

Mariusz Sławomir Kubiak

ANALIZA POZIOMU ZANIECZYSZCZEŃ WWA W WYBRANYCH WYROBACH MIĘSNYCH PODDANYCH PRZEMYSŁOWYM WARUNKOM WĘDZENIA*

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego Wydziału Mechanicznego
Politechniki Koszalińskiej
Kierownik: prof. dr hab. inż. *J. Diakun*

W pracy określono poziom zanieczyszczenia związkami z grupy WWA w wybranych wyrobach mięsnych poddanych przemysłowemu wędzeniu. Materiał do badań stanowiły próbki wyrobów mięsnych wędzonych (połędwice, balerony, szynki, karkówki i boczki) po zakończonym procesie wędzenia i wychłodzeniu. Jakościową i ilościową analizę związków WWA wykonano z wykorzystaniem chromatografii cieczowej z selektywnym detektorem (HPLC-FLD-DAD).

Hasła kluczowe: produkty mięsne wędzone, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), chromatografia cieczowa (HPLC-FLD-DAD).

Key words: smoked meat products, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), liquid chromatography (HPLC-FLD-DAD).

Człowiek, egzystując w złożonym makroekosystemie, poddawany jest działaniu jego czynników abiotycznych i biotycznych, częściowo będących wynikiem działalności ludzkiej – technosfery, warunków społecznych – socjosfery i kulturowych – noosfery. W codziennym życiu organizm ludzki jest narażony na działanie tysięcy substancji chemicznych, które są wytworem naturalnych procesów, jak również działalności człowieka. Niektóre z nich są korzystne dla zdrowia (na przykład główne składniki żywności), ale wiele innych może wpływać negatywnie, pogarszając jakość i bezpieczeństwo życia.

Grupa WWA obejmuje kilkaset związków. Mogą one zawierać od dwóch do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu pierścieni benzenowych połączonych ze sobą, co decyduje o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych i toksycznych (1, 2).

Występowanie WWA w żywności jest spowodowane głównie zanieczyszczeniem środowiska i niektórymi technologicznymi procesami utrwalania żywności, jak wędzenie, smażenie lub grillowanie (1, 2, 3). Badania zawartości WWA w produktach poddanych takim obróbkom informują o poziomie zanieczyszczeń w poszczególnych grupach wyrobów mięsnych (2, 4, 5). Z uwagi na fakt, że zdrowie społeczeństwa jest największym dobrem, coraz większego znaczenia nabierają czasowo-prze-

* Praca finansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju na lata 2010–2013, jako projekt rozwojowy nr NR12 0125 10.

strzenne badania monitoringowe poziomu kontaminantów zarówno w elementach środowiska, jak i produktach rolno-spożywczych oraz paszach dla zwierząt (2, 6).

Procesy termiczne oprócz nadania pożądanego smaku i aromatu, sprzyjają tworzeniu się niepożądanych związków chemicznych, między innymi: wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, których wiele wykazuje właściwości toksyczne, genotoksyczne, mutagenne a nawet rakotwórcze (6, 7, 8). Pobranie WWA z żywnością wędzoną w Polsce od kilku lat szacowano na podstawie oznaczeń tych związków w oparciu o dane zaczerpnięte z zagranicznych opracowań m.in. Agencji for Toxic Substances and Disease Registry – Public Health Statement, PAH. Istnieje zatem konieczność określenia poziomu WWA w poszczególnych surowcach rolno-spożywczych, ponieważ w raportach UE, które ukazały się w latach 2004 i 2008 finansowanych ze środków Wspólnoty Europejskiej nie zostały zaprezentowane poziomy tych związków w żywności wędzonej oraz w środowisku na terenie Polski. Stwierdza się konieczność oszacowania ekspozycji konsumenta polskiego na omawianą grupę związków pochodzących z żywności. Uzupełnienie tych danych pozwoli wskazać jakość żywności utrwalanej z zastosowaniem przemysłowego oraz technik tradycyjnego wędzenia w Polsce (6, 7).

Przeprowadzone badania miały na celu określenie poziomu zanieczyszczenia związkami z grupy WWA wybranych wyrobów mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia, uwzględniając wszystkie parametry całego procesu.

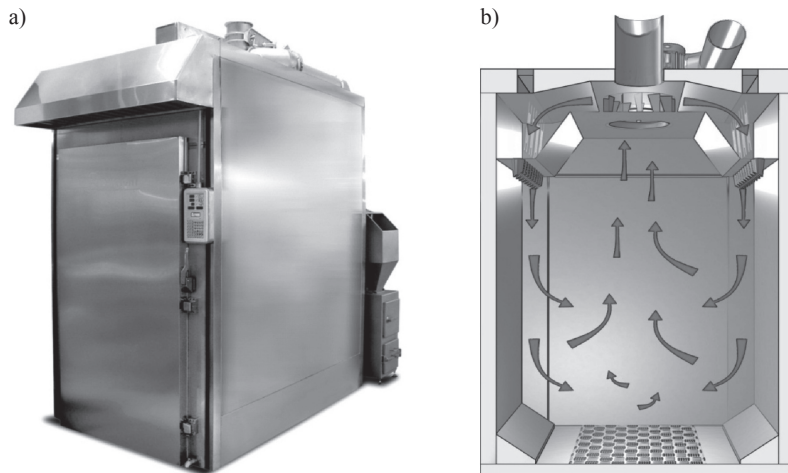
MATERIAŁ I METODY

Uzyskane wyniki stanowią fragment analiz jakościowych i ilościowych, które są założone w jednym z zadań projektu rozwojowego NR12 0125 10 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2010–2013, i umożliwią wstępną ocenę stanu rzeczywistego koncentracji związków WWA w wyrobach mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia.

Materiał do badań stanowiły wyroby mięsne wędzone: boczek z okrywą tłuszczową (n=27), karkówka wędzona (n=27) oraz szynka wędzona (n=27), baleron wędzony (n=27) i poledwica (n=27) pobrane z asortymentu oferowanego przez jeden z średnich zakładów przetwórstwa mięsnego w regionie zachodniopomorskim, którego dzienna produkcja wszystkich wyrobów jest na poziomie 20 ton. Wyroby były poddane przemysłowemu wędzeniu w komorze wędzarniczej jednowózkowej (ryc. 1.) z zewnętrznym dymogeneratorem firmy PEK-MONT (8) z wykorzystaniem bukowych zrębek wędzarniczych.

Próbki pobrano z trzech kolejnych procesów wędzenia, gdzie parametry procesu były powtarzalne wykorzystując ten sam program wędzenia. Próbki zamrażano do momentu przeprowadzenia analizy. Pobierano próbki z części zewnętrznej każdego wyrobu do głębokości 2,5 cm, a następnie poddawano rozdrabnianiu.

Metodyka badań obejmowała ekstrakcję tłuszczu z pobranych próbek, oczyszczanie ekstraktu od związków interferujących za pomocą chromatografii preparatywnej. Jakościowa i ilościowa analiza związków WWA została wykonana z wykorzystaniem chromatografii cieczowej z selektywnym detektorem (HPLC-FLD-DAD). Przygotowaną próbkę poddano rozdzielowi metodą chromatografii żelowej



Ryc. 1 Komora wędzarnicza jednowózkowa typu KWP-1etz, firmy PEK-MONT: a) widok ogólny, b) widok toru ruchu mieszanki powietrza i dymu wędzarniczego (www.pekmont.pl).

Fig. 1 Single-truck smoking chamber, KWP-1etz model manufactured by PEK-MONT: a) general view, b) diagram of air and smoke circulation (www.pekmont.pl).

przepływowej z wykorzystaniem żelu na bazie polimeru styrenodiwinylobenzenu Bio-Beads S-X3 (2, 10, 11). Uzyskany ekstrakt rozpuszczano w 1 cm³ uprzednio przygotowanej mieszanki i nanoszono na kolumnę chromatografu cieczonego. Rozdział chromatograficzny prowadzono w warunkach: przepływ 0,8 cm³/min, faza ruchoma-mieszanka cykloheksan/octan etylu (50/50, v/v), detektor UV-VIS, dł. fali 254 nm. Zebrana frakcja WWA po zateżeniu do objętości 1 cm³ poddana została analizie z wykorzystaniem wysokosprawnej chromatografii cieczonej na aparacie Shimadzu HPLC. Sam rozdział prowadzony był z wykorzystaniem kolumny chromatograficznej Supelcosil LC-PAH 250×4,6 mm, o wypełnieniu 5 μm (Supelco Sigma). Termostatowanie kolumny przeprowadzone było w temp. 30°, przy przepływie 1,0 cm³/min stosując program gradientowy fazy ruchomej woda/acetonitryl (30/70, v/v), a następnie acetonitryl (100%). Warunki detekcji: detektor diodowy – 254 nm, detektor fluorescencyjny przy zmiennym nastawieniu wzbudzenia i emisji (Ex/Em): 270/420, 270/500, 270/470 nm (8, 11, 12). Analizę przeprowadzono z zastosowaniem standardów zewnętrznych (mieszanka 15 WWA wg KN UE – PAH-Mix 183, Dr Ehrenstorfer GmbH Analytical-Standards). Metoda była walidowana i spełniała wymagania stawiane przez prawo żywnościowe UE dla metod analitycznych w zakresie oznaczania 15 WWA w produktach spożywczych.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wykorzystując komorę jednowózkową elektryczną model KWP-1etz z zewnętrznym dymogeneratorem, produkowaną przez firmę PEK-MONT Sp. z o.o. podjęto wstępne badania oznaczenia zawartości związków z grupy WWA w wybranych

wyrobach wędzonych w ramach realizacji projektu rozwojowego. Proces wędzenia był przeprowadzony wg programu wędzarniczego, który jest realizowany dla tych wyrobów w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem zrębek wędzarniczych. Użyta komora miała typową konstrukcję bez wprowadzania modyfikacji, które są w zamyśle badawczym, realizowanego projektu rozwojowego NR12 0125 10 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2010–2013. Przeprowadzone badania są wstępnymi badaniami nad kumulacją związków WWA w wyrobach wędzonych.

Wstępne, uśrednione wyniki dla Σ 15 WWA (od cyklopenta[c,d]pirenu do di-benzo[a,h]pirenu), Σ lekkich, Σ ciężkich WWA i Σ 4 kancerogennych WWA (wg listy KN UE): benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[a]pirenu oraz benzo[b]fluorantenu (Regul. EU. Com. 108/2005) oraz B(a)P w wybranych wyrobach mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia przedstawiono w tab. I. Z całej grupy produktów poddanych analizie najwyższą średnią zawartość 15 WWA stwierdzono dla boczku wędzonego z okrywą tłuszczową ($65,72 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz karkówki ($61,41 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i baleronu ($59,92 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); wyniki te różniły się istotnie od pozostałych wyrobów poddanych tym samym warunkom wędzenia. Najniższym poziomem koncentracji Σ 15 WWA odznaczały się wyroby typu polędwica ($36,52 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Szynki wędzone miały oznaczany zakres koncentracji sumarycznej zawartości 15 WWA, który wynosił powyżej $52,00 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i różnił się statystycznie istotnie zarówno od wymienionych wyrobów jak: boczku, baleronu i polędwicy. W wielu doniesieniach (8, 13) został wykazany związek między udziałem tłuszczu (tkanki tłuszczowej) w surowcu poddanym procesowi wędzenia, a zawartością związków z grupy WWA, w zależności od ciężaru cząsteczkowego węglowodorów. Ta tendencja została również zauważona i potwierdzona w wynikach przedstawionych w niniejszej pracy. Grupa związków WWA lekkich, jaka została stwierdzona we wszystkich wyrobach wędzonych stanowi zbliżony udział prawie we wszystkich wyrobach między 92% a 94% w stosunku do całkowitej sumarycznej zawartości 15 WWA. Jedynie dla polędwicy udział Σ lekkich WWA stanowił 89%. Statystycznie istotne zróżnicowanie sumarycznej zawartości węglowodorów tzw. lekkich, zaobserwowano dla trzech wyrobów: boczku z okrywą tłuszczową, baleronu i karkówki wędzonej, gdzie wartości średnie Σ WWA lekkich wyniosły odpowiednio $60,77$; $55,04$ i $56,73 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Średnie zawartości dla WWA ciężkich zupełnie odmiennie kształtowały się do wcześniej omówionych węglowodorów aromatycznych. Zarówno polędwica, jak i szynka odznaczały się o wiele niższym udziałem koncentracji Σ WWA ciężkich ($3,04 \div 3,79 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), różniły się statystycznie istotnie od pozostałych przebadanych wyrobów wędzonych i mieściły się w przedziale $4,68 \div 4,95 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W tab. I przedstawiono również wskaźnik 4 ciężkich węglowodorów (proponowanych z listy 15 WWA wg KN UE), w tym: benzo(a)antracenu, chryzenu, benzo(a)pirenu i benzo(b)fluorantenu. Grupa wędzonek (polędwice) odznaczała się najniższym wskaźnikiem średnich sumarycznych 4 węglowodorów ciężkich, wyniosła $2,82 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Natomiast w pozostałych wyrobach poszczególnych asortymentów wykazano istotnie wyższy poziom zanieczyszczenia $6,46 \div 7,14 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zakres sumarycznej zawartości 4 ciężkich węglowodorów w boczku odznaczał się najwyższym udziałem $8,68 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tabela 1. Zawartość WWA w badanych wyrobach mięsnych poddanych przemysłowym warunkom wędzenia ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 1. PAH contents in selected meat products smoked in commercial – scale conditions ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Wyroby mięsne wędzone	Σ 15 WWA $\bar{x} \pm \text{SD}$	Σ lekkich WWA $\bar{x} \pm \text{SD}$	Σ ciężkich WWA $\bar{x} \pm \text{SD}$	Σ 4 ciężkich WWA/ $\bar{x} \pm \text{SD}$	B(a)P $\bar{x} \pm \text{SD}$
połędwica	36,52±5,42*	32,73±6,28*	3,79±1,06*	2,82±0,54*	2,84±0,54*
boczek z okrywą tłuszczową	65,72±5,47***	60,77±4,43***	4,95±0,56**	8,68±0,76***	6,34±1,67***
baleron	59,92±3,26***	55,04±2,04***	4,88±0,32**	6,46±1,03**	5,76±0,87***
karkówka	61,41±3,72***	56,73±3,62***	4,68±0,91**	7,14±1,01**	5,92±0,98***
szynka	52,22±2,52**	49,18±2,42**	3,04±0,71*	6,63±1,14**	4,78±1,12**

Objaśnienia:

wartości średnie oznaczone (***), (**) i (*) różnią się statystycznie istotnie między średnimi na poziomie $\Sigma=0,05$

SD – odchylenie standardowe

Σ WWA wg listy KN UE (5, 13).

Wielu autorów zajmujących się koncentracją związków WWA w żywności, czy w środowisku naturalnym (2, 14) wskazuje na szeroki zakres sumarycznej zawartości WWA. W żywności jest to uwarunkowane wieloma czynnikami, które warunkują kumulację wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Jednym z istotnych czynników jaki ma wpływ na poziom zanieczyszczeń związkami pochodzącymi z dymu wędzarniczego jest „matryca żywności”, która w dużym stopniu wpływa na kumulację tych związków i oddziaływanie na wyrób gotowy. Według Šimko (8) technologiczne uwarunkowania związane z parametrami przeprowadzanego procesu wędzenia: czas i temperatura; jak również rodzaj surowca drzewnego o różnej strukturze do wytwarzania dymu: zrębki wędzarnicze, klocki, wióry; oraz zróżnicowany dostęp tlenu, mają znaczący wpływ na koncentrację związków z grupy WWA. Również czynniki związane z samą konstrukcją komory i dymogeneratora (wewnątrz lub na zewnątrz komory) oraz prędkością przepływu mieszaniny dymu (gęstość) i powietrza mogą mieć niewątpliwy wpływ na uzyskane wyniki poziomu koncentracji WWA w wyrobach wędzonych (15).

W pracy przedstawiony został również oznaczony w pobranych próbkach B(a)P, który do niedawna był jednym z głównych wskaźników całej grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Przekroczenia dopuszczalnego maksymalnego limitu zawartości B(a)P ($5,00 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) dla wyrobów mięsnych wędzonych odnotowano dla dwóch asortymentów: baleron, karkówka i boczek z okrywą tłuszczową. Poziom koncentracji B(a)P w tych wyrobach wynosił odpowiednio dla: baleronu ($5,76 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), karkówki ($5,92 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) a dla boczku z okrywą tłuszczową ($6,34 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), co znacznie przekracza wspomniany powyżej dopuszczalny maksymalny limit. Stwierdzony został związek między rodzajem surowca (składu tkankowego), a kumulowaniem się związków w matrycy tłuszczowej w porównaniu z surowcem o mniejszym otluszczeniu.

Uzyskane wyniki wskazują na istotę prowadzenia kolejnych badań związanych z wprowadzaniem zanieczyszczeń w trakcie procesów utrwalania żywności węd-

dzonej. Należy również wskazać na przesłanki do obniżenia dopuszczalnego limitu związków z grupy WWA poprzez modyfikację istotnych czynników parametrycznych wpływających na proces wędzenia. Alternatywą do ograniczenia poziomu koncentracji WWA do minimum dopuszczalnego limitu zawartości w produktach mięsnych wędzonych określonego np. w Niemczech, jest zastosowanie preparatów dymu wędzarniczego (14). Preparaty wędzarnicze są w znacznym stopniu pozbawione związków z tej grupy zanieczyszczeń. Należy jednak pamiętać, że wyroby poddane tradycyjnemu wędzeniu (przeprowadzonego w warunkach przemysłowych), stanowią grupę produktów, które ze względu na swoje walory smakowe, czynią je atrakcyjne dla konsumentów. Dlatego należy szukać rozwiązań pozwalających zachować pozytywne cechy wędzenia tradycyjnego, a tym samym będą obniżać koncentrację związków z grupy WWA bez względu na surowiec poddany procesom wędzenia. Jednym z takich rozwiązań jest możliwość wprowadzenia zmian w konstrukcji komory wędzarniczej i sposobu rozprowadzenia mieszaniny dymu wędzarniczego w trakcie prowadzenia całego procesu, nad którym prowadzone są badania przez Zespół badawczy Politechniki Koszalińskiej.

WNIOSKI

1. Stwierdzono wysoki udział sumarycznej zawartości 15 WWA, lekkich WWA i ciężkich WWA w wyrobach wędzonych, odznaczających się większym stopniem otłuszczenia w porównaniu z wyrobami, gdzie okrywy tłuszczowej było znacznie mniej.

2. Średnia sumaryczna zawartość 4 ciężkich WWA (benzo(a)antracenu, chryzenu, benzo(a)pirenu i benzo(b)fluorantenu) (wg listy KN UE) dla boczku z okrywą tłuszczową była statystycznie istotnie różna od średnich dla pozostałych wyrobów wędzonych. Najniższą zawartość istotnie różną od wszystkich wędzonek odnotowano dla polędwicy ($2,82 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), co potwierdzają dane literaturowe o wpływie zawartości tkanki tłuszczowej surowca na kumulację związków z grupy WWA, zwłaszcza ciężkich.

3. Najniższą zawartość B(a)P stwierdzono w takich produktach, jak: polędwica ($2,84 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i szynka ($4,78 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), gdzie stopień otłuszczenia był znacznie mniejszy od pozostałych wędzonek.

4. Zasadnym wydaje się monitorowanie wyrobów wędzonych zarówno techniką tradycyjną, jak i wielkoprzemysłową oraz poszukiwanie rozwiązań pozwalających zachować walory wędzenia tradycyjnego przeprowadzanego w warunkach przemysłowych, a które będą minimalizować koncentrację związków z grupy WWA w tych wyrobach.

M. S. Kubiak

ANALYSIS OF PAH CONTAMINATION LEVELS IN SELECTED SMOKED MEAT PRODUCTS CONDUCTED IN INDUSTRY CONDITIONS OF SMOKING*

Summary

One of the assumptions of the conducted experiment concerning the constructional modification in a smoking chamber is its influence on circulation of air and curing smoke mixture and, consequently, on absorbing components of smoke on the surface of meat products. This work reports preliminary (from December 2010 to March 2011) results of the analysis of the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in selected meat products smoked in a meat processing plant using in a single-track, electric smoking chamber, KWP-1etz produced by PEK-MONT Plc. Meat products were subjected to the smoke produced by a PEK-MONT smoke generator. The aim of the work was to determine the level of contamination with PAH compounds of selected meat products after commercial curing. The samples were collected from smoked meat products (smoked ham and bacon with cover fat, loin, pork shoulder, pork neck) after the smoking process and cooling. Qualitative and quantitative analysis of PAH compounds was made with the use of the liquid chromatography with a selective detector (HPLC-FLD-DAD).

PIŚMIENNICTWO

1. Adonis M., Gil L.: Polycyclic aromatic hydrocarbons level and mutagenicity of inhalable particulate matter in Santiago, Chile. *Inhalation Toxicology*, 2000; 12 (12): 1173-1183. – 2. Obiedziński M.: Wybrane zagadnienia zanieczyszczenia żywności wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA). *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 1985; 39: 660-676. – 3. Kubiak M.S., Piszcz P., Jankowski P. S.: Zanieczyszczenia z grupy WWA – występowanie, charakterystyka oraz metody oznaczania w żywności i środowisku. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2010; 2: 93-97. – 4. Garcia Falcon M.S., Gonzales Amigo S., Lage Yusty M.A., Lopez De Alda Villaizan M.J., Simal Lozano J.: Enrichment of benzo(a)pyrene in smoked food products and determination by high-performance liquid chromatography-fluorescence detection. *Journal of Chromatography*, 1996; 753: 207-215. – 5. Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006.: Ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych, Dz. Urz. UE L 364/5. – 6. SCF-Scientific Committee on Food: Opinion of the Scientific Committee on Food on the risk to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. SCF/CNTM/ PAH/29 Final 4 December 2002. – 7. Larsen J.C., Meyland I., Olsen M., Tritscher A.: Polycyclic aromatic hydrocarbons. Summary and conclusions of the sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). JECFA/64/SC. 2005; 32-38. – 8. Šimko P.: Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *Journal of Chromatography* 2002; 770: 3-18. – 9. www.pek-mont.pl. – 10. Fernández P., Porte C., Barceló D., Bayona J.M., Albaigés I.: Selective Enrichment Procedures for the determination of Polychlorinated Biphenyls and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Samples. *Journal of Chromatography*, 1988; 456: 155-164.
11. Horák T., Jurková M., Čulík J., Čejka P., Kellner V.: Use of gel permeation chromatography for the determination of the important groups of organic pollutants in malting barley and malt. *Ecological Chemistry and Engineering*, 2007; T14(S2): 207-214. – 12. Ciecierska M., Teodorska M., Dasiewicz K., Obiedziński M. W.: Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz ich zależności w produktach mięsnych wędzonych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2010; 43(1): 93-100. – 13. Regulation 108/2005 of the EU Commission. Commission Recommendation 2005/108/EC of 4 February 2005 On the further investigation into the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in certain foods. *Official Journal of the European Union*, L 34/3. – 14. Jira W., Djinovic J.: PAK in kaltgeraucherten serbische Fleischzeugnissen. *Fleischwirtschaft*. 2008; 5: 114-120. – 15. Kubiak M.S., Jakubowski M.: Analiza symulacyjna rozkładu prędkości przepływu nośnika dymu w komorze wędzarniczej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2010; 546: 201-206.