

*Wiesław Salicki*

## KRZYŻÓWKA (*ANAS PLATYRHYNCHOS*) JAKO BIOINDYKATOR SKAŻENIA ŚRODOWISKA FLUOREM OBSZARÓW PÓLNO-CNO-ZACHODNIEJ POLSKI

Zakład Zoologii i Pszczelnictwa, Wydziału Biotechnologii i Hodowli Zwierząt,  
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie  
Kierownik: prof. dr hab. *B. Chuda-Mickiewicz*

*Stwierdzono istotne różnice pomiędzy stężeniami fluoru w kościach młodych i dorosłych ptaków. Stwierdzono również różnice pomiędzy stężeniami tego pierwiastka w grupach młodych ptaków pochodzących z obu terenów i lat. Nie wykryto takich różnic w grupie ptaków dorosłych. Wykazano, że do celów biomonitoringu fluoru w środowisku wodno-łądowym powinny być stosowane głównie młode osobniki ptaków.*

Słowa kluczowe: biomonitoring, fluor, ptaki, krzyżówka, kości.  
Key words: biomonitoring, fluoride, birds, Mallard, bones.

Fluor jest pierwiastkiem szeroko rozpowszechnionym we wszystkich elementach środowiska, pochodzi ze źródeł naturalnych i antropogenicznych. Posiadając dużą aktywność chemiczną łatwo wiąże się z innymi pierwiastkami i przenika do organizmów wraz z pożywieniem oraz w procesie oddychania, kumulując się w tkankach twardych, powodując fluorozę.

Zjawisko biokumulacji fluoru, poprzez wiązanie go w tkankach kostnych kręgowców i wytworach wapiennych bezkręgowców, może być wykorzystane do oceny stanu zagrożenia środowiska w czasie i przestrzeni. Do tego celu wykorzystuje się zwierzęta hodowlane (krowy, owce, kozy, drób) i dziko żyjące. O większej przydatności zwierząt dziko żyjących do celów biomonitoringu, w przeciwieństwie do zwierząt hodowlanych, świadczy fakt, że zwierzęta dziko żyjące uczestniczą bezpośrednio w łańcuchu troficznym interesujących nas ekosystemów, natomiast zwierzęta utrzymywane przez człowieka otrzymują pokarm z różnych źródeł, a przy zastosowaniu dodatków mineralnych mogą być one dodatkowo intoksykowane badaną substancją (1).

Badacze podejmujący temat biomonitoringu z wykorzystaniem ptaków, określają możliwość zastosowania ich do obserwacji wielu zmian w środowisku (2, 3). Udo- wodniono eksperymentalnie przydatność kości i skorup jaj ptaków do celów monitoringu zanieczyszczenia środowiska fluorem (4, 5). Podjęto jednak tylko nieliczne próby praktycznego wykorzystania ptaków jako biomonitorów (6–9).

Niniejsza praca ma na celu wykazanie przydatności krzyżówek – ptaków związanych ze środowiskiem lądowo-wodnym – do celów biomonitoringu zanieczysz-

czenia środowiska fluorem. Wcześniejsze badania autora wykazały taką przydatność w stosunku do grzywacza (*Columba palumbus*) – ptaka związanego ze środowiskiem lądowym (10).

## MATERIAŁ I METODY

Krzyżówka, jest najliczniejszą z lęgowych kaczek w Polsce. Liczebność zimujących w Polsce osobników waha się od 172 000 do 515 000 w zależności od tego, czy zimy są surowe, czy łagodne. Największym pierzowiskiem krzyżówek jest Park Narodowy Ujścia Warty (dawniej rezerwat Słońsk), średnio pierzy się tam 4–8 tysięcy osobników (11).

Kaczki pływające, do których należy krzyżówka, ze względu na sposób i rodzaj pobieranego pokarmu, można zaliczyć przede wszystkim do bentofagów cedzących, a także fitofagów wodnych. Sposób pobierania pokarmu przez bentofagi cedzące polega na pobieraniu pokarmu z powierzchni lub głębokości wody ograniczonej zanurzeniem głowy, szyi i połowy tułowia ptaka. Podczas takiego żerowania ptak odcedza z wody i mułu drobne bezkręgowce. Fitofagi pobierają pokarm roślinny z powierzchni wody lub strefy litoralnej zbiorników wodnych (12).

Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem krzyżówka jest ptakiem łownym. Okres polowań trwa od 15 sierpnia do 21 grudnia.

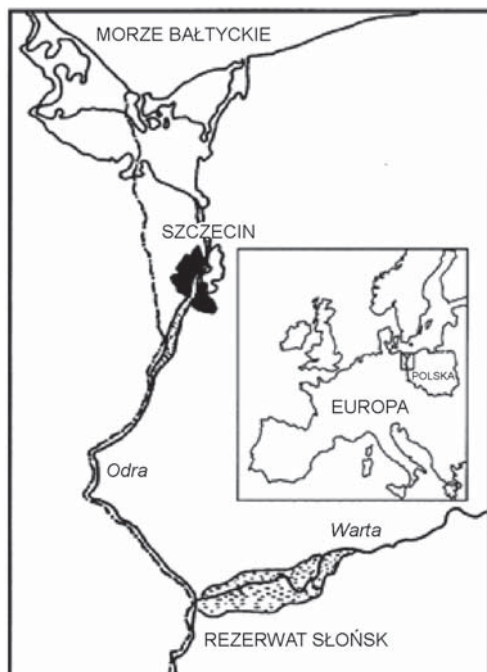
Krzyżówki do badań pochodziły z polowań wokół śródpolnych oczek wodnych położonych po zachodniej stronie Szczecina i w okolicach rezerwatu Słońsk (ryc. 1), które odbyły się w latach 1999, 2000. W 1999 roku upolowano 40 krzyżówek (25 młodych i 15 dorosłych) w okolicach rezerwatu Słońsk i 23 krzyżówki (13 młodych i 10 dorosłych) w okolicach Szczecina. W 2000 roku 26 ptaków (11 młodych i 15 dorosłych) pochodziło z okolic Słońska oraz 29 (6 młodych i 23 dorosłe) z okolic Szczecina. Wszystkie ptaki zostały upolowane w okresie pozalęgowym.

Upolowane przez myśliwych ptaki były przechowywane do czasu wykonania sekcji w temp. poniżej  $-20^{\circ}\text{C}$ . Po rozmrożeniu określono wiek i płeć ptaków oraz pobrano kości skokowe (*tarsometatarsus*). Przy ocenie wieku kaczek kierowano się różnicami w upierzeniu ptaków młodych i dorosłych. Ponadto brano pod uwagę stopień rozwoju gonad oraz wielkość torebki Fabrycjusza (13).

Do zbadania stężenia fluoru zastosowano metodę potencjometryczną z użyciem fluorkowej elektrody jonoselektywnej, powszechnie stosowaną przez autorów, zajmujących się oznaczaniem fluoru w kościach ptaków (7–9). Metoda ta odznacza się dużą selektywnością, liniowością w zakresie kilku rzędów wielkości, wysoką czułością.

Zawartość suchej masy w kościach oznaczono metodą wagową. Rozmrożone kości suszono w temp.  $105^{\circ}\text{C}$  do stałej masy. Kolejnym etapem było pozabawienie badanych kości substancji organicznej. W tym celu spalano je w piecu elektrycznym w temp.  $700^{\circ}\text{C}$  w ciągu 8 godz. Z każdej spopielonej i dokładnie zmielonej kości odważono 100 mg próbki, które rozpuszczono w  $5\text{ cm}^3$  roztworu kwasu nadchlorkowego o stężeniu  $1,13\text{ mol/dm}^3$  (5), a następnie dodano  $50\text{ cm}^3$  roztworu cytrynianu sodowego o stęż.  $0,2\text{ mol/dm}^3$  i uzupełniono do  $100\text{ cm}^3$  wodą podwójnie destylowaną. W tak otrzymanym roztworze wartość pH wahała się od 5,48 do 5,56. Przed

każdym oznaczeniem korygowano tę wartość roztworem kwasu nadchlorowego lub wodorotlenku sodowego do pH 5,50. Oznaczenie stężenia fluoru w próbce kości wykonywano za pomocą fluorkowej elektrody jonoselektywnej (DETEKTOR) oraz jonometru CX-731 (ELMETRON). Jako elektrodę odniesienia do pomiaru różnicy potencjału zastosowano elektrodę chlorosrebrową z płaszczem zewnętrznym zawierającym 1 mol/dm<sup>3</sup> roztwór KNO<sub>3</sub>. Do kalibrowania aparatu stosowano roztwory fluorku sodowego o wartościach zbliżonych do oczekiwanych, wykonanych z roztworu podstawowego fluorku sodowego o zawartości 1 mg jonu fluorkowego w 1 cm<sup>3</sup> roztworu oraz roztworów kwasu nadchlorowego i cytrynianu sodowego używanych w identyczny sposób, jak przy oznaczeniach fluoru w próbkach kości. Kalibrację aparatu przeprowadzano po każdym 20 oznaczeniach, stosując również sprawdzenie dokładności wskazań jonometru metodą dodatku wzorca, wyznaczając procent odzysku, który mieścił się w zakresie 96–101%. Wyniki analiz przedstawiono jako zawartość fluoru wyrażoną w miligramach na kilogram popiołu.



Ryc. 1. Położenie geograficzne terenów, z których pochodziły krzyżówki.

Fig. 1. Geographical location of the places where the Mallards collected.

Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programu STATISTICA 6.0. Do zbadania zgodności rozkładu otrzymanych wyników z rozkładem normalnym zastosowano test W Shapiro-Wilka. Ponieważ większość rozkładów badanych zmiennych różniła się od rozkładu normalnego, do porównań zmiennych zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya.

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Porównania zawartości fluoru w kościach pomiędzy osobnikami młodymi i dorosłymi reprezentującymi poszczególne miejsca i lata ich pozyskania przedstawiono w tab. I.

Tab e l a I. Średnie stężenia ( $\bar{X}$ ), odchylenia standardowe (SD), zakresy zmienności (min. – max.) fluoru w kościach krzyżówek pochodzących z okolic Słońska i Szczecina oraz wartości p testów U Manna-Whitneya; n – liczba przypadków

Table I. Average concentration ( $\bar{X}$ ), Standard deviation (SD), range of variation (min. – max.) of fluoride in bones of the mallards from vicinity of Słońsk and Szczecin and the p-values of Mann-Whitney's U tests; n – number of occurrences

Rok	Wiek	n	Stężenie fluoru mg F/kg ( $\bar{X}$ $\pm$ SD (min. – max.))
Słońsk			
1999	młode	25	1741 $\pm$ 670 (207–3203)
	dorośle	15	3211 $\pm$ 1218 (749–5410)
Test U młode vs dorośle			$\leq 0,0001$
2000	młode	11	1079 $\pm$ 643 (145–2132)
	dorośle	15	2508 $\pm$ 1041 (115–3943)
Test U młode vs dorośle			$\leq 0,001$
Szczecin			
1999	młode	13	1056 $\pm$ 618 (346–2632)
	dorośle	10	2808 $\pm$ 706 (2175–4287)
Test U młode vs dorośle			$\leq 0,0001$
2000	młode	6	1424 $\pm$ 180 (1271–1671)
	dorośle	23	2569 $\pm$ 1382 (508–5649)
Test U młode vs dorośle			różnica nieistotna

Zawartość fluoru w kościach badanych krzyżówek wzrastała wraz z wiekiem średnio ok. dwukrotnie. Istotnie statystycznie różnice stwierdzono porównując młode i dorosłe osobniki pochodzące z okolic Szczecina i Słońska z roku 1999. Podobne różnice odnotowano w 2000 r. jedynie w przypadku osobników pochodzących z okolic Słońska.

Zestawienie istotności różnic badanych parametrów kości w obrębie grup wiekowych pomiędzy ptakami pochodzącymi z obu terenów i z poszczególnych lat, przedstawiono w tab. II. Istotne różnice w zawartości fluoru w kościach młodych osobników stwierdzono pomiędzy młodymi krzyżówkami upolowanymi w 1999 r. w okolicach Słońska i Szczecina oraz pomiędzy ptakami upolowanymi w Słońsku w latach 1999 i 2000. Zawartością fluoru różniły się kości krzyżówek z okolic Szczecina z lat 1999 i 2000.

Ogólną zawartość fluoru w ciele krzyżówek badał *Culik* (14). Jak wynika z jego badań kościec stanowi 13% masy całego ciała kaczki, a 99,5% fluoru przypada właśnie na szkielet tych ptaków. W kościach czaszki znajduje się 29,7%, a w pozosta-

łych kościach 69,8% fluoru. Kości krzyżówki spełniają jeden z warunków dobrego biomonitora w stosunku do fluoru, bowiem kumuluje się w nich prawie w całości.

Table II. Istotność różnic testów U Manna–Whitneya dla porównań stężeń fluoru w kościach krzyżówek młodych i dorosłych pochodzących z lat 1999 i 2000 z okolic rezerwatu Słońsk (S) i Szczecina (Sz); NS – różnice nieistotne  
Table II. The significance of differences of Mann-Whitney's U tests for comparison of fluoride concentrations level in bones of the mallard (immature and adult) from vicinity of Słońsk reserve (S) and Szczecin (Sz) in 1999 and 2000; NS – insignificant differences

Testu U Manna–Whitneya	p	
	młode	dorośle
1999 S vs 2000 S	≤ 0,05	NS
1999 Sz vs 2000 Sz	≤ 0,05	NS
1999 S vs 1999 Sz	≤ 0,01	NS
2000 S vs 2000 Sz	NS	NS

Zjawisko kumulacji fluoru w kościach ptaków wraz z wiekiem udokumentowane w tej pracy potwierdza obserwacje niektórych badaczy. Badany przez Henny i Burke (9) ślepowron zwyczajny *Nycticorax nycticorax* ma szczególną cechę corocznej (każdorazowo różniącej się od siebie ubarwieniem) wymiany upierzenia przez samce. Ptaki te różnią się upierzeniem w pierwszym, drugim, trzecim i po trzecim roku życia. W przypadku samic różnice w upierzeniu występują do trzeciego i po trzecim roku życia. Można dzięki temu prześledzić proces kumulacji fluoru w bardzo ściśle określonych przedziałach czasowych, w okresie wzrostu i dojrzewania tych ptaków. Krzyżówki, które były poddane badaniom w niniejszej pracy mogły być podzielone jedynie na dwie kategorie wiekowe, jako młode – w pierwszym roku życia i dorosłe – mające więcej niż jeden rok. W obu przypadkach stwierdzono znaczny, istotny statystycznie wzrost stężenia fluoru w kościach ptaków. Istotny wzrost zawartości fluoru w kościach ptaków wraz z wiekiem, pominięty przez niektórych autorów mógł powodować złą ocenę stanu zanieczyszczenia środowiska tym pierwiastkiem. Badając zawartość fluoru w kościach bernikli kanadyjskiej (*Branta canadensis*) Vikøren i Stuve (15), poddali ocenie trzy środowiska. Dwa z nich były zanieczyszczone poprzez emisję fluoru z hut aluminium, a jedno pozbawione zanieczyszczenia antropogenicznego. U wszystkich ptaków nie oznaczono wieku i płci. Ponad dwukrotnie większe, istotnie różniące się ( $p \leq 0,01$ ), stężenia fluoru stwierdzono w kościach gęsi pochodzących z jednego terenu zanieczyszczonego w stosunku do gęsi z pozostałych dwóch badanych obszarów. Autorzy konkludują, że bernikla kanadyjska nie jest dobrym bioindykatorem skażenia środowiska fluorem. W innych badaniach, dotyczących bioindykacji zanieczyszczenia fluorem okolic huty aluminium, wykonanych przez Vikørena i Stuvego (8), wykorzystano mewę srebrzystą *Larus argentatus*. Zbadano 21 mew z terenu zanieczyszczonego (14 samic i 7 samców) oraz 21 z terenu niezanieczyszczonego (13 samic i 8 samców), nie określając wieku badanych ptaków. Stwierdzono istotne statystycznie różnice pomiędzy stężeniami fluoru w kościach samców i samic pochodzących z terenu zanieczyszczonego ( $p < 0,01$ ) oraz pomiędzy samicami pochodzącymi z obu terenów ( $p = 0,02$ ). Badania zawartości fluoru w kościach mew były powiązane z badaniami zawartości fluoru

w skorupach jaj zniesionych przez mewę srebrzystą. Wykazano większe stężenia fluoru w skorupach jaj zniesionych w okolicach huty niż w skorupach jaj zniesionych w terenie niezanieczyszczonym fluorem. Brak podziału na grupy wiekowe nie pozwala na właściwą ocenę wpływu emisji związków fluoru z huty aluminium na wielkość stężenia tego pierwiastka w kościach mew. Badania zawartości fluoru w kościach mew były powiązane z badaniami zawartości fluoru w skorupach jaj zniesionych przez mewę srebrzystą. Wykazano większe stężenia fluoru w skorupach jaj zniesionych w okolicach huty niż w skorupach jaj zniesionych w terenie niezanieczyszczonym fluorem.

Podobnie w badaniach *Turnera* i współpr. (7) bez określenia wieku i płci, biorąc pod uwagę jedynie przynależność gatunkową, badano zależność wpływu miejsca bytowania ptaków na wielkość stężenia fluoru w ich kościach. Badania przeprowadzono na niewielkiej liczbie okazów od jednego do ośmiu w poszczególnych gatunkach. Porównano stężenia fluoru w kościach ptaków pochodzących z trzech uprzemysłowionych i czterech nieuprzemysłowionych terenów w Nowej Zelandii. Badano pięć gatunków ptaków związanych ze środowiskiem wodnym i wodno-błotnym. Nie stwierdzono żadnych istotnych różnic pomiędzy zawartością fluoru w kościach osobników tych samych gatunków egzystujących w warunkach terenów uprzemysłowionych i nieuprzemysłowionych. Autorzy sugerują, że różnice w stężeniach fluoru w kościach badanych ptaków są spowodowane głównie różnicami w odżywianiu się różnych gatunków ptaków. Sposrządzenia te potwierdzają badania *Stewart* i współpr. (6), którzy dokonali porównawczych badań dziewięciu gatunków dziko żyjących ptaków (bez podziału na wiek i płeć analizowanych osobników), różniących się dietami. Zauważono, że stężenie fluoru malało w kościach ptaków, które preferują dietę pobieraną ze środowiska lądowego, w przeciwieństwie do tych, które żerują w środowisku wodnym. Podobna tendencja charakteryzuje ptaki, które preferują dietę bogatszą w roślinność, zarówno pochodzącą ze środowiska wodnego, jak i lądowego.

## WNIOSKI

Krzyżówka jako licznie występujący, szeroko rozpowszechniony, łowny ptak jest doskonałym gatunkiem do badań biomonitoringowych fluoru w środowisku wodno-lądowym. Niezbędne jest określenie przynależności badanych ptaków do tej samej grupy wiekowej i pozyskiwanie do badań osobników poza okresem lęgowym, podczas którego jest zaburzona struktura kości samic. Tylko tak zakwalifikowane ptaki mogą zobrazować obciążenie badanego środowiska fluorem i służyć do celów porównawczych obciążenia tym czynnikiem innych, analogicznych środowisk.

W. Salicki

THE MALLARD (*ANAS PLATYRHYNCHOS*) AS A BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL FLUORIDE POLLUTION OF THE AREAS OF NORTH-WESTERN POLAND

Summary

The Mallard (*Anas platyrhynchos*) was used as a model in order to evaluate the fluoride pollution of two communities in North-Western Poland. The ducks were obtained from hunting, which took place in



two successive years, during the same period, in the area near Szczecin and the estuary of Warta river. Mallards were classified into two age groups (immature and adult). Significant differences were detected between the concentration levels of fluoride in the bones of immature and adult birds. Differences were also shown to occur in the concentration levels of the element within the group of immature birds between those collected at both sites and in the two years. No such differences were detected in the group of adult birds. It has been shown that primarily juvenile birds should be researched for biomonitoring of fluoride in amphibious habitats.

#### PIŚMIENNICTWO

1. *Tataruch F., Kierdorf H.*: Mammals as biomonitors. *Markerl B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G.* (ed.) :Bioindicators and biomonitors. Elsevier Science Ltd. 2004; 6: 737-772. – 2. *Furness R.W., Greenwood J.J.D., Jarvis P.J.* : Can birds be used to monitor the environment? *Furness R.W., Greenwood J.J.D.* (ed.) Birds as monitors of environmental change. Chapman & Hall, London. 1993; 1-41. – 3. *Becker P.H.*: Biomonitoring with birds. *Markerl B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G.* (ed.) Bioindicators and biomonitors. Elsevier Science Ltd. 2004; 6: 677-736. – 4. *Bird D.M., Massari C.*: Effects of dietary sodium fluoride on bone fluoride levels and reproductive performance of captive American kestrels. *Environ. Pollut.*, 1983; 31: 67-76. – 5. *Bird D.M., Carrière D., Lacombe D.*: The effect of dietary sodium fluoride on Internal organs, breast muscle, and bones in captive American kestrels (*Falco sparverius*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1992; 22: 242-246. – 6. *Stewart D.J., Manley T.R., White D.A., Harrison D.L., Stringer E.A.*: Natural fluorine levels in the Bluff area, New Zeland. *N. Z. J. Sci.*, 1974; 17: 105-113. – 7. *Turner J.C., Solly S.R.B., Mol-Krijnen J.C.M., Shanks V.*: Organochlorine, fluorine, and heavy-metal levels in some birds from New Zeland estuaries. *N. Z. J. Sci.*, 1978; 21: 99-102. – 8. *Vikøren T., Stuve G.*: Bone fluorine concentrations in Canada geese (*Branta Canadensis*) from areas with different levels of fluoride pollution. *Sci. Total Environ.*, 1995; 163: 123-128. – 9. *Henny C.J., Burke P.M.*: Fluoride accumulation and bone strength in wild black-crowned night-herons. *Arch Environ Contam. Toxicol.*, 1990; 19: 132-137. – 10. *Salicki W., Kalisińska E.*: Fluorine and calcium in bones of the woodpigeon (*Columba palumbus*). *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2004; 50, Suppl. 1: 94-99.
11. *Tomiałojć L., Stawarczyk T.*: The Avifauna of Poland. Distribution, numbers and trends. PTPP „pro Natura”, Wrocław. 2003; 1: 147-148. – 12. *del Hoyo J., Elliot A., Sargatal J.* (ed.): Handbook of the birds of the world. Lynx Edition, Barcelona. 1992; 1: 536-628. – 13. *Glick B.*: Bursa of fabricius. *Farner D.S., King J.R., Parkes K.C.* (ed.) Avian biology. Academic Press, London. 1983; 7: 443-483. – 14. *Culik B.*: Fluoride turnover in Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) and other bird species. *Polar. Biol.*, 1987; 7: 179-187. – 15. *Vikøren T., Stuve G.*: Fluoride exposure and selected characteristics of eggs and bones of the Herring gull (*Larus argentatus*) and the Common gull (*Larus canus*). *J. Wildl. Dis.*, 1996; 32: 190-198.

Adres: 71-466 Szczecin, ul. Doktora Judyma 20