

Marcin NIEMIEC<sup>1</sup>, Michał CUIPAŁ<sup>1</sup>, Anna KLIMAS<sup>1</sup>, Anna SZELAĞ-SIKORA<sup>1</sup>  
i Jakub SIKORA<sup>1</sup>

## AKUMULACJA ŻELAZA W WYBRANYCH ELEMENTACH ŁAŃCUCHA POKARMOWEGO EKOSYSTEMU STAWOWEGO

### ACCUMULATION OF IRON IN SELECTED ELEMENTS OF THE POND ECOSYSTEM FOOD CHAIN

**Abstrakt:** Celem pracy było określenie akumulacji żelaza w poszczególnych ogniwach łańcucha pokarmowego ekosystemu wodnego w warunkach ekstensywnego chowu karpia. Na podstawie zawartości tego pierwiastka w biotycznych i abiotycznych elementach ekosystemu oszacowano stopień jego zanieczyszczenia. Badania wykonano w stawie hodowlanym, położonym w Mydlnikach, zasilanym wodą z rzeki Rudawa. Z badanego stawu pobrano: wodę, osad z dna stawu, organizmy bentosu reprezentowane przez larwy muchówek z rodziny ochotkowatych, a także karpie, z których wypreparowano narządy w największym stopniu związane z metabolizmem metali (skrzela, gonady, wątroba i mięśnie). We wszystkich próbkach oznaczono zawartość żelaza metodą emisyjnej spektrometrii atomowej w aparacie JY 238 ULTRACE Jobin Yvon Emission. Mineralizację próbek wykonano metodą na mokro w systemie zamkniętym z wykorzystaniem energii mikrofalowej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w badanym ekosystemie nie ma zagrożenia zatrucia żelazem. Zawartości tego pierwiastka w wodzie i osadach dennych są porównywalne do innych akwenów, pochodzenia antropogenicznego i naturalnego. Stwierdzono wysoką wartość współczynnika wzbogacenia osadów w żelazo w stosunku do jej zawartości w wodzie. Zawartość żelaza w organizmach bentosu przyjmowała wysokie wartości, od 1189 do 1997 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. W organizmach badanych ryb zawartość żelaza kształtowała się w zakresie od 2,951 do 395,9 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. Najwięcej tego pierwiastka stwierdzono w skrzelach, następnie w wątrobie, gonadach, a najmniej żelaza akumulowały mięśnie. Dane literaturowe wskazują, że niezależnie od ilości żelaza w środowisku współczynnik bioakumulacji w organach ryb przyjmuje wartość zbliżoną do uzyskanych w badaniach własnych. Zawartość żelaza w skrzelach i wątrobie ryb jest najbardziej miarodajnym wskaźnikiem zanieczyszczenia środowiska związkami żelaza.

**Słowa kluczowe:** żelazo, bioakumulacja, łańcuch pokarmowy, akwakultura, karp

Kompleksowe określenie stopnia zagrożenia ekosystemu wodnego ze strony pierwiastków śladowych jest bardzo trudne ze względu na dużą zmienność chemizmu wody oraz osadów dennych w zbiorniku w ujęciu czasowym i przestrzennym. Pierwiastki chemiczne wprowadzane do środowiska wodnego ze źródeł antropogenicznych lub naturalnych ulegają różnym przemianom chemicznym i biochemicznym, w wyniku których mogą ulegać akumulacji w organizmach żywych lub wiązaniu z osadami dennymi. Określenie całkowitego stężenia pierwiastków w poszczególnych elementach biotopu ekosystemu wodnego nie daje informacji na temat faktycznego zagrożenia ze strony ksenobiotyków [1]. Współczesne podejście do monitoringu środowiska wymaga wykorzystania metod bioindykacyjnych, które stanowią uzupełnienie i rozszerzenie chemicznego monitoringu środowiska. Określenie zanieczyszczenia środowiska przy użyciu biowskaźników wymaga dobrania odpowiednich gatunków zwierząt lub roślin, które charakteryzują się dużymi zdolnościami akumulacji danego ksenobiotyku [2, 3]. W przypadku makrofauny wodnej jest również istotne wybranie narządu, w którym

<sup>1</sup> Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, al. A. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, tel. 12 662 43 47, fax 12 662 48 41, email: niemiec@o2.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnóltówek, 23-26.10.2013

pierwiastek akumuluje się w największej ilości. Ilość akumulowanych pierwiastków w organizmach żywych zależy przede wszystkim od form, w jakich występują w środowisku, co determinuje ich biodostępność. W przypadku pierwiastków będących mikroelementami istotne jest zwrócenie uwagi na rolę fizjologiczną tych pierwiastków, czego konsekwencją jest zwiększona ich akumulacja w poszczególnych organach. Najlepszą metodą oceny zagrożenia środowiska ze strony pierwiastków śladowych jest określenie współczynnika bioakumulacji poprzez oznaczenie ich akumulacji w organizmach kolejnych poziomów troficznych ekosystemu [4].

Celem pracy było określenie akumulacji żelaza w poszczególnych ogniwach łańcucha pokarmowego ekosystemu stawowego w warunkach ekstensywnej hodowli karpia. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań oszacowano stopień zanieczyszczenia stawów tym pierwiastkiem.

### **Materiał i metody**

W 2008 roku prowadzono badania obiegu żelaza w stawie rybnym, należącym do Stacji Doświadczalnej Katedry Ichtiobiologii i Rybactwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, zlokalizowanej w Mydlnikach, zasilanym wodą rzeki Rudawa. Staw towarowy ma powierzchnię około 4 ha. Badania obejmowały oznaczenie zawartości żelaza w wodzie osadach dennych, bentosie oraz organach karpia (*Cyprinus carpio* L.).

Zawartość żelaza w wodzie oznaczano trzykrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego. Pobierano próbki na początku sezonu karmienia (w maju), w okresie najintensywniejszego karmienia ryb (w lipcu) oraz we wrześniu, pod koniec okresu tuczu. Wodę pobierano z sześciu miejsc w stawie. Osady dennie pobierano z wierzchniej warstwy dna stawu (0-5 cm) po spuszczeniu wody. Staw podzielono na 8 stref i z każdej z nich pobrano próbki laboratoryjne (dwie próbki w pobliżu mnicha wpustowego, 4 próbki ze środkowej części stawu i dwie w okolicy mnicha spustowego). Osady dennie wysuszono, przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm i przetarto w moździerzu. W tych samych miejscach pobrano próbki organizmów bentosowych (larwy muchówek z rodziny ochotkowatych (*Chironomidae*)). Zawartość żelaza w organizmach karpia (*Cyprinus carpio* L.) oznaczano w 25 losowo wybranych rybach przeznaczonych do konsumpcji. Określono płeć ryb (metoda organoleptyczna), wiek (na podstawie dokumentacji produkcyjnej) oraz masę (metoda wagowa) badanych karpia. Ryby pochodziły z trzyletniego okresu chowu, masa osobników wahała się w przedziale 1500-2200 g. Karpie uśmiercono metodą dekapitacji i wypreparowano z nich narządy (skrzela, mięśnie, wątrobę i gonady).

Uzyskane próbki laboratoryjne poddano mineralizacji na mokro w systemie zamkniętym z wykorzystaniem energii mikrofalowej. Naważka analityczna wynosiła ok. 0,5 g w przeliczeniu na suchą masę. Materiał biologiczny roztwarzano w mieszaninie  $\text{HNO}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}_2$  w stosunku 5:1 v/v kwasu, natomiast osady dennie w wodzie królewskiej w stosunku ilościowym 1:10. Próbki wody do analiz zagęszczano dziesięciokrotnie. Stężenie żelaza w uzyskanych roztworach oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej w induktywnie wzbudzonej plazmie, w aparacie JY 238 ULTRACE Jobin Yvon Emission, przy długości fali 238,204 nm. Granicę oznaczalności żelaza w wykorzystanej metodzie określono na  $0,0046 \text{ mg Fe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Niepewność pomiaru stosowanych metod wynosiła  $\pm 4\%$ . Granica oznaczalności analiz wynosiła  $0,155 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  s.m. materiału

biologicznego i  $0,24 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  s.m. osadów. Do kontroli prawidłowości analiz żelaza użyto certyfikowanego materiału odniesienia CRM 16-050.

## Wyniki i dyskusja

Średnia zawartość żelaza w wodzie badanego stawu wynosiła  $988,2 \mu\text{g Fe} \cdot \text{dm}^{-3}$  (tab. 1). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic zawartości tego metalu w wodzie pobranej w różnych terminach. Nieznacznie mniej tego pierwiastka zawierała woda pobrana w sierpniu. Wiśniowska-Kielan i Niemiec [5] stwierdzili podobne zawartości tego metalu w rolniczo-rekreacyjnej części zlewni rzeki Dunajec i tylko w rejonie zrzutu ścieków komunalnych i przemysłowych stężenie żelaza było większe niż uzyskane w niniejszych badaniach. Oberholster i in. [6] podają zawartości żelaza w wodzie z jeziora Loskop w południowej Afryce w granicach od 110 do  $260 \mu\text{g Fe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Biodostępność żelaza zależy przede wszystkim od zawartości jego form rozpuszczonych w wodzie, co jest związane nie tylko z ilością tego pierwiastka, ale również z właściwościami fizykochemicznymi i chemicznymi, a także fizycznymi wody [7, 8]. W wodzie utrzymuje się krótko w formie rozpuszczalnej. Wytrąca się do osadów w postaci wodorotlenków lub nierozpuszczalnych soli. Optymalna zawartość żelaza dla zwierząt akwakultury mieści się w zakresie poniżej  $150 \mu\text{g Fe} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Przy zawartości żelaza w wodzie powyżej  $800 \mu\text{g Fe} \cdot \text{dm}^{-3}$  może dochodzić do gromadzenia się jego związków na nabłonku skrzelowym ryb oraz zmian stężeń hormonów steroidowych w osoczu krwi [9]. W środowiskach wodnych, w których wysokie stężenia żelaza, znacznie powyżej  $1000 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , utrzymują się permanentnie, ryby mogą wykształcić mechanizmy obronne, dzięki którym są w stanie bytować i rozmnażać się bez oznak toksyczności [9]. Żelazo nie należy do pierwiastków toksycznych, jednak wpływa na pobieranie innych pierwiastków, co może powodować ich wtórny niedobór [6]. W wodzie utrzymuje się krótko w formie rozpuszczalnej. Wytrąca się do osadów w postaci wodorotlenków lub nierozpuszczalnych soli żelaza trójwartościowego. Jony żelaza  $\text{Fe}^{3+}$  mają także silne powinowactwo do materii organicznej. W zbiornikach o dużej zawartości organicznych frakcji sestonu obserwuje się szybsze procesy immobilizacji żelaza w osadach dennych [10]. W strefie przydennej w warunkach niedoborów tlenu żelazo  $\text{Fe}^{3+}$  ulega redukcji, tworząc rozpuszczalne w wodzie związki. Staje się wtedy przyswajalne dla organizmów bentosu. Wpływ tego pierwiastka na środowisko naturalne objawia się między innymi zmianą fizykochemicznych właściwości osadów dennych, pogarszając warunki rozwoju organizmów bentosowych. Ograniczenie rozwoju bentosu oraz peryfitonu jest przyczyną zmniejszenia bioróżnorodności całego ekosystemu wodnego i uszczupla bazę pokarmową dla ryb [11]. Żelazo pełni ważną rolę w procesach obiegu pierwiastków w ekosystemie wodnym, szczególnie siarki, fosforu oraz metali ciężkich. Podstawowe znaczenie w sorpcji fosforu w środowiskach wodnych odgrywa żelazo. Pierwiastek ten jest także ważnym elementem wiążącym metale ciężkie i siarkę, uwalniane w czasie mineralizacji materii organicznej, co może ograniczać ich toksyczność [8].

Średnia zawartość żelaza w osadach dennych z badanego ekosystemu stawowego wynosiła  $8004 \text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Wiśniowska-Kielan i Niemiec [5] stwierdzili większe zawartości żelaza w osadach dennych rzeki Dunajec, na poziomie  $7-25 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zauważono nieznaczne różnice zawartości tego pierwiastka w próbkach pobranych z różnych części

stawu. W badaniach autorów [11] osady denne z niezanieczyszczonych stawów rybnych zawierały tylko  $150 \text{ mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zawartość żelaza w osadach dennych zbiorników wodnych zależy przede wszystkim od jego ilości w skale macierzystej zlewni. Zawartość żelaza w badanych osadach była wysoka i jest charakterystyczna dla osadów dennych akwenów, których zlewnie budują utwory geologiczne bogate w ten pierwiastek.

Tabela 1

Parametry statystyczne uzyskanych wyników badań

Table 1

Statistic parameters of the results

Parametry statystyczne	Woda	Osady	Bentos	Organy karpia			
				Skrzela	Gonady	Mięśnie	Wątroba
	$[\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}]$					
Minimum	778,5	5088	1189	99,76	21,05	2,951	67,89
Maksimum	1305	9863	1997	395,9	354,5	70,76	207,8
Średnia	988,2	8004	1583	192,8	95,70	37,62	114,1
Odchylenie standardowe	192,9	1602	319,7	70,13	76,82	20,00	35,63
Mediana	998,5	8533	1482,3	172,1	78,59	30,70	104,9
Współczynnik zmienności [%]	19,52	20,01	20,20	36,36	80,27	53,16	31,22

Zawartość żelaza w organizmach bentosu badanego ekosystemu wahała się w granicach od 1189 do 1997  $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ , osiągając średnią wartość na poziomie 1583  $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (tab. 1). Nurhasan i in. [12] podają zawartości żelaza w larwach owadów na polach ryżowych w Chinach na poziomie 590  $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  Zawartości zbliżone do uzyskanych w niniejszych badaniach autorzy ci stwierdzili w ślimakach. Zawartości żelaza w organizmach bentosu są wysokie. Foxall i in. [13] podają zawartość żelaza w endemicznych gatunkach ślimaków jeziora Tanganika pomiędzy 9170 a 12 980  $\text{mg Fe} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  Duże zawartości żelaza w osadach wodnych i faunie dennej są specyfiką zbiorników ciepłych klimatów. Bardzo wysokie zawartości żelaza w organizmach bentosowych są konsekwencją dużego nagromadzenia tego pierwiastka w osadach. Zmiany warunków oksydacyjno-redukcyjnych lub zmiany odczynu w wodzie nadosadowej mogą prowadzić do mobilizacji tego metalu i jego akumulacji w organizmach żywych. Zawartości żelaza w organizmach bentosu badanego ekosystemu są wysokie, co przy dużym udziale naturalnego pożywienia karpia może być przyczyną zwiększonej podaży tego metalu dla ryb.

Skrzela są ważnym narządem wymiany jonowej w organizmie ryb. Przez te organy ryby pobierają metale z wody oraz usuwają je z organizmu. Żelazo jest pobierane przez skrzela w formie wolnych jonów oraz chelatów tego pierwiastka lub przez przewód pokarmowy. Relacje ilościowe pomiędzy wchłanianiem żelaza przez skrzela i z przewodu pokarmowego są determinowane przez ilość przyswajalnych form tego metalu w wodzie i w pożywieniu [9]. W środowisku silnie alkalicznym i utleniającym obserwuje się ograniczone pobieranie żelaza przez nabłonek skrzeli [7]. Jeżeli żelazo występuje w środowisku wodnym w dużych ilościach, jego nierozpuszczalne związki (tlenki,

wodorotlenki lub siarczki) mogą osadzać się na skrzelach, upośledzając wymianę gazową i jonową ryb [8]. W wielu środowiskach wodnych, szczególnie akwenach słonych, obserwuje się niedobory tego pierwiastka. Zawartość żelaza w skrzelach badanych ryb wykazywała duże zróżnicowanie i zawierała się w przedziale 99,76-395,9 mg · kg<sup>-1</sup> s.m., a średnia wynosiła 192,8 mg · kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 1). Zawartość tego pierwiastka w skrzelach karpia była ponad 10-krotnie większa niż w organizmach bentosu. Uysal i in. [10] podają zawartości żelaza w skrzelach różnych ryb migrujących z terenu laguny Beymelek w Turcji na podobnym poziomie do wyników uzyskanych w badaniach własnych, przy czym zawartości żelaza w mięśniach ryb podawane przez tych autorów były kilkakrotnie mniejsze.

Zawartość żelaza w mięśniach karpia wykazywała dużą zmienność i wahała się w granicach od 2,951 do 70,76 mg Fe · kg<sup>-1</sup> (tab. 1). Średnia zawartość wynosiła 37,62 mg Fe · kg<sup>-1</sup>. Podobne wartości uzyskali Nurhasan i in. [12] w akwenach, będących jednocześnie polami ryżowymi pomimo znacznie mniejszej ilości tego pierwiastka w abiotycznych elementach środowiska. Roos i in. [14] podają zawartości żelaza w mięśniach różnych gatunków ryb słodkowodnych w Kambodży. Autorzy ci zwracają uwagę na duże zróżnicowanie zawartości tego pierwiastka w zależności od gatunku ryb, od około 20 do ponad 360 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. Cooper i in. [8] stwierdzili bardzo wysokie zawartości żelaza w tuszach ryb *Danio rerio* w zakresie od około 80 do ponad 150 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m w zależności od ilości tego pierwiastka w paszy. Foxall i in. [13] podają zawartości żelaza w mięśniach 6 gatunków ryb z jeziora Tanganika na poziomie od 29 do 38 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartość żelaza w mięśniach ryb jest ważnym kryterium ich przydatności do spożycia. Łuczyńska i in. [15] podają znacznie mniejsze ilości tego pierwiastka w mięśniach karpia dostępnych w sklepach na terenie Olsztyna. Ze względu na zawartość żelaza mięśnie badanych karpia cechują się dobrą jakością z punktu widzenia przydatności ich do spożycia.

Wątroba jest głównym miejscem akumulacji żelaza w organizmie ryb. Stężenie tego pierwiastka w tym organie jest czułym wskaźnikiem jego dostępności w środowisku, a także kondycji zdrowotnej zwierząt. Zawartość żelaza akumulowanego w wątrobach badanych karpia wykazywała najmniejszą zmienność i wahała się od 67,89 do 207,8 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 1). Średnia zawartość wynosiła 114,1 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. Wątroba samców zawierała nieznacznie więcej tego metalu, jednak różnice pomiędzy samcami i samicami nie były statystycznie istotne. Zawartości żelaza w wątrobach 6 gatunków ryb pelagicznych złowionych w Morzu Śródziemnym były znacznie większe od prezentowanych w niniejszej pracy i zawierały się w zakresie od 256 do 582 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. [16].

Gonady są organami, w których nie zachodzi akumulacja żelaza. Jego zawartość w tych organach związana jest z jego funkcjami fizjologicznymi. Zawartość tego pierwiastka w gonadach wykazywała dużą zmienność i wahała się od 21,05 do 354,5 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. Średnia zawartość tego pierwiastka wynosiła 95,7 mg Fe · kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 1). Stwierdzono istotne statystycznie różnice zawartości tego pierwiastka w jądrach i jajnikach. W jajnikach było około trzykrotnie więcej żelaza w porównaniu do jego ilości w jądrach.

Spośród wszystkich badanych organów najwięcej żelaza stwierdzono w skrzelach, następnie w jajnikach, wątrobie, jądrach, a najmniej tego pierwiastka zanotowano

w mięśniach badanych karpi. Stosunek ilościowy pomiędzy zawartością miedzi w tych organach wyniósł jak 1:0,70:0,59:23:0,20. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy zawartością miedzi w organach samców i samic z wyjątkiem jego zawartości w gonadach.

### Wnioski

1. Woda ze stawów oraz osady denne charakteryzowały się dużą zawartością żelaza.
2. Stężenie żelaza w poszczególnych organach ryb kształtowało się w kolejności od największego: skrzela > jajniki > wątroba > jądra > mięśnie.
3. Zawartość żelaza w mięśniach badanych karpi wskazuje na ich dobrą jakość z punktu widzenia przeznaczenia ich na spożycie przez ludzi.
4. Współczynnik wzbogacenia żelaza w osadach był wysoki i był charakterystyczny dla ekosystemów bogatych w ten pierwiastek.

### Literatura

- [1] Zuykov M, Pelletier E, Harper DAT. *Chemosphere*. 2013;93(2):201-208. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.05.001.
- [2] Brito GB, de Souza TL, Bressy FC, Moura CWN, Korn MGA. *Mar Pollut Bull*. 2012;64(10):2238-2244. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.06.022.
- [3] Chakrabort S, Bhattacharya T, Singh G, Maity JP. *Ecotox Environ Safe*. 2014;100:61-68. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.12.003.
- [4] Horta-Puga G, Cházaro-Olvera S, Winfield I, Avila-Romero M, Moreno-Ramírez M. *Mar Pollut Bull*. 2013;68(1-2):127-133. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.008.
- [5] Wiśniowska-Kielian B, Niemiec M. *Ecol Chem Eng*. 2004;11(8):823-832.
- [6] Oberholster PJ, Myburgh JG, Ashton PJ, Coetzee JJ, Bothae A-M. *Ecotox Environ Safe*. 2012;75(1):134-141. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2011.08.018.
- [7] Bury NR, Boyle D, Cooper CA. *Fish Physiol*. 2011;31(A):201-251. DOI: 10.1016/S1546-5098(11)31004-7.
- [8] Cooper CA, Handy RD, Bury NR. *Aquat Toxicol*. 2006;79(2):167-175. DOI: 10.1016/j.aquatox.2006.06.008.
- [9] Sykora JL, Smith EJ, Synak M. *Water Res*. 1972;6(80):935-950.
- [10] Uysal K, Emre Y, Köse E. *Microchem J*. 2008;90(1):67-70. DOI: 10.1016/j.microc.2008.03.005.
- [11] Yuvanatemiya V, Boyd CE. *Aquacul Eng*. 2006;35(2):199-205. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2006.02.001.
- [12] Nurhasan M, Maehre HK, Malde MK, Stormo SK, Halwart M, James D, et al. *J Food Compos Anal*. 2010;23(3):205-213. DOI: 10.1016/j.jfca.2009.12.001.
- [13] Foxall C, Chale F, Bailey-Watts A, Patterson G, West K. *Pollution Special Study (PSS) Pesticide and heavy metals in fish and molluscs of Lake Tanganyika. Pollution Special Study (PSS), Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF/92/G32)*. 2000.
- [14] Roos N, Thorseng H, Chamnan C, Larsen T, Gondolf HU, Bukhave K, et al. *Food Chem*. 2007;104(3):1226-1235. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.01.038.
- [15] Łuczyńska J, Tońska E, Borejszo Z. *Żywn Nauk Techn Jakość*. 2011;76:162-172.
- [16] Canli M, Atli G. *Environ Pollut*. 2003;121(1):129-136. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00194-X.

## ACCUMULATION OF IRON IN SELECTED ELEMENTS OF THE POND ECOSYSTEM FOOD CHAIN

Department of Agricultural and Environmental Chemistry, University of Agriculture in Krakow

**Abstract:** The aim of this study was to determine the accumulation of iron in the individual links of aquatic ecosystems food chain under extensive farming of carp. Based on ascertained in these organisms the contents of this element calculated value of bioaccumulation in the aquatic system and evaluated the degree of contamination. The study was performed in the breeding pond, located in Mydlniki, supplied with water from the river Rudawa. From the study pond collected: water, sediment from the bottom of the pond, benthic organisms represented by the larvae of flies of the chironomid family organs in, and carps from which were dissected the most associated with metals metabolism organs (gills, gonads, liver and muscle). In all samples determine the content of iron by atomic emission spectrometry in the camera JY 238 Ultrace Jobin Yvon Emission. Digestion of the samples were made by the wet method in a closed system with the use of microwave energy. Based on the results concluded that in the studied ecosystem, there is no risk of iron poisoning. The contents of this element in the water and bottom sediments are comparable to other reservoirs, of anthropogenic and natural origin. Was found a high value of the sediments enrichment factor sediments with iron in relation to its content in the water. The content of iron in the benthic organisms have taken high values, from 1189 to 1997  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{dm}$ . The iron content in organisms of the examined fish ranged from 2.951 to 395.9  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{dm}$ . Most of this element was found in the gills, then in liver, gonads and the least iron is accumulated muscles. Literature data show that regardless of the amount of iron in the environment, bioaccumulation factor in fish organs takes a value close to those obtained in own research. The content of iron in the liver and gills of fish is the most authoritative indicator of environmental contamination by iron compounds.

**Keywords:** iron, bioaccumulation, food chain, aquaculture, carp

