

AGNIESZKA STASZOWSKA, PIOTR SKAŁECKI, MARIUSZ FLOREK,
ANNA LITWIŃCZUK

WPLYW GATUNKU I ŚRODOWISKA ŻYCIA RYB NA ZAWARTOŚĆ OŁOWIU ORAZ OSZACOWANIE JEGO POBRANIA Z TKANKI MIĘŚNIOWEJ

Streszczenie

Ryby oraz przetwory rybne są ważnym elementem zbilansowanej diety człowieka. Pomimo wysokiej wartości odżywczej mogą być one jednak źródłem metali ciężkich.

Celem badań było określenie wpływu gatunku i środowiska życia na zawartość ołowiu w tkance mięśniowej ryb oraz oszacowanie pobrania tego pierwiastka ze 100 g mięsa, uwzględniając najniższe dawki wyznaczone (Benchmark Dose Lower Confidence Limit - BMDL) dla dzieci i dorosłych.

Badaniami objęto sześć gatunków ryb żyjących w różnym środowisku: ryby morskie – śledź i dorsz, ryby słodkowodne dzikie – płoc i okoń oraz ryby z akwakultury – pstrąg tęczowy i karp. Zawartość ołowiu oznaczono metodą bezpłomieniowej atomowej spektrometrii absorpcyjnej z wykorzystaniem spektrometru SpectrAA 880Z (Varian). Do analizy wyników zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji.

Wykazano istotny wpływ gatunku i środowiska życia na zawartość ołowiu w tkance mięśniowej ryb. Istotnie ($p \leq 0,05$) najmniejszą zawartość Pb ($0,0429 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) oznaczono w mięśniach ryb z akwakultury, natomiast mięśnie ryb morskich i słodkowodnych dziko żyjących zawierały zbliżoną zawartość ołowiu (odpowiednio $0,1419$ i $0,1644 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Najwięcej ołowiu zawierały mięśnie śledzi ($0,2349 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i płoci ($0,2145 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), najmniej – pstrągów tęczowych i karpia (około $0,043 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Oszacowano, że bezpieczna dla dzieci porcja mięsa śledzi i płoci (uwzględniająca najniższe dawki wyznaczające BMDL_{01}) nie powinna przekraczać odpowiednio 75 g i 82 g.

Słowa kluczowe: ryby morskie, ryby słodkowodne, ryby z akwakultury, ołów, BMDL

Wprowadzenie

Spożywanie ryb jest zalecane do zbilansowania diety człowieka. Konsumenci powszechnie uznają ryby za zdrowy element diety, a w Polsce ich spożycie kształtuje się rocznie na poziomie około 11,8 kg/osobę i wykazuje niewielką tendencję spadkową

Mgr inż. A. Staszowska, dr inż. P. Skalecki, dr hab. inż. M. Florek, prof. dr hab. A. Litwińczuk, Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych, Wydz. Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950- Lublin

[17]. Na wielkość spożycia ryb wpływa również obecność w nich metali ciężkich. Określenie ich zawartości w tkankach ryb było przedmiotem badań wielu autorów [1, 10, 11, 19, 20, 24, 27]. Niektórzy badacze [8, 22, 26] podkreślają szkodliwy wpływ metali ciężkich, w tym również ołowiu, na organizm zarówno osób dorosłych, jak i dzieci.

Obawy konsumentów dotyczące zanieczyszczenia mięsa ryb toksycznymi pierwiastkami śladowymi spowodowały wprowadzenie w Unii Europejskiej najwyższych dopuszczalnych poziomów stężenia metali ciężkich. Zgodnie z rozporządzeniem Komisji (WE) nr 1881/2006 poziom ołowiu w rybach nie może przekraczać $0,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [21].

W 1986 r. FAO/WHO (JECFA - Joint Expert Committee on Food Additives) zaproponowała dla niemowląt i dzieci wartość Tymczasowego Tolerowanego Tygodniowego Pobrania (PTWI) ołowiu ze wszystkich środków spożywczych na poziomie $25 \text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ masy ciała. Limit ten zatwierdził Komitet Naukowy ds. Żywności (SCF) Komisji Europejskiej w roku 1992. Jednak w 2010 roku Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) zdecydował o wycofaniu PTWI – uznano bowiem, że nie zapewnia on bezpieczeństwa zdrowotnego żywności. Określono natomiast najniższe dawki wyznaczające (Benchmark Dose Lower Confidence Limit – BMDL). Dawki BMDL, związane z wywoływaniem ściśle określonego działania na organizm człowieka, zostały ustalone oddzielnie dla różnych grup ludności. W przypadku ołowiu przyjęto dla dzieci – BMDL₀₁ (działanie neurotoksyczne) na poziomie $0,50 \text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ masy ciała/dzień, dla dorosłych natomiast wyróżniono BMDL₁₀ (działanie nefrotoksyczne) wynoszące $0,63 \text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ mc/dzień oraz BMDL₀₁ (zaburzenia sercowo-naczyniowe) równe $1,50 \text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ m.c./dzień [9, 15].

Celem pracy było określenie wpływu gatunku i środowiska życia ryb na zawartość ołowiu w tkance mięśniowej oraz oszacowanie pobrania tego pierwiastka ze 100 g mięsa, przy uwzględnieniu najniższych dawek wyznaczających BMDL dla dzieci i dorosłych.

Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono w 2010 roku i objęto nimi 6 gatunków ryb, łącznie 60 osobników, po 10 z każdego gatunku. Materiał badawczy stanowiła tkanka mięśniowa dorsza (*Gadus morhua callarias*), śledzia (*Clupea harengus membras*), płoci (*Rutilus rutilus*), okonia (*Perca fluviatilis*), karpia (*Cyprinus carpio*) i pstrąga tęczowego (*Onchorhynchus mykiss*). Dorsze ($1580 \text{ g} \pm 232,5 \text{ g}$) i śledzie ($148 \text{ g} \pm 33,0 \text{ g}$) złowiono w Zatoce Gdańskiej (południowo-wschodnia część Morza Bałtyckiego – FAO MFA27) w ramach połowów rybackich. Karpie ($1180 \text{ g} \pm 98,0 \text{ g}$) i pstrągi tęczowe ($408 \text{ g} \pm 47,5 \text{ g}$) pozyskano w gospodarstwach rybackich zlokalizowanych na terenie województwa lubelskiego. Płocie ($122 \text{ g} \pm 26,0 \text{ g}$) i okonie ($78 \text{ g} \pm 10,5 \text{ g}$) złowiono

w rzece Bystrzyca zgodnie z Regulaminem Amatorskiego Połowu Ryb PZW. Ryby po pozyskaniu dostarczono do Katedry Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych UP w Lublinie. Po wstępnej obróbce ryb pobrano próbki mięsa z mięśnia wielkiego bocznego części grzbietowej.

Pobrane próbki mięsa ryb poddano mineralizacji na mokro w mieszaninie HNO_3 i HClO_4 zgodnie ze standardami AOAC 986.15 [2], a następnie w celu oznaczenia zawartości ołowiu (w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy) zastosowano metodę bezplamieniowej atomowej spektrometrii absorpcyjnej z wykorzystaniem spektrometru SpectrAA 880Z (Varian). Analizę wykonano metodą krzywej wzorcowej, a wyniki zweryfikowano na podstawie limitów wykrywalności i oznaczalności. Granica wykrywalności w przypadku ołowiu wynosiła $0,24 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($0,00024 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dokładność metody oceniono za pomocą materiału referencyjnego DORM-3 o certyfikowanej zawartości ołowiu na poziomie $0,395 \pm 0,050 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach.

Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji, przy użyciu programu StatSoft Statistica ver. 6.0 [25]. Istotność różnic zweryfikowano testem NIR na poziomie istotności $p = 0,05$ i $p = 0,01$.

Wyniki badań i dyskusja

Przeciętna zawartość ołowiu w mięsie analizowanych gatunków ryb wahała się od $0,0429$ do $0,2349 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy (tab. 1). Wykazano, że mięśnie ryb dziko żyjących (zarówno morskich, jak i słodkowodnych) charakteryzowały się istotnie ($p \leq 0,05$) większą zawartością ołowiu, w porównaniu z mięsem ryb pochodzących z akwakultury. Istotnie najwięcej ołowiu zawierały mięśnie śledzi i płoci (odpowiednio $0,2349$ i $0,2145 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy), następnie dorszy i okoni (odpowiednio $0,1171$ i $0,1030 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy), najmniej natomiast pstrągów tęczowych i karpia (około $0,043 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy).

Na zawartość metali ciężkich w rybach w znacznym stopniu wpływają: gatunek, płeć, wiek, żywienie (specyficzny metabolizm metali) oraz dostępność metali ciężkich w środowisku (stan zanieczyszczenia) [11, 13].

Polak-Juszczak [18] analizowała stężenie metali ciężkich w trzech gatunkach ryb bałtyckich (śledź, dorsz, szprot). W tkance mięśniowej śledzia oznaczyła od $6,4$ do $44 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ołowiu, czyli znacznie mniej od wyników przedstawionych w niniejszej pracy. Również w przypadku mięsa dorsza uzyskała mniejszą zawartość (w zakresie od 4 do $16 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) Pb. Stwierdzone przez Polak-Juszczak [18] zakresy zawartości ołowiu w mięsie śledzi i dorszy z Morza Bałtyckiego zostały potwierdzone przez Szlinder-Richert i wsp. [26], którzy w mięśniach tych gatunków oznaczyli średnio odpowiednio $19,5$ i $10,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Allen-Gil i wsp. [1] oznaczyli metale ciężkie w tkance mięśniowej ryb pochodzących z terenów niezindustrializowanych. Wykazali znacznie mniejszą, w porównaniu z wynikami własnymi, zawartość Pb w zakresie od $0,005$ do

0,012 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy. Podobnie małą zawartość ołowiu (w zakresie od 0,01 do 0,03 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.) w mięsie płoci z województwa zachodniopomorskiego stwierdziła Rajkowska i wsp. [20]. Również Protasowicki i wsp. [19] uzyskali mniejsze zawartości, w porównaniu z wynikami własnymi, w tkance mięśniowej płoci i okoni (odpowiednio 0,05 oraz 0,03 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.). Podawane przez Łuczyńską i wsp. [13] wyniki wskazują na większą, w porównaniu z przedstawionymi wynikami, zawartość ołowiu w mięsie okoni (0,143 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), a mniejszą w mięśniach płoci (w zakresie od 0,06 do 0,145 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Natomiast Perkowska i wsp. [16] analizowali zawartość metali ciężkich w tkance mięśniowej i organach ryb słodkowodnych pochodzących z rzeki Świdwy i oznaczyli zawartość ołowiu w mięsie płoci i okoni na poziomie od 0,22 do 0,99 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, tzn. wyższym w porównaniu z wynikami własnymi.

Pochodzące z akwakultury – pstrąg tęczowy i karp charakteryzowały się istotnie ($p \leq 0,05$) najmniejszą zawartością ołowiu w porównaniu z pozostałymi badanymi gatunkami ryb morskich i śródlądowych.

Szlinder-Richert i wsp. [26], oceniając zawartość substancji toksycznych w rybach dostępnych na polskim rynku, oznaczyli mniejszą, w porównaniu z wynikami własnych badań, zawartość ołowiu zarówno w przypadku karpia (11,1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.), jak i pstrąga tęczowego (14,4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.). Podobnie Čelechovská i wsp. [5] w karpach pozyskanych na terenie Czech oznaczyli mniej Pb (0,037 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.) niż autorzy niniejszej pracy. Protasowicki i wsp. [19] w rybach odławianych w dolnym i górnym biegu Odry wykazali natomiast większą (0,075 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.) zawartość ołowiu w mięsie karpia. Łuszczek-Trojnar i wsp. [14] uzyskali jeszcze większą zawartość Pb w mięsie dwuletnich karpia hodowlanych (0,15 - 0,27 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.). Podobnie w badaniach Tóth i wsp. [28] zawartość ołowiu w przypadku karpia hodowanych w południowo-zachodniej Słowacji wahała się od 0,09 do 0,48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m. Różnice w przytaczanych wynikach dotyczących mięsa karpia wynikały zapewne z różnych warunków życia (stawy hodowlane vs. rzeka) bądź też różnego wieku ryb. Wykazano bowiem ujemną korelację między zawartością ołowiu w tkance mięśniowej ryb a ich wiekiem [6, 7, 12, 14]. Zjawisko to związane jest z większą aktywnością i zapotrzebowaniem na tlen i energię osobników młodszych oraz z tym, że w organizmach ryb starszych lepiej funkcjonują mechanizmy obronne, dlatego też eliminacja szkodliwych związków jest znacznie szybsza [3, 7].

Drąg-Kozak i wsp. [7] potwierdziły również taką zależność w odniesieniu do jednorocznych i dwuletnich pstrągów tęczowych. W przypadku ryb jednorocznych dopuszczalny limit zawartości ołowiu w tkance mięśniowej został przekroczony o 0,16 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m., a dwuletnich – o 0,09 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m. Pstrągi tęczowe dziko żyjące oraz pochodzące z hodowli były przedmiotem badań Fallah i wsp. [10], którzy nie stwierdzili istotnego wpływu środowiska życia na zawartość ołowiu w mięśniach tego gatunku.

Tabela 1

Zawartość ołowiu w tkance mięśniowej ryb w zależności od gatunku i środowiska życia [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy].

Concentration of lead in muscle tissue of fish depending on species and living environment [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet mass].

Gatunek i środowisko życia ryb Species and living environment of fish	Ołów / Lead	
	\bar{x}	s / SD
Dorsz / Cod	0,1171 ^b	0,0859
Śledź / Herring	0,2349 ^c	0,0361
Płoc / Roach	0,2145 ^c	0,1128
Okoń / Perch	0,1030 ^{ab}	0,0878
Karp / Carp	0,0434 ^a	0,0323
Pstrąg tęczowy / Rainbow trout	0,0429 ^a	0,0189
Ryby morskie / Marine fish	0,1419 ^B	0,0916
Ryby słodkowodne dziko żyjące Wild freshwater fish	0,1644 ^B	0,1148
Ryby słodkowodne hodowlane Freshwater fish from aquaculture	0,0432 ^A	0,0268

Objaśnienia: / Explanatory notes:

\bar{x} – wartość średnia / mean value; s / SD – odchylenie standardowe / standard deviation; wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$: a, b, c – pomiędzy gatunkami; A, B – pomiędzy środowiskami życia ryb / mean values denoted by different letters differ statistically significantly at $p \leq 0,05$: a, b, c – among species; A, B – among living environmental of fish.

W badaniach własnych, w mięśniach ocenianych gatunków nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego limitu zawartości ołowiu, wynoszącego $0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m., poza jedną próbką płoci, w której ołowiu było $0,3437 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.

Najnowsze badania wskazują na konieczność zaostrzenia limitów związanych z maksymalną podażą metali ciężkich z dietą. Opracowanie odmiennych limitów dla dorosłych i dla dzieci spowodowane jest znacznie większą wrażliwością dzieci na zanieczyszczenia żywności [29, 30]. W 2010 roku zastąpiono dawki PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) najniższymi dawkami wyznaczającymi – BDML [4, 9, 15].

Tabela 2

Pobranie ołowiu przy spożyciu 100 g tkanki mięśniowej ocenianych gatunków ryb.
Lead intake when consuming 100 g of muscle tissue of fish species analyzed.

Gatunek Species	Średnia dawka ołowiu w porcji o masie 100 g [$\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$] Mean dose of lead in 100 g of meat [$\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$]	BMDL ₀₁ dla dzieci [μg/kg masy ciała/ dzień] BMDL ₀₁ for children [μg/kg of body weight/day]	BMDL ₀₁ dla dziecka o masie 35 kg [μg/dziecko /dzień] BMDL ₀₁ for 35 kg weigh- ing child [μg/child /day]	Pobranie ołowiu z porcji ryby o masie 100 g przez dziecko o masie 35 kg [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{01}$] Lead intake from portion of 100 g of fish by 35 kg weighing child [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{01}$]	BMDL ₁₀ dla osoby dorosłej [μg/kg masy ciała/dzień] BMDL ₁₀ for adult [μg/kg of body weight/day]	BMDL ₁₀ dla osoby dorosłej o masie 70 kg [μg/osobę /dzień] BMDL ₁₀ for 70 kg weigh- ing adult [μg/adult /day]	Pobranie ołowiu z porcji o masie 100 g przez osobę dorosłą o masie 70 kg [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{10}$] Lead intake from portion of 100 g of fish by 70 kg weighing 70 kg [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{10}$]	BMDL ₀₁ dla osoby dorosłej [μg/kg masy ciała/dzień] BMDL ₀₁ for adult [μg/kg of body weight/day]	BMDL ₀₁ dla osoby dorosłej o masie 70 kg [μg/osobę/ dzień] BMDL ₀₁ for adult of body weight 70 kg [μg/person/d ay]	Pobranie ołowiu z porcji o masie 100 gram przez osobę dorosłą o masie 70 kg [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{01}$] Intake of lead with a portion of 100 g of fish by adult of body weight 70 kg [$\mu\text{g}\cdot\text{BMDL}_{01}$]
Dorsz Cod	11,71		66,91	26,55					11,15	
Sledź Herring	23,49		134,23	53,27					22,37	
Płoć Roach	21,45		122,57	48,64					20,43	
Okoń Perch	10,30	0,50	58,86	23,36	0,63	44,10		1,50	9,81	
Karp Carp	4,34		24,80	9,84					4,13	
Pstrąg tęczowy Rainbow trout	4,29		24,51	9,73					4,09	

W celu oszacowania zagrożenia związanego z podażą ołowiu w spożywanych rybach obliczono procentowe pokrycie dawki BMDL w 100-gramowej porcji mięsa ocenianych gatunków. W przypadku dziecka przyjęto masę 35 kg, natomiast osoby dorosłej – 70 kg (tab. 2). W zależności od gatunku ryby, porcja o masie 100 g pokryje od 24,51 do 134,23 % najniższej dawki wyznaczającej BMDL₀₁ dziecka

Dzienne limity spożycia ołowiu przez osoby dorosłe są wyższe – 100 g ryby w przypadku osoby dorosłej pokrywa od 9,73 do 53,27 % dawki w przypadku działania nefrotoksycznego (BMDL₁₀) oraz od 4,09 do 22,37 % dawki w przypadku zaburzeń sercowo-naczyniowych (BMDL₀₁). Tak więc bezpieczna ilość śledzia dla osoby dorosłej nie powinna przekraczać odpowiednio 180 g (BMDL₁₀) i 440 g (BMDL₀₁). W przypadku ryb z akwakultury wielkość porcji w przypadku omawianych dawek BMDL wynosi odpowiednio 1015 g i 2400 g.

Mimo że stwierdzona w badaniach własnych zawartość ołowiu w mięsie niektórych gatunków ryb była stosunkowo duża, ich mięso nie stanowi zagrożenia dla konsumentów. Według opinii Komitetu Naukowego ds. Żywności Komisji Europejskiej [23] do najistotniejszych pokarmowych źródeł ołowiu w diecie człowieka należą: warzywa i owoce, zboża oraz napoje.

Wnioski

1. Stwierdzono istotny wpływ gatunku i środowiska życia na zawartość ołowiu w tkance mięśniowej ryb.
2. Najwięcej ołowiu zawierały mięśnie śledzi i płoci, najmniej – pstrągów tęczowych i karpia.
3. Istotnie najmniej ołowiu stwierdzono w mięśniach ryb z akwakultury (0,0432 mg·kg⁻¹ ś.m.). Mięśnie ryb morskich i słodkowodnych dziko żyjących zawierały natomiast zbliżoną zawartość ołowiu (odpowiednio 0,1419 i 0,1644 mg·kg⁻¹ ś.m.).
4. Na podstawie uzyskanych wyników można oszacować, że dla dzieci bezpieczna porcja (uwzględniając najniższe dawki wyznaczające BMDL₀₁) mięsa śledzi i płoci nie powinna przekraczać odpowiednio 75 g i 82 g, dorsza – 150 g, okonia – 170 g, a karpia i pstrąga tęczowego – ponad 400 g.

Literatura

- [1] Allen-Gil S.M., Martynov V.G.: Heavy metal burdens in nine species of freshwater and anadromous fish from the Pechora River, northern Russia. *Sci. Total Environ.*, 1995, **161**, 653-659.
- [2] AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC 986.15. Multi-element method. 17th ed. Arlington. Virginia USA. 2000.
- [3] Canpolat Ö., Calta M.: Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. *Fresen Environ. Bull.*, 2003, **12 (9)**, 961-966.

- [4] Castro-González M.I., Méndez-Armenta M.: Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environ. Toxicol. Pharm.*, 2008, **26**, 263-271.
- [5] Čelechovská O., Svobodová Z., Žlábek V., Macharáčková B.: Distribution of metals I tissues of the Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Acta Vet. Brno*, 2007, **76**, 93-100.
- [6] Dobicki W., Polechoński R.: Relationship between growth age and heavy metal bioaccumulation by tissues of four species inhabiting Wojnowskie Lakes. *Acta Sci. Pol. - Piscaria*, 2003, **2**, 27-44.
- [7] Drag-Kozak E., Łuszczek-Trojnar E., Popek W.: Koncentracja metali ciężkich w tkankach i organach pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) w zależności od wieku i sezonu. *Ochr. Środ. Zasobów Nat.*, 2011, **40**, 161-169.
- [8] Du Z-Y., Zhang J., Wang Ch., Li L., Man Q., Lundebye A-K., Froyland L.: Risk-benefit evaluation of fish from Chinese markets: Nutrients and contaminants in 24 fish species from five big cities and related assessment for human health. *Sci Total Environ*, 2012, **416**, 187-199.
- [9] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA J.*, 2010, **8** (4).
- [10] Fallah A.A., Saei-Dehkordi S.S., Nematollahi A., Jafari T.: Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. *Microchem. J.*, 2011, **98**, 275-279.
- [11] Henry F., Amara R., Courcot L., Lacouture D., Bertho M.-L.: Heavy metals in four fish species from the French coast of the Eastern English Channel and Southern Bight of the North Sea. *Environ. Int.*, 2004, **30**, 675-683.
- [12] Łuczyńska J., Jaworski J., Markiewicz K.: Wybrane metale w tkance mięśniowej ryb z Jeziora Łąńskiego. *Kom. Ryb.*, 2000, **3**, 22-24.
- [13] Łuczyńska J., Markiewicz K., Jaworski J.: Interspecific differences in the concentrates of macro- and microelements in the muscle of six fish species from lakes of the Olsztyn lake district (north-east of Poland). *Pol. J. Food Nutr.*, 2006, **15/56**, **1**, 29-35.
- [14] Łuszczek-Trojnar E., Drag-Kozak E., Popek W.: Bioakumulacja metali ciężkich w wybranych tkankach karpia (*Cyprinus carpio* L.) pochodzącego ze stawów hodowlanych zasilanych wodą Rzeki Rudawy. *Ochr. Środ. Zasobów Nat.*, 2011, **47**, 112-120.
- [15] Mania M., Wojciechowska-Mazurek M., Starska K., Rebeniak M., Biernat U.: Nowe fakty o ołowiu w środkach spożywczych. *Przem. Spoż.*, 2011, **68**, 96-100.
- [16] Perkowska A., Protasowicki M.: Cadmium and lead in fishes and in selected elements of the Świdwie Lake ecosystem, *Acta Ichthyol. Piscat.*, 2000, **30** (2), 71-84.
- [17] Pieńkowska B., Hryszko K.: Rynek ryb. Stan i perspektywy. *Analizy rynkowe*. Wyd. IERiGŻ-PIB, 2013, **19**, 25-27.
- [18] Polak-Juszczak L.: Temporal trends in the bioaccumulation of trace metals in herring, sprat and cod from the southern Baltic Sea in the 1994 – 2003 period. *Chemosphere*, 2009, **76**, 1334-1339.
- [19] Protasowicki M., Ciereszko W., Perkowska A., Ciemniak A., Bochenek I., Brucka-Jastrzębska E.: Metale ciężkie i chlorowane węglowodory w niektórych gatunkach ryb z rzeki Odry. *Rocz. Ochr. Środ.*, 2007, **9**, 95-105.
- [20] Rajkowska M., Wechterowicz Z., Lidwin-Kaźmierkiewicz M., Pokorska K., Protasowicki M.: Accumulation of selected metals in roach (*Rutilus rutilus* L.) from West Pomeranian Lakes. *Ecol. Chem. Eng.*, 2008, **15**, 119-123.
- [21] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dz. U. L* 364 z 20.12.2006, str. 5.
- [22] Saei-Dehkordi S.S., Fallah A.A.: Determination of copper, lead, cadmium and zinc in commercially valuable fish species from the Persian Gulf using derivative potentiometric stripping analysis. *Microchem. J.*, 2011, **98**, 156-162.

- [23] Sprawozdania Komitetu Naukowego ds. Żywności, seria 32, opinia Komitetu Naukowego ds. Żywności na temat: „Potencjalne zagrożenia dla zdrowia ludzkiego wynikające z obecności ołowiu w żywności i napojach”, str. 7-8, http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/reports/scf_reports_32.pdf.
- [24] Staniskienė B., Matusėvicius P., Alvidas U.: Distribution of heavy metals in muscles of fish: Concentrations and change tendencies. *Environ. Res. Eng. Manag.*, 2009, **2**, **48**, 35-41.
- [25] STATSOFT Inc., Statistica, data analysis software system, ver. 6., 2003, www.statsoft.com.
- [26] Szlinder-Richert J., Usydus Z., Malesa-Ciećwierz M., Polak-Juszczak L., Ruczyńska W.: Marine and farmed fish on the Polish market: Comparison of the nutritive value and human exposure to PCDD/Fs and other contaminants. *Chemosphere*, 2011, **85**, 1725-1733.
- [27] Tepe Y., Türkmen M., Türkmen A.: Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas. *Environ. Monit. Assess.*, 2008, **146**, 277-284.
- [28] Tóth T., Andreji J., Tóth J., Slávik M., Árvay J., Stanovič R.: Cadmium, lead and mercury concentrations in fishes – case study. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, 2012, **1**, 837-847
- [29] Wang X.L., Sato T., Xing B.S., Tao S.: Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Sci. Total Environ.*, 2005, **350**, 28-37.
- [30] Zhao S., Feng Ch., Quan W., Chen X., Niu J., Shen Z.: Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. *Mar. Pollut. Bull.*, 2012, **64**, 1163-1171.

IMPACT OF FISH SPECIES AND THEIR LIVING ENVIRONMENT ON CONCENTRATION OF LEAD AND ESTIMATED INTAKE THEREOF FROM MUSCLE TISSUE

S u m m a r y

Fish and fish products are an important part of a balanced human diet. Despite the fact that fish have an excellent nutritional value, they can also be a source of heavy metals.

The objective of the research study was to determine the impact of species and living environment of fish on the concentration of lead in muscle tissue of fish, as well to estimate the lead intake from a 100 g portion of meat with reference to the benchmark dose lower confidence limit (BMDL) for children and adults.

The research study included the following six species of fish living in different environments: marine fish: herring and cod; wild freshwater fish: roach and perch; and aquaculture fish: rainbow trout and carp. The concentration of lead was determined by flameless atomic absorption spectrometry using a SpectrAA 880Z (Varian) spectrometer. A one-way analysis of variance was applied to analyze the results.

The significant impact was proved of species and living environment on the concentration of lead in muscle tissue of fish. The significantly ($p < 0.05$) lowest concentration of Pb ($0.0429 \text{ mg kg}^{-1}$) was determined in the muscles of fish from aquaculture. However, the muscles of marine and wild fresh water fish had a similar Pb concentration level (respectively, 0.1419 and $0.1644 \text{ mg kg}^{-1}$). The highest concentration of lead was determined in the muscles of herring ($0.2349 \text{ mg kg}^{-1}$) and roach ($0.2145 \text{ mg kg}^{-1}$), and the lowest amount in the muscles of rainbow trout and carp (about 0.043 mg kg^{-1}). It was estimated that a portion of herring and roach meat (as regards the to BMDL_{01}) to be safe for children should not exceed 75 g and 82 g, respectively.

Key words: marine fish, freshwater fish, aquaculture fish, lead, BMDL 