

# PORÓWNANIE ZAWARTOŚCI WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH (WWA) W PIECZYWIE

## COMPARISON OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHS) CONTENTS IN BAKERY PRODUCTS

Artur Ciemniak, Agata Witczak

Katedra Toksykologii, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa,  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Słowa kluczowe:** wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, WWA, benzo[a]piren, pieczywo  
**Key words:** polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs, benzo[a]pyrene, bakery products

### STRESZCZENIE

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są grupą szeroko rozpowszechnionych w środowisku kancerogenów, powstających podczas niepełnego spalania substancji organicznych. Ze względu na ich potencjał kancerogeny należy zwracać na nie szczególną uwagę. Stanowią one zanieczyszczenie w różnych rodzajach żywności, takich jak: produkty mleczne, wędzone i grillowane mięso, warzywa, owoce, oleje, kawa, herbata i zboża. Przetwarzanie żywności w wysokiej temperaturze prowadzi do zwiększenia w niej poziomu WWA. Główną drogą przedostawania się WWA do organizmu człowieka jest dieta, a najwięcej dostarczają ich oleje i tłuszcze, produkty zbożowe i warzywa. Celem niniejszej pracy była analiza zawartości 23 WWA w wybranych gatunkach pieczywa. Procedura analityczna została oparta na ekstrakcji *n*-heksanem w aparacie Soxhleta i oczyszczaniu ekstraktów na kolumnach wypełnionych florisilem. Rozdział chromatograficzny przeprowadzono wykorzystując chromatograf gazowy HP 6890 sprzężony ze spektrometrem mas HP 5973. Całkowita zawartość WWA okazała się niska i mieściła się w zakresie od 2,61 µg/kg do 43,4 µg/kg. Ponadto wyniki wskazują na różnice w ich zawartości pomiędzy skórką a miękiszem.

### ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons are a group of well-known chemical carcinogens with a wide distribution in the environment and formed by the incomplete combustion of organic substances. PAHs have attracted most attention because of their carcinogenic potential. PAHs have been found as contaminants in different food categories such as dairy products, smoked and barbecued meat, vegetables, fruits, oils, coffee, tea, and cereals. Processing of food at high temperatures increases the amount of PAHs in the food. Diet is the major source of human exposure to PAHs. The major dietary source of PAH are oils and fats, cereals products and vegetables. The aims of this study were to determine the content levels of 23 PAHs in various sorts of bread. The analytical procedure was based Soxhlet extraction with *n*-hexane and cleaned up in a florisil cartridge. Chromatographic separation was performed using gas chromatography (HP 6890) coupled to mass spectrometry (HP 5973). The total concentration of PAHs was low and varied between 2,61 µg/kg to 43,4 µg/kg. Furthermore, the results revealed differences in concentrations of PAHs between rind and bread-crumbs.

### WSTĘP

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są grupą kilkuset powszechnie spotykanych w otoczeniu człowieka związków aromatycznych o potwierdzonych w doświadczeniach na zwierzętach silnych właściwościach kancerogennych. Powstają zarówno w wyniku procesów naturalnych (pożary, działalność wulkaniczna) oraz jako produkt uboczny działalności człowieka.

Właściwości kancerogennych WWA nabywają w wyniku przemian metabolicznych zachodzących w organizmie. W wyniku działania enzymów (zwłaszcza cytochromu P450) powstaje szereg toksycznych metabolitów o charakterze m.in. epoksydów. Szczególnie dobrze został poznany metabolizm uznawanego długo za najbardziej toksycznego przedstawiciela tej grupy benzo[a]pirenu.

**Adres do korespondencji:** Katedra Toksykologii, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa,  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 71- 459 Szczecin, ul. Papieża Pawła VI 3, tel. 091 44 96 550,  
e-mail: artur.ciemniak@zut.edu.pl

Dostępne piśmiennictwo i oficjalne raporty wskazują na to, że związki te intensywnie przedostają się do żywności już z zanieczyszczonego środowiska, skażając przede wszystkim rośliny. Do zanieczyszczenia żywności dochodzi podczas przemysłowych metod jej produkcji, a także w trakcie jej przygotowywania w warunkach domowych. Spotyka się je w praktycznie wszystkich rodzajach żywności, a nawet w napojach [17]. Najwyższe stężenia stwierdza się w produktach mających bezpośredni kontakt z dymem lub żarem (wędzenie i grillowanie) lub poddanych intensywnej obróbce termicznej [3]. W szczególnie wysokich stężeniach można je spotkać w żywności o dużej zawartości tłuszczu. Według *Scientific Committee on Food* (SCF) [17] maksymalne dobowe pobranie WWA z żywnością wynosi 6–8 ng/kg m.c. Raport EFSA [3] ocenia, że produkty na bazie zbóż dostarczają 67 ng BaP/dzień, warzywa wraz z orzechami i roślinami strączkowymi – 50 ng BaP/dzień, produkty mięsne – 42 ng BaP/dzień, „owoce morza” – 36 ng BaP/dzień, a oleje i tłuszcze są na piątym miejscu, dostarczając 26 ng BaP/dzień. Pomimo powszechnego występowania tych związków w praktycznie wszystkich artykułach spożywanych przez człowieka, Parlament Europejski stosunkowo niedawno wprowadził ujednolicone przepisy prawne dotyczące zawartości benzo[a]pirenu w niektórych rodzajach żywności. Obecnie obowiązujące Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 [16] uznaje benzo[a]piren za wskaźnik występowania kancerogennych WWA w żywności oraz wymienia szereg innych WWA o charakterze genotoksycznym, zalecanych do analizy wraz z benzo[a]pirenem, w sumie 15 związków. Rozporządzenie ustala maksymalną dopuszczalną zawartość benzo[a]pirenu dla tych produktów, w których stwierdzano najwyższe zawartości WWA: oleje, produkty wędzone, ryby i małże oraz dla tych, które ze względu na wielkość spożycia stanowią istotne źródło WWA w diecie.

Największe ograniczenia dotyczą zawartości benzo[a]pirenu w artykułach żywnościowych przeznaczonych dla niemowląt i dzieci oraz żywności wyprodukowanej na bazie zbóż, w których dopuszcza się do 1 µg/kg benzo[a]pirenu.

Celem niniejszej pracy było oznaczenie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w dostępnych na rynku gatunkach pieczywa oraz ocena wpływu stopnia jego wypieczenia na zawartość WWA. Zakres badań obejmował obie połączone listy, tj. 16 WWA wg EPA oraz 15 WWA wg EU. Ponadto, uwzględniając, że poszczególne WWA wykazują bardzo zróżnicowany stopień kancerogenności, wyznaczono wartość równoważnika toksyczności TEQ, charakteryzującego całkowitą sumaryczną toksyczność badanych związków względem wskaźnikowego benzo[a]pirenu.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiło pieczywo zakupione w piekarni w Łobzie oraz mąka użyta do jego wypieku. Analizie na zawartość WWA poddano pieczywo wyprodukowane na bazie mąki pszennej (chleb tostowy, bagietka pszenna, bułka sojowa i bułka graham), żytniej (chleb żytni i razowy) i mieszane (chleb szczeciński, chleb wiejski oraz bagietka żytnia). Z każdego rodzaju selekcjonowano pieczywo różniące się stopniem wypieczenia, uzyskując w ten sposób dwa rodzaje próbek: lekko i średnio wypieczone. Ponadto, uwzględniając, że proces wypieku w nowoczesnych piekarniach jest ściśle kontrolowany i w standardowym cyklu produkcyjnym nie dopuszcza się do bardzo mocnego wypieczenia lub przypalenia chleba, cztery rodzaje chlebów (szczeciński, wiejski, tostowy i żytni) zostały przez piekarnię specjalnie wyprodukowane w wersji mocno wypieczonej, charakteryzującej się silnie zbrązowiałą skórą, ale nadal pozbawione fragmentów węglonych. Badania wykonano wiosną 2008 r. Poszczególne próbki pieczywa były pobierane stopniowo w trakcie badań. Pieczywo preparowano bezpośrednio po dostarczeniu do laboratorium. Uwzględniając, że WWA gromadzą się przede wszystkim w zewnętrznych warstwach produktu, oddzielnie przeprowadzono analizę skórki, tj. najbardziej wypieczonej ok. 1,5–2 cm warstwy. Zależnie od rodzaju pieczywa warstwa ta stanowiła od 23% do 52% całości. Każdy asortyment chleba był reprezentowany przez dwie sztuki, które po rozdrobieniu i zhomogenizowaniu tworzyły jedną próbkę zbiorczą, a tylko niewielkie bułki zakupiono w ilości czterech sztuk. Oznaczenia zawartości WWA wykonano w dwu powtórzeniach, a wyniki uśredniono.

W celu przeprowadzenia ekstrakcji WWA z badanego materiału pobierano około 15g odważki, które ucierano z bezwodnym siarczanem sodu w celu adsorpcji wody. Ekstrakcję WWA przeprowadzano w aparacie Soxhleta w ciągu 4 godzin za pomocą 100 cm<sup>3</sup> heksanu. Uzyskany ekstrakt zateżano do 2 cm<sup>3</sup> w wyparce rotacyjnej, a następnie poddawano oczyszczaniu z wykorzystaniem 1g szklanych kolumn wypełnionych florisilem [2]. Stopień odzysku analizowanych związków, określano dodając do pobranych odważek standard wewnętrzny, tj. roztwór wzorcowy deuterowanych węglowodorów aromatycznych: naftalen D8, acenaften D10, acenaftylen D10, chryzen D12, perylen D12 i benzo[a]piren D12. Oszacowany stopień odzysku dla wskaźnikowego benzo[a]pirenu mieścił się w zakresie 76–90%. Granice wykrywalności (LOD) oraz oznaczalności (LOQ) szacowano na podstawie analizy powtórzeń ślepej próby odczynnikowej. LOD obliczano jako średnią z poziomu szumów tła plus 3 odchylenia standardowe, natomiast LOQ jako średnią poziomu

szumów plus 6 odchyłeń standardowych. Uzyskane wartości były niskie, a dla benzo[a]pirenu wyniosły odpowiednio 0,014 µg/kg i 0,025 µg/kg.

Oczyszczone ekstrakty zatężano w strumieniu gazu obojętnego (N<sub>2</sub>) do objętości 1 cm<sup>3</sup>. Rozdział analityczny próbek i oznaczenie zawartości benzo[a]pirenu wykonano techniką chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas GC–MS (HP6890/5973) w trybie monitorowania pojedynczych jonów SIM (*selected ion monitoring*).

## WYNIKI I DYKUSJA

Wyniki uzyskane w niniejszej pracy zostały przedstawione w tabelach 1 i 2 oraz na Ryc. 1. Badane pieczywo charakteryzowało się niską zawartością WWA. Zawartość wszystkich oznaczanych 23 WWA mieściła się w zakresie 2,61 µg/kg do 43,4 µg/kg, w tym maksymalnie 0,28 µg/kg benzo[a]pirenu. Najwyższe zawartości WWA zostały stwierdzone w specjalnie bardzo mocno wypieczonych chlebach (tab. 1) ale nawet w nich nie doszło do przekroczenia dopuszczalnej zawartości

WWA. Co więcej wzrost zawartości dotyczył przede wszystkim zawartości najmniej toksycznych WWA.

W badanym pieczywie wysokie okazały się jednak zawartości dibenzopirenów – dibenzo[a,l]pirenu, dibenzo[a,e]pirenu, dibenzo[a,i]pirenu oraz dibenzo[a,h]pirenu, a więc związków, dla których współczynniki toksyczności są szacowane nawet powyżej 1. Wprawdzie zawartości osiągające maksymalnie niewiele ponad 1 µg/kg nie wydają się duże, ale po uwzględnieniu wartości współczynników TEF otrzymuje się maksymalną wartość TEQ równoważną 12,59 µg BaP /kg (tab. 2). Bardzo zróżnicowany okazał się udział procentowy Σ15 WWA genotoksycznych, który mieścił się w zakresie 3,4% do 70,4%. Stosunkowo wysoką zawartość całkowitą WWA, przy nadal niskim stężeniu BaP, stwierdzono ponadto w chlebie z ziarnami słonecznika. Jest to niewątpliwie efektem dodatku ziarna rośliny oleistej, które ze względu na właściwości lipofilne WWA, jest narażone na szczególne łatwe kumulowanie lipofilnych zanieczyszczeń. Podczas badań nie było możliwe przeprowadzenie analizy ziarna stosowanego podczas wypieku, ale przebadana próbka ziarna słonecznika pochodząca-

Tabela 1. Zawartość WWA w badanych chlebach (µg/kg)  
PAHs contents in the analyzed breads (µg/kg)

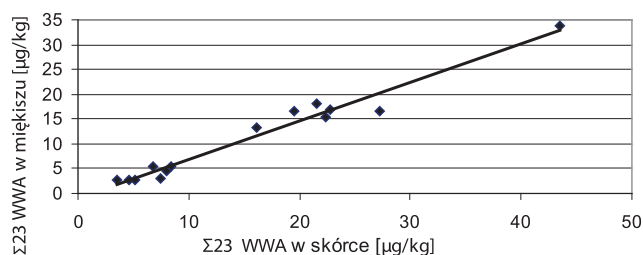
Rodzaj pieczywa		BaP (µg/kg)	Σ23 WWA (µg/kg)	Σ15 WWA (µg/kg)	TEQ23	TEQ15	
Lekko wypieczone	Chleb szczeciński	skórka	0,03±0,003	8,41±0,88	3,42±0,29	1,75	1,74
		miękiś	0,03±0,01	5,37±1,9	2,76±0,41	3,69	3,68
	Chleb wiejski	skórka	0,06±0,003	3,50±0,28	1,87±0,14	2,96	2,96
		miękiś	0,05±0,01	2,61±0,36	0,79±0,05	0,63	0,63
	Chleb tostowy	skórka	0,05±0,004	4,60±0,49	2,71±0,49	1,49	1,48
		miękiś	0,02±0,01	2,82±0,18	1,04±0,04	0,80	0,80
	Chleb żytni	skórka	0,11±0,02	7,42±0,66	5,17±0,32	9,39	9,39
		miękiś	0,08±0,01	2,88±0,06	1,99±0,04	3,63	3,63
	Chleb razowy ze słonecznikiem	skórka	0,06±0,01	22,41±1,25	1,45±0,17	3,34	3,32
		miękiś	0,04±0,02	15,47±1,78	1,11±0,06	4,52	4,50
Średnio wypieczone	Chleb szczeciński	skórka	0,16±0,002	6,81±0,68	4,79±0,48	7,92	7,92
		miękiś	0,07±0,02	5,31±1,89	3,43±1,69	2,77	2,76
	Chleb wiejski	skórka	0,09±0,01	5,16±0,96	2,33±0,01	0,95	1,63
		miękiś	0,05±0,01	2,79±0,31	1,07±0,12	1,38	1,38
	Chleb tostowy	skórka	0,08±0,00	16,08±1,79	0,67±0,08	1,35	1,33
		miękiś	0,03±0,15	13,22±76	1,90±07	6,72	6,71
	Chleb żytni	skórka	0,21±0,05	7,99±1,07	2,14±0,55	1,12	1,12
		miękiś	0,12±0,02	4,50±0,42	1,26±15	0,93	0,93
	Chleb razowy ze słonecznikiem	skórka	0,04±0,01	27,28±3,35	3,75±0,19	7,88	7,85
		miękiś	ns	16,58±2,62	1,08±0,07	3,58	3,56
Mocno wypieczone	Chleb szczeciński	skórka	0,20±0,03	43,45±4,42	1,47±0,19	4,09	4,03
		miękiś	0,13±0,06	33,67±3,65	1,27±0,07	3,36	3,31
	Chleb wiejski	skórka	0,14±0,01	21,58±1,93	1,23±0,09	2,22	2,19
		miękiś	0,05±0,002	18,06±1,96	2,47±0,22	8,53	8,51
	Chleb tostowy	skórka	0,10±0,01	19,56±3,38	1,75±0,12	9,73	9,71
		miękiś	0,03±0,00	16,68±0,45	0,66±0,08	2,27	2,25
	Chleb żytni	skórka	0,12±0,01	22,79±1,06	2,63±0,3	4,61	4,58
		miękiś	0,01±0,00	16,75±3,55	0,97±0,08	2,70	2,68

Tabela 2. Zawartość WWA w badanych bułkach ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )  
PAHs contents in the analyzed rolls ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

Rodzaj pieczywa			BaP ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	$\Sigma 23$ WWA ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	$\Sigma 15$ WWA ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	TEQ23	TEQ15
Lekko wypieczone	Bagietka żytnia	skórka	0,05±0,01	23,01±2,82	1,16±0,08	2,64	2,62
		miękkisz	0,04±0,01	12,11±1,1	1,01±0,1	0,94	0,93
	Bagietka pszenna	skórka	0,06±0,004	25,56±2,91	2,06±0,15	7,29	7,27
		miękkisz	0,05±0,02	19,96±2,49	1,39±0,04	4,25	4,23
	Bułka sojowa	skórka	0,02±0,02	20,82±1,36	0,82±0,01	3,12	3,10
		miękkisz	0,06±0,04	12,02±0,5	4,34±0,15	2,93	2,92
	Bułka graham	skórka	0,07±0,03	18,16±0,04	4,02±1,17	6,48	6,46
		miękkisz	0,01±0,001	11,85±0,96	0,50±0,02	2,08	2,07
Średnio wypieczone	Bagietka żytnia	skórka	0,28±0,05	25,10±3,65	3,59±0,46	11,68	11,65
		miękkisz	0,06±0,01	13,40±0,8	0,89±0,15	1,18	1,17
	Bagietka pszenna	skórka	0,14±0,02	23,27±0,76	2,77±0,12	9,99	9,97
		miękkisz	0,05±0,01	19,64±3,92	1,51±0,07	4,84	4,82
	Bułka sojowa	skórka	0,04±0,001	25,15±3,67	2,21±0,26	12,59	12,56
		miękkisz	0,04±0,001	22,64±1,63	2,25±0,12	2,36	2,33
	Bułka graham	skórka	0,06±0,003	24,53±0,41	1,91±0,73	2,54	2,51
		miękkisz	0,06±0,01	18,25±1,73	2,26±0,1	10,94	10,92

go z handlu detalicznego zawierała 0,86  $\mu\text{g}/\text{kg}$  BaP.  $\Sigma 15$  WWA wyniosła w ziarnie słonecznika 5,92  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , a ekwiwalent toksyczności wszystkich 23 WWA (TEQ) względem BaP wyniósł 9,91. Proces wypieku w nowoczesnych piekarniach jest ściśle kontrolowany i nie dopuszcza się do bardzo mocnego wypieczenia bądź przypalenia chleba. Z tego względu różnice w stopniu wypieczenia pieczywa pozyskiwanego do badań okazały się nieznaczne. Zauważalny jest jednak wzrost zawartości WWA zwłaszcza niekancerogennych proporcjonalnie do stopnia zrumienienia skórki (tab. 1). Podobną tendencję wzrostową zaobserwowano także w przypadku zawartości WWA w miękkiszach chleba oraz bułek.

Badania potwierdzają również tendencję WWA do kumulowania się przede wszystkim w zewnętrznych warstwach, tj. w skórce, a zależności pomiędzy poziomem WWA w niej oraz miękkiszach można w przybliżeniu przedstawić za pomocą linii prostej (Ryc. 1).



Ryc. 1 Korelacja pomiędzy zawartością 23 WWA w skórce i miękkiszach chleba  
Correlation between contents of 23 PAHs between rind and bread-crumbs

Stwierdzone zawartości WWA okazały się niskie, a zawartość benzo[a]pirenu w żadnej z próbek nie przekroczyła 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , tj. maksymalnej zawartości tego związku w produktach wyprodukowanych na bazie zbóż. Analizy wykazują, że trafiają się partie lub gatunki pieczywa zawierające podwyższoną zawartość WWA. Należy bezwzględnie unikać fragmentów zbyt silnie wypieczonych, a zwłaszcza zwęglonych, w których stwierdzano do 1793  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $\Sigma 16$  WWA), w tym ponad 19  $\mu\text{g}/\text{kg}$  BaP [2]. Z ostrożnością należy również podchodzić do pieczywa poddawanego tostowaniu, zwłaszcza w zbyt wysokiej temperaturze. O ile przygotowywanie tostów w tosterze lub kuchence elektrycznej w zakresie temperatur 200°C ÷ 300°C nie powoduje powstawania znaczących ilości WWA, to po przekroczeniu 300°C zaczyna się ich intensywna synteza [14]. Najwyższe ryzyko jest związane z tostowaniem nad otwartym ogniem. Zachodzą wówczas podobne procesy jak podczas grillowania, a osiadanie składników dymu na powierzchni pieczywa staje się głównym źródłem WWA. W efekcie poziom BaP może osiągnąć kilkadziesiąt  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . *Kayali-Sayadi* i wsp. [9] oraz *Rey-Salgueiro* i wsp. [14] w próbkach chleba tostowego wykryli BaP na poziomie odpowiednio: 1,25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  i 0,23 – 0,80  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Natomiast *Roda* i wsp. [15] w brązowej części tostów stwierdzili BaP w ilości 2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , podczas gdy w warstwach wewnętrznych poziom BaP był poniżej poziomu wykrywalności.

Zawartość WWA w środkach spożywczych, wytworzonych z wykorzystaniem takich procesów przetwórczych, jak suszenie, wędzenie, czy prażenie, jest bardzo zróżnicowana. Pieczywo i żywność na bazie zbóż na ogół odznaczają się niewielkim skażeniem WWA, jednakże z powodu ich znacznej ilości

w codziennej racji pokarmowej, produkty te są jednym z głównych źródeł WWA w diecie. Zboża mogą zostać zanieczyszczone już w okresie wzrostu, WWA pochodzącymi z zanieczyszczonego powietrza. Zawartości tych kancerogenów w większości są niewielkie. Średnie poziomy sumy 16 WWA w ziarnie pszenicy i jęczmienia w badaniach *Wieczorka* [20] wynosiły 12 µg/kg, w tym 0,25–0,7 µg/kg BaP. Raport SCF [17] podaje natomiast, że w otrębach pszennych występuje do 5,4 µg/kg BaP, przy sumarycznej zawartości WWA wynoszącej 359,7 µg/kg. Wysoki stopień skażenia produktów zbożowych zdarza się rzadko, jednak według raportu fińskiego [8] mąka może zawierać WWA w ilości 880 – 1182 µg/kg, a wypieczony z jej użyciem tradycyjny chleb żytni 93 – 291 µg/kg WWA. W porównaniu do powyższych wyników, 4 µg/kg (Σ23 WWA) w tym 0,12 µg/kg BaP stwierdzone w mące stosowanej do wypieku badanego pieczywa można uznać za pomijalnie małe.

Występowanie WWA w pieczywie może być oczywiście efektem zanieczyszczenia mąki, jednak głównym czynnikiem wpływającym na ich obecność jest proces pieczenia i emitowane gazy. Pieczywo produkowane w piecach opalanych drewnem zawiera sumę 16 WWA wg EPA w ilości od 6 do 230 µg/kg [12]. Całkowita zawartość WWA zależy przede wszystkim od czasu trwania wypieku, natomiast wzajemne proporcje pomiędzy stężeniami konkretnych związków są związane z rodzajem stosowanego paliwa [12, 19]. Według badań egipskich [1] chleby wypiekane w prostych, opalanych mazutem lub nawet odpadami piecach przy ponad 50% udziale WWA kancerogennych, zawierają ponad 300 µg/kg (Σ12 WWA), w tym 20,6 µg/kg do 45,1 µg/kg BaP. Wykorzystanie lekkiego oleju opałowego powoduje dwukrotną redukcję całkowitego poziomu WWA, zwłaszcza lekkich. Największą redukcję zawartości WWA zapewnia stosowanie ogrzewania elektrycznego: brak lekkich WWA i 26,9 µg/kg Σ12 WWA oraz do 4,4 µg/kg BaP [1]. Zmiana paliwa powoduje więc znaczny spadek zawartości WWA, nadal mogą to być jednak znaczące ilości. Uzyskane przez egipskich badaczy stosunkowo wysokie stężenia WWA w próbkach chleba, w porównaniu do poziomów zaobserwowanych w niniejszej pracy oraz innych krajach, wskazują na znacznie wyższe zanieczyszczenie żywności w krajach takich jak np. Egipt, gdzie zapewne nie ma tak ścisłych przepisów dotyczących jakości żywności jak w państwach Unii Europejskiej. Dane z terenu Iranu podają jednak równie niskie zawartości BaP jak w niniejszej pracy, tj. od 0,03 µg/kg do 0,38 µg/kg [7].

Dostępne dane wskazują, że poziomy WWA w większości spotykanych w handlu wyrobów są niskie, a maksymalne zawartości BaP są przekraczane w nielicznych przypadkach. Według raportu SCOOP [18], poziom BaP tylko w jednej z 103 próbek chleba przekroczył 5 µg/kg, a w 101 próbkach mieścił się poniżej

0,5 µg/kg. EFSA (Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) [4] podaje, że zawartość BaP w chlebach osiąga maksymalnie 0,5 µg/kg, przy średniej zawartości 0,24 µg/kg, a według raportu irlandzkiego [5] ciastka i pałeczki chlebowe dla dzieci zawierają nie więcej niż 0,06 µg/kg BaP. W Wielkiej Brytanii obecność BaP i sumy 19 WWA w chlebie białym została stwierdzona również na poziomie zbliżonym do analiz własnych, tj. 0,11 µg/kg i 6,32 µg/kg [6].

Pomimo tego, że poziomy WWA w żywności, poza nielicznymi przypadkami, są niskie, wysoka konsumpcja tych produktów czyni je jednym z najważniejszych źródeł tych kancerogenów w diecie człowieka [13]. W Hiszpanii, np. 20% BaP i 40% Σ WWA, pochodzi z produktów zbożowych, takich jak chleb, bułki, ciastka, ryż, makaron itp. [10]. W związku z tym, aby zapewnić konsumentowi bezpieczny i smaczny produkt należy dążyć do ograniczenia skażenia środowiska przez WWA oraz rozwijać uprawę roślin zbożowych z dala od regionów uprzemysłowionych. Ze względu na ich właściwości rakotwórcze niezbędny jest stały monitoring jakości produktów spożywczych, jak również postęp w doskonaleniu urządzeń i procesów technologicznych.

## WNIOSKI

1. Zawartość WWA w badanym pieczywie była niska, osiągając maksymalnie 43,4 µg/kg, a poziom benzo[a]pirenu w żadnej z badanych próbek nie przekroczył dopuszczalnej normy.
2. Zawartość WWA rośnie wraz ze stopniem wypieczenia produktu.
3. Wartość równoważnika toksyczności TEQ zależy przede wszystkim od zawartości WWA o wysokich współczynnikach toksyczności TEF.

## PIŚMIENNICTWO

1. *Ahmed M. T., Hadi E. A., Samahy S. Youssof K.*: The influence of baking fuel on residues of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in bread. *J. of Hazardous Materials*. 2000, A80, 1 – 8.
2. *Ciemniak A., Chraçhol L.*: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w zbożowych produktach śniadaniowych. *Roczn. PZH*. 2008, 59, (3), 301 – 307.
3. EFSA (European Food Safety Authority). Scientific opinion of the panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. *The EFSA Journal*, 2008a, 724. 1 – 114.
4. EFSA. A report from the unit of data collection and exposure on a request from the European commission. Findings of the EFSA data collection on polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. 2008b, EFSA/DATEX/002.

5. Food Safety Authority of Ireland (FSAI). Investigation into levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food on the Irish market. 2006.
6. Food Survey Information Sheets (FSIS) 31/02. PAHs in the total UK diet: 2000 total diet study samples. 2002, <http://www.food.gov.uk/science/surveillance/fsis2002/31pah>.
7. Hakami R., Mohdatinia J., Etermadi A., Kamangar F., Nemati M., Poyrshams A., slami F., Nasrollahzaedeh D., Saberi-Firoozi M., Birkett N Boffetta P., Melekzadeh R.: Dietary intake of benzo[a]pyrene and risk of esophageal cancer in north of Iran. *Nutr. Cancer*. 2008, 60 (2), 216 – 221.
8. Hietaniemi V., Ovaskainen M.L., Hallikainen A.: PAH compounds and their intake from foodstuff on the market. National Food Administration, Research notes 6/1999.
9. Hietaniemi V., Kumpulainen J.: Contents of PCBs, organochloride pesticide residues and PAH compounds in Finnish foodstuffs. Proceedings of the technical workshop on trace elements, natural antioxidants and contaminants, Helsinki – Espoo August 25 – 26, 1995, REU Technical series 49, 157 – 167.
10. Ibáñez R., Agudo A., Berenguer A., Jakszyn P., Tormo M. J., Sanchez M. J., Quiros J. R., Pera G., Navarro C., Martinez, C., Larrañaga N., Dorronsoro M., Chirlaque M. D., Barricarte A., Ardanaz A., Amiano P., Gonzalez C. A.: Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Spanish population. *J. Food Prot.* 2005, 68: 2190–2195.
11. Kayali-Sayadi M. N., Rubio-Barroso S., Garcia-Iranzo R., Polo-Díez L. M.: Determination of selected polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread by supercritical fluid extraction and HPLC with fluorimetric detection. *J. Liq. Chrom. & Rel. Technol.* 2000, 23(12), 1913–1925.
12. Orecchio S., Papuzza V.: Levels, fingerprint and daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bread baked using wood as fuel, *J. Hazard. Mater.* doi:10.1016/j.jhazmat. 2008.08.083.
13. Phillips D. H.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. *Mutat. Res.* 1999, 443, 139–147.
14. Rey-Salgueiro L., García-Falcón M.S., Martínez-Carballo E., Simal-Gándara J.: Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread *Food Chem.* 2008, 108, 607–615.
15. Roda A., Simoni P., Ferri E., N., Girotti S., Lus A., Rauch P., Poplstein M., Pospisil M., Pipek P., Hochel I., Fukal L.: Determination of PAHs in various smoked meat products and different samples by enzyme immunoassay, *J. Sci. Food Agric.*, 1999, 79, 58 – 62.
16. Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1881/2006 z 19.12.2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* 2006, L364/5.
17. 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.
18. Scoop task 3,2,12. Directorate-General Health and Consumer Protection. Reports on tasks for scientific cooperation: Collection of occurrence data on polycyclic aromatic hydrocarbons in food. 2004.
19. Tawfic A. M., Hadi E. A., Samahy S. Yousof K.: The influence of baking fuel on residues of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in bread. *J. of Hazardous Materials* 2000, A80, 1– 8.
20. Wieczorek J. K., Skibniewska K. A., Wieczorek Z. J.: Pozostałości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i insektycydów chloroorganicznych w ziarnie pszenicy i jęczmienia. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2005, 38, 159–65.

Otrzymano: 16.04.2009

Zaakceptowano do druku: 06.01.2010