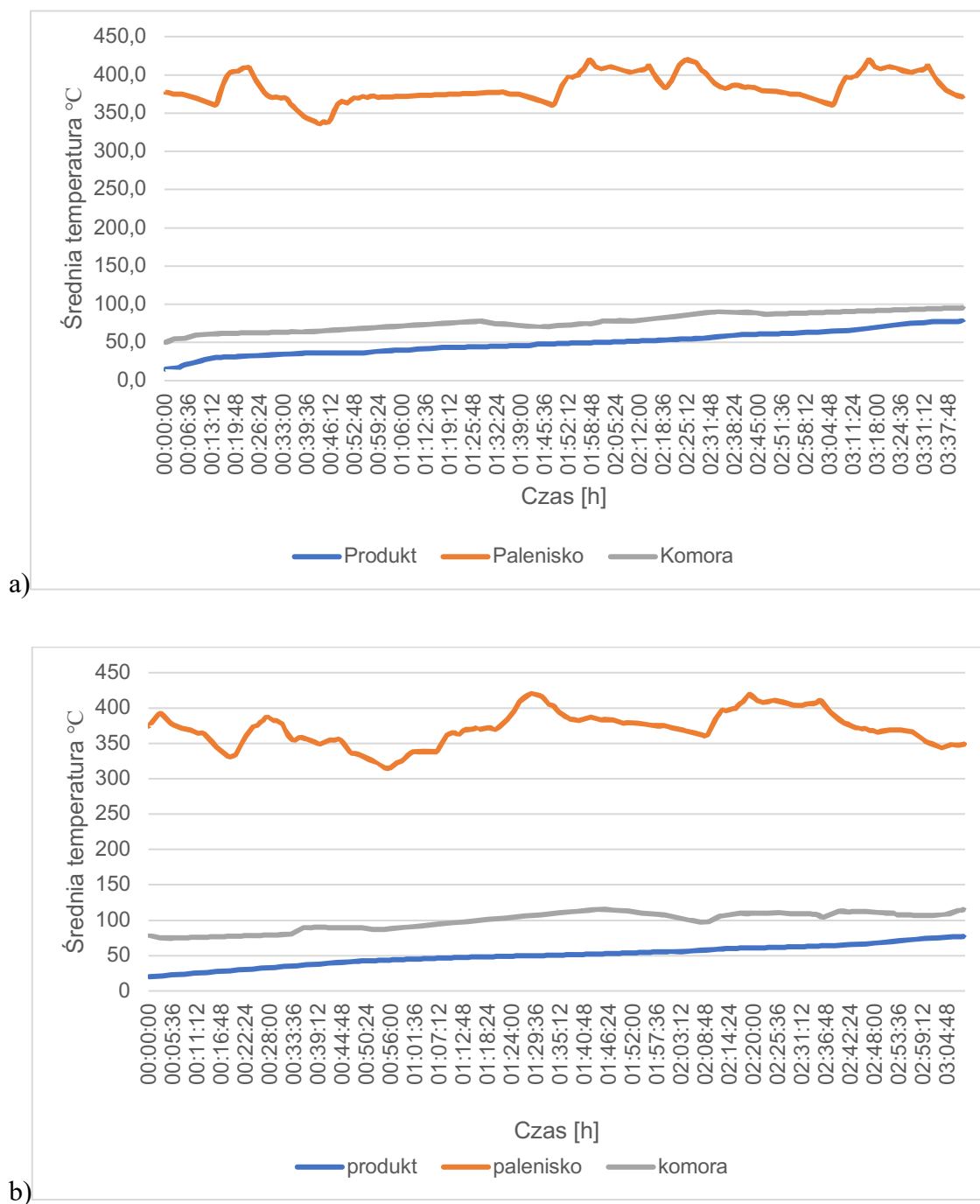
4.4 Parametry procesu wędzenia

Proces technologiczny wędzenia został poddany analizie wpływu temperatury występującej w poszczególnych miejscach wędzarni na zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, jakość powstałego wyrobu i jego trwałość przechowalniczą oraz na zanieczyszczenie powietrza. Podczas badań wstępnych jak również z danych uzyskanych przez innych autorów [9][73][108] ustalono, że temperatury powyżej 425°C w palenisku sprzyjają powstawaniu znacznych ilości WWA. Z tego względu prowadzono tak proces wędzenia, aby w palenisku nie przekroczyć temperatury 425°C. Otrzymane wyniki (rys. 29, rys. 30, rys. 31) prezentują uśrednione wartości temperatur w każdym z wariantów badawczych w czasie prowadzonego procesu.

Czujniki temperatury w palenisku zostały zamontowane tak, żeby znajdowały się tuż powyżej płomienia. Badania własne wykazały, że podczas spalania drewna temperatury występujące w różnych miejscach paleniska mogą się od siebie różnić. Jednak pomiar wszystkich temperatur występujących jednocześnie w różnych częściach paleniska nie jest możliwy do oceny, dlatego zdecydowano, że czujnik będzie umiejscowiony w centralnej części paleniska.

Analizując otrzymane wyniki pomiaru temperatur podczas wędzenia kielbasy cienkiej (rys. 29) w palenisku stwierdzono, że temperatury nie przekroczyły 420,4°C. Najniższa temperatura została zarejestrowana w palenisku wędzarni innowacyjnej wynosiła 314°C. Średnia temperatura w palenisku wędzarni tradycyjnej wynosiła 383°C, a średnia temperatura w palenisku wędzarni innowacyjnej 371,5°C. Pomimo centralnego umiejscowienia czujnika temperatury w palenisku, możemy przypuszczać, że podczas procesu spalania w palenisku temperatury mogły mieć nieco odmienne wartości, ponieważ rozkład temperatur w palenisku nie jest jednorodny. Po godzinie prowadzonego procesu wartość temperatury w batonie kielbasy cienkiej wędzonej w wędzarni tradycyjnej wynosiła 38,4°C, natomiast w batonie kielbasy wędzonej w wędzarni innowacyjnej wynosiła 44,8°C. Po dwóch godzinach prowadzonego procesu temperatura w batonie kielbasy cienkiej wędzonej w wędzarni innowacyjnej sięgnęła 55°C i była o 5,3°C wyższa niż wędzonej w wędzarni tradycyjnej. W trzeciej godzinie wędzenia temperatura w batonie kielbasy cienkiej wędzonej w wędzarni innowacyjnej osiągnęła 72°C, natomiast w batonie kielbasy cienkiej wędzonej w wędzarni tradycyjnej temperatura wynosiła wówczas 63,8°C. Różnice temperatury w batonie produktu wędzonego w wędzarni innowacyjnej i tradycyjnej w czasie procesu wędzenia wynikają z pełnego dostępu tlenu w palenisku wędzarni innowacyjnej i panowania wyższej temperatury w komorze wędzarni innowacyjnej. Podczas procesu w wędzarni tradycyjnej po godzinie w komorze była temperatura ok. 70°C, gdy w tym samym czasie w komorze wędzarni innowacyjnej temperatura była o 20°C wyższa. Porównując czasy wędzenia i temperatury w poszczególnych wędzarniach zauważamy, że przez cały czas procesu, w komorze wędzarniczej wędzarni innowacyjnej utrzymywała się wyższa temperatura niż w komorze wędzarni tradycyjnej. Po dwóch godzinach różnica ta wynosiła 22°C, natomiast po 3 godzinach, różnica wynosiła 15°C. Różnice te nie były spowodowane różnicami temperatur występującymi w palenisku, gdyż te były na podobnym poziomie wartości.

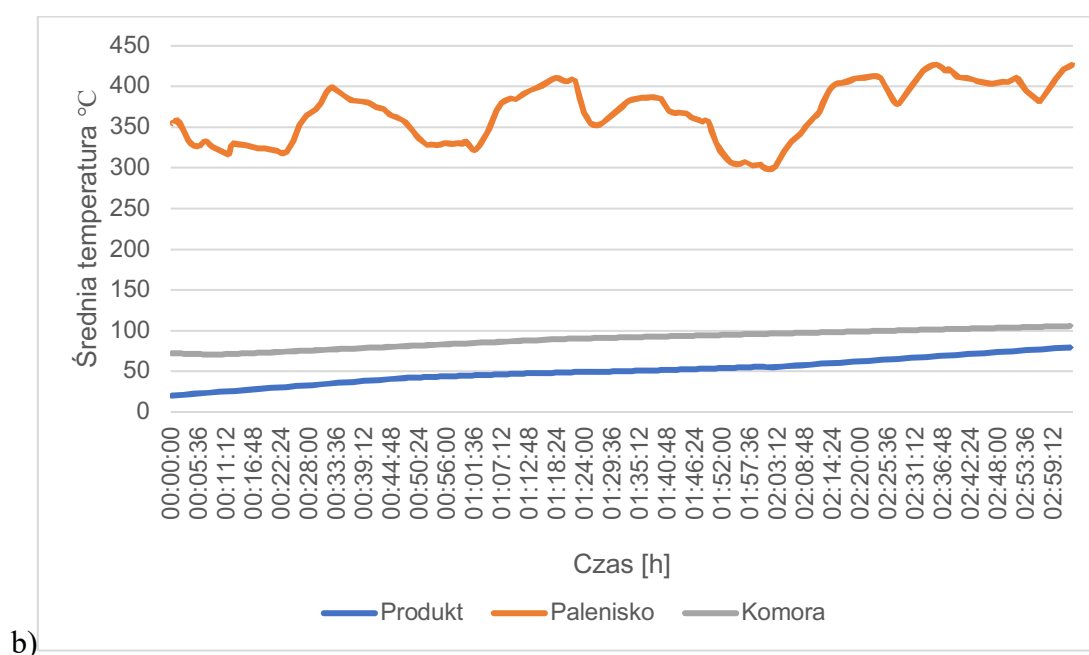
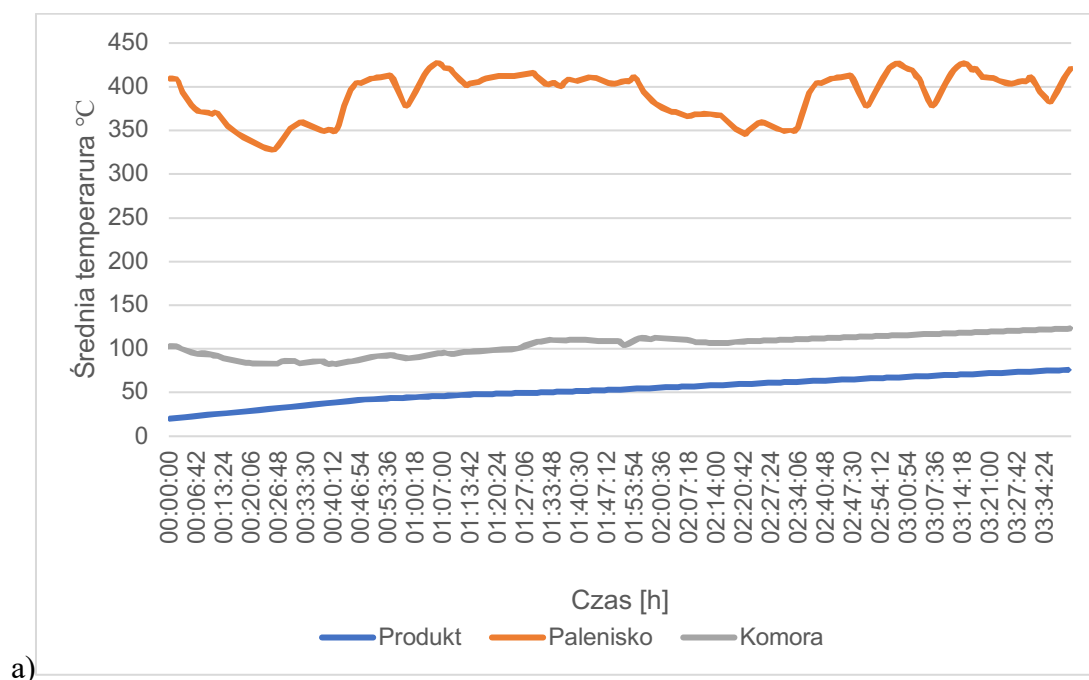
Możemy to tłumaczyć różnicami w konstrukcji i budowie badanych wędzarni oraz większą utratą ciepła w wędzarni tradycyjnej.



Rys. 29 Wartości temperatur podczas procesu wędzenia kiełbasy cienkiej w wędzarni:
a) tradycyjnej i b) innowacyjnej

W wędzarni innowacyjnej zaobserwowano lepsze wykorzystanie ciepła pochodzącego ze spalania drewna podczas wędzenia, co wpłynęło na skrócenie czasu prowadzonego procesu. W przypadku wędzarni tradycyjnej cały proces wędzenia trwał

około 4 godzin, natomiast w wędzarni innowacyjnej proces zakończył się po około 3 godzinach. Świadczy to o tym, że utrzymując podobne temperatury spalania drewna proces wędzenia w wędzarni innowacyjnej przebiegł szybciej niż w wędzarni tradycyjnej.



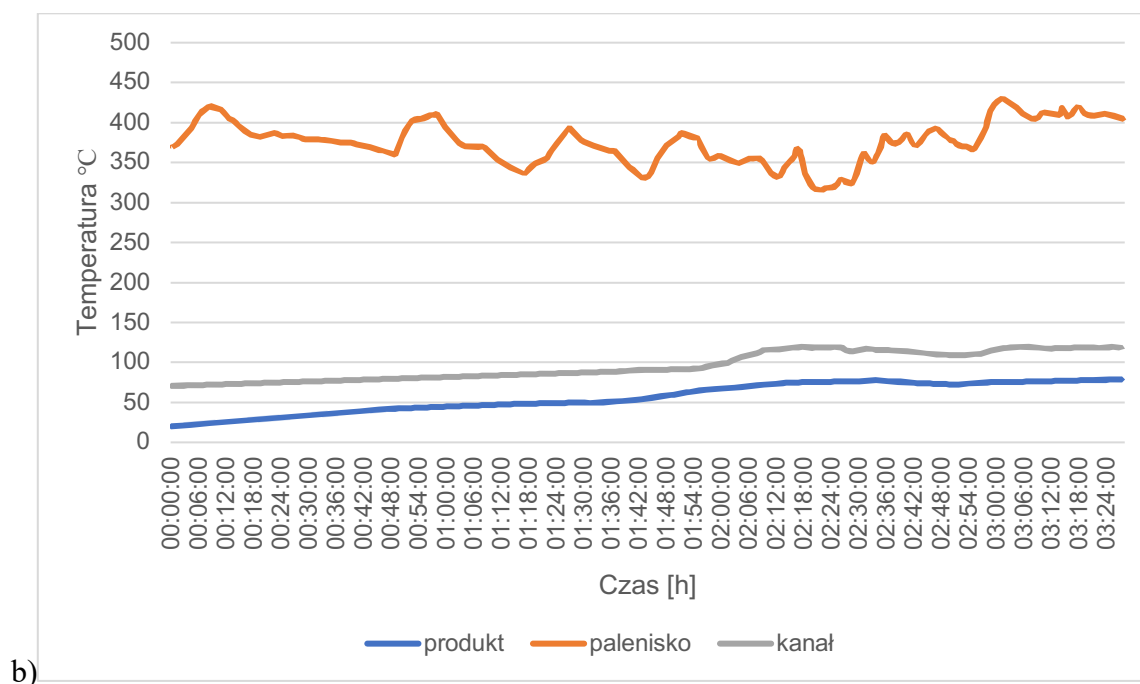
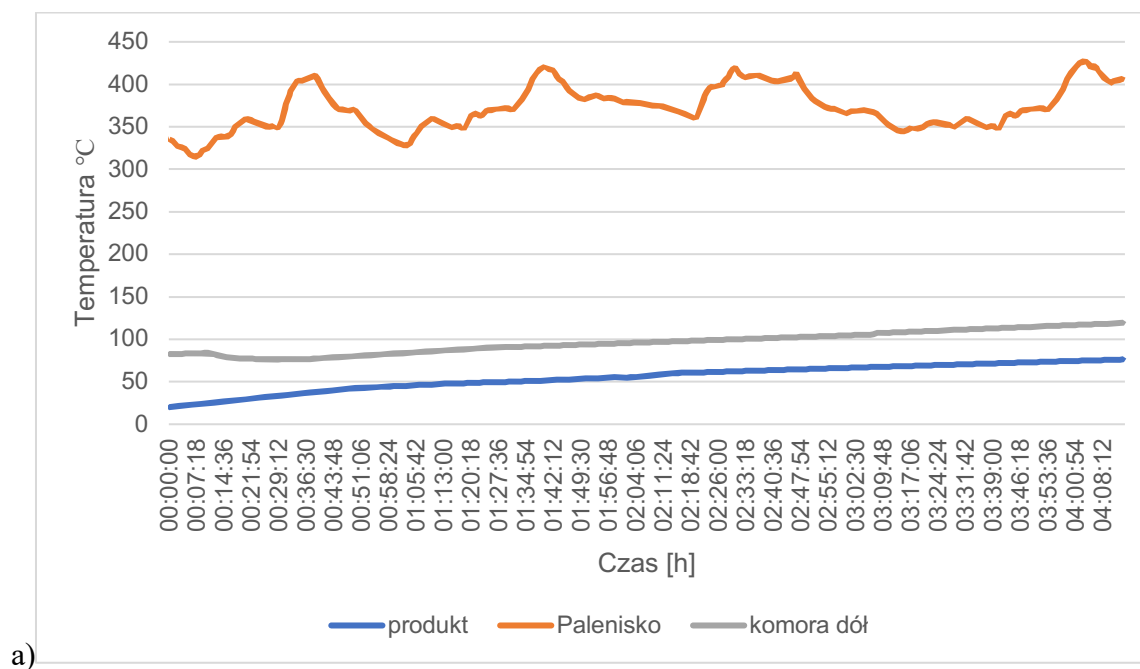
Rys. 30 Wartość temperatur podczas procesu wędzenia kielbasy grubej w wędzarni
a) tradycyjnej i b) innowacyjnej

Spowodowane jest to budową wędzarni innowacyjnej, która jest w stanie szybciej przekazać ciepło i składniki dymu, powstałe ze spalania drewna do produktu. Minimalizuje straty ciepła dzięki zainstalowanym wentylatorom, które powodują zaciąganie ciepła i dymu do komory rozprowadzając je równomiernie.

Skrócenie czasu wędzenia w wędzarni innowacyjnej w stosunku do wędzarni tradycyjnej zaobserwowano również podczas procesu wędzenia kielbasy grubej (rys. 30). Całkowity czas procesu wędzenia w wędzarni tradycyjnej wyniósł 3 godziny 40 minut, natomiast w wędzarni innowacyjnej 3 godziny i 3 minuty. Średnia temperatura w palenisku podczas wędzenia kielbasy grubej w wędzarni tradycyjnej wynosiła 389,4°C, natomiast podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej średnia temperatura w palenisku wynosiła 368°C. Rozkład temperatury w batonie produktu wędzonego w wędzarni innowacyjnej oraz tradycyjnej był na podobnym poziomie po godzinie i po dwóch godzinach procesu. W trzeciej godzinie prowadzonego procesu w wędzarni innowacyjnej produkt osiągnął temperaturę 72°C po 2 godzinach i 45 minutach, natomiast w tym samym czasie, w środku batonu produktu wędzonego w wędzarni tradycyjnej temperatura wynosiła 68°C. Podczas procesu wędzenia kielbasy grubej wyższe temperatury zaobserwowano w przypadku wędzarni tradycyjnej. Różnica pomiędzy temperaturami panującymi w komorze tradycyjnej i innowacyjnej wynosiła ok. 8°C. Spowodowane to było obniżeniem temperatury w palenisku wędzarni innowacyjnej o 21,4°C (rys. 30). Pozwoliło to ograniczyć ilość WWA w gotowym produkcie.

W przypadku wędzenia wędzonek również zaobserwowano skrócenie czasu procesu w wędzarni innowacyjnej w porównaniu do czasu wędzenia w wędzarni tradycyjnej. Proces obróbki cieplnej w wędzarni innowacyjnej zakończono po 3 godzinach i 27 minutach, natomiast w wędzarni tradycyjnej trwał 4 godziny i 14 minut. Po pierwsze godzinie procesu temperatura w batonie produktów wędzonych w wędzarni innowacyjnej i w wędzarni tradycyjnej była na zbliżonym poziomie ok. 44°C. Po 120 minutach wędzenia produktów w wędzarni innowacyjnej temperatura w środku produktu wynosiła ok. 60°C i była o 5°C wyższa niż w przypadku produktów wędzonych w wędzarni tradycyjnej. Po trzech godzinach prowadzenia procesu temperatura w produkcie wędzonym w wędzarni innowacyjnej osiągnęła wartość 70°C i była o 4°C wyższa od temperatury w środku produktu wędzonego w wędzarni tradycyjnej. Przez pierwsze dwie godziny rozkład temperatur w komorze wędzarniczej był na podobnym poziomie w obydwu badanych wędzarniach. Po upływie dwóch godzin procesu, w wędzarni innowacyjnej

zaobserwowano wzrost temperatury względem temperatury panującej w komorze wędzarni tradycyjnej. Po trzech godzinach wędzenia różnica ta wynosiła ok 15°C. Jednakże w tym czasie obserwowano wyższe wartości temperatur w palenisku wędzarni innowacyjnej, wahały się one od 350 do 400°C, natomiast w tym samym czasie procesu w palenisku wędzarni tradycyjnej odnotowywano temperatury w zakresie 350-380°C (rys. 31).



Rys. 31 Wartość temperatur podczas procesu wędzenia wędzonek w wędzarni
a) tradycyjnej i b) innowacyjnej

Podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej wszystkich badanych produktów tak prowadzono proces, aby w końcowym etapie obróbki cieplnej, w palenisku utrzymywała się wysoka temperatura. W tym etapie, kanał łączący palenisko z komorą wędzarniczą był przymknięty, co w dużej mierze ograniczyło przedostawanie się zanieczyszczeń do komory wędzarniczej, a tym samym do produktu. W wędzarni tradycyjnej nie był możliwy taki zabieg, ponieważ łączyłoby się to ze wzrostem zanieczyszczeń w wędzonym wyrobie mięsnym.

Można zauważyć, że podczas przeprowadzania procesów spalania drewna w obu wędzarniach, nie zarejestrowano temperatury przekraczającej 450 °C w palenisku, czyli nie dopuszczono do warunków sprzyjających powstawaniu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Nie zahamowało to jednak całkowicie powstawaniu WWA. Problemem mogą być tu wysokie temperatury panujące w niemonitorowanych przestrzeniach paleniska. Jest możliwe, że w innych miejscach paleniska temperatura przekraczała 450°C i sprzyjała powstawaniu WWA.

Kontrola temperatur w trakcie całego procesu, głównie temperatury panującej w palenisku jest niezbędna, ponieważ właśnie wysoka temperatura odpowiada za tworzenie się wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Brak informacji o aktualnych warunkach panujących w paleniskach, powoduje, że czasem wędzacz kontrolujący proces wędzenia za późno zareaguje z obniżeniem temperatury w palenisku, co skutkuje wyższą zawartością WWA w dymie, a co za tym idzie w gotowym produkcie.

4.5 Wilgotność drewna i jego zużycie do wędzenia

Wilgotności drewna (tab. 9) użytego do wędzenia w wędzarni tradycyjnej oraz w wędzarni innowacyjnej w przypadku jednego rodzaju badanych produktów była na takim samym poziomie. Średnia wilgotność drewna użytego do wędzenia kielbas cienkich wynosiła 18 %. Drewno użyte do wędzenia kielbas grubych oraz wędzonek charakteryzowało się średnią wilgotnością na poziomie 15 %. Poziom wilgotności drewna użytego do wędzenia był na akceptowalnym i zadowalającym poziomie. Drewno nie było mokre i nie było też drewnem za bardzo wysuszonym. Optymalna wilgotność drewna powinna wynosić ok. 15 % [49], jedynie w przypadku wędzenia kielbasy cieniżej wilgotność drewna przekroczyła 15% o 3 punkty procentowe. Na wyższą wilgotność drewna użytego do wędzenia kielbas cienkich wpłynęła prawdopodobnie wilgotność powietrza atmosferycznego, która w okresie prowadzenia wędzenia była dość wysoka i kształtowała się na poziomie ok. 90 %.

Tab. 9 Średnie zużycie drewna podczas procesu wędzenia oraz średnia wilgotność drewna użytego do wędzenia

Produkt		Średnie zużycie drewna [kg]	Średnia wilgotność drewna [%]
KCT	$\bar{x}$	20,16^b	18,05^a
	SD	1,25	3,61
	n	3	3
KCI	$\bar{x}$	15,5^a	18,12^a
	SD	1,5	2,14
	n	3	3
KGT	$\bar{x}$	27,1^b	15,18^a
	SD	2,9	2,03
	n	3	3
KGI	$\bar{x}$	23,13^a	15,28^a
	SD	2,85	2,03
	n	3	3
WT	$\bar{x}$	22,63^b	15,14^a
	SD	1,9	2,18
	n	3	3
WI	$\bar{x}$	19,16^a	15,00^a
	SD	2,45	2,26
	n	3	3

KCT – kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, KGT – kielbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI – kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, WT – wędzonki wędzone w wędzarni tradycyjnej, WI – wędzonki wędzone w wędzarni innowacyjnej, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe, średnie oznaczone różnymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$)

Zaobserwowano istotne różnice w ilości zużytego drewna pomiędzy próbami wędzonymi w różnych wędzarniach. Do przeprowadzenia procesu wędzenia kielbasy cienkiej w wędzarni tradycyjnej zużyto średnio 20,1 kg drewna. Tą samą kielbasę w wędzarni innowacyjnej wędzono przy użyciu średnio 15,5 kg drewna. Jest to o 22% mniejsze zużycie drewna niż w przypadku wędzenia w wędzarni tradycyjnej. Zużycie drewna podczas produkcji kielbasy grubej oraz wędzonek w wędzarni innowacyjnej było mniejsze o 15 % niż w wędzarni tradycyjnej. Może to świadczyć o tym, że budowa oraz prowadzenie procesu spalania w wędzarni innowacyjnej powoduje zmniejszenie zużycia

drewna, a co za tym idzie oszczędności energetyczne i ekonomiczne podczas produkcji wyrobów wędzonych.

4.6 Podstawowy skład chemiczny użytych surowców i produktów mięsnych

Skład użytego surowca ma wpływ na produkt, jego jakość sensoryczną, cechy fizyko-chemiczne oraz na wędzenie. Wyniki składu chemicznego surowców użytych do wyprodukowania modelowych produktów mięsnych przedstawiono w tabeli 10. Do badań wybierano surowiec ujednolicony (mięso pochodziło z półtuszy wieprzowych klasy E), tak aby skład chemiczny produktu gotowego w poszczególnych szarżach produkcyjnych był zbliżony i miał ograniczony wpływ na jakość sensoryczną produktów. Ocena sensoryczna produktów modelowych miała za zadanie wykazać potencjalny wpływ zastosowanej wędzarni (wędzarnia tradycyjna, wędzarnia innowacyjna) na profil jakości sensorycznej wędzonych wyrobów. W niniejszych badaniach ocena sensoryczna miała kluczowe znaczenie podczas porównywania produktów z dwóch rodzajów wędzarni. Skład chemiczny surowców podstawowych i produktu gotowego przedstawiono w tab. 10 i tab. 11. Najwyższą zawartością wody charakteryzowała się wieprzowina klasy I oraz schab, natomiast najniższą wieprzowina klasy II tłusta oraz boczek. Najwyższą zawartość tłuszczu wykazała wieprzowina klasy II tłusta, a najmniej tłuszczu zawierał schab. Najwyższą zawartością białka charakteryzował się schab, natomiast najniższą boczek wieprzowy.

Tab.10 Podstawowy skład chemiczny surowców

Surowiec n=3	Woda [%]		Tłuszcz [%]		Białko [%]	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Wieprzowina klasy I	71,8	1,8	5,6	0,9	20,1	1,5
Wieprzowina klasy II chuda	69,5	1,7	10,6	1,9	18,3	1,2
Wieprzowina klasy II tłusta	52,4	2,1	32,5	2,5	15,0	1,3
Schab	73,8	1,8	3,7	1,5	22,9	1,6
Boczek	56,2	2,4	26,9	2,1	16,2	2,0

$\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe

Wyniki analizy składu chemicznego badanych produktów, tj. średnie zawartości wody, tłuszczu, białka, chlorku sodu wraz z liczebnością badanych próbek, odchyleniem standardowym oraz wartości wyliczonych parametrów: Feder Number (FN), Protein Fat Free (PFF) Brain Concentration (BC), stosunek tłuszczu do białka (T/B) prezentują tabele 11 i 12. Analizując otrzymane wyniki stwierdzono różnice w zawartości wody, tłuszczu i białka w badanych produktach. Warianty badawcze w obrębie danej grupy produktowej nie wykazały różnic statystycznie istotnych w zakresie podstawowego składu chemicznego, co było związane z zastosowaniem jednorodnego wsadu surowcowego i parametrami procesu (tab. 11). Najwyższą zawartością wody charakteryzowały się schaby wędzone 69,7 %, natomiast najniższą boczki wędzone 45,8 %.

Tab.11 Podstawowy skład chemiczny badanych produktów mięsnych

Produkt n=3	Woda [%]		Tłuszcz [%]		Białko [%]		Węglowodany [%]		Chlorek sodu [%]	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
KCT	51,3	2,9	25,5	3,1	17,3	1,9	0,6	0,2	1,9	0,2
KCI	54,2	3,5	26,1	3,8	17,1	1,9	0,6	0,1	1,9	0,2
KGT	60,9	3,4	11,9	2,8	23,1	4,9	0,7	0,2	2,1	0,2
KGI	59,6	3,1	12,2	2,7	24,3	3,9	0,6	0,2	2,1	0,2
ST	68,7	1,6	4,2	1,3	22,8	2,3	0,6	0,2	1,9	0,2
SI	69,7	1,3	3,8	1,2	22,6	2,7	0,5	0,2	1,8	0,2
BT	47,4	5,4	32,7	7,2	15,5	3,2	0,5	0,2	1,9	0,3
BI	45,8	3,6	32,4	8,1	17,4	2,7	0,6	0,2	1,8	0,3

(KCT – kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, KGT – kielbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI – kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej, SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej, BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe)

Stopień uwodnienia białka w produkcie wskazuje wartość Liczby Federa, którą można rozumieć jako stosunek masy gotowego wyrobu do masy użytego surowca białkowego. Wskazuje ona, że niską wydajnością a zarazem wysoką białkowością charakteryzowały się kielbasy grube, natomiast wydajność na podobnym poziomie wykazały pozostałe produkty. Wskaźnik Protein Fat Free (PFF) informuje nas o koncentracji białka w masie beztłuszczowej. Potwierdza on wysoką zawartość białka w przypadku kielbas grubych (24,3 %). Średnie wartości wskaźnika tłustości, czyli stosunku tłuszczu do białka (T/B) wskazują na boczec, jako najtłustniejszy surowiec do produkcji wyrobów (T/B – 2,103). Najniższy stosunek tłuszczu do białka zaobserwowano w schabie wędzonym (T/B - 0,170) oraz kielbasie grubej (T/B – 0,502). Zawartość tłuszczu w tych produktach wynosiła odpowiednio 3,8 % i 11,9 %. Stwierdzono również we wszystkich badanych produktach, stosunkowo niską średnią zawartość chloru sodu, która w najwyższym stężeniu wynosiła 2,1 % (kielbasy grube), a najniższe stężenie zaobserwowano w boczku wędzonym (1,8 %).

Tab. 12 Wyliczone wskaźniki FN, PFF, BC, T/B produktów modelowych

Produkt n=3	FN [-]	PFF[-]	BC[-]	T/B[-]
KCT	3,077	0,232	0,035	1,478
KCI	3,169	0,231	0,034	1,524
KGT	2,636	0,262	0,034	0,514
KGI	2,453	0,277	0,035	0,502
ST	3,017	0,238	0,027	0,183
SI	3,090	0,235	0,026	0,170
BT	3,050	0,231	0,039	2,103
BI	2,632	0,258	0,038	1,863

(FN – Liczba Federa, PFF – wskaźnik Protein Fat Free, BC – Brain Concentration, T/B – stosunek tłuszczu do białka, KCT – kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, KGT – kielbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI – kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej, SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, BT – boczec wędzony w wędzarni tradycyjnej, BI – boczec wędzony w wędzarni innowacyjnej, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe)

Na zawartość składników podstawowych nie miał wpływu zastosowany rodzaj wędzarni. Różnice w procentowym udziale poszczególnych składników chemicznych nie były statystycznie istotne ($p > 0,05$). Najwyższym odchyleniem standardowym w zawartości tłuszczu charakteryzował się boczek, ze względu na swoją specyficzną budowę anatomiczną, co wpływa z kolei na zawartość białka i wody.

4.7 Wyniki kwasowości i potencjału oksydacyjno-redukcyjnego produktów mięsnych

Wartość średnia kwasowości (Tab. 13) w przypadku kielbasy grubej, wynosiła 6,07 dla próby KGT, a dla KGI 6,12. W przypadku kielbasy cienkiej wartość kwasowości wynosiła 6,12 dla próby KCT i 6,15 dla KCI. Badając poziom kwasowości w wędzonkach dla próby BT otrzymano wartości średnie na poziomie 6,19, a dla BI na poziomie 6,14. Schab wędzony charakteryzował się kwasowością na poziomie 5,86 dla próby ST i 5,85 dla SI. Niemniej jednak zaobserwowane różnice nie były statystycznie istotne ($p > 0,05$).

Analizując otrzymane wyniki kwasowości (Tab. 13), można zauważyć, że rodzaj wędzarni oraz prowadzony proces wędzenia i obróbki cieplnej nie wpływał na pH wyrobów. Różnice w wartości pH zaobserwowano tylko pomiędzy poszczególnymi rodzajami produktów na co wpływ mógł mieć rodzaj użytego surowca do produkcji poszczególnych grup asortymentowych oraz czas w jakim proces wędzenia był prowadzony. Wiadomo, że składniki dymu mogą mieć wpływ na kwasowość wędzonych produktów.

Analiza statystyczna potencjału oksydacyjno-redukcyjnego wyrobów nie wykazała różnic istotnych statystycznie pomiędzy próbami wędzonymi w porównywanych wędzarniach ($p > 0,05$). Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego kielbas cienkich wahała się od 325,49 mV do 369,28 mV. W przypadku kielbasy grubej wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego była w przedziale od 325,49 mV do 329,67 mV. Schab wędzony charakteryzował się potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym na poziomie 356,74 mV - 369,28 mV, natomiast wyniki dla boczku wędzonego zawierały się w zakresie 342,33 mV - 359,41 mV. Na poziom potencjału oksydacyjno-redukcyjnego wpływał miał rodzaj użytego surowca do produkcji poszczególnych wariantów badawczych oraz obróbka produktu dymem wędzarniczym.

Tab. 13 Kwasowość i potencjał oksydacyjno-redukcyjny produktów mięsnych mierzony po produkcji

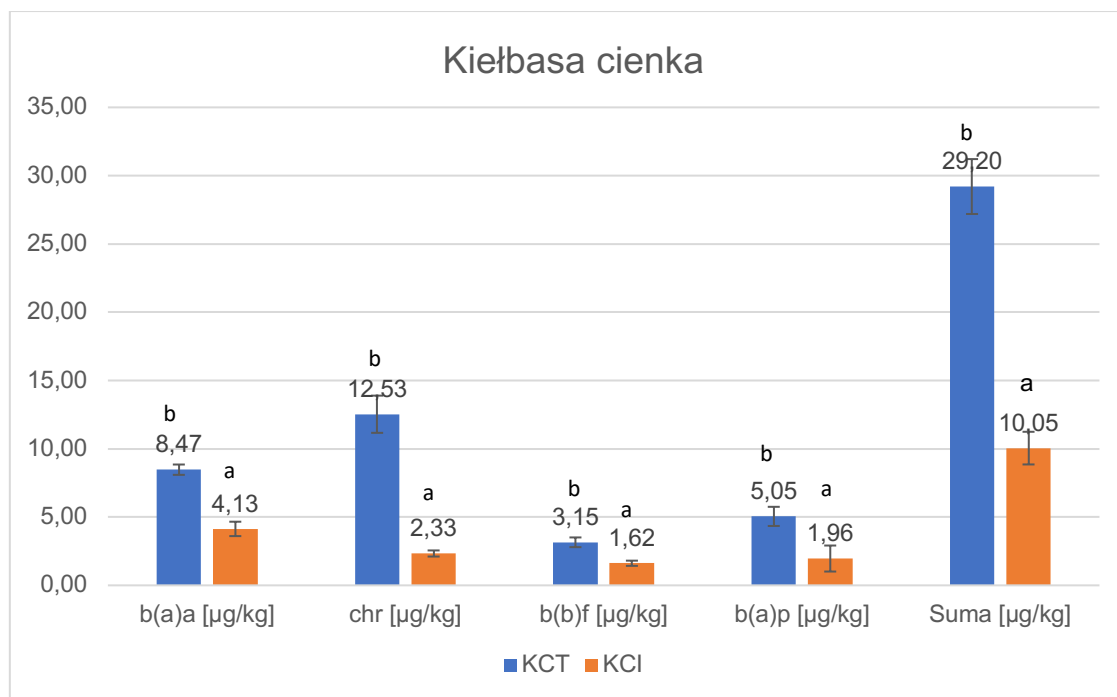
Produkt n=3		Kwasowość	Potencjał oksydacyjno- redukcyjny
KCT	$\bar{x}$	6,18 ^a	343,40 ^a
	SD	0,06	44,01
KCI	$\bar{x}$	6,15 ^a	339,73 ^a
	SD	0,02	22,95
KGT	$\bar{x}$	6,07 ^a	325,49 ^a
	SD	0,03	47,54
KGI	$\bar{x}$	6,12 ^a	329,67 ^a
	SD	0,03	32,84
ST	$\bar{x}$	5,86 ^a	356,74 ^a
	SD	0,05	17,33
SI	$\bar{x}$	5,85 ^a	369,28 ^a
	SD	0,05	5,00
BT	$\bar{x}$	6,19 ^a	359,41 ^a
	SD	0,03	11,34
BI	$\bar{x}$	6,14 ^a	342,33 ^a
	SD	0,04	14,06

(KCT – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, KGT – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej, SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej, BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe), te same litery - brak różnic statystycznie istotnych pomiędzy wariantami ($p > 0,05$)

4.8 Zawartość benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu i benzo[a]pirenu w produktach mięsnych

Ocena zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych jest podstawowym wyznacznikiem bezpieczeństwa żywności wędzonej. WWA ze względu na swoje szkodliwe działanie na organizm ludzki są coraz częściej badane w produktach, nie tylko wędzonych, ale również w świeżych owocach, warzywach i miodach, jako kwalifikator zanieczyszczenia żywności oraz czystości środowiska.

Ocenę zawartości benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluor-antenu i chryzenu oraz sumy 4WWA przeprowadzono w każdej grupie produktów, wyniki przedstawiono w sposób graficzny (rys. 32, rys. 33, rys. 34, rys. 35). Poziomy zawartość WWA porównano dla każdego produktu modelowego w dwóch wariantach badawczych: to jest wędzonych w tradycyjnej i wędzonych w innowacyjnej wędzarni. Kielbasa cienka ze względu na średnicę oraz na stosunkowo wysoką zawartość tłuszczu charakteryzowała się najwyższą zawartością benzo[a]pirenu i sumą 4WWA wśród badanych kielbas (rys. 32). Kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej charakteryzowała się średnią zawartością benzo[a]pirenu na poziomie 5,05 µg/kg oraz sumy 4 WWA na poziomie 29,20 µg/kg. Są to wartości zbliżone do najwyższych dopuszczalnych poziomów WWA dla wędzonych mięs i wędzonych produktów mięsnych objętych odstępstwem ustanowionym Rozporządzeniem Komisji (UE) 2020/1255 z dnia 7 września 2020 roku, które wynoszą 5,0 µg/kg w odniesieniu do benzo[a]pirenu oraz 30,0 µg/kg w odniesieniu do sumy benzo[a]pirenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu i chryzenu. Kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej charakteryzowała się istotnie niższą ($p \leq 0,05$) zawartością benzo[a]pirenu (1,96 µg/kg), benzo[a]antracenu (4,13 µg/kg), benzo[b]fluorantenu (1,62 µg/kg) i chryzenu (2,33 µg/kg) niż kielbasa wędzona w wędzarni tradycyjnej (odpowiednio: 5,05 µg/kg, 8,47 µg/kg, 3,15 µg/kg, 12,53 µg/kg). Średnia zawartość sumy 4 WWA w kielbasie cienkiej wędzonej w wędzarni innowacyjnej wynosiła 10,05 µg/kg. Na uwagę zasługuje fakt, że zawartość chryzenu w kielbasie cienkiej wędzonej w wędzarni innowacyjnej była ponad pięć razy niższa niż w przypadku kielbasy wędzonej w typowej wędzarni tradycyjnej. Zawartości WWA w kielbasie cienkiej wędzonej w wędzarni innowacyjnej wskazują, że produkt ten spełnia wymagania ustawowe, obowiązujące dla wędzonych mięs i wędzonych produktów mięsnych wprowadzanych na rynek europejski, które wynoszą do 2 µg/kg dla benzo[a]pirenu i do 12 µg/kg dla sumy 4 WWA [96].

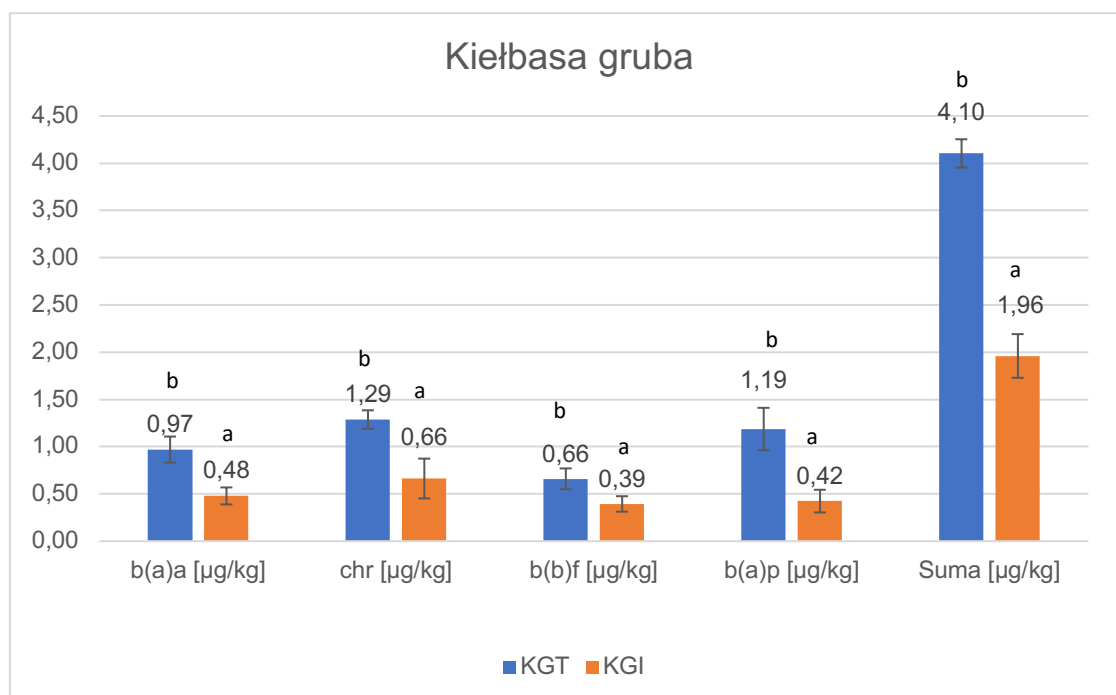


Rys. 32 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kielbasach cienkich bezpośrednio po produkcji.

KCT – kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, n=3, średnie oznaczone różnymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$), na wykresach przedstawiono graficznie (I) odchylenie standardowe.

Kielbasa gruba charakteryzowała się niższą zawartością wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (rys. 33) niż kielbasa cienka (rys. 32). Wpływ na to miała średnica produktu, która w przypadku kielbasy grubej była prawie dwukrotnie większa niż w kielbasie cienkiej. Drugim ważnym czynnikiem, który wpłynął na różnicę w zawartości WWA była osłonka. W kielbasie cienkiej, była to jadalna osłonka naturalna, która pozostała przy farszu kielbasianym w trakcie pobierania prób do badań WWA. W drugiej kielbasie, tzw. grubej, użyta została osłonka białkowa niejadalna, która przed rozpoczęciem analizy została zdjęta. Duża część wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych gromadzi się na powierzchni produktu, na osłonce lub tuż pod nią. Dlatego kielbasa gruba, która została pozbawiona osłonki oraz miała większą średnicę charakteryzowała się niższą zawartością WWA, niż kielbasa cienka, której próbki zostały przygotowane wraz z osłonką, czyli w taki sposób jak zazwyczaj się ją spożywa. Zawartość poszczególnych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz sumy 4WWA w obydwu

wariantach badawczych kiełbasy grubej mieściła się poniżej najwyższego dopuszczalnego poziomu w Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności [96]. Niemniej jednak, należy podkreślić, że średnie wartości badanych WWA w kiełbasie grubej wędzonej w wędzarni innowacyjnej były istotnie niższe ($p \leq 0,05$) od kiełbas wędzonych w typowej wędzarni tradycyjnej, co świadczy o tym, że rodzaj zastosowanej wędzarni wpływa na zawartość WWA w produkcie wędzonym.

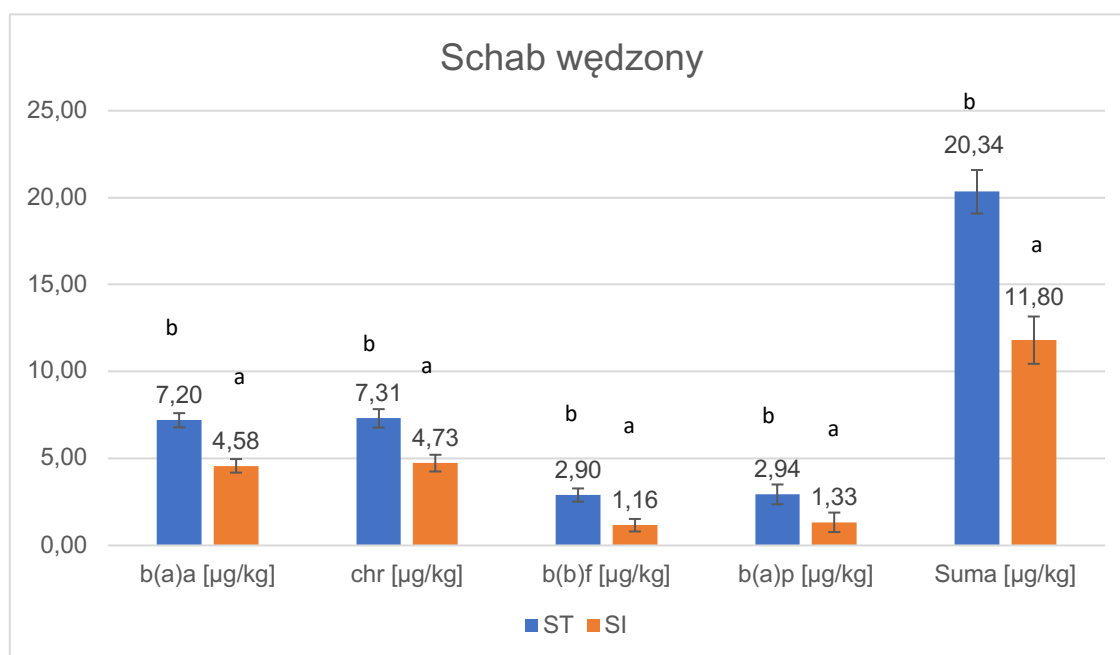


Rys. 33 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kiełbasach grubych bezpośrednio po produkcji.

KGT – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, $n=3$, średnie oznaczone różnymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$), na wykresach przedstawiono graficznie (I) odchylenie standardowe.

Schab wędzony został wybrany do badań jako produkt charakterystyczny dla grupy wędzonek o stosunkowo niskiej zawartości tłuszczu. Średnia zawartość benzo[a]pirenu w schabie wędzonym w wędzarni tradycyjnej wynosiła 2,94 µg/kg natomiast sumy 4WWA wynosiła 20,34 µg/kg, co nie przekraczało najwyższego dopuszczalnego poziomu dla produktów mięsnych objętych odstępstwem prawnym, jednak nie spełniał on norm zawartych w rozporządzeniu [96]. Oznacza to, że produkty te można sprzedawać na

lokalnym rynku krajowym, jednak nie można ich wprowadzać do obrotu na rynki innych krajów Unii Europejskiej. Schab wędzony w wędzarni innowacyjnej charakteryzował się zawartością benzo[a]pirenu na poziomie 1,33 $\mu\text{g/kg}$ oraz sumą 4 WWA na poziomie 11,8 $\mu\text{g/kg}$. Wyniki te (rys. 34) świadczą, o tym, że w przypadku tego produktu wędzonego w wędzarni innowacyjnej nie stwierdzono przekroczenia najwyższego dopuszczalnego poziomu ustalonego w rozporządzeniu [96].

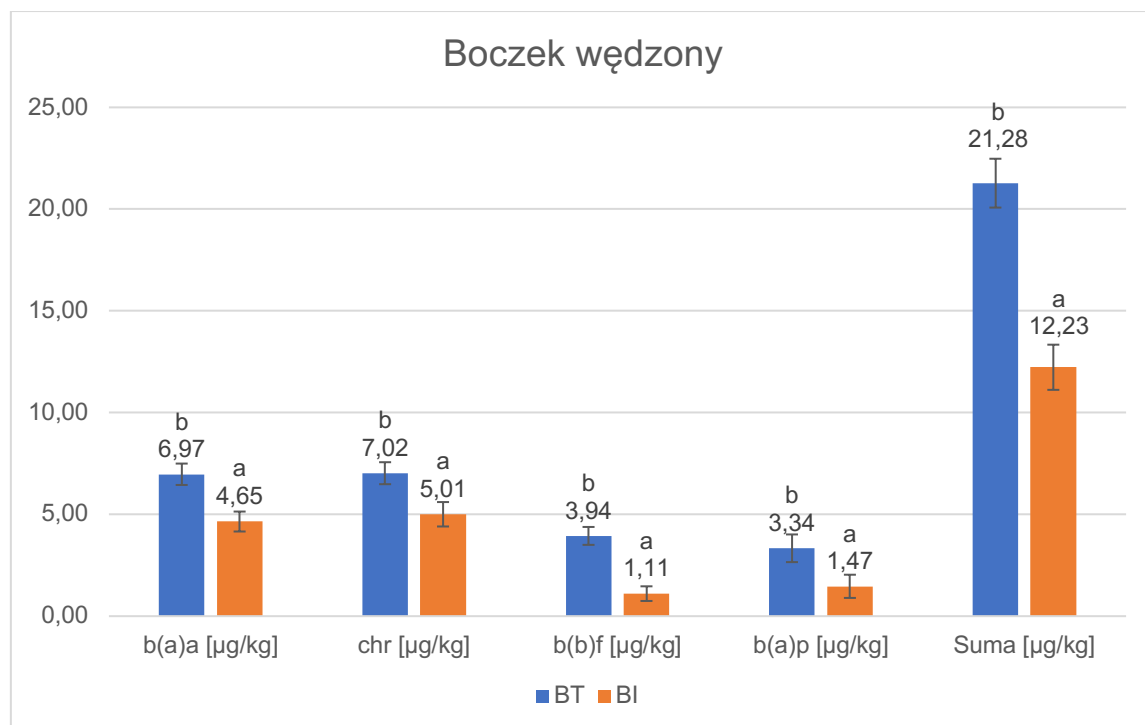


Rys. 34 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w schabie wędzonym bezpośrednio po produkcji.

ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej, SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, $n=3$, średnie oznaczone różnymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$), na wykresach przedstawiono graficznie (I) odchylenie standardowe.

Wyniki zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w boczku wędzonym wskazują różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) pomiędzy poziomami WWA w produkcie wędzonym w różnych wędzarniach. Boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej generalnie wykazywał się niższą zawartością badanych WWA oraz niższą sumą 4 WWA. Zawartość benzo[a]pirenu w boczku wędzonym w wędzarni tradycyjnej była dwukrotnie większa niż w boczku wędzonym w wędzarni innowacyjnej. Również suma 4 WWA w boczku z wędzarni tradycyjnej była prawie dwukrotnie większa niż suma 4 WWA z wędzarni innowacyjnej. Biorąc pod uwagę odchylenie standardowe możemy stwierdzić, że boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej spełniał normy zawarte w Rozporządzenie

Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności [96], które obowiązują we wszystkich państwach Unii Europejskiej.



Rys. 35 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w boczku wędzonym bezpośrednio po produkcji.

BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej, BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, n=3, średnie oznaczone różnymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$), na wykresach przedstawiono graficznie (I) odchylenie standardowe.

Porównując wyniki zawartości WWA w schabie wędzonym w wędzarni tradycyjnej i innowacyjnej oraz w boczku wędzonym, w tych samych wędzarniach, można stwierdzić, że w wędzonkach o większej zawartości tłuszczu, zaobserwowano wyższą zawartość benzo[a]pirenu oraz sumy 4 WWA. Zależność tą zaobserwowano dla wędzonek wędzonych w wędzarni innowacyjnej, jak również dla wędzonek wędzonych w wędzarni tradycyjnej.

4.9 Analiza jakości mikrobiologicznej produktów mięsnych

Jakość mikrobiologiczna badanych wyrobów mięsnych była zróżnicowana. Wyniki badań mikrobiologicznych produktów przeprowadzonych bezpośrednio po produkcji, po 7 i po 14 dniach przechowywania przedstawiono w tabeli 14.

Tab. 14 Analiza jakości mikrobiologicznej badanych produktach mięsnych

Nr próby n=3	Czas przechowywania [dni]	Liczba komórek bakterii [log jtk/g]		Obecność komórek bakterii w 25 g	
		ENT	OLD	SALM	LIST
KGT	0	3,60±0,43 ^{Ab}	3,86±0,36 ^{Ab}	nb	Nb
	7	3,39±0,12 ^{Ab}	4,31±0,24 ^{Aa}	nb	Nb
	14	3,31±0,34 ^{Aa}	4,80±0,81 ^{Aa}	nb	Nb
KGI	0	1,50±2,12 ^{Aa}	2,00±0,22 ^{Aa}	nb	Nb
	7	1,15±1,63 ^{Aa}	4,40±0,11 ^{Bb}	nb	Nb
	14	4,91±0,45 ^{Ba}	4,61±0,21 ^{Ba}	nb	Nb
KCT	0	1,50±2,12 ^{Aa}	3,87±0,24 ^{Aa}	nb	Nb
	7	4,13±0,19 ^{Ba}	4,18±0,21 ^{Aa}	nb	Nb
	14	4,85±1,01 ^{Ba}	4,13±0,16 ^{Aa}	nb	Nb
KCI	0	3,45±0,21 ^{Ab}	4,19±0,06 ^{Ab}	nb	Nb
	7	3,85±0,67 ^{Aa}	5,08±0,21 ^{Bb}	nb	Nb
	14	4,04±0,80 ^{Aa}	4,82±0,10 ^{Bb}	nb	Nb
BT	0	3,09±0,20 ^{Ab}	3,78±0,53 ^{Ab}	nb	Nb
	7	3,58±0,71 ^{ABb}	4,16±0,33 ^{Ab}	nb	Nb
	14	4,15±0,21 ^{Bb}	4,95±0,24 ^{Bb}	nb	Nb
BI	0	1,09±0,41 ^{Aa}	1,24±0,75 ^{Aa}	nb	Nb
	7	1,29±0,27 ^{Aa}	3,30±0,43 ^{Ba}	nb	Nb
	14	2,00±0,18 ^{Ba}	3,02±0,03 ^{Ba}	nb	Nb
ST	0	2,20±0,17 ^{Aa}	3,15±0,25 ^{Aa}	nb	Nb
	7	2,30±0,21 ^{Aa}	3,15±0,27 ^{Aa}	nb	Nb
	14	3,26±0,25 ^{Bb}	3,70±0,13 ^{Ba}	nb	Nb
SI	0	1,81±0,28 ^{Aa}	3,24±0,34 ^{Aa}	nb	Nb
	7	2,50±0,65 ^{Aa}	3,15±0,21 ^{Aa}	nb	Nb
	14	2,30±0,54 ^{Aa}	3,95±0,08 ^{Ba}	nb	Nb

KCT – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej, KCI – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, KGT – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej, KGI –

kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej, SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej, BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, ENT - bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, OLD - ogólna liczba bakterii mezofilnych, SALM - bakterie z rodzaju *Salmonella*, LIST - *Listeriamonocytogenes*, nb – nieobecne, średnie oznaczone różnymi wielkimi literami – A, B różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$) w obrębie czasu przechowywania, średnie oznaczone różnymi małymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$) pomiędzy wariantami.

Oba warianty kielbasy cienkiej (KCT, KCI) oraz grubej (KGT, KGI) charakteryzowały się generalnie zadawalającą jakością mikrobiologiczną podczas całego okresu przechowywania. Ogólna liczba bakterii mezofilnych oraz liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w kielbasie grubej wędzonej w wędzarni tradycyjnej bezpośrednio po produkcji wynosiła odpowiednio 3,86 i 3,60 log jtk/g. Po 14 dniach przechowywania OLD wynosiła 4,80 log jtk/g, a liczba bakterii z rodzaju *Enterobacteriaceae* 3,31 log jtk/g.

W kielbasie grubej wędzonej w wędzarni innowacyjnej poziom ogólnej liczby bakterii mezofilnych bezpośrednio po produkcji wynosił średnio 2,00 log jtk/g, natomiast po 14 dniach przechowywania wzrósł do 4,61 log jtk/g. Podobny poziom drobnoustrojów stwierdzono w przypadku bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, po produkcji liczba bakterii wynosiła średnio 1,50 log jtk/g, natomiast po 14 dniach przechowywania 4,91 log jtk/g. Różnice w liczbie drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae* i ogólnej liczby drobnoustrojów w kielbasie grubej badanych po produkcji i po 14 dniach chłodniczego przechowywania były statystycznie istotne ($p \leq 0,05$).

W przypadku wędzonek obydwie warianty boczku (BT, BI) i schabu (ST, SI) charakteryzowały się dobrą jakością mikrobiologiczną oraz zbliżonym poziomem ogólnej liczby drobnoustrojów. Ogólna liczba drobnoustrojów mezofilnych w schabach bezpośrednio po produkcji wynosiła dla ST 3,15 log jtk/g a dla SI 3,24 log jtk/g, natomiast po 14 dniach przechowywania chłodniczego wynosiła odpowiednio 3,70 log jtk/g oraz 3,95 log jtk/g. Boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej bezpośrednio po produkcji charakteryzował się ogólną liczną bakterii na poziomie 3,78 log jtk/g oraz bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* 3,09 log jtk/g. Po 14 dniach przechowywania ogólna liczba bakterii wzrosła do poziomu 4,95 log jtk/g, natomiast bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* do poziomu 4,15 log jtk/g. Boczek wędzony pochodzący z wędzarni innowacyjnej bezpośrednio po produkcji charakteryzował się ogólną liczbą bakterii mezofilnych na poziomie 1,24 log jtk/g, natomiast po 14 dniach przechowywania

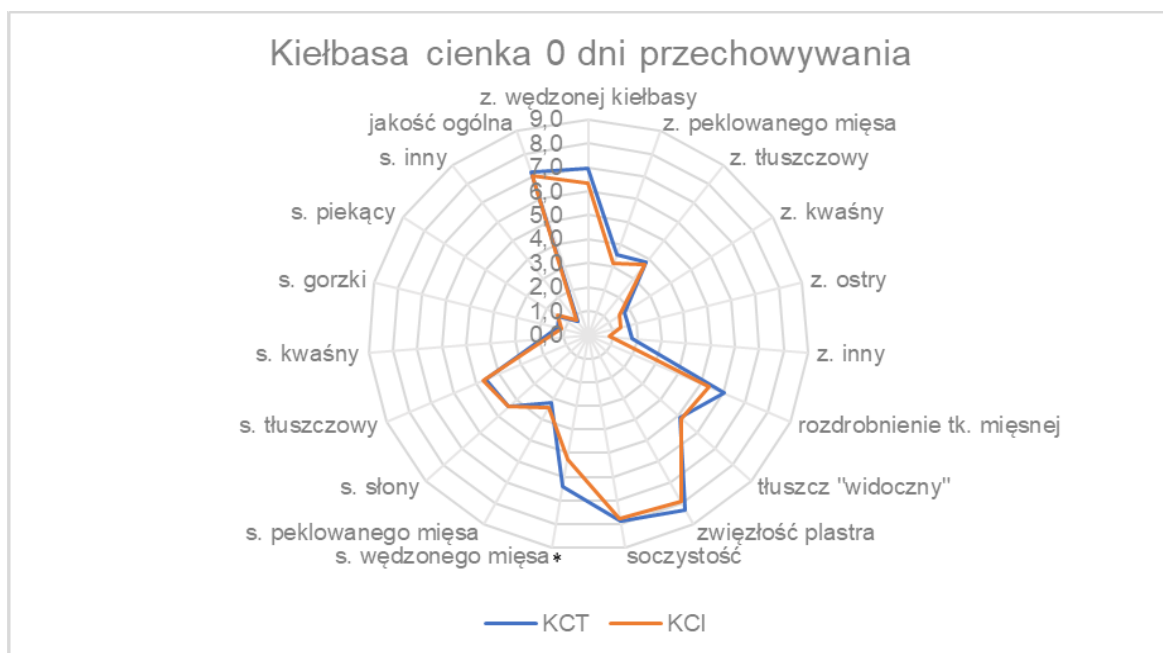
3,02 log jtk/g. Bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* bezpośrednio po produkcji występowały w liczbie 1,09 log jtk/g, a po 14 dniach liczba tych bakterii wynosiła do 2,00 log jtk/g.

W wędzarni innowacyjnej obróbka termiczna była krótsza niż w wędzarni tradycyjnej, jednak nie wpłynęło to znacząco na jakość mikrobiologiczną wędzonych produktów. Stwierdzano różnice w ogólnej liczbie drobnoustrojów i bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w produktach wędzonych w różnych wędzarniach, choć nie były to zawsze różnice istotne statystycznie. Interesujące wyniki uzyskano dla boczku, gdzie produkty wędzone w wędzarni innowacyjnej charakteryzowały się istotnie niższą ogólną liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* niż te wędzone w typowej wędzarni tradycyjnej. Obserwowane różnice były istotne statystycznie po produkcji i po 7, 14 dniach przechowywania ($p \leq 0,05$). Z kolei odwrotną tendencję uzyskano dla ogólnej liczby bakterii w przypadku kielbas cienkich.

We wszystkich badanych produktach nie wykryto bakterii z rodzaju *Salmonella* oraz *Listeria monocytogenes*.

4.10 Analiza sensoryczna produktów mięsnych

Wyniki oceny sensorycznej produktów metodą ilościowej analizy opisowej (QDA) przeprowadzono bezpośrednio po produkcji (czas 0), po 7 i po 14 dniach chłodniczego przechowywania. Warianty badawcze kielbasy cienkiej bezpośrednio po produkcji (czas 0) cechowały się podobną jakością sensoryczną (rys. 36). Zespół oceniający stwierdził intensywny zapach wędzonej kielbasy (KCI: 6,3; KCT: 7,0), a pozostałe wyróżniki zapachu występowały w mniejszym stopniu. Oba warianty charakteryzowały się średnim rozdrobnieniem tkanki mięsnej i niewielką „widocznością” tłuszczu, natomiast wyróżniały się dość dużą zwięzłością plastra (KCI: 7,9; KCT: 8,3) oraz soczystością (KCI: 7,8; KCT: 7,9). Wśród wyróżników smaku istotne różnice ($p \leq 0,05$) pomiędzy wariantami badawczymi zaobserwowano w przypadku smaku wędzonego mięsa (KCI: 5,3; KCT: 6,4). Smaki niepożądane nie zostały zidentyfikowane przez oceniających. Obydwa warianty kielbasy cienkiej cechowały się wysoką jakością ogólną na poziomie 7,0 j.u. bezpośrednio po produkcji.



Rys. 36 Analizy sensoryczna kiełbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji

KCT – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KCI – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Ocena sensoryczna przeprowadzona po 7 dniach chłodniczego przechowywania (rys. 37) wykazała, że w obydwu wariantach wędzenia kiełbasy cienkiej niewielkiej zmianie uległ profil zapachowy, zmniejszyła się intensywność zapachu wędzonego, w przypadku kiełbasy cienkiej wędzonej w wędzarni tradycyjnej z 7,0 na 6,3 j.u., natomiast w niewielkim stopniu zwiększył się zapach wędzony w przypadku kiełbasy, która pochodziła z wędzarni innowacyjnej i uzyskał on noty na poziomie 6,4 j.u. W wariantcie wędzonym w wędzarni tradycyjnej zwiększyła się intensywność zapachu tłuszczowego, co wpłynęło na różnice statystycznie istotne pomiędzy badanymi próbkami ($p \leq 0,05$). W obydwu wariantach badawczych wyżej oceniona została zwięzłość plastra i soczystość. Zmianie uległy również wyróżniki smaku. Po 7 dniach przechowywania najbardziej wyczuwalny był smak tłuszczowy (KCI: 6,6 ; KCT: 6,6) oraz smak wędzonego mięsa (KCI: 5,6; KCT: 6,7), gdzie wystąpiły istotne różnice ($p \leq 0,05$) w ocenie tego smaku pomiędzy próbkami. Zwiększyła się również intensywność smaku peklowanego mięsa oraz smaku słonego. Jakość ogólna w obydwu wariantach tej kiełbasy po 7 dniach przechowywania utrzymała się na poziomie 7,0 j.u.



Rys. 37 Analiza sensoryczna kiełbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania

KCT – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KCI – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Przeprowadzona ocena sensoryczna po 14 dniach chłodniczego przechowywania (rys. 38) nie wykazała dużych zmian sensorycznych w badanych produktach w porównaniu do oceny sensorycznej przeprowadzonej po 7 dniach przechowywania. Po 14 dniach przechowywania intensywność zapachu wędzonej kiełbasy w przypadku wariantu przygotowywanego w wędzarni innowacyjnej była istotnie większa ($p \leq 0,05$) w porównaniu z wariantem wędzonym w wędzarni tradycyjnej. Pozostałe wyróżniki zapachu pozostawały na podobnym poziomie lub zmniejszyły się ich intensywność. Przechowywanie chłodnicze nie wpłynęło znacząco na profil smakowy badanych kiełbas, zmianie uległ tylko smak wędzonego mięsa, który po przechowywaniu był bardziej wyczuwalny w obu sposobach wędzenia. Jakość ogólna po 14 dniach przechowywania zmniejszyła się i wynosiła 6,6 j.u. w obydwu badanych kiełbasach.



Rys. 38 Analiza sensoryczna kiełbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania

KCT – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KCI – kiełbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Ocena sensoryczna kiełbasy grubej przeprowadzona bezpośrednio po produkcji (0 dni przechowywania) (rys. 39) wykazała istotne różnice ($p \leq 0,05$) w dwóch wyróżnikach sensorycznych, pomiędzy badanymi wariantami. W kiełbasie grubej wędzonej w wędzarni tradycyjnej (KGT) zapach wędzonej kiełbasy był intensywniejszy niż w kiełbasie grubej wędzonej w wędzarni innowacyjnej (KGI: 5,9; KGT: 7,0). Istotną różnicę zaobserwowano w ocenie zwięźłości plastra, ściślejszą strukturą charakteryzowała się próbka kiełbasy KGT i wynosiła 7,2 j.u., natomiast próbka KGI charakteryzowała się zwięźłością plastra na poziomie 5,9 j.u. Jakość ogólna badanych kiełbas bezpośrednio po produkcji w obydwu wariantach badawczych oceniona została na dobrym poziomie (KGI: 7,2; KGT: 8,1). Pozostałe wyróżniki zapachu objęte oceną sensoryczną pozostawały na niskim poziomie podobnie jak niepożądane wyróżniki smaku, tylko smak wędzonego mięsa został wyżej oceniony w obydwu wariantach i wynosił 6,3 j.u. Kiełbasa gruba ze względu na niewielki dodatek mięsa tłustego cechowała się niską soczystością oraz bardzo małą „widocznością”

tłuszczu na przekroju produktu. W badanej kielbasie można było zaobserwować duże kawałki mięsa, co potwierdziła ocena rozdrobnienia tkanki mięsnej (KGI: 4,0; KGT: 4,0).



Rys. 39 Analiza sensoryczna kielbasy grubej w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji

KGT – kielbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KGI – kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Przeprowadzona po 7 dniach chłodniczego przechowywania ocena sensoryczna (rys. 40) nie wykazała znaczących zmian w obydwu badanych wariantach w obrębie wyróżników smaku. Jakość ogólna kielbasy grubej wędzonej w wędzarni tradycyjnej wyniosła 8,2 j.u. i nie zmieniła się znacząco do wyników otrzymanych bezpośrednio po produkcji, natomiast jakość ogólna kielbasy wędzonej w wędzarni innowacyjnej wzrosła z 7,2 na 7,9 j.u.. W obydwu wariantach po 7 dniach przechowywania zwiększyła się intensywność zapachu peklowanego mięsa. W próbce wędzonej w wędzarni innowacyjnej po 7 dniach przechowywania bardziej wyczuwalny był zapach wędzonej kielbasy niż bezpośrednio po produkcji. We wszystkich wyróżnikach oceny sensorycznej kielbasy grubej po 7 dniach przechowywania nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych ($p > 0,05$).



Rys. 40 Analiza sensoryczna kiełbasy grubej w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania

KGT – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KGI – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej

Analiza sensoryczna wykonana po 14 dniach chłodniczego przechowywania (rys. 41) nie wykazała różnic statystycznie istotnych ($p > 0,05$) dla badanych wariantów. Profil smakowy w badanych próbach pozostał na tym samym poziomie lub nieznacznie się obniżył, w zależności od ocenianego wyróżnika smaku. Po 14 dniach przechowywania obniżyła się również intensywność analizowanych zapachów. Nieznacznemu obniżeniu uległa ocena zapach wędzonego mięsa, w porównaniu do oceny przeprowadzonej bezpośrednio po produkcji. Cechy takie jak rozdrobnienie tkanki mięśniowej, tłuszcz „widoczny”, zwięzłość plastra i soczystość nie zmieniły się podczas przechowywania. Jakość ogólna po 14 dniach przechowywania dla kiełbasy grubej wędzonej w wędzarni tradycyjnej wynosiła 7,3j.u a dla kiełbasy wędzonej w wędzarni innowacyjnej wynosiła 6,8j.u. Była ona niższa niż bezpośrednio po produkcji oraz po 7 dniach przechowywania, jednak została oceniona na dobrym, zadowalającym poziomie.



Rys. 41 Analiza sensoryczna kiełbasy grubej w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania

KGT – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej oraz KGI – kiełbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej

Ocena sensoryczna boczku wędzonego bezpośrednio po produkcji (0 dni przechowywania) (rys. 42) wykazała jakość ogólną w obydwu wariantach badawczych na poziomie 6,3 j.u. Istotne różnice ($p \leq 0,05$) zaobserwowano w dwóch badanych wyróżnikach tj. w zapachu wędzonego mięsa oraz w smaku wędzonego mięsa. W obydwu wyróżnikach większą intensywność zapachu i smaku wędzonego mięsa zaobserwowano w przypadku boczku wędzonego w wędzarni innowacyjnej. Dla tego wariantu badawczego, wyróżnik zapachu wędzonego mięsa oceniono na poziomie 7,8 j.u. a wyróżnik smaku wędzonego mięsa oceniono 7,4 j.u.. Dla boczku wędzonego w wędzarni tradycyjnej zapach wędzonego mięsa był na poziomie 6,2 j.u. a smak osiągnął poziom 6,4 j.u. Pozostałe badane wyróżniki pozostawały na podobnym poziomie. W obu przypadkach nie stwierdzono niepożądanych smaków i zapachów. Soczystość boczku wędzonego w wędzarni tradycyjnej oceniono na poziomie 6,7 j.u., Cecha ta została niżej oceniona w przypadku boczku wędzonego w wędzarni innowacyjnej i wynosiła 6,4 j.u. ale nie zauważono tutaj różnic statystycznie istotnych ($p > 0,05$).



Rys. 42 Analizy sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji

BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Przeprowadzona ocena sensoryczna po 7 dniach przechowywania (rys. 43) nie wykazała znaczących różnic w porównaniu do oceny sensorycznej przeprowadzonej bezpośrednio po produkcji. Jakość ogólna została oceniona na jednakowym poziomie 6,9 j.u. dla boczku wędzonego w wędzarni innowacyjnej oraz w wędzarni tradycyjnej i była ona nieznacznie wyższa od jakości ogólnej próby bezpośrednio po produkcji. Wyróżniki zapachu i smaku wędzonego mięsa podobnie jak po produkcji charakteryzowały się wyższą oceną w przypadku boczku wędzonego w wędzarni innowacyjnej, zapach na poziomie 8,3 j.u. a smak wędzonego mięsa 7,2 j.u. i były to różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$). Soczystość w obydwu wariantach oceniona została wysoko, dla boczku wędzonego w wędzarni tradycyjnej wyniosła 7,3 j.u. a dla boczku wędzonego w wędzarni innowacyjnej 7 j.u. Po 7 dniach przechowywania nie stwierdzono niepożądanych smaków w obu wariantach produktu. W wariantcie wędzonym w wędzarni innowacyjnej nie stwierdzono również wyróżników zapachu, które by negatywnie wpływały na ogólną jakość produktu. Jedynie w boczku wędzonym w wędzarni tradycyjnej zidentyfikowano zapach starego tłuszczu, którego intensywność oceniona została na poziomie 3,1 j.u.



Rys. 43 Analiza sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania

BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

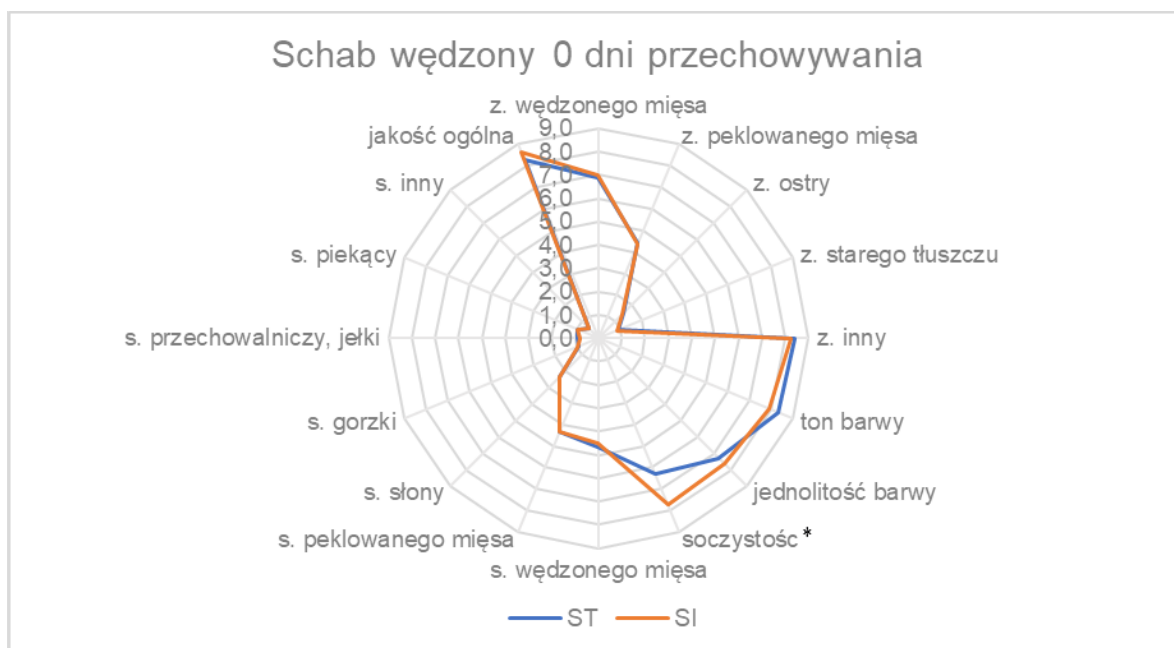
Ocena sensoryczna boczku po 14 dniach przechowywania (rys. 44) nie wykazała istotnych zmian w jakości ogólnej. W porównaniu do boczku ocenianego bezpośrednio po produkcji oraz po 7 dniach przechowywania zmniejszyła się intensywność wyróżników zapachu. W dużym stopniu obniżeniu uległ zapach wędzonego mięsa, dla wariantu z wędzarni innowacyjnej, który po 14 dniach przechowywania oceniony został na poziomie 6,4 j.u. W przypadku tego wyróżnika nie zauważono różnic statystycznie istotnych ($p > 0,05$), co miało miejsce w ocenie sensorycznej bezpośrednio po produkcji oraz po 7 dniach przechowywania. Utrzymały się natomiast istotne różnice w ocenie wyróżnika zapachu wędzonego mięsa ($p \leq 0,05$). W boczku wędzonych w różnych wędzarniach nie stwierdzono niepożądanych smaków i zapachów. Ogólna jakość boczku wędzonych w obydwu wariantach była zadowalająca i została oceniona na wysokim poziomie 8 j.u.



Rys. 44 Analiza sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania

BT – boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz BI – boczek wędzony w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

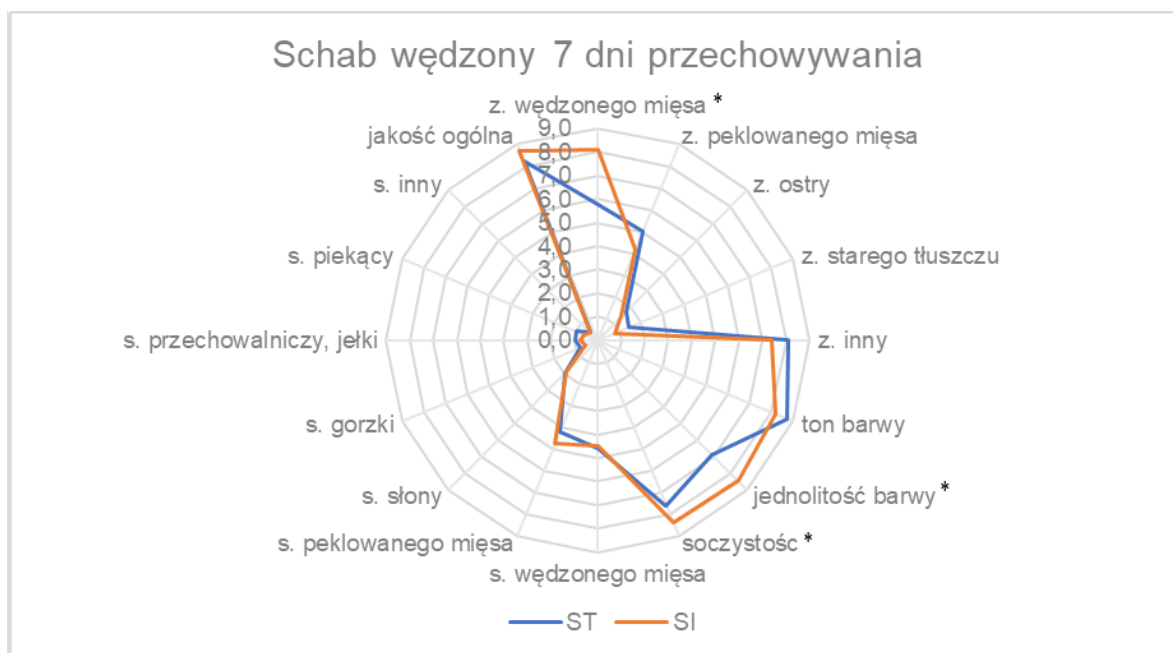
Analiza sensoryczna schabu wędzonego (rys. 45) przeprowadzona bezpośrednio po produkcji wykazała, że spośród wszystkich badanych prób charakteryzował się on najwyższą jakością ogólną, która wynosiła dla schabu wędzonego w wędzarni innowacyjnej 8,7 j.u. oraz dla schabu z wędzarni tradycyjnej 8,3 j.u. Profil smakowo-zapachowy dla schabów wędzonych w porównywanych wędzarniach był bardzo zbliżony. Schab charakteryzował się smakiem wędzonego mięsa na poziomie 4,5 j.u., natomiast zapach wędzonego mięsa był bardziej wyczuwalny i jego intensywność została oceniona na 7,0 j.u. Różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) zaobserwowano tylko w jednym wyróżniku – soczystości. Bardziej soczysty był schab wędzony w wędzarni innowacyjnej (SI: 7,7), niż schab wędzony w wędzarni tradycyjnej (ST: 6,3). W obydwu wariantach nie zaobserwowano niekorzystnych wyróżników zapachu oraz smaku.



Rys. 45 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji

ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Analiza przeprowadzona po 7 dniach przechowywania (rys. 46) potwierdziła utrzymującą się wysoką jakość ogólną dla schabu wędzonego w wędzarni innowacyjnej. Różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) pomiędzy badanymi wariantami zaobserwowano w przypadku wyróżników zapachu wędzonego mięsa, jednolitości barwy i soczystości. Intensywniejszym zapachem wędzonego mięsa wykazał się schab z wędzarni innowacyjnej. W opinii oceniających schab wędzony w wędzarni innowacyjnej charakteryzował się większą jednolitością barwy niż schab wędzony w wędzarni tradycyjnej. Posiadał on również większą soczystość od tego wędzonego w tradycyjnej wędzarni. Pozostałe wyróżniki jakościowe pozostawały na zbliżonym poziomie.



Rys. 46 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania

ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, * stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

Po 14 dniach przechowywania (rys. 47) nieznacznie obniżyła się jakość ogólna badanych schabów, jednak nadal pozostała na wysokim poziomie (SI: 8,2j.u.; ST: 7,7j.u.). Zmniejszyła się intensywność zapachów, w tym również zapachu wędzonego mięsa. Istotnie różniła się ocena tonu barwy pomiędzy badanymi wariantami, dla schabu wędzonego w wędzarni tradycyjnej wynosił on 5,7 j.u., natomiast dla schabu wędzonego w wędzarni innowacyjnej 8,1 j.u. ($p \leq 0,05$). Po przechowywaniu w ocenie zespołu sensorycznego zmniejszeniu uległa soczystość w badanych próbach. Zmianie też uległ profil smakowy, zmniejszyła się intensywność smaku wędzonego mięsa dla schabu pochodzącego z wędzarni innowacyjnej, a bardziej wyczuwalny był smak peklowanego mięsa w próbie pochodzącej z wędzarni tradycyjnej. Różnice statystycznie istotne zaobserwowano w wyróżniku smaku wędzonego mięsa ($p \leq 0,05$). W schabie wędzonym w wędzarni tradycyjnej był on bardziej wyczuwalny niż w schabie wędzonym w wędzarni innowacyjnej (ST: 5,5 j.u.; SI: 4,0 j.u.). Istotnie różnił się też wyróżnik zapachu wędzonego mięsa pomiędzy wariantami badawczymi ($p \leq 0,05$), większą ocenę uzyskał schab z wędzarni innowacyjnej.



Rys. 47 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania

ST – schab wędzony w wędzarni tradycyjnej oraz SI – schab wędzony w wędzarni innowacyjnej, *stwierdzono różnice statystycznie istotne ($p \leq 0,05$)

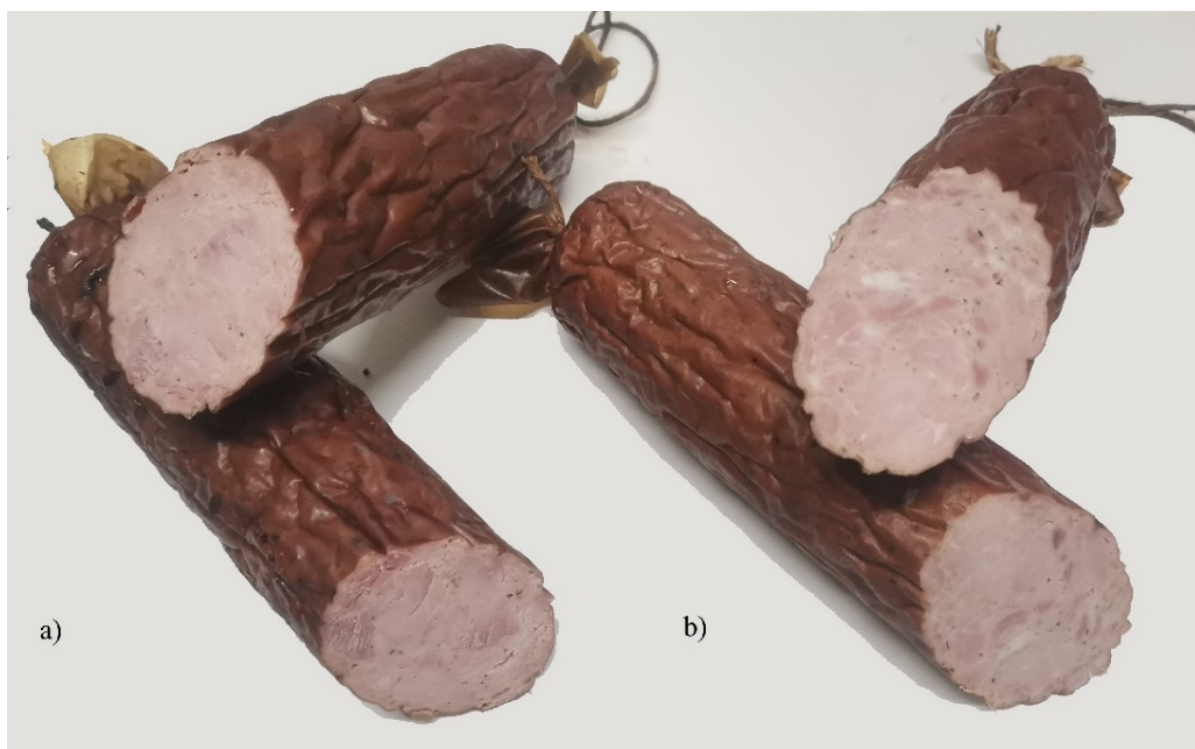
Podsumowując wyniki analizy sensorycznej należy stwierdzić, że nie zaobserwowano uchybień w jakości wyprodukowanych wyrobów. Jakość ogólna była na dobrym lub na bardzo dobrym poziomie. Zaobserwowano różnicę w ocenie sensorycznej pomiędzy kielbasą cienką a kielbasą grubą między innymi w rozdrobnieniu, tłuszczu widocznym, soczystości i zwięzłości plastra. Kielbasa cienka charakteryzowała się bogatszym profilem smakowym, natomiast kielbasa gruba intensywniejszym zapachem wędzonej kielbasy. Porównując dwa rodzaje wędzonek zróżnicowanych pod względem zawartości tłuszczu, boczek wędzony i schab wędzony, zaobserwowano różnicę w soczystości, na korzyść schabu. Wędzonki te różniły się pod względem jednolitości barwy. W schabie wędzonym wykryto zapach, który zakwalifikowano do innych zapachów, czego nie zaobserwowano w przypadku boczku. Natomiast w boczku po procesie przechowywania, zauważono zapach starego tłuszczu oraz smak przechowalniczy. Porównując rodzaj zastosowanej wędzarni i sposób prowadzenia procesu wędzenia w poszczególnych wariantach badawczych, możemy stwierdzić, że inna budowa oraz krótszy czas wędzenia w wędzarni innowacyjnej nie wpłynął na jakość produktów. Natomiast istotne różnice ($p \leq 0,05$) w profilu sensorycznym produktów wędzonych w różnych

wędzarniach tylko świadczą, o tym, że z powodzeniem można stosować wędzenie w wędzarni innowacyjnej dla produktów tradycyjnych. Zapach i smak wędzonego mięsa w badanych produktach był bardziej wyczuwalny w próbach pochodzących z wędzarni innowacyjnej, co tylko potwierdza, że wędzarnia innowacyjna nadaje się do wędzenia tradycyjnego. Krótszy czas procesu wędzenia w wędzarni innowacyjnej uzupełniony jest lepszym obiegiem dymu, dzięki czemu uzyskujemy zbliżony efekt do klasycznej tradycyjnej wędzarni. Wskaźnik oceny sensorycznej jest kluczowy w kontekście produktów tradycyjnie wędzonych, ponieważ produkty te posiadają charakterystyczne, specyficzne cechy smakowo-zapachowe, oraz typową barwę.

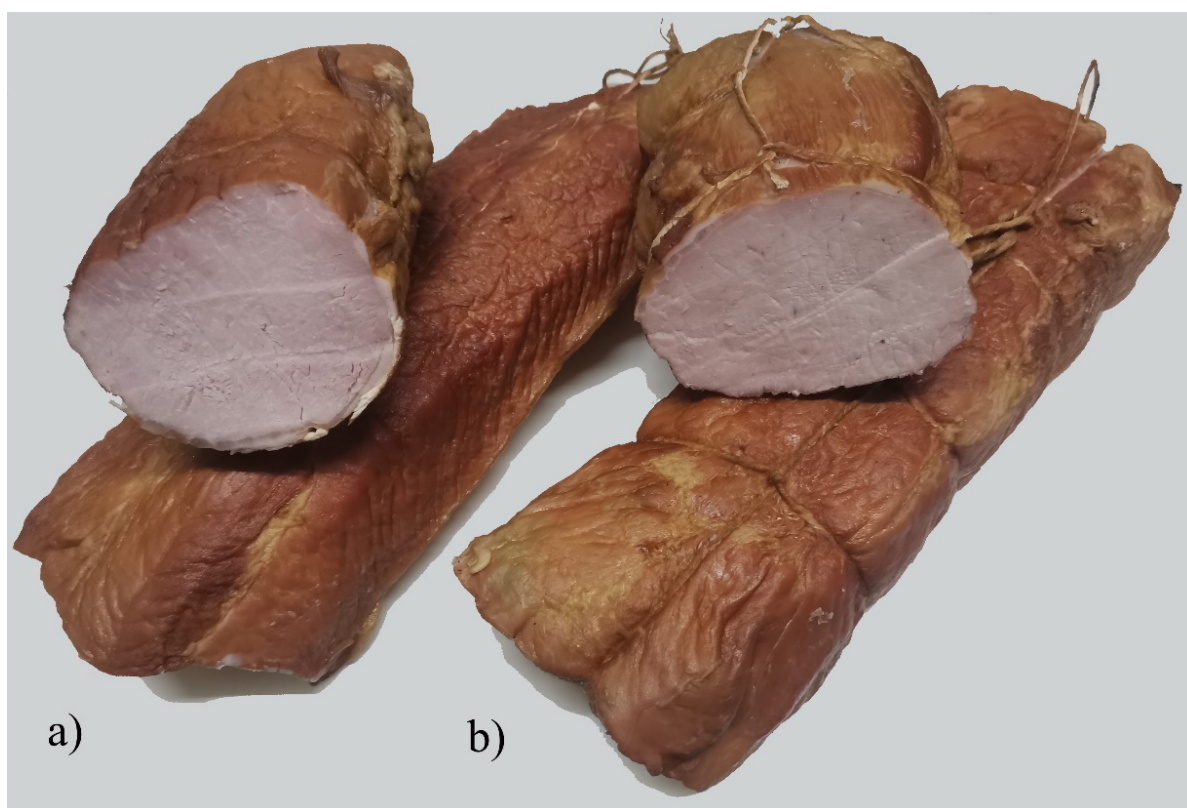
Zdjęcia (rys. 48, rys. 49, rys. 50, rys. 51) przedstawiają losowo wybrane produkty z partii badawczych produktów wędzonych w wędzarni innowacyjnej (a) oraz w wędzarni tradycyjnej (b). W ocenie wizualnej produktów generalnie nie stwierdzano znaczących różnic w wyglądzie, barwie zewnętrznej oraz na przekroju. Jedynie niewielkie różnice pomiędzy wariantami można dostrzec w przypadku kielbasy cienkiej. Ciemniejszym kolorem charakteryzowała się kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej od kielbasy cienkiej wędzonej w wędzarni tradycyjnej. Nie wpłynęło to jednak negatywnie na ocenę sensoryczną produktów. Generalnie ciemniejszy kolor kielbas tradycyjnych jest bardziej pożądaný przez konsumentów wybierających tego typu wędliny.



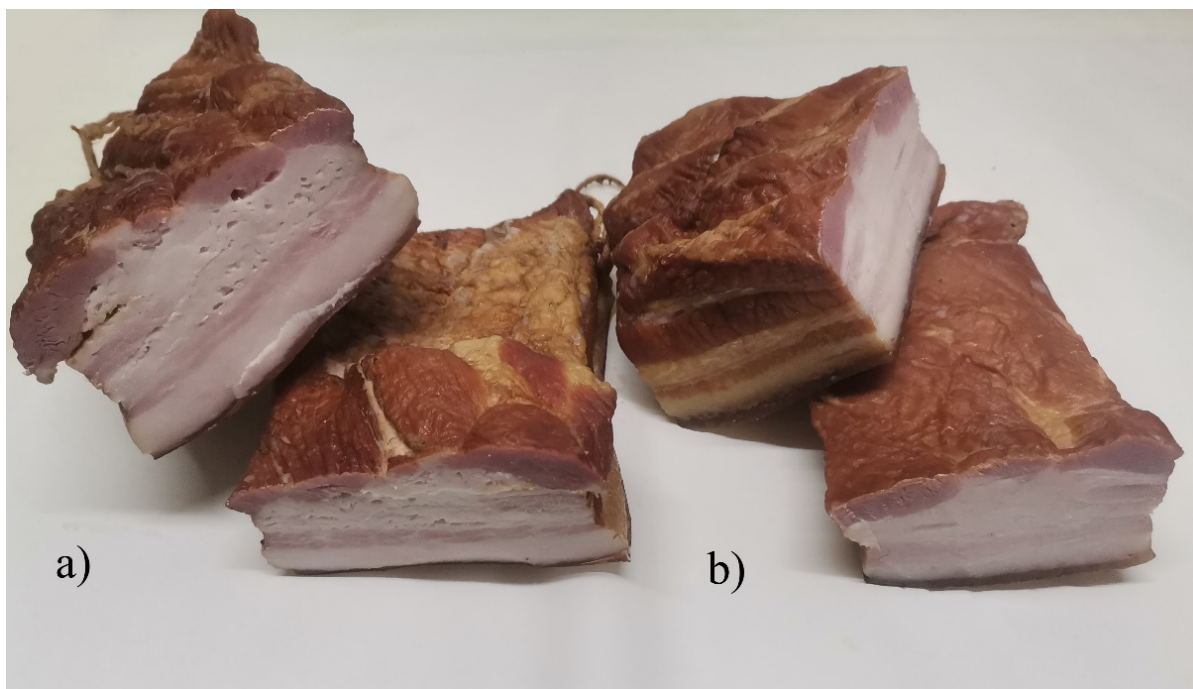
Rys. 48 Kielbasa cienka wędzona a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej



Rys. 49 Kielbasa grupa wędzona a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej



Rys. 50 Schab wędzony a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej



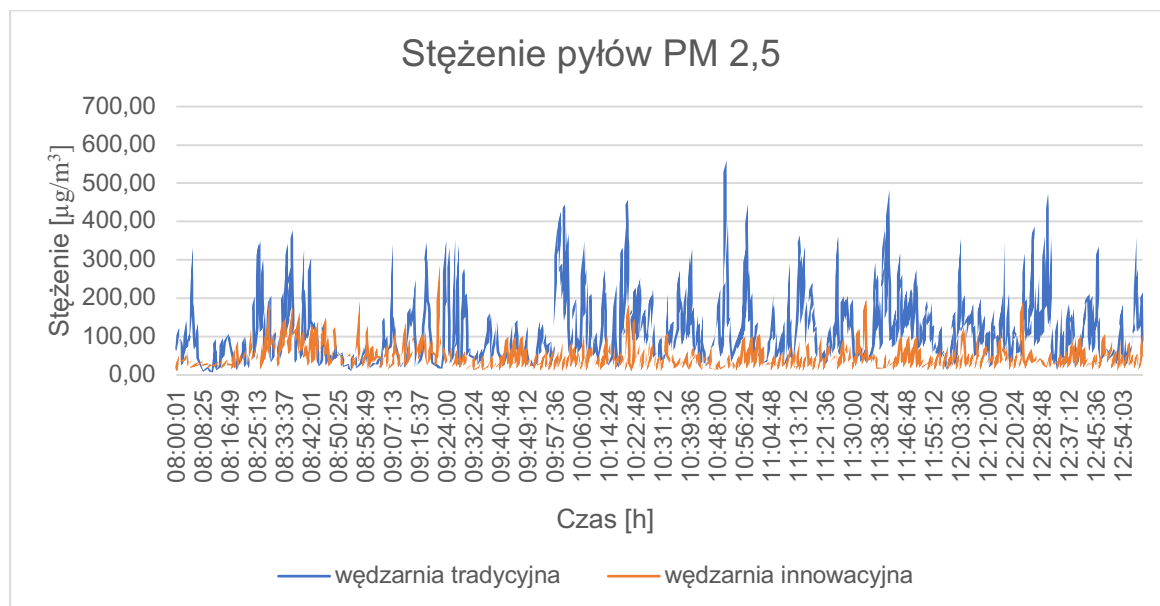
Rys. 51 Boczek wędzony a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej

4.11 Zawartość pyłu PM 2,5 oraz PM 10 w powietrzu

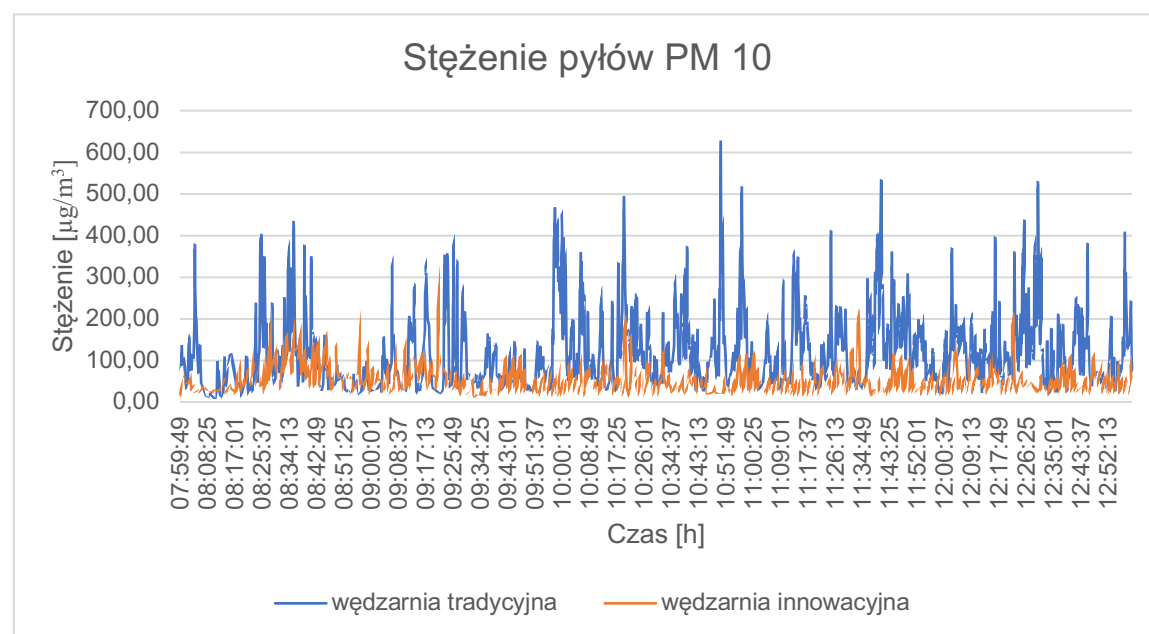
Średnioroczny dopuszczalny poziom pyłu PM 2,5 wynosi $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a pyłu PM 10 wynosi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Średniodobowy dopuszczalny poziom dla stężenia pyłów PM 10 wynosi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i nie może być przekraczany więcej niż 35 dni w ciągu roku. Średniodobowy poziom informowania wynosi $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a średniodobowy poziom alarmowy – $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Otrzymane wyniki pomiaru zanieczyszczeń powietrza pokazano jako średnie godzinowe stężenie pyłów (Tab. 15). Stwierdza się, że średnie stężenie pyłów PM 2,5 w trakcie pięciogodzinnego procesu wędzenia, w wędzarni tradycyjnej wynosiło $102,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w wędzarni innowacyjnej $43,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Natomiast średnie stężenie pyłów PM 10 w trakcie wędzenia w wędzarni tradycyjnej wynosiło $111,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w trakcie wędzenia w wędzarni innowacyjnej $50,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porównując otrzymane wyniki z legendą określającą stan jakości powietrza (Tab.8), możemy zaobserwować, że podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej stan jakości powietrza określono jako „zły” (piąty stopień skali), a podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej był 3 stopień tzw. „umiarkowany”. Poziom stężenia pyłów PM 2,5 oraz PM 10 w czasie całego procesu wędzenia zarówno w wędzarni tradycyjnej jak i innowacyjnej (rys. 52 i rys. 53) wskazują, że większe wartości zarówno dla PM 2,5 jak i dla PM 10 wystąpiły podczas procesu wędzenia w wędzarni tradycyjnej. Najwyższa wartość smogu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej wynosiła dla PM 2,5: $559,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a dla PM 10: $628,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższa wartość osiągnięta podczas

wędzenia w wędzarni innowacyjnej wynosiła dla PM_{2,5}: 287,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a dla PM₁₀: 330,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najniższe wartości zanieczyszczeń powietrza powstających podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej wynosiły dla pyłów PM 2,5: 8,47 i PM 10: 10,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rys. 52 Stężenie pyłów PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zawieszonych w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej



Rys. 53 Stężenie pyłów PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zawieszonych w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej

Analizując zanieczyszczenie powietrza (Tab. 15) występujące w trakcie procesu wędzenia w wędzarni tradycyjnej możemy zauważyć, że stężenie pyłów PM 2,5 przekroczyło prawie 50 razy dopuszczalny poziom $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast podczas procesu wędzenia w wędzarni innowacyjnej tylko dwukrotnie odnotowano stężenia pyłów PM 2,5 wyższe od $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobnie to wygląda w przypadku pyłów PM 10, w trakcie wędzenia w wędzarni tradycyjnej stężenie pyłów przekroczyło ponad 50 razy poziom $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Natomiast w trakcie wędzenia w wędzarni innowacyjnej zarejestrowano tylko dwa takie przypadki, a 5 razy stężenie pyłów PM 10 było bliskie $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tab. 15 Średnie godzinowe i średnia 5-cio godzinna stężenia pyłów PM 2,5 i PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej oraz wędzarni innowacyjnej

Czas procesu [h]	średnie godzinowe stężenie pyłów PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		średnie godzinowe stężenie pyłów PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	WT	WI	WT	WI
1 godzina	76,28 ^b	54,62 ^a	86,67 ^b	62,59 ^a
2 godzina	85,64 ^b	42,36 ^a	91,12 ^b	48,48 ^a
3 godzina	125,39 ^b	39,33 ^a	134,89 ^b	44,93 ^a
4 godzina	115,31 ^b	40,51 ^a	124,96 ^b	46,19 ^a
5 godzina	110,53 ^b	42,05 ^a	121,36 ^b	47,83 ^a
Średnia 5-cio godzinna	102,63^b	43,77^a	111,80^b	50,01^a

WT – wędzarnia tradycyjna, WI – wędzarnia innowacyjna, średnie oznaczone różnymi małymi literami – a, b różnią się istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$)

5. WYNIKI Z PRODUKCJI PRZMYSŁOWEJ

Konstrukcja i budowa wędzarni innowacyjnej oraz technologia wędzenia została wprowadzona w Zakładzie Mięsnym „Jasiołka” w Dukli. Zakład ten od 6 lat wykorzystuje w swoim zakładzie jedną taką wędzarnię, a od 2023 roku posiada już cztery komory wędzarnicze jednowózkowe, zbudowane w oparciu o założenia konstrukcyjne i zasady działania wędzarni innowacyjnej opracowanej w ramach niniejszej pracy. Wędzarnie te są codziennie wykorzystywane w przemysłowej produkcji tradycyjnych wyrobów. W celu potwierdzenia skuteczności działania innowacyjnej wędzarni zastosowano ją do produkcji wybranych asortymentów w skali przemysłowej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka w Dukli. Był to trzeci etap pracy, w którym poddano analizie jakość i bezpieczeństwo zdrowotne wybranych asortymentów wytwarzanych w wędzarni innowacyjnej w normalnej produkcji przemysłowej w zakładzie. Badania przeprowadzono dla dwóch partii produktów wytworzonych w odstępach rocznych, tak aby móc ocenić również powtarzalność jakości wyrobów oraz przydatność wędzarni w pracy długofalowej. Pierwszą partię wytworzono po roku pracy od momentu wdrożenia wędzarni innowacyjnej w zakładzie, drugą po dwóch latach pracy wędzarni. W badaniach wybranych produktów analizowano te same cechy fizykochemiczne, mikrobiologiczne oraz sensoryczne, co w układzie modelowym (etap drugi pracy). Określono podstawowy skład chemiczny, kwasowości i potencjał oksydacyjno-redukcyjny. Oznaczono zawartość benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu i benzo[a]pirenu. Przeprowadzono analizę jakości mikrobiologicznej oraz analizę sensoryczną wybranych produktów wędzonych. Otrzymane wyniki podzielono ze względu na asortymenty i przedstawiono dla każdego produktu osobno.

5.1 Kielbasa Szynkowa



Rys. 54 Poglądowe zdjęcie kielbasy szynkowej z produkcji przemysłowej

Tab. 16 Skład chemiczny badanych kielbas szynkowych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	69,5	21,5	5,1
II	67,3	23,8	5,9

Tab. 17 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kielbas szynkowych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	286,60	307,20	314,93
	II	287,57	313,67	307,53
pH	I	6,09	6,10	6,05
	II	6,06	6,05	5,98

Tab. 18 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w kiełbasach szynkowych

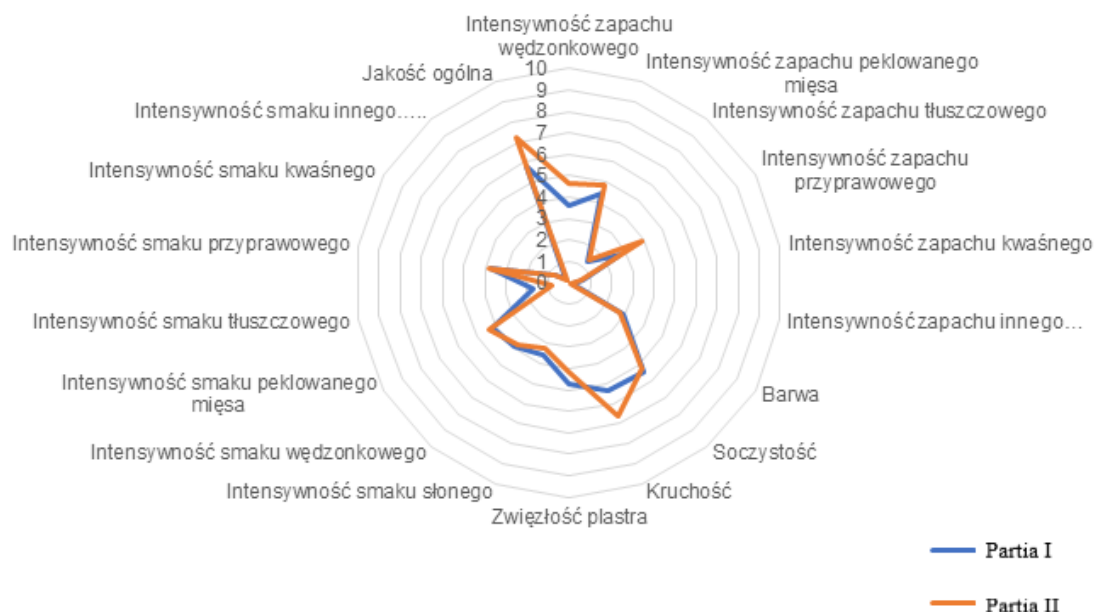
Partia	b[a]a $\mu\text{g/kg}$	chr $\mu\text{g/kg}$	b[b]f $\mu\text{g/kg}$	b[a]p $\mu\text{g/kg}$	Suma $\mu\text{g/kg}$
I	1,01 $\pm$ 0,3	0,98 $\pm$ 0,35	0,56 $\pm$ 0,18	0,67 $\pm$ 0,2	3,22
II	0,72 $\pm$ 0,22	0,68 $\pm$ 0,24	0,33 $\pm$ 0,11	0,4 $\pm$ 0,12	2,13

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren, $\pm$ - niepewność wyniku

Tab. 19 Jakość mikrobiologiczna kiełbas szynkowych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,15	3,45
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

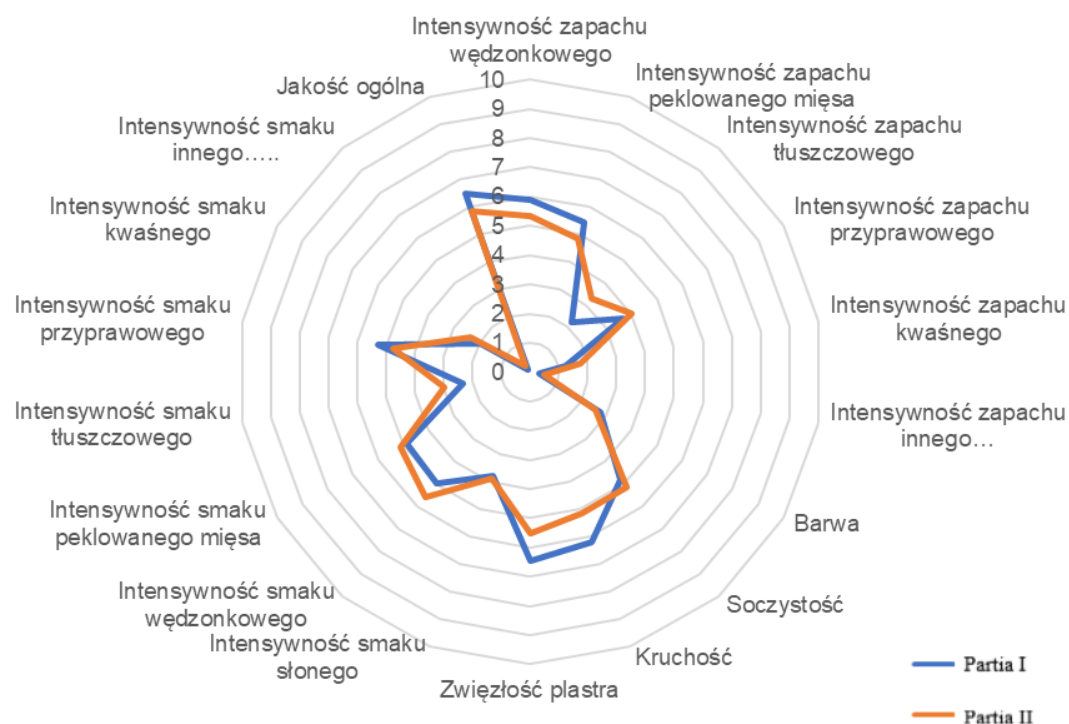
nb – nieobecne



Rys. 55 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych bezpośrednio po produkcji

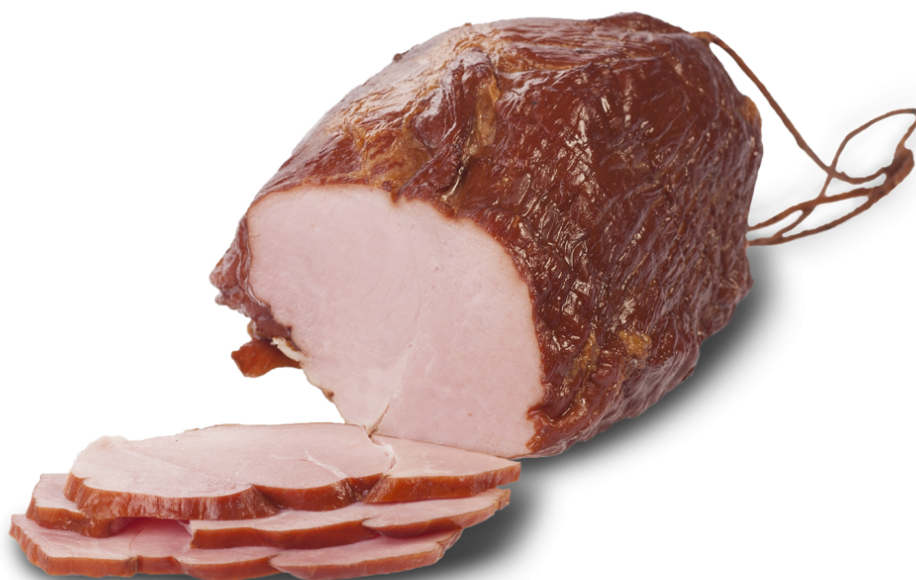


Rys. 56 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych po 7 dniach przechowywania



Rys. 57 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych po 14 dniach przechowywania

5.2 Wędzonka Dukielska Szynka



Rys. 58 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej szynki z produkcji przemysłowej

Tab. 20 Skład chemiczny badanych szynek wędzonych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	62,4	26,9	8,8
II	66,9	27,9	4,6

Tab. 21 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych szynek wędzonych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	317,40	334,80	344,90
	II	323,77	324,50	350,77
pH	I	5,94	5,96	5,46
	II	5,98	5,83	5,40

Tab. 22 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w szynkach wędzonych

Partia	b[a]a $\mu\text{g/kg}$	chr $\mu\text{g/kg}$	b[b]f $\mu\text{g/kg}$	b[a]p $\mu\text{g/kg}$	Suma $\mu\text{g/kg}$
I	$1,09 \pm 0,33$	$0,29 \pm 0,10$	$0,50 \pm 0,17$	$0,57 \pm 0,17$	2,45
II	$0,64 \pm 0,19$	$0,83 \pm 0,30$	$0,50 \pm 0,17$	$0,42 \pm 0,13$	2,39

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
 $\pm$ - niepewność wyniku,

Tab. 23 Jakość mikrobiologiczna szynek wędzonych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	4,73	5,08
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb - nieobecne

Tab. 24 Jakość mikrobiologiczna szynek wędzonych po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	4,83	5,38
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb– nieobecne

Tab. 25 Jakość mikrobiologiczna szynek wędzonych po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,20	6,86
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

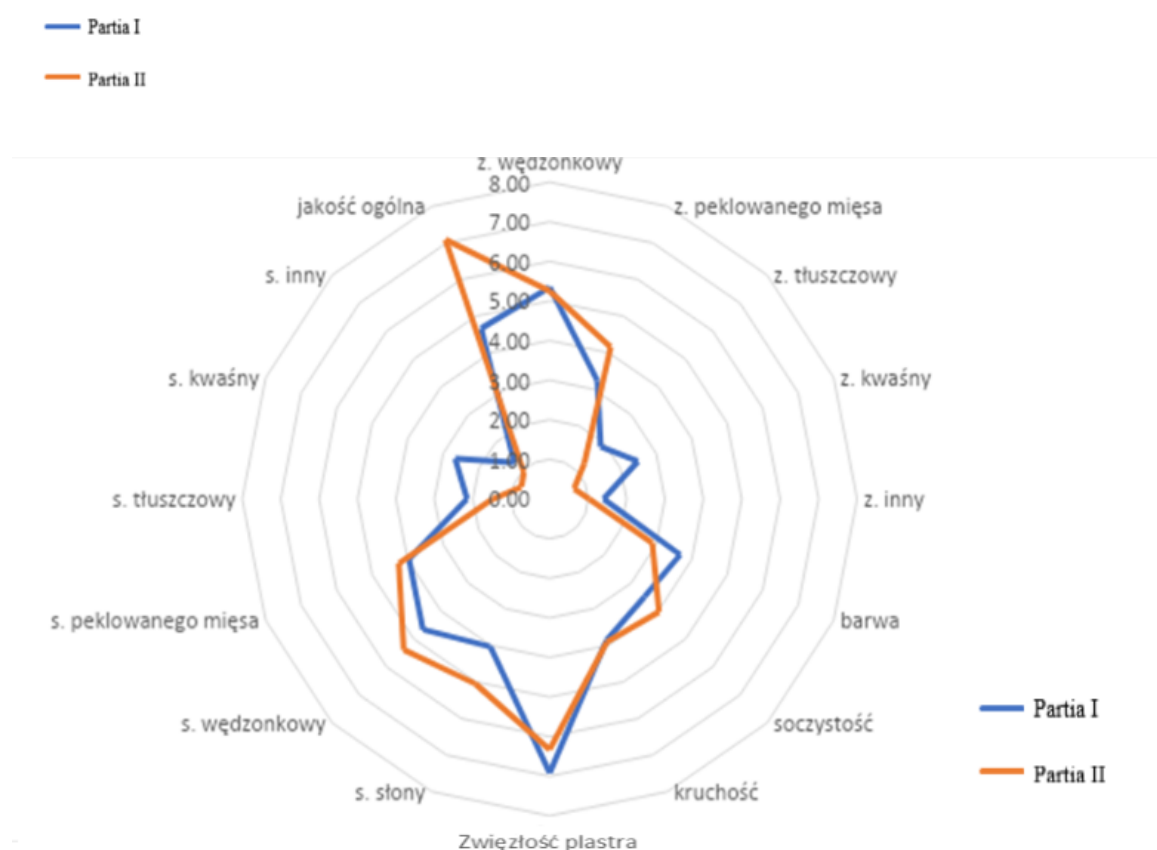
nb - nieobecne



Rys. 59 Wyniki oceny sensorycznej badanych szynek wędzonych po produkcji

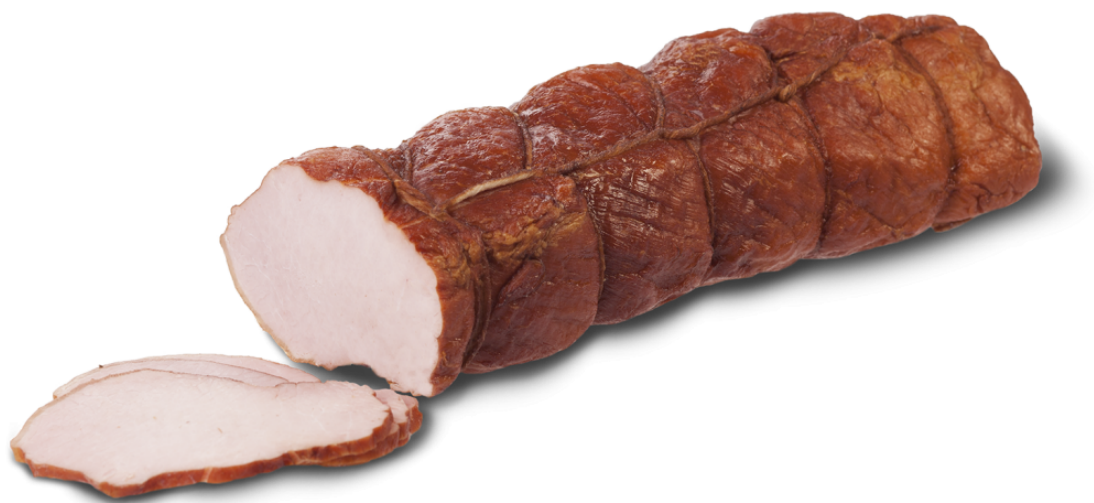


Rys. 60 Wyniki oceny sensorycznej badanych szynek wędzonych po 7 dniach przechowywania



Rys. 61 Wyniki oceny sensorycznej badanych szynek wędzonych po 14 dniach przechowywania

5.3 Wędzonka Dukielska Schab



Rys. 62 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej schabu z produkcji przemysłowej

Tab. 26 Skład chemiczny badanych schabów wędzonych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	44,3	39,6	9,7
II	47,5	36,9	7,9

Tab. 27 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych schabów wędzonych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	334,13	342,18	344,20
	II	326,33	329,49	321,12
pH	I	5,39	5,41	5,37
	II	5,53	5,42	5,47

Tab. 28 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w schabach wędzonych

Partia	b[a]a $\mu\text{g/kg}$	chr $\mu\text{g/kg}$	b[b]f $\mu\text{g/kg}$	b[a]p $\mu\text{g/kg}$	Suma $\mu\text{g/kg}$
I	$0,33 \pm 0,10$	$0,45 \pm 0,16$	$0,29 \pm 0,1$	$0,38 \pm 0,11$	1,45
II	$0,35 \pm 0,11$	$0,60 \pm 0,22$	$0,42 \pm 0,14$	$0,60 \pm 0,18$	1,97

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
 $\pm$ - niepewność wyniku

Tab. 29 Jakość mikrobiologiczna schabów wędzonych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	2,03	1,04
OLD	6,49	7,11
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb - nieobecne

Tab. 30 Jakość mikrobiologiczna schabów wędzonych po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,54	7,11
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb– nieobecne

Tab. 31 Jakość mikrobiologiczna schabów wędzonych po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	6,89	7,18
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb - nieobecne

Oceny organoleptycznej nie przeprowadzono

5.4 Wędzonka Dukielska Boczek



Rys. 63 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej boczku z produkcji przemysłowej

Tab. 32 Skład chemiczny badanych boczków wędzonych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	44,6	18,2	36,1
II	33,6	14,2	50,5

Tab. 33 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych boczków wędzonych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	428,93	452,57	434,70
	II	407,07	449,87	432,43
pH	I	5,55	5,96	5,92
	II	5,66	6,02	5,95

Tab. 34 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w boczkach wędzonych

Partia	b[a]a µg/kg	chr µg/kg	b[b]f µg/kg	b[a]p µg/kg	Suma µg/kg
I	1,45 ± 0,44	1,50 ± 0,54	0,72 ± 0,24	0,91 ± 0,27	4,58
II	1,33 ± 0,4	1,63 ± 0,59	0,65 ± 0,21	0,78 ± 0,23	4,39

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
± - niepewność wyniku

Tab. 35 Jakość mikrobiologiczna boczków wędzonych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,15	3,45
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb - nieobecne



Rys. 64 Wyniki oceny sensorycznej badanych boczków po produkcji



Rys. 65 Wyniki oceny sensorycznej badanych boczków po 14 dniach przechowywania

5.5 Kabanos Dukielski



Rys. 66 Poglądowe zdjęcie kabanosa dukielskiego z produkcji przemysłowej

Tab. 36 Skład chemiczny badanych kabanosów (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	39,3	27,0	29,7
II	37,6	30,1	31,3

Tab. 37 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kabanosów (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	374,40	369,43	394,70
	II	380,47	375,07	395,20
pH	I	5,57	5,54	5,98
	II	5,61	5,63	5,94

Tab. 38 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kabanosach

Partia	b[a]a µg/kg	chr µg/kg	b[b]f µg/kg	b[a]p µg/kg	Suma µg/kg
I	3,76 ± 1,13	3,93 ± 1,41	2,45 ± 0,81	3,11 ± 0,93	13,25
II	2,95 ± 0,89	3,76 ± 1,35	2,30 ± 0,76	2,77 ± 0,83	11,78

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
± - niepewność wyniku,

Tab. 39 Jakość mikrobiologiczna kabanosów bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,54	3,67
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 40 Jakość mikrobiologiczna kabanosów po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,08	3,45
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

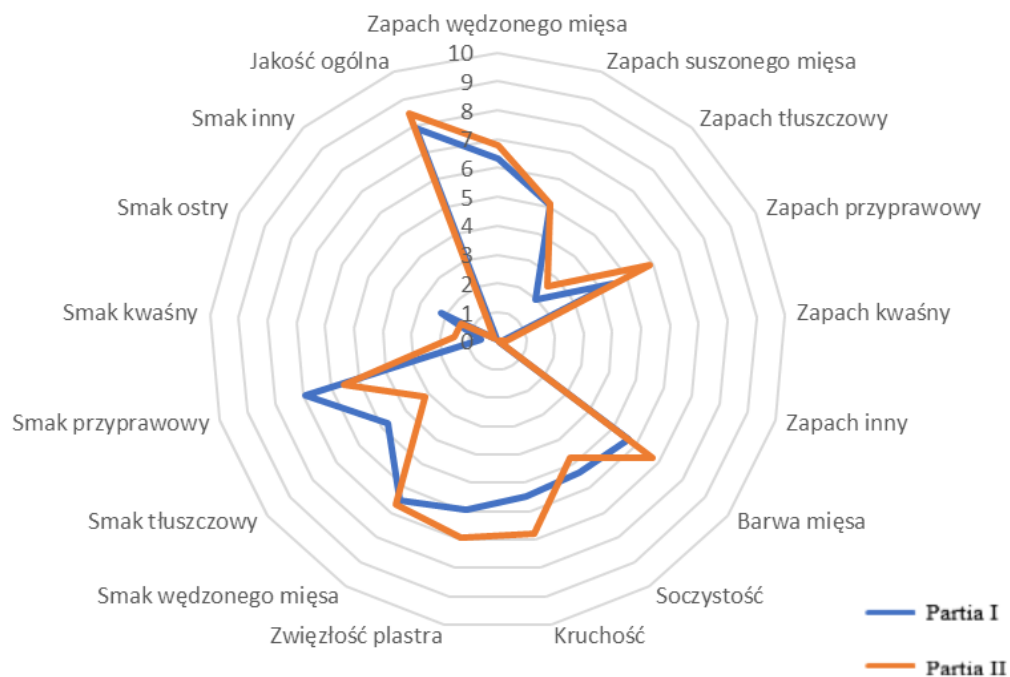
Tab. 41 Jakość mikrobiologiczna kabanosów po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,04	3,81
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne



Rys. 67 Wyniki oceny sensorycznej badanych kabanosów bezpośrednio po produkcji



Rys. 68 Wyniki oceny sensorycznej badanych kabanosów po 14 dniach przechowywania

5.6 Kielbasa Sucha Dukielska



Rys. 69 Poglądowe zdjęcie kielbasy suchej dukielskiej z produkcji przemysłowej

Tab. 42 Skład chemiczny badanych kielbas suchych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	60,5	25,2	11,2
II	59,4	25,5	11,9

Tab. 43 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kielbas suchych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	393,90	394,17	390,23
	II	404,10	392,13	390,87
pH	I	5,74	5,48	5,91
	II	5,69	5,52	5,89

Tab. 44 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kielbasach suchych

Partia	b[a]a µg/kg	chr µg/kg	b[b]f µg/kg	b[a]p µg/kg	Suma µg/kg
I	0,67 ± 0,20	0,76 ± 0,27	0,22 ± 0,07	0,50 ± 0,15	2,15
II	0,50 ± 0,15	0,79 ± 0,28	0,19 ± 0,06	0,26 ± 0,08	1,74

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
± - niepewność wyniku,

Tab. 45 Jakość mikrobiologiczna badanych kielbas suchych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	3,58	3,64
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 46 Jakość mikrobiologiczna badanych kielbas suchych po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,39	4,38
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 47 Jakość mikrobiologiczna badanych kielbas suchych po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,15	7,26
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb - nieobecne



Rys. 70 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas suchych bezpośrednio po produkcji



Rys. 71 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas suchych po 14 dniach przechowywania

5.7 Kielbasa Krucha



Rys. 72 Poglądowe zdjęcie kielbasy kruchej z produkcji przemysłowej

Tab. 48 Skład chemiczny badanych kielbas kruchych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	52,6	21,1	22,8
II	55,8	20,6	20,1

Tab. 49 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kielbas kruchych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	385,43	396,63±3,25	395,13±0,00
	II	387,23±1,60	392,33±3,06	394,17±1,59
pH	I	5,78±0,02	5,37±0,13	5,94±0,01
	II	5,79±0,03	5,48±0,04	5,98±0,01

Tab. 50 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kielbasach kruchych

Partia	b[a]a µg/kg	chr µg/kg	b[b]f µg/kg	b[a]p µg/kg	Suma µg/kg
I	1,11 ± 0,33	1,33 ± 0,48	1,02 ± 0,34	1,69 ± 0,51	5,15
II	1,46 ± 0,44	1,66 ± 0,60	1,31 ± 0,43	1,70 ± 0,51	6,13

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p- benzo[a]piren,
± - niepewność wyniku,

Tab. 51 Jakość mikrobiologiczna badanych kiełbas kruchych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	2,53	2,46
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 52 Jakość mikrobiologiczna badanych kiełbas kruchych po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,39	5,11
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

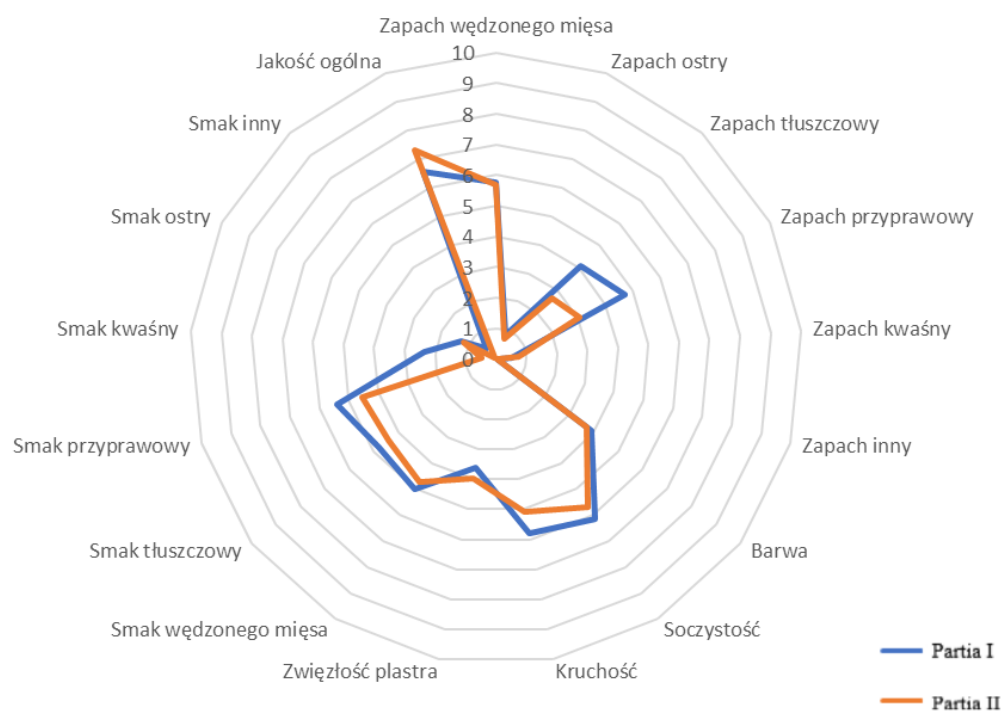
Tab. 53 Jakość mikrobiologiczna badanych kielbas kruchych po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	7,89	7,04
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne



Rys. 73 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas kruchych bezpośrednio po produkcji



Rys. 74 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas kruchych po 14 dniach przechowywania

5.8 Kielbasa Domowa



Rys. 75 Poglądowe zdjęcie kielbasy domowej z produkcji przemysłowej

Tab. 54 Skład chemiczny badanych kielbas domowych (wartości średnie dla partii)

Partia	Woda (%)	Białko (%)	Tłuszcz (%)
I	54,2	19,4	23,1
II	56,5	21,6	18,5

Tab. 55 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kielbas domowych (wartości średnie dla partii)

Parametr	Partia	Przechowywanie (dni)		
		0	7	14
ORP (mV)	I	390,80	370,10	386,20
	II	389,57	373,23	376,33
pH	I	5,31	5,74	5,95
	II	5,35	5,72	5,94

Tab. 56 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kielbasach domowych

Partia	b[a]a µg/kg	chr µg/kg	b[b]f µg/kg	b[a]p µg/kg	Suma µg/kg
I	1,54 ± 0,46	0,93 ± 0,33	1,00 ± 0,33	1,45 ± 0,44	4,92
II	1,18 ± 0,35	0,99 ± 0,36	3,17 ± 1,05	3,15 ± 0,95	8,49

b[a]a - benzo[a]antracen, chr - chryzen, b[b]f - benzo[b]fluoranten, b[a]p - benzo[a]piren,
± - niepewność wyniku,

Tab. 57 Jakość mikrobiologiczna badanych kiełbas domowych bezpośrednio po produkcji (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	2,66	2,91
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 58 Jakość mikrobiologiczna badanych kiełbas domowych po 7 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

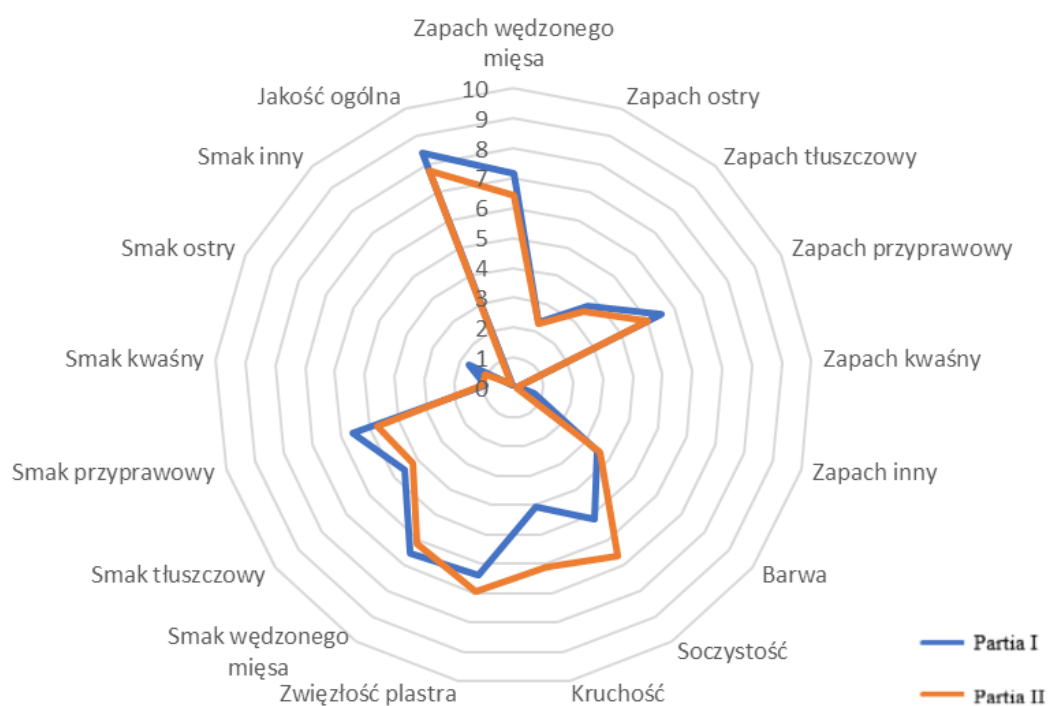
Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	6,82	5,72
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne

Tab. 59 Jakość mikrobiologiczna badanych kielbas domowych po 14 dniach przechowywania (wartości średnie dla partii)

Parametr mikrobiologiczny	Liczba drobnoustrojów [log jtk/g]	
	Partia I	Partia II
<i>Enterobacteriaceae</i>	< 1,00	< 1,00
OLD	5,65	7,79
<i>Salmonella spp.</i>	nb	nb
<i>L. monocytogenes</i>	nb	nb

nb – nieobecne



Rys. 76 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas domowych bezpośrednio po produkcji



Rys. 77 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas domowych po 14 dniach przechowywania

Wyniki trzeciego etapu badań produktów produkowanych w warunkach przemysłowych, po roku oraz dwóch latach działania wędzarni innowacyjnej potwierdzają wyniki badań modelowych i przydatność proponowanej konstrukcji wędzarni w normalnej produkcji. Produkty mięsne wytworzone w ramach badań przemysłowych charakteryzowały się dobrą jakością mikrobiologiczną i sensoryczną. Na uwagę zasługuje fakt powtarzalności jakości sensorycznej pomiędzy wytwarzanymi partiami wyrobów. Wysokie oceny kluczowych cech jakościowych produktów i oceny ogólnej wskazują, że zastosowane rozwiązania konstrukcyjne i procesowe wędzarni wpływają pozytywnie na pożądane cechy sensoryczne produktów tradycyjnych. Opalanie wędzarni drewnem powoduje, że wędliny wędzone w wędzarni innowacyjnej zachowują charakter produktów wędzonych tradycyjnie, co w odbiorze konsumentów jest bardzo ważne. Z technicznego punktu widzenia po długim czasie użytkowania wędzarnia sprawdza się zarówno pod kontem bezpieczeństwa produktów wędzonych oraz pod kontem utrzymania czystości i higieny urządzenia. Wędzarnia jest bardzo łatwa w utrzymaniu czystości a jednocześnie konstrukcja jest odporna na działanie środków myjąco dezynfekujących. Podsumowując można stwierdzić, że innowacyjna wędzarnia sprawdza się na przestrzeni czasu użytkowania, jest łatwa w obsłudze przez pracowników i można otrzymać z niej bezpieczny i powtarzalny produkt wędzony tradycyjnie, ceniony przez konsumentów.

6. Dyskusja wyników

Zgodnie z definicją podaną przez Organizację Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa, bezpieczeństwo żywności odnosi się do spełnienia warunków i działań, które muszą być podjęte podczas wszystkich etapów procesu produkcji żywności i obrotu handlowego żywnością, celem zapewnienia bezpieczeństwa życia i zdrowia konsumentów. Bezpieczeństwo żywności ma bezpośredni wpływ na szeroko rozumiane bezpieczeństwo zdrowotne, które oprócz tego co jemy wpływa na to jak żyjemy. Żywność powinna być bezpieczna, ale środowisko oraz otoczenie również powinno być bezpieczne dla naszego organizmu. Bezpieczne to znaczy wolne od zanieczyszczeń i substancji wpływających negatywnie na nasze zdrowie, powodujących działanie mutagenne i kancerogenne. Bezpieczeństwu produktom tradycyjnie wędzonym zagrażają między innymi toksyczne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [116]. Mając na uwadze mechanizm ich tworzenia, można stwierdzić, że nawet tradycyjna wędzarnia oprzyrządowana w czujniki do stałego monitorowania temperatury w czasie procesu wędzenia nie zapobiega całkowicie powstawaniu WWA w czasie spalania i żarzenia drewna a następnie ich osadzania na produktach żywnościowych. Jednak biorąc pod uwagę szereg czynników wpływających na powstawanie WWA i ich osadzanie na produkcie, możemy ograniczyć ilość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w żywności tradycyjnie wędzonej. Przez co stanie się ona bezpieczniejsza oraz spożycie jej będzie niosło mniejsze konsekwencje zdrowotne. Do czynników wpływających na zawartość WWA w produktach należy zaliczyć: rodzaj i jakość zastosowanego drewna, metodę wędzenia, budowę wędzarni, temperaturę spalania drewna, rodzaj i kształt produktu oraz zawartość tłuszczu w surowcach [19].

W niniejszej pracy, czynniki fizyczne takie jak wilgotność drewna, skład chemiczny surowców i produktów, zostały poddane analizie wpływu wędzenia w tradycyjnej i w innowacyjnej wędzarni na poziom WWA i właściwości fizyko-chemiczne i sensoryczne produktu tradycyjnie wędzonego. W każdym z przeprowadzonych procesów produkcyjnych kontrolowano wilgotność drewna, która była na odpowiednim poziomie. Średnia wilgotność drewna wahała się pomiędzy 14,4 % a 18,1 % co świadczy, że drewno było suche. Szczapy drewna suszono w sposób naturalny i było przechowywane pod zadaszeniem, aby ochronić je przed deszczem. Zawartość wody, tłuszczu i białka w surowcu mięsnym użytym do produkcji była zgodna z normą zakładową. W surowcach tłustych i boczku zawartość wody wynosiła ok. 55 %, tłuszczu ok. 30 % a białka ok. 15 %.

W mięsach chudych i schabie woda stanowiła ok. 70 %, tłuszcz ok. 5 % a białko ok. 20 %. Wieprzowina klasy II chuda zawierała dwa razy więcej tłuszczu niż klasy I, co skutkowało niższą zawartością białka (18 %) i wody (69 %). Zawartość składników odżywczych w poszczególnych wyrobach zależna była od rodzaju i proporcji użytych surowców mięsnych. Kielbasa cienka charakteryzowała się średnią zawartością wody ok. 52 %, tłuszczu ok. 25 % i białka ok. 17 %. Ze względu na zawartość tłuszczu zaliczana jest ona do kielbas tłustych. Dla zróżnicowania asortymentu pod względem zawartości tłuszczu wybrano kielbasę grubą. Charakteryzowała się ona zawartością wody ok. 60 %, tłuszczu ok. 12 % i białka ok. 24 %. W doborze wędzonek kierowano się różną zawartością tłuszczu. Schab wędzony reprezentował wędzonki o niskiej zawartości tłuszczu, która wynosiła ok. 4 %. Natomiast w boczku tłuszcz stanowił 32 % masy produktu. Zawartość wody w schabie wędzonym była na poziomie ok. 69 % i białka na poziomie ok. 23 %, a w boczku analogicznie wynosiła 48 % i 15 %. Otrzymane zawartości głównych składników produktów mięsnych stosowanych w ocenie innowacyjnej wędzarni, nie wykazały odchyleń jakościowych otrzymanych wyrobów. Przeprowadzone badania wskazują, że średnia zawartość chlorku sodu w badanych produktach mieści się w przedziale 1,8-2,1 %. Zawartość tą porównano z nieobowiązującą już normą na przetwory mięsne PN-A-82007:1996 ze zmianą A1:1998, w której dopuszczalna zawartość soli wynosiła do 4,0 %. Zestawiając otrzymane wyniki z wymaganiami zawartymi w normie, stwierdzono, że badane produkty charakteryzowały się istotnie niższą zawartością soli. W badaniach innych autorów obserwuje się tendencję obniżania zawartości soli w produktach mięsnych krajowych [63]. Może być ono spowodowane wieloma czynnikami, min.: zastosowaniem dodatków funkcjonalnych, substancji wzmacniających smak i zapach gotowego produktu oraz aromatów w szerokim zakresie. Związki te podbijają słoność produktu oraz uwypuklają smak i zapach. Z punktu widzenia zdrowia człowieka niska zawartość soli w produktach mięsnych jest jak najbardziej cechą pozytywną. Wysokie spożycie chlorku sodu może przyczyniać się do występowania choroby nadciśnienia tętniczego, udaru mózgu a także wpływać na powstawanie nowotworów, głównie żołądka oraz jelita grubego [63].

Przeprowadzone badania wykazały, że miejsce pozyskania drewna użytego do wędzenia wpływa na zawartość WWA w tradycyjnie wędzonym produkcie mięsnym. Wędzenie drewnem pochodzącym z terenów czystych, niezanieczyszczonych i ekologicznych ograniczyło powstawanie WWA w porównaniu do wędzenia drewnem z

terenów uprzemysłowionych, z których to już sam surowiec był zanieczyszczony wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi pochodzącymi z osadzania smogu i dymu z otoczenia [105]. Dolata i inni [19] sprawdzili wpływ gatunków drewna użytych do wędzenia na cechy jakościowe kielbasy wędzonej. Stwierdzili, że kielbasa wędzona dymem olchowym charakteryzowała się niższym pH oraz wyższą zawartością fenoli, niż kielbasa wędzona dymem bukowym. Badania nad użyciem do wędzenia różnych gatunków drewna prowadzili Stumpe-Viksna i inni [117]. Autorzy porównywali wędzenie drewnem jabłoni, olchy, olchy z jałowcem, świerkowym, klonu, orzecha laskowego, śliwy, osiki, czereśni, jarzębiny oraz węglem drzewnym. Badali oni zawartość 14 różnych WWA w wędzonym mięsie wieprzowym. Najwyższą zawartość WWA zaobserwowali w mięsie wędzonym drewnem świerkowym, natomiast najniższą wędzonym jabłonią i olchą. Stwierdzili oni, że wybór drewna do wędzenia jest jednym z kluczowych parametrów wpływających na zmniejszenie zanieczyszczenia żywności wielopierścieniowymi węglowodanami aromatycznymi. Dlatego mając wzgląd na powyższe wyniki, w niniejszych badaniach zdecydowano się na zastosowanie drewna bukowego, bez kory pochodzącego z terenów nieuprzemysłowionych. Podczas przeprowadzania procesów wędzenia sprawdzano ilość zużytego drewna. Zaobserwowano istotne różnicę pomiędzy zużyciem drewna do wędzarni tradycyjnej i innowacyjnej. W wędzarni innowacyjnej do przeprowadzenia całego procesu wędzenia i obróbki cieplnej zużyto średnio 20 % mniej drewna niż do procesu wędzenia w klasycznej wędzarni tradycyjnej. Świadczy to o tym, że znaczący wpływ na zużycie drewna ma budowa wędzarni oraz prowadzenie procesu spalania drewna. W wędzarni tradycyjnej duża ilość energii cieplnej jest zużywana do ogrzania murowanej konstrukcji wędzarni. Szczególnie duże ilości ciepła zużywa się w pierwszym etapie procesu, gdzie następuje nagrzanie murowanej komory wędzarni tradycyjnej oraz murowanego paleniska, w przeciwieństwie do wędzarni innowacyjnej, gdzie nagrzanie metalowych ścian i paleniska nie wymaga tyle energii. Dodatkowo specjalna konstrukcja paleniska i komory nad paleniskiem powoduje duży odzysk ciepła, które przenoszone jest do komory wędzarniczej. W tradycyjnej komorze wędzarniczej z paleniskiem bocznym mamy do czynienia ze sporymi stratami ciepła ze względu na odsunięcie paleniska od komory i umiejscowienie z boku. Mniejsze zużycie drewna ma nie tylko wymiar ekonomiczny, ale przede wszystkim wpływa na ochronę środowiska. W skali jednego procesu jest on niewielki, ale jeśli porównamy do skali krajowej to otrzymujemy ogromne ilości zaoszczędzonego drewna oraz zdecydowanie mniejszą emisję

zanieczyszczeń powietrza. Wędzarnia innowacyjna jest już wykorzystywana w innych zakładach mięsnych produkujących tradycyjnie wędzone wędliny. Koszt jednokomorowej wędzarni innowacyjnej wynosi ok 20 000 zł. Niemniej komory te nie są powszechne i mała liczba zakładów mięsnych posiada takie konstrukcje. Tak więc, nie możemy mówić tutaj o efekcie skali, który ma przełożenie na poprawę jakości powietrza i redukcję poziomu WWA w produktach tradycyjnie wędzonych. Znaczący wpływ na bezpieczeństwo żywności oraz jakość produktu wędzonego ma metoda wędzenia oraz budowa wędzarni [24]. Zarówno, jeśli chodzi o zawartość WWA w wędzonym produkcie oraz utrzymanie higieny i czystości komór wędzarniczych. W wędzarni innowacyjnej zdecydowanie łatwiej utrzymać czystość niż w murowanej wędzarni tradycyjnej. Stal nierdzewna, z której wykonana jest wędzarnia innowacyjna, jest odporna na działanie chemicznych środków czyszczących oraz łatwa w utrzymaniu czystości i higieny ze względu na gładką powierzchnię. Dodatkowo posiada wewnętrzny system czyszczenia przewodów kominowych, co powoduje usuwanie zanieczyszczeń osadzających się w rurach podczas procesu wędzenia i zahamowanie osadzania się ich na produktach.

Stwierdzenie, że WWA powstają w temperaturze powyżej 400 °C i że temperatura 425 °C jest krytyczną dla powstawania b[a]p jest nie do końca prawdziwe. Powyższe badania wskazują, że skorelowanie wyników stężenia WWA w produktach z temperaturami panującymi w palenisku świadczy o tym, że wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, w tym również b[a]p tworzą się w znaczących ilościach w temperaturze poniżej 400 °C lub powstają w miejscach niemożliwych do monitorowania w niniejszych badaniach.

Porównując proces wędzenia przeprowadzony w wędzarni tradycyjnej i w wędzarni innowacyjnej należy stwierdzić, że oba procesy wędzenia i obróbki cieplnej przebiegały w zbliżony sposób. Pierwsze etapy, czyli osuszanie i wędzenie były prowadzone w tym samym czasie i w podobnych warunkach temperaturowych. Jedynie czas pieczenia się różnił, ponieważ temperatura 72°C w środku batonu była uzyskiwana w różnym czasie, w zależności od rodzaju wędzarni. W wędzarni innowacyjnej nastąpiło to szybciej niż w wędzarni tradycyjnej. Różnica czasu obróbki cieplnej wynosiła ok. 15 %. Zmiany w czasie procesu pieczenia nie wpłynęły istotnie na jakość i trwałość otrzymanych produktów, co potwierdzają wyniki oceny sensorycznej oraz oceny mikrobiologicznej.

Podsumowując otrzymane wyniki poziomu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w badanych produktach, możemy stwierdzić, że wybór wędzarni i realizacja procesu znacząco wpływa na zawartość WWA w produkcie. Wykazano, że na poziom WWA wpływa zarówno budowa wędzarni jak i zawartość tłuszczu w produkcie. Dzieje się tak ze względu na utlenianie lipidów i kwasów tłuszczowych, co sprzyja powstawaniu WWA [120]. Badania nad zmianą profilu kwasów tłuszczowych w produktach mięsnych grillowanych wykazały, że zastąpienie łożu wołowego olejami roślinnymi powoduje zwiększenie stężenia WWA w produkcie gotowym. Oznacza to, że zwiększenie stosunku nienasyconych kwasów tłuszczowych do kwasów nasyconych powoduje zwiększenie zawartości WWA w produktach żywnościowych [81]. We wszystkich produktach wędzonych w wędzarni tradycyjnej zaobserwowano wyższy poziom WWA niż w produktach wędzonych w wędzarni innowacyjnej. Kielbasa cienka z wędzarni tradycyjnej zawierała prawie trzykrotnie więcej badanych związków WWA (29,2 µg/kg sumy 4WWA) niż kielbasa wędzona w wędzarni innowacyjnej (10,05 µg/kg sumy 4WWA). Dwukrotnie większą zawartość benzo[a]pirenu wykazała kielbasa gruba wędzona w wędzarni tradycyjnej (0,97 µg/kg b[a]p), niż kielbasa gruba wędzona w wędzarni innowacyjnej (0,48 µg/kg b[a]p). Porównując zawartość sumy czterech WWA w kielbasach, zdecydowanie więcej zaobserwowano w kielbasie cienkiej (29,2 µg/kg sumy 4WWA) niż w kielbasie grubej (4,1 µg/kg sumy 4WWA). Świadczy to o tym, że na poziom WWA duży wpływ ma rodzaj użytej osłonki. W kielbasie grubej osłonka jest zdejmowana, ponieważ jest ona niejadalna, co skutkuje mniejszą zawartością WWA w produkcie, gdyż największe stężenie WWA znajduje się w zewnętrznej części produktu. Potwierdzili to również w swoich badaniach Ledesma i inni [59] oraz Waszkiewicz-Robak i inni [124]. W wyrobach zawierających wysoką zawartość tłuszczu możliwy jest dodatek kurkumy, który wpływa na hamowanie powstawania WWA, zwiększając całkowitą zawartość fenoli i aktywność wychwytywania wolnych rodników, oraz zmniejszenie wartości TBARS i zawartości kwasów tłuszczowych. Udowodnili to w swoich badaniach Tian i inni [120].

Ciecierska i Obiedziński [15] badając wpływ metod wędzenia na zawartość WWA w produktach mięsnych zaobserwowali, że ilość 15 WWA w produktach mięsnych wędzonych metodą przemysłową oraz tradycyjną jest bardzo zróżnicowana. Stwierdzili, że niektóre produkty wędzone w wędzarni tradycyjnej charakteryzowały się wyższą zawartością sumy 15 WWA niż wędzone w wędzarni przemysłowej. Podobne wyniki otrzymali Kubiak i Polak-Śliwińska, którzy zbadali poziom WWA w produktach mięsnych

wędzonych w wędzarni tradycyjnej i przemysłowej [54]. Jednak produkty z wędzarni przemysłowej nie posiadają takich samych cech smakowo-zapachowych jak produkty wędzone w wędzarni tradycyjnej i konsumenci nie są nimi zainteresowani [34]. Dym wytwarzany poprzez spalanie drewna, oprócz tego, że nadaje produktom wędzonym aromat to również działa przeciwbakteryjnie. Fenole i inne związki aktywne zawarte w dymie, powodują zahamowanie wzrostu niektórych mikroorganizmów zapewniając bezpieczeństwo zdrowotne żywności pod względem poziomu różnych mikroorganizmów. W przemysłowym sposobie wędzenia dym powstały w dymogeneratorze jest uboższy w substancje chemiczne i aromatyczne od dymu otrzymanego w sposób tradycyjny, ponieważ powstaje w innych warunkach temperaturowych. Warunki te nie sprzyjają powstawaniu związków aromatycznych, które występują w dymie wędzarniczym powstałym z tradycyjnego spalania drewna. Dym ten jest mniej zanieczyszczony szkodliwymi substancjami, co zmniejsza zawartość WWA w produkcie. Spalanie zrębek w przemysłowych komorach wędzarniczo-parzelniczych odbywa się poprzez żarzenie, czyli palenie w niskiej temperaturze. Natomiast spalanie w palenisku powoduje wytworzenie bardzo wielu substancji aromatycznych, które działają pobudzająco na nasze narządy zmysłów. Jest to wynikiem naszej historii żywieniowej, gdzie z wynalezieniem i opanowaniem ognia, drewno zaczęto wykorzystywać do przygotowywania posiłków. Produkty wędzone w wędzarni przemysłowej znacząco odbiegają jakością od produktów tradycyjnych. W wędzeniu przemysłowym dym nie jest głównym czynnikiem konserwującym, dlatego stosowane są różne dodatki w celu zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktu. Praca badawcza Bhuyan i inni [6] skupiona była na wpływie wędzenia różnymi metodami na jakość kielbasy wieprzowej. Wykazali oni, że wybór metody wędzenia wpływa na jakość wędzonej kielbasy. Zaobserwowali oni różnicę pomiędzy wędzeniem tradycyjnym a użyciem dymu w płynie na utlenianie tłuszczu, bezpieczeństwo mikrobiologiczne oraz parametry oceny sensorycznej na korzyść kielbasy wędzonej tradycyjnie. Korzystniejszym wynikiem pod względem sensorycznym oraz mikrobiologicznym charakteryzował się produkt wędzony w sposób tradycyjny. Pulic i inni [87] porównali różne metody wędzenia: przemysłową i tradycyjną metodę, na zawartość 16 WWA w tradycyjnym suszonym i wędzonym produkcie „Hercegovacka Pecenica”. Stwierdzili, że wędzenie tradycyjne z użyciem paleniska z boku komory wędzarniczej powoduje większe zanieczyszczenie związkami WWA niż wędzenie w wędzarni przemysłowej. Badania wykazały, że wędzenie przemysłowe nie wpływa na

poziom WWA w produkcie wędzonym [113], zauważyli oni jednak, że wędzenie przemysłowe negatywnie wpływa na barwę i jakość sensoryczną produkowanych wyrobów. W badaniach nad wpływem obróbki termicznej na zawartość WWA w drobiowych i baranich produktach zaobserwowano, że w przypadku wędzenia gorącego na zawartość WWA wpływa temperatura spalania drewna, natomiast w przypadku wędzenia na zimno, zawartość WWA uzależniona jest od czasu prowadzonej obróbki [45][91]. Grillowanie produktów mięsnych również wpływa na zawartość WWA. Badania przeprowadzone przez Hussein i inni wykazały, że poziom sumy 4 WWA mieścił się w zakresie od 1,52 do 49,9 $\mu\text{g/kg}$, przy czym około 40 % grillowanego kurczaka przekraczało normę Komisji Europejskiej wynoszącą 12 $\mu\text{g/kg}$ [40]. Badania nad obniżeniem zawartości WWA w grillowanych stekach wołowych wykazały, że obróbka wstępna zimną plazmą hamuje gromadzenie WWA w grillowanej wołowinie [38]. Możliwe jest, że w przyszłości ta technologia może mieć większe zastosowanie ze względu na rozpowszechnienie tej metody obróbki wstępnej [123].

Ważne jest również, walidowanie metody oraz porównywanie wyników zawartości WWA otrzymanych z różnych metod oznaczania. Udowodniono, że jedną z dokładniejszych metod oznaczania WWA jest metoda UHPLC [16]. Ocena sensoryczna produktów w prowadzonych badaniach nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wyrobami wędzonymi w wędzarni tradycyjnej oraz w wędzarni innowacyjnej, dalej zauważono, że czas przechowywania nie wpłynął ujemnie na jakość sensoryczną oraz na jakość mikrobiologiczną badanych produktów. Badania Węsierskiej [125] wykazały, że trwałość mikrobiologiczna kielbas zależy od stanu mikrobiologicznego surowców użytych do produkcji, co ma potwierdzenie w niniejszych badaniach.

Pomimo skrócenia czasu obróbki cieplnej prowadzonej w wędzarni innowacyjnej od 30 do 40 minut w stosunku do czasu wędzenia w wędzarni tradycyjnej jakość mikrobiologiczna badanych wyrobów pozostawała na dobrym, podobnym poziomie. W niektórych przypadkach obserwowano nawet mniejsze zanieczyszczenie mikrobiologiczne w produktach wędzonych w wędzarni innowacyjnej, co może świadczyć o różnicach w składzie dymu i jego właściwościach przeciwdrobnoustrojowych. Badane produkty, zarówno o małej średnicy (kielbasy cienkie), kielbasy grube i wędzonki, charakteryzowały się zbliżonym poziomem ogólnej liczby bakterii. Zarówno boczki jak i schaby w obydwu wariantach badawczych charakteryzowały się akceptowalną liczbą drobnoustrojów mezofilnych zarówno bezpośrednio po produkcji jak i po 14 dniach

przechowywania. Kielbasy charakteryzowały się generalnie wyższą ogólną liczbą bakterii niż wędzonki, co związane było z zawartością w składzie recepturowym mięsa drobnego, które generalnie charakteryzuje się wyższym stopniem zanieczyszczenia mikrobiologicznego, w porównaniu do całych mięśni lub elementów zasadniczych. We wszystkich badanych produktach bakterie z rodzaju *Enterobacteriaceae* oraz ogólna liczba drobnoustrojów nie przekroczyła poziomu 10^5 jtk/g po 14 dniach przechowywania. We wszystkich badanych produktach nie stwierdzono bakterii z rodzaju *Salmonella* oraz *Listeria monocytogenes*. Przyjmuje się, że liczba bakterii 10^8 jtk/g jest wartością graniczną zachowania trwałości. Powyżej tej wartości skutki zepsucia zauważalne są sensorycznie [125]. W swoich badaniach nad jakością mikrobiologiczną homogenizowanych kielbas drobiowych Węsierska [125] otrzymała ogólną liczbę drobnoustrojów na poziomie od 10^4 do 10^6 jtk/g. Nie stwierdziła ona obecności bakterii *Staphylococcus aureus*, pałeczek rodzaju *Salmonella* oraz obecności bakterii typu fekalnego, co jest zgodne z aktualnymi wymaganiami prawnymi i świadczy o higienie produkcji w zakładach.

Produkty pochodzące z wędzarni innowacyjnej charakteryzują się jakością sensoryczną na podobnym poziomie jak te uzyskane z wędzarni tradycyjnej, choć w przypadku niektórych wyróżników jakościowych zaobserwowano niewielkie, ale istotne statystycznie różnice. Wyniki oceny sensorycznej różniły się pomiędzy badanymi grupami produktów ze względu na swój charakter, rodzaj użytego surowca, wielkość produktów oraz średnice. Kielbasa cienka wyróżniała się dość intensywnym zapachem wędzonej kielbasy oraz smakiem wędzonego mięsa. Próba wędzona w wędzarni innowacyjnej nie odbiegała znacząco w intensywności zapachu wędzonej kielbasy od próby wędzonej w wędzarni tradycyjnej bezpośrednio po produkcji, a po 14 dniach przechowywania wykazywała intensywniejszy zapach wędzonej kielbasy (od 6,5 do 7,2 j.u.). Smak wędzonego mięsa bezpośrednio po produkcji był mniej wyczuwalny w kielbasie z wędzarni innowacyjnej jednak po 14 dniach przechowywania wyróżnik ten został oceniony na tym samym poziomie 7 j.u. co w kielbasie z wędzarni tradycyjnej. Przechowywanie chłodnicze nie wpłynęło negatywnie na smak i zapach oraz jakość ogólną kielbas cienkich. Kielbasa cienka wędzona w wędzarni innowacyjnej posiadała cechy smakowo-zapachowe na podobnym poziomie co kielbasa cienka wędzona w wędzarni tradycyjnej. Świadczy to o tym, że budowa wędzarni nie zmieniała cech sensorycznych kielbas tradycyjnych. Podobne cechy smakowo-zapachowe można zaobserwować w przypadku kielbas grubych, charakteryzują się one pożądanym zapachem wędzonej kielbasy i smakiem wędzonego

mięsa na zbliżonym poziomie od 6,0-7,0 j.u. Po okresie 14 dni przechowywania nie zaobserwowano znaczących zmian cech smakowo-zapachowych w obrębie zapachu i smaku wędzonego mięsa. W przypadku boczku wędzenie w innowacyjnej wędzarni zintensyfikowało zapach wędzonego mięsa, który został oceniony na poziomie 8,0 j.u. natomiast boczek wędzony w wędzarni tradycyjnej charakteryzował się zapachem wędzonym na poziomie 6,0-6,3 j.u. Smak wędzonego mięsa również był bardziej wyczuwalny w boczku z wędzarni innowacyjnej. Najmniej wyczuwalny smak wędzonego mięsa obserwowano w schabach w obydwu badanych wariantach na poziomie 4,5-5,5 j.u.. Jest to spowodowane tym, że głównym nośnikiem smaku jest tłuszcz a schab charakteryzował się niskim jego poziomem. Natomiast zapach wędzonego mięsa oceniono na poziomie 6,0-8,0 j.u. z czego wyższe oceny otrzymał schab wędzony w wędzarni innowacyjnej. Analizując ocenę sensoryczną można zauważyć, że produkty otrzymane z wędzarni innowacyjnej nie odbiegają jakościowo od produktów otrzymanych z wędzarni tradycyjnej, a poziom ocenionych wyróżników smaku i zapachu wędzonego świadczą, że produkty z innowacyjnej wędzarni spełniają oczekiwania konsumentów odnośnie do produktów tradycyjnych oraz posiadają wysoką jakość ogólną.

Wędzenie produktów żywnościowych jest nieodzowne z jakością powietrza, gdyż większość związków powstałych podczas wytwarzania dymu są związkami lotnymi i wydalone są do atmosfery zanieczyszczając powietrze. Dym zawiera ponad 8000 różnych substancji [9], nie wszystkie zostały ujęte jakościowo i ilościowo w przedmiocie badań. Wybór metody wytwarzania dymu oraz cykle wędzenia (otwarty, półotwarty, zamknięty) znacząco wpływają na poziom substancji chemicznych zawartych w dymie emitowanych do środowiska. Klawitter i Bafia [48] ocenili wpływ metody wytwarzania dymu na środowisko i jakość wędzonego produktu. Opisano różne metody wytwarzania dymu i porównano, jak wpływają one na środowisko. Ustalono, że najlepszym rozwiązaniem będzie wytwarzanie dymu metodą cierną oraz zastosowanie wędzenia w cyklu zamkniętym. Przy tej metodzie podczas wytwarzania dymu osiąga się temperaturę ok. 450°C, a zastosowanie wędzenia w cyklu zamkniętym zmniejsza emisję spalin do środowiska. Układu zamkniętego nie można zastosować w metodzie żarowej, ze względu na ochronę przed wybuchem. Przy zastosowaniu metody cierniej i cyklu zamkniętego przepływ masowy emisji węgla całkowitego wynosi 1 g. Osadzanie składników dymu w środowisku powoduje wtórne zanieczyszczenie związkami WWA surowców roślinnych. W kolejnym etapie przetwarzania surowców roślinnych związki te dostają się do

produktów żywnościowych i powodują określone skutki zdrowotne dla człowieka. Benzo[a]piren jest określany jako jeden z ważnych inicjatorów zmian nowotworowych. Dlatego tak ważne jest ograniczenie spalania drewna w aspekcie ochrony środowiska i zdrowia człowieka.

Głównym czynnikiem wpływającym na zanieczyszczenie powietrza są pyły zawieszone, powstałe między innymi ze spalania paliw stałych (węgiel, koks, drewno). Występują one w postaci aerozoli atmosferycznych, sklasyfikowanych ze względu na wielkość cząstek jako: PM 1 – o wielkości cząstek do 1 mm, PM 2,5 – o wielkości cząstek do 2,5 mm, PM 10 – o wielkości cząstek do 10 mm. Zawierają w swoim składzie między innymi: dwutlenek węgla CO₂, tlenek węgla CO, dwutlenek siarki SO₂, tlenki azotu NOX, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, np. benzo(a)piren oraz dioksyny, a także metale ciężkie (ołów, arsen, nikiel, kadm). Jedną z form kontroli pyłów jest ciągłe monitorowanie zanieczyszczenia powietrza poprzez rozlokowanie urządzeń pomiarowych – sensorów. Dyrektywa 2004/107/WE w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu [25] określa wartość docelową dla benzo[a]pirenu obecnego we frakcji pyłu PM 10 na poziomie 1 ng/m³, wyznaczając go jako marker rakotwórczego ryzyka związanego z obecnością pozostałych kancerogennych WWA w powietrzu. Aby potwierdzić obecność WWA w pyłach PM 10 można odnieść się do badań Wieczorek i inni [126]. Określili oni najpierw średnie dobowe stężenie frakcji pyłu PM10, które zbadane zostało w Elblągu w miesiącach: grudzień, styczeń i luty. Wyniosło ono w tym okresie średnio 28 µg/m³, przy normatywnym najwyższym poziomie 50 µg/m³. Następnie znaleźli w pyłach PM 10 sześć związków z grupy WWA i zbadali stężenia tych związków. Dominującym okazał się benzo[a]piren, po uwzględnieniu średniego stężenia pyłu w powietrzu atmosferycznym stężenie tego związku było 2,5-krotnie wyższe od poziomu przyjętego w Dyrektywie WE.

W prowadzonych badaniach określono poziom pyłów zawieszonych w powietrzu PM 2,5 oraz PM 10 jakie powstały podczas procesu wędzenia. Wykazano, że średnie stężenie pyłów PM 10 w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej wynosiło 111 µg/m³ i było dwukrotnie wyższe niż podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej, gdzie wynosiło 50 µg/m³. Badania pyłu PM 2,5 w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej wykazały średnie stężenie na poziomie 102 µg/m³ i podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej na poziomie 43 µg/m³. Zakładając ilość wędzarni tradycyjnych w różnych miejscowościach kraju, jest to dość poważne zanieczyszczenie środowiska.

Nawiązując do stosowanych wędzarni tradycyjnych w okolicy przeprowadzonych badań, na pewno jest ich mniej niż pieców w domach, ale działają one przez cały rok, podczas gdy sezon grzewczy trwa kilka miesięcy. Powoduje to, że czynnik toksyczny jakim są WWA działa systematycznie na grupy ludności znajdujące się w pobliżu wędzarni tradycyjnych. Jest to tak samo niebezpieczne jak smog z kominów grzewczych. Analizując dane z „Rocznej oceny jakości powietrza w województwie podkarpackim” [92], możemy odczytać rozkład stężenia pyłów w ciągu roku w województwie podkarpackim, czyli w tym, w którym prowadzone były badania. Stężenia średnioroczne pyłu zawieszonego PM 10 na stacjach pomiarowych w województwie podkarpackim zawierały się w przedziale 16-34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40-85 % normy średniorocznej, która wynosi 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Drugim parametrem dla pyłu zawieszonego PM 10 w kryterium ochrony zdrowia, podlegającym ocenie rocznej jest dobowy poziom dopuszczalny 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Liczba dni ze stężeniem pyłu zawieszonego PM 10 wyższym od poziomu dopuszczalnego nie może przekroczyć 35 dni na rok. Uwzględnione w ocenie jakości powietrza wyniki pomiarów wskazują wystąpienie w roku 2021 na obszarze województwa podkarpackiego przekroczenia dozwolonej liczby dni ze średnim 24-godzinnym stężeniem pyłu zawieszonego PM 10 przewyższającym poziom dopuszczalny na 3 stacjach pomiarowych, na których przekroczenie następowało kolejno: 62 dni, 55 dni i 46 dni, przy jednoczesnym braku przekroczeń poziomu dopuszczalnego określonego dla stężenia średniego rocznego. Bardziej zaostrzone są wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia WHO odnośnie stężeń pyłów zawieszonych. Najnowsze rekomendacje z 2021 roku proponują ustalenie normy średniego rocznego stężenia pyłów PM 10 na poziomie 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz pyłów PM 2,5 na poziomie 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dobowy poziom dopuszczalny WHO rekomenduje dla pyłów PM 10 na poziomie 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz dla PM 2,5 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w okresie nie więcej niż 2-3 dni w ciągu roku. Zespół badaczy z firmy Airly opracował raport stanu powietrza „Oddychaj Polsko 2021” na temat stanu jakości powietrza w Polsce [89]. Podali oni w nim między innymi średni poziom pyłów zawieszonych w Polsce z podziałem na okres letni i zimowy. W czerwcu ze wszystkich stacji pomiarowych w Polsce średni poziom pyłów zawieszonych PM 10 wynosił 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a w lutym 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dla pyłu PM 2,5 średni poziom w czerwcu wyniósł 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a w miesiącu lutym 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W miesiącach zimowych są to poziomy przekraczające rekomendację WHO. Nadal posiadamy, za mało stacji pomiarowych, aby móc ocenić wpływ dymu wędzarniczego na zanieczyszczenie powietrza. Jednak jak widać dym wędzarniczy znacząco wpływa na zanieczyszczenie powietrza. Dwukrotnie większe

zanieczyszczenie powietrza występuje podczas wędzenia drewnem metodą żarową w wędzarni tradycyjnej aniżeli podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej.

W trzecim etapie prac prowadzono badania na wybranych produktach występujących w ciągłej produkcji Zakładu Mięsnego Jasiołka w celu sprawdzenia wędzarni innowacyjnej po roku i po dwóch latach pracy. Wartość kwasowości dla wyrobów z produkcji przemysłowej w zależności od asortymentu zawierała się w przedziale od 5,3 do 6,0 bezpośrednio po produkcji. Po 14 dniach przechowywania zauważono niewielki wzrost pH i w zależności od asortymentów kwasowości wynosiła od 5,4 do 6,1. Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych była zależna od rodzaju asortymentu. W kielbasach szynkowych średnia zawartość benzo[a]pirenu wynosiła 0,67 µg/kg w pierwszym roku i 0,4 µg/kg w drugim roku od badań modelowych. Suma 4 WWA nie przekroczyła 4 µg/kg. Szynki i schaby wędzone również charakteryzowały się niską zawartością WWA. W szynkach średnia zawartość benzo[a]pirenu wynosiła 0,57 µg/kg i 0,42 µg/kg a w schabach 0,38 µg/kg i 0,60 µg/kg. Wędzonki dukielskie boczki zawierały 0,91 µg/kg benzo[a]pirenu w pierwszej partii przemysłowej i 0,78 µg/kg w drugiej partii, suma 4 WWA w obydwu partiach nie przekroczyła 5 µg/kg. Kielbasy suche dukielskie jako kielbasy grube podsuszane zawierały benzo[a]piren na poziomie 0,50 µg/kg w pierwszej partii przemysłowej i 0,26 µg/kg w partii drugiej. Suma 4 WWA była na niskim poziomie i wynosiła odpowiednio 2,15 µg/kg i 1,74 µg/kg. Kielbasy kruche, które są kielbasami cienkimi zawierały benzo[a]piren na poziomie 1,70 µg/kg a suma 4 WWA nie była wyższa niż 6,13 µg/kg. Kielbasy domowe po pierwszym roku od badań modelowych zawierały benzo[a]piren na poziomie 1,45 µg/kg i sumę 4 WWA 4,92 µg/kg. Po drugim roku zawartość benzo[a]pirenu wynosiła 3,15 µg/kg a suma 8,49 µg/kg. Najwyższą zawartością WWA charakteryzowały się kabanosy, benzo[a]piren po roku od badań modelowych był na poziomie 3,11 µg/kg a suma 4 WWA 13,25 µg/kg. Po dwóch latach zawartość benzo[a]pirenu wynosiła 2,77 µg/kg a sumy 4 WWA 11,78. Biorąc pod uwagę niepewność wyników zawartość szkodliwych dla zdrowia związków została przekroczona w kielbasie domowej w partii drugiej i w kabanosach w partii pierwszej według norm zawartych w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności [96]. Jednak zawartość WWA nie przekroczyła norm zawartych w Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/1255 z dnia 7 września 2020 roku zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych

dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w tradycyjnie wędzonych mięsach i produktach mięsnych [95] i dopuszcza do obrotu produkty w państwach objętych odstępstwem stałym w tym w Polsce. W przepisach tych zawartość benzo[a]pirenu nie może przekraczać 5 µg/kg a suma 4 WWA nie może przekraczać 30 µg/kg produktu wędzonego.

W badanych produktach przemysłowych ogólna liczba drobnoustrojów nie przekroczyła 10^8 jtk/g co świadczy, że produkty zachowały trwałości i nie zaszły jeszcze procesy psucia mięsa. O dobrej jakości mikrobiologicznej produktów przemysłowych świadczy bardzo niski poziom bakterii z rodzaju *Enterobacteriaceae*, który we wszystkich produktach był poniżej 10 jtk/g. W warunkach przemysłowych świadczy to o skutecznie przeprowadzanych zabiegach dezynfekcji i czystości maszyn i urządzeń oraz higienie osobistej personelu. W produktach pochodzących z partii przemysłowych nie wykryto obecności bakterii chorobotwórczych *Salmonella spp.* i *Listeria monocytogenes*.

7. STWIERDZENIA I WNIOSKI

Stwierdzenia:

1. Produkty mięsne wędzone i obrabiane cieplnie w innowacyjnej wędzarni charakteryzują się odpowiednią jakością i wysoką trwałością przechowalniczą spełniając wymagania konsumentów dla wyrobów tradycyjnych.
2. Produkty wędzone w tradycyjnej wędzarni i modelowe wykazały się podobną wysoką oceną sensoryczną co świadczy, że produkty z wędzarni innowacyjnej spełniają cechy produktu tradycyjnego.
3. Wędzenie produktów w innowacyjnej wędzarni spełnia ustawowe wymagania UE dla poziomu WWA w produktach wędzonych, jeżeli przestrzegamy poprawnych parametrów procesu technologicznego.
4. Na zmniejszenie zanieczyszczenia WWA produktów wędzonych wpływa konstrukcja i sposób prowadzenia procesu w innowacyjnej wędzarni, gdzie do ogrzewania komory wykorzystuje się pośrednio nagrzane powietrze podczas spalania drewna.
5. Zastosowanie innowacyjnej wędzarni skraca czas obróbki dymem i ciepłem produktu mięsnego o około 30-40 minut od obecnie stosowanych wędzarni wykorzystywanych do produkcji wyrobów tradycyjnych.
6. Średnie stężenie pyłów PM 2,5 i PM 10 w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni innowacyjnej było dwukrotnie niższe niż podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej co świadczy, że wędzarnia innowacyjna mniej zanieczyszcza środowisko.
7. Badania przemysłowe przeprowadzone w trzecim etapie potwierdziły wyniki z badań modelowych przeprowadzonych w drugim etapie, co wpływa na skuteczną pracę wędzarni innowacyjnej w przemysłowej produkcji wyrobów tradycyjnie wędzonych.
8. Rozwiązania konstrukcyjne i procesowe wykorzystane w budowie i eksploatacji innowacyjnej wędzarni powinny być wykorzystywane w innych zakładach zajmujących się produkcją wyrobów tradycyjnie wędzonych.

Wnioski:

1. Potwierdzono hipotezę pierwszą, że zastosowanie innowacyjnej wędzarni w procesie produkcji wędlin wpływa hamująco na poziom WWA w wyrobach mięsnych.
2. Potwierdzono hipotezę drugą, że wędzenie i obróbka cieplna wyrobów mięsnych w innowacyjnej wędzarni zapewnia jakość sensoryczną, fizykochemiczną i mikrobiologiczną produktów tradycyjnie wędzonych.
3. Potwierdzono hipotezę trzecią, że wędzenie w innowacyjnej wędzarni zmniejsza poziom zanieczyszczenia środowiska i obniża koszty energetyczne produkcji wyrobów wędzonych.

8. SPIS LITERATUREY

- [1] Abdel-Shafy H. I., Mansour M. S. M.: A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Pet.* 2016, 25, 107–123.
- [2] Ahn D.U., Nam K.C., Lee E.J.: Lipid oxidation and flavor. *Appl. Muscle Biology Meat Sci.*, 2009, 12, 227-246.
- [3] Antal M.J., Allen S.G., Daj X., Shimizu B., Tam M. S., Glonli M. G.: Attainment of the theoretical yield of carbon from biomass. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2000, 39, 4024 – 4029.
- [4] Bagnowska A., Mostowski R., Trzęsowska A., Krala L.: Techniczne, technologiczne i zdrowotne aspekty wędzenia mięsa. *Acta Sci. Pol., TechnicaAgraria*, 2011, 10(1-2), 33 – 40.
- [5] Belejko J. Miler K.: Sposób i urządzenie do wytwarzania dymu wędzarniczego. Zgłoszenie patentowe P 275 152, Warszawa, 1988.
- [6] Bhuyan D., Das A., Laskas S.K., Bora D.P., Tamuli S., Hazarika M.: Effect of different smoking methods on the quality of pork sausages. *Veterinary World*, 2018, 11(12), 1712-1719.
- [7] Bittner J. D., Howard J. B.: Composition profiles and reaction mechanisms in a near-sooting premixed benzene/oxygen/argon flame. *Symp. Combust.* 1981, 18, 1105–1116.
- [8] Bogdanović T. Pleadin J., Petricevic S., Listes E., Sokolic D., Markovic K., Ozogul F., Simat V.: The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish and meat products of Croatia and dietary exposure. *Journal of Food Compost. Anal.*, 2019, 75, 49–60.
- [9] Borys A.: Produkty szybkiej pirolizy drewna jako wielofunkcyjne preparaty dymu wędzarniczego w przetwórstwie żywności. *Roczniki Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego*, 2003, 40, 2.

- [10] Borys A.: Sposób wytwarzania preparatu wędzarniczego o modulowanych właściwościach barwiących i aromatyzujących. Opis patentowy PL 219265 B1, Warszawa, 2010.
- [11] Bryden K.M., Ragland K.W., Rutland C.J.: Modeling thermally thick pyrolysis of wood. *Biomass and Energy*, 2002, 22, 41-53.
- [12] Bulanda S., Janoszka B.: Consumption of Thermally Processed Meat Containing Carcinogenic Compounds (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heterocyclic Aromatic Amines) versus a Risk of Some Cancers in Humans and the Possibility of Reducing Their Formation by Natural Food Additives—A Literature Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, 19, 4781.
- [13] Bulanda S., Janoszka B.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Roasted Pork Meat and the Effect of Dried Fruits on PAH Content. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, 20, 4922.
- [14] Cai C., Chang G., Zhao M., Wu P., Hu Z., Jiang D.: Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Traditional Chinese Medicine Raw Material, Extracts, and Health Food Products. *Molecules*, 2022, 27, 1809.
- [15] Ciecierska M., Obiedziński M.: Influence of smoking process on polycyclic aromatic hydrocarbons' content in meat products. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 2007, 6(4), 17-28.
- [16] Da Silva S. A., De Rossi G. Z., Ossugui M. M., de Almeida A. P., Guizellini G. M., Sampaio G. R., Torres E. A. F. S.: Quantification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Commonly Consumed Salami in Brazil. *Food Analytical Methods*. 2022, 10, 12161-022.
- [17] Di Blasi C., Branca C., Santoro A., Gonzalez Hernandez E.: Pyrolytic behavior and product of some wood varieties. *Combust. Flame*, 2001, 124, 165-173.
- [18] Dolata W., Piątek M., Piasecki M.: Analiza rozkładu temperatury w zależności od fazy obróbki termicznej wędlin oraz wielkości komory wędzarniczo-parzelniczej. *Inżynieria Rolnicza*, 2005, 9(69), 50-59.

- [19] Dolata W., Piątek M., Piasecki M.: Wpływ rodzaju zrębków wędzarniczych na wybrane cechy jakościowe kiełbasy węgierskiej. *Inżynieria Rolnicza*, 2007, 5(93), 69-74.
- [20] Dolata W.: Wędzenie wyrobów mięsnych. *Gospodarka Mięsna*, 2005, 9, 34-38.
- [21] Dolatowski Z. J., Skórnicki H.: Tradycyjne wędzenie i pieczenie bezpieczne pod względem zdrowotnym. *Przemysł Spożywczy*, 2014, 11, 20-23.
- [22] Dolatowski Z. J.: Tradycyjne wędzenie wyrobów mięsnych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, 2015 Radom.
- [23] Duedahl-Olesen L., Iónas A.C.: Formation and mitigation of PAHs in barbecued meat – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 62:13, 3553-3568.
- [24] Duma-Kocan, P., Rudy, M., Gil, M., Stanisławczyk, R.: The influence of temperature differences in smoking chamber and furnace and smoking time on the quality of medium-ground sausages. *Molecules*, 2020, 25, 5515.
- [25] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/107 WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu.
- [26] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy.
- [27] European Food Safety Authority: Findings of the EFSA Data Collection on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food,[on-line], Dostęp w internecie [16.01.2023]: <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/33r.pdf>
- [28] Flores M., Mora L., Reig M., Toldra F.: Risk assessment of chemical substances of safety concern generated in processed meats. *Food Science and Human Wellness*, 2019, 8, 244-251.

- [29] Frenklach M., Clary D. W., Gardiner W. C., Stein S. E.: Detailed kinetic modeling of soot formation in shock-tube pyrolysis of acetylene. *Symp. Combust.*, 1985, 20, 887–901.
- [30] Frenklach M., Wang H.: Detailed modeling of soot particle nucleation and growth. *Symp. Combust.*, 1991, 23, 1559–1566.
- [31] Fritz W., Soós K.: Smoked food and cancer, *Bibl. Nut. Dieta.* 1980, 29, 57-64.
- [32] Georganta E., Rahman R. K., Raj A., Sinha S.: Growth of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by methyl radicals: Pyrene formation from phenanthrene. *Combust. Flame.*, 2017, 185, 129–141.
- [33] Gronli M.G., Varhegyi G.V., Di Blasi C.: Analysis and devolatilization kinetics of wood. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2002, 41, 4201-4208.
- [34] Guo, J., Wang, Q., Chen, C., Yu, H., Xu, B.: Effects of different smoking methods on sensory properties, free amino acids and volatile compounds in bacon. *J Sci Food Agric*, 2021, 101(7), 2984-2993.
- [35] Hagge M.J., Bryden K.M.: Modeling the impact of shrinkage on the pyrolysis of dry biomass. *Chemical Engineering Science*, 2002, 57, 2811-2403.
- [36] Hamidi E. N., Hajeb P., Selamat J., Razis A. F. A.: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their bioaccessibility in meat: atool for assessing human cancer risk. *Asian Pac. J. Cancer Prev.*, 2016, 17(1), 15–23.
- [37] Hon D. N. S., Shiraishi N.: *Wood and Cellulosic Chemistry, Revised, and Expanded.* 2000, CRC Press.
- [38] Hu Y., Tian H., Hu S., Dong L., Zhang J., Yu X., Han M., Xu X.: The effect of in-package cold plasma on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled beef steak with different oils or fats. *Food Chem*, 2022, 371, 131384

- [39] Hui T., Fang Z., Ma Q., Hamid N., Li Y.: Effect of cold atmospheric plasma-assisted curing process on the color, odor, volatile composition, and heterocyclic amines in beef meat roasted by charcoal and superheated steam. *Meat Science*, 2023, 01(196).
- [40] Hussein M. El., Makkouk R., Rabaa A., Al Omar F., Jaber F.: Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH4) in the Traditional Lebanese Grilled Chicken: Implementation of New, Rapid and Economic Analysis Method. *Food Anal. Methods*, 2018, 11, 201–214.
- [41] Ifegwu O.C., Anyakora C.: Polycyclic aromatic hydrocarbons: Part I. Exposure, w: *Advances in Clinical Chemistry*, 2015, 72(6), 277-304.
- [42] Iko Afe O. H., Kpoclou Y. E., Douny C., Anihouvi V. B., Igout A., Mahillon J., Hounhouigan D. J., Scippo M.L.: Chemical hazards in smoked meat and fish. *Food Science and Nutrition*, 2021, 9, 6903-6922.
- [43] International Agency for Research on Cancer (IARC). Benzo[a]pyrene. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 2012, Vol. 100F, 1-144.
- [44] Kandil A. A., Halawa A. A., Shata R., Mohamed S. S., Al-Ashmawy M. A.: Detection of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Concentrations in Egyptian Raw and Sterile Milk. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 2023, 1(13), 52-57.
- [45] Kartalovic B., Okanovic D., Babic J., Djordjevic V., Jankovic S., Cirkovici M.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Ham. *Procedia Food Science*, 2015, 5, 144-147.
- [46] Kim H. J., Cho J., Kim D., Park T. S., Jin S. K., Hur S. J., Lee S. K., Jang A.: Effects of Gochujang (Korean Red Pepper Paste) Marinade on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Formation in Charcoal-Grilled Pork Belly. *Food Sci. Anim. Resour.*, 2021, 41(3), 481-496.
- [47] Kislov V. V., Islamova N. I., Kolker A. M., Lin S. H., Mebel A. M.: Hydrogen Abstraction Acetylene Addition and Diels-Alder Mechanisms of PAH Formation:

- A Detailed Study Using First Principles Calculations. *J. Chem. TheoryComput.*, 2005, 1, 908–924.
- [48] Klawitter E., Bafia N.: Wybór metody wytwarzania dymu a ochrona środowiska i jakość wędzonego produktu. *Gospodarka mięsna*, 2006, 6, 16-20.
- [49] Kołakowski E. (red): *Technologia wędzenia żywności*, PWRiL, 2012, Warszawa.
- [50] Kowalski R., Pyrcz J.: Wędzenie produktów mięsnych. *Gospodarka Mięsna*, 2006, 6, 10-12.
- [51] Krzywicki T.: *Szlakiem Adama Mickiewicza po Nowogródczyźnie, Wilnie i Kownie: przewodnik*, Oficyna wydawnicza „Rewasz”, Wydanie III poprawione i rozszerzone, 2006, Pruszków.
- [52] Kubiak M., Dolata W.: Wpływ modyfikacji konstrukcji dysz zasilających w komorze wędzarniczo-parzelniczej na obniżenie zawartości związków WWA w produktach mięsnych. *Inżynieria Rolnicza*, 2014, 1(149), 83-90.
- [53] Kubiak M., Polak M., Siekierko U.: Zawartość B[a]P w rynkowych przetworach mięsnych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2011, 3 (76), 120-129.
- [54] Kubiak M., Polak-Śliwińska M.: The level of chosen Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in meat products smoked by using an industrial and a traditional method. *Pol. J. Natur. Sc.*, 2015, 30(2), 137-147.
- [55] Kubiak M.: Analiza poziomu zanieczyszczeń WWA w wybranych wyrobach mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia. *Bromatologia. Chemia. Toksykologia*, 2012, 4, 1264-1270.
- [56] Kubiak M.: Nowe techniki i technologie a tradycja w procesie wędzenia wyrobów mięsnych. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 2013, 8, 39-50.
- [57] Kubiak M.: Poziom koncentracji zanieczyszczeń z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wybranych wyrobach mięsnych poddanych tradycyjnemu wędzeniu. *Nauka Przyr. Technol.* 2012, 6, 18.

- [58] Kubiak M.: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) – ich występowanie w środowisku i w żywności. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2013, 94(1), 31-36.
- [59] Ledesma E., Laca A., Rendueles M., Díaz M.: Texture, colour and optical characteristics of a meat product depending on smoking time and casing type. *Food Science and Technology*, 2016, 65, 164-172.
- [60] Ledesma E., Rendueles M., Diaz M.: Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 2016, 60, 64-87.
- [61] Long A. E., Merchant, S.S.; Vandeputte, A.G.; Carstensen, H.-H.; Vervust, A.J.; Marin, G.B.; Van Geem, K.M.; Green, W.H. Pressure dependent kinetic analysis of pathways to naphthalene from cyclopentadienyl recombination. *Combust. Flame*. 2018, 187, 247–256.
- [62] Maciejczyk M., Tyrpień-Golder K., Janoszka B., Gierat B., Muzyka R.: Mutagenic and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food – occurrence, human health effects, and assessment methods of exposure. *MedSrodow.*, 2023, 26, 8–15.
- [63] Makąła H., Tyszkiewicz S., Wawrzyniewicz M.: Jakość popularnych rynkowych kiełbas średnio rozdrobnionych. *Rocz. Inst. Przem. Mięs. i Tł.*, 2007, T.XLV/2, 137.
- [64] Makąła H.: Rola dymu wędzarniczego w kształtowaniu barwy przetworów mięsnych. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 2017, 72(1), 90-99.
- [65] Malarut J., Vangnai K.: Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages. *Food Control*, 2018, 85, 98-106.
- [66] Martorell I., Perello G., Marti-Cid R., Castell V., Llobet J. M., Domingo J. L.: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in food and estimated PAH intake by the

- population of Catalonia, Spain: Temporal trend. *Environment International*, 2010, 36, 424-432.
- [67] Mastanjević K., Kartalović B., Petrović J., Novakov N., Puljić L., Kovačević D., Jukić M., Lukinac J., Mastanjević K.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in the traditional smoked sausage Slavonskakobasica, *Journal of Food Composition and Analysis*, 2019, 83.
 - [68] McLachlan M.S.: Bioaccumulation of hydrofobic chemicals in agricultural food chain. *Organohalogened Compounds*, 1995, 22, 81-103.
 - [69] Mebel A. M., Georgievskii Y., Jasper A. W., Klippenstein S. J.: Temperature- and pressure-dependent rate coefficients for the HACA pathways from benzene to naphthalene. *Proc. Combust., Inst.*, 2017, 36, 919–926.
 - [70] Mebel A., Mandera A., Kaiser R. I.: Formation Mechanisms of Naphthalene and Indene: From the Interstellar Medium to Combustion Flames. *J. Phys. Chem. A.*, 2017, 121, 901–926.
 - [71] Michalska K., Ledakowicz S.: Degradacja struktur lignocelulozowych oraz produktów ich hydrolizy. *Inż. Ap. Chem.*, 2012, 51(4), 157-159.
 - [72] Michalski M.: Wędzenie produktów pochodzenia zwierzęcego. *Gospodarka Mięsna*, 2005, 2.
 - [73] Migdał W., Dudek R., Kapinos F., Kluska W.: Wędliny wędzone tradycyjnie – zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). *Polskie Towarzystwo Technologów Żywności Oddział Małopolski*, Kraków, 2014, 75-87.
 - [74] Migdał W., Migdał Ł., Walczycka M., Węsierska E., Zając M., Tkaczewska J., Kulawik P.: Poprawa cech sensorycznych i trwałości mięsnych produktów regionalnych pozyskiwanych od rodzimych ras zwierząt poprzez wykorzystanie tradycyjnych metod wędzenia, *Wiadomości Zootechniczne*, 2017, 5, 168–176.
 - [75] Migdał W., Zając M., Walczycka M., Węsierska E., Tkaczewska J., Kulawik P., Migdał Ł.: Produkty regionalne tradycyjnie wędzone wyprodukowane

z surowców pozyskiwanych od rodzimych ras zwierząt. Przegląd Hodowlany, 2019, 87 (6), 3-11.

- [76] Migdał W.: Wędzenie tradycyjne – Punkty krytyczne, Polskie Stowarzyszenie Producentów Wyrobów Wędzonych Tradycyjnie, 2016, Kraków-Pilzno.
- [77] Neves T.M., Da Cunha D.T., De Rosso V.V., Domene S.M.A.: Effects of seasoning on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in meats: A meta-analysis. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2021, 20, 526–541.
- [78] NIST PAH Database, Dostęp w internecie [16.01.2023], <https://pah.nist.gov/#>
- [79] Obiedziński M., Borys A.: Identification of polynuclear aromatic hydrocarbons in wood smoke. *Acta Alimentaria Polonica*, 1977, 32(3), 169-173.
- [80] Obwieszczenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 10 maja 2018 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wymagań weterynaryjnych przy produkcji produktów mięsnych wędzonych w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA).
- [81] Onopiuk A., Kołodziejczak K., Szpicer A., Marcinkowska-Lesiak M., Wojtasik-Kalinowska I., Stelmasiak A., Poltorak A.: The Effect of Partial Substitution of Beef Tallow on Selected Physicochemical Properties, Fatty Acid Profile and PAH Content of Grilled Beef Burgers. *Foods*, 2022, 11, 1986.
- [82] Onopiuk A., Kołodziejczak K., Szpicer A., Wojtasik-Kalinowska I., Wierzbicka A., Półtorak A.: Analysis of factors the influence the PAH profile and amount in meat products subjected to thermal processing. *Trends in Food Sci. Technol.*, 2021, 115, 366-379.
- [83] Palade L. M., Negoita M., Adascalului A. C., Mihai A. L.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Occurrence and Formation in Processed Meat, Edible Oils, and Cereal-Derived Products: A Review. *Appl. Sci.*, 2023, 13, 7877.

- [84] Palm L., Carboo D., Yeboah P. O., Quasie W. J., Gorleku M. A., Darko A.: Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Present in Smoked Fish from Ghana. *Adv. J. Food Sci. Technol.*, 2011, 3, 332-338.
- [85] Patel A. B., Shaikh S., Jain K.R., Desai C., Madamwar D.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches *Front. Microbiol.*, 2020, 11, 562813.
- [86] Pisula A., Pospiech E. (red.): *Mięso – podstawy nauki i technologii*. Wyd. SGGW, 2011, Warszawa.
- [87] Puljić L., Mastanjević K., Kartalović B., Kovačević D., Vranešević J., Mastanjević K.: The influence of different smoking procedures on the content of 16 PAHs in traditional dry cured smoked meat “Hercegovačka pečenica.”, *Foods*, 2019, 8(12), 690.
- [88] Qian-Da X., Zhi-Qiang Z., Zan J., Qiang H., Qun S., Wei-Cai Z.: Pine needle extract from *Cedrus deodara*: Potential applications on hazardous chemicals and quality of smoked bacon and its mechanism. *Food Control*, 2021, 130.
- [89] Raport o stanie powietrza Airly: „Oddychaj Polsko 2021”, Airly, 2022. Dostęp w internecie [25.06.2022], <https://airly.org/pl/raport-airly-oddychaj-polsko-2021/>
- [90] Reizer E., Csizmadia I. G., Nehéz K., Viskolcz B., Fiser B.: Theoretical investigation of benzo(a)pyrene formation. *Chem. Phys. Lett.* 2021, 772, 138564.
- [91] Rekanovic, S., Grujic, R., Tomovic, V., Stojanovic, N.: Thermal treatment effect on polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content in sheep and chicken meat products. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 2021, 35.
- [92] Roczna ocena jakości powietrza w województwie podkarpackim. Raport wojewódzki za rok 2021. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2022. Dostęp w internecie [25.06.2022]
<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/publications/card/38100>

- [93] Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Główny Urząd Statystyczny, 2022, Warszawa.
- [94] Roseiro L.C., Gomes A., Santos C.: Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food Chem. Toxicol.*, 2011, 49(6), 1340–1345.
- [95] Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/1255 z dnia 7 września 2020 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w tradycyjnie wędzonych mięsach i produktach mięsnych oraz w tradycyjnie wędzonych rybach i produktach rybactwa, a także w sprawie ustalenia najwyższego dopuszczalnego poziomu WWA w żywności w proszku pochodzenia roślinnego wykorzystywanej do przyrządzania napojów.
- [96] Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006.
- [97] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1327/2014 z dnia 12 grudnia 2014 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w mięsie wędzonym tradycyjnie i produktach mięsnych wędzonych tradycyjnie oraz w rybach i produktach rybactwa wędzonych tradycyjnie.
- [98] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 odnośnie do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w środkach spożywczych.
- [99] Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.

- [100] Rozporządzenie Komisji (WE) NR 208/2005 z dnia 4 lutego 2005 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 466/2001 w odniesieniu do wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.
- [101] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 836/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie Komisji (WE) nr 333/2007 ustanawiające metody pobierania próbek i metody analiz do celów urzędowej kontroli poziomów ołowiu, kadmu, rtęci, cyny nieorganicznej, 3-MCPD i benzo(a)pirenu w środkach spożywczych.
- [102] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 grudnia 2014 r. w sprawie wymagań weterynaryjnych przy produkcji produktów mięsnych wędzonych w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA).
- [103] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu.
- [104] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności.
- [105] Ruda B., Okoń A., Trząskowska M., Szymański P., Dolatowski Z.J.: Wpływ miejsca pozyskania drewna na jakość i bezpieczeństwo zdrowotne kiełbas wędzonych, *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2020, 27, 3(124), 100-112
- [106] Samarajeewa U.: Polycyclic aromatic hydrocarbons and food safety: A review. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*. 2023, 2(51).
- [107] Samiee S., Fakhri Y., Sadighara P., Arabameri M., Rezaei M., Nabizadeh R., Shariatifar N., Khaneghah A. M.: The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the processed meat samples collected from Iran's market: a probabilistic health risk assessment study. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2020, 27, 21126–21139.

- [108] Sampaio G.R., Guizellini G.M., da Silva S.A., de Almeida A.P., Pinaffi-Langley A.C.C., Rogero M.M., de Camargo A.C., Torres E.A.F.S.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foods: Biological Effects, Legislation, Occurrence, Analytical Methods, and Strategies to Reduce Their Formation. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 6010.
- [109] Siegmann K., Sattler K.: Formation mechanism for polycyclic aromatic hydrocarbons in methane flames. *J. Chem. Phys.*, 2000, 112, 698–709.
- [110] Sikorski Z.E.: Smoked Foods: Principles and Production, *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, 1-5.
- [111] Sinha, S.; Rahman, R.K.; Raj, A. On the role of resonantly stabilized radicals in polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) formation: Pyrene and fluoranthene formation from benzyl–indenyl addition. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, 19, 19262–19278.
- [112] Skąlecki P., Babicz M., Domaradzki P., Litwińczuk A., Hałabis M., Ruda B.: Podstawowy skład chemiczny, barwa oraz zawartość WWA i azotanów w wędzonych produktach z mięsa świń rasy puławskiej, *Medycyna Weterynaryjna*, 2019, 75(7), 422-425.
- [113] Skaljic S., Jakonovic M., Tomovic V., Sojic B., Ikonc P., Peulic T., Ivic M., Vranesovic J., Kartalovic B.: Color characteristics and content of polycyclic aromatic hydrocarbons of traditional dry fermented sausages throughout processing in controlled conditions. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2022, 42(6), 3124–3134.
- [114] Sorbo A., Pucci E., Nobili C., Taglieri I., Passeri D., Zoani C.: Food Safety Assessment: Overview of Metrological Issues and Regulatory Aspects in the European Union. *Separations*, 2022, 9, 53.
- [115] Stadnik J., Karwowska M., Stasiak D.: Bezpieczeństwo zdrowotne produktów wędzonych, w: Bezpieczeństwo zdrowotne żywności, aspekty mikrobiologiczne, chemiczne i ocena towaroznawcza. pod red. nauk. Stadnik J., Jackowskiej I. Wyd. Nauk. PTTŻ, 2015, Kraków.

- [116] Stanisławek M., Miarka D., Ciecierska M., Kowalska J., Majewska E.: Rola Inspekcji Weterynaryjnej w zapewnieniu bezpieczeństwa żywności na przykładzie weryfikacji zawartości WWA. *Bromatologia Chemia Toksykologia*, 2016, 3, 407-411.
- [117] Stumpe-Viksna I., Bartkevics V., Kukare A., Morozovs A.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry*, 2008, 110, 3, 794-797.
- [118] Surmiński J.: *Zarys chemii drewna*, Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 2006, Poznań.
- [119] Szweykowska A., Szweykowski J.: *Botanika t.1 Morfologia*, PWN, 2003, Warszawa.
- [120] Tian H., Yu J., Li M., Li J., Lu Y., Yu X., Lin S., Zeng X., Xu X., Han M.: Effect of curcumin on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled chicken wings. *Food Chemistry*, 2023, 414.
- [121] Tkacz K., Więk A., Kubiak M.S.: Influence of marinades on the level PAHs in grilled meat products. *It. J. Food Sci.*, 2012, 3 (24), 270-278.
- [122] Ustawa z dnia 17 grudnia 2004 r. o rejestracji i ochronie nazw i oznaczeń produktów rolnych i środków spożywczych oraz o produktach tradycyjnych. *Dz. U.* 2005, nr 10 poz. 68.
- [123] Vasilev D., Glisic M., Jankovic V., Dimitrijevic M., Karabasil N., Suvajdzic B., Teodorovic V.: Perspectives in production of functional meat products. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2017, 85.
- [124] Waszkiewicz-Robak B., Szterk A., Rogalski M., Kruk M., Rokowska E., Zarodkiewicz M., Mikiciuk J.: Wpływ procesu wędzenia wyrobów wieprzowych otrzymanych z mięsa o różnej jakości początkowej na zawartość Wielopierścieniowych Węglowodorów Aromatycznych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2014, 2(93), 73-92.

- [125] Węsierska E.: Trwałość mikrobiologiczna homogenizowanych kiełbas drobiowych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2007, 6(55), 295-303.
- [126] Wieczorek J., Wieczorek Z., Mozolewski W., Pomianowski J.: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w pyłe PM10. *Inż. Ap. Chem.*, 2011, 50(2), 26-27.
- [127] Wieczorek J., Wieczorek Z.: Pobranie wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych z żywnością. *Bromatologia Chemia Toksykologia*, 2011, 3, 725-731.
- [128] Więk A., Tkacz K., Żywica R.: Zawartość Wielopierścieniowych Węglodorów Aromatycznych (WWA) w mięsnych produktach grillowanych w zależności od zawartości tłuszczu w surowcu. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2013, 2(87), 39-50.
- [129] Yang H., Yan R., Chen H., Lee D. H., Zhung Ch.: Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 2007, 86, 1781-1788.
- [130] Zachara A., Juszczak L.: Zanieczyszczenie żywności wielopierścieniowymi węglodorami aromatycznymi – wymagania prawne i monitoring. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2016, 3(106), 5-20.
- [131] Żakowska-Biemans S., Kuc K.: Żywność tradycyjna i regionalna w opinii i zachowaniach polskich konsumentów. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2009, 3(64), 105-114.
- [132] Zhao L., Lu W., Ahmed M., Zagidullin M. V., Azyazov V. N., Morozov A. N., Mebel A. M., Kaiser R. I.: Gas-phase synthesis of benzene via the propargyl radical self-reaction. *Sci. Adv.*, 2023, 7, 360.
- [133] Zhao X., Gao J., Zhai L., Yu X., Xiao Y.: Recent Evidence on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure. *Healthcare*, 2023, 11, 1958.
- [134] Znamirska A., Zachara A., Jarzyna M., Rudy M., Duma P.: Benzo(a)piren w wędzonych produktach mięsnych i smalcu. *Postępy Nauki Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 2011, 1, 137-140.

9. SPIS NORM

PN-ISO 1444:2000 – Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości tłuszczu wolnego

PN-75/A-04018/Az3:2002 – Produkty rolniczo-żywnościowe. Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko

PN-A-82007:1996/Az1:1998 – Przetwory mięsne - Wędliny

PN-ISO 2917:2001 – Mięso i przetwory mięsne. Pomiar pH. Metoda odwoławcza

PN-EN ISO 4833:2004 – Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów. Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C

PN-ISO 15214:2002 – Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej. Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C

PN-EN ISO 11290-1:2017-07 – Mikrobiologia łańcucha żywnościowego. Horyzontalna metoda wykrywania i oznaczania liczby *Listeria monocytogenes* i innych *Listeria spp.* Część 1: Metoda wykrywania

PN-EN ISO 6579-1:2017-04 – Mikrobiologia łańcucha żywnościowego. Horyzontalna metoda wykrywania, oznaczania liczby i serotypowania *Salmonella*. Część 1: Wykrywanie *Salmonella spp*

PN-EN ISO 13299:2016-05 – Analiza sensoryczna. Metodyka. Ogólne wytyczne ustalania profilu sensorycznego

PN-EN ISO 8586:2014-03 - Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne wyboru, szkolenia i monitorowania wybranych oceniających i ekspertów oceny sensorycznej

PN-EN 12341:2014 Powietrze atmosferyczne. Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określania stężeń masowych frakcji PM 10 lub PM 2,5 pyłu zawieszonego

ANEKS

SPIS TABEL

- Tab. 1 Wpływ rodzaju drewna na barwę zewnętrzną i cechy smakowo-zapachowe produktu wędzonego
- Tab. 2 Związki chemiczne powstające podczas pirolizy suchych składników drewna
- Tab. 3 Wartość współczynników toksyczności TEF wybranych WWA, według różnych źródeł
- Tab. 4 Parametry procesu wędzenia
- Tab. 5 Metody wytwarzania dymu wędzarniczego
- Tab. 6 Procentowy udział składników w badanych kielbasach
- Tab. 7 Charakterystyka wyróżników analizy sensorycznej i ich oznaczeń brzegowych
- Tab. 8 Legenda określająca stan jakości powietrza z uwzględnieniem stężenia pyłów PM_{2,5} oraz PM₁₀
- Tab. 9 Średnie zużycie drewna podczas procesu wędzenia oraz średnia wilgotność drewna użytego do wędzenia
- Tab. 10 Podstawowy skład chemiczny surowców
- Tab. 11 Podstawowy skład chemiczny badanych produktów mięsnych
- Tab. 12 Wyliczone wskaźniki FN, PFF, BC, T/B produktów modelowych
- Tab. 13 Kwasowość i potencjał oksydacyjno-redukcyjny produktów mięsnych mierzony po produkcji
- Tab. 14 Analiza jakości mikrobiologicznej w badanych produktach mięsnych
- Tab. 15 Średnie godzinowe i średnia 5-cio godzinna stężenia pyłów PM_{2,5} i PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej oraz wędzarni innowacyjnej
- Tab. 16 Skład chemiczny badanych kielbas szynkowych
- Tab. 17 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kielbas szynkowych

Tab. 18 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kiełbasach szynkowych

Tab. 19 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy szynkowej bezpośrednio po produkcji

Tab. 20 Skład chemiczny badanych szyniek wędzonych

Tab. 21 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych szyniek wędzonych

Tab. 22 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w szynkach wędzonych

Tab. 23 Jakość mikrobiologiczna szyniek wędzonych bezpośrednio po produkcji

Tab. 24 Jakość mikrobiologiczna szyniek wędzonych po 7 dniach przechowywania

Tab. 25 Jakość mikrobiologiczna szyniek wędzonych po 14 dniach przechowywania

Tab. 26 Skład chemiczny badanych schabów wędzonych

Tab. 27 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych schabów wędzonych

Tab. 28 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w schabach wędzonych

Tab. 29 Jakość mikrobiologiczna schabu wędzonego bezpośrednio po produkcji

Tab. 30 Jakość mikrobiologiczna schabu wędzonego po 7 dniach przechowywania

Tab. 31 Jakość mikrobiologiczna schabu wędzonego po 14 dniach przechowywania

Tab. 33 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych boczaków wędzonych

Tab. 34 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w boczakach wędzonych

Tab. 35 Jakość mikrobiologiczna boczaków wędzonych bezpośrednio po produkcji

Tab. 36 Skład chemiczny badanych kabanosów

Tab. 37 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kabanosów

Tab. 38 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kabanosach

- Tab. 39 Jakość mikrobiologiczna kabanosów bezpośrednio po produkcji
- Tab. 40 Jakość mikrobiologiczna kabanosów po 7 dniach przechowywania
- Tab. 41 Jakość mikrobiologiczna kabanosów po 14 dniach przechowywania
- Tab. 42 Skład chemiczny badanej kiełbasy suchej dukielskiej
- Tab. 43 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanej kiełbasy suchej dukielskiej
- Tab. 44 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kiełbasach suchych
- Tab. 45 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy suchej dukielskiej bezpośrednio po produkcji
- Tab. 46 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy suchej dukielskiej po 7 dniach przechowywania
- Tab. 47 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy suchej dukielskiej po 14 dniach przechowywania
- Tab. 48 Skład chemiczny badanych kiełbas kruchych
- Tab. 49 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kiełbas kruchych
- Tab. 50 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kiełbasach kruchych
- Tab. 51 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy kruchej bezpośrednio po produkcji
- Tab. 52 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy kruchej po 7 dniach przechowywania
- Tab. 53 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy kruchej po 14 dniach przechowywania
- Tab. 54 Skład chemiczny badanych kiełbas domowych
- Tab. 55 Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) i wartość pH badanych kiełbas domowych
- Tab. 56 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w µg/kg w kiełbasach domowych
- Tab. 57 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy domowej bezpośrednio po produkcji
- Tab. 58 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy domowej po 7 dniach przechowywania
- Tab. 59 Jakość mikrobiologiczna kiełbasy domowej po 14 dniach przechowywania

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1 Schemat struktury fibryli celulozowych

Rys. 2 Wzory strukturalne i sumaryczne wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych a) benzo[a]antracen, b) benzo[b]fluoranten, c) chryzen, d) benzo[a]piren e) antracen, f) benzo[c]fluoren, g) benzo[e]piren, h) benzo[k]fluoranten, i) dibenzo[a,e]piren, j) dibenzo[a,h]antracen, k) fluoren, l) fluoranten, m) piren

Rys. 3 Szlak aktywacji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i jej wpływ na zdrowie ludzkie

Rys. 4 Przykład wytwarzania dymu w metodzie żarowej

Rys. 5 Schemat dymogeneratora na dym parowy

Rys. 6 Schemat ciernych wytwornic dymu a) przykład urządzenia z walcem zębatym o poziomej osi obrotu, b) przykład urządzenia z wirującą tarczą o pionowej osi obrotu

Rys. 7 Schemat fluidalnej metody wytwarzania dymu wędzarniczego

Rys. 8 Schemat wędzarni a) z paleniskiem bezpośrednim, b) z paleniskiem pośrednim

Rys. 9 Przykład wędzarni z paleniskiem pośrednim

Rys. 10 Wędzarnia dworska w Szczorsach

Rys. 11 Schemat komory wędzarniczo-parzelniczej typu Atmos

Rys. 12 Schemat prowadzonych badań

Rys. 13 Badane produkty a) kielbasa cienka, b) kielbasa gruba

Rys. 14 Badane produkty a) schab wędzony b) boczek wędzony

Rys. 15 Drewno użyte do wędzenia

Rys. 16 Schemat procesów technologicznych produkcji kielbasy cienkiej i kielbasy grubej

Rys. 17 Schemat procesów technologicznych produkcji boczków i schabów wędzonych

Rys. 18 Schemat umiejscowienia czujnika pyłów zawieszonych

Rys. 19 Wózek wędzarniczy z gotowym produktem

Rys. 20 Schemat wędzarni tradycyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka

- Rys. 21 Zdjęcie wędzarni tradycyjnej w Zakładzie Mięsnym Jasiołka, a) palenisko, b) komora wędzarnicza
- Rys. 22 Schemat wędzarni innowacyjnej w zakładzie mięsnym Jasiołka a) rzut boczny b) rzut przestrzenny z rozbiciem na elementy
- Rys. 23 Schemat konstrukcyjny budowy wędzarni innowacyjnej
- Rys. 24 Schemat konstrukcyjny paleniska wędzarni innowacyjnej
- Rys. 25 Schemat konstrukcyjny komory wędzarniczej wędzarni innowacyjnej
- Rys. 26 Schemat konstrukcyjny systemu kominów dymnych wędzarni innowacyjnej
- Rys. 27 Wędzarnia innowacyjna w Zakładzie Mięsnym Jasiołka a) palenisko, b) komora wędzarnicza
- Rys. 28 Schemat i zasada działania wędzarni innowacyjnej podczas etapów: a) rozpalania, b) suszenia, c) wędzenia, d) wędzenia z pieczeniem, e) pieczenia
- Rys. 29 Wartości temperatur podczas procesu wędzenia kielbasy cienkiej w wędzarni a) tradycyjnej i b) innowacyjnej
- Rys. 30 Wartość temperatur podczas procesu wędzenia kielbasy grubej w wędzarni a) tradycyjnej i b) innowacyjnej
- Rys. 31 Wartość temperatur podczas procesu wędzenia wędzonek w wędzarni a) tradycyjnej i b) innowacyjnej
- Rys. 32 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w kielbasach cienkich bezpośrednio po produkcji
- Rys. 33 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w kielbasach grubych bezpośrednio po produkcji
- Rys. 34 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w schabie wędzonym bezpośrednio po produkcji
- Rys. 35 Zawartości benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[a]pirenu i suma czterech WWA w $\mu\text{g/kg}$ w boczku wędzonym bezpośrednio po produkcji
- Rys. 36 Analizy sensoryczna kielbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji

- Rys. 37 Analiza sensoryczna kielbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania
- Rys. 38 Analiza sensoryczna kielbasy cienkiej w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania
- Rys. 39 Analiza sensoryczna kielbasy grubej w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji
- Rys. 40 Analiza sensoryczna kielbasy grubej w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania
- Rys. 41 Analiza sensoryczna kielbasy grubej w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania
- Rys. 42 Analiza sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji
- Rys. 43 Analiza sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania
- Rys. 44 Analiza sensoryczna boczku wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania
- Rys. 45 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych bezpośrednio po produkcji
- Rys. 46 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 7 dniach przechowywania
- Rys. 47 Analiza sensoryczna schabu wędzonego w dwóch wariantach badawczych po 14 dniach przechowywania
- Rys. 48 Kielbasa cienka wędzona a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej
- Rys. 49 Kielbasa gruba wędzona a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej
- Rys. 50 Schab wędzony a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej
- Rys. 51 Boczek wędzony a) w wędzarni innowacyjnej, b) w wędzarni tradycyjnej
- Rys. 52 Stężenie pyłów PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zawieszonych w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej

- Rys. 53 Stężenie pyłów PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zawieszonych w powietrzu podczas wędzenia w wędzarni tradycyjnej i wędzarni innowacyjnej
- Rys. 54 Poglądowe zdjęcie kielbasy szynkowej z produkcji przemysłowej
- Rys. 55 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych bezpośrednio po produkcji (czas 0) (n=8)
- Rys. 56 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych po 7 dniach przechowywania (czas 1) (n=8)
- Rys. 57 Wyniki oceny sensorycznej badanych kielbas szynkowych po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)
- Rys. 58 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej szynki z produkcji przemysłowej
- Rys. 59 Wyniki oceny sensorycznej badanych szyniek wędzonych po produkcji (czas 0) (n=8)
- Rys. 60 Wyniki oceny sensorycznej badanych szyniek wędzonych po 7 dniach przechowywania (czas 1) (n=8)
- Rys. 61 Wyniki oceny sensorycznej badanych szyniek wędzonych po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)
- Rys. 62 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej schabu z produkcji przemysłowej
- Rys. 63 Poglądowe zdjęcie wędzonki dukielskiej boczku z produkcji przemysłowej
- Rys. 64 Wyniki oceny sensorycznej badanych boczków po produkcji (czas 0) (n=8)
- Rys. 65 Wyniki oceny sensorycznej badanych boczków po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)
- Rys. 66 Poglądowe zdjęcie kabanosa dukielskiego z produkcji przemysłowej
- Rys. 67 Wyniki oceny sensorycznej badanych kabanosów bezpośrednio po produkcji (czas 0) (n=8)
- Rys. 68 Wyniki oceny sensorycznej badanych kabanosów po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)
- Rys. 69 Poglądowe zdjęcie kielbasy suchej dukielskiej z produkcji przemysłowej
- Rys. 70 Wyniki oceny sensorycznej badanej kielbasy suchej dukielskiej bezpośrednio po produkcji (czas 0) (n=8)

Rys. 71 Wyniki oceny sensorycznej badanej kiełbasy suchej dukielskiej po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)

Rys. 72 Poglądowe zdjęcie kiełbasy kruchej z produkcji przemysłowej

Rys. 73 Wyniki oceny sensorycznej badanych kiełbas kruchych bezpośrednio po produkcji (czas 0) (n=8)

Rys. 74 Wyniki oceny sensorycznej badanych kiełbas kruchych po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)

Rys. 75 Poglądowe zdjęcie kiełbasy domowej z produkcji przemysłowej

Rys. 76 Wyniki oceny sensorycznej badanych kiełbas domowych bezpośrednio po produkcji (czas 0) (n=8)

Rys. 77 Wyniki oceny sensorycznej badanych kiełbas domowych po 14 dniach przechowywania (czas 2) (n=8)

Wyrażam zgodę na udostępnienie mojej pracy w czytelni biblioteki Instytutu
Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego –
Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie.

.....

(czytelny podpis autora)