

Arkadiusz Telesiński, Martyna Śnioszek

BIOINDYKATORY ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO FLUOREM

Katedra Biochemii Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
Kierownik: dr hab. *H. Zakrzewska*

Hasła kluczowe: fluor, zanieczyszczenie środowiska, bioindykacja.
Key words: fluorine, environment pollution, bioindycation.

Od momentu stwierdzenia, że fluor jest biopierwiastkiem nastąpiła intensyfikacja badań nad jego rolą biologiczną, możliwością zastosowania w praktyce oraz toksycznością (1). Pierwiastek ten odznacza się wąskim marginesem bezpieczeństwa. Przyczynia się do zaburzenia funkcji biochemicznych w komórkach i całych organizmach żywych. Na obszarach położonych w zasięgu oddziaływania emitatorów związków fluoru zagrożone są całe ekosystemy (2). Wskaźniki kumulacji fluoru w poszczególnych elementach łańcucha ekologicznego są jednym z niezmiernie czułych i bardzo ważnych parametrów zmian biofizykochemicznych w środowisku. Skażenie środowiska fluorem stanowi zatem we współczesnej cywilizacji jeden z ważniejszych problemów ekologicznych ze względu na toksyczne działanie tego pierwiastka na roślinność, zwierzęta i ludzi, dlatego też wskazany jest ciągły monitoring zawartości tego pierwiastka w ekosystemach (3). Monitoring zanieczyszczenia środowiska tym pierwiastkiem powinien obejmować nie tylko gatunki wrażliwe lub akumulujące fluor, ale również zmiany biochemiczne, fizjologiczne, histologiczne i genetyczne wywołane obecnością fluoru w środowisku (4).

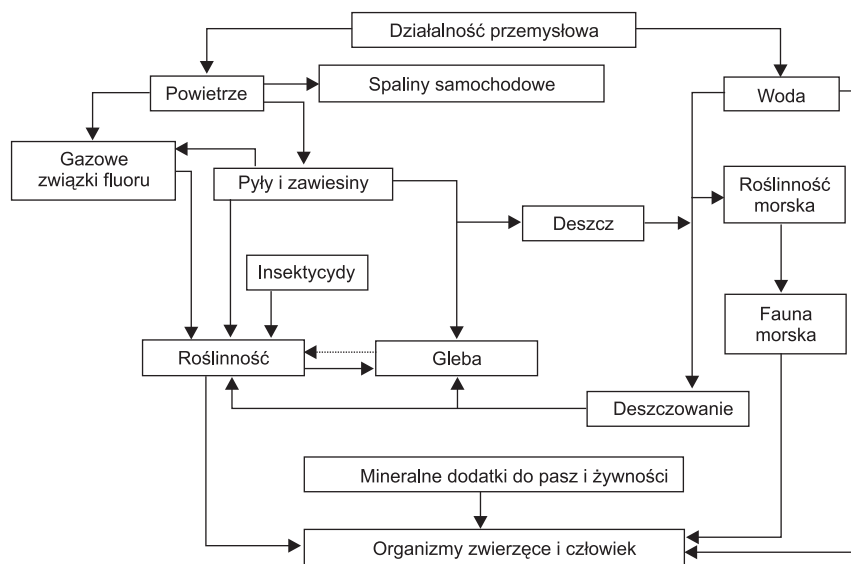
Początkowo analizowano źródła fluoru w środowisku (powietrze, woda, gleba) oraz drogi jego wnikania do organizmów: u roślin z atmosfery oraz poprzez przyswajanie stosowanych fluorowanych pestycydów, a u zwierząt i ludzi przez układ oddechowy, pokarmowy oraz przez skórę i jej przydatki (1).

Markiewicz (5) podaje, że z punktu widzenia toksykologicznego związki fluoru podzielono na trzy grupy:

1. połączenia gazowe takie, jak fluorowodór (HF) i czterofluorek krzemu (SiF_4), które łatwo penetrują do organizmów przez drogi oddechowe i aparaty szparkowe,
2. rozpuszczalne w wodzie związki typu soli (pochodne zwłaszcza kwasu fluorowodorowego i fluorokrzemowodorowego – H_2SiF_4),
3. połączenia fluoru słabo rozpuszczalne w wodzie i przez to mniej toksyczne dla organizmów (CaF_2 , MgF_2 , kriolit).

Z uwagi na toksyczność fluoru oraz na ciągły obieg tego pierwiastka w łańcuchu troficznym istotne znaczenie aktualnie ma bioindykacja skażenia środowiska fluorami (6). Bioindykatory kumulacji tego pierwiastka w poszczególnych elementach łańcucha troficznego są bardzo ważnym parametrem obrazującym zmiany biogeo-

chemiczne zachodzące w środowisku przyrodniczym (7). Schemat łańcucha troficznego dla związków fluoru przedstawiono na ryc. 1.



Ryc. 1. Obieg fluoru w łańcuchu troficznym (2).

Fig. 1. Fluorine cycle in the food chain.

Dużą rolę w śledzeniu zasięgu skażenia powietrza atmosferycznego związkami fluoru odgrywa zastosowanie roślin wskaźnikowych (2, 8). Na uwagę zasługują tu reakcje wielu roślin, w tym między innymi mieczyków, u których stwierdzono istotną korelację pomiędzy wielkością nekroz na liściach, a zawartością fluoru w powietrzu i opadach (9). Żyluk i Machoy (10) podają, że do roślin bardzo wrażliwych oprócz mieczyków zaliczyć można tulipany, frezje, krokusy, dziurawca, śliwę, morelę, sosnę i modrzew. Bioindykatorami mogą być również niektóre gatunki roślin zielnych runa leśnego (2). Kinnunen i współpr. (11) wykazali, że liście brzozy, i właśnie rośliny runa: borówka (*Vaccinium myrtillus* L.) oraz mchy (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. i *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G.), mogą być używane jako wskaźniki krótkotrwałego narażenia na związki fluoru. Podwyższone stężenia w powietrzu fluoru działają również fitotoksycznie na porosty. To fitotoksyczne działanie ujawnia się wyraźnym spadkiem ilości chlorofilu ogólnego w miarę nagromadzania się tego pierwiastka w plechach porostów (12). Oczywiście w zależności od kontynentu, a nawet kraju, w którym prowadzone były badania wymieniane gatunki bioindykacyjne są różne. Weinstein i Davison (4) w swym artykule przeglądowym przedstawili gatunki roślin używane jako wskaźniki zanieczyszczenia powietrza fluorem w zależności od regionu świata. Gatunki wrażliwe oraz bardzo wrażliwe na obecność fluoru w powietrzu występujące w Europie, a co za tym idzie używane jako wskaźniki zanieczyszczenia powietrza tym pierwiastkiem, zestawiono w tab. I.

Tab e l a I. Gatunki roślin występujące w Europie wrażliwe i bardzo wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza fluorem (4)

Tab l e I. European plant species sensitive and very sensitive to airborne fluorine pollution

Gatunki bardzo wrażliwe	Gatunki wrażliwe
Berberys zwyczajny (<i>Berberis vulgaris</i>) Dziurawiec zwyczajny (<i>Hypericum perforatum</i>) Konwalijka dwulistna (<i>Maianthemum bifolium</i>) Kosodrzewina (<i>Pinus mugo</i>) Mieczyki (<i>Gladiolus spp.</i>) Sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>)	Czosnek niedźwiedzi (<i>Allium ursinum</i>) Kokoryczka (<i>Polygonatum spp.</i>) Konwalia majowa (<i>Convallaria majalis</i>) Kosaciec bródkowy (<i>Iris germanica</i>) Krokus (<i>Crocus spp.</i>)

Zawartość fluoru w roślinach maleje wraz ze wzrostem odległości od źródeł emisji. Ponadto zawartość tego pierwiastka jest większa w częściach nadziemnych roślin niż podziemnych (13). Wynika z tego, że na terenach będących pod wpływem emisji fluor głównie kumuluje się w liściach. Jednak *Kmieciak* (14) stwierdziła, że obecność fluoru w liściach nie zawsze odzwierciedla zanieczyszczenie atmosfery, gdyż rośliny mogą go pobierać z gleby przez system korzeniowy.

Działanie fluoru na roślinę można zatem rozpatrywać z dwóch punktów widzenia: jako wpływ fluoru zawartego w pyłach i gazach przemysłowych na roślinę oraz jako wpływ tego pierwiastka podczas jego pobierania przez system korzeniowy. *Skupień-Wysocka* i *Cholewiński* (15) podają jednak, że oddziaływanie fluoru na roślinę przez system korzeniowy jest słabo poznane. *Nowak* i współpracownicy (6) stwierdziły istotną korelację pomiędzy zawartością fluoru rozpuszczalnego w roztworze glebowym, a zawartością tego pierwiastka w roślinach sałaty. Zauważono również, że wraz ze wzrostem stężenia fluoru w glebie zwiększa się zawartość fluorków w liściach roślin, co powoduje zmiany w aktywności enzymów antyoksydacyjnych, a także zawartości flawonoidów, fenoli i kwasu askorbinowego (16).

Jezierska-Madziar i współpracownicy (7) wykazali również, że fitoplankton, a zwłaszcza glony nitkowate z rodzaju *Chlorophyta*, może być indykatorem zanieczyszczenia fluorem ekosystemów wodnych. Niestety w literaturze mało jest innych doniesień o wykorzystaniu roślinności wodnej do bioindykacji zbiorników zanieczyszczonych tym pierwiastkiem.

Oddziaływanie fluoru na rośliny dotyczy między innymi ujemnego wpływu na procesy asymilacji i fotosyntezy, co prowadzi do zmniejszenia objętości nasion, hamowania wzrostu roślin, a przez to do zmniejszenia wyprodukowanej biomasy. Zjawiska te wynikają m.in. z destrukcyjnego wpływu fluoru na chloroplasty. Skutkiem degradacji struktury chloroplastu jest oprócz bezpośredniej inhibicji syntezy pigmentu, spadek zawartości chlorofilu (15). *Kusa* i współpracownicy (17) podają jednak, że pomimo znanych efektów toksycznego oddziaływania zanieczyszczeń fluorowych na drzewa iglaste, przy możliwie niskim ich poziomie kumulacji, możliwy jest również stymulowany przez związki fluoru wzrost zawartości chlorofilu w igłach sosny zwyczajnej.

Jako wskaźniki skażenia środowiska fluorem mogą służyć również próbki glebowe (8). Zawartość tego pierwiastka w glebach mieści się w przedziale od 20 do 1000 mg · kg⁻¹. Na ogół gleby piaszczyste zawierają mniej fluoru niż gleby gliniaste, w których zawartość może sięgać nawet 1700 mg · kg⁻¹ (18). Zanieczyszczenie gle-

by fluorem może powodować między innymi zaburzenia w procesach humifikacji i mineralizacji poprzez wpływ na zawarte w glebie enzymy (19). Zmiany aktywności enzymatycznej gleb mogą być zatem użyte do bioindykacji zanieczyszczenia fluorem. Nowak i współpr. (20) wykazały, że inhibicja aktywności enzymów glebowych: fosfataz, β -glukozydazy oraz dehydrogenaz była istotnie dodatnio skorelowana z zawartością w glebie fluoru. W wyniku innych badań stwierdzono natomiast, że aktywność enzymatyczna gleb, a zwłaszcza aktywność fosfatazy kwaśnej może być dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia tym pierwiastkiem ekosystemów (21).

Badania niektórych autorów wykazały również istnienie korelacji pomiędzy zawartością fluoru w glebie i tkankach niektórych ślimaków (*Helix pomatia*, *Arion rufus*, *Prforatella carnata*) (22), a także pomiędzy stopniem zurbanizowania terenu i stężeniem fluoru w muszlach (23).

W bioindykacji skażenia środowiska fluorem istotne jest zatem wykorzystanie organizmów zwierzęcych. Charakterystyczną cechą biomonitoringu z użyciem roślin i mikroorganizmów glebowych jest to, że można przy ich pomocy określić wpływ fluoru w czasie, natomiast przy użyciu zwierząt zarówno w czasie, jak i w przestrzeni (24).

W literaturze można znaleźć szereg doniesień o wykorzystaniu przy ocenie zanieczyszczenia środowiska fluorem dżdżownic (25), tkanek ryb (26), a także tkanek twardych: skorupki jaj kurzych (27), włosów ludzkich (28), paznokci (29), sierści i racic zwierzęcej łownej (30), poroży (31) oraz przede wszystkim kości zarówno ptaków (24), jak i ssaków (32, 33, 34, 35). Organizmy zwierzęce wbudowują fluor we wspomniane tkanki twarde w celu wyeliminowania go z ustroju, co stanowi pewną formę obrony przed ich działaniem toksycznym. Friedrich (36) podaje, że aż 90% zatrzymanego w organizmie fluoru jest deponowane w kościach, zębach, paznokciach i włosach. Przykładowe zawartości fluoru w tkankach twardych zwierząt z terenów zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych fluorem przedstawiono w tab. II.

Tab e l a II. Przykładowe stężenia fluorków w tkankach twardych zwierząt z terenów objętych i nieobjętych emisją związków fluoru

Tab l e II. Example concentrations of fluorides in hard tissues of animals from sites with and without emission of fluorine compounds

Wskaźnik	Gatunek zwierzęcia	Tereny objęte emisją związków fluoru	Tereny nieobjęte emisją związków fluoru	Źródło
Żuchwy	Jeleń (<i>Cerphus elaphus</i>)			(34)
	– osobniki młode (2 lata)	948,00	208,00	
	– osobniki stare (7–14 lat)	4680,00	1206,00	
	Jeleń (<i>Cerphus elaphus</i>)	815,56	340,60	(32)
Kości czaszki	Sarna (<i>Capreolus capreolus</i>)			(31)
	– osobniki młode (1–2 lata)	0,40	0,33	
	– osobniki stare (4–8 lat)	0,50	0,29	
Poroża	Sarna (<i>Capreolus capreolus</i>)			(31)
	– osobniki młode (1–2 lata)	0,35	0,29	
	– osobniki stare (4–8 lat)	0,43	0,36	
Sierść	Dzik (<i>Sus scrofa</i>)	13,39	8,00*	(30)

* – zwierzętami kontrolnymi były świnię.

Fluor w kościach odkładany jest w apatycie. W miejsce jonu hydroksylogowego jest podstawiany jon fluorkowy, w którym odległość między jonami wapnia i fluoru jest mniejsza. Kryształy fluoroapatytu są większe, bardziej stabilne, trudniej poddają się rozpuszczeniu i wolniej ulegają przebudowie (37). *Dąbkowska* i współpr. (33) wykazali, że fluor kumuluje się w kościach przez całe życie osobnicze, dlatego starsze organizmy zawierają go w większych ilościach. Przy analizie zawartości fluoru w tkankach twardych zwierząt należy zatem brać pod uwagę wiek osobniczy, a co za tym idzie czas ekspozycji na związki fluoru, a także gatunek zwierzęcia, warunki bytowania i indywidualną wrażliwość osobników (24, 35). Im więcej fluoru kumuluje się w kości tym szybkość kumulacji maleje (18).

Ergun (38) wykazał zwiększoną zawartość fluoru nie tylko w kościach owiec z terenów narażonych na antropogeniczne zanieczyszczenie tym pierwiastkiem, ale również z terenów powulkanicznych w Turcji. Wysunął on zatem wniosek, że naturalne źródła emisji fluoru mogą być również zagrożeniem dla bytowania organizmów żywych.

Inny jest również skład kości w organizmie żywym, a inny w martwym. Kości archeologiczne zawierają zazwyczaj więcej fluoru niż świeże, a znacząca część fluoru jest wbudowywana z gleby po śmierci. *Śnioszek* i współpr. (39) wykazali, że zawartość fluoru w żuchwach owiec z wykopalisk archeologicznych znacząco zależała od czasu ich zalegania w glebie – kości młodsze pod względem wieku archeologicznego zawierały istotnie mniej fluoru niż kości starsze. Badania kości archeologicznych pozwalają przeanalizować stopień zagrożenia związkami fluoru przez wieki. W gruncie zachodzi zatem wymiana pierwiastków między kością a otaczającym ją środowiskiem glebowym. Ciekawe wyniki uzyskali *Kłódka* i *Zakrzewska* (40) w badaniach dotyczących zastosowania kości jako sorbentu fluorków z roztworu wodnego. Kości mogą zatem służyć również jako bioindykator zanieczyszczenia fluorem środowiska wodnego.

Zawartość fluoru w organizmach żywych ma więc istotne znaczenie dla oceny skażenia środowiska fluorem. Badanie stężenia tego pierwiastka w różnych tkankach roślinnych i zwierzęcych oraz jego oddziaływanie na procesy biochemiczne i fizjologiczne pozwala w dużym stopniu określić stopień zanieczyszczenia zarówno powietrza, jak i gleby. Ponadto możliwość wykorzystania w bioindykacji wielu wskaźników, znajdujących się na różnych poziomach troficznych umożliwi kompleksowe określenie oddziaływania związków fluoru na całą biosferę.

A. Telesiński, M. Śnioszek

BIOINDICATORS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH FLUORINE

PIŚMIENNICTWO

1. *Machoy-Mokrzyńska A., Machoy Z.*: Aktualne kierunki badań nad fluorem. *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2006; 52(1) (Suppl): 73-77. – 2. *Divan Jr.A.M., Oliva M.A., Ferreira F.A.*: Dispersal pattern of airborne emission from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brazil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. *Ecol. Indic.*, 2008; 8: 454-461. – 3. *Zakrzewska H.*: Fluor i jego związki w środowisku naturalnym i w żywności. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1995; 28: 391-398. – 4. *Weinstein L.H., Davison A.W.*: Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. *Environ. Poll.*,

2003; 125: 3-11. – 5. *Markiewicz J.*: Toksykologiczna problematyka nieorganicznych połączeń fluoru. *Folia Med. Cracov.*, 1981; 23: 323-327. – 6. *Nowak J., Zakrzewska H., Marciniak Ż., Smolik B.*: Obieg fluoru w łańcuchu troficznym. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 2003; 492: 249-256. – 7. *Jezierska-Maziar M., Pińskwar P., Golski J.*: Kumulacja fluoru w matach glonów nitkowatych (*Chlorophyta*) z ekosystemu wodnego o podwyższonej koncentracji fluorków. *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2006; 52(1): Suppl., 41-43. – 8. *Franzaring J., Hrenn H., Schumm C., Klumpp, Fangmeier A.*: Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples, *Environ. Poll.*, 2006, 144: 158-165. – 9. *Zablocki Z., Podlasińska J.*: Wykorzystanie mieczyków (*Gladiolus* sp.) w bioindykacji zmian zanieczyszczenia atmosfery fluorem w strefie oddziaływania emisji z Zakładów Chemicznych „Police”. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 2003; 492: 443-449. – 10. *Żyluk B., Machoy Z.*: Wrażliwość gatunkowa organizmów żywych na toksyczne działanie fluoru. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1988; 21: 1-4.

11. *Kinnunen H., Holopainen T., Raisanen M.L., Karenlampi L.*: Fluoride in birch leaves, ground vegetation, litter and humus in surroundings of fertilizer plant and apatite mine in Siilinjärvi, eastern Finland. *Bor. Environ. Res.*, 2003; 8(2): 185-192. – 12. *Marska B., Sacharuk E.*: Wpływ emisji przemysłowych z Zakładów Chemicznych „Police” na zawartość siarki, fluoru oraz chlorofilu w plechach porostów *Hypogymnia phodes* (L.) NYL. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 2003; 492: 189-196. – 13. *Kłódka D., Musik D., Wójcik K., Telesiński A.*: Zawartość fluoru w glebie i wybranych warzywach uprawianych w zasięgu emisji tego pierwiastka przez Zakłady Chemiczne „Police” S.A. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2008; 41(4): 964-969. – 14. *Kmiecik S.*: Oddziaływanie fluoru zawartego w emisjach przemysłowych na środowiska leśne. *Mat. III Sympozjum Fluorowego „Wpływ fluorków zawartych w atmosferze na rośliny i żywność”*. Szczecin, 30–31 maja 1986: 42-73. – 15. *Skupień-Wysocka K., Cholewiński A.*: Ocena wpływu fluorku sodowego na kiełkowanie i aktywność wybranych enzymów w siewkach grochu. *Met. Fluoru*, 1988, 4: 101-103. – 16. *Telesiński A., Nowak J., Smolik B., Dubowska A., Skrzypiec N.*: The estimating of relationships between fluoride content and chosen of oxidative stress parameters in *Phaseolus vulgaris* L. plants after addition to clay soil different doses of NaF, *Acta Biochim. Pol.*, 2008, 55, Suppl. 3: 265. – 17. *Kusa Z., Sochacka J., Wardas W., Pawłowska-Góral K.*: Ocena kumulacji związków fluoru i siarki na zawartość chlorofilu w igłach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z wybranych terenów Polski południowej w latach 2001–2003, *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2004, 50, Suppl. 1: 69-71. – 18. *Gumińska M.*: Związki fluoru w środowisku i ich wpływ na zdrowie, w: „Chemiczne substancje toksyczne w środowisku i ich wpływ na zdrowie człowieka” (red. Gumińska M), Wyd. Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków, 1990: 59-81. – 19. *Kłódka D., Nowak J., Szymczak J., Smolik B.*: Wykorzystanie kaolinitu w redukcji toksycznego działania związków fluoru w stosunku do niektórych enzymów, *Mat. I Krajowej Konferencji i Warsztatów Naukowych „Ekotoksykologia w ochronie środowiska glebowego i wodnego”*, Puławy, 14–16 października 2007: 115-116. – 20. *Nowak J., Smolik B., Zakrzewska H.*: Relationships between fluorine content in soil and inhibition of soil enzymes activity, *Electron. J. Pol. Agric. Univ., Ser. Environ. Develop.* Vol. 8, Iss. 2 (<http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue2/art-15.html>).

21. *Telesiński A., Musik D., Smolik B., Kłódka D., Śnioszek M., Szymczak J., Grabczyńska E., Zakrzewska H.*: Próba określenia zależności pomiędzy aktywnością enzymatyczną a zawartością fluoru w glebach leśnych w strefie oddziaływania emisji z Zakładów Chemicznych „Police” S.A., w: „Ekotoksykologia w ochronie środowiska (red.: Kołwzan B., Grabas K.)”, 2008; 415-420. – 22. *Vogel J., Breimer R.F., Ottow J.C.G.*: Fluoride pollution of soil, vegetation and soil fauna in the vicinity of an emitter, *Oecologia*, 1989, 17: 619-625. – 23. *Dwojak M., Zakrzewska H.*: Fluor w muszlach ślimaka winniczka (*Helix pomatia*), *Met. Fluoru*, 1994, 6: 48-51. – 24. *Salicki W., Kalisińska E.*: Steżenia fluoru i wapnia w kościach grzywacza z okolic Szczecina w latach 2002–2004, *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2006; 52(1) (Suppl. 1): 89-95. – 25. *Vogel J., Ottow J.C.G.*: Fluoride accumulation in different earthworm species near industrial emission source in Southern Germany, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1991; 47: 515-520. – 26. *Protasowicki M.*: Preliminary studies on bone fluoride content in the Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. from the Hornsund region, *Ac. Ichth. Piscat.*, 1993; 23: 1343-1345. – 27. *Machaliński B., Sowiński M., Samujło D., Steciewicz I., Zawierta J.*: Rozkład fluoru w kościach i skorupach jaj kury domowej ekspozowanej na działanie fluorku sodu, *Met. Fluoru*, 1994; 6: 77-79. – 28. *Benco W.*: Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings, *Toxicology*, 1995; 101: 29-39. – 29. *Bober J.*: Ocena przydatności oznaczeń fluoru w kościach i paznokciach u ludzi. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1993; 26: 175-177. – 30. *Zakrzewska H., Brzezińska M., Orowicz W., Samujło D., Wójcik A., Kolanus A.*: Zawartość fluorków w sierści i racicach dzików oraz zwierzyny płowej pochodzącej z terenów Pomorza Zachodniego jako bioindykator skażenia środowiska naturalnego. *Ann. Acad. Med. Stetin.*, 2004; 50(1) Suppl: 100-103.

31. Piotrowska S., Machoy Z., Chlubek D.: Porównanie zawartości wapnia, magnezu, fluorków i fosforu w porożach i kościach czaszek saren (*Capreolus capreolus*) w zależności od wieku, Ann. Acad. Med. Stetin., 2006; 52(1) Suppl.: 83-87. – 32. Nowicka W., Machoy Z., Dąbkowska E.: Zmiany w składzie mineralnym kości zuchwy jelenia na tle zmiennych warunków środowiskowych. Met. Fluoru, 1988; 71-73. – 33. Dąbkowska E., Chlubek D., Machoy-Mokrzyńska A., Machoy Z., Ogoński T., Raczyński J., Gębczyńska Z.: Kumulacja fluoru w zuchwach łosia europejskiego w zależności od wieku osobniczego. Bromat. Chem. Toksykol., 1995; 28: 123-127. – 34. Kierdorf H., Kierdorf U., Sedlacek F.: Severe chronic fluoride intoxication non free ranging red deer (*Cerphus elaphus*) from NW-Bohemia (Czech Republic). Met. Fluoru, 1994; 6: 16-18. – 35. Gutowska I., Machoy Z., Chlubek D., Machaliński B.: Ocena warunków bytowania zwierzyny płowej z Pomorza Zachodniego i Ziemi Lubuskiej na podstawie zawartości fluorków, wapnia i magnezu w zuchwach. I. Zależności pomiędzy zawartością pierwiastków w zuchwach. Ann. Acad. Med. Stetin., 2004; 50(1) Suppl.: 42-46. – 36. Friedrich M.: Składniki mineralne w żywieniu ludzi i zwierząt. 2002; Wyd. AR w Szczecinie. – 37. Grynypas M.D.: Fluoride effects on bone crystals. J. Bone Miner. Res., 1990; 5: 169-175. – 38. Ergun H.: Studies of the fluoride content in water, soil and plant, urine, bone and teeth of sheep and urine of humans from Eastern and Western parts of Turkey. Met. Fluoru, 88, 4: 120-121. – 39. Śnioszek M., Telesiński A., Musik D., Zakrzewska H.: Comparative analysis of fluoride content in sheep mandibles from archeological excavation in Szczecin according to individual age and time of being deposited in soil, J. Elementol., 2008, 13(4): 675-684. – 40. Klódka D., Zakrzewska H.: Wykorzystanie sorpcyjnych właściwości kości do obniżenia ponadoptymalnych stężeń fluorków w wodzie. Ann. Acad. Med. Stetin., 2006; 52(1) Suppl.: 51-55.

Adres: 71-434 Szczecin, ul. Słowackiego 17.