

¹ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Filia w Piotrkowie Trybunalskim

² Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

³ Powiatowy Inspektorat Weterynaryjny, Skierniewice

Oddziaływanie geobiologiczno-chemiczne kadmu i ołowiu na środowisko przyrodnicze

The geobiological-chemical effect of cadmium and lead on the natural environment

Streszczenie:

Głównymi źródłami naturalnej emisji kadmu do atmosfery są: działalność wulkaniczna i procesy wietrzenia skał. Kadm jest naturalnym składnikiem skorupy ziemskiej i występuje w niej w stosunkowo niewielkiej ilości. Jego zawartość wynosi zaledwie 0,00005%. Pomimo tego jest uznawany za jeden z najbardziej szkodliwych pierwiastków (Cd) dla środowiska przyrodniczego.

Kadm jest stosunkowo łatwo wchłaniany przez organizmy zwierzęce i roślinne, ale uszkadza narządy miękkie nerki i wątroby. Stopień jego przyswajalności zależy od postaci chemicznej związków chemicznych, tym samym od ich rozpuszczalności w płynach. Duże stężenie tego pierwiastka występuje w glebach szczególnie w rejonach koncentracji przemysłu hutniczego, metalurgicznego, maszynowego i chemicznego. Innymi źródłami skażenia środowiska przyrodniczego kadmem mogą być nawozy mineralne, zwłaszcza fosforowe oraz niekiedy wapno magnezowe, a także ścieki stosowane do nawożenia gleby. Kadm jeśli dostanie się do gleby utrzymuje się na jej powierzchni, szczególnie w warstwie akumulacyjnej przez kilkanaście lat.

Wskaźnik bioakumulacji i fitoprzyswajalności kadmu wynosi 10, podczas gdy wskaźnik ten dla równie szkodliwego metalu ciężkiego – ołowiu (Pb) – jest niższy od 1.

Abstract:

The main sources of natural discharge of cadmium into the atmosphere are: volcanic activity and mountain/cliff erosion. Cadmium is a natural component of the earth's crust and occurs in relatively small amounts. In fact, cadmium content amounts only to 0.00005%; however, Cd has been recognized as the most harmful chemical element to the natural environment. Cadmium is relatively easily absorbed by animals and plants; Cd damages the organs` parenchyma. The degree of Cd assimilability depends on the chemical form of its compounds and, in the same way, on their solubility in liquids.

High concentrations of Cd occur in soil, especially in areas of concentrated smelting, metallurgical, mechanical and chemical industries.

Other sources of cadmium contamination are: mineral fertilizers, especially phosphorus and calcium magnesium, as well as sewage that ends up in the soil. If Cd reaches the soil it stays on the surface, especially in the accumulative layer (for a long period).

The indicator of bioaccumulation of Cd amounts to 10, while the indicator for lead, an equally harmful heavy metal, is lower than 1.

Słowa kluczowe: *perfluorowane związki alifatyczne, świadomość, ryzyko zdrowotne*

Keywords: *perfluorinated aliphatic compounds, awareness, health risk*

Wstęp

Kadm występuje w glebie oraz w roślinach i całym środowisku przyrodniczym. Głównymi źródłami naturalnej emisji do atmosfery są działania wulkaniczne oraz procesy wietrzenia skał geologicznych. Jego zawartość wynosi 0,00005% [cyt. za 1]. Uznawany jest za jeden z najbardziej

szkodliwych pierwiastków, zarówno dla środowiska przyrodniczego, jak i dla zwierząt domowych i wolno żyjących. Ponadto wykazano, że duże stężenie występuje w glebie, pyłach oraz w roślinach, szczególnie w rejonach koncentracji przemysłu hutniczego, metalurgicznego, maszynowego i chemicznego [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 16, 20]. Dodatkowym źródłem skażenia środowiska glebowego

kadmem są nawozy mineralne, zwłaszcza fosforowe, a niekiedy i wapno magnezowe, a także różne zapylenia oraz ścieki komunalne stosowane do nawożenia pól uprawnych. Dla porównania wskaźnik bioakumulacji i fitoprzyswajalności kadmu wynosi 10, podczas gdy wskaźnik ten dla ołowiu (Pb) jest niższy od 1 [4, 6, 8, 16, 21].

Wartość pH jest najczęściej wymienianym czynnikiem w literaturze, który wpływa istotnie na określone zawartości ruchomych form metali ciężkich występujących w warstwie akumulacyjnej gleby, a tym samym oddziałuje na ich przyswajalność biologiczną [16]. Czynnikiem hamującym, który działa na obniżenie kadmu w glebie kwaśnej jest jej wapnowanie. Także obecność związków próchnicznych występujących w glebie lub po ich dodaniu do gleby podczas upraw agrotechnicznych w formie torfu bądź gytii potorfowej, kompostu lub węgla brunatnego zmniejsza dostępność metali ciężkich dla roślin. Kadm jest pierwiastkiem bardzo toksycznym, pobierany z pokarmem roślinnym, kumuluje się również w organizmie człowieka, zwłaszcza w pęcherzyku żółciowym wątroby. Ponadto występuje w organizmach morskich ostryg, podobnie w mięśniach, wątrobie oraz w miększu nerek jagniąt i kurcząt, a także w liściach uprawianego tytoniu na glebach skażonych kadmem (Cd.). Jest bardzo toksyczny i rakotwórczy, unieczynnia enzymy łącząc się z grupami –SH, powoduje odwapnienie organizmu oraz deformację kości, zanik mięśni poprzecznie prążkowanych, obniżenie węchu, natomiast u osobników męskich impotencję, nadciśnienie układu krążenia oraz nowotwory. Dostaje się do organizmu ludzkiego lub zwierzęcego drogą oddechową i pokarmową. Kadm również narusza w organizmie zwierzęcia przemiany metaboliczne dotyczące: wapnia, magnezu, żelaza, cynku oraz miedzi [1, 2, 5, 10].

Z punktu widzenia konsumenta problemy wynikające z degradacji środowiska naturalnego w Polsce wskazują na celowość próby określenia poziomu zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi, w tym dotyczącymi mięśni i narządów wewnętrznych u bydła, koni, trzody chlewnej oraz u zwierząt wolno żyjących i drobiu. Szczególnie cenna jest analiza pozostałości pierwiastków śladowych, w tym kadmu, w wątrobie i nerkach, narządach wewnętrznych pełniących również funkcje filtrująco oczyszczające w organizmie zwierzęcia. Akumulacja kadmu w miększu nerek i wątroby zwierząt jest kilkakrotnie większa niż w samych mięśniach. Jej poziom zależy między innymi od gatunku i wieku zwierząt oraz od stopnia degradacji środowiska. Wśród zwierząt gospodarskich do najbardziej narażonych na zanieczyszczenia środowiska należą przeżuwacze, tj. bydło, owce oraz zwierzęta wolno żyjące, jak: sarny, jelenie, łosie i żubry, ze względu na ich pastwiskowy tryb żywienia [4, 6, 13].

Wyniki badań zawartości kadmu w narządach wewnętrznych trzody chlewnej, bydła, koni, drobiu i dziczyzny przeprowadzone w latach 1989-1992 w Polsce

przez Państwowy Instytut Weterynaryjny (PIW) – Państwowy Instytut Badawczy (PIB) w Puławach

Z uznaniem należy podkreślić, że w okresie 4 lat Państwowy Instytut Badawczy w Puławach poświęcił wiele uwagi odnośnie zawartości metali ciężkich (śladowych) w tkankach zwierząt domowych, a także w tkankach zwierząt wolno żyjących (łownych). W latach 1988-1992 pobrano 5 tys. próbek w 98 punktach reprezentacyjnych oraz 20 tys. próbek w zakładach eksportujących surowce i żywność pochodzenia zwierzęcego. Wieloletnie doświadczenia pozwalają ograniczać badania nad zawartością metali ciężkich do kadmu, ołowiu, rtęci, arsenu, cynku, miedzi, żelaza i fluoru.

Zgodnie z opracowanym przez prof. dra hab. Teodora Juszkiewicza (z Państwowego Instytutu Weterynarii, PIB) w Puławach systemem terenowego pobierania próbek do badania monitorowanych pozostałości chemicznych w 1991r. z terenu kraju próbki tkanek od 485 świń, w tym 98 punktach pobrano próbki mięśni, nerek i wątrób od świń. Stwierdzone stężenie kadmu w tkankach świń z terenu całego kraju zestawiono w tabeli 1. Z zestawienia wynika, że w badanym okresie w mięśniach, wątrobach i nerkach świń w Polsce zawartość kadmu była względnie niska [8].

Tab. 1. Zawartość kadmu w świeżej tkance mięszonej wątroby i nerek badanych świń z terenu całego kraju (próba badawcza n = 485)

Parametry statyczne	Mięśnie	Wątroba	Nerki
Rok 1990			
Średnia arytmetyczna (x)	0,007	0,115	0,875
Odchylenie standardowe (S)	0,014	0,152	0,717
Wartość minimalna (min.)	< 0,001	0,004	0,010
Wartość maksymalna (max)	0,160	1,734	4,475
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	2	0	1
Rok 1992 (badania w systemie eksportowym)			
Średnia arytmetyczna (x)	0,008	0,098	0,523
Liczba próbek	850	848	823
Wartość maksymalna (max)	0,290	0,950	5,700
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	2	0	4

Źródło: Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, s. 27.

Z przeprowadzonych badań wynika, że stężenia kadmu w mięśniach układały się dla większości próbek jednostkowych w pobliżu granicy wykrywalności metody

(0,001 mg/kg). W 85 próbkach jednostkowych mięśni (17,8%) nie stwierdzono obecności kadmu, a w 262 próbkach (54%) wartość stężenia była mniejsza niż wartość średnia, wynosząca 0,007 mg/kg. Tylko w 2 próbkach jednostkowych wartość stężeń kadmu przekraczała wartość dopuszczalną stężenia, równą 0,1 mg/kg. Stosunkowo duże stężenie kadmu najczęściej stwierdzono w nerkach, podobnie średnia zawartość kadmu (0,875 mg/kg) była przeszło 100-krotnie większa w mięśniach. Wprawdzie tymczasowy limit 4 mg/kg został przekroczony tylko w 1 próbce, to jednak średnie stężenie przekraczające 1 mg/kg (zawartość dopuszczalna stężenia obowiązująca w niektórych krajach EWG) stwierdzono aż w 169 próbkach (35%). W nerkach i wątrobach świń pochodzących z województw Polski południowej stwierdzono większe stężenie kadmu w porównaniu do zawartości tego pierwiastka u zwierząt z innych regionów kraju [1, 2, 4, 8]. Ważnym zjawiskiem, z jakim spotykano się w ostatnich latach w szeroko rozumianej prewencji zdrowia ludzi i zwierząt jest rezygnacja ze stosowania pewnych preparatów chemicznych i technologii, które okazały się istotnie szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt. Dotyczy to zarówno środowiskowych zagrożeń zdrowia, jak i zagrożeń zawodowych. Pierwszą tego typu decyzją podjętą przez kraje wysoko rozwinięte był zakaz stosowania niektórych środków ochrony roślin, w tym również dwuchlorodwufenylotrójchloroetanu DDT oraz rezygnacja z korzystania atrakcyjnych właściwości inwazyjologicznych, technologicznych polichlorowanych bifenyli, czyli PCB. Na podstawie otrzymanych wyników wykazano także, że stężenia kadmu w tkankach świń uzyskane w systemie podstawowych badań monitoringowych są bardzo zbliżone do wyników otrzymanych w corocznych badaniach wykonywanych w tzw. systemie badań eksportowych.

W 1990 r. w Instytucie Weterynarii pobrano 470 próbek jednostkowych mięśni, nerek i wątrób z bydła w celu oznaczenia w nich zawartości metali ciężkich. Stwierdzono trudne do wyjaśnienia zmniejszenie zawartości metali w tkankach bydła w 1990 r. w stosunku do zawartości w 1984 r. (mogło to wynikać m.in. ze zmiany metodyki lub zwiększonej precyzji badań). Limit zawartości kadmu w mięśniach bydłowych wynosił 0,1 mg/kg. Zbliżoną liczbę przekroczenia wartości dopuszczalnej stężenia kadmu stwierdzono w odniesieniu do zawartości tego metalu w nerkach (4 mg/kg). Nie stwierdzono zawyżenia wartości granicznej określonej dla zawartości kadmu w wątrobie bydła. Przekroczenie dopuszczalnych wartości stężenia kadmu w tkankach bydła występowało najczęściej w południowo-wschodniej Polsce [3,4,7,8]. Dla porównania wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Zawartość kadmu w świeżych tkankach krów poddanych ubojowi z terenu całego kraju z roku 1990 oraz w systemie eksportowym z 1992 roku (wg wymagań impor-tera)

Parametry statyczne	Mięśnie	Wątroba	Nerki
Rok 1990			
Średnia arytmetyczna (x)	0,018	0,199	0,982
Odchylenie standardowe (S)	0,064	0,229	1,352
Wartość minimalna (min.)	< 0,001	0,016	0,007
Wartość maksymalna (max)	0,740	2,243	13,950
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	14	1	11
Rok 1992 (badania w systemie eksportowym)			
Średnia arytmetyczna (x)	0,012	0,144	0,830
Liczba próbek	255	248	213
Wartość maksymalna (max)	0,380	1,940	25,16
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	1	0	12

Źródło: Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, s. 27

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, że stężenie toksycznych pierwiastków występujących w tkankach bydła nie różniły się zasadniczo od poziomów wykrywanych w badaniach monitoringowych w tzw. systemie eksportowym zwierząt mięsnych.

Nieco wcześniej, tj. w roku 1989, zawartość kadmu oznaczono w tkankach koni. Próbkę pobierano przez weterynaryjnych inspektorów sanitarnych w rzeźniach uprawnionych do przeprowadzenia uboju koni eksportowanych. W każdej z siedmiu rzeźni pobrano próbki mięśni, nerek i wątrób od 15 koni. W próbkach mięśni koni pochodzących z terenu całego kraju średnie stężenie kadmu wynosiło 0,67 mg/kg. Wartość ta była wprawdzie dwukrotnie mniejsza niż w 1981 r., ale jednak wielokrotnie większa niż zawartość kadmu w tkankach trzody chlewnej i bydła. Na 105 koni badanych, w 21 przypadkach zawartość kadmu była jednak większa od polskiej największej zawartości dopuszczalnej [3, 4, 8].

Na podstawie zebranych wyników badania należy sądzić, że duża rozpiętość wiekowa koni (1-15 lat) pozwala na rozpoznanie i określenie możliwości kumulowania się kadmu w miarę starzenia się zwierzęcia. Największe stężenie kadmu w mięśniach i nerkach stwierdzono w grupie wiekowej 6-10 lat, a w wątrobach w grupie 1-5 lat. Stwierdzone w analizowanych próbkach tkanek końskich stężenie kadmu było znacznie większe niż stężenie tego

pierwiastka zawarte w tkankach świń i bydła. Głównym źródłem stężenia kadmu u ludzi nienarażonych na zawodową ekspozycję tego pierwiastka były środki spożywcze. Zgodnie z zaleceniami Komisji Ekspertów FAO i WHO, łączna dawka kadmu przyjmowana przez człowieka nie może przekraczać tygodniowo 400-500 µg. W świetle tych danych należałoby przyjąć, że mięso końskie powinno być dopuszczone do spożycia przez ludzi jedynie po wcześniejszych badaniach biochemicznych tkanki mięsnej na zawartość kadmu. Badania tego typu powinny być obowiązkowe zwłaszcza w tych rejonach, w których mięso końskie stanowi znaczny udział w diecie codziennej lub tygodniowej. Otrzymane i opracowane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zawartość kadmu w świeżej tkance mięsnej, wątrobowej i w mięszu nerek koni pochodzących z terenu całego kraju (próba badawcza n = 105)

Parametry statyczne	Mięśnie	Wątroba	Nerki
Średnia arytmetyczna (x)	0,67	15,03	72,31
Odchylenie standardowe (S)	0,46	16,14	48,26
Wartość minimalna (min.)	0,07	0,80	9,50
Wartość maksymalna (max)	2,10	81,60	266,00
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	21	Nie nadają się do spożycia dla ludzi	Nie nadają się do spożycia dla ludzi

Źródło: Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, s. 32

W próbach mięszu nerek ubitych koni średnie stężenie kadmu było bardzo wysokie i wynosiło 72,31 mg/kg (od 9,50 do 266,0 mg/kg). W odróżnieniu od wartości stężeń kadmu w mięśniach oraz od wartości jego stężenia w nerkach odzwierciedlały wyraźnie uprzemysłowienie rejonów i miejsc pochodzenia koni. Konie pochodzące z rejonów przemysłowych z południa Polski (rzeźnie w Andrychowie, Słomnikach, Skawinie i Lwówku Śląskim) wykazywały nagromadzenie kadmu w nerkach równe 94,58 mg/kg, podczas gdy w nerkach koni z terenów rolniczych (rzeźnie w Rawiczu, Parczewie i Olecku) stwierdzono średnio 46,90 mg/kg. Rozkład stężeń kadmu w nerkach koni wskazuje, że około 40% oznaczonych stężeń znajduje się w przedziale od 9,5 do 50 mg/kg, zaś 26% w przedziale 50-100 mg/kg oraz 17% w przedziale 100-150 mg/kg i 7 stężeń przekroczyło 150 mg/kg.

Średnie stężenie kadmu w wątrobach wynosiło 15,03 mg/kg (od 0,80 do 81,60 mg/kg). Zaobserwowano

podobnie jak w nerkach wyraźnie większe stężenie kadmu w próbkach mięszu wątroby pochodzących od koni z terenu o znacznej koncentracji przemysłu (21,63 mg/kg) w porównaniu do stężeń w próbkach wątroby koni z rejonów rolniczych równego 6,39 mg/kg.

Podwyższona zawartość kadmu w badanych tkankach koni była przede wszystkim – jak stwierdzono – wynikiem cech genetycznych tego gatunku zwierząt, ale także pochodną stanu środowiska. Na terenach uprzemysłowionych zawartość kadmu w tkankach koni była znacznie większa, niż na terenach oddalonych od centrów przemysłowych – zebrane dane zamieszczono w tabeli 3.

W latach 1990-1992 przeprowadzono oznaczenia pierwiastków śladowych w wątrobach i mięśniach u 415 kur niosek z chowu przyzagrodowego, reprezentatywnych dla całego kraju [1, 3, 4, 8]. Stężenia pierwiastków toksycznych, takich jak np. ołów, rtęć, arsen i kadm w wątrobach i mięśniach kur były względnie niskie z wyjątkiem kadmu zawartego w mięszu wątroby. Średnia zawartość tego pierwiastka wynosiła 0,614 mg/kg, a w 70 próbach jednostkowych przekraczała wartość 1 mg/kg (wartość dopuszczalna w niektórych krajach EWG). Zawartość kadmu w organach mięszowych i w mięśniach kur przedstawia tabela 4.

Tab. 4. Zawartość kadmu w świeżej tkance kur przyzagrodowych z gospodarstw drobnotowarowych Polski

Parametry statyczne	Mięśnie (n = 415)	Wątroba (n = 412)
Średnia arytmetyczna (x)	0,0100	0,6140
Odchylenie standardowe (S)	0,0217	0,8403
Wartość minimalna (min.)	0,0010	0,0060
Wartość maksymalna (max)	0,2580	6,2700
L.P. – liczba przekroczeń max wartości dopuszczalnych stężeń wg wytycznych MRiGŻ z dnia 17 lipca 1984 r.	4	30

Źródło: Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, s. 34

Także zwierzęta wolno żyjące, jak wynika z dostępnego piśmiennictwa [4, 5, 6, 8] mogą być dobrym modelem doświadczalnym w badaniach środowiskowych. Ich pełna integracja ze środowiskiem przez cały okres życia pozwala na traktowanie stanu tkanek zwierząt dzikich, jako dobrego wskaźnika stopnia skażenia środowiska.

Dane te potwierdzają, że obok bardzo małych wartości stężeń ołowiu w mięśniach pojawia się znaczna liczba przekraczająca wartości dopuszczalne, wynoszące 0,3 mg/kg, co prawdopodobnie spowodowane jest skażeniami wtórnymi (zanieczyszczenia ołowiem mięśni

pochodzących z ran postrzałowych), występujące u ptaków, zwierząt łownych – dane przedstawione w tabeli 5.

Tab. 5. Zawartość pierwiastków toksycznych w tkance mięsnej zwierząt łownych (badania w systemie eksportowym)

Rok	Parametry statystyczne	Wartość stężeń pierwiastków w mg/kg					
		Ołów (Pb)	Kadm (Cd)	Rtęć (Hg)	Arsen (As)	Cynk (Zn)	Miedź (Cu)
1991	x	0,346	0,014	0,001	0	32,53	2,04
	max.	7,950	0,770	0,030	0	84,30	6,64
	n	881	881	356	881	626	626
	L.P.	164	18	0	0		-
1992	x	0,143	0,058	0,007	0,013	30,18	1,77
	max.	5,500	14,000	0,059	0,160	91,30	5,57
	n	993	993	803	933	833	833
	L.P.	144	4	0	0	-	-

x – średnia arytmetyczna; maks. – wartość maksymalna; n – liczba próbek;
L.P. – liczba przekroczeń maksymalnych wartości dopuszczalnych stężeń według norm przyjętych dla świń i bydła

Źródło: Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, s. 35

Badania zawartości kadmu w narządach wewnętrznych saren, bydła i koni przeprowadzone w roku 1994

W roku 1994 na obszarze świętokrzyskim, podkarpackim i małopolskim przeprowadzono badania, które miały urzeczywistnić opisany stan rzeczy. Województwa te oznaczono jako „niezanieczyszczone”, zaś za rejon „silnie zanieczyszczony” przyjęto okolice Trzebini, administracyjnie znajdującej się w zasięgu dawnego województwa katowickiego (obecnie małopolskiego), gdzie wydobywa się rudy cynkowo-ołowiowe. W celu zbadania skażenia kadmem dalszych ogniw łańcucha pokarmowego, określono koncentrację tego metalu w nerkach i wątrobie u saren pochodzących z terenów sąsiednich, a więc z obszarów nie narażonych na emisje przemysłowe i nie zanieczyszczonych kadmem. Uzyskane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi z terenów silnie zanieczyszczonych [5, 6, 7, 8].

Rezultaty porównawcze otrzymanych wyników przeprowadzonych badań były następujące: średnia zawartość kadmu w obu organach mięsnych (nerkach i wątrobie) saren z województwa krakowskiego była wyraźnie większa, aniżeli u saren z obszarów niezanieczyszczonych – zebrane dane przedstawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Koncentracja kadmu w suchej masie nerek i wątroby saren pochodzące z południowych terenów Polski

Nerki			Wątroba		
Liczba próbek	Średnia zawartość	Zakres zawartości	Liczba próbek	Średnia zawartość	Zakres zawartości
Województwo krakowskie					
22	26,2	2,0 – 84,3	30	2,40	0,64 – 6,81
Tereny niezanieczyszczone					
9	14,4	5,1 – 34,0	13	1,75	0,72 – 3,41
Trzebinia – teren silnie zanieczyszczony					
1	94,1	-	1	8,37	-

Źródło: Gorlach E.: *Kadm w środowisku regionu krakowskiego: pochodzenie i zagrożenie*, W: „Postępy Nauk Rolniczych nr 4/95”, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, Warszawa 1995, s. 91

Jeżeli przyjąć średnią zawartość kadmu w suchej masie tych narządów (mięszu nerek i wątroby) wewnętrznych pochodzących z terenów niezanieczyszczonych za 100, to zawartość tego metalu w nerkach saren z województwa krakowskiego wyraża się liczbą 182, a w wątrobie liczbą 175. Największą zawartość kadmu zarówno w nerkach, jak i w wątrobie stwierdzono u sarny upolowanej w okolicach Trzebini [7]. Nieco późniejsze badania [7], jakie przeprowadzono na terenie województw: podkarpackiego i małopolskiego u bydła i koni, wskazują, że średnia zawartość kadmu w mięśniach oraz narządach wewnętrznych bydła była stosunkowo niska, natomiast stosunkowo wysoki poziom tego metalu zaznaczono w wątrobie, najwyższy zaś w nerkach. Oznaczone średnie poziomy akumulacji kadmu w tkankach bydła i koni pochodzących z makroregionu południowo-wschodniej Polski zestawiono w tabeli 7. Dane liczbowe wskazują na dość duże zróżnicowanie poziomu koncentracji kadmu między tkankami oraz gatunkami ocenianych zwierząt. Średnia zawartość kadmu w mięśniach bydła była stosunkowo niska ($0,016 - 0,023 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$), natomiast istotnie wyższy poziom tego metalu oznaczono w wątrobie ($0,115 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$), a najwyższy w nerkach ($0,363 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$). Podobny układ wartości liczbowych stwierdzono w ocenie tkanek koni, przy czym stężenie kadmu w mięśniach oraz narządach wewnętrznych przekraczało dopuszczalne limity tolerancji dla tego metalu w żywności, tj. do $0,05 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$, określone w zarządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej (MZiOS), [6]. Należy jednocześnie zauważyć, że stężenie kadmu w mięśniach badanych koni było aż 10 – krotnie większe niż w mięśniach bydła, natomiast poziom akumulacji tego pierwiastka w wątrobie a także nerkach koni osiągnął wartości średnie w przedziale od $16,25$ do $28,32 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ [2].

Tab. 7. Zawartość kadmu w tkankach bydła i koni (mg x kg⁻¹ świeżej masy) Polski południowo-wschodniej

Tkanka	Miara statystyczna	Zawartość kadmu w tkankach bydła	Zawartość kadmu w tkankach koni
Wątroba	min - max	0,061 – 0,178	0,584 – 80,940
Nerka	min - max	0,226 – 0,506	1,150 – 48,740

Źródło: *Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, zeszyt nr 472, część II, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000, s. 439.

Stosunkowo wysoka zawartość kadmu w mięśniach, wątrobie i nerkach koni została potwierdzona w licznych badaniach. Należy sądzić, że zjawisko to związane jest z obecnością w organizmie koni białka cytoplazmatycznego wiążącego ten metal, zwanego metalotioneiną. Ta właściwość może również predysponować konie, jako zwierzęta wskaźnikowe w ocenie zanieczyszczenia kadmem środowiska przyrodniczego [3, 8].

W świetle przepisów obowiązujących w Polsce oraz zaleceń Komisji Organizacji Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) oraz Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) należy przyjąć, że mięso końskie może być dopuszczane do celów spożywczych jedynie po wcześniejszych badaniach na zawartość kadmu, natomiast nerki i wątroby od ubitych koni należy uznać w całości jako niezdatne do spożycia dla ludzi, a nawet dla mięsożernych zwierząt [9].

Wpływ kadmu na organizm ludzki

Na podstawie zebranych danych Państwowego Monitoringu Środowiska można stwierdzić, że aktualny stan środowiska naturalnego w latach 2011-2012 w odniesieniu do lat ubiegłych uległ znacznej poprawie. Na podstawie wyników oceny rocznej przeprowadzonej przez Państwowy Monitoring Środowiska w 2010 r., 2011 r., dopuszczalny poziom Cd i Pb w powietrzu uległ korzystnej zmianie i wyniósł 0,5 kg/m³ badany w 46 strefach. W żadnej strefie nie stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnego poziomu ołowiu w powietrzu. Podstawą oceny w odniesieniu do Pb w około 82% stref były wyniki pomiarów stężeń prowadzonych w stałych punktach. W około 15% stref klasyfikację wykonano w oparciu o inne metody. W strefie 4% klasyfikacja została przeprowadzona na podstawie wyników modelowania matematycznego i zaliczona do strefy A [18].

Analogicznie, kryteria oceny kadmu w latach 2010-2011: w żadnej z 46 stref nie stwierdzono przekroczenia poziomu docelowego określonego dla stężenia średniego rocznego kadmu, co stanowi 80%, tym samym w rocznej

ocenie jakości powietrza za 2010r., 2011 r. w odniesieniu do kadmu, wszystkie strefy zostały zaliczone do klasy A [18].

Z dostępnego piśmiennictwa (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska), [1, 9, 15, 16] wynika, że toksyczne działanie kadmu wpływa także negatywnie na organizm ludzki. Jego nadmiar powoduje zaburzenia czynności nerek, chorobę nadciśnieniową oraz choroby sercowo-naczyniowe, zmiany nowotworowe i zaburzenia metabolizmu wapnia i witaminy D. W przypadku ekspozycji zawodowej, związki kadmu wchłaniane są do organizmu człowieka w dużej mierze inhalacyjnie. Przenika również z organizmu matki do płodu. Jest potencjalnym teratogenem, zaś jako pierwiastek rakotwórczy stymuluje rozwój wielu typów nowotworów.

Należy także podkreślić, że na niebezpieczeństwo zdrowotne zanieczyszczenia środowisk kadmem zwrócono uwagę stosunkowo niedawno, w związku ze stwierdzonymi w Japonii faktami zależności pomiędzy występowaniem w otoczeniu zwiększonych ilości tego pierwiastka a przypadkami specyficznych schorzeń kośćca u ludzi. W kraju tym w okolicach niektórych kopalń rud, gdzie wody gruntowe i powierzchniowe wykazują wysoką zasobność kadmu, od dawna znano już chorobę Itai – Itai (co w dosłownym tłumaczeniu znaczy „cierpienie – męka”). Objawia się ona skrzywieniami i deformacjami oraz kruchliwością i łamliwością kości, którym to objawom towarzyszy bardzo silny ból. Następstwem występowania wspomnianej choroby są uszkodzenia kręgosłupa i kości udowych oraz zanik mięśni kończyn dolnych. Etiologia tej choroby nie była do końca znana, dopiero przed kilkudziesięciami laty wykryto przyczynę jej powstawania [1, 9, 15, 16].

W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku schorzenie to rozprzestrzeniło się szeroko zarówno w Japonii, jak też w innych krajach. Powodem takiego stanu rzeczy było masowe stosowanie fungicydów jako preparatów chemicznych przeznaczonych do zwalczania pleśni na roślinach, które w swoim składzie chemicznym zawierały kadm. Jak informowały statystyki, w japońskim ryżu zawartość tego metalu dochodziła nawet do 1-2 mg/kg, zaś z danych wynika, że każdy mieszkaniec kraju „Kwitnącej Wiśni” spożywa codziennie około 350 g ryżu.

W konsekwencji, przy określonym stopniu zanieczyszczenia, do organizmu konsumenta przedostawało się 350-700 mg kadmu dziennie. W niektórych rejonach Japonii mieszkańcy wsi i okolic do dziś odżywiają się tylko ryżem, zatem ilość wprowadzonego do ich organizmu kadmu mogła sięgać kilku tysięcy mikrogramów, podczas gdy Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) ustaliła dopuszczalną dzienną dawkę tego metalu na poziomie 70 mikrogramów. Trudno się zatem dziwić, że kości chorych

Japończyków, niekiedy rozsypywały się przy nieostrożnym, gwałtownym ruchu. Niekiedy nawet u pojedynczych osób głęboki skłon był przyczyną złamania żeber [1].

Opisane wyżej objawy najczęściej spowodowane są występującymi zakłóceniami wywołanymi przez kadm, jako wynik z niewłaściwego procesu wiązania wapnia i magnezu w przewodzie pokarmowym ludzi, którzy spożywali zatruty ryż. Masowe wystąpienia zachorowań skłoniło władze japońskie do zorganizowania akcji wykupu i zniszczenia ryżu pochodzącego z najbardziej zanieczyszczonych rejonów uprawy ryżu [2, 5]. Należy zatem podkreślić, że kadm zakłóca nie tylko gospodarkę wapniową organizmu, ale posiada toksyczne działanie jako metal, podobnie mają wpływ również inne pierwiastki występujące w pożywieniu. Zależności między kadmem (Cd) a selenem (Se), cynkiem (Zn), miedzią (Cu) i żelazem (Fe) były przedmiotem wielu badań. Stwierdzono na przykład, że selen zmniejsza śmiertelność myszy zatrutowanych kadmem oraz zapobiega zmianom degeneracyjnym jąder i innych narządów zwierząt doświadczalnych. Ogólnie rzecz biorąc, zwiększony poziom selenu w organizmie zwierzęcia zmniejsza toksyczne działanie kadmu. Zmniejszenie przyswajania i kumulacji kadmu można osiągnąć również przez kilkakrotne podwyższenie cynku w organizmie. W przypadku badania owiec stwierdzono, że długotrwałe oddziaływanie na organizm owcy kadmem powoduje zaburzenia w metabolizmie miedzi, co w przypadku zwierząt ciężarnych jest przyczyną nieprawidłowego rozwoju potomstwa. Znany i opisywany jest również negatywny wpływ tego toksycznego metalu na rozwój płodu ludzkiego. Wykazano, że zwiększone ilości kadmu organizm ludzki pobiera przy niedoborach żelaza. Pierwiastek ten powoduje zaburzenia w absorpcji żelaza, prowadzące do choroby niedokrwiennej. Podwyższona zawartość tego metalu w żywności szczególnie negatywnie odbija się na zdrowiu dzieci, powodując obniżenie odporności immunologicznej młodych organizmów. Ponadto kadm jest jednym z najpoważniejszych czynników zwiększających zagrożenie dzieci chorobami nowotworowymi. Ostre zatrucia kadmem, spowodowane jednorazową dawką, występują rzadko. Należy jednak wziąć pod uwagę, że kadm jest metalem, który ulega kumulacji w organizmach zwierzęcych w ciągu wielu lat. Stąd pewne zaburzenia u zwierząt mogą występować nawet na terenach o niewielkim stopniu skażenia [1, 4, 5].

Mechanizm biochemiczny działania kadmu u człowieka, podobnie jak i u zwierząt, polega na blokowaniu enzymu fosfatazy i enzymów zawierających grupy sulfhydrylowe, zakłóca przemianę witaminy B, powoduje niedokrwistość oraz anemizację organizmu. Ostre zatrucia mogą wystąpić już po pochłonięciu przez organizm kilku mg kadmu (głównie w wyniku wdychania niedrażniących dymów kadmu), śmiertelną może być doustna dawka 0,05 g Cd w roztworze wodnym. Na ogół jednak notuje się zatrucia

przewlekłe, które przez dłuższy czas (około 1 roku) mogą przebiegać bezobjawowo. Pochłanianie małych ilości kadmu przez człowieka przez dłuższy okres również może spowodować pojawienie się pierwszych objawów przewlekłej kadmicy, takich jak: ogólne osłabienie, suchość jamy ustnej, metaliczny posmak, brak łaknienia i wystąpienie charakterystycznego żółtego rąbka kadmowego u nasady zębów [9, 12, 13, 14].

W poniższej tabeli przedstawiono wartości stężeń wymienionych metali ciężkich (Cd, Zn, Pb), którymi zanieczyszczenie gleb i roślin stwarza zagrożenie dla zdrowia ludzi a także zwierząt.

Tab. 8. Zawartość kadmu, ołowiu i cynku w powierzchniowej warstwie gleb Polski południowej, cały zbiór, liczba próbek n = 1 007

Pierwiastek	Zawartość w mg/kg			
	Średnia geometryczna	Odchylenie standardowe	Zakres	
			Stwierdzony	Oczekiwany
Kadm (Cd)	0,35	2,99	0,1 – 6,6	0,04 – 3,3
Ołów (Pb)	18,30	2,30	2,0 – 929,0	3,5 – 96,8
Cynk (Zn)	18,60	2,91	1,0 – 1 402,0	2,2 – 157,5

Źródło: *Materiały źródłowe do raportu pilotowego o zanieczyszczeniach i skażeniach użytków rolnych, surowców żywnościowych i żywności w latach 1989 -1992 – tom I*, pod redakcją W. Michny, Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet Doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993, str. 24.

Podsumowanie

Na podstawie zebranych materiałów badawczych należy sądzić, że gleby najczęściej ulegają zanieczyszczeniu metalami ciężkimi w wyniku opadania pyłów atmosferycznych, spływu ścieków, migracji pierwiastków ze zwałowisk odpadów, zapyłania środowiska z rozwiewanych hałd, spalania materiałów pędnych. Najwyższe stężenie metali ciężkich w glebach spotyka się w bezpośrednim otoczeniu hut, zwałowisk odpadów górniczych, poflotacyjnych, hutniczych, elektrowniach oraz wzdłuż szlaków komunikacyjnych o dużym nasileniu mechanicznych środków transportu.

Jedną z najbardziej toksycznych dla środowiska substancji jest kadm. Duże stężenie tego pierwiastka występuje w glebach kwaśnych oraz w rejonie koncentracji przemysłu hutniczego, metalurgicznego, maszynowego i chemicznego. Innymi źródłami skażenia środowiska kadmem mogą być nawozy sztuczne, zwłaszcza fosforowe, niekiedy wapno magnezowe, a także ścieki stosowane do nawożenia gleby. Kadm należy do grupy toksycznych

metali ciężkich, stwarzających poważne problemy środowiskowe i zdrowotne. Mimo znacznie mniejszej od ołowiu zawartości w glebach Polski, pierwiastek ten może być pod groźbą niebezpieczeństwa absorbowany z gleby i kumulowany w poszczególnych ogniwach łańcucha geobiologicznego. Kadm, jeśli dostanie się do gleby, utrzymuje się na jej powierzchni przez wiele lat. Wchodzi on w skład próchnicy, przybierając formy łatwo przyswajalne dla roślin. Wskaźnik bioakumulacji i fitoprzyswajalności kadmu wynosi 10, podczas gdy wskaźnik ten dla równie szkodliwego metalu ciężkiego – ołowiu jest niższy od 1.

Związki kadmu wprowadzane do środowiska są na ogół łatwo przemieszczalne przez strukturę gleby, zwłaszcza w środowisku kwaśnym i szybciej wymywane w stosunku do innych metali. Bez względu na odczyn gleb, metal ten jest również łatwo pobierany przez rośliny. Do roślin silnie kumulujących kadm należą takie rośliny uprawne jak: seler, sałata, rzodkiewka, burak cukrowy, dlatego też nie powinny być one uprawiane na terenach narażonych na zanieczyszczenie tym pierwiastkiem.

Nie sposób wymienić wszystkich źródeł kadmu w otaczającym nas środowisku. Niemniej jednak na rozpraszanie tego pierwiastka wpływają czynniki związane z szybkim rozwojem cywilizacji, ale i nieświadomość społeczna problemów ochrony środowiska.

Dokonując reasumpcji, stwierdzić należy, że ryzyko skażenia roślin uprawnych metalami ciężkimi odnosi się głównie do gleb, szczególnie o wysokiej kwasowości, w których występują zwiększone ruchy struktury glebowej od naturalnych stężeń, w tym: kadmu, cynku, ołowiu i rtęci. Ryzyko skażenia roślin uprawnych na glebach o naturalnym stężeniu kadmu może występować w następstwie dużego zakwaszenia całych kompleksów gleby. Zwiększoną w stosunku do naturalnej zawartość kadmu obserwuje się na terenach objętych obecnie lub w przeszłości bezpośrednim wpływem hutnictwa cynku, ołowiu i miedzi oraz strumieniem elektrowni węglowych. Badania wykazały, że zanieczyszczenia i skażenia gleb cynkiem i ołowiem stanowią znacznie mniej groźny problem niż skażenie kadmem. Jest to najistotniejsze skażenie rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Gleby o zwiększonej zawartości kadmu w przyrodzie występują częściej niż gleby zanieczyszczone np. cynkiem czy ołowiem. Niemalże regułą jest, że mniej groźniejsze metale ciężkie, a więc ołów i cynk występują na ogół razem z kadmem [11, 12, 20, 21].

Wartość pH jest najczęściej wymienianym czynnikiem, który wpływa istotnie na zawartość ruchomych form metali ciężkich w glebie, a tym samym na ich przyswajalność biologiczną. W kwaśnej glebie lekkiej, o podwyższonych zawartościach metali ciężkich, udział form ruchomych kadmu może wynosić nawet powyżej 50%. Zatem pobieranie kadmu przez rośliny ulega zmniejszeniu

pod wpływem systematycznego (corocznego) wapnowania wapnem wolnym od kadmu. Podobnie obecność związków próchnicznych w glebie lub po ich dodaniu do gleby w formie torfu, kompostu lub węgla brunatnego częściowo ogranicza dostępność metali ciężkich do roślin. Wpływ ten jest bardziej widoczny na glebach o niższej zawartości minerałów ilastych, gdzie próchnica jest głównym komponentem kompleksu sorpcyjnego. Siła adsorpcji kadmu jest podobna do wapnia, ale mniejsza niż cynku [5, 22].

Kadm jest pierwiastkiem toksycznym, kumulującym się w całym organizmie człowieka, a zwłaszcza w pęcherzyku żółciowym. Ponadto kuluje się w ciele ostryg, w tkance mięsnej jagniąt i kurcząt oraz w liściach uprawy tytoniu. Jest bardzo toksyczny, a nawet rakotwórczy, unieczynia enzymy łącząc się z grupami – SH i może powodować uszkodzenia organizmu w postaci odwapnienia i deformacji kości, zaniku mięśni i utraty wężchu, impotencji, zwiększenia powstania nadciśnienia i nowotworów. Dostaje się do organizmu drogą oddechową i pokarmową. Pierwiastek ten występuje najczęściej w znacznych ilościach w rejonach skażenia przemysłowego, w dymie papierosowym, w wodzie wodociągowej, w glebie i żywności na niej uprawianej [10]. Dzielne spożycie kadmu w pokarmach wynosi od kilkunastu do 50 mikrogramów, które uznaje się za dopuszczalną normę, bardzo często znacznie przekraczaną z powodu coraz większego zanieczyszczenia środowiska. Na szczęście większość spożywanego kadmu nie jest przyswajana w przewodzie pokarmowym. Niestety, raz przyswojony kadmu stopniowo kuluje się w organizmie, osiagając po pewnym czasie poziom chemicznej toksyczności. Przyswajalność kadmu i innych szkodliwych metali ciężkich ogranicza selen. Kadm swoim oddziaływaniem na organizm narusza przemiany metaboliczne wapnia, magnezu, żelaza, cynku i miedzi. Wypłukiwanie przez kadmu wapnia ze struktur kostnych i innych narządów powoduje deformację, zwiększa łamliwość kości, uszkodzenia narządów wewnętrznych oraz zaburzenia wszystkich funkcji regulacyjnych organizmu, w których niezbędny jest udział wapnia, magnezu lub innych biopierwiastków chemicznych [13, 14, 17, 18, 19].

Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb kadmem powinna opierać się na ich całkowitej zawartości oraz na znajomości właściwości fizykochemicznych gleb, których skład mechaniczny i odczyn odgrywają pierwszoplanową rolę w tym zakresie. Określenie stopnia zanieczyszczenia gleb kadmem omacza również określenie sposobu jej użytkowania, zapobiegający przechodzeniu pierwiastków śladowych w nadmiernych ilościach do roślin [19].

LITERATURA

- [1] Bubel F., Durkacz M.: *Metale ciężkie w środowisku oraz w tkankach i produktach drobiarskich*, Polskie drobiarstwo cz. I, II, nr 8 i 9/2010.
- [2] *Chemia – encyklopedia szkolna*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne S.A., Warszawa 2011.
- [3] Dudka S.: *Ocena całkowitych zawartości pierwiastków głównych i śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski – nr 48 R(293)*, Wydawnictwo Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa IUNG, Puławy 1992.
- [4] Gambuś F., Rak M.: *Wpływ właściwości gleby na rozpuszczalność związków kadmu; Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, zeszyt nr 472, część I, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000.
- [5] Garścia E.: *Kształtowanie się emisji zanieczyszczeń z Huty im. Tadeusza Sendzimira*, Biuletyn Regionalny ZUP AR w Krakowie, 1991.
- [6] Gębski M.: *Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny*, „Postępy Nauk Rolniczych” nr 8/98, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 1995.
- [7] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: *Stan środowiska w Polsce 2011*.
- [8] Gorlach E.: *Kadm w środowisku regionu krakowskiego, pochodzenie i zagrożenie*, „Postępy Nauk Rolniczych” nr 4/95, Polska Akademia Nauk Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 1995.
- [9] Gorlach E., Gambuś F.: *Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie; Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, zeszyt nr 472, część I, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000.
- [10] Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [11] Kowalak A.: *Metale śmierci*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi CEEW, Krosno 1991.
- [12] Kowalak A.: *Mini eko – wademekum. Jak żyć na obszarach kłęski ekologicznej*, Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi CEEW, Krosno 1991.
- [13] Krupa Z.: *Wpływ kadmu na procesy fizjologiczne i metaboliczne roślin wyższych*, materiały z Sympozjum nt. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne, Warszawa, 26-27 październik 1999.
- [14] Krupa J., Woźniak L.: *Zawartość kadmu i ołowiu w tkankach bydła i koni z makroregionu południowo wschodniej Polski na tle zawartości tych pierwiastków w glebach i roślinach; Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, zeszyt nr 472, część I, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000.
- [15] Materiały źródłowe do raportu pilotowego o zanieczyszczeniach i skażeniach użytków rolnych, surowców żywnościowych i żywności w latach 1989-1992, tom I pod redakcją W. Michny, Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993.
- [16] Materiały źródłowe do raportu pilotowego o zanieczyszczeniach i skażeniach użytków rolnych, surowców żywnościowych i żywności w latach 1989-1992, tom II pod redakcją W. Michny, Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Komitet doradczy Monitoringu Żywności i Płodów Rolnych, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, wrzesień 1993.
- [17] Niemyska-Lukaszczuk J.: *Wpływ składu granulometrycznego i odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form metali ciężkich*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” nr 418, 1995.
- [18] Państwowy Monitoring Środowiska jako podstawowe źródło informacji o środowisku 2010, 2011.
- [19] Serwis internetowy, strona: <http://wuwuwu.com.pl/ekologia/agi4.htm>.
- [20] Serwis internetowy, strona: http://loonz.lbl.pl/pl/publikacje/k_cio3.html.
- [21] Serwis internetowy, strona: <http://www.smartel.rad.pleko.htm>.
- [22] Wiśniowska-Kielian B.: *Wpływ wilgotności gleby na pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Następny wpływ podwyższonej zawartości kadmu w glebie na zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich w roślinie; Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, zeszyt nr 472, część I, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000.
- [23] Woźniak L.: *Zależności pomiędzy zawartością toksycznych metali ciężkich w glebach i roślinach ekosystemów naturalnych i antropogenicznych; Toksyczne substancje w glebie – źródła i wpływ na rośliny*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, zeszyt nr 472, część I, Polska Akademia Nauk, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych, Warszawa 2000.
- [24] Zakrzewski S.F.: *Podstawy toksykologii środowiska*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.