PRACA DOKTORSKA

Uniwersytet

Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wydział Medycyny Weterynaryjnej

Katedra Chorób Wewnętrznych z Kliniką

„Ocena narażenia psów z powiatów iławskiego i nowomiejskiego (województwo warmińsko-mazurskie) na wybrane pierwiastki szkodliwe przy użyciu analizy próbek sierści.”

“Assessment of canine exposure to selected toxic elements based on hair sample analysis in dogs from the Iława and Nowe Miasto counties (Warmia and Mazury Voivodeship).”

lek. wet. Wioleta Sowińska

Promotor:

dr hab. Liliana Rytel, prof. UWM

Olsztyn 2026

Podziękowania

Niniejszą pracę dedykuję mojemu Synowi — z nadzieją, że zawsze będzie odważnie dążył do stawania się lepszym człowiekiem i nigdy nie tracił wiary w siebie, nawet w obliczu trudności.

Szczególne podziękowania kieruję do moich Rodziców za ich nieustanne wsparcie, cierpliwość i wiarę we mnie na każdym etapie tej drogi.

Dziękuję mojej Przyjaciółce Lilianie za zrozumienie i motywację, które miały dla mnie ogromne znaczenie.

Dziękuję Przemkowi — za obecność i ciepło, którymi dodawał mi sił wtedy, gdy najbardziej ich potrzebowałam.

Streszczenie

Zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi stanowi poważne wyzwanie w toksykologii środowiskowej, a także w ochronie zdrowia publicznego i weterynaryjnego. Pierwiastki takie jak arsen, kadm, ołów, rtęć, nikiel i chrom charakteryzują się wysoką trwałością i silną tendencją do bioakumulacji. Ich obecność w środowisku wynika zarówno z procesów naturalnych, jak i, przede wszystkim, z działalności antropogenicznej, w tym industrializacji, transportu, spalania paliw kopalnych i intensywnego rolnictwa. W konsekwencji pierwiastki te kumulują się w glebie, wodzie i powietrzu, przedostając się do organizmów ludzi i zwierząt.

Metale ciężkie wywierają wielokierunkowe działanie toksyczne, wpływając na układ nerwowy, hormonalny, odpornościowy i rozrodczy, a także na narządy wewnętrzne, takie jak wątroba i nerki. Wiele z nich wykazuje również właściwości rakotwórcze i genotoksyczne. Ze względu na ich kumulacyjny charakter, nawet niewielkie, długotrwałe narażenie na ich działanie może powodować poważne negatywne skutki zdrowotne.

Psy stanowią cenny model w badaniach biomonitoringowych, ponieważ żyją w tym samym środowisku co ludzie i są narażone na podobne zanieczyszczenia. Ich reakcje fizjologiczne mogą zatem służyć jako wskaźniki zanieczyszczenia środowiska i wspomagać ocenę ryzyka środowiskowego.

Sierść psów jest coraz częściej wykorzystywana jako matryca biologiczna, ponieważ umożliwia ocenę długotrwałego narażenia, w przeciwieństwie do krwi czy moczu, które odzwierciedlają krótkotrwałe wahania. Jej zalety to nieinwazyjne pobieranie próbek, łatwość ich pobrania oraz możliwość przechowywania bez konieczności stosowania specjalistycznych warunków.

Celem niniejszej pracy była ocena narażenia psów z powiatów iławskiego i nowomiejskiego (woj. warmińsko-mazurskie) na wybrane metale ciężkie (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg) na podstawie ich stężeń we włosach oraz ocena wpływu wybranych czynników biologicznych i środowiskowych.

Badaniem objęto 100 psów różnych ras, płci i wieku (0,5–17,5 roku), pochodzących zarówno ze środowiska miejskiego, jak i wiejskiego. Próbki sierści pobrano z okolicy brzucha. Materiał poddano trawieniu wspomaganemu mikrofalami i analizowano metodą ICP-OES.

Wykryto wszystkie analizowane metale, co potwierdza narażenie środowiskowe. Średnie stężenia wynosiły: As – 0,037 µg/g, Cr – 0,412 µg/g, Cd – 0,017 µg/g, Ni – 0,564 µg/g, Pb – 0,508 µg/g i Hg – 0,100 µg/g. Największą zmienność zaobserwowano dla niklu, natomiast najmniejszą dla arsenu.

Wyniki wskazują, że nawet na obszarach o stosunkowo niskim poziomie uprzemysłowienia zwierzęta pozostają narażone na metale ciężkie, prawdopodobnie ze względu na rozproszone źródła, takie jak emisje z ruchu drogowego, ogrzewanie domowe, praktyki rolnicze oraz zanieczyszczona pasza i woda.

Sierść okazała się cennym materiałem do oceny długotrwałego narażenia, pomimo ograniczeń związanych z potencjalnym zanieczyszczeniem zewnętrznym. Odkrycia te poszerzają aktualną wiedzę na temat narażenia psów na metale ciężkie w Polsce i potwierdzają przydatność analizy sierści w monitoringu środowiska i praktyce weterynaryjnej.

Abstract

Environmental contamination by heavy metals constitutes a major challenge in environmental toxicology, as well as in public and veterinary health. Elements such as arsenic, cadmium, lead, mercury, nickel, and chromium are characterized by high persistence and a strong tendency to bioaccumulate. Their presence in the environment results from both natural processes and, predominantly, anthropogenic activities, including industrialization, transport, fossil fuel combustion, and intensive agriculture. Consequently, these elements accumulate in soil, water, and air, entering the bodies of humans and animals.

Heavy metals exert multidirectional toxic effects, affecting the nervous, endocrine, immune, and reproductive systems, as well as vital organs such as the liver and kidneys. Many also demonstrate carcinogenic and genotoxic properties. Due to their cumulative nature, even low-level, long-term exposure may result in significant adverse health effects.

Dogs constitute a valuable model in biomonitoring studies, as they share the human environment and are exposed to similar contaminants. Their physiological responses may therefore serve as indicators of environmental pollution and support environmental risk assessment.

Canine hair is increasingly applied as a biological matrix, as it enables the evaluation of long-term exposure, in contrast to blood or urine, which reflect short-term fluctuations. Its advantages include non-invasive sampling, ease of collection, and the possibility of storage without specialized conditions.

The aim of this study was to assess the exposure of dogs from the Iława and Nowe Miasto counties (Warmian-Masurian Voivodeship) to selected heavy metals (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg) based on their concentrations in hair, and to evaluate the influence of selected biological and environmental factors.

The study included 100 dogs of various breeds, sexes, and ages (0.5–17.5 years), originating from both urban and rural environments. Hair samples were collected from the abdominal region. The material was subjected to microwave-assisted digestion and analyzed using ICP-OES.

All analyzed metals were detected, confirming environmental exposure. Mean concentrations were: As—0.037 µg/g, Cr—0.412 µg/g, Cd—0.017 µg/g, Ni—0.564 µg/g, Pb—0.508 µg/g, and Hg—0.100 µg/g. The greatest variability was observed for nickel, whereas arsenic showed the lowest variation.

The results indicate that even in areas with relatively low levels of industrialization, animals remain exposed to heavy metals, likely due to diffuse sources such as traffic emissions, domestic heating, agricultural practices, and contaminated feed and water.

Hair proved to be a valuable matrix for assessing long-term exposure, despite limitations related to potential external contamination. The findings expand current knowledge on heavy metal exposure in dogs in Poland and confirm the applicability of hair analysis in environmental monitoring and veterinary practice.

SPIS TREŚCI

Strona tytułowa……..……1

Podziękowania……..……..2

Streszczenie……..……...3

Abstract……..…….5

Spis treści……..……...7

Spis tabel……..……9

Spis rycin……....11

1. Wstęp……....13

1.1. Metal ciężkie – definicja i kontrowersje……..13

1.2. Źródła występowania metali ciężkich w środowisku naturalnym……...14

1.3. Właściwości toksyczne metali ciężkich……...16

1.4. Psy w badaniach dotyczących metali ciężkich…….18

1.5. Próbki włosów jako matryca w badaniach toksykologicznych……22

1.6. Próbki sierści jako matryca w badaniach dotyczących stopnia narażenia psów na metale ciężkie……....27

1.7. Badania dotyczące narażenia psów na metale ciężkie w Polsce……..29

1.8. Znaczenie niniejszych badań……30

2. Cele badań……31

3. Materiały i metody……...32

3.1. Zwierzęta włączone do badań i pobieranie próbek……..32

3.2. Przygotowanie próbek…….37

3.3. Analiza próbek…….37

3.4. Analiza statystyczna……...38

4. Wyniki……..40

4.1. Stężenia metali ciężkich w próbkach sierści i korelacje między nimi……40

4.2. Stężenie metali ciężkich w próbkach włosów u zwierząt różnej płci……..48
4.3. Stężenie metali ciężkich w próbkach sierści u psów w różnym wieku……51
4.4. Stężenie metali ciężkich w próbkach sierści u psów żyjących na różnych obszarach……...55
4.5. Korelacje pomiędzy stężeniami metali ciężkich w próbkach sierści a wielkością (wysokością w kłębie) i wagą psów……..65
5. Dyskusja……...70
5.1. Porównanie wyników niniejszych badań z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi metali ciężkich w sierści psów…….70
5.2. Trudności w porównaniu poziomów metali ciężkich obserwowanych w próbkach sierści i innych matrycach……..74
5.3. Wyniki niniejszych badań a wcześniejsze obserwacje dotyczące ekspozycji psów na metale ciężkie w Polsce…….76
5.4. Wyniki niniejszych badań a wcześniejsze obserwacje dotyczące poziomów metali ciężkich we włosach ludzi i sierści zwierząt w Polsce……78
5.5. Poziomy metali ciężkich w próbkach sierści a płeć zwierząt……82
5.6. Poziomy metali ciężkich w próbkach sierści a wiek zwierząt……..84
5.7. Różnice w poziomach metali ciężkich w sierści psów z różnych obszarów objętych niniejszymi badaniami……...86
5.8. Poziomy metali ciężkich w sierści psów a wielkość i waga zwierząt……..88
5.9. Poziomy metali ciężkich w sierści psów a status zdrowotny zwierząt…….89
5.10. Podsumowanie…….90
6. Wnioski……92
7. Piśmiennictwo……..95

Spis tabel

Tabela 1
Działanie toksyczne wybranych metali ciężkich u psów według dotychczasowych badań

Tabela 2
Dotychczasowe badania dotyczące średniego stężenia (µg/g) ±SD metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem w sierści psów.

Tabela 3
Charakterystyka psów objętych niniejszymi badaniami (kolor zielony – psy z powiatu nowomiejskiego; kolor niebieski – psy z powiatu iławskiego)

Tabela 4
Charakterystyka miast, w których mieszkały psy włączone do badań

Tabela 5
Interpretacja współczynnika rho-Spearmana użyta w niniejszych badaniach

Tabela 6
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w poszczególnych próbkach sierści psów objętych niniejszym badaniem

Tabela 7
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów i częstotliwość ich występowania (%) – wyniki zbiorcze

Tabela 8
Współczynniki korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali w próbkach sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie).

Tabela 9
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów w zależności od płci

Tabela 10
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów w różnym wieku

Tabela 11
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów żyjących na terenach miejskich i wiejskich

Tabela 12
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów z powiatu nowomiejskiego i powiatu iławskiego

Tabela 13
Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów zamieszkujących poszczególne miasta

Tabela 14
Współczynniki korelacji pomiędzy wysokością psów w kłębie a stężeniami poszczególnych metali ciężkich w ich sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie)

Tabela 15
Współczynniki korelacji pomiędzy wagą psów a stężeniami poszczególnych metali ciężkich w ich sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie)

Tabela 16
Poziomy metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem we włosach ludzi i sierści zwierząt w Polsce (w µg/g) wg wcześniejszych badań

Spis rycin

Ryc. 1
Układ okresowy pierwiastków z zaznaczonymi pierwiastkami zaliczanymi do metali ciężkich

Ryc. 2
Główne źródła metali ciężkich w środowisku naturalnym

Ryc. 3
Główne źródła narażenia psów na metale ciężkie i drogi wnikania tych pierwiastków do organizmu

Ryc. 4
Zastosowanie wybranych matryc do oceny ekspozycji na metale ciężkie

Ryc. 5
Drogi wchłaniania metali ciężkich do wnętrza włosa i ich uwalniania

Ryc. 6
Obszar objęty niniejszym badaniem

Ryc. 7
Średnie stężenia (±SD) pierwiastków w próbkach sierści psów

Ryc. 8
Wykresy korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali

Ryc. 9
Wykresy korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali – c.d.

Ryc. 10
Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów różnej płci

Ryc. 11
Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych doświadczeniem w próbkach sierści psów różnej płci.

Ryc. 12
Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów w różnym wieku: 1) psy w wieku poniżej 3 lat; 2) psy w wieku 3-<6 lat; 3) psy w wieku od 6 do 10 lat: 4) psy w wieku powyżej 10 lat.

Ryc. 13
Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów różnych grup wiekowych: 1) psy w wieku

poniżej 3 lat; 2) psy w wieku 3-<6 lat; 3) psy w wieku od 6 do 10 lat: 4) psy w wieku powyżej 10 lat.

Ryc. 14
Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów zamieszkujących tereny miejskie (1) i tereny wiejskie (2).

Ryc. 15
Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów zamieszkujących tereny miejskie (1) i wiejskie (2).

Ryc. 16
Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów z powiatu nowomiejskiego (1) i iławskiego (2). Różnice istotne statystycznie oznaczono *

Ryc. 17
Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów z powiatu nowomiejskiego (1) i iławskiego (2)

Ryc. 18
Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów zamieszkujących Iławę (1), Lubawę (2) i Nowe Miasto Lubawskie (3).

Ryc. 19
Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach sierści psów zamieszkujących Iławę (1), Lubawę (2) i Nowe Miasto Lubawskie (3).

Ryc. 20
Wykresy korelacji pomiędzy wysokością psów w kłębie a stężeniami badanych metali ciężkich w próbkach sierści

Ryc. 21
Wykresy korelacji pomiędzy wagą psów, a stężeniami badanych metali ciężkich w próbkach sierści

Ryc. 22.
Porównanie wyników niniejszych badań z wynikami wcześniejszych wybranych prac dotyczących stężenia metali ciężkich w sierści psów (µg/g) z zaznaczeniem lokalizacji pobierania próbek

Ryc. 23
Porównanie wyników niniejszej pracy z wcześniejszymi badaniami dotyczącymi narażenia psów na metale ciężkie w Polsce z zaznaczeniem lokalizacji pobierania próbek (N - liczba próbek)

1. Wstęp

1.1. Metale ciężkie – definicja i kontrowersje

Termin „metale ciężkie" jest powszechnie używany w toksykologii i naukach pokrewnych, zarówno w publikacjach naukowych, jak i w opracowaniach popularnonaukowych dotyczących wielu dziedzin, takich jak między innymi ekologia, chemia, zanieczyszczenie środowiska, przemysł, medycyna, rolnictwo czy kosmetologia. Jednakże, jest to definicja bardzo nieprecyzyjna. Pod względem chemicznym za metale ciężkie uznawane są pierwiastki należące do metali, charakteryzujące się wysoką gęstością (ponad 5 g/cm3 lub pięć razy większą od wody) (Hawkes, 1997), ale inne źródła podają mniejszą lub większą wartość graniczną, od której dany pierwiastek można zaliczyć do omawianej grupy (od ponad 3.5 g/cm3 do ponad 7 g/cm3. (Duffus, 2002; Jomova i in., 2025). Inne definicje chemiczne dotyczące klasyfikacji metali ciężkich opierają się na masie atomowej i/lub liczbie atomowej, a co za tym idzie umiejscowieniu w układzie okresowym pierwiastków. Za metale ciężkie uznaje się w związku z tym pierwiastki znajdujące się w grupach układu okresowego od 3 do 16 i mają okres 4 lub wyższy (Hawkes, 1997; Pourret i in., 2021). Co ciekawe, niejednokrotnie do grupy metali ciężkich zaliczane są metaloidy czyli półmetale (np. arsen), które są obecne w środowisku (głównie w wyniku działalności człowieka) i wykazują silne toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe (Morgan, 1999; Duffus, 2002; Kaur i in., 2011).

Definicja metali ciężkich jest na tyle niejednoznaczna, że Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) stwierdziła, że termin „metale ciężkie" jest „bezsensowny i mylący", i zaleciła używanie pojęcia „metale toksyczne" zamiast „metale ciężkie" (Duffus, 2002). Jednakże, mimo tych kontrowersji pojęcie „metale ciężkie" nie tylko nie zostało wyparte z literatury naukowej dotyczącej toksykologii, medycyny i ochrony środowiska, ale w ostatnich latach stało się jeszcze częściej używane (Pourret i in. 2021). Pourret i in. (2021) wykazali mianowicie, iż w roku 2000 odsetek prac naukowych opublikowanych na całym świecie używających terminu metale ciężkie w tytule wynosił 0.074%, a w roku 2020 był wyraźnie wyższy i osiągnął

poziom 0.163% (w bazie Scopus w roku 2020 liczba takich artykułów wyniosła ponad 4000 i niejednokrotnie były one publikowane w prestiżowych czasopismach o wysokim współczynniku wpływu – IF). Dlatego, mimo wyżej wymienionych kontrowersji, w niniejszym opracowaniu zdecydowano się używać terminu „metale ciężkie". Pierwiastki zaliczane zwykle do metali ciężkich (Pourret i in., 2021; Angon i in., 2024) przedstawiono na Ryc. 1.

Ryc. 1 Układ okresowy pierwiastków z zaznaczonymi pierwiastkami zaliczanymi do metali ciężkich

H																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

1.2. Źródła występowania metali ciężkich w środowisku naturalnym

Metale ciężkie to pierwiastki powszechnie występujące w środowisku naturalnym, których obecność stwierdzono na wszystkich kontynentach (Beltcheva i in., 2011; Tchounwou i in., 2012). Występują w wodach morskich i śródlądowych, glebie, powietrzu i roślinach (Tchounwou i in., 2012; Manyiwa i in., 2021; Botle i in., 2023). Należy podkreślić, iż metale ciężkie są naturalnymi składnikami skorupy ziemskiej, skąd

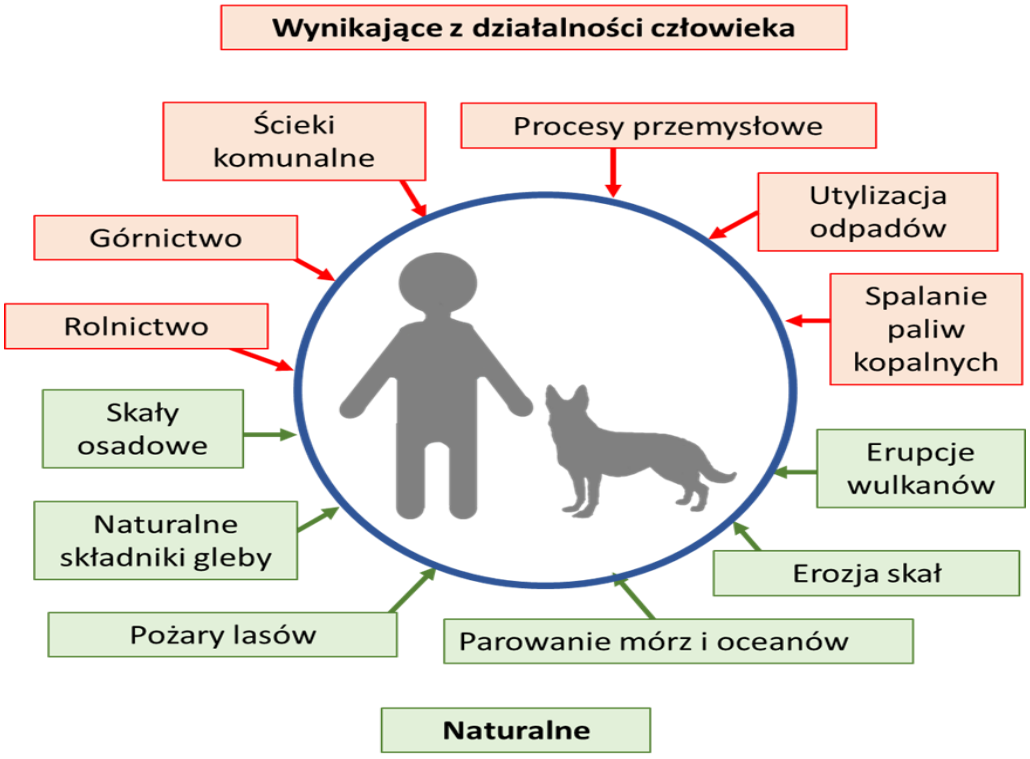
przenikają do środowiska w sposób naturalny (Tchounwou i in., 2012). Takimi naturalnymi źródłami metali ciężkich są np. erupcje wulkanów, wietrzenie skał oraz zjawiska atmosferyczne, takie jak np. parowanie wód morskich (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024; Carrera-Beltrán i in., 2024). Naturalnie metale ciężkie występują też w glebie czy wodach powierzchniowych (wypłukiwane ze skał) (de Anda i in., 2019; Angon i in., 2024.) Stosunkowo duże ilości metali ciężkich przenikają do atmosfery podczas pożarów lasów, nawet tych inicjowanych przez zjawiska naturalne (np. uderzenie pioruna) (Rao i Parsai, 2025). Jednakże, ilości metali ciężkich przenikające do środowiska na skutek zjawisk naturalnych są zwykle niewielkie. Oczywiście od tej reguły istnieją wyjątki, jak np. wspomniane już pożary rozległych obszarów leśnych, silne erupcje wulkanów czy duża zwartość metali w pewnych okolicach wynikająca z budowy geologicznej (Liu i in., 2023; Carrera-Beltrán i in., 2024; Rao i Parsai, 2025) .

Znacznie większe ilości metali ciężkich, które mają szczególne znaczenie w toksykologii dostają się do środowiska na skutek działalności człowieka (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024). W pierwszym rzędzie należy tu wymienić działalność przemysłową (głównie przemysł ciężki, hutniczy i maszynowy), ale także spalanie paliw kopalnych w elektrowniach, spaliny samochodowe, ścieki komunalne (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024). Przenikanie metali ciężkich do środowiska związane jest także z rolnictwem, co wynika z powszechnego używania nawozów i środków ochrony roślin, a także stosowania wody odzyskiwanej ze ścieków do nawadniania pól (Nacke i in., 2013; Angon i in., 2024). Ważnym źródłem metali ciężkich w środowisku jest także utylizacja odpadów (zwłaszcza spalarnie śmieci), ruch samochodowy oraz przenikanie metali ciężkich do środowiska z przedmiotów codziennego użytku, farb i lakierów, czy nawet dym tytoniowy i dym pochodzący z ogrzewania gospodarstw domowych paliwem stałym (węgiel, drewno, brykiet) (Abramov i in., 2018; Li i in., 2018; Kuklová i in., 2022). W zawiązku z tym dotychczasowe badania jasno wykazały, iż zawartość metali ciężkich w środowisku naturalnym jest bardzo zróżnicowana w różnych rejonach świata i zależy głównie od stopnia urbanizacji i industrializacji, a na terenach wiejskich od stopnia rozwoju rolnictwa (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024). Główne źródła metali ciężkich w środowisku przedstawiono na Ryc. 2.

1.3. Właściwości toksyczne metali ciężkich

Metale ciężkie są grupą bardzo zróżnicowaną pod względem toksyczności i negatywnego wpływu na organizmu żywe. Niektóre z nich, jak na przykład miedź (Cu), cynk (Zn), kobalt (Co) czy chrom (Cr) należą do mikroelementów, które w niewielkich ilościach (zwykle poniżej 100 mg dziennie) są niezbędne organizmowi do prawidłowego funkcjonowania (Lynch, 2020; Angon i in., 2024). Pełnią różnorodne funkcje regulacyjne, transportowe i odpornościowe, a ich niedobór prowadzi do poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu (Lynch, 2020; Zohoori i Duckworth 2020). Z drugiej jednak strony mikroelementy stają się toksyczne, gdy w dużych ilościach, głównie na skutek działalności człowieka, znajdą się w środowisku naturalnym i przenikają do wnętrza organizmu (Schoofs i in., 2024; Wang i in., 2025). Drugą grupa metali ciężkich są pierwiastki, które nie są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, takie jak ołów (Pb), kadm (Cd) arsen (As) i rtęć (Hg). Te cztery pierwiastki charakteryzują się znacznym stopniem toksyczności nawet w stosunkowo małych dawkach i są uznawane za ekstremalnie niebezpieczne dla ludzi i zwierząt (Mansoor i in., 2021; Angon i in., 2024)

Ryc. 2 Główne źródła metali ciężkich w środowisku naturalnym



Metale ciężkie dostają się do organizmów ludzi i zwierząt głownie przez przewód pokarmowy z zanieczyszczonym pokarmem i wodą pitną (Angon i in., 2024). Innymi drogami wnikania metali ciężkich do wnętrza organizmu są drogi oddechowe i wchłanianie przez skórę (Jomova i in., 2025). W życiu płodowym może dojść do wnikania metali ciężkich przez łożysko (Gundacker i Hengstschläger, 2012; Grundeken i in., 2024). Metale ciężkie kumulują się w narządach wewnętrznych i wykazują wielokierunkowe działanie toksyczne (Jomova i in., 2025). Toksyczność metali ciężkich zależy od rodzaju metalu, dawki i długości trwania narażenia (zatrucie ostre lub przewlekłe) i stopnia kumulacji metalu w organizmie (Angon i in., 2024; Jomova i in., 2025). Duże znaczenie ma także stan zdrowia i wiek organizmu narażonego na działanie metali ciężkich. W przypadku ludzi wiadomo, że zarówno dzieci jak i osoby starsze są bardziej podatne na szkodliwe działanie metali ciężkich (Al. Osman i in., 2019; Mateo i in., 2023). Metale ciężkie oddziałują na wiele układów i narządów wewnętrznych, między innymi na układ nerwowy, rozrodczy, hormonalny i immunologiczny (Angon i in., 2024; Jomova i in., 2025). Zaburzają funkcjonowanie nerek, wątroby i serca (Lentini i in., 2017; Akbulut i in., 2022; Li i in., 2023). Wykazują działanie rakotwórcze, prozapalne, geno- i cytotoksyczne (Tchounwou i in., 2012; Aalami i in., 2022; Angon i in., 2024). Stwierdzono również, że większy stopień narażenia na metale ciężkie zwiększa ryzyko chorób neurodegeneracyjnych i demencji (Bakulski i in., 2020; Mateo i in., 2023), udarów mózgu (Yuan i in., 2025), zawału serca (Agarwal i in., 2011) i cukrzycy (zwłaszcza typu 2) (Javaid i in., 2021). Wcześniejsze badania opisują także związek pomiędzy narażeniem na metale ciężkie i otyłością, bezpłodnością i wadami rozwojowymi płodu (Ovayolu i in., 2020; Manouchehri i in., 2022; González-Domínguez i in., 2024). Potwierdzono także związek pomiędzy metalami ciężkimi a ryzykiem rozwoju zaburzeń poznawczych mogących prowadzić do autyzmu i zespołu nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi (ADHD) (Gu i in., 2025; Nehzomi i Shiranim 2025). Chroniczne narażenie na metale ciężkie może także sprzyjać wystąpieniu depresji, lęków i chorób psychicznych (Ayuso-Álvarez i in., 2019; Zhang i in., 2024). Z kolei ostre zatrucia metalami ciężkimi są stanem bezpośrednio zagrażającym życiu i objawiają się gwałtowną reakcją ze strony układu pokarmowego (biegunki, bóle brzucha, wymioty), układu nerwowego (drżenia, bóle głowy zaburzenia mowy i równowagi),

oddechowego (duszności, kaszel) i sercowo naczyniowego (arytmia) (Balali-Mood i in., 2021; Jomova i in., 2025).

1.4. Psy w badaniach dotyczących metali ciężkich

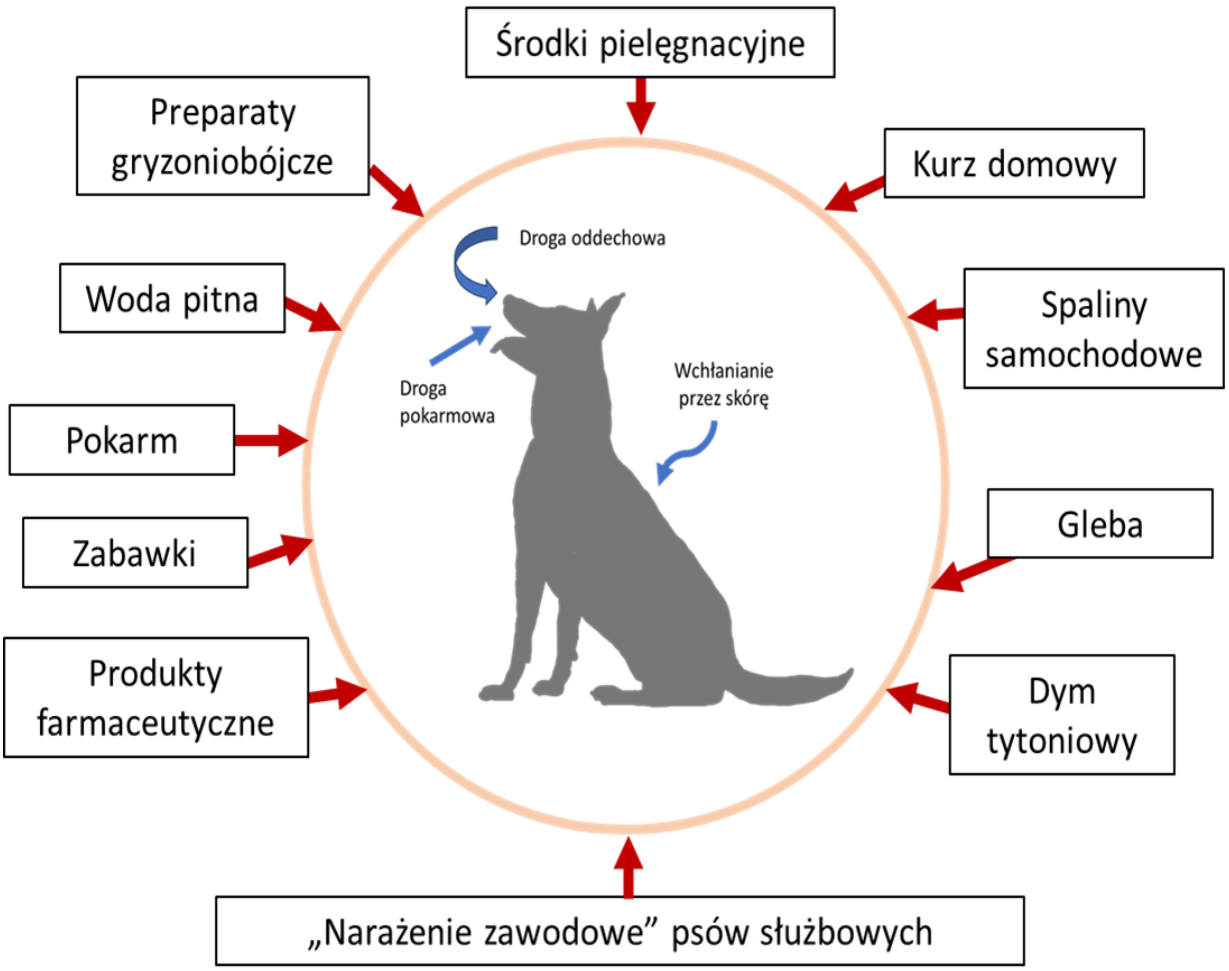
Psy żyją w bezpośredniej bliskości człowieka, a zatem zarówno ludzie, jak i psy są narażone na te same substancje szkodliwe znajdujące się w środowisku. Dlatego też badania narażenia psów na metale ciężkie i inne substancje zanieczyszczające środowisko oraz wpływ tych substancji na organizm psa mają duże znaczenie w toksykologii. Badania takie są nie tylko ważne z punktu widzenia medycyny weterynaryjnej, ale także ze względu na fakt, że psa uznaje się powszechnie za gatunek wskaźnikowy zwany także gatunkiem wartowniczym (z ang. *sentinel species*), jeśli chodzi o zanieczyszczenie środowiska człowieka metalami ciężkimi (Chen i in., 2023a,b; Defourny i in., 2024; Giugliano i in., 2024). Poziomy metali ciężkich w organizmie psa odzwierciedlają stopień zagrożenia związany z tymi pierwiastkami dla człowieka, w wyniku czego mogą służyć jako wskaźnik narażenia ludzi na działanie metali ciężkich zawartych w środowisku (Beck i in., 2020). Szczególnie wyraźnie ten fakt widoczny jest w przypadku ołowiu, którego poziom w surowicy krwi psa ściśle koreluje z poziomem obserwowanym w surowicy krwi ludzi, a zwłaszcza dzieci (Chen i in., 2023a, b). Poza tym drogi przenikania metali ciężkich do organizmu psa są takie same jak w przypadku człowieka (droga pokarmowa, układ oddechowy i przenikanie przez skórę), co zwiększa znaczenie psa jako gatunku wskaźnikowego (Beck i in., 2020).

Do wspólnych źródeł narażenia na metale ciężkie dla człowieka i psa należą zanieczyszczony pokarm i woda pitna. Dotychczasowe badania jednoznacznie udowodniły że komercyjna karma przeznaczona dla psów może być zanieczyszczona metalami ciężkimi (Kępińska-Pacelik i in., 2023; Ncube i in., 2024; Du i in., 2025). Także woda wodociągowa, która najczęściej jest podawana psom do picia może zawierać liczne metale ciężkie (Mo i Shen, 2024; Aleseyyed i in., 2025). Inne wspólne dla ludzi i psów źródła narażenia na metale ciężkie to kurz domowy, gleba i spaliny samochodowe (Kuklová i in., 2022; Wang i in., 2023). Oczywiście niektóre ważne dla człowieka źródła narażenia na metale ciężkie nie mają u psów znaczenia. Są to narażenia związane z pracą zawodową, stylem życia, spożyciem alkoholu czy aktywnym paleniem tytoniu. Jednakże, już bierne narażenie

na dym nikotynowy, o którym wiadomo, że również jest źródłem narażenia na metale ciężkie (Banjabi i in., 2022) może mieć u psów poważne konsekwencje zdrowotne związane z zawartymi w dymie metalami ciężkimi (Knapp i in., 2024). Natomiast, w pewnym sensie narażenie zawodowe dotyczy niewielkiej (w odniesieniu do całej populacji psów) grupy zwierząt służbowych, czyli np. psów ratowniczych, policyjnych czy pożarniczych, o których wiadomo, że mogą być bardziej narażone na metale ciężkie niż inne psy (Volkweis i in., 2025). Innymi źródłami narażenia psów na metale ciężkie mogą być kosmetyki i środki pielęgnacyjne dla zwierząt, zabawki, zanieczyszczone środki farmaceutyczne oraz dodatki paszowe (Bexfield i in., 2007; Pandey, 2013; Gymfi i in., 2024). Ważnym źródłem narażenia psów na metale ciężkie były przez wiele lat zjadane przez psy środki gryzoniobójcze, jednakże obecnie środki gryzoniobójcze zawierające metale ciężkie (głównie arsen) są używane coraz rzadziej (Selby i in., 1977). Główne źródła narażenia psów na metale ciężkie oraz drogi wnikania tych metali do organizmu przedstawiono na Ryc. 3.

Dotychczasowe badania, prowadzone już od pierwszej połowy XX wieku, wykazały obecność szerokiej gamy metali ciężkich w różnych tkankach, narządach i płynach ustrojowych psa. Najczęściej metale ciężkie obserwowane były u psów w matrycach typowych dla badań toksykologicznych czyli we krwi i moczu (Tam i in., 1979; Tomza-Marciniak i in., 2012; Sousa i in., 2013 Altinok-Yipel i in., 2022 Andersen-Ranberg i in/. 2025). Ponadto, obecność tych pierwiastków potwierdzono w mleku suk karmiących (Anderson i in., 1991).

Ryc. 3 Główne źródła narażenia psów na metale ciężkie i drogi wnikania tych pierwiastków do organizmu



Spośród narządów wewnętrznych psa do tej pory najczęściej pod względem obecności metali ciężkich badane były wątroba i nerki (Penumarthy i in., 1980; Neiger i Osweiler, 1992; Serpe i in., 2012; Cedeño i in., 2016; Eposito i in., 2019; Soe i in., 2024). Pierwiastki te były również obserwowane w mięśniach, mózgu, jajnikach, kościach, łożysku, płucach i węzłach chłonnych (Penumarthy i in., 1980; Hansen i in., 1989, 1995; Forte i in., 2023; Kuzukiran i in., 2024; Soe i in., 2024). Specyficzną matrycą do badań narażenia psów na metale ciężkie są próbki włosów (Gberindyer i in., 2022; Rosendahl i in., 2023. Zostaną one dokładnie omówione w podrozdziale 1.5 i 1.6. (wg bazy danych Pubmed).

Wiedza dotycząca niekorzystnego wpływu metali ciężkich na organizm psa jest mniej rozległa w porównaniu do wiadomości o stopniu narażenia na nie tego gatunku. Największa liczba eksperymentalnych publikacji naukowych przeprowadzonych *in vivo* na ten temat przypada (wg bazy danych Pubmed) na lata 1950-1990. Obecnie liczba takich badań jest niewielka. Współczesne obserwacje dotyczące szkodliwego wpływu metali ciężkich na organizm psa opierają się głównie na eksperymentach z wykorzystaniem hodowli komórkowych lub obserwacjach epidemiologicznych. Powodem takiego stanu rzeczy jest prawdopodobnie fakt, że pies obecnie nie jest traktowany jako gatunek eksperymentalny, a jego wykorzystanie w eksperymentach jest ograniczane przez Komisje Bioetyczne i ustawy o ochronie zwierząt wielu krajów do minimum (Humane Society of the United States, 2021). Badania wykazały, iż toksyczność metali ciężkich u psów zależy od rodzaju pierwiastka, stopnia i długości trwania narażenia oraz wieku i rasy zwierzęcia (Mert i in., 2008; Pandey, 2013). W przypadku ostrych zatruć metalami ciężkimi, które często mogą doprowadzić do śmierci, u psów dominują gwałtowne objawy ze strony układu pokarmowego, oddechowego, krążenia i nerwowego (Pandey, 2023). Działanie szkodliwe wynikające z zatruć przewlekłych dotyczy wielu narządów i układów wewnętrznych. W tabeli 1 przedstawiono wybrane dotychczasowe badania na temat przewlekłego narażenia psów na metale ciężkie.

Tabela 1 Działanie toksyczne wybranych metali ciężkich u psów według dotychczasowych badań

Pierwiastek	**Działanie toksyczne**	**Piśmiennictwo**
Arsen	Anemia, brak apetytu, zmiany w śledzionie, szpiku kostnym, mięśniach i jądrach	Byron i in., 1967
	Zmiany zapalne w układzie pokarmowym	Selby i in., 1977
	Upośledzenie funkcji wątroby	Neiger i Osweiler, 1989
	Działanie hemolityczne	Hatlelid i in. 1996
	Niekorzystny wpływ na serce	Lu i in., 2012
Chrom	Uszkodzenie nerek i wątroby	Anwar i in., 1961
	Uszkodzenie serca	Lu i in., 2019
	Udział w patogenezie padaczki	Rosendahl i in., 2023
Kadm	Zaburzenia wewnątrz- i zewnątrzwydzielniczych funkcji trzustki	Chowdhury i in., 1993
	Działanie genotoksyczne	Dönmez-Altuntas i in., 2006
	Stany zapalne dróg oddechowych	Bolognin i in., 2007
	Uszkodzenie nerek	Yeh i in., 2009

	Działanie nasilające apoptozę Zaburzenia w funkcjonowaniu układu rozrodczego Działanie rakotwórcze	Lee i in., 2011 Hsiao i in., 2022 Dell'Anno i in., 2025
Nikiel	Niekorzystny wpływ na układ odpornościowy Zmiany w układzie oddechowym	Benson i in., 1986 Nikula i Green, 2000
Ołów	Uszkodzenie nerek Niekorzystny wpływ na układ nerwowy Działanie genotoksyczne	King, 2016 Means, 2019 Yamazaki i in. 2021
Rtęć	Działanie neurotoksyczne Uszkodzenie nerek i wątroby	Mattson i in., 1981 Ferrar i in., 1994

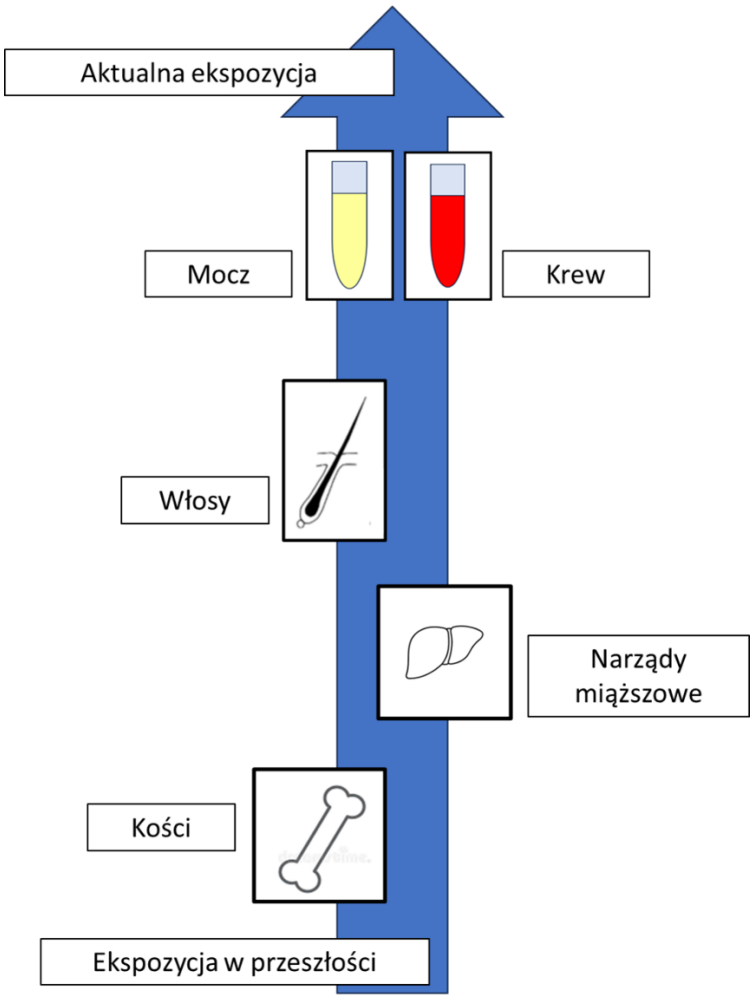
1.5. Próbki włosów jako matryca w badaniach toksykologicznych

Włosy jako próbki do badań toksykologicznych (w tym do analizy poziomów metali ciężkich) używane były już od połowy XIX wieku. Pierwszy opis wykrycia arsenu w próbkach włosów pobranych od osoby zmarłej 11 lat wcześniej został opublikowany przez niemieckiego chemika Feliksa Hoppe-Seylera w czasopiśmie naukowym „Praktisches Handbuch der gerichtlichen Medizin" w 1858 (Sachs, 1997). Znaczny rozwój tego typu badań nastąpił w latach 1950-1970 (Herman, 1954; Schroeder i Nason, 1969; Yamaguchi i in. 1971; Sachs, 1997). Mimo tak długiej historii, w ostatnim czasie znaczenie włosów jako matrycy w badaniach toksykologicznych i biomonitoringowych, zarówno dotyczących ludzi jak i zwierząt, wciąż wzrasta. Próbki włosów są wykorzystywane nie tylko do badań nad metalami ciężkimi (Ding i in.., 2025; García-Muñoz i in., 2025), ale także oceny ekspozycji na inne substancje antropogeniczne zanieczyszczające środowisko, takie jak bisfenol A, parabeny, ftalany, pestycydy i wiele innych (Crocoli i in., 2025; Gálvez-Ontiveros i in., 2025; Gonkowski i in., 2025). Tak duża popularność włosów w badaniach nad ekspozycją na substancje toksyczne zawarte w środowisku wynika z faktu, że matryca ta wydaje się najbardziej odpowiednia do określenia długotrwałego narażenia organizmów żywych na te substancje. Wiadomo mianowicie, że substancje toksyczne (w tym także metale ciężkie), wnikające do organizmu ze środowiska zewnętrznego mogą odkładać się we włosach, a ich poziom nie ulega krótkoterminowym wahaniom, jak ma to miejsce w przypadku innych matryc, popularnych w badaniach toksykologicznych, takich jak surowica krwi lub mocz (Zhang i in., 2023). Wnikanie i akumulacja metali ciężkich we włosach wynika z faktu, że keratyna włosów zawiera cysteinę, a jej grupa -SH

ma silne właściwości chelatujące i poprzez wiązania disiarczkowe tworzy z jonami metali trwałe kompleksy (McLean i in., 2009; Rendón-Lugo i in., 2017). Metale ciężkie zawarte we włosach są uwalniane dopiero po zniszczeniu struktury włosa. Próbki włosów wykazują więc niezwykłą stabilność, o czym może świadczyć chociażby fakt udanej analizy włosów Napoleona Bonaparte (zmarłego w 1821 r.) na obecność arsenu przeprowadzonej ponad 180 lat po śmierci cesarza Francuzów (Kintz i in., 2022).

Wcześniejsze badania wykazały, iż tzw. „okno ekspozycji" czyli możliwy do oznaczenia czas narażenia organizmu na substancje szkodliwe w przypadku analizy próbek włosów wynosi od kilku tygodni nawet do kilku lat (zwykle 4 -5 tygodni) (Brudecki i in., 2024). Długość możliwego do zbadania czasu ekspozycji zależy od długości badanych włosów i odległości fragmentu badanego włosa od powierzchni skóry. Powszechnie przyjmuje się, że włosy (u ludzi) rosną w sposób ciągły w tempie około 1 cm na miesiąc i dzięki temu stanowią swoiste „archiwum" historii narażenia organizmu na substancje toksyczne (Rendón-Lugo i in. 2017). U psów przybliżona średnia szybkość wzrostu sierści wynosi 1,25 cm / miesiąc (Diaz i in, 2024). W przypadku badania próbek krwi lub moczu „okno ekspozycji" wynosi zaledwie od kilku godzin do kilkunastu dni. Oznacza to, że włosy są idealną matrycą do badań nad długotrwałym narażeniem ludzi i zwierząt na metale ciężkie. Oczywiście długotrwałe narażenie na metale ciężkie może być również określone poprzez analizę ich poziomów w kościach i narządach wewnętrznych (najczęściej wykorzystuje się w tym celu wątrobę i/lub nerki) (Lazarus i in., 2018; Malara i in., 2023; Mushtaq i in., 2024). Jednakże, pobranie takich próbek charakteryzuje się wysokim stopniem inwazyjności i najczęściej wykonuje się je po śmierci, co sprawia, że są one w zasadzie bezużyteczne w badaniach monitoringowych dotyczących ludzi i zwierząt towarzyszących oraz w badaniach nad zmianami w stopniu narażenia tych samych osobników w różnych okresach czasu. Zastosowanie wybranych matryc do badań długo- i krótkotrwałego narażenia na metale ciężkie oraz do analizy narażenia mającego miejsce w przeszłości i narażenia aktualnego przedstawiono na rycinie 4.

Ryc. 4 Zastosowanie wybranych matryc do oceny ekspozycji na metale ciężkie

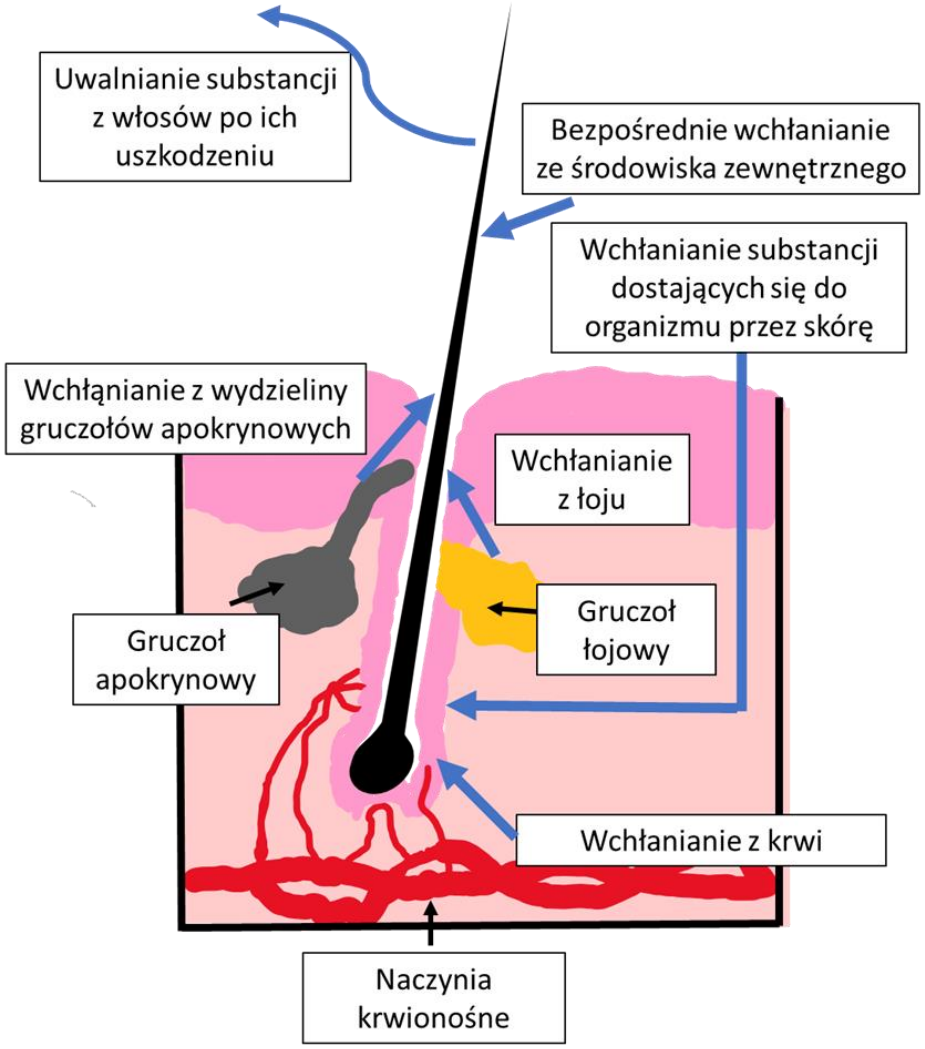


Dużą zaletą próbek włosów jako matrycy w badaniach toksykologicznych jest również fakt, że próbki takie można pobierać całkowicie bezstresowo i bezboleśnie (co jest ważne szczególnie u zwierząt agresywnych lub płochliwych), są łatwe do właściwie bez kosztowego przechowywania i taniego transportu (w temperaturze pokojowej), a także są materiałem biologicznym mniej niebezpiecznym pod względem możliwości zakażenia niż np. krew. Ponadto, jak już wspomniano powyżej, próbki włosów odznaczają się dużą stabilnością i mogą być pobierane do badań długo po śmierci organizmu, co sprawia, że mogą być użyteczne w historyczno-toksykologicznych badaniach nad narażeniem organizmów na metale ciężkie w dawnych czasach (Brudecki i in., 2024).

Należy jednak pamiętać, iż włosy stanowią specyficzną matrycę. Poziom substancji w próbkach włosów jest wypadkową kilku dróg przenikania (Zhang i in., 2023). Pierwszą z nich jest dyfuzja z naczyń krwionośnych zaopatrujących mieszek włosowy przez cebulkę włosa. Inne drogi związane są z przenikaniem substancji do włosa poprzez gruczoły skórne (głównie łojowe i potowe) wraz z ich wydzielinami. W przypadku psów liczba gruczołów potowych (tzw. gruczoły epokrynowe) jest niewielka, a ich występowanie ogranicza się do okolicy między opuszkowej łap. Na całym ciele występują natomiast gruczoły apokrynowe produkujące głównie feromony (Sumena i in., 2024). Do wnętrza włosa mogą również wnikać substancje, które dostają się do wnętrza organizmu przez skórę. Wyżej wymienione drogi wchłaniania substancji do wnętrza włosa nazywane są ekspozycją wewnętrzną. Drugim komponentem jest tzw. ekspozycja zewnętrzna, która polega na wnikaniu substancji do włosów bezpośrednio ze środowiska zewnętrznego (Zhang i in., 2023). Brak możliwości określenia wielkości ekspozycji zewnętrznej i wewnętrznej wydaje się główną wadą próbek włosów podczas badań monitoringowych. Główne drogi wchłaniania substancji do wnętrza włosów oraz ich eliminacji u psów przedstawiono na rycinie 5.

Ponadto wykazano, że duży wpływ na stopień wchłaniania metali ciężkich (szczególnie w ekspozycji zewnętrznej) mają cechy morfologiczne włosów, a co za tym idzie poziom metali we wnętrzu włosa zależy od gatunku zwierzęcia (Rendón-Lugo i in., 2017). Fakt ten utrudnia badania porównawcze dotyczące stopnia narażenia różnych gatunków zwierząt na metale ciężkie przy pomocy analizy próbek włosów. Należy także podkreślić, że włosy jako matryca, w których dochodzi do trwałej akumulacji substancji przenikających ze środowiska nie są użyteczne w badaniach dotyczących krótkoterminowych zmian narażenia organizmu na czynniki środowiskowe.

Ryc. 5 Drogi wchłaniania metali ciężkich do wnętrza włosa i ich uwalniania



Mimo wymienionych powyżej wad, próbki włosów są powszechnie używane nie tylko do monitoringu poziomu metali ciężkich w organizmach ludzi i zwierząt (zarówno dzikich jak i domowych) (Perillo i in., 2021; Ali i in., 2023a; García-Muñoz i in. 2025), ale także do oceny wpływu różnych czynników zewnętrznych na poziom ekspozycji na metale ciężkie oraz korelacji pomiędzy poziomem metali ciężkich w organizmie a różnorodnymi stanami chorobowymi (Skalny i in., 2021; Sirinara i in., 2023; Ding i in., 2025).

1.6. Próbki sierści jako matryca w badaniach dotyczących stopnia narażenia psów na metale ciężkie

Mimo niewątpliwych zalet próbek sierści w badaniach dotyczących oceny narażenia organizmów żywych na metale ciężkie i wieloletniego, powszechnego używania tej matrycy u ludzi i zwierząt, już od lat 70-tych XX wieku (Zook i in., 1972; Levine i in., 1976), badania z tego zakresu dotyczące psów są stosunkowo mało liczne. Przegląd dotychczasowych badań dotyczących zawartości metali ciężkich w sierści psów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Dotychczasowe badania dotyczące średniego stężenia (µg/g) ±SD metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem w sierści psów.

Kraj/Region	**n**	**Badane metale ciężkie – średnie stężenie lub mediana (µg/g)**	**Piśmiennictwo**
Argentyna	31	Pb 0.721 ± 6.444	Fernández i in., 2021
Czechy	48	Oznaczano Hg w różnym odstępie czasu po podaniu szczepionki zawierającej thiomersal. Mediany wahały się od 0.023 to 0.033	Sedlackova i in., 2013
Dania	1	Hg 38.2 oraz 7.2 w zależności od czasu który upłynął od końca narażenia	Hansen i in., 1989
Finlandia	42	As 0.05 ± 0.08; Cd 0.01±0.01 µg/g; Cr 0.92 ± 0.50; Hg 0.17 ± 0.32; Ni 0.52 ± 1.09; Pb 0.17 ± 0.32	Rosendahl i in., 2023
Finlandia	16	Psy karmione karmą na bazie ryżu As 0.143±0.039 Psy karmione karmą bez dodatku ryżu As 0.086±0.024	Rosendahl i in., 2020
Francja	49	As 0.049± 0.044; Cd 0.022± 0.048; Hg 0.19 ± 0.29; Pb 0.487 ± 0.572	Lazarus i in., 2025
Grenlandia	20	Psy zaprzęgowe cywilne Hg 6.28 ± 3.68 Psy zaprzęgowe wojskowe Hg 2.25 ± 1.41	Andersen-Ranberg i in., 2025
Japonia	40	Cd 0.39±0.24; Pb 1.89±1.08	Hayashi i in., 1981
Japonia	34	Hg u psów 0.99, u suk 0.66 *	Sakai i in., 1995
Korea	204	Cd 0,07±0,13; Hg 0,66±0,35; Pb 1,02±0,05; Cr 2,41±0,28	Park i in., 2005
Nigeria	10	Cd 0.01 ± 0.03; Cr 3.92 ± 1.51; Ni 20.64 ± 1.54; Pb <LOD	Gberindyer i in., 2022
Portugalia	26	Hg u psów 0.177± 0.212, u suk 0.141 ± 0.102	Sousa i in., 2012
Rumunia	57	Ni 1,1; Pb 0,89; Cd 0,05; Hg 0,01*	Badea i in., 2025

Słowacja	40	Bratysława: As 0.11107 Cd 0,03809; Pb 0.72959* Koszyce: As 0.07987; Cd 0.02221; Pb 0.54249*	Kozak i in., 2002
Słowacja	131	Psy karmione karmą z dodatkiem ryb: Hg 0.0375** Psy karmione karmą bez dodatku ryb: Hg 0.0336**	Kral i in., 2015
USA	37	Pb 21±22	Zook i in., 1972
USA	9	Stężenie Pb u psa (n=1) żyjącego 50 m od huty złomu 472, u psa (n=1) żyjącego 700 m od huty 32, u psów żyjących ponad 6 km od huty (n=7) średnie stężenie 5	Levine i in., 1976
USA/Alaska	8	Psy karmione rybami: Hg 0.540 ± 0.111 Psy nie karmione rybami: Hg 0.059 ± 0.0076	Lieske i in., 2011
USA/ różne regiony, próbki zbierane w różnych okresach	97	Stężenie Hg w zależności od regionu od 0.037±0.014 do 10.908±3.028	Dunlap i in., 2007
Wielka Brytania	70	As 0.040** ; Cd 0.009**; Pb 0.18 **	Davies i in., 2017
Włochy, 3 regiony Kampanii	90	Region 1: As 0.51 ± 0.38; Cd 0.034 ± 0.023; Hg 20.67 ± 87.43; Pb 2.42 ± 14.09 Region 2: As 1.33 ± 0.76; Cd 0.005 ± 0.003; Hg 63.90 ± 235.46; Pb 0.34 ± 0.89 Region 3: As 1.20 ± 0.51; Cd 0.008 ± 0.008; Hg 0.74 ± 0.66; Pb 0.25 ± 0.19	Zaccaroni i in., 2014

*Autorzy przy średniej wartości nie podają odchylenia standardowego; **mediana autorzy nie podali średniego stężenia, n-liczba próbek; <LOD – poniżej progu oznaczalności

W dotychczasowych badaniach nie tylko określano narażenie ogólnej populacji psów na metale ciężkie poprzez analizę próbek sierści, ale także używano tej matrycy do określenia wpływu miejsca zamieszkania zwierząt (Dunlap i in., 2007; Zaccaroni i in., 2014), diety (Kral i in., 2015; Rosendahl i in., 2020), płci (Sakai i in., 1995) i podawania preparatów leczniczych (Sedlackova i in., 2013) na stopień narażenia psów na te pierwiastki. Jedno z badań polegało nawet na oznaczeniu poziomu rtęci w sierści psów pochodzących z wykopalisk i żyjących w VIII wieku n.e., u których nawiasem mówiąc średnie stężenie tego pierwiastka było stosunkowo wysokie i wynosiło 0.657± 0.273 µg/g (Dunlap i in., 2007). Dotychczasowe badania wykazały, że próbki sierści są odpowiednią matrycą do oceny długotrwałego narażenia psów na metale ciężkie. Tym niemniej wiedza

na temat zawartości tych pierwiastków w sierści psów i czynników, które na tę zawartość wpływają jest znacznie ograniczona w porównaniu do innych matryc stosowanych w toksykologii, takich jak próbki surowicy krwi, moczu czy narządy wewnętrzne.

1.7. Badania dotyczące narażenia psów na metale ciężkie w Polsce

Wiedza na temat narażenia psów w Polsce na metale ciężkie objęte niniejszym doświadczeniem jest bardzo ograniczona. Według bazy Pubmed jedynie kilka publikacji naukowych dotyczy tej tematyki, przeprowadzone na bardzo nielicznej grupie psów. Dwa badania dotyczą zawartości metali ciężkich w kościach psów z województwa zachodnio-pomorskiego (Szczecin i okolice) (Lanocha i in., 2012, 2013). W pierwszym z nich, przeprowadzonym na 26 psach określono poziom ołowiu, kadmu i rtęci w chrząstce stawu biodrowego oraz istocie gąbczastej i zbitej kości biodrowej (Lanocha i in., 2012). W chrząstce średni poziom ołowiu (±odchylenie standardowe) wynosił 1.90±2.17 mg/kg suchej masy, kadmu 0.09±0.06 mg/kg i rtęci 0.0071±0.0146 mg/kg. W istocie zbitej kości biodrowej wartości te przedstawiały się odpowiednio 1.54±1.62 mg/kg, 0.11±0.12 mg/kg i 0.0041±0.007 mg/kg, a w istocie gąbczastej 2.69±3.38 mg/kg, 0.09±0.07 mg/kg i 0.0037±0.0079 mg/kg (Lanocha i in., 2012). W drugim artykule Lanochy i in. (2013), przeprowadzonym na 24 psach, oznaczano poziom tych samych metali ciężkich w istocie zbitej (wraz z sąsiadującą z nią chrząstką) i gąbczastej kości biodrowej. Stwierdzono, że średnie stężenie ołowiu wynosi 2.829±3.490 mg/kg suchej masy w istocie zbitej i 1.55±1.71 mg/kg w istocie gąbczastej. Średnie stężenie kadmu wynosiło odpowiednio 0.105±0.067 mg/kg i 0.096±0.074 mg/kg, a rtęci 0.0020±0.0013 mg/kg i 0.0027±0.0022 mg/kg (Lanocha i in., 2013).

Kolejne badanie przeprowadzone również na psach ze Szczecina (48 zwierząt) dotyczy zawartości metali ciężkich w surowicy krwi. W badaniu tym wykazano, że średni poziom chromu wynosił 0.249±0.016 µg/ml, kadmu 0.309±0.048 µg/ml, ołowiu 0.489±0.065 µg/ml, niklu 0.207±0.013 µg/ml i arsenu 0.556±0.142 µg/ml (Tomza-Marciniak i in., 2012). Stwierdzono ponadto wyższy poziom metali ciężkich u psów mniejszych rozmiarów, ale nie zaobserwowano różnic w stężeniu metali ciężkich pomiędzy poziomem badanych pierwiastków a wiekiem i płcią zwierząt (Tomza-Marciniak i in. 2012). Jeżeli chodzi o poziom metali ciężkich w moczu psów w Polsce, to tematykę tę porusza badanie przeprowadzone na 12 psach z woj. kujawsko-pomorskiego, w którym

oznaczono poziomy arsenu całkowitego i arsenu trójwartościowego (As (III) (Cygan-Szczegielniak i Szczech, 2024). W badaniu tym stwierdzono niższy poziom arsenu całkowitego (13,43 µg/l) i As(III) (1.67 µg/l) u suk niż u psów (odpowiednio 18.45 µg/l i 2.92 µg/l).

W Polsce badano również zawartość metali ciężkich w różnego typu komercyjnie dostępnych karmach dla psów (45 próbek) (Kępińska-Pacelik i in., 2023). W badaniu tym w pięciu próbkach stwierdzono obecność ołowiu (w stężeniu od 0.0120 do 0.0462 mg/100 g suchej masy), natomiast nie stwierdzono obecności kadmu, chromu i niklu.

1.8. Znaczenie niniejszych badań

Należy zaznaczyć, iż do tej pory w Polsce nie badano długotrwałego narażenia psów na metale ciężkie przy pomocy analizy próbek sierści. Wszystkie wcześniejsze badania dotyczące poziomów tych pierwiastków u psów w naszym kraju przeprowadzane były na nielicznych grupach zwierząt oraz nie przeprowadzano dotychczas oceny narażenia psów na metale ciężkie w woj. warmińsko-mazurskim. Wybór terenu objętego badaniem nie jest przypadkowy, Większość dotychczasowych badań, zarówno przeprowadzonych w Polsce, jak i poza jej granicami, dotyczy narażenia na metale ciężkie psów zamieszkujących duże aglomeracje miejskie i/lub tereny wysoko uprzemysłowione (Tomza-Marciniak i in., 2012; Zaccaroni i in., 2014), a także specyficznych grup psów pracujących (np. pociągowych, ratowniczych) lub karmionych karmą na bazie ryb (Rosendahl i in., 2020; 2023; Volkweis i in., 2025). Niewiele jest natomiast informacji na temat stopnia narażenia psów zamieszkujących tereny o stosunkowo niewielkim stopni urbanizacji i uprzemysłowienia, na których nie ma dużych hut metali i przemysłu ciężkiego, a takimi właśnie terenami są powiaty iławski i nowomiejski w województwie warmińsko-mazurskim objęte niniejszym badaniem. Uzyskane w przebiegu niniejszych badań wyniki przyczynią się do wzbogacenia wiedzy na temat długotrwałego narażenia psów na metale ciężkie i roli jakie te metale odgrywają we współczesnej toksykologii weterynaryjnej.

2. Cele badań

1. Ocena narażenia psów zamieszkujących powiat iławski i nowomiejski (woj. warmińsko-mazurskie) na wybrane metale ciężkie (arsen, kadm, chrom, rtęć, nikiel i ołów) poprzez analizę stężeń tych metali w próbkach sierści.

2. Ustalenie korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali ciężkich w próbkach sierści psów.

3. Odpowiedź na pytanie czy płeć zwierząt wpływa na poziomy metali ciężkich w próbkach sierści.

4. Ustalenie czy istnieją różnice w stężeniu metali ciężkich w próbkach sierści pomiędzy psami w różnym wieku.

5. Ocena wpływu miejsca zamieszkania zwierząt na poziomy metali ciężkich w próbkach sierści.

6. Ustalenie korelacji pomiędzy wielkością (wysokością w kłębie) i wagą psa a stężeniem metali ciężkich w próbkach sierści.

3. Materiały i metody

3.1. Zwierzęta włączone do badań i pobieranie próbek

Niniejszymi badaniami objęto 100 psów różnych ras, obu płci (58 psów i 42 suki) w wieku od 0.5 roku do 17.5 roku. Do badań włączono zwierzęta żyjące w powiecie iławskim i powiecie nowomiejskim województwa warmińsko-mazurskiego. Charakterystykę psów objętych niniejszymi badaniami przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3 Charakterystyka psów objętych niniejszymi badaniami (kolor zielony – psy z powiatu nowomiejskiego; kolor niebieski – psy z powiatu iławskiego)

Nr	płeć	Wiek (lata)	Waga (kg)	Wysokość w kłębie (cm)	miejscowość	Rasa
1	pies	3	13	39	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	angielski cocker spaniel
2	pies	4.5	6.2	26	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Shih-Tzu
3	suka	4	2.2	20	Wieś	York Shire Terrier
4	suka	1	4	24	Wieś	Mieszaniec
5	pies	17.5	13	38	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	cocker spaniel
6	pies	1.5	2.8	20	Wieś	Maltanase mana
7	pies	13	27	43	Wieś	Mieszaniec
8	pies	10	7.5	28	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Lhasa Apso
9	suka	5	9	28	Wieś	West Highland White Terrier
10	pies	13	2.5	21	Wieś	Maltanase mana
11	suka	3.5	6.5	33	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Fox terier
12	suka	13.5	2	21	Wieś	York Shire Terrier
13	pies	3	3.5	24	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanese mana
14	pies	0.5	2.2	23	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
15	suka	5	3.2	23	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanase mana
16	pies	1.5	11	30	Wieś	Mieszaniec
17	pies	15	10.5	30	Wieś	West Highland White Terrier
18	suka	6	2	19	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
19	suka	7	15	26	Wieś	Mieszaniec
20	suka	2,5	7.5	27	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Shih-Tzu
21	suka	5	7	35	Wieś	Jagdterier
22	pies	1	2.1	22	Wieś	York Shire Terrier
23	pies	12	3.4	22	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
24	pies	7	3	23	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier

25	suka	12.5	2.5	22	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
26	pies	5	2.8	23	Wieś	York Shire Terrier
27	pies	12.5	4	22	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
28	pies	13	30	60	Wieś	Mieszaniec
29	pies	9	3.2	25	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
30	suka	3	2.1	20	wieś	Maltanase mana
31	suka	5	5	30	wieś	Sznaucer miniaturowy
32	suka	11	2.5	24	wieś	York Shire Terrier
33	pies	6.5	7	34	wieś	Sznaucer miniaturowy
34	suka	8	30	55	wieś	Mieszaniec
35	suka	7	3	22	Miasto (Lubawa)	York Shire Terrier
36	pies	2	20	48	wieś	Mieszaniec
37	pies	7	3	25	Miasto (Lubawa)	York Shire Terrier
38	suka	3	7	25	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
39	pies	12.5	8	26	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
40	pies	13	8	26	Miasto (Lubawa)	Mieszaniec
41	suka	3.5	6.8	28	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
42	pies	2	14	28	wieś	Mieszaniec
43	pies	10	2.8	23	wieś	York Shire Terrier
44	pies	1	5	20	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
45	pies	6	7	23	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
46	pies	3	2.2	22	Miasto (Iława)	York Shire Terrier
47	suka	5	2	21	Miasto (Iława)	York Shire Terrier
48	pies	9	27	38	Wieś	Mieszaniec
49	pies	4	3.1	22	Miasto (Lubawa)	Maltanase Mana
50	suka	1	4	26	Wieś	Sznaucer miniaturowy
51	pies	11	3	25	Miasto (Iława)	York Shire Terrier
52	suka	2.5	6	27	Miasto (Iława)	Shih-Tzu
53	pies	10	8	35	Miasto (Iława)	Fox-terier
54	pies	15.5	11	32	Miasto (Iława)	Sznaucer miniaturowy
55	suka	13	10	30	Miasto (Iława)	Sznaucer miniaturowy
56	pies	4	7	32	Miasto (Iława)	Sznaucer miniaturowy
57	suka	3	3	20	Miasto (Iława)	Maltanase Mana
58	pies	7.5	10	31	Wieś	West Highland White Terrier
59	pies	7.5	7	26	Miasto (Iława)	Shih-Tzu
60	pies	2	6.2	26	Miasto (Iława)	Shih-Tzu
61	suka	5	6.5	27	Miasto (Iława)	Shih-Tzu
62	pies	10	3.3	22	Wieś	York Shire Terrier
63	pies	10.5	2.8	22	Wieś	York Shire Terrier
64	pies	6	3.1	23	Wieś	York Shire Terrier
65	suka	11	2.5	19	Miasto (Iława)	York Shire Terrier
66	suka	10	2.6	20	Miasto (Iława)	Mieszaniec
67	pies	11	8.2	26	Wieś	Shih-Tzu
68	pies	7	3.9	24	Miasto (Iława)	Maltanase Mana
69	pies	1	5.5	25	Miasto (Iława)	Shih-Tzu
70	suka	10	9	28	Miasto (Iława)	West Highland White Terrier
71	pies	10	7	25	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu

72	pies	8	7.3	27	Miasto (Lubawa)	Shih-Tzu
73	suka	7	3.1	22	Wieś	Maltanase Mana
74	suka	4	8	34	Miasto (Lubawa)	Fox-terier
75	pies	15	2.9	22	Miasto (Lubawa)	York Shire Terrier
76	pies	7	1.8	15	Miasto (Lubawa)	Maltipoo
77	pies	8.5	20	41	Wieś	Mieszaniec
78	pies	2	3	23	Miasto (Lubawa)	Biewer Terrier
79	pies	16	2.7	21	Miasto (Lubawa)	York Shire Terrier
80	pies	13	5	31	Wieś	Sznaucer miniaturowy
81	suka	3	2.8	20	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanase Mana
82	pies	15	10	30	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	West Highland White Terrier
83	pies	7	45	65	Wieś	Mieszaniec
84	suka	7	17	30	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Mieszaniec
85	suka	11	4.8	33	Wieś	Sznaucer miniaturowy
86	suka	3	8	31	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Cavalier King Charles Spaniel
87	pies	3	2.9	20	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanese Mana
88	suka	8	2.3	18	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Biewer York
89	suka	4.5	16	39	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Angielski cocker spaniel
90	suka	1	1.8	19	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	York Shire Terrier
91	suka	4	3	21	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanase Mana
92	pies	5	3.5	22	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Maltanase Mana
93	pies	4	3	21	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Mieszaniec
94	suka	3.5	2	21	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Biewer York
95	pies	3	7.2	26	Miasto (Nowe Miasto Lubawskie)	Shih-Tzu
96	suka	3	6	31	Wieś	Sznaucer miniaturowy
97	suka	4	2.9	21	Wieś	Maltanase Mana
98	suka	10	25	37	Wieś	Mieszaniec
99	suka	7	3.2	22	Wieś	Maltanase Mana
100	pies	9	80	90	Wieś	Mieszaniec

` Wszystkie zwierzęta objęte badaniami były klinicznie zdrowe. Ponadto, według informacji uzyskanych od właścicieli wszystkie psy były zwierzętami większość dnia spędzającymi w domu, wychodzącymi na spacery od 3 do 7 razy dziennie, żywionymi karmami komercyjnymi, zarówno suchymi jak i mokrymi, oraz używającymi kosmetyków dla zwierząt co najmniej raz na dwa tygodnie. Psy objęte badaniem podzielono na 4 grupy wiekowe: 1) zwierzęta poniżej 3 lat, 2) psy w wieku od 3 do 6 lat, 3) psy w wieku od 6 do 10 lat oraz 4) zwierzęta w wieku powyżej 10 lat. Grupy te mają odzwierciedlenie w etapach życia psa. Pierwszy okres to okres wzrostu i dojrzewania do osiągnięcia wieku dorosłego. Okres drugi to zwierzęta dorosłe, ale zwykle aktywne i pełne energii. Po 6. roku życia (zwierzęta grupy trzeciej) zwierzęta stają się mniej aktywne, rozpoczynają się procesy

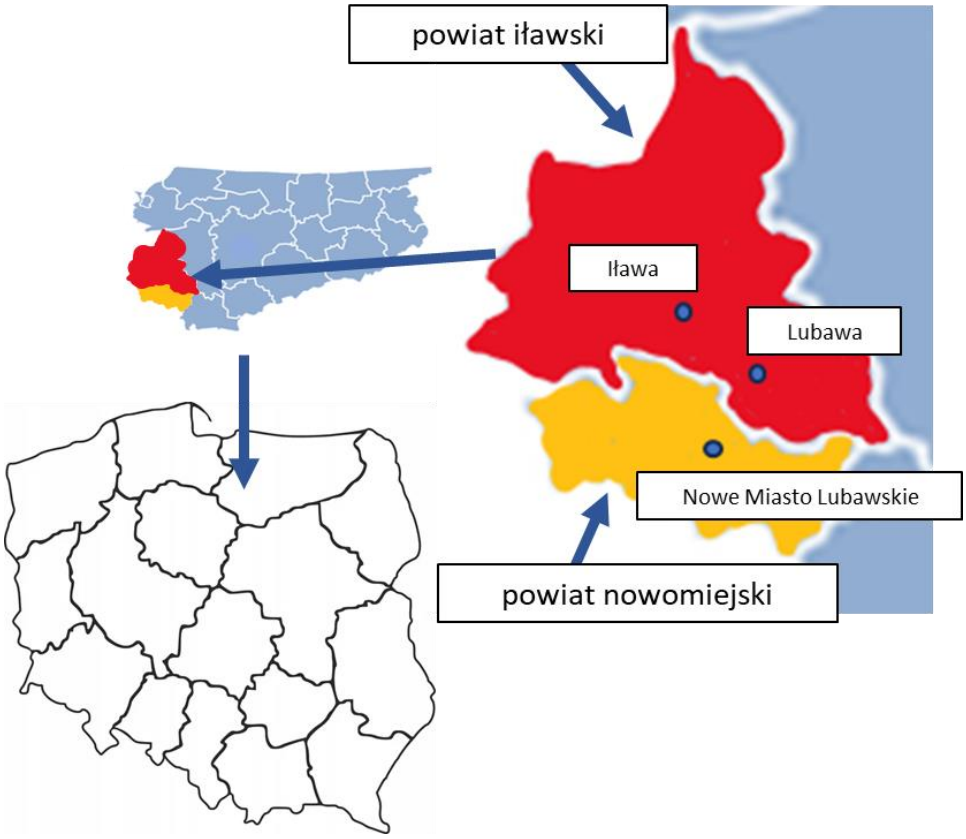
starzenia. Natomiast, zwierzęta grupy 4 to zwierzęta, u których procesy starzenia są mocno nasilone.

Do badań włączono zwierzęta z powiatu iławskiego i powiatu nowomiejskiego w województwie warmińsko-mazurskim, które charakteryzują się stosunkowo niewielkim stopniem urbanizacji i uprzemysłowienia. Badaniami objęto psy żyjące zarówno na terenach wiejskich (kilkanaście miejscowości) jak i w miastach (trzy miasta: Iława, Lubawa, Nowe Miasto Lubawskie). Charakterystykę miast, w których zamieszkiwały psy włączone w badania przedstawiono w Tabeli 4, a lokalizację obszaru objętego badaniami przedstawiono na Ryc. 6

Tabela 4 Charakterystyka miast, w których mieszkały psy włączone do badań

	Iława	Lubawa	Nowe Miasto Lubawskie
Powierzchnia (km^2)	21.88	16.8	11.4
Liczba mieszkańców	32106	10 663	10058
Gęstość zaludnienia (os/km^2)	1467,4	633.2	884.6
Gałęzie gospodarki	przemysł spożywczy, kosmetyczny, poligraficzny, turystyka	przemysł rolno-spożywczy, maszynowy, metalowy	rolnictwo, przemysł tekstylny i odzieżowy, meblarski, spożywczy
Współrzędne	53°35′47″N 19°33′56″E	53°30′15″N 19°44′58″E	53°25′14″N 19°35′42″E

Ryc. 6 Obszar objęty niniejszym badaniem



Próbki zbierano od maja do lipca 2024 roku podczas czynności pielęgnacyjnych i/lub weterynaryjnych. Właściciele zwierząt zostali poinformowani o pobraniu próbek i wyrazili ustną zgodę na udział zwierząt w badaniach. Od każdego psa pobrano ok. 1.5 g sierści. Próbki pobierano z tej samej okolicy ciała (z brzucha) od każdego psa. Sierść obcinano metalowymi nożyczkami jak najbliżej skóry. Do analizy przeznaczano sierść o długości od 1.5 do 2 cm (część położoną od strony skóry zwierzęcia). Bezpośrednio po pobraniu sierść umieszczano w szklanych probówkach zamykanych gumowym korkiem i przechowywano w temperaturze pokojowej w ciemności aż do czasu dalszych oznaczeń. Ponieważ pobieranie próbek sierści jest bezbolesne i bezstresowe i odbywało się podczas wykonywania czynności pielęgnacyjnych i/lub weterynaryjnych, niniejsze badanie nie wymagało zgody Komisji Etycznej ds. Zwierząt Doświadczalnych, co jest zgodne z ustawą z dnia 15 stycznia 2015 r. o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych (tekst jedn.: Dz. U. z 2023 r., poz. 465 ze zm.).

3.2. Przygotowanie próbek

Przed analizą sierść psów pocięto na krótkie fragmenty o długości ok. 0.5 cm. 0,5 g włosów z każdej próbki przeniesiono do naczynia teflonowego CEM MARS6 MARS XPreSS. Następnie do próbek dodano 5 ml HNO_3 i 5 ml H_2O_2. Próbki poddano mineralizacji falowej w mineralizatorze mikrofalowym CEM MARS6 wyprodukowanym przez CEM Corporation, Matthews, Karolina Północna, USA. Współczynniki mineralizacji były następujące: narastanie temperatury: 35 minut, temp. 200°C, czas mineralizacji: 50 minut, moc: 1700 W. Po mineralizacji naczynia opróżniono i przemyto w probówkach polipropylenowych (PP) o pojemności 50 ml (Deltalab, Rubí, Barcelona, Hiszpania). Następnie, uzupełniono je do 25 ml wodą dejonizowaną, a przed analizą rozcieńczono dwukrotnie wodą dejonizowaną w 12 ml probówkach PP (Deltalab, Rubí Barcelona, Hiszpania) po dodaniu 100 µl roztworu wzorca wewnętrznego zawierającego 100 mg L-1 itru (Y). Próbki ślepe (bez materiału badawczego) i próbki kontroli jakości (ang. quality control - QC) zawierające standardowy materiał referencyjny NIST-1577C (Merck, Budapeszt, Węgry) przygotowano tą samą metodą.

3.3. Analiza próbek

Analizę próbek przeprowadzono metodą optycznej spektroskopii emisyjnej w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ang. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry - ICP-OES), która jest powszechnie stosowana do analizy wieloelementowej i używana do wykrywania metali ciężkich w różnych matrycach, zarówno w próbkach przemysłowych jak i środowiskowych. Oznaczanie poziomów metali ciężkich w próbkach sierści przeprowadzono przy użyciu aparatu Perkin Elmer Avio 550 Max (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA), a parametry oznaczeń były następujące: półprzewodnikowy generator fal radiowych (RF): 40 MHz, moc RF: 1500 W; typ nebulizatora: nebulizator koncentryczny szklany Meinhard typ K1; komora mgłowa: szkło cyklonowe; całkowity przepływ gazu plazmowego chłodzącego: 12 l/min; przepływ gazu pomocniczego 0.2 l/min; przepływ gazu przez nebulizator: 0.7 l/min, przepływ dostarczania próbki do nebulizatora: 1.5 ml/min. Progi wykrywalności dla poszczególnych pierwiastków były następujące: As 0.0084 µg/g; Cd 0.0024 µg/g; Cr 0.029 µg/g; Hg 0.0043 µg/g; Ni 0.022 µg/g i Pb 0.11µg/g.

Kalibrację przeprowadzono przy użyciu wieloelementowego wzorca ICP (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). Wewnętrzną kontrolę jakości pomiarów przeprowadzono poprzez pomiar próbek QC o znanym stężeniu. Po odrzuceniu wartości skrajnych, ustalono odchylenie standardowe danych (s), które musiało mieścić się w granicach ±15% nominalnej wartości stężenia, aby pomiar QC był akceptowalny.

3.4. Analiza statystyczna

Analizę statystyczną otrzymanych wyników przeprowadzono przy użyciu GraphPad Prism wersja 9.2.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, United States). Przeprowadzono statystykę opisową stężenia badanych metali ciężkich zarówno biorąc pod uwagę wszystkie psy objęte badaniami, jak również poszczególne ich grupy czyli zwierzęta różnej płci, zwierzęta żyjące na terenach wiejskich i w miastach, zwierzęta żyjące w poszczególnych miastach, zwierzęta w różnych grupach wiekowych. Statystyka opisowa obejmowała wyznaczenie wartości minimalnej, 25 percentyla, mediany, 75 percentyla, wartości maksymalnej, średniej arytmetycznej z odchyleniem standardowym oraz średniej geometrycznej.

Ponadto, porównano stężenie poszczególnych metali ciężkich w próbkach sierści uwzględniając wszystkie psy włączone do badań oraz stężenie poszczególnych metali ciężkich u zwierząt różnych płci, różnych grup wiekowych i z różnych terenów. Ponieważ rozkład danych nie był normalny (co sprawdzono testem Shapiro-Wilka) w tym celu użyto testów nieparametrycznych. Do porównania dwóch grup zwierząt (psy różnej płci i psy zamieszkujące tereny wiejskie i miasta) użyto testu Manna–Whitneya, a do porównania trzech i więcej grup (psy zamieszkujące różne miasta, psy w różnym wieku, porównanie stężeń poszczególnych metali ciężkich w sierści wszystkich psów włączonych w badania) użyto testu Kruskala–Wallisa. Różnice uznano za statystycznie istotne przy $p<0.05$. Poza tym do oznaczenia zależności pomiędzy wagą i wielkością (wzrostem w kłębie) psów a stężeniem badanych metali ciężkich w sierści użyto korelacji rho-Spearmana, której interpretację przedstawia tabela 5. W obliczeniach statystycznych wartości poniżej progu oznaczalności (LOD) wzięto pod uwagę jako wartości LOD/2.

Tabela 5 Interpretacja współczynnika rho-Spearmana użyta w niniejszych badaniach

Wartość współczynnika korelacji rho-Spearmana	Interpretacja
Poniżej 0.2	Korelacja słaba (praktycznie brak związku między wartościami)
0.2-0.4	Korelacja niska (zależność wyraźna)
0.4-0.6	Korelacja umiarkowana (zależność istotna)
0.6-0.8	Korelacja wysoka (zależność znaczna)
0.8-0.9	Korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża)
0.9-1.0	Zależność praktycznie pełna

4. Wyniki

4.1. Stężenia metali ciężkich w próbkach sierści i korelacje między nimi

W przebiegu niniejszego doświadczenia w próbkach sierści psów zaobserwowano obecność wszystkich metali ciężkich objętych analizą. Stężenie to zależało od rodzaju pierwiastka. Stwierdzono również różnice w stężeniu badanych metali pomiędzy poszczególnymi próbkami sierści (Tabela 6). Najwyraźniejsze różnice międzyosobnicze zaobserwowano w przypadku stężenia niklu, którego najniższe stężenie wynosiło 0.19 µg/g (w próbce nr 34), a najwyższe 4.01 µg/g (w próbce nr 54) (Tabela 6). Wyraźne różnice pomiędzy poszczególnymi zwierzętami stwierdzono również w przypadku ołowiu, którego najniższe stężenie było niższe od progu oznaczalności – 0.11 µg/g (próbka nr 53), a najwyższe wynosiło 1.18 µg/g (próbka nr 59) (Tabela 6). Podobne różnice zaobserwowano w przypadku rtęci, której stężenia wahały się od poziomu poniżej progu oznaczalności (0.0043 µg/g) w próbce nr 53 do 1.358 µg/g w próbce nr 32. Natomiast, najmniej wyraźne różnice pomiędzy poszczególnymi zwierzętami dotyczyły arsenu, którego stężenie wahało się od 0.011 µg/g (w próbce nr 42) do 0.109 µg/g (w próbce nr 93) (Tabela 6). Stężenie większości badanych metali ciężkich przekraczało poziom progu oznaczalności we wszystkich próbkach. Wyjątkiem były jedynie rtęć i ołów, których stężenie powyżej progu oznaczalności stwierdzono w 99% badanych próbek (Tabela 6, Tabela 7).

Tabela 6. Stężenie metali ciężkich (µg/g) w poszczególnych próbkach sierści psów objętych niniejszym badaniem

Nr próbki	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
1	0,078	0,021	0,49	0,049	0,49	0,47	1.598
2	0,030	0,007	0,24	0,073	0,36	0,35	1.06
3	0,035	0,007	0,27	0,164	0,43	0,31	1.216
4	0,023	0,009	0,30	0,102	0,27	0,32	1.024
5	0,026	0,021	0,51	0,026	0,80	0,83	2.213
6	0,040	0,017	0,34	0,082	0,59	0,52	1.589
7	0,034	0,010	0,52	0,033	1,28	0,49	2.367

8	0,025	0,014	0,50	0,035	0,71	0,49	1.774
9	0,041	0,078	0,40	0,038	0,44	0,34	1.337
10	0,040	0,010	0,26	0,152	0,67	0,41	1.542
11	0,028	0,008	0,38	0,024	0,29	0,49	1.22
12	0,024	0,013	0,26	0,047	0,37	0,58	1.294
13	0,041	0,009	0,30	0,092	0,24	0,51	1.192
14	0,030	0,014	0,29	0,030	0,39	0,67	1.424
15	0,050	0,010	0,31	0,143	0,30	0,50	1.313
16	0,021	0,010	0,18	0,026	0,22	0,35	0.807
17	0,056	0,018	0,80	1,164	0,40	0,46	2.898
18	0,026	0,009	0,23	0,108	0,30	0,30	0.973
19	0,023	0,014	0,29	0,044	0,52	0,43	1.321
20	0,036	0,012	0,27	0,080	1,19	0,34	1.928
21	0,016	0,015	0,48	0,035	0,57	0,32	1.436
22	0,029	0,017	0,38	0,044	0,77	0,56	1.8
23	0,013	0,010	0,31	0,087	0,28	1,06	1.76
24	0,018	0,006	0,33	0,045	0,41	0,62	1.429
25	0,070	0,013	0,97	0,054	0,72	0,56	2.387
26	0,033	0,018	0,28	0,067	0,80	0,23	1.428
27	0,038	0,009	0,60	0,060	0,50	0,59	1.797
28	0,035	0,007	0,89	0,060	1,09	0,55	2.632
29	0,021	0,008	0,43	0,024	0,77	0,33	1.583
30	0,063	0,016	0,46	0,127	0,34	0,31	1.316
31	0,026	0,090	0,56	0,118	0,56	0,43	1.784
32	0,029	0,014	0,52	1,358	0,35	0,70	2.971
33	0,022	0,012	0,53	0,272	0,39	0,33	1.556
34	0,027	0,007	0,35	0,075	0,19	0,28	0.929
35	0,026	0,009	0,41	0,151	0,22	0,32	1.136
36	0,067	0,011	0,39	0,064	0,48	0,41	1.422
37	0,052	0,021	0,30	0,071	0,64	1,13	2.214
38	0,051	0,029	0,49	0,061	0,61	0,45	1.691
39	0,054	0,018	0,74	0,020	0,87	0,46	2.162
40	0,026	0,017	0,43	0,139	0,31	0,81	1.732
41	0,029	0,009	0,44	0,023	1,70	0,31	2.511

42	0,011	0,015	0,23	0,019	0,25	0,64	1.165
43	0,013	0,020	0,20	0,103	0,60	0,38	1.316
44	0,043	0,012	0,39	0,043	0,42	0,38	1.288
45	0,050	0,024	0,36	0,070	0,37	0,36	1.234
46	0,023	0,008	0,34	0,015	0,35	0,30	1.036
47	0,021	0,037	0,42	0,323	0,61	0,51	1.921
48	0,031	0,007	0,35	0,055	0,29	0,24	0.973
49	0,021	0,014	0,66	0,022	0,83	0,36	1.907
50	0,029	0,225	0,50	0,063	0,60	0,93	2.347
51	0,038	0,011	0,41	0,023	2,05	0,36	2.892
52	0,016	0,014	0,28	0,060	0,29	0,37	1.03
53	0,017	0,014	0,39	<LOD	0,46	<LOD	0.9575
54	0,052	0,019	0,88	0,030	4,01	0,53	5.521
55	0,030	0,017	0,51	0,021	0,43	0,90	1.908
56	0,016	0,018	0,28	0,021	0,64	0,80	1.775
57	0,069	0,019	0,39	0,179	0,32	0,47	1.447
58	0,025	0,013	0,32	0,048	0,26	0,40	1.066
59	0,041	0,015	0,56	0,040	0,48	1,18	2.316
60	0,027	0,031	0,41	0,028	0,29	0,63	1.416
61	0,021	0,012	0,24	0,019	0,28	0,60	1.172
62	0,023	0,018	0,34	0,051	0,34	0,60	1.372
63	0,026	0,007	0,27	0,053	0,56	0,41	1.326
64	0,019	0,010	0,21	0,056	0,48	0,42	1.195
65	0,043	0,012	0,34	0,262	0,32	0,18	1.157
66	0,028	0,007	0,25	0,041	0,23	0,18	0.736
67	0,051	0,015	0,54	0,120	0,43	0,49	1.646
68	0,036	0,012	0,26	0,365	0,62	0,48	1.773
69	0,022	0,013	0,24	0,019	0,52	0,29	1.104
70	0,032	0,016	0,38	0,027	1,76	0,49	2.705
71	0,027	0,011	0,23	0,020	0,37	0,36	1.018
72	0,031	0,013	0,24	0,150	0,32	0,56	1.314
73	0,044	0,010	0,30	0,343	0,94	0,38	2.017
74	0,038	0,011	0,37	0,105	0,45	0,60	1.574
75	0,013	0,007	0,36	0,030	0,56	0,39	1.36

76	0,014	0,013	0,28	0,019	0,48	0,42	1.226
77	0,022	0,011	0,33	0,021	0,45	0,34	1.174
78	0,018	0,006	0,35	0,018	0,46	0,57	1.422
79	0,022	0,006	0,55	0,055	0,30	0,63	1.563
80	0,023	0,015	0,31	0,081	0,37	0,51	1.309
81	0,052	0,020	0,58	0,181	0,59	0,41	1.833
82	0,060	0,008	0,68	0,087	0,55	0,57	1.955
83	0,035	0,029	0,41	0,102	0,74	0,42	1.736
84	0,026	0,023	0,42	0,015	0,93	0,66	2.074
85	0,041	0,012	0,53	0,027	0,33	0,49	1.43
86	0,019	0,008	0,37	0,012	0,31	0,74	1.459
87	0,042	0,010	0,40	0,090	0,26	0,54	1.342
88	0,022	0,012	0,30	0,047	0,31	0,39	1.081
89	0,026	0,011	0,25	0,035	0,34	0,44	1.102
90	0,017	0,017	0,39	0,066	0,53	0,47	1.49
91	0,078	0,010	0,28	0,016	0,29	0,70	1.374
92	0,091	0,011	0,27	0,483	0,25	0,56	1.665
93	0,109	0,017	0,51	0,033	0,24	0,91	1.819
94	0,079	0,021	0,55	0,042	0,44	0,75	1.882
95	0,062	0,011	0,44	0,014	0,42	0,44	1.387
96	0,054	0,008	0,41	0,056	1,53	0,82	2.878
97	0,074	0,005	0,56	0,017	0,32	0,50	1.476
98	0,105	0,012	0,83	0,045	0,55	0,82	2.326
99	0,075	0,012	0,58	0,169	0,49	0,54	2.332
100	0,048	0,009	0,72	0,013	0,33	1,01	2.13

W przypadku gdy wartości poszczególnych metali ciężkich były poniżej LOD, do obliczenia Σ metali ciężkich użyto wartości LOD/2.

Tabela 7 Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów i częstotliwość ich występowania (%) – wyniki zbiorcze

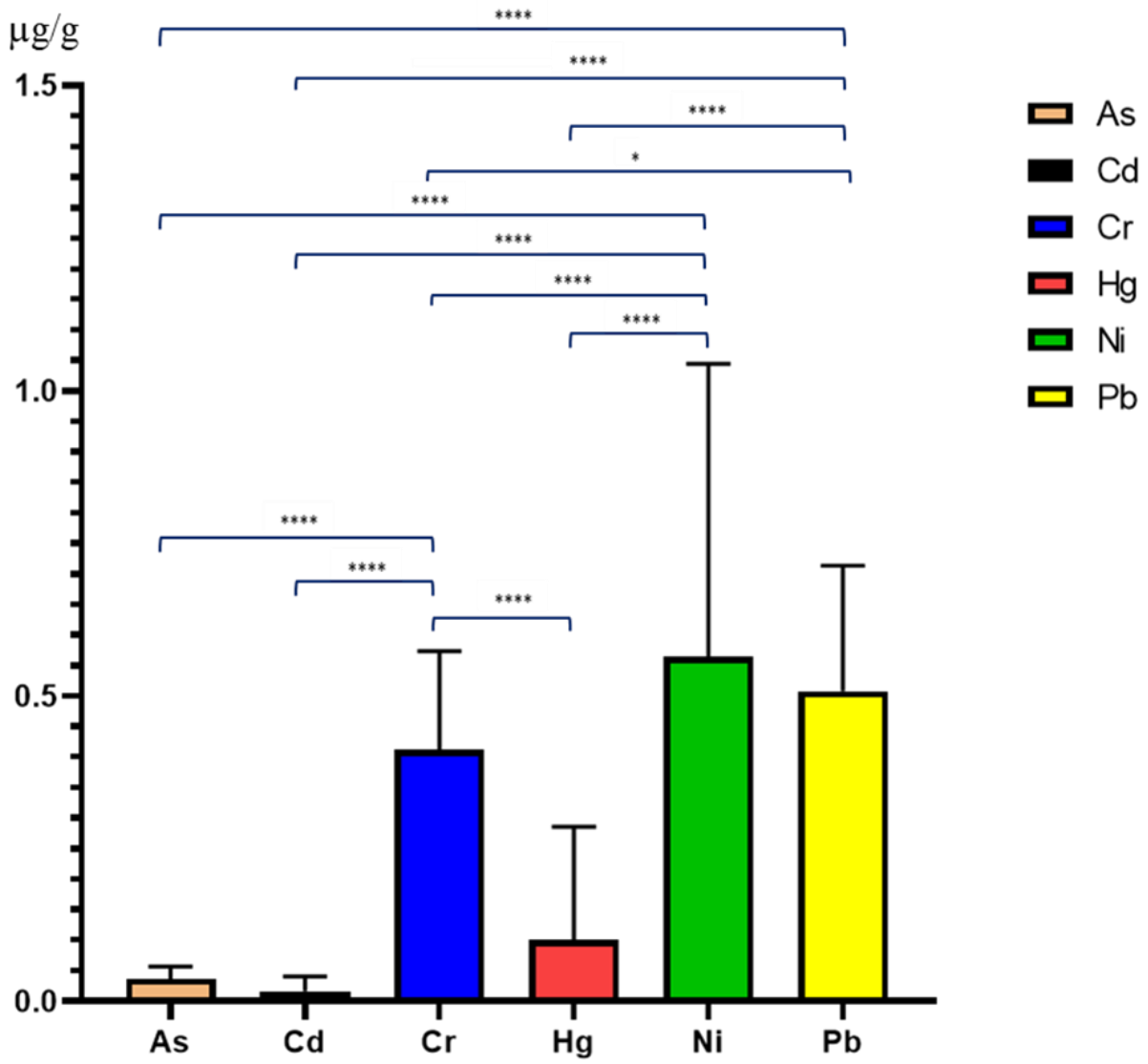
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
minimum	0,011	0,005	0,180	<LOD	0,190	<LOD
25 percentyl	0,023	0,009	0,290	0,026	0,320	0,360
mediana	0,030	0,012	0,380	0,052	0,440	0,475
75 percentyl	0,047	0,017	0,508	0,099	0,608	0,598
maksimum	0,109	0,225	0,970	1,358	4,010	1,180
średnia arytmetyczna	0,037	0,017	0,412	0,100	0,564	0,508
odchylenie standardowe	0,02	0,02	0,16	0,19	0,48	0,21
średnia geometryczna	0,032	0,013	0,385	0,055	0,472	0,468
% próbek ze stężeniem powyżej LOD	100	100	100	99	100	99

LOD – próg oznaczalności

Biorąc pod uwagę wszystkie psy objęte niniejszym doświadczeniem najwyższe średnie stężenia zaobserwowano w przypadku niklu i ołowiu. Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) pierwszego z tych pierwiastków wynosiło 0.564±0.48 µg/g, a drugiego 0.508±0.21 µg/g. Pomiędzy stężeniami niklu i ołowiu nie zaobserwowano różnic istotnych statystycznie ($p=0.5536$). Średnie stężenie chromu wynosiło 0.412±0.16 µg/g i było istotnie statystycznie niższe zarówno od stężenia niklu ($p<0.0001$) jak i ołowiu ($p=0.0476$). Z kolei średnie stężenie rtęci w próbkach sierści objętych niniejszym doświadczeniem wynosiło 0.1±0.19 µg/g. i było ponad czterokrotnie niższe od stężenia chromu i ponad pięciokrotnie niższe od stężenia niklu i ołowiu. Różnice te były istotne statystycznie ($p<0.0001$). Najniższe średnie stężenia stwierdzone w trakcie badań dotyczyły arsenu i chromu. W przypadku arsenu wartość ta osiągała poziom 0.037±0.02 µg/g, natomiast w przypadku chromu wynosiła 0.017±0.02 µg/g. Wartości te były istotnie statystycznie niższe niż stężenie niklu, ołowiu i chromu ($p<0.0001$). Natomiast, nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy stężeniami arsenu i kadmu ($p=0.9911$), arsenu i rtęci ($p=0.4043$) oraz kadmu i rtęci ($p=0.1266$). Zbiorcze wyniki dotyczące stężenia

badanych pierwiastków podsumowano w tabeli 7, natomiast graficznie przedstawiono je na Ryc. 7.

Ryc. 7 Średnie stężenia (±SD) pierwiastków w próbkach sierści psów

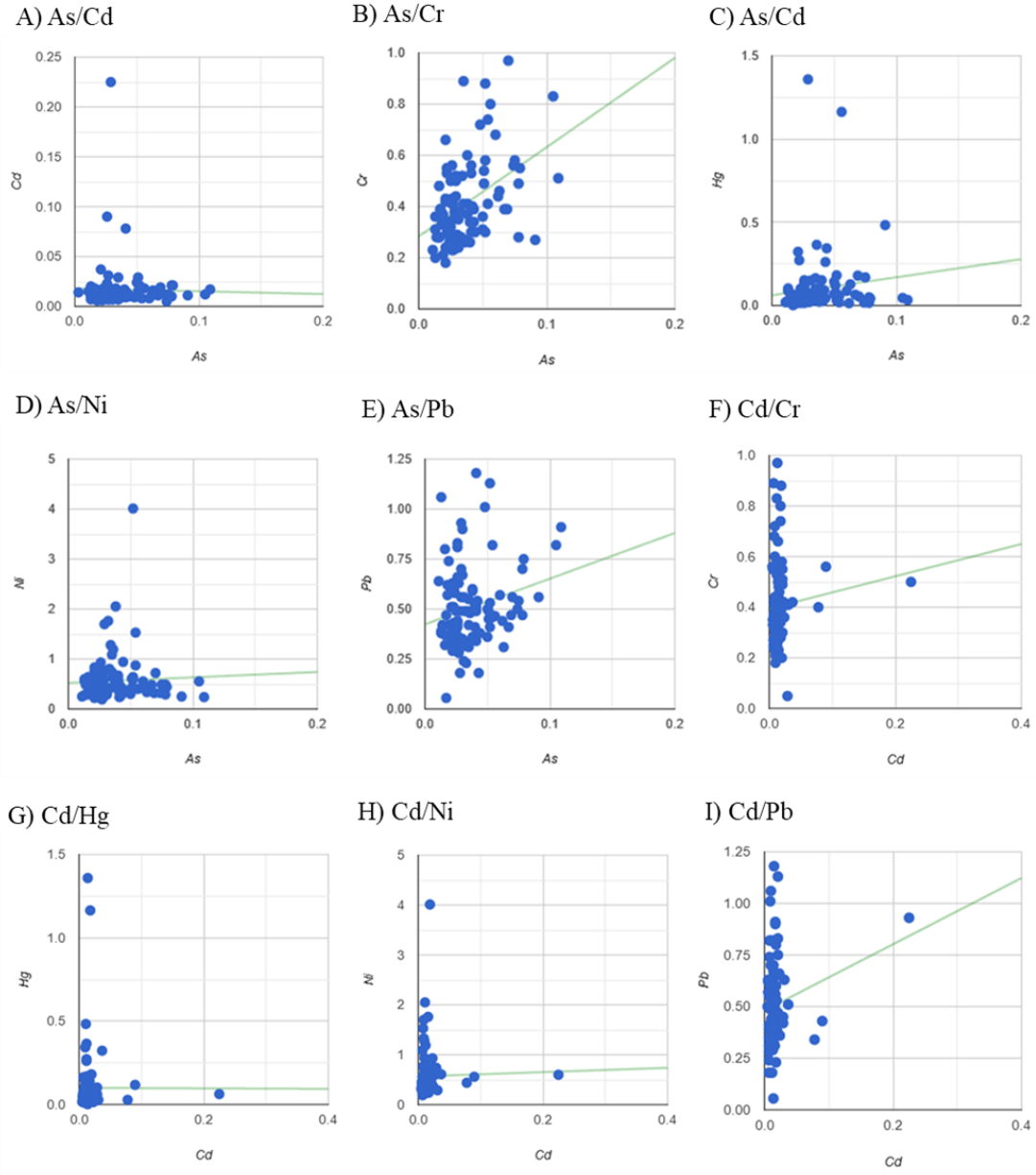


Różnice istotne statystycznie oznaczono gwiazdkami: **** p<0,0001; * p=0,0476

Badając korelacje pomiędzy stężeniami poszczególnych metali w próbkach sierści psów stwierdzono, iż najwyraźniejsza korelacja dodatnia występuje pomiędzy arsenem i chromem. Współczynnik korelacji rho-Spearmana wynosił w tym przypadku 0.412 (korelacja umiarkowana – zależność istotna). Korelację niską (zależność wyraźną)

stwierdzono pomiędzy stężeniami arsenu i rtęci (współczynnik rho-Spearmana 0.277), chromu i niklu (0.307) i chromu i ołowiu (0.28). Wszystkie wyżej wymienione korelacje były istotne statystycznie. Współczynniki korelacji stężeń pozostałych metali były niższe od 0.2, co świadczy o korelacji słabej (praktycznym braku związku pomiędzy wartościami). Wśród tej grupy metali istotna statystycznie była jedynie zależność pomiędzy kadmem i ołowiem. W trzech przypadkach korelacja była ujemna (Cr/Hg, Ni/Hg i Hg/Pb), ale nie była ona statystycznie istotna. Wykresy korelacji pomiędzy poszczególnymi metalami przedstawiono na Ryc. 8 i Ryc. 9, natomiast współczynniki korelacji przedstawiono w tabeli 8.

Ryc. 8 Wykresy korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali



Ryc. 9 Wykresy korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali – c.d.

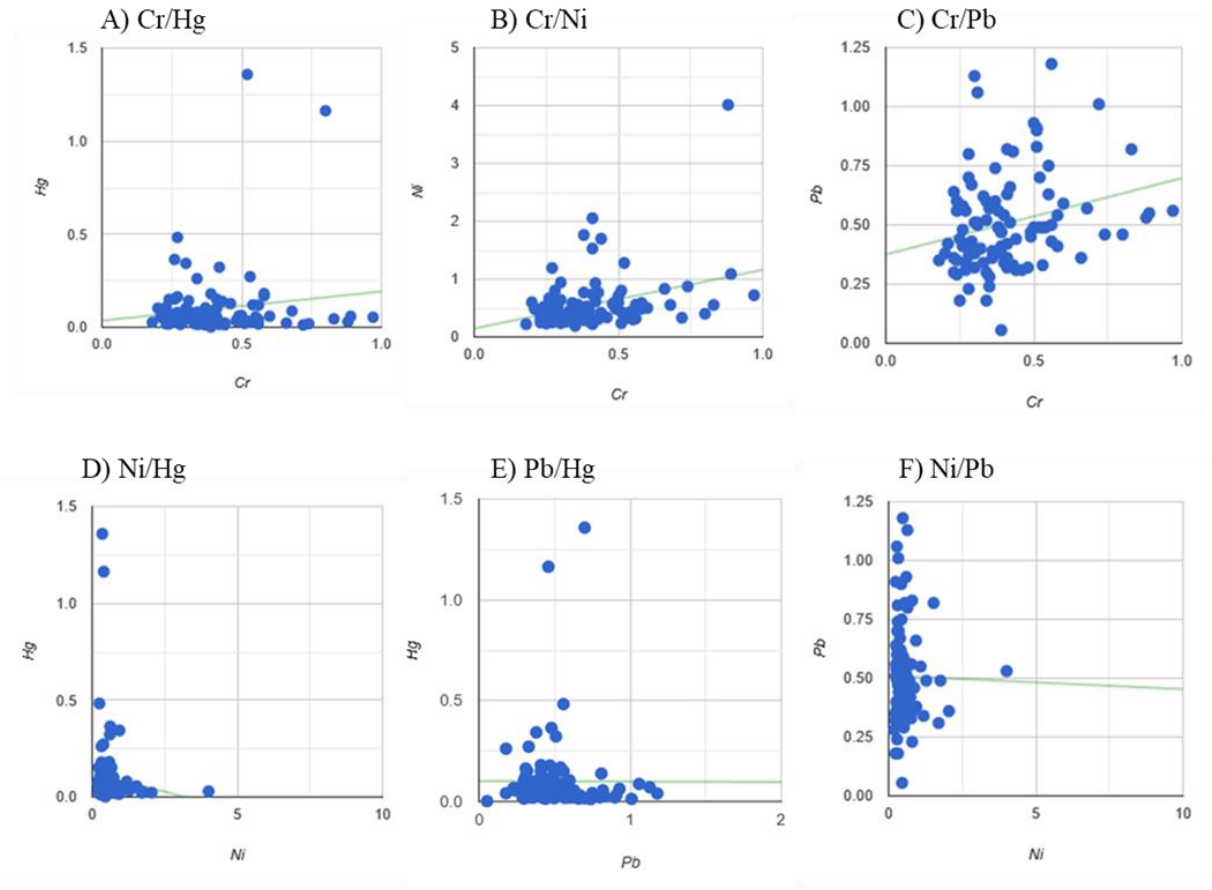


Tabela 8 Współczynniki korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali w próbkach sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie).

Metale	Korelacja rho-Spearmana	Poziom istotności
As/Cd	0.096	0.34
As/Cr	0.412	<0.001
As/Hg	0.277	0.006
As/Ni	0.087	0.387
As/Pb	0.175	0.081
Cd/Cr	0.184	0.067
Cd/Hg	0.089	0.379
Cd/Ni	0.26	0.009

Cd/Pb	0.198	0.049
Cr/Hg	- 0.03	0.765
Cr/Ni	0.307	0.002
Cr/Pb	0.28	0.004
Ni/Hg	-0.069	0.493
Ni/Pb	0.009	0.93
Hg/Pb	- 0.099	0.326

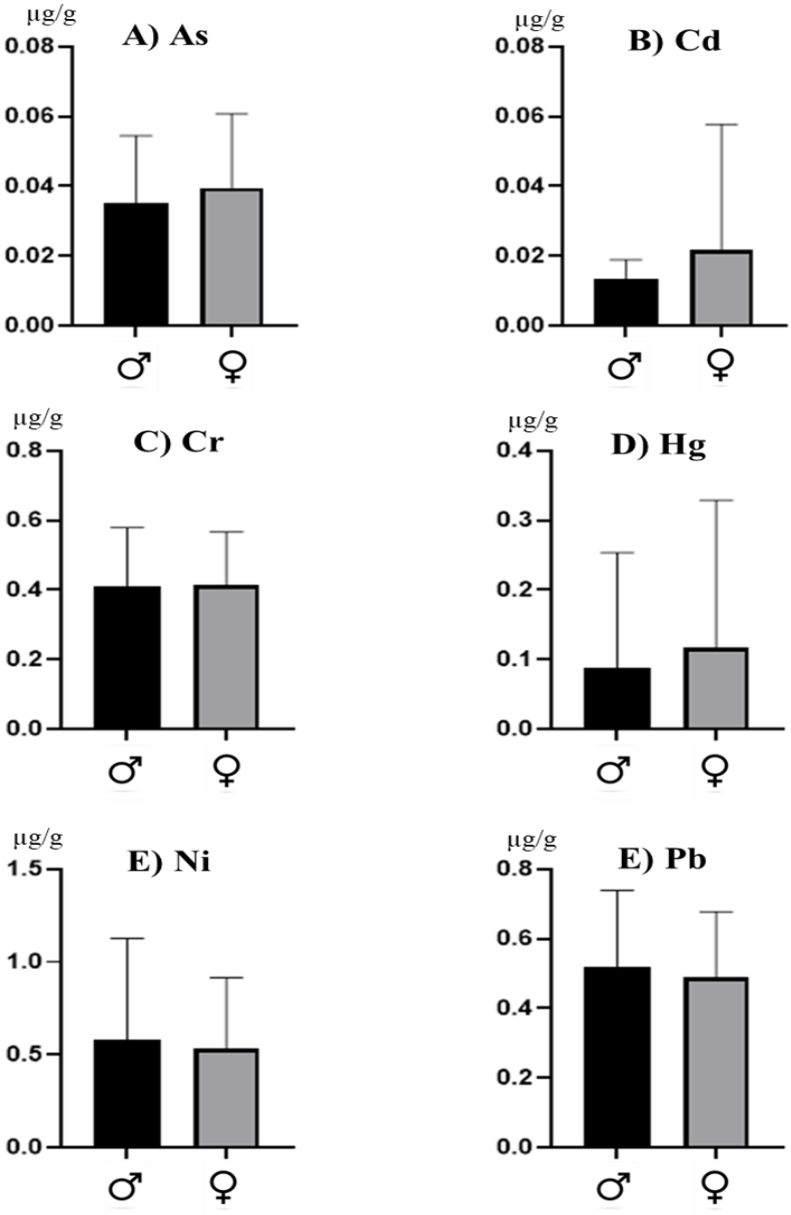
4.2. Stężenie metali ciężkich w próbkach włosów u zwierząt różnej płci

Zarówno u psów jak i u suk najwyższe średnie stężenie zaobserwowano w przypadku niklu i ołowiu. U psów stężenie pierwszego z tych pierwiastków (±SD) wynosiło 0.583±0.55 µg/g, a drugiego 0.520±0.22 µg/g. U suk wartości te były minimalnie niższe i kształtowały się odpowiednio na poziomie 0.537±0.38 µg/g i 0.491±0.19 µg/g. Różnice te nie były istotnie statystyczne (dla stężeń niklu p=0.4286, a dla ołowiu p=0.5346). Nieco niższe średnie stężenie zaobserwowano w przypadku chromu, które u psów wynosiło 0.410±0.17 µg/g, a u suk 0.415±0.15 µg/g. Różnica w tym przypadku także nie była istotna statystycznie (p=0.5934). Stężenie pozostałych pierwiastków u obu płci było wyraźnie niższe. U psów średnie stężenie rtęci kształtowało się na poziomie 0.088±0.17 µg/g, arsenu 0.035±0.02 µg/g a kadmu 0.013±0.01 µg/g. U suk wartości te wynosiły odpowiednio 0.117±0.21 µg/g, 0.040±0.02 µg/g i 0.022±0.04 µg/g. Różnice w stężeniu rtęci, arsenu i kadmu u zwierząt różnych płci (podobnie jak i innych badanych pierwiastków) także nie były istotne statystycznie. Poziom istotności (p) dla stężeń rtęci wynosił 0.1723, arsenu 0.2682, a kadmu 0.8604. Podsumowanie stężeń poszczególnych metali ciężkich w próbkach sierści psów różnej płci przedstawiono w tabeli 9 i przedstawiono graficznie na rycinie 10.

Tabela 9 Stężenie metali ciężkich (μg/g) w próbkach sierści psów w zależności od płci

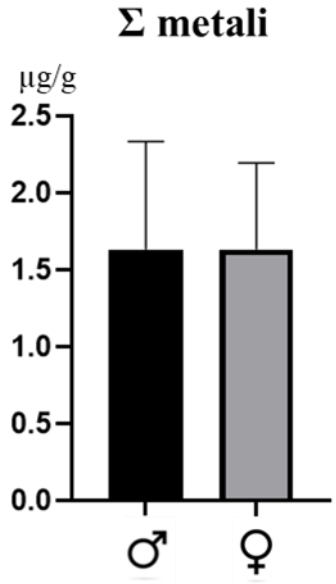
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
PSY (n=58)							
minimum	0.011	0.006	0.18	<LOD	0.22	<LOD	0.797
25 percentyl	0.022	0.010	0.28	0.024	0.338	0.375	1.232
mediana	0.03	0.013	0.36	0.049	0.46	0.485	1.429
75 percentyl	0.043	0.017	0.51	0.083	0.640	0.593	1.781
maksimum	0.109	0.031	0.89	1.164	4.01	1.18	5.521
Średnia arytmetyczna	0.035	0.013	0.410	0.088	0.583	0.520	1.632
Odchylenie standardowe	0.02	0.01	0.17	0.17	0.55	0.22	0.7
Średnia geometryczna	0.031	0.012	0.38	0.048	0.485	0.475	1.533
SUKI (n=42)							
minimum	0.016	0.005	0.23	0.012	0.19	0.18	0.736
25 percentyl	0.026	0.009	0.30	0.033	0.308	0.335	1.205
mediana	0.03	0.012	0.39	0.058	0.43	0.470	1.453
75 percentyl	0.051	0.017	0.50	0.131	0.593	0.600	1.95
maksimum	0.105	0.225	0.97	1.358	1.76	0.93	2.971
Średnia arytmetyczna	0.040	0.022	0.415	0.117	0.537	0.491	1.633
Odchylenie standardowe	0.02	0.04	0.15	0.21	0.38	0.19	0.56
Średnia geometryczna	0.035	0.014	0.39	0.065	0.455	0.457	1.545

Ryc. 10 Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów różnej płci



Biorąc pod uwagę sumę stężeń wszystkich badanych metali, średnie ich stężenie wynosiło u psów 1.632±0.7, a u suk 1.633±0.56 µg/g i nie stwierdzono pomiędzy nimi statystycznie istotnych różnic (p=0.7876) (Ryc. 11).

Ryc. 11 Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych doświadczeniem w próbkach sierści psów różnej płci.



4.3. Stężenie metali ciężkich w próbkach sierści u psów w różnym wieku

W niniejszych badaniach stwierdzono niewielkie różnice w stężeniu poszczególnych metali ciężkich występujących w sierści psów w różnym wieku (Tabela 10). W przypadku większości badanych pierwiastków ich wyższe stężenia obserwowano u psów w wieku powyżej 10 lat. Taką sytuację stwierdzono w przypadku chromu (którego średnie stężenie ± SD u psów w wieku powyżej 10 lat wynosiło 0.514±0.2 µg/g), rtęci (0.179±0.36 µg/g), niklu (0.749±0.83 µg/g) i ołowiu (0.564±0.2 µg/g). Jednakże, tylko w przypadku chromu różnice w stężeniach pomiędzy psami w wieku powyżej 10 lat i psami poniżej 3 lat (gdzie średnie stężenie chromu kształtowało się na poziomie 0.326±0.08 µg/g) były statystycznie istotne ($p=0.0061$) (Ryc. 12). Najwyższe stężenie kadmu zaobserwowano u psów w wieku poniżej 3 lat (0.027±0.05 µg/g), a arsenu w psów w wieku od 3 do <6lat (0.044±0.02 µg/g). Jednak różnice w stężeniach tych pierwiastków pomiędzy psami w różnym wieku, podobnie jak różnice w stężeniach rtęci, niklu i ołowiu, nie były istotne statystycznie. Dane dotyczące stężeń badanych pierwiastków w sierści psów w różnym wieku podsumowano w tabeli 10 i na rycinie 12.

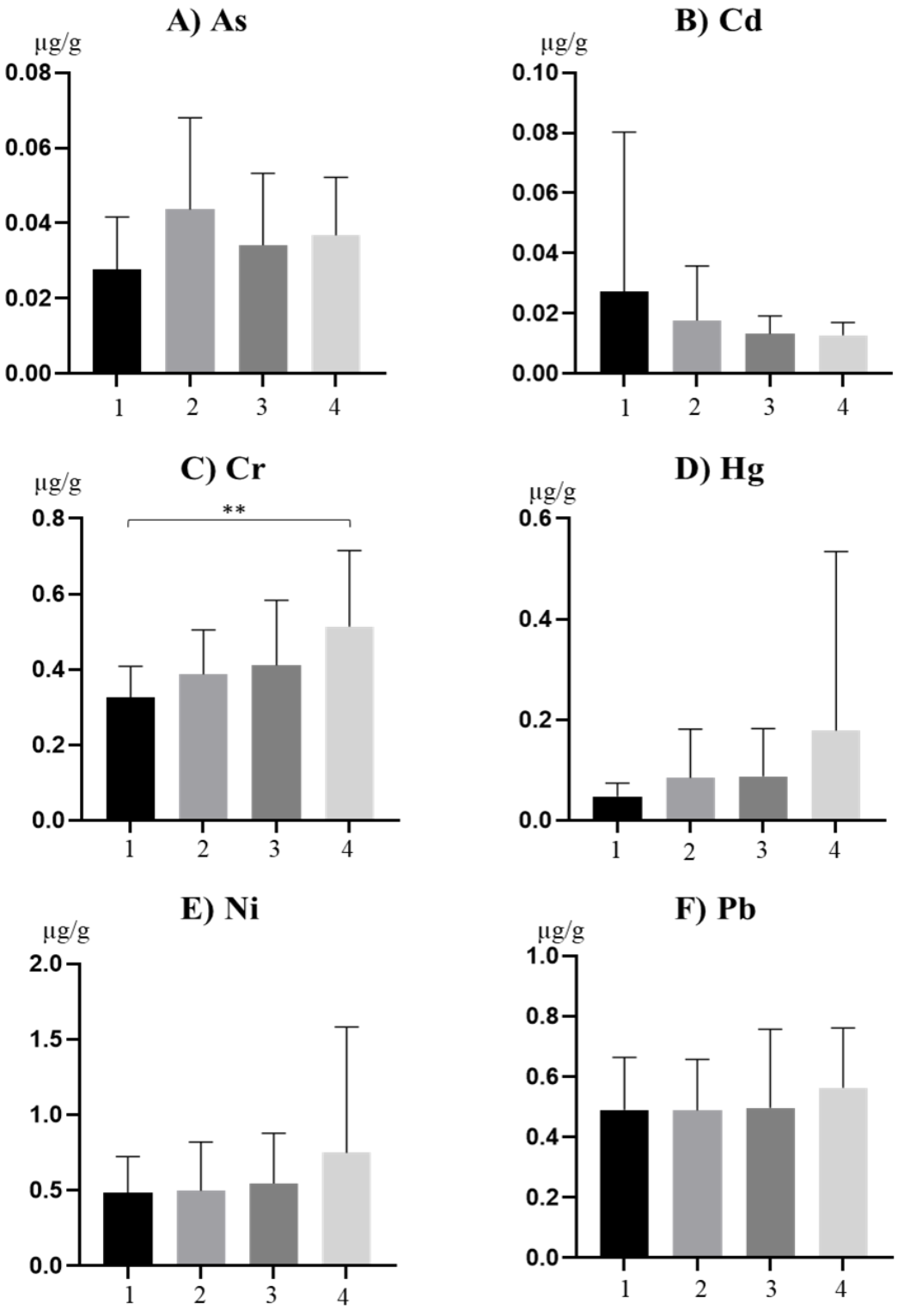
Tabela 10 Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów w różnym wieku.

	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
<3 lat (n=16)							
minimum	0.011	0.006	0.180	0.018	0.220	0.290	0.807
25 percentyl	0.017	0.011	0.273	0.021	0.290	0.350	1.119
mediana	0.025	0.014	0.320	0.044	0.470	0.420	1.419
75 percentyl	0.035	0.017	0.390	0.066	0.575	0.63	1.564
maksimum	0.067	0.225	0.500	0.102	1.190	0.930	2.347
Średnia arytmetyczna	0.277	0.027	0.326	0.048	0.484	0.490	1.405
Odchylenie standardowe	0.14	0.05	0.08	0.03	0.24	0.18	0.38
Średnia geometryczna	0.025	0.016	0.316	0.041	0.440	0.464	1.359
3 - <6 lat (n=34)							
minimum	0.016	0.005	0.210	0.012	0.240	0.230	0.973
25 percentyl	0.023	0.009	0.280	0.023	0.300	0.348	1.219
mediana	0.037	0.011	0.385	0.053	0.425	0.460	1.432
75 percentyl	0.062	0.018	0.483	0.111	0.575	0.570	1.777
maksimum	0.109	0.090	0.660	0.483	1.700	0.910	2.878
Średnia arytmetyczna	0.044	0.018	0.387	0.085	0.497	0.489	1.519
Odchylenie standardowe	0.02	0.02	0.12	0.10	0.32	0.17	0.40
Średnia geometryczna	0.038	0.014	0.369	0.041	0.436	0.463	1.474
6 – 10 lat (n=28)							
minimum	0.013	0.006	0.200	<LOD	0.190	<LOD	0.736
25 percentyl	0.022	0.009	0.300	0.029	0.323	0.335	1.095
mediana	0.028	0.012	0.355	0.050	0.455	0.420	1.493
75 percentyl	0.040	0.016	0.483	0.103	0.693	0.580	2.116
maksimum	0.105	0.029	0.890	0.365	1.760	1.18	2.705
Średnia arytmetyczna	0.034	0.013	0.411	0.088	0.545	0.497	1.605
Odchylenie standardowe	0.02	0.01	0.17	0.10	0.33	0.05	0.57
Średnia geometryczna	0.032	0.012	0.383	0.054	0.473	0.432	1.509
10 lat< (n=22)							
minimum	0.013	0.006	0.260	0.020	0.280	0.18	1.157

25 percentyl	0.026	0.010	0.333	0.029	0.345	0.448	1.413
mediana	0.036	0.013	0.515	0.055	0.465	0.520	1.779
75 percentyl	0.051	0.017	0.620	0.125	0.740	0.648	2.372
maksimum	0.070	0.021	0.970	1.358	4.010	1.06	5.521
Średnia arytmetyczna	0.037	0.013	0.514	0.179	0.749	0.564	2.054
Odchylenie standardowe	0.02	0.004	0.20	0.36	0.83	0.20	0.95
Średnia geometryczna	0.034	0.012	0.478	0.071	0.561	0.531	1,910

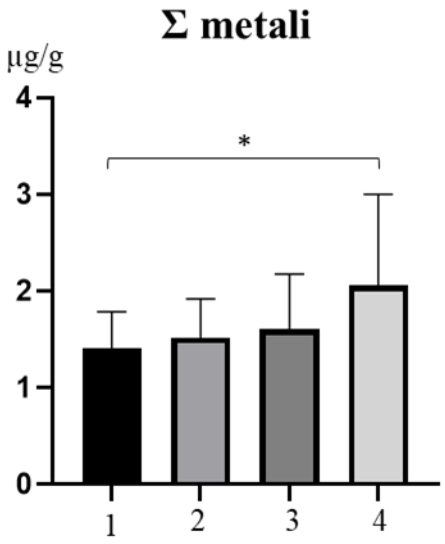
<LOD – poniżej progu wykrywalności

Ryc. 12 Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów w różnym wieku: 1) psy w wieku poniżej 3 lat; 2) psy w wieku 3-<6 lat; 3) psy w wieku od 6 do 10 lat: 4) psy w wieku powyżej 10 lat. Różnice istotnie statystyczne oznaczono **



Biorąc pod uwagę sumę stężeń wszystkich badanych pierwiastków, najwyższy ich średni poziom zaobserwowano w przypadku psów w wieku powyżej 10 lat, u których wartość ta wynosiła 2.054±0.95 µg/g. U innych grup wiekowych wartości te kształtowały się następująco: u psów poniżej 3 lat 1.405±0.38 µg/g, u psów w wieku 3-<6 lat 1.519±0.4 µg/g i u psów w wieku 6-10 lat 1.605±0.57 µg/g. Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano jedynie pomiędzy psami w wieku poniżej 3 lat i psami powyżej 10 lat (p=0.0239) (Ryc. 13).

Ryc. 13 Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów różnych grup wiekowych: 1) psy w wieku poniżej 3 lat; 2) psy w wieku 3-<6 lat; 3) psy w wieku od 6 do 10 lat; 4) psy w wieku powyżej 10 lat. Różnice istotne statystycznie oznaczono *.



4.4. Stężenie metali ciężkich w próbkach sierści u psów żyjących na różnych obszarach

W próbkach sierści psów zamieszkujących tereny miejskie najwyższe średnie stężenie zaobserwowano w przypadku niklu, ołowiu i chromu (Tabela 11). Wartości te wynosiły odpowiednio 0.587±0.57 µg/g, 0.527±0.22 µg/g i 0.406±0.15 µg/g. Wyraźnie niższe było średnie stężenie rtęci (0.074±0.09 µg/g) i arsenu (0.037±0.02 µg/g). Natomiast,

średnie stężenie kadmu było najniższe spośród badanych pierwiastków i kształtowało się na poziomie 0.014±0.01 µg/g.

Co ciekawe, w próbkach sierści psów zamieszkujących tereny wiejskie stwierdzono wyraźnie wyższe średnie stężenie rtęci w porównaniu do psów zamieszkujących tereny miejskie. Wartość ta wynosiła 0.141±0.27 µg/g i była statystycznie istotnie wyższa (p=0.0325) od stężenia rtęci zaobserwowanego w sierści psów z terenów miejskich (Ryc. 14). Średnie stężenia pozostałych objętych badaniem pierwiastków w próbkach sierści psów z terenów wiejskich wynosiły 0.528±0.29 µg/g dla niklu, 0.479±0.18 µg/g dla ołowiu, 0.421±0.17 µg/g dla chromu, 0.037±0.02 µg/g dla arsenu i 0.022±0.04 µg/g dla kadmu. Stężenia te nie różniły się statystycznie istotnie od stężeń zaobserwowanych w próbkach sierści psów z obszarów miejskich. Dane dotyczące stężeń poszczególnych metali ciężkich w próbkach włosów psów z obszarów miejskich i wiejskich podsumowano w tabeli 11 i na rycinie 14.

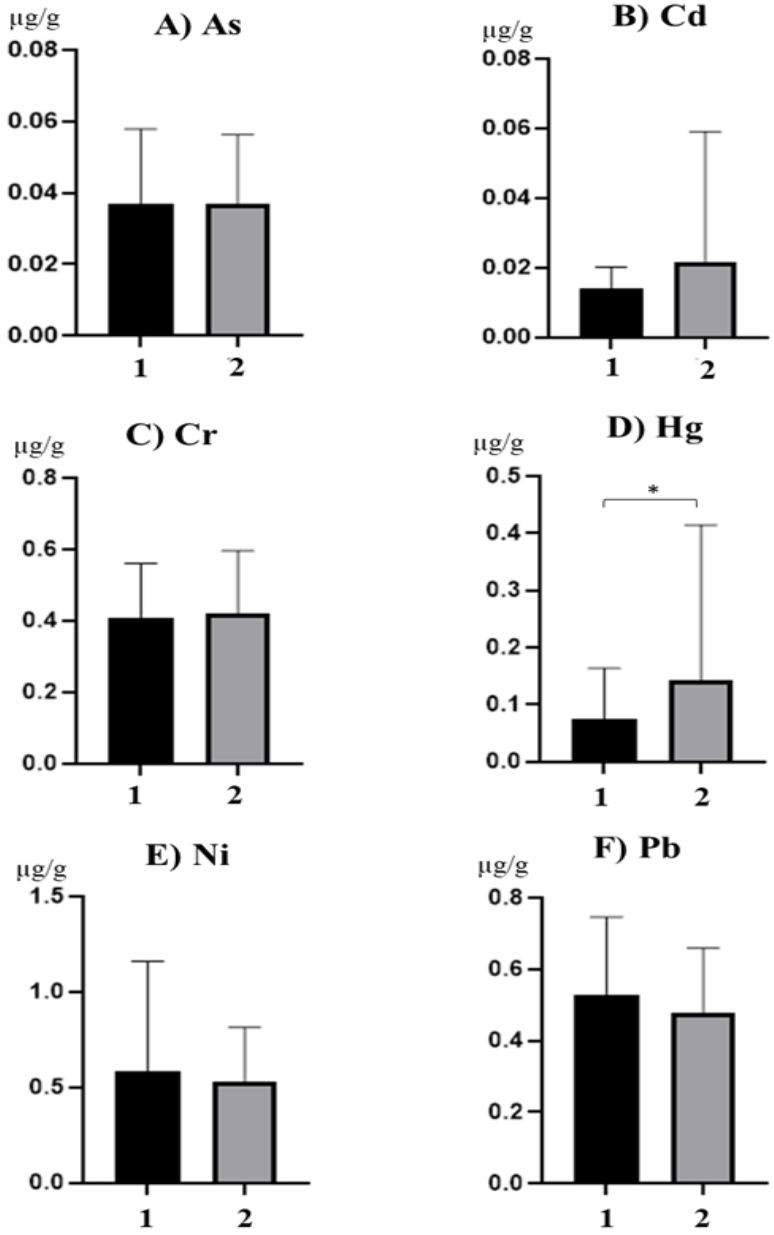
Tabela 11 Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów żyjących na terenach miejskich i wiejskich

	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
Tereny miejskie (n=61)							
Minimum	0.013	0.006	0.23	<LOD	0.22	<LOD	0.736
25 percentyl	0.022	0.009	0.285	0.023	0.305	0.365	1.223
Mediana	0.03	0.012	0.38	0.042	0.43	0.49	1.49
75 percentyl	0.05	0.017	0.49	0.087	0.615	0.625	1.859
Maksimum	0.109	0.037	0.97	0.483	4.01	1.18	5.521
Średnia arytmetyczna	0.037	0.014	0.406	0.074	0.587	0.527	1.645
Odchylenie standardowe	0.02	0.01	0.15	0.09	0.57	0.22	0.68
Średnia geometryczna	0.032	0.013	0.383	0.046	0.472	0.479	1.55
Tereny wiejskie (n=39)							
Minimum	0.011	0.005	0.18	0.013	0.19	0.23	0.807
25 percentyl	0.023	0.01	0.29	0.044	0.34	0.34	1.294
Mediana	0.031	0.012	0.38	0.06	0.45	0.43	1.43

75 percentyl	0.044	0.017	0.53	0.118	0.6	0.55	2.017
Maksimum	0.105	0.225	0.89	1.358	1.53	1.01	2.971
Średnia arytmetyczna	0.037	0.022	0.421	0.141	0.528	0.479	1.638
Odchylenie standardowe	0.02	0.04	0.17	0.27	0.29	0.18	0.57
Średnia geometryczna	0.033	0.014	0.389	0.072	0.471	0.45	1.551

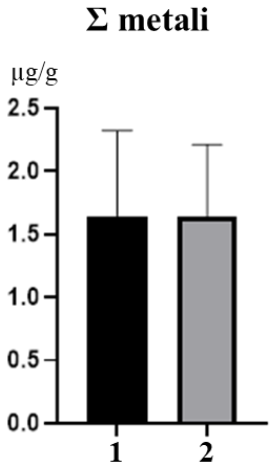
<LOD – poniżej progu wykrywalności

Ryc. 14 Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów zamieszkujących tereny miejskie (1) i tereny wiejskie (2). Różnice istotne statystycznie oznaczono *



Biorąc pod uwagę sumę stężeń wszystkich badanych pierwiastków, stwierdzono, że ich średni poziom w próbkach sierści psów na terenach miejskich wynosił 1.645±0.68 µg/g a na terenach wiejskich 1.638±0.57 µg/g. Między tymi wartościami nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych (Ryc. 15).

Ryc. 15 Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów zamieszkujących tereny miejskie (1) i wiejskie (2).



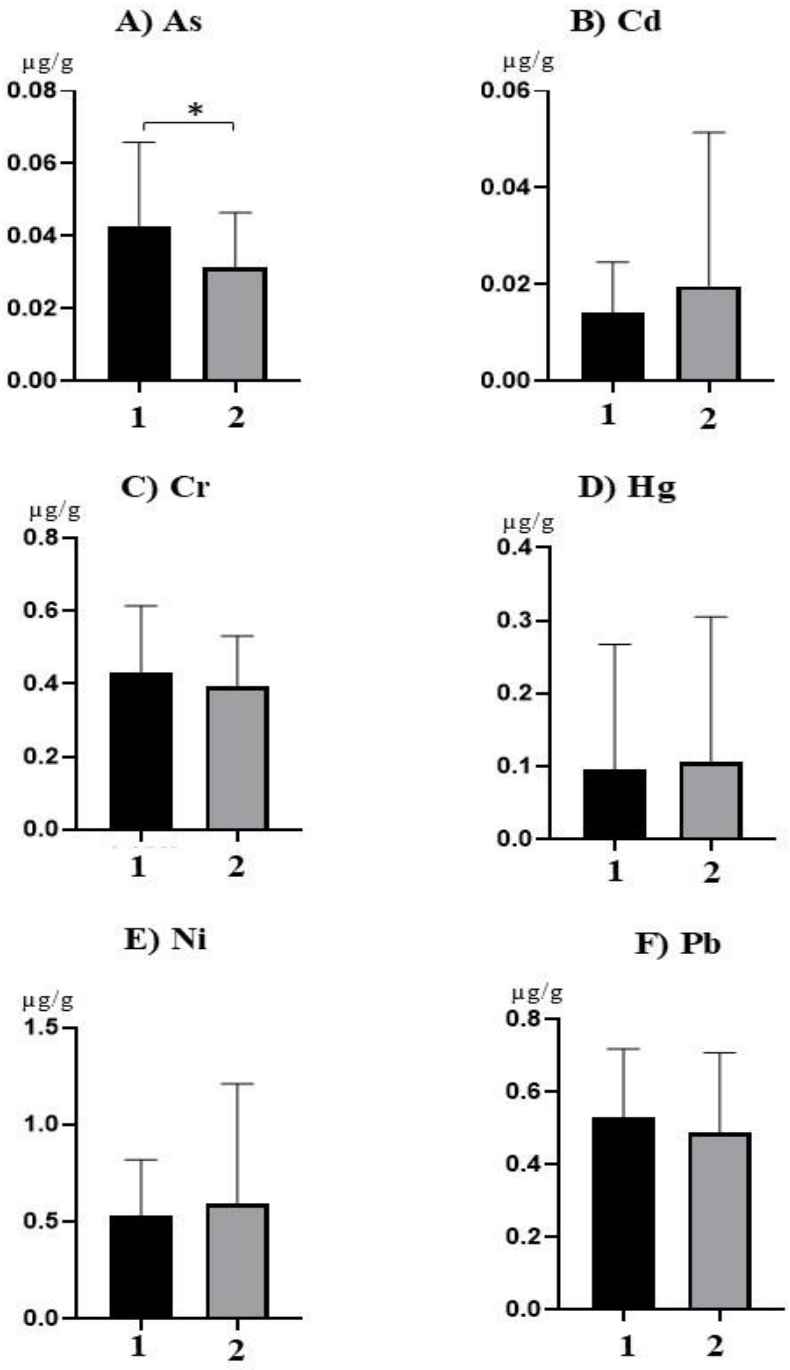
W niniejszej pracy porównano również poziomy poszczególnych metali ciężkich w sierści psów z powiatu nowomiejskiego i iławskiego (Tabela 12, Ryc. 16).

Tabela 12 Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów z powiatu nowomiejskiego i iławskiego

	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
Powiat nowomiejski (n=49)							
Minimum	0.013	0,006	0,18	0,012	0,22	0,23	0,807
25 percentyl	0,026	0,009	0,29	0,033	0,31	0,40	1,319
Mediana	0,035	0,012	0,40	0,049	0,44	0,49	1,542
75 percentyl	0,055	0,017	0,515	0,091	0,69	0,605	1,905
Maksimum	0,109	0,078	0,97	1,164	1,53	1,06	2,898

Średnia arytmetyczna	0,043	0,014	0,432	0,095	0,529	0,53	1,652
Odchylenie standardowe	0,02	0,03	0,18	0,17	0,29	0,19	0,49
Średnia geometryczna	0,037	0,012	0,40	0,056	0,469	0,501	1,586
Powiat iławski (n=51)							
Minimum	0,011	0,005	0,20	<LOD	0,19	<LOD	0,736
25 percentyl	0,022	0,01	0,28	0,021	0,32	0,36	1,172
Mediana	0,027	0,013	0,36	0,053	0,45	0,43	1,422
75 percentyl	0,041	0,018	0,49	0,105	0,60	0,60	1,907
Maksimum	0,074	0,225	0,88	1,358	4,01	1,18	5,521
Średnia arytmetyczna	0,032	0,020	0,392	0,106	0,597	0,487	1,633
Odchylenie standardowe	0,02	0,03	0,14	0,20	0,61	0,22	0,76
Średnia geometryczna	0,03	0,014	0,371	0,053	0,475	0,438	1,517

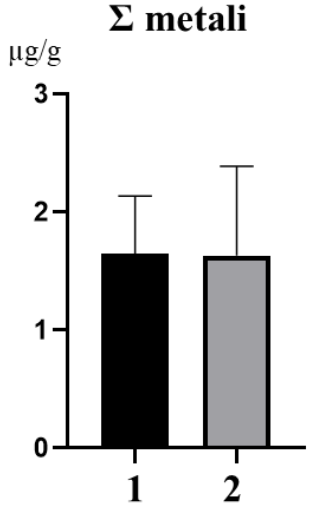
Ryc. 16 Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów z powiatu nowomiejskiego (1) i iławskiego (2). Różnice istotne statystycznie oznaczono *



W porównaniu tym stwierdzono, że w powiecie nowomiejskim średnie stężenie arsenu wynosiło 0.043±0.02 µg/g i było statystycznie istotnie wyższe (p=0.0149) od stężenia zaobserwowanego w powiecie iławskim, gdzie wartość ta wyniosła 0.032±0.02 µg/g. W powiecie nowomiejskim stwierdzono również wyższe średnie stężenie chromu (0.432±0.18 µg/g) i ołowiu (0.53±0.19 µg/g) niż na terenie powiatu iławskiego (odpowiednio 0.392±0.14 µg/g i 0.487±0.22 µg/g), ale różnice te nie były istotne statystycznie. Z kolei średnie stężenia kadmu, rtęci i niklu były wyższe w powiecie iławskim. W powiecie tym średnie stężenie kadmu wynosiło 0.02±0.03, rtęci 0.106±0.2, a niklu 0.597±0.61. W powiecie nowomiejskim wartości te wynosiły odpowiednio 0.014±0.03, 0.095±0.17 i 0.529±0.29. Różnice w stężeniach kadmu, rtęci i niklu pomiędzy badanymi powiatami nie były istotne statystycznie.

Biorąc pod uwagę sumę stężeń wszystkich badanych pierwiastków, stwierdzono, że ich średni poziom w próbkach sierści psów z powiatu nowomiejskiego wynosił 1.652±0.49 µg/g a z powiatu iławskiego 1.633±0.76 µg/g. Między tymi wartościami nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych (Ryc. 17).

Ryc. 17 Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach włosów psów z powiatu nowomiejskiego (1) i iławskiego (2)



W niniejszych badaniach porównano również stężenie metali ciężkich w próbkach sierści psów zamieszkujących trzy miasta objęte doświadczeniem czyli Iławę, Lubawę i Nowe miasto Lubawskie (Tabela 13). Średnie stężenie kadmu, rtęci i niklu stwierdzono w próbkach pobranych od psów zamieszkujących Iławę. Wartości te wynosiły odpowiednio 0.016±0.01 µg/g, 0.087±0.12 µg/g i 0.804±0.97 µg/g (Tabela 13, Ryc. 18). Z kolei najwyższe średnie stężenia arsenu i ołowiu stwierdzono w próbkach psów zamieszkujących Nowe Miasto Lubawskie. Wartości te kształtowały się odpowiednio na poziomie 0.043±0.03µg/g i 0.56 ±0.18 µg/g. W przypadku chromu średnie stężenie w próbkach pobranych od psów zamieszkujących Nowe Miasto Lubawskie i Lubawę było praktycznie jednakowe i wynosiło odpowiednio 0.414±0.16 µg/g i 0.413±0.14 µg/g. Nieco niższe średnie stężenie tego pierwiastka stwierdzono w próbkach pobranych na terenie Iławy (0.387±0.16 µg/g). Należy jednak zaznaczyć, że różnice w stężeniach metali ciężkich objętych niniejszym badaniem w próbkach pobranych od psów zamieszkujących poszczególne miasta nie były istotne statystycznie (Ryc. 18). Dane dotyczące stężeń poszczególnych metali ciężkich w próbkach włosów psów z obszarów poszczególnych miast podsumowano w tabeli 15 i na rycinie 18.

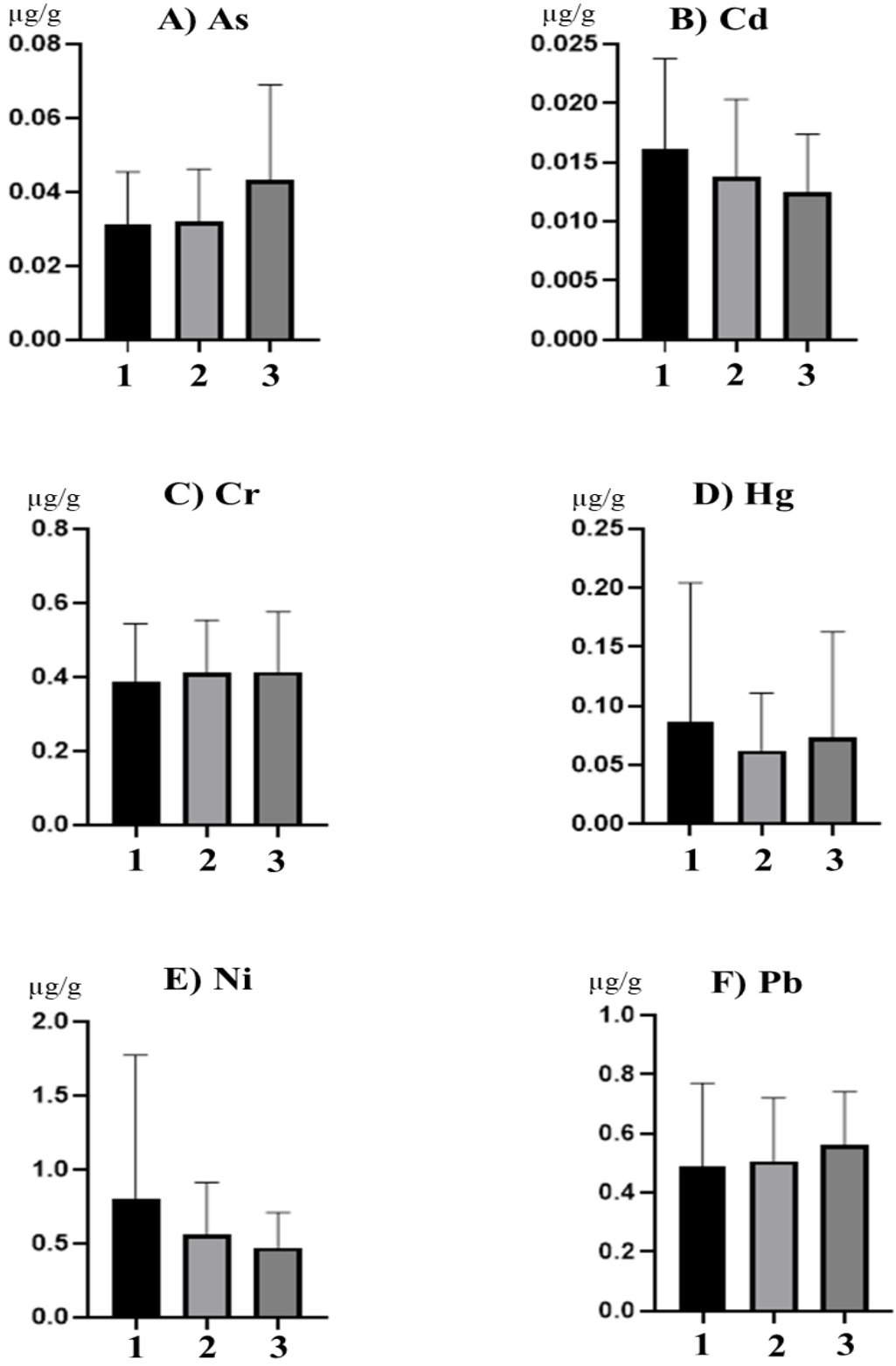
Tabela 13 Stężenie metali ciężkich (µg/g) w próbkach sierści psów zamieszkujących poszczególne miasta

	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Σ metali
Iława (n=17)							
minimum	0.016	0.007	0.24	<LOD	0.23	<LOD	0.736
25 percentyl	0.021	0.012	0.27	0.02	0.305	0.295	1.07
mediana	0.028	0.014	0.38	0.028	0.46	0.48	1.447
75 percentyl	0.04	0.019	0.415	0.12	0.63	0.615	2.119
maksimum	0.069	0.037	0.88	0.365	4.01	1.18	5.521
Średnia arytmetyczna	0.031	0.016	0.387	0.087	0.804	0.49	1.816
Odchylenie standardowe	0.01	0.01	0.16	0.12	0.97	0.28	1.14
Średnia geometryczna	0.029	0.015	0.364	0.04	0.546	0.403	1.59

Lubawa (n=16)							
minimum	0.013	0.006	0.23	0.018	0.22	0.31	1.018
25 percentyl	0.021	0.009	0.313	0.021	0.333	0.36	1.248
mediana	0.028	0.013	0.38	0.049	0.455	0.435	1.493
75 percentyl	0.048	0.018	0.478	0.097	0.633	0.593	1.863
maksimum	0.054	0.029	0.74	0.151	1.7	1.13	2.511
Średnia arytmetyczna	0.032	0.014	0.413	0.062	0.557	0.507	1.585
Odchylenie standardowe	0.01	0.01	0.14	0.05	0.36	0.21	0.42
Średnia geometryczna	0.029	0.012	0.391	0.047	0.487	0.474	1.535
Nowe Miasto Lubawskie (n=28)							
minimum	0.013	0.006	0.23	0.012	0.24	0.3	0.973
25 percentyl	0.025	0.009	0.293	0.027	0.293	0.44	1.32
mediana	0.033	0.011	0.385	0.048	0.4	0.525	1.537
75 percentyl	0.062	0.017	0.508	0.087	0.58	0.668	1.83
maksimum	0.109	0.023	0.97	0.483	1.19	1.06	2.387
Średnia arytmetyczna	0.043	0.013	0.414	0.073	0.472	0.56	1.575
Odchylenie standardowe	0.03	0.005	0.16	0.09	0.24	0.18	0.36
Średnia geometryczna	0.037	0.012	0.389	0.05	0.435	0.534	1.535

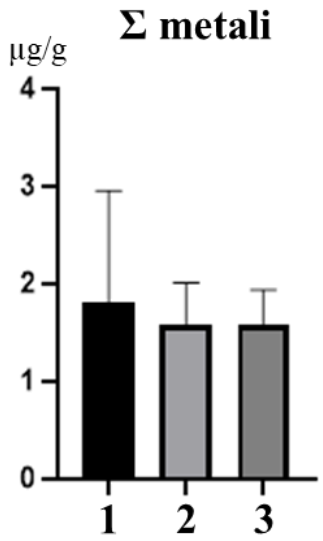
<LOD – poniżej progu wykrywalności

Ryc. 18 Średnie stężenia metali ciężkich (±odchylenie standardowe) w próbkach sierści psów zamieszkujących Iławę (1), Lubawę (2) i Nowe Miasto Lubawskie (3).



Biorąc pod uwagę sumę stężeń wszystkich badanych metali ciężkich, stwierdzono, że ich średni poziom w próbkach sierści psów zamieszkujących na terenie Iławy wynosił 1.816±1.14 µg/g, na terenie Lubawy 1.585±0.43 µg/g, a na terenie Nowego miasta Lubawskiego 1.575±0.36 µg/g. Między tymi wartościami nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych (Ryc. 19).

Ryc. 19 Średnie stężenie (±odchylenie standardowe) sumy wszystkich metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem w próbkach sierści psów zamieszkujących Iławę (1), Lubawę (2) i Nowe Miasto Lubawskie (3).



4.5. Korelacje pomiędzy stężeniami metali ciężkich w próbkach sierści a wielkością (wysokością w kłębie) i wagą psów

Badając korelacje pomiędzy stężeniami poszczególnych metali ciężkich w próbkach sierści psów a ich wielkością (wysokością w kłębie) stwierdzono, iż najwyraźniejsza korelacja dodatnia występuje w przypadku chromu. Stężenie chromu było wyższe u większych psów. Współczynnik korelacji rho-Spearmana wynosił w tym przypadku 0.213 (korelacja niska – zależność wyraźna) z poziomem istotności p=0.033. Ponadto stwierdzono, iż wraz ze wzrostem wielkości psów maleje stężenie rtęci w próbkach ich sierści (korelacja ujemna). Współczynnik korelacji pomiędzy wzrostem psów w kłębie

a stężeniem rtęci w próbkach sierści wynosił -0.256 (korelacja niska – zależność wyraźna) przy poziomie istotności p=0.01. Współczynniki korelacji pomiędzy wielkością psów a stężeniami pozostałych badanych pierwiastków oraz pomiędzy wielkością psów a sumą stężeń wszystkich badanych metali ciężkich były niższe od 0.2 co świadczy o korelacji słabej (praktycznym braku związku pomiędzy wartościami) i nie były istotne statystycznie (Tabela 14). Wartość współczynników korelacji pomiędzy wielkością psów a poziomem metali ciężkich w sierści przedstawiono w tabeli 14, a wykresy tych korelacji na rycinie 20.

Tabela 14 Współczynniki korelacji pomiędzy wysokością psów w kłębie a stężeniami poszczególnych metali ciężkich w ich sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie)

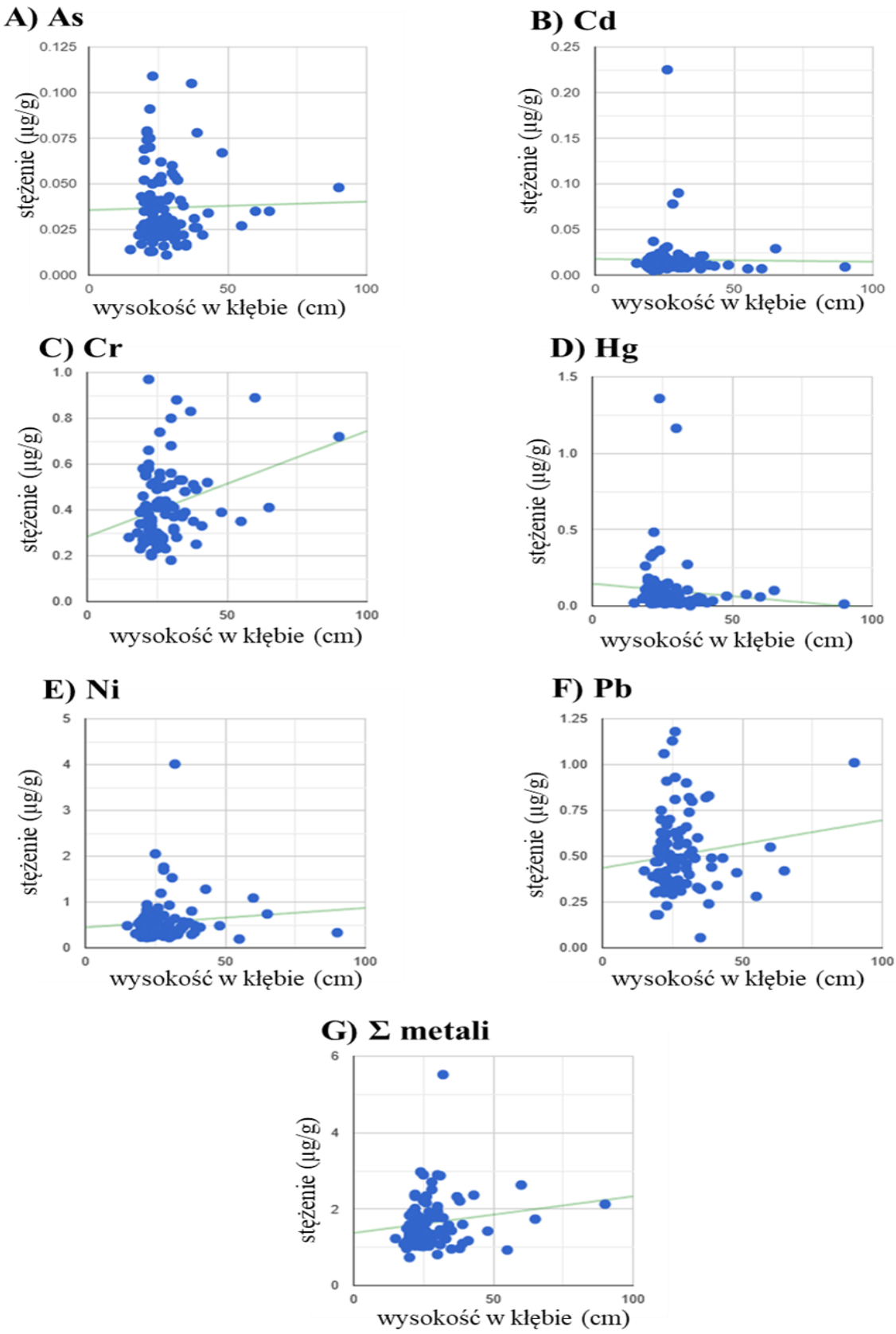
Metale ciężkie	Korelacja rho-Spearmana	Poziom istotności
As	-0.023	0.816
Cd	0.062	0.539
Cr	0.213	0.033
Hg	-0.256	0.01
Ni	0.148	0.141
Pb	0.098	0.334
Σ metali	0.161	0.111

Badając korelacje pomiędzy wagą psów a poziomem metali ciężkich w ich sierści stwierdzono, że jedynie korelacja pomiędzy wagą zwierząt a stężeniem rtęci w sierści jest istotna statystycznie (p=0.018). Stężenie rtęci w sierści malało wraz ze wzrostem wagi zwierząt (korelacja ujemna), a współczynnik korelacji wynosił -0.236 (korelacja niska – zależność wyraźna). Korelacje pomiędzy wagą psów a stężeniami innych metali ciężkich, a także pomiędzy wagą psów a sumą stężeń wszystkich badanych pierwiastków charakteryzowały się współczynnikiem poniżej 0.2 (korelacja słaba - praktyczny brak związku pomiędzy wartościami) i nie były istotne statystycznie. Wartość współczynników korelacji pomiędzy wagą psów a poziomem metali ciężkich w sierści przedstawiono w tabeli 15, a wykresy tych korelacji na rycinie 21.

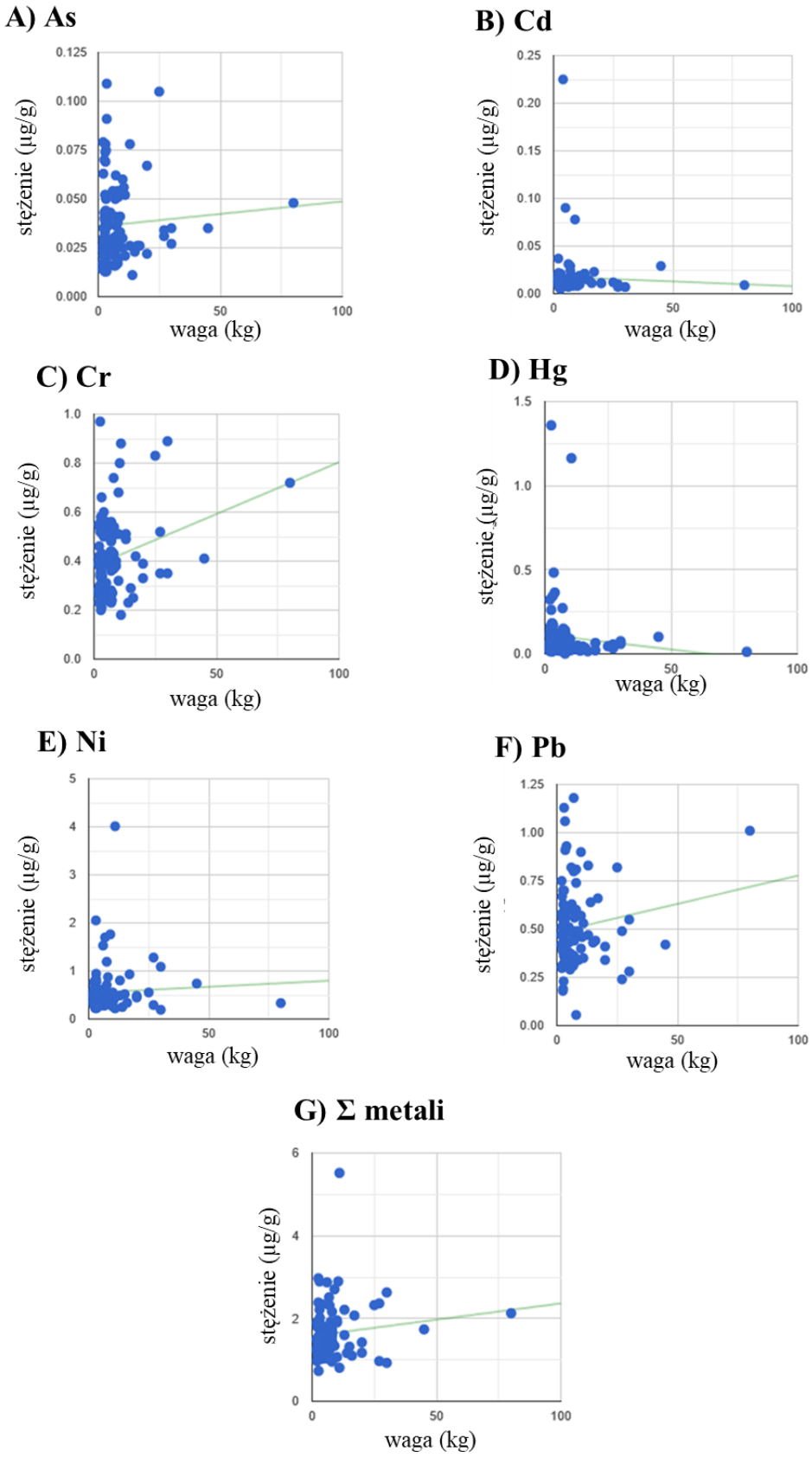
Tabela 15 Współczynniki korelacji pomiędzy wagą psów a stężeniami poszczególnych metali ciężkich w ich sierści (kolorem czerwonym zaznaczono korelacje istotne statystycznie, zielonym – korelacje nieistotne statystycznie)

Metale ciężkie	Korelacja rho-Spearmana	Poziom istotności
As	0.074	0.466
Cd	0.068	0.499
Cr	0.178	0.077
Hg	-0.236	0.018
Ni	0.067	0.509
Pb	0.077	0.445
Σ metali	0.116	0.249

Ryc. 20 Wykresy korelacji pomiędzy wysokością psów w kłębie a stężeniami badanych metali ciężkich w próbkach sierści



Ryc. 21 Wykresy korelacji pomiędzy wagą psów, a stężeniami badanych metali ciężkich w próbkach sierści



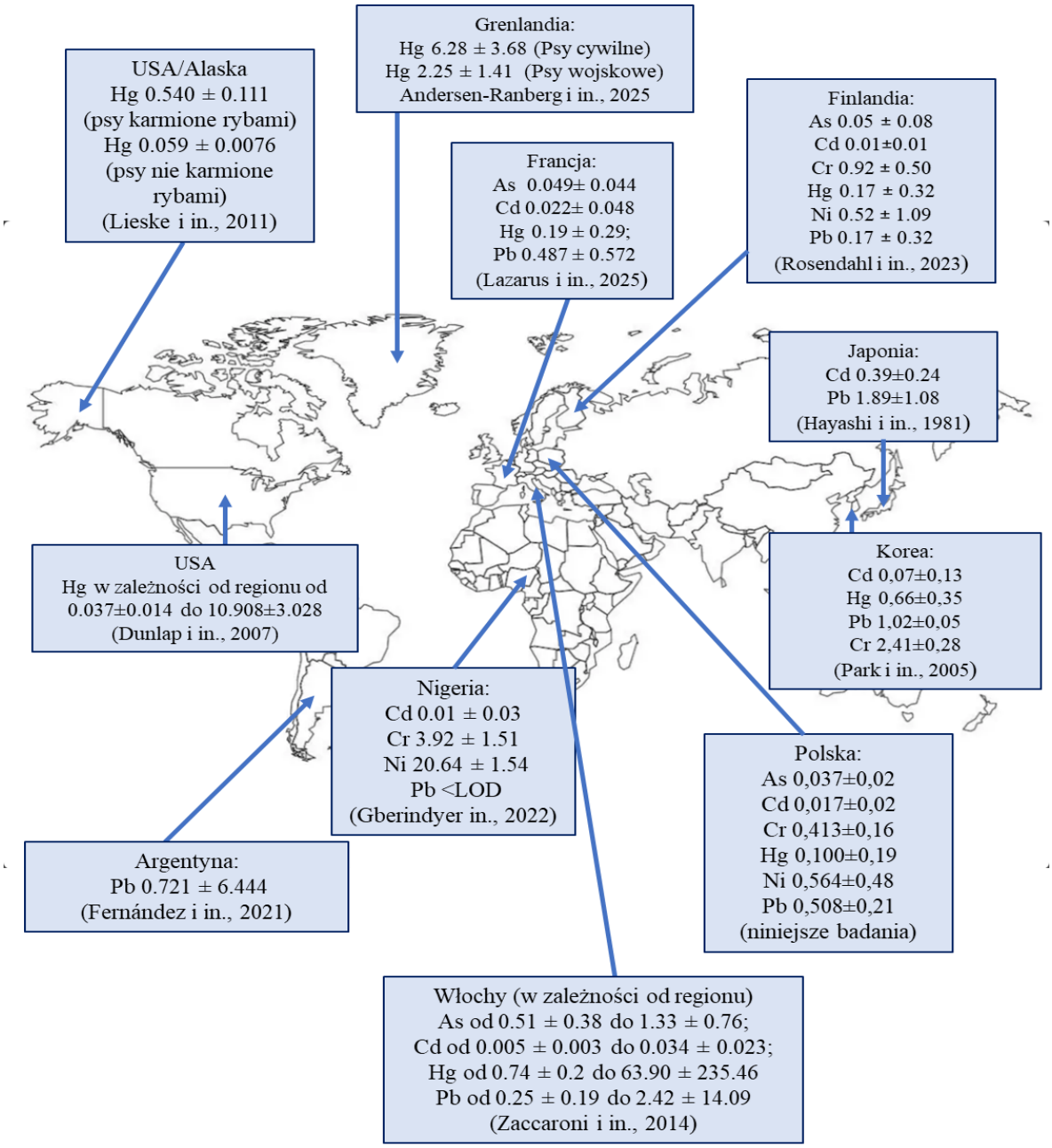
5. Dyskusja

5.1. Porównanie wyników niniejszych badań z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi metali ciężkich w sierści psów

Niniejsze badania wykazały obecność wszystkich badanych pierwiastków w sierści psów z powiatu iławskiego i nowomiejskiego. Fakt ten świadczy o powszechnej ekspozycji psów na metale ciężkie oraz o przydatności analizy sierści do określenia tej ekspozycji. Wyniki niniejszej pracy są generalnie zgodne z wcześniejszymi badaniami, które także odnotowały powszechne występowanie badanych pierwiastków w sierści psów (Tabela 2). Otrzymane wyniki potwierdzają również, że narażenie psów na metale ciężkie wykazuje duże różnice międzyregionalne. Interesująco przedstawia się porównanie poziomów metali ciężkich w sierści psów zaobserwowanych w niniejszym doświadczeniu z wynikami wcześniejszych opracowań na ten temat wykonanych w innych częściach świata (Tabela 2). Generalnie, można zauważyć, że poziomy pierwiastków stwierdzone w niniejszej pracy są stosunkowo niskie, zwykle niższe niż poziomy tych pierwiastków w sierści psów z innych regionów (Tabela 2). Oczywiście różnice te zależą od rodzaju pierwiastka i obszaru, na którym wykonano badania. Przykładowo stężenie rtęci stwierdzone w niniejszym doświadczeniu jest ponad 600 razy niższe niż poziomy obserwowane w określonych regionach Włoch (Zaccaroni i in., 2014) i ponad 100 razy niższe niż te odnotowane w pewnych regionach USA (Dunlap i in., 2007). Z drugiej jednak strony poziomy rtęci zaobserwowane w niniejszym doświadczeniu są zbliżone do tych obserwowanych w sierści psów z Finlandii (Rosendahl i in., 2023) czy Francji (Lazarus i in., 2025) i prawie dwa razy wyższe od stężenia tego pierwiastka w sierści psów z Alaski nie karmionych rybami (Lieske i in., 2011). Podobne wyraźnie różnice można stwierdzić pomiędzy niniejszym badaniem a wcześniejszymi publikacjami także w przypadku innych pierwiastków, Najwyraźniejsze z nich dotyczą ołowiu, którego poziom stwierdzony w niniejszym badaniu był ponad czterdzieści razy mniejszy niż poziom zanotowany w pewnym regionie USA (Zook i in., 1972), ale trzy razy wyższy niż poziomy zaobserwowane w Finlandii (Rosendahl i in., 2023). Porównanie poziomów pierwiastków obserwowanych w niniejszym doświadczeniu z wybranymi wcześniejszymi badaniami dotyczącymi sierści psów przedstawiono na Ryc. 22.

Wyraźne międzyregionalne różnice dotyczą również stosunku ilościowego poszczególnych pierwiastków w próbkach sierści. W niniejszym badaniu najwyższe średnie stężenia zaobserwowano w przypadku niklu, ołowiu i chromu, podczas gdy stężenia pozostałych metali ciężkich były wyraźnie niższe. Mimo, iż liczba wcześniejszych badań określających jednocześnie poziomy tych pierwiastków w sierści psów jest ograniczona (Tabela 2), to można zauważyć, iż niniejsze obserwacje są nieco odmienne od wyników wcześniejszych badań wykonanych w innych regionach świata.

Ryc. 22. Porównanie wyników niniejszych badań z wynikami wcześniejszych wybranych prac dotyczących stężenia metali ciężkich w sierści psów (µg/g) z zaznaczeniem lokalizacji pobierania próbek



Przykładowo w badaniach przeprowadzonych w Nigerii stwierdzono w sierści psów wysokie stężenie niklu (ponad trzydziestokrotnie wyższe niż niniejszych badaniach), ale poziomy ołowiu były poniżej progu wykrywalności (Gberindyer p in., 2022). Z kolei podczas badań przeprowadzonych w Finlandii nikiel i chrom dominowały w sierści psów (podobnie jak w niniejszych badaniach), ale stężenie ołowiu było znacznie niższe (trzykrotnie niższe niż w niniejszym doświadczeniu) (Rosendahl i in., 2023).

Wyraźne różnice pomiędzy niniejszymi badaniami a wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi poziomów metali ciężkich w sierści psów wynikają z faktu, iż poziomy tych pierwiastków w środowisku naturalnym, a co za tym idzie stopień ekspozycji na nie organizmów żywych zależy od wielu czynników. Do czynników tych można zaliczyć stopień uprzemysłowienia i rodzaj przemysłu, poziom urbanizacji danego terenu, ale także natężenie ruchu samochodowego, poziom oczyszczenia ścieków komunalnych i przemysłowych, sposoby ogrzewania domów, lokalizację wysypisk śmieci, stopień rozwoju i typ rolnictwa oraz wiele innych (Järup, 2003; Rehman i in., 2018). Poza tym wykazano, iż nawet niewielkie różnice w odległości od źródeł zanieczyszczania środowiska metalami ciężkimi powodują widoczne zmiany w poziomach tych pierwiastków w organizmach żywych, w tym także w sierści psów (Levine i in., 1976). Oprócz warunków środowiskowych, ważnym czynnikiem mogącym wpływać na stopień ekspozycji psów na metale ciężkie jest dieta, używanie kosmetyków dla zwierząt, czy fakt palenia tytoniu przez właściciela. Stwierdzono, iż szczególnie narażone na metale ciężkie są psy, w których diecie dominują ryby (Kral i in., 2015) lub pewne zboża (Rosendahl i in., 2020). Sytuacja taka ma związek z tym, że w świetle wcześniejszych badań poziomy metali ciężkich w ciałach organizmów wodnych, w tym ryb, mogą być szczególnie wysokie (de Oliveira i in., 2021). Wysokie poziomy metali ciężkich obserwowano również w zbożach uprawianych na glebach o wysokim stopniu zanieczyszczenia lub przy użyciu pestycydów i nawozów sztucznych (Nacke i in., 2013; Angon i in., 2024). Istnienie licznych lokalnych czynników wpływających na stopień ekspozycji psów na metale ciężkie potwierdzają wyraźne różnice w ich poziomie pomiędzy poszczególnymi osobnikami, które widoczne były zarówno w niniejszych badaniach, jak i wcześniejszych opracowaniach (Zaccaroni i in., 2014; Fernández i in., 2021; Rosendahl i in., 2023). Nie należy także zapominać, że poszczególne regiony świata mogą różnić się między sobą poziomem metali ciężkich naturalnego pochodzenia wynikającym z budowy geologicznej, struktury gleby czy erozji

skał, ponieważ poziom ten ma również wpływ na stopień ekspozycji organizmów żywych na te pierwiastki (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024; Carrera-Beltrán i in., 2024). Generalnie, niższy poziom metali ciężkich obserwowany w niniejszych badaniach w porównaniu do wcześniejszych opracowań (Tabela 2; Ryc. 22) sugeruje stosunkowo niski poziom badanych pierwiastków w środowisku naturalnym regionów włączonych do badań. Najprawdopodobniej jest to związane z niskim stopniem uprzemysłowienia, a w szczególności brakiem na tym obszarze dużych zakładów przemysłu ciężkiego i metalurgicznego, które uważa się za główne źródła zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi (Järup, 2003; Rehman i in., 2018). Z drugiej jednak strony powszechna obecność metali ciężkich w próbkach sierści objętych niniejszym badaniem udowadnia, że nawet na terenach o stosunkowo niskim stopniu uprzemysłowienia organizmy żywe są narażone na działanie tych pierwiastków. Wiązać się to może z ruchem samochodowym, rolnictwem oraz różnego typu zanieczyszczeniami komunalnymi oraz innymi czynnikami lokalnymi.

Pewne utrudnienia w porównywaniu niniejszych wyników z wcześniejszymi badaniami wynikają z faktu, iż analiza sierści psów w oznaczaniu ich ekspozycji na metale ciężkie była dotychczas używana stosunkowo rzadko. Nieliczne badania dotyczące tego zagadnienia wykonywane były na ograniczonej liczbie zwierząt (Tabela 2). Jedynie jedno dotychczasowe badanie przeprowadzono na grupie liczniejszej niż ta użyta w obecnym doświadczeniu (Kral i in., 2015), a dwa inne na grupach mniej licznych ale liczebnie zbliżonych do niniejszego badania (Dunlap i in., 2007; Zaccaroni i in., 2014). Pozostałe wcześniejsze badania dotyczące metali ciężkich w sierści psów obejmowały niejednokrotnie po kilka osobników, a nawet pojedyncze zwierzęta (Tabela 2). Poza tym często analiza sierści psów dotyczyła jednego pierwiastka (Zook i in., 1972; Sakai i in., 1995; Kral i in., 2015; Fernández i in., 2021), co także utrudnia kompleksowe porównanie z niniejszymi badaniami. Należy również podkreślić, iż niektóre badania dotyczące poziomów metali ciężkich w sierści psów wykonywane były stosunkowo dawno, bo jeszcze w latach siedemdziesiątych, osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku (Zook i in., 1972; Levine i in., 1976; Hayashi i in., 1981; Sakai i in., 1995). Sytuacja taka również utrudnia porównanie tych badań z niniejszymi wynikami, gdyż wiadomo, że poziom metali ciężkich w środowisku ulega zmianom, przy czym może się zwiększać (na skutek np. rozwoju przemysłu czy wzrostu ruchu samochodowego lub lotniczego), ale także zmniejszać (co jest związane np. z nowymi technologiami czy bardziej restrykcyjnymi

przepisami dotyczącymi emisji zanieczyszczeń do środowiska) (Saher i in., 2016; Brudecki i in., 2024).

5.2. Trudności w porównaniu poziomów metali ciężkich obserwowanych w próbkach sierści i innych matrycach

Co prawda, istnieją liczne badania dotyczące oceny ekspozycji psów na metale ciężkie przy użyciu analizy próbek surowicy krwi, moczu czy innych matryc (Tomza-Marciniak i in., 2012; Lanocha i in., 2012, 2013; Craun i in., 2020). Niestety bezpośrednie porównanie niniejszych wyników z tymi badaniami jest praktycznie niemożliwe ze względu na zupełnie inny charakter próbek sierści jako matrycy do badań. Próbki sierści bowiem odzwierciedlają długotrwałe narażenie organizmu na metale ciężkie, podczas gdy analiza próbek surowicy krwi i moczu daje nam informacje o narażeniu krótkotrwałym. Różnice pomiędzy próbkami sierści a innymi matrycami zostały przedstawione we wstępie niniejszej pracy.

Dotychczasowe badania analizujące poziomy metali ciężkich w różnych typach próbek pobranych od tych samych osobników wykazały, iż stężenia tych substancji we włosach/sierści są zwykle wyższe niż te obserwowane w surowicy krwi czy moczu (Kamalian i in., 2023; Otzas i in., 2023). Sytuacja taka może wynikać z dwóch przyczyn. Po pierwsze, jak wspomniano powyżej analiza włosów/sierści odzwierciedla ekspozycję długotrwałą, a metale ciężkie mogą się utrzymywać we włosach przez długi czas nawet po ustaniu narażenia (Kintz i in., 2022; Brudecki i in., 2024). Biorąc pod uwagę długość sierści objętej niniejszymi badaniami (1,5 - 2 cm) oraz średnie tempo wzrostu sierści u psów, które wynosi w przybliżeniu 1,25 cm na miesiąc (Guranatnam i Wilkinson, 1983; Diaz i in., 2004), to poziomy metali ciężkich obserwowane w niniejszych badaniach odpowiadają narażeniu zwierząt trwającemu 1-1.5 miesiąca. Oczywiście ten okres można jedynie podać w dużym przybliżeniu, gdyż wiadomo, że tempo wzrostu sierści u psów zależy od wielu czynników, takich jak wiek, rasa, dieta, kondycja, a nawet okolica ciała (Guranatnam i Wilkinson, 1983; Diaz i in., 2004). Drugą z przyczyn wyższego poziomu metali ciężkich we włosach/sierści (która jest zresztą powiązana z pierwszą) może być fakt występowania dużego powinowactwa tych pierwiastków do grup sulfhydrylowych

wchodzących w skład aminokwasów tworzących keratynę włosa (McLean i in., 2009; Rendón-Lugo i in., 2017).

Wyższe poziomy metali ciężkich we włosach w porównaniu do surowicy krwi czy próbek moczu obserwowano zarówno u ludzi (Revich, 1994; Hamouda i Felemban, 2023; Kamalian i in., 2023), jak i u innych domowych i dziko żyjących gatunków ssaków (Cygan-Szczegielniak i in., 2022a,b; Oztas i in., 2025). U psów wiedza na temat porównania poziomów metali ciężkich w sierści i innych typach matryc jest bardzo ograniczona. Według najlepszej wiedzy autorki, jedynie dwie prace powstałe wiele lat temu dotyczą tej tematyki. W pierwszej z nich stwierdzono nieco wyższe poziomy ołowiu w sierści w stosunku do surowicy krwi i wyraźnie wyższe od tych obserwowanych w wątrobie (Zook i in., 1972). W drugiej, w której analizowano próbki pobrane od jednego psa narażonego na rtęć zawartą w rybach, które były głównym jego pożywieniem stwierdzono, co zaskakuje, niższy poziom tego pierwiastka w sierści niż w moczu, kale i surowicy krwi (Hansen i in., 1989).

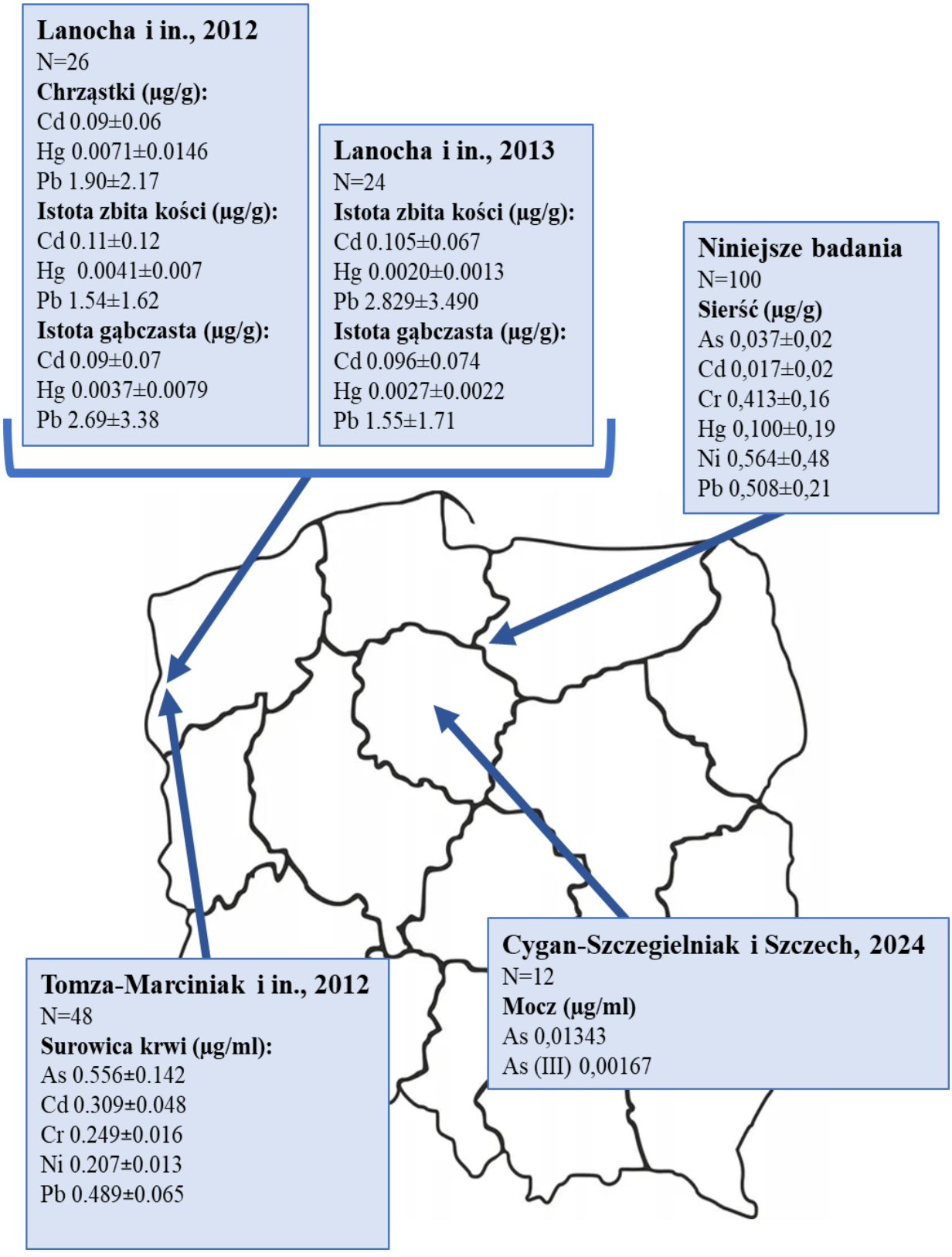
Można przypuszczać że ilościowy stosunek metali ciężkich we włosach i innych matrycach zależy także od momentu pobrania próbek. Wyobraźmy sobie bowiem taka sytuację. Organizm żył przez dłuższy czas w środowisku, gdzie narażenie na metale ciężkie było niewielkie. Następnie, np. na skutek spożywania pokarmu w wysokim stopniu zanieczyszczonego tymi pierwiastkami, narażenie drastycznie wzrosło. Próbki sierści, moczu i surowicy krwi pobrano po np. 2-3 dniach spożywania zanieczyszczonej metalami ciężkimi karmy. Wówczas analiza sierści wykaże niskie poziomy metali ciężkich odzwierciedlające narażenie z ostatnich tygodni, natomiast ich poziomy w surowicy czy moczu będą już wysokie. Może też wystąpić sytuacja odwrotna. Organizm był narażony na wysokie stężenia metali ciężkich w pożywieniu przez długi czas. Następnie, zmieniono dietę i środowisko i ekspozycja na metale ciężkie była niewielka. W przypadku pobrania próbek po kliku dniach od tych zmian stężenie metali ciężkich w sierści byłoby wyższe niż w surowicy lub moczu. Dlatego też porównywanie poziomów nie tylko metali ciężkich, ale również innych substancji znajdujących się w środowisku we włosach/sierści i innych matrycach jest obarczone znacznym błędem i praktycznie niemożliwe.

5.3. Wyniki niniejszych badań a wcześniejsze obserwacje dotyczące ekspozycji psów na metale ciężkie w Polsce

Niestety, dotychczas nie oznaczano poziomów metali ciężkich w sierści psów w Polsce. Jedyne dane dotyczą obecności tych pierwiastków w kościach, surowicy krwi i moczu u psów żyjących w zupełnie innych regionach Polski niż zwierzęta objęte niniejszym doświadczeniem (Ryc. 23).

Trudności w porównywaniu poziomów pierwiastków w sierści i surowicy krwi czy moczu przedstawiono powyżej. Jeżeli natomiast chodzi o poziomy metali ciężkich w kościach, to odzwierciedlają one znacznie dłuższy czas narażenia (liczony nawet w latach) niż ten, który odzwierciedla ich stężenie we włosach. Z tego też względu poziomy metali ciężkich w kościach są zwykle wyższe niż te stwierdzane we włosach (Belbel i in., 2025). Należy jednak podkreślić, iż okresowe wahania w stopniu narażenia wymienione powyżej także istotnie wpływają na to, czy poziomy metali ciężkich w kościach są rzeczywiście wyższe niż te obserwowane we włosach. Porównując niniejsze wyniki z poziomami metali ciężkich obserwowanymi w kościach psów żyjących w Polsce opisanymi we wcześniejszych badaniach należy stwierdzić, że stężenie ołowiu i kadmu w kościach było wyraźnie wyższe niż wartości odnotowane w sierści podczas obecnych badań (Lanocha i in., 2012, 2013). Natomiast, odwrotną sytuację można zaobserwować w przypadku rtęci, której stężenie we włosach wielokrotnie przewyższa wartości obserwowane w kościach (Lanocha i in., 2012, 2013). Trzeba przy tym zaznaczyć, iż rtęć ma prawdopodobnie mniejsze powinowactwo do kości niż inne metale ciężkie i jej poziomy w tkance kostnej są znaczne niższe niż innych metali ciężkich, co stwierdzono w wielu wcześniejszych publikacjach (Brodziak-Dopierala i in., 2009; Lanocha i in., 2012, 2013; Ciosek i in., 2023). Poza tym poziom metali ciężkich w kościach zależy od wielu różnych czynników, do których należą nie tylko czynniki środowiskowe, ale także np. rodzaj tkanki kostnej (czy gąbczasta czy zbita) oraz od lokalizacji kości w organizmie (Lanocha i in., 2012; 2013; Ciosek i in., 2023).

Ryc. 23 Porównanie wyników niniejszej pracy z wcześniejszymi badaniami dotyczącymi narażenia psów na metale ciężkie w Polsce z zaznaczeniem lokalizacji pobierania próbek (N - liczba próbek)



Na różnice pomiędzy wynikami niniejszych badań a wcześniejszymi badaniami dotyczącymi poziomów metali ciężkich w kościach psów w Polsce, może wpływać fakt, że poprzednie obserwacje dotyczyły psów żyjących w okolicach Szczecina – dużego ośrodka miejskiego i przemysłowego (także przemysłu ciężkiego, metalurgicznego i stoczniowego), natomiast niniejsze badanie obejmowało zwierzęta z obszarów o stosunkowo małym stopniu industrializacji.

5.4. Wyniki niniejszych badań a wcześniejsze obserwacje dotyczące poziomów metali ciężkich we włosach ludzi i sierści zwierząt w Polsce

Dużo bardziej miarodajne wydaje się porównanie wyników niniejszych badań z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącym poziomów metali ciężkich we włosach ludzi i sierści zwierząt domowych i dziko żyjących w Polsce (Tabela 16).

Tabela 16 Poziomy metali ciężkich objętych niniejszym doświadczeniem we włosach ludzi i sierści zwierząt w Polsce (w µg/g) wg wcześniejszych badań

Gatunek	Region lub miejscowość	n	Średnie stężenie±SD lub mediana	Literatura
Ludzie	Lublin	157	Pb: 7,21±4,79; Cd: 0,39±0,95	Zaborowska i Wierciński, 1996
	Chorzów	69	Pb:4,41; Cd: 0,53	Kasznia-Kocot i in., 1996
	Górny Śląsk	158	Cd: 0,91±0,61; Pb: 8,21±5,59	Chłopicka i in., 1998
	Oświęcim - pracownicy zakładów chemicznych	127	Hg: 16,09±3,78	Ludwicki i in., 1998
	Oświęcim – ogół mieszkańców	153	Hg: 0,4±0,02	Ludwicki i in., 1998
	Warszawa – pracownicy wytwórni termometrów	28	Hg: 1,93±0,75	Ludwicki i in., 1998
	Warszawa – ogół mieszkańców	46	Hg: 0,17±0,02	Ludwicki i in., 1998

	Beskid Niski	266	Pb: 4,99±3,9; Ni: 0,75±1,15; Cd: 0,61±1,13; Cr: 0,6±1,13	Nowak, 1998
	Zwardoń	40	Pb: od 3,6±2,1 do 18,3±68,7; Ni: od 4,6±2,6 do 5,5±2,8; Cd: 0,2±0,2 do 0,3±0,2; Cr: od 0,3±9,4 do 0,7 ±0,6 (w zależności od płci i koloru włosów)	Nowak i Kozłowski, 1998
	Gdańsk i okolice	67	Cd: 0,35±0,33	Hać i in., 1998
	Szczecin	174	Pb: 1,2; Cd: 0,1*	Kędzierska, 2003
	Wrocław	117	As: 0.84±0,325; Cd: 0,09±0,062; Cr: 1,2±0,81; Hg: 0,208±0,16; Ni: 0,951±0,809; Pb: 3,08±1,69	Chojnacka i in., 2010
	Wrocław	267	Pb: 2,01±2,1	Michalak i in., 2014
	Łódź i okolice	444	Hg: 0.174±0.137	Marcinek-Jacel i in. 2017
	Dolny Śląsk	115	As: 0,25±1,89; Cd: 0,06±0,059; Cr: 0,87±1,17; Hg: 0,15 Ludwicki i in., 19980,16; Ni: 2,31±4,95; Pb: 0,94±2,84	Izydorczyk I in., 2021
	Kraków i okolice	33	Pb: 0,45; Cd: 0,0265; As: 0,015**	Brudecki i in., 2024
	Południowa Polska***	28	Pb: 7,76; Cd: 0,18; As: 0,3**	Brudecki i in., 2024
Krowy	Różne regiony: woj. Opolskie, Podlaskie, Kujawsko-Pomorskie	114	Pb: od 0,56±0,23 do 2,34±0,57; Cd: od 0,03±0,008 do 0,07±0,001 (w zależności od regionu i pory roku)	Cygan-Szczegielniak i in., 2014
Jelenie	Kujawsko-Pomorskie	56	Pb: od 0,565±0,375 do 1,51±1,1; Cd: od 0,046±0,042 do 0,092±0,032 (w zależności od płci i wieku)	Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022a
Lisy rude (dzikie)	Nie sprecyzowano	8	Cr: 0,263±0,133; Ni: 0,295±0,058; Pb: 0,633±0,078	Filistowicz i in., 2011
Lisy srebrne (hodowlane)	Nie sprecyzowano	12	Cr: 0,207±0,115; Ni: 0,48±0,303; Pb: 0,642±0,034	Filistowicz i in., 2011
Konie	Kujawsko-Pomorskie	36	Pb: od 0,578 ±0,366 do 0,813±0,728; Cd: od 0,011±0,011 do 0,015±0,014 (w zależności od stajni)	Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022b
Dziki	Różne regiony	17	Hg: od 0,052±0,03 do 0,077±0,02 (w zależności od regionu)	Sobańska, 2005
Foki szare	Hel	40	Hg: dorosłe 1,719±0,586, młode 1,744±0,546	Grajewska i in., 2020
Koniki polskie	Roztocze	107	Cr: od 0,12±0,12 do 0,47±0,67; Cd: od 0 do 0,37±0,87; Pb: od o do 0,44±0,24 (w zależności od wieku, pory roku i typu hodowli)	Stachurska i in., 2009

Niedźwiedzie brunatne(dziko żyjące)	Południe Polski****	34	As: 0,119 ±0,114; Cd: 0,0368±0,0243; Hg: 0,156±0,143; Pb:0,479±0,348	Lazarus i in., 2020
Niedźwiedzie brunatne (żyjące w niewoli)	Cała Polska	16	As: 0,0477±0,0498; Cd:0,0067±0,00492; Hg: 0,0742±0,0665; Pb: 0,225±0,311	Lazarus i in., 2020

*Autorzy nie podają wartości odchylenia standardowego;

** mediana (autorzy nie podają średniej)

*** próbki włosów ludzi żyjących sto lat temu:

****autorzy badali próbki pochodzące od niedźwiedzi, z których część pochodziła z Chorwacji. Autorzy nie podali osobnych średnich wartości dla zwierząt z Polski i Chorwacji

Badania dotyczące zawartości metali ciężkich we włosach ludzi i sierści zwierząt na terenie Polski są stosunkowo liczne (Tabela 16). Jednakże, dotychczas nie ma danych na ten temat dotyczących powiatów włączonych w niniejsze badania czy nawet województwa warmińsko-mazurskiego. Analizując wcześniejsze badania (Tabela 16) należy podkreślić duże różnice w zawartości metali ciężkich we włosach ludzi zamieszkujących różne regiony Polski. Duże znaczenia ma także czas wykonania badań lub pobrania próbek. Narażenie na metale ciężkie zmienia się wyraźnie na przestrzeni lat, co udowodnili Brudecki i in. (2024), wykazując wyraźne różnice w zawartości metali ciężkich w próbkach ludzkich włosów pobranych 100 lat temu i współcześnie. We wcześniejszych badaniach stwierdzono również zależności pomiędzy zawartością metali ciężkich a wiekiem, płcią czy miejscem pracy, a nawet kolorem włosów (Kasznia-Kocot i in., 1996; Nowak i Kozłowski, 1998; Ludwicki i in., 1998; Chojnacka i in., 2010; Izydorczyk i in., 2021). Badania dotyczące metali ciężkich w sierści zwierząt na terenie Polski są mniej liczne niż badania dotyczące ludzkich włosów (Tabela 16). Tym niemniej, podobnie jak u ludzi, stwierdzono różnice pomiędzy poszczególnymi regionami, różnymi porami roku, wiekiem, płcią czy sposobem hodowli (Sobańska, 2005; Stachurska i in., 2009; Grajewska i in., 2020; Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022a, b). Pewne różnice widoczne były nawet pomiędzy poszczególnymi hodowlami w obrębie tego samego województwa (Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022b), co świadczy o istnieniu lokalnych czynników wpływających na poziom metali ciężkich w sierści. W niniejszych badaniach

potwierdzeniem istnienia takich lokalnych czynników są duże różnice w stężeniach badanych pierwiastków pomiędzy poszczególnymi psami.

Porównując wyniki niniejszych badań z wcześniejszymi obserwacjami (Tabela 16) należy podkreślić, że stężenia metali ciężkich w sierści psów są generalnie niższe niż we włosach ludzi, aczkolwiek różnice te zależą od regionu, gdzie wykonywane były badania oraz od rodzaju pierwiastka. Przykładowo stężenie ołowiu we włosach ludzi mieszkających na terenie Górnego Śląska (regionu wysoko uprzemysłowionego) (Chłopicka i in., 1998) było ponad 16 razy wyższe niż to obserwowane w niniejszych badaniach. Natomiast, stężenie rtęci we włosach ludzi mieszkających na Dolnym Śląsku (Izydorczyk i in., 2021) było jedynie 1,5 razy wyższe od stężenia obserwowanego w sierści psów. Niższe stężenia metali ciężkich w sierści psów w porównaniu do włosów ludzi wydają się logiczne, gdyż metale ciężkie zanieczyszczające środowisko mają głównie pochodzenie antropogeniczne i ludzie narażeni są na nie poprzez czynniki, które nie mają znaczenia u zwierząt. Czynniki te mogą być związane z paleniem tytoniu, stosowaniem kosmetyków, nawykami, stylem życia, korzystaniem z transportu samochodowego itp. Jednakże, najważniejszą różnicą w narażeniu na metale ciężkie pomiędzy ludźmi i zwierzętami jest narażenie zawodowe człowieka. Wykazano bowiem, że np. we włosach niektórych grup zawodowych (u pracowników zakładów chemicznych) stężenie rtęci może być nawet 40 razy wyższe niż u pozostałych mieszkańców tego samego terenu (Ludwicki i in., 1998).

Stężenia metali ciężkich stwierdzone w niniejszym doświadczeniu u psów były generalnie zbliżone do poziomów obserwowanych wcześniej u zwierząt gospodarskich w Polsce (Tabela 16), a różnice widoczne pomiędzy tymi badaniami wynikają prawdopodobnie z międzyregionalnych różnic w zanieczyszczeniu środowiska tymi pierwiastkami. Co ciekawe, stężenia metali ciężkich w sierści psów są częstokroć niższe niż te obserwowane u zwierząt dzikich (Gajewska i in., 2020; Lazarus i in., 2020; Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022a). Jak już wspomniano powyżej metale ciężkie w środowisku mają przede wszystkim pochodzenie antropogeniczne i wydawałoby się, że psy jako zwierzęta żyjące w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka są bardziej narażone na te pierwiastki. Jednakże, stosunkowo wysokie stężenia metali ciężkich w sierści zwierząt

dzikich wskazują, że w niektórych regionach zanieczyszczenie tymi pierwiastkami jest wysokie. Dużą rolę może też odgrywać dieta zwierząt. Wysokie poziomy rtęci stwierdzono np. u foki szarej (Grajewska i in., 2020), której podstawowe pożywienie stanowią ryby, a wiadomo, że organizmy wodne są w wysokim stopniu narażone na działanie metali ciężkich (szczególnie rtęci) ze względu na duże zanieczyszczenie wód powierzchniowych tymi pierwiastkami (de Oliveira i in., 2021).

Co ciekawe, w przebiegu niniejszych badań nie stwierdzono silnych korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych metali ciężkich w sierści psów, zaś korelacje umiarkowane tylko pomiędzy stężeniami niektórych z nich. Sugeruje to, że źródła ekspozycji psów na poszczególne metale ciężkie mogą być różne. Ma to duże znaczenie z punktu widzenia toksykologii weterynaryjnej, gdyż nawet wyeliminowanie jakiegoś czynnika powodującego narażenie zwierzęcia na metale ciężkie nie eliminuje całkowicie tego problemu.

5.5. Poziomy metali ciężkich w próbkach sierści a płeć zwierząt

W niniejszych badaniach nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w stężeniach badanych metali ciężkich pomiędzy osobnikami różnej płci. Należy podkreślić, iż wcześniejsze obserwacje, w przeciwieństwie do niniejszych badań, potwierdziły istnienie różnic w stężeniach metali ciężkich w rożnych typach matryc pomiędzy osobnikami różnej płci, zarówno u człowieka jak i u innych gatunków ssaków (Nowak i Kozłowski, 1998; Chen i in., 2016; Cygan-Szczegielniak i Stasiak, 2022; Galarneau i in., 2022). Różnice te zależały wyraźnie od typu badanych metali ciężkich. Poziomy jednych z nich (np. kadmu) były zwykle wyższe u osobników płci żeńskiej, a innych (np. rtęci) u osobników płci męskiej (Vahter i in., 2007; Lee i Kim, 2014; Idowu i in., 2023). Ponadto, stwierdzono również różnice w stopniu toksyczności metali ciężkich pomiędzy osobnikami różnej płci (Vahter i in., 2007; Idowu i in., 2023). W świetle dotychczasowych badań uważa się, że różnice w absorbcji, dystrybucji i wydalaniu metali ciężkich, a co za tym idzie w stężeniach tych pierwiastków u osobników różnej płci mogą być związane z 1) poziomem tkanki tłuszczowej w ciele, która może magazynować, a następnie stopniowo uwalniać metale ciężkie. Osobniki płci żeńskiej mają generalnie wyższy poziom tkanki tłuszczowej niż osobniki męskie i dlatego stężenia niektórych metali

ciężkich mogą być u nich wyższe (Jackson i in., 2017; Sousa i in., 2022); 2) aktywnością hormonalną. Wiadomo bowiem, iż hormony płciowe w dużym stopniu wpływają na wchłanianie, metabolizm i wydalanie metali ciężkich (Shimada i in., 2012; Lee i Kim, 2014); 3) różnicami w metabolizmie. Wiadomo na przykład, że istnieją międzypłciowe różnice w poziomie glutationu, który ma działanie przeciwutleniające i wspomaga usuwanie metali ciężkich z organizmu (Idowu i in., 2023).

Ponadto, u człowieka istnieją także inne czynniki wpływające na różnice w stężeniu metali ciężkich między osobnikami różnej płci. Są to czynniki związane ze stylem życia, czy rodzajem wykonywanej pracy. Można tu wymienić fakt, że niektóre zawody związane z przemysłem ciężkim, metalurgicznym czy wydobywczym, z którymi wiąże się większe zawodowe narażenie na metale ciężkie są wykonywane częściej przez mężczyzn. Z kolei kobiety zwykle częściej od mężczyzn używają biżuterii czy kosmetyków, które mogą być ważnym źródłem narażenia organizmu na metale ciężkie (Vahter i in., 2007; Gyamfi i in., 2024). Natomiast, u zwierząt różnice w poziomie metali ciężkich pomiędzy osobnikami różnej płci mogą wynikać z szybkości i ilości pobieranego pożywienia zanieczyszczonego tymi pierwiastkami. Przykładem mogą być badania Watanabe i in. (1998) dotyczące foki bajkalskiej. Autorzy stwierdzili w tych badaniach wyższe poziomy rtęci i kadmu u samic, co wyjaśnili faktem, że samice, szczególnie w okresie karmienia młodych, zjadają większą ilość zanieczyszczonych metalami ciężkimi ryb, a szybkość spożywania pokarmu też jest większa niż u samców (Watanabe i in., 1998).

We wcześniejszych badaniach dotyczących poziomu metali ciężkich w sierści psów także zaobserwowano pewne różnice pomiędzy osobnikami różnej płci, ale uzyskane wyniki są często sprzeczne i niejednoznaczne. I tak Sakai i in. (1995) stwierdzili wyższy poziom rtęci w sierści osobników płci męskiej. Z kolei inne badania nie wykazały różnic w stężeniu rtęci w sierści pobranej od osobników męskich i żeńskich (Badea i in., 2025). Kolejne badania wykazały co prawda wyższy poziom rtęci w sierści pobranej od suk (1,08 µg/g) w stosunku do poziomów obserwowanych u psów (0,25µg/g), ale różnice nie były istotne statystycznie (Park i in., 2005). W przebiegu niektórych wcześniejszych badań wykazano wyższe stężenia niklu i kadmu w sierści osobników męskich w stosunku do osobników żeńskich oraz odwrotną sytuację w przypadku ołowiu (Badea i in., 2025),

ale inne badania nie potwierdziły takiego stanu rzeczy, gdyż różnice w stężeniu tych pierwiastków w sierści psów i suk nie wykazywały różnic istotnych statystycznie (Park i in., 2005). Biorąc pod uwagę powyższe rozbieżności we wcześniejszych badaniach oraz brak różnic statystycznie istotnych pomiędzy osobnikami płci męskiej i żeńskiej w niniejszym badaniu można przypuszczać, że środowiskowe czynniki lokalne mają większy wpływ na poziom metali ciężkich w sierści psów niż czynniki związane z płcią. Za takim przypuszczeniem przemawia również fakt, że zarówno w niniejszym badaniu, jak i wcześniejszych obserwacjach (Tabela 2) stwierdzono bardzo wyraźne różnice w poziomie metali ciężkich pomiędzy poszczególnymi osobnikami.

5.6. Poziomy metali ciężkich w próbkach sierści a wiek zwierząt

W trakcie niniejszego badania stwierdzono pewne różnice w stężeniu metali ciężkich pomiędzy osobnikami w różnym wieku. Jednak nie były one zbyt wyraźne, gdyż różnice istotne statystycznie stwierdzono jedynie w przypadku chromu i sumy wszystkich pierwiastków objętych badaniem pomiędzy grupą psów najmłodszych (poniżej 3 lat) i najstarszych (powyżej 10 lat), przy czym wyższe stężenia stwierdzono w tej drugiej grupie.

W świetle wcześniejszych badań wiadomo, iż zawartość metali ciężkich jest zwykle wyższa u osobników starszych. Zjawisko takie było obserwowane zarówno u ludzi, jak i innych gatunków ssaków (Varga i in., 1993; Endo i in., 2007; Rudy, 2009; Chang i in., 2018; Ali i in., 2023b). Sytuacja taka jest prawdopodobnie związana ze zjawiskiem długotrwałej bioakumulacji metali ciężkich w organizmach żywych. Bioakumulacja zachodzi zwłaszcza w tkance kostnej, która jest swoistym długoterminowym miejscem magazynowania metali ciężkich w organizmie, ale także innych narządach wewnętrznych (Hussain i in., 2012; Ali i in., 2023b). Podczas procesów metabolicznych i przebudowy tkanki kostnej metale ciężkie są uwalniane. Z tego też względu u osobników starszych wyższe poziomy tych pierwiastków są obserwowane nie tylko w próbkach kości, ale także w innych matrycach (Hussain i in., 2012; Ali i in., 2023b). Kolejną przyczyną wyższych poziomów metali ciężkich u osobników starszych może być pojawiająca się wraz z wiekiem osłabiona funkcja nerek. Zmniejszona wydolność tego narządu, a co za tym idzie mniej skuteczna filtracja, powoduje większą retencję metali ciężkich w organizmie (Aaseth i in.,

2021; Zuo i in., 2025). Wyższym stężeniom metali ciężkich u starczych osobników sprzyja także postępujące z wiekiem spowolnienie reakcji metabolicznych oraz zaburzenia gospodarki hormonalnej (Ali i in., 2023b).

Należy jednakże podkreślić, że niektóre wcześniejsze obserwacje wykazały wyższe poziomy metali ciężkich u osobników młodszych w porównaniu do osobników w bardziej zaawansowanym wieku (Watanabe i in., 1998; Horton i in., 2013). Taką sytuację tłumaczy się mniejszą szczelnością bariery jelitowej u osobników młodszych, a co za tym idzie wchłanianiem większych ilości metali ciężkich z pożywienia (Heath i in., 2003). Inną przyczyną mogą być różnice w ilości pożywienia i szybkości jego spożywania. Wiadomo, że osobniki młodsze w okresie wzrostu organizmu mogą jeść więcej i szybciej niż osobniki dorosłe i starsze, co przekłada się na wyższe poziomy metali ciężkich. Taką sytuację zaobserwowano w przypadku rtęci i kadmu u foki bajkalskiej (Watanabe i in., 1998). Innymi przyczynami różnic w poziomach metali ciężkich u osobników w różnym wieku mogą być różnice w diecie czy aktywności. Np. w przypadku ludzi ważnym czynnikiem jest tryb życia, używanie kosmetyków, aktywność zawodowa i poza zawodowa i związane z nimi narażenie na metale ciężkie, czym tłumaczy się wyższy poziom tych pierwiastków u młodych dorosłych w porównaniu z dziećmi czy osobami starszymi (Sharma i in. 2025).

Obserwowane w niniejszych badaniach wyższe poziom sumy wszystkich badanych pierwiastków u psów w wieku powyżej 10 lat wydają się potwierdzać wymienione wyżej przyczyny wyższego poziomu metali ciężkich w organizmach osobników starszych. Z drugiej jednak strony różnice w stężeniach większości poszczególnych badanych pierwiastków objętych niniejszymi badaniami pomiędzy osobnikami w różnym wieku nie były istotne statystycznie. Sytuacja taka jest zgodna z wcześniejszymi badaniami dotyczącymi poziomów metali ciężkich w sierści psów (Park i in., 2005; Badea i in., 2025). W obecnych badaniach stężenie chromu było statystycznie istotnie wyższe u osobników w wieku powyżej 10 lat w stosunku do osobników w wieku poniżej 3 lat. Przyczyny takiego stanu rzeczy nie są do końca jasne. Być może są one związane z wymienionymi powyżej czynnikami zależnymi od wieku, które ogólnie wpływają na stężenie metali ciężkich. Z drugiej strony należy jednak podkreślić, że większość wcześniejszych badań wykazała (w przeciwieństwie do innych metali ciężkich) zmniejszenie stężenia chromu u osobników

starszych w porównaniu do młodszych lub brak zależności pomiędzy stężeniem chromu a wiekiem osobników (Offenbacher, 1992; Mertz, 1997; Repić i in., 2023). Nie potwierdzono również, w przeciwieństwie do innych metali ciężkich, bioakumulacji chromu w tkance kostnej i innych organach osobników w bardziej zaawansowanym wieku (Offenbacher, 1992). W świetle tych badań istnieje więc możliwość, że zaobserwowane w niniejszych badaniach różnice w poziomach chromu pomiędzy osobnikami w różnym wieku mogą wynikać z lokalnych czynników środowiskowych działających na poszczególne zwierzęta.

5.7. Różnice w poziomach metali ciężkich w sierści psów z różnych obszarów objętych niniejszymi badaniami

Dotychczasowe badania relatywnie dobrze dokumentują znaczne różnice w stopniu ekspozycji organizmów żywych na metale ciężkie pomiędzy różnymi obszarami świata (Tabela 2) i Polski (Tabela 16). Ponadto wiadomo, że nawet niewielkie różnice w odległości od zakładów przemysłowych mogą wyraźnie wpływać na stopień ekspozycji na metale ciężkie, a co za tym idzie na ich poziom w organizmie, co zostało udokumentowane już 50 lat temu (Levine i in., 1976). Jednakże, w przebiegu niniejszych badań nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w poziomach badanych pierwiastków pomiędzy trzema miastami (Lubawa, Iława, i Nowe Miasto Lubawskie) objętymi niniejszym doświadczeniem. Natomiast, jeśli chodzi o różnice pomiędzy poszczególnymi powiatami statystycznie istotne różnice dotyczyły jedynie stężenia arsenu, którego stężenie w sierści psów z powiatu nowomiejskiego było wyższe od wartości obserwowanych u psów z powiatu iławskiego. Z tego względu należy przypuszczać, iż generalnie zanieczyszczenie środowiska naturalnego badanych terenów metalami ciężkimi jest zbliżone. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że mimo pewnych różnic w gęstości zaludnienia, liczbie mieszkańców czy rodzaju przemysłu, wszystkie tereny objęte niniejszym badaniem charakteryzują się podobnym, stosunkowo niewielkim stopniem urbanizacji i industrializacji. Przyczyny wyższego poziomu arsenu w sierści psów z powiatu nowomiejskiego w stosunku do zwierząt z powiatu iławskiego nie są do końca jasne. Należy zaznaczyć, iż Nowe Miasto Lubawskie, mimo braku przemysłu wydobywczego i metalurgicznego, należy do miast w Polsce, w których przez najwięcej dni w roku

powietrze jest znacznie zanieczyszczone (Piasecka, 2025). Wykazano, iż w roku 2024 czyli w roku pobierania próbek sierści powietrze w Nowym Mieście Lubawskim (jako jedynym mieście w województwie warmińsko-mazurskim) było nadmiernie zanieczyszczone pyłami pochodzącymi głównie z ogrzewania domów i ruchu samochodowego przez 32 dni w roku czyli podobnie jak w wysoko uprzemysłowionych miastach Górnego Śląska (Piasecka, 2025). Być może ten fakt jest przyczyną wyższego stężenia arsenu u psów z powiatu nowomiejskiego. Z drugiej strony ten wysoki stopień zanieczyszczenia atmosfery w Nowym Mieście Lubawskim nie ma odzwierciedlenia w obserwowanych w niniejszym badaniu poziomach innych metali ciężkich w sierści psów.

W świetle wcześniejszych badań wiadomo też, że zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi i stopień narażenia na nie organizmów żywych jest zwykle wyższy na obszarach o większym stopniu urbanizacji i industrializacji (Xue i in., 2020; Luo i in., 2025). Z tego też względu ich poziomy są zwykle wyższe w organizmach mieszkańców terenów miejskich w porównaniu do mieszkańców terenów wiejskich i rolniczych (Laamech i in., 2014; Aelion i in., 2019). Podobną sytuację zaobserwowano także w przypadku psów, chociaż badań na ten temat jest stosunkowo niewiele (Koh i Babidge, 1986; Balagangatharathilagar i in., 2006; López-Alonso i in., 2007). Jednakże, w przeciwieństwie do wcześniejszych obserwacji, w trakcie niniejszego badania nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w poziomach większości pojedynczych badanych pierwiastków ani w poziomie ich sumy pomiędzy psami z terenów miejskich i wiejskich. Jedynym wyjątkiem była rtęć, której (co ciekawe) wyższe poziomy stwierdzono w sierści psów z terenów wiejskich. Sytuacja taka jest sprzeczna z wynikami wcześniejszych badań, które wykazały wyraźnie wyższe poziomy rtęci w organizmach ludzi i zwierząt z terenów miejskich w porównaniu do terenów wiejskich (López-Alonso i in., 2007; Laamech i in., 2014; Hrubá i in., 2023). Z drugiej jednak strony wiadomo, iż rtęć może również zanieczyszczać środowisko wiejskie, co jest związane głównie z produkcją rolniczą i zawartością tego pierwiastka w pestycydach, środkach ochrony roślin, nawozach sztucznych czy wodzie służącej do nawadniania pól, zwłaszcza gdy jest ona odzyskiwana ze ścieków (Pillay i in., 2007 Felipe-Sotelo i in., 2025). Innymi przyczynami stosunkowo wysokiego poziomu rtęci w środowisku wiejskim mogą być nielegalne wysypiska śmieci, przenikanie nieoczyszczonych ścieków komunalnych

do środowiska (szczególnie na terenach gdzie brak jest kanalizacji) czy opalanie domów indywidualnymi systemami ogrzewania przy użyciu węgla lub, co się niestety często zdarza mimo, iż jest to niezgodne z prawem i zagrożone karami finansowymi, innych materiałów nie przeznaczonych do tego celu (tworzywa sztuczne, drewno malowane lub lakierowane, tkaniny lub nawet opony). W świetle powyższych faktów wyższe poziomy rtęci w sierści psów z terenów wiejskich w porównaniu do zwierząt z terenów miejskich zaobserwowane w niniejszych badaniach mogą prawdopodobnie wynikać z dwóch przyczyn. Po pierwsze, ośrodki miejskie objęte badaniami charakteryzują się stosunkowo niskim stopniem uprzemysłowienia i urbanizacji. Nie występują w nich duże zakłady przemysłu metalurgicznego, ciężkiego, chemicznego czy paliwowego, których działalność uważa się za główne źródła zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi. Po drugie, niniejsze badania sugerują, że obszary wiejskie objęte badaniem są zanieczyszczone rtęcią w wyższym stopniu niż miasta objęte doświadczeniem, a jej źródłem są czynniki wymienione powyżej (rolnictwo, ogrzewanie domów, nielegalne wysypiska śmieci czy niższy niż w miastach odsetek gospodarstw skanalizowanych).

5.8. Poziomy metali ciężkich w sierści psów a wielkość i waga zwierząt

Dotychczasowe badania wykazały, że zwierzęta mniejszych rozmiarów są w większym stopniu narażone na szkodliwe działanie metali ciężkich, a poziomy tych pierwiastków w ich organizmach są wyższe niż u zwierząt większych rozmiarów (Wijnhoven i in., 2007). Jest to związane zarówno z szybkością metabolizmu, jak i faktem, że mniejsze organizmy mają większy kontakt z podłożem, kurzem czy spalinami samochodowymi będącymi ważnym źródłem narażenia na metale ciężkie (Wijnhoven i in., 2007; Martinakova i in., 2012). Mniejsze zwierzęta wdychają większe ilości kurzu, pyłu i cząstek gleby, które są nośnikami metali ciężkich (Wijnhoven i in., 2007). Sytuację taką obserwuje się głównie u gryzoni, które z tego względu uważane są za gatunki wskaźnikowe oraz strażnicze, a poziomy metali ciężkich stwierdzane w ich organizmach mogą informować i ostrzegać o zanieczyszczeniu środowiska tymi pierwiastkami (Martinakova i in., 2012). Wyższą koncentrację metali ciężkich zaobserwowano również w surowicy krwi psów mniejszych rozmiarów w porównaniu do zwierząt większych (Tomza-Marciniak i in., 2012). Jednakże, niniejsze badania potwierdziły to zjawisko jedynie w przypadku rtęci, której stężenie było ujemnie w sposób wyraźny i istotny statystycznie skorelowane

ze wzrostem psów w kłębie. Poza tym stwierdzono dodatnią wyraźną korelację pomiędzy stężeniem chromu i wysokością psów w kłębie. Przyczyny takiej korelacji pomiędzy stężeniem chromu a wielkością psów pozostają jednak niejasne. W przypadku pozostałych badanych metali ciężkich nie stwierdzono wyraźnych korelacji pomiędzy ich stężeniami a wielkością psów, co sugeruje, że na badanych obszarach psy większe i mniejsze są w podobnym stopniu narażone na szkodliwe działanie tych pierwiastków.

Dotychczasowe badania wykazały również związek pomiędzy ekspozycją na metale ciężkie a ryzykiem wystąpienia otyłości. Potwierdzono, iż metale ciężkie wpływając wielokierunkowo na metabolizm mogą powodować stres oksydacyjny, procesy zapalne, dyslipidemię i zaburzenia metabolizmu węglowodanów, zwiększając tym samym ryzyko rozwoju otyłości (Wang i in., 2018; Duc i in., 2022; González-Domínguez i in., 2024). W przypadku większości badanych metali ciężkich niniejsze badania nie potwierdziły dodatnich statystycznie istotnych korelacji pomiędzy ich stężeniami a wagą psów. Co więcej, stwierdzono wyraźną korelację ujemną pomiędzy stężeniem rtęci a wagą psów, mimo, że wcześniejsze badania udowodniły, że rtęć jest czynnikiem powodującym wzrost ryzyka wystąpienia otyłości (Jeon i Park, 2023). Przyczyną takiego stanu rzeczy może być fakt, że zwierzęta cięższe objęte niniejszym badaniem charakteryzowały się także większą wysokością w kłębie. Z tego też względu korelacja ujemna pomiędzy stężeniem rtęci a wagą zwierząt wynikała z omówionego powyżej faktu, ze zwierzęta mniejsze są bardziej narażone na ten pierwiastek.

5.9. Poziomy metali ciężkich w sierści psów a status zdrowotny zwierząt

Podczas analizy wyników niniejszych badań nasuwa się jedno pytanie bardzo ważne z punktu medycyny weterynaryjnej. Mianowicie, czy stopień ekspozycji odpowiadający obserwowanym w trakcie niniejszych badań poziomom metali ciężkich w sierści psów może wpływać na status zdrowotny tych zwierząt. Należy podkreślić, że stężenia metali ciężkich zaobserwowane w niniejszym doświadczeniu są stosunkowo niskie, częstokroć wielokrotnie niższe niż te, które zaobserwowano u ludzi i zwierząt w innych regionach świata (Tabela 2, Tabela 16). Według danych referencyjnych z laboratoriów klinicznych podwyższone, zagrażające zdrowiu poziomy najbardziej toksycznych metali ciężkich we włosach ludzkich to w przypadku arsenu i rtęci poziomy powyżej 1µg/g, a w przypadku ołowiu – powyżej 4 µg/g (Mayo Clinic Laboratories, 2025).

Obserwowane w niniejszych badaniach stężenia arsenu i ołowiu są znacznie niższe, a stężenia rtęci osiągają poziom wyższy niż 1µg/g zaledwie u dwóch zwierząt objętych doświadczeniem. Można więc stwierdzić, iż generalnie poziom stężenia metali ciężkich obserwowany w niniejszych badaniach nie powoduje stanów ostrego zatrucia tymi pierwiastkami. Zresztą potwierdza to fakt, iż wszystkie zwierzęta objęte badaniami były kliniczne zdrowe i nie wykazywały żadnych objawów mogących być następstwem zatrucia. Należy też pamiętać, że ekspozycja na metale ciężkie może być związana z czynnikami naturalnymi, a ich obecność w niewielkich ilościach w organizmach żywych jest powszechna (Tchounwou i in., 2012; Angon i in., 2024). Z drugiej jednak strony warto podkreślić, iż nawet małe dawki metali ciężkich wykazują działanie szkodliwe i mogą negatywnie wpływać na wiele narządów i układów, co udowodniły wcześniejsze badania (Akinleye i in., 2024). Poza tym ekspozycja nawet na małe dawki, ale trwająca przez długi okres czasu może mieć negatywny wpływ na status zdrowotny organizmu (Heidari i in., 2021). Należy również pamiętać, że organizmy żywe, a szczególnie psy żyjące w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka, są narażone na jednoczesne działanie wielu substancji szkodliwych zawartych w środowisku, nie tylko metali ciężkich, co udowodniły zarówno niniejsze badania jak i wcześniejsze obserwacje (tabela 2, Tabela 16), ale również innego typu związków chemicznych, takich jak pestycydy czy organiczne substancje endokrynnie czynne (Li i Kannan, 2024). Substancje te niejednokrotnie działają synergistycznie. Z tego też względu nawet niewielkie stężenia jednej substancji w połączeniu z innymi substancjami o podobnym działaniu mogą wpływać ujemnie na zdrowie ludzi i zwierząt. Nie można więc całkowicie wykluczyć, iż poziomy metali ciężkich obserwowane w sierści psów w niniejszym doświadczeniu mogą wpływać negatywnie na zdrowie zwierząt.

5.10. Podsumowanie

Podsumowując, w niniejszych badaniach stwierdzono powszechne występowanie wszystkich badanych pierwiastków w próbkach sierści psów z powiatu iławskiego i nowomiejskiego. Świadczy to o zanieczyszczeniu środowiska naturalnego badanych obszarów oraz ekspozycji psów na te pierwiastki. Z drugiej strony poziomy pierwiastków obserwowane w niniejszych badaniach są generalnie niższe od poziomów obserwowanych we włosach ludzi i sierści zwierząt z innych regionów Polski, co jest najprawdopodobniej

związane ze stosunkowo niskim stopniem urbanizacji i uprzemysłowienia badanych obszarów. W niniejszych badaniach nie stwierdzono różnic w stężeniach badanych pierwiastków pomiędzy psami różnej płci. Pewne różnice zaobserwowano zaś pomiędzy psami w różnym wieku, różnej wielkości i wagi czy żyjącymi na różnych terenach. Co ciekawe, wyższe stężenie rtęci stwierdzono w sierści psów z terenów wiejskich w porównaniu do zwierząt żyjących w miastach. Świadczy to o tym, że stopień zanieczyszczenia środowiska rtęcią może być wyższy na terenach wiejskich niż na terenach o wyższym stopniu urbanizacji. Ponadto, stwierdzono wyższe poziomy rtęci u psów mniejszych, co sugeruje ich większe narażenie na ten pierwiastek znajdujący się w środowisku. Duże różnice w stężeniach badanych pierwiastków pomiędzy poszczególnymi zwierzętami sugerują natomiast istnienie lokalnych czynników wpływających na ekspozycję psów na metale ciężkie. Niektóre z zaobserwowanych wyników, jak np. dodatnia korelacja pomiędzy poziomem chromu a wielkością psów, wymagają dalszych badań toksykologicznych i środowiskowych. Należy też podkreślić, iż mimo że poziomy badanych pierwiastków w sierści były stosunkowo niskie, nie można wykluczyć, że mogą one mieć wpływ na status zdrowotny psów, co jest ważne z punktu widzenia toksykologii weterynaryjnej. Negatywny wpływ badanych pierwiastków na zdrowie psów jest tym bardziej prawdopodobny, że psy jako zwierzęta żyjące w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka są narażone jednocześnie na wiele substancji szkodliwych mogących wykazywać działanie synergistyczne.

6. Wnioski

1. W sierści psów żyjących w powiecie nowomiejskim i iławskim stwierdzono występowanie wszystkich badanych pierwiastków czyli arsenu, kadmu, chromu, rtęci, niklu i ołowiu. Ich średnie stężenie (±SD) wahało się od 0,017±0,02 µg/g w przypadku kadmu do 0,564±0,48 µg/g w przypadku niklu. W przeważającej większości próbek stwierdzono obecność wszystkich badanych pierwiastków. Świadczy to o powszechnym narażeniu psów żyjących na badanym obszarze na pierwiastki objęte niniejszym doświadczeniem, a pośrednio o zanieczyszczeniu tymi pierwiastkami środowiska naturalnego badanych powiatów. Obserwowane w niniejszym badaniu stężenia metali ciężkich generalnie były niższe niż te obserwowane we włosach ludzi i innych gatunków ssaków w innych regionach Polski i nie mogły wywoływać objawów występujących w przypadku ostrego zatrucia. Jednakże, biorąc pod uwagę występowanie kilku metali ciężkich w próbkach pobranych od jednego osobnika oraz faktu, że psy jako zwierzęta żyjące w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka są zwykle narażone na wiele substancji szkodliwych o działaniu synergistycznym, nie można wykluczyć, że stopień ekspozycji psów na badane pierwiastki uwidoczniony w niniejszym badaniu może negatywnie wpływać na status zdrowotny zwierząt. Ponadto, obecność badanych pierwiastków w próbkach sierści świadczy o długotrwałym narażeniu psów z powiatu nowomiejskiego i iławskiego na te pierwiastki.

2. Stopień korelacji pomiędzy stężeniami poszczególnych badanych metali ciężkich w sierści psów był umiarkowany lub niski i dotyczył tylko niektórych pierwiastków, a mianowicie arsenu i chromu, arsenu i rtęci, chromu i niklu oraz chromu i ołowiu. Wyniki takie sugerują, iż czynniki wpływające na stopień narażenia na metale ciężkie są zróżnicowane, a wyeliminowanie jednego czynnika ryzyka nie wyeliminuje narażenia zwierząt na wszystkie metale ciężkie.

3. W niniejszym badaniu nie stwierdzono istotnych statycznie różnic w stężeniach badanych pierwiastków w próbkach sierści pomiędzy osobnikami płci męskiej i żeńskiej, co sugeruje, że płeć nie wpływa na ekspozycję psów na badane pierwiastki.

4. Podczas badań stwierdzono pewne istotne statystycznie różnice w stężeniach badanych pierwiastków w próbkach sierści pomiędzy zwierzętami w różnym wieku. Dotyczyły one stężenia sumy wszystkich badanych pierwiastków i stężenia chromu. Wartości te były wyższe u psów w wieku powyżej 10 lat w porównaniu z psami w wieku do 3 lat. Zaobserwowane różnice mogą wynikać z kumulowania się pierwiastków w ciągu życia zwierzęcia, ale także z postępującego wraz z wiekiem upośledzenia funkcji nerek, zmian metabolicznych i/lub hormonalnych.

5. W trakcie niniejszych badań stwierdzono, iż w sierści psów żyjących w powiecie nowomiejskim stężenie arsenu było wyższe od tego obserwowanego w powiecie iławskim. Sugeruje to różnice w stopniu zanieczyszczenia środowiska arsenem pomiędzy tymi sąsiadującymi ze sobą powiatami. Ponadto, stwierdzono statystycznie istotny wyższy poziom rtęci u psów żyjących na terenach wiejskich w porównaniu ze zwierzętami żyjącymi na terenach miejskich. Wynik jest o tyle interesujący, że zanieczyszczanie środowiska naturalnego rtęcią jest generalnie wyższe na terenach bardziej zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Uzyskane wyniki sugerują jednak, że poziom zanieczyszczenia rtęcią obszarów wiejskich może być wyższy niż terenów miejskich. Ma to prawdopodobnie związek z rolnictwem, ale także ogrzewaniem domów węglem i innymi materiałami, mniejszym stopniem skanalizowania lub nielegalnymi wysypiskami śmieci. W niniejszym badaniu nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w stężeniach badanych pierwiastków pomiędzy psami żyjącymi w różnych miastach badanego obszaru (Iława, Lubawa, Nowe Miasto Lubawskie), co sugeruje że w miastach tych zanieczyszczenie środowiska badanymi pierwiastkami kształtuje się na podobnym poziomie.

6. Badając korelację pomiędzy wysokością psów w kłębie a stężeniem badanych metali ciężkich stwierdzono, iż sierść większych psów zawiera mniejsze stężenie rtęci i większe stężenie chromu. Mniejsze stężenie rtęci u większych zwierząt wynika prawdopodobnie z faktu, że zwierzęta niższe w kłębie są bardziej narażone na wdychanie pyłu, kurzu lub cząstek gleby, które mogą być nośnikiem tego pierwiastka. Natomiast, powód występowania wyższego stężenia chromu w sierści zwierząt większych nie jest do końca jasny i wymaga dalszych badań. W przypadku badania korelacji pomiędzy stężeniami pierwiastków a wagą zwierząt stwierdzono, że w sierści zwierząt cięższych występują mniejsze stężenia rtęci. Ta obserwacja może wynikać z faktu, że zwierzęta cięższe objęte niniejszymi badanymi były jednocześnie wyższe, a przez to w mniejszym stopniu narażone na wspomniane powyżej wdychanie rtęci.

7. Piśmiennictwo

Aalami AH, Hoseinzadeh M, Hosseini Manesh P, Jiryai Sharahi A, Kargar Aliabadi E. Carcinogenic effects of heavy metals by inducing dysregulation of microRNAs: A review. Mol Biol Rep. 2022, 49:12227-12238. doi: 10.1007/s11033-022-07897-x. Epub 2011 Sep 21. PMID: 21936668.

Aaseth J, Alexander J, Alehagen U, Tinkov A, Skalny A, Larsson A, Crisponi G, Nurchi VM. The Aging Kidney-As Influenced by Heavy Metal Exposure and Selenium Supplementation. Biomolecules. 2021, 11:1078. doi: 10.3390/biom11081078.

Abramov S, He J, Wimmer D, Lemloh ML, Muehe EM, Gann B, Roehm E, Kirchhof R, Babechuk MG, Schoenberg R, Thorwarth H, Helle T, Kappler A. Heavy metal mobility and valuable contents of processed municipal solid waste incineration residues from Southwestern Germany. Waste Manag. 2018, 79:735-743. doi: 10.1016/j.wasman.2018.08.010.

Aelion CM, Davis HT. Blood lead levels in children in urban and rural areas: Using multilevel modeling to investigate impacts of gender, race, poverty, and the environment. Sci Total Environ. 2019, 694:133783. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133783.

Agarwal S, Zaman T, Tuzcu EM, Kapadia SR. Heavy metals and cardiovascular disease: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2006. Angiology. 2011, 62:422-9. doi: 10.1177/0003319710395562.

Akbulut S, Isik B, Mehdi Uremis M, Dogan UG, Sahin TT, Sarici KB, Koc C, Demyati K, Dirican A, Turkoz Y, Yilmaz S. Tissue Heavy Metals in Liver Diseases. Transplant Proc. 2022, 54:1859-1864. doi: 10.1016/j.transproceed.2022.05.029.

Akinleye A, Oremade O, Xu X. Exposure to low levels of heavy metals and chronic kidney disease in the US population: A cross sectional study. PLoS One. 2024, 19:e0288190. doi: 10.1371/journal.pone.0288190.

Al Osman M, Yang F, Massey IY. Exposure routes and health effects of heavy metals on children. Biometals. 2019, 32:563-573. doi: 10.1007/s10534-019-00193-5.

Aleseyyed SB, Khazaei M, Heidari S, Khodabakhshi M. Contamination and health risk assessment of heavy metals in tap drinking water consumed by urban and rural inhabitants in the west of Iran: a case study. Environ Geochem Health. 2025, 27;47:342. doi: 10.1007/s10653-025-02653-z.

Ali MU, Wang C, Li Y, Li R, Yang S, Ding L, Feng L, Wang B, Li P, Wong MH. Heavy metals in fish, rice, and human hair and health risk assessment in Wuhan city, central China. Environ Pollut. 2023a, 328:121604. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121604.

Ali MU, Wang C, Li Y, Jin X, Yang S, Ding L, Feng L, Wang B, Li P. Human biomonitoring of heavy metals exposure in different age- and gender-groups based on fish consumption patterns in typical coastal cities of China. Ecotoxicol Environ Saf. 2023b, 262:115316. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115316.

Altinok-Yipel F, Yipel M, Altuğ N, Özdemir N. Blood concentrations of potentially toxic trace elements (PTEs) and correlation with biochemical and hematological parameters

in dogs from thrace region, Turkey. Chemosphere. 2022, 293:133649. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133649.

Andersen-Ranberg EU, Søndergaard J, Hjorth CB, Petersen MB, Dietz R, Langebæk R, Sonne C. A pilot study of mercury in Greenland sled dogs in Greenland: Civilian versus military owned dogs. Greenlandic: Mississueqqaarneq Qimmit Qimuttut Aavani Meqquinilu Kviksiilveqarnersut. Environ Res. 2025, 271:121051. doi: 10.1016/j.envres.2025.121051.

Anderson RS, Carlos GM, Robinson IP, Booles D, Burger IH, Whyte AL. Zinc, copper, iron and calcium concentrations in bitch milk. J Nutr. 1991, 121(11 Suppl):S81-2. doi: 10.1093/jn/121.suppl_11.S81.

Angon PB, Islam MS, Kc S, Das A, Anjum N, Poudel A, Suchi SA. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. Heliyon. 2024, 10:e28357. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28357.

Anwar RA, Langham RF, Hoppert CA, Alfredson BV, Byerrum RU. Chronic toxicity studies. III. Chronic toxicity of cadmium and chromium in dogs. Arch Environ Health. 1961, 3:456-60. doi: 10.1080/00039896.1961.10663050.

Ayuso-Álvarez A, Simón L, Nuñez O, Rodríguez-Blázquez C, Martín-Méndez I, Bel-Lán A, López-Abente G, Merlo J, Fernandez-Navarro P, Galán I. Association between heavy metals and metalloids in topsoil and mental health in the adult population of Spain. Environ Res. 2019, 179(Pt A):108784. doi: 10.1016/j.envres.2019.108784.

Badea A, Goran GH, Toca C. Influence of sex, age, habitat and feed type on heavy metal concentration in Dogs. Sci Works S C Vet Med. 2025, 71,:77-80.

Bakulski KM, Seo YA, Hickman RC, Brandt D, Vadari HS, Hu H, Park SK. Heavy Metals Exposure and Alzheimer's Disease and Related Dementias. J Alzheimers Dis. 2020, 76: 1215-1242. doi: 10.3233/JAD-200282.

Balagangatharathilagar M, Swarup D, Patra RC, Dwivedi SK. Blood lead level in dogs from urban and rural areas of India and its relation to animal and environmental variables. Sci Total Environ. 2006, 359:130-4. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.063.

Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. Front Pharmacol. 2021, 12: 643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.

Banjabi AA, Kurunthachalam K, Kumosani TA, Abulnaja KO, Al-Malki AL, Moselhy SS. Serum heavy metals of passive smoker females and its correlation to bone biomarkers and risk of osteoporosis. Environ Sci Pollut Res Int. 2022, 29: 6943-6948. doi: 10.1007/s11356-021-16186-2.

Beck AC, Lash EM, Hack JB. Environmental Toxic Exposures Using Companion Animals as an Indicator of Human Toxicity: A Case Report and Discussion. J Emerg Med. 2020, 59:e1-e7. doi: 10.1016/j.jemermed.2020.04.026.

Belbel F, Boukheroufa M, Micle V, Sur IM, Sakraoui F, Smical I. Heavy Metal Accumulation (Cd, As, Zn, Cu, Cr) in Hair and Bones of Small Mammal Prey of the Sentinel Species Common Genet (Genetta genetta) in an Anthropogenic Environment of

Edough Mountain Forest, Northeastern Algeria. Animals (Basel). 2025, 15:114. doi: 10.3390/ani15010114.

Beltcheva M, Metcheva R, Peneva V, Marinova M, Yankov Y, Chikova V. Heavy metals in Antarctic notothenioid fish from South Bay, Livingston Island, South Shetlands (Antarctica). Biol Trace Elem Res. 2011, 141:150-8. doi: 10.1007/s12011-010-8739-5.

Benson JM, Henderson RF, McClellan RO. Comparative cytotoxicity of four nickel compounds to canine and rodent alveolar macrophages in vitro. J Toxicol Environ Health. 1986, 19:105-10. doi: 10.1080/15287398609530911.

Bexfield N, Archer J, Herrtage M. Heinz body haemolytic anaemia in a dog secondary to ingestion of a zinc toy: a case report. Vet J. 2007, 174:414-7. doi: 10.1016/j.tvjl.2006.08.015.

Bolognin M, Kirschvink N, Leemans J, De Buscher V, Snaps F, Gustin P, Peeters D, Clercx C. Characterisation of the acute and reversible airway inflammation induced by cadmium chloride inhalation in healthy dogs and evaluation of the effects of salbutamol and prednisolone. Vet J. 2009, 179:443-50. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.10.004.

Botle A, Salgaonkar S, Tiwari R, Ambadekar S, Barabde GR. Brief status of contamination in surface water of rivers of India by heavy metals: a review with pollution indices and health risk assessment. Environ Geochem Health. 2023, 45:2779-2801. doi: 10.1007/s10653-022-01463-x.

Brodziak-Dopierala B., Kwapuliński J., Paukszto A., Kowol J., Bogunia M., Ahnert B. Interactions of copper and iron with other elements in the osseous tissue of the femur head. Fresenius Environ. Bull. 2009,18:1963–1966.

Brudecki K, Pasieka A, Franczak R, Pankowska A, Kołodziej M, Lorenc-Brudecka J, Łokas E. Human Exposure to Heavy Metals over the Last 100 Years. Bull Environ Contam Toxicol. 2024, 113:20. doi: 10.1007/s00128-024-03933-7.

Byron WR, Bierbower GW, Brouwer JB, Hansen WH. Pathologic changes in rats and dogs from two-year feeding of sodium arsenite or sodium arsenate. Toxicol Appl Pharmacol. 1967, 10:132-47. doi: 10.1016/0041-008x(67)90135-4.

Carrera-Beltrán L, Gavilanes-Terán I, Idrovo-Novillo J, Valverde VH, Rodríguez-Pinos A, Paredes C, Signes-Pastor AJ, Carbonell-Barrachina ÁA. Environmental pollution by heavy metals within the area influenced by the Tungurahua volcano eruption - Ecuador. Ecotoxicol Environ Saf. 2024, 270:115919. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115919.

Cedeño Y, López-Alonso M, Miranda M. Hepatic concentrations of copper and other metals in dogs with and without chronic hepatitis. J Small Anim Pract. 2016, 57:703-709. doi: 10.1111/jsap.12591.

Chang L, Shen S, Zhang Z, Song X, Jiang Q. Study on the relationship between age and the concentrations of heavy metal elements in human bone. Ann Transl Med. 2018, 6:320. doi: 10.21037/atm.2018.08.09.

Chen C, Wang N, Zhai H, Nie X, Sun H, Han B, Li Q, Chen Y, Cheng J, Xia F, Zhao L, Zheng Y, Shen Z, Lu Y. Associations of blood lead levels with reproductive hormone levels in men and postmenopausal women: Results from the SPECT-China Study. Sci Rep. 2016, 6:37809. doi: 10.1038/srep37809.

Chen X, Cao S, Wen D, Geng Y, Duan X. Sentinel animals for monitoring the environmental lead exposure: combination of traditional review and visualization analysis. Environ Geochem Health. 2023a, 45:561-584. doi: 10.1007/s10653-022-01241-9.

Chen X, Cao S, Wen D, Zhang Y, Wang B, Duan X. Domestic dogs as sentinels of children lead exposure: Multi-pathway identification and source apportionment based on isotope technique. Chemosphere. 2023b, 316:137787. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.137787.

Chłopicka J, Zachwieja Z, Zagrodzki P, Frydrych J, Słota P, Krośniak M. Lead and cadmium in the hair and blood of children from a highly industrial area in Poland. Biol Trace Elem Res. 1998, 62:229-34. doi: 10.1007/BF02783973.

Chojnacka K, Zielińska A, Górecka H, Dobrzański Z, Górecki H. 2010. Reference values for hair minerals of Polish students. Environ Toxicol Pharmacol. 2010, 29: 314–319. doi: 10.1016/j.etap.2010.03.010.

Chowdhury P, Doi R, Inoue K, Rayford PL. The effect of intravenous cadmium on exocrine and endocrine pancreatic functions in conscious dogs. Biol Trace Elem Res. 1993, 39:1-12. doi: 10.1007/BF02783804.

Ciosek Ż, Kot K, Rotter I. Iron, Zinc, Copper, Cadmium, Mercury, and Bone Tissue. Int J Environ Res Public Health. 2023, 20:2197. doi: 10.3390/ijerph20032197.

Craun K, Luethcke KR, Shafer M, Stanton N, Zhang C, Schauer J, Faulkes J, Sundling KE, Kurtycz D, Malecki K, Trepanier L. Environmental chemical exposures in the urine of dogs and people sharing the same households. J Clin Transl Sci. 2020, 5:e54. doi: 10.1017/cts.2020.548.

Crocoli LC, Cappeletti TF, Vescovi ES, de Almeida RM, Moura S. New methodology for extracting pesticides from hair samples for subsequent chromatographic analysis. Anal Methods. 2025, 17(16):3258-3263. doi: 10.1039/d4ay01792g.

Cygan-Szczegielniak D, Stanek M, Giernatowska E, Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. Folia Biol (Krakow). 2014, 62:163-9.

Cygan-Szczegielniak D, Stasiak K. Effects of age and sex on the content of heavy metals in the hair, liver and the longissimus lumborum muscle of roe deer Capreolus capreolus L. Environ Sci Pollut Res Int. 2022a, 29:10782-10790. doi: 10.1007/s11356-021-16425-6.

Cygan-Szczegielniak D, Stasiak K. Concentration of Selected Essential and Toxic Trace Elements in Horse Hair as an Important Tool for the Monitoring of Animal Exposure and Health. Animals (Basel). 2022b, 12:2665. doi: 10.3390/ani12192665.

Cygan-Szczegielniak D, Szczech A. Effect of sex on the levels of total arsenic (As) and As(III) in dog urine: a preliminary study. Pol J Vet Sci. 2024, 27:301-304. doi: 10.24425/pjvs.2024.149359.

Davies M, West J, Williams C, Gardner DS. Mineral status in canine medial coronoid process disease: a cohort study using analysis of hair by mass spectrometry. Vet Rec. 2017, 180:448. doi: 10.1136/vr.103953.

de Anda J, Gradilla-Hernández MS, Díaz-Torres O, de Jesús Díaz-Torres J, de la Torre-Castro LM. Assessment of heavy metals in the surface sediments and sediment-water interface of Lake Cajititlán, Mexico. Environ Monit Assess. 2019, 191:396. doi: 10.1007/s10661-019-7524-y.

de Oliveira DF, de Castro BS, do Nascimento Recktenvald MCN, da Costa Júnior WA, da Silva FX, de Menezes Alves CL, Froehlich JD, Bastos WR, Ott AMT. Mercury in wild animals and fish and health risk for indigenous Amazonians. Food Addit Contam Part B Surveill. 2021, 14:161-169. doi: 10.1080/19393210.2020.1849410.

Defourny SVP, Caioni G, Bellocci M, Melai V, Scortichini G, Salini R, Martino M, Di Teodoro G, Cocco A, Cantelmi MC, Merola C, Petrini A. Domestic dogs as environmental sentinel in comparative toxicologic pathology: Assessment of metals and rare earth elements concentrations in healthy and neoplastic mammary glands. One Health. 2024, 18:100749. doi: 10.1016/j.onehlt.2024.100749.

Dell'Anno F, Giugliano R, De Paolis L, Crescio I, Razzuoli E. Cadmium and cancer: A study on canine tumours and environmental bioindicators (Sus scrofa). Ecotoxicol Environ Saf. 2025, 303:119005. doi: 10.1016/j.ecoenv.2025.119005.

Diaz SF, Torres SM, Dunstan RW, Lekcharoensuk C. An analysis of canine hair re-growth after clipping for a surgical procedure. Vet Dermatol. 2004, 15:25-30. doi: 10.1111/j.1365-3164.2004.00356.x.

Ding Z, Han G, Hu J. Characteristics of heavy metals in the hair of firefighters: concentration dynamics and elemental interactions. Environ Geochem Health. 2025, 47:90. doi: 10.1007/s10653-025-02410-2.

Dönmez-Altuntas H, Hamurcu Z, Liman N, Demirtas H, Imamoglu N. Increased micronucleus frequency after oral administration of cadmium in dogs. Biol Trace Elem Res. 2006, 112:241-6. doi: 10.1385/BTER:112:3:241.

Du J, Zhou K, Jiang H, Hu S, Zhang W, Zheng Q, Zhou G, Zhang N. Individual and combined contamination of the toxic metals in commercial cat and dog food. Sci Rep. 2025, 15:13237. doi: 10.1038/s41598-025-98066-0.

Duc HN, Oh H, Kim MS. The Effect of Mixture of Heavy Metals on Obesity in Individuals ≥50 Years of Age. Biol Trace Elem Res. 2022, 200:3554-3571. doi: 10.1007/s12011-021-02972-z.

Duffus JH. “Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report)" Pure Appl Chem. 2002,74: 793-807. doi: 10.1351/pac200274050793.

Dunlap KL, Reynolds AJ, Bowers PM, Duffy LK. Hair analysis in sled dogs (Canis lupus familiaris) illustrates a linkage of mercury exposure along the Yukon River with human subsistence food systems. Sci Total Environ. 2007, 385:80-5. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.002.

Endo T, Kimura O, Hisamichi Y, Minoshima Y, Haraguchi K. Age-dependent accumulation of heavy metals in a pod of killer whales (Orcinus orca) stranded in the northern area of Japan. Chemosphere. 2007, 67:51-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.09.086.

Esposito M, De Roma A, Maglio P, Sansone D, Picazio G, Bianco R, De Martinis C, Rosato G, Baldi L, Gallo P. Heavy metals in organs of stray dogs and cats from the city of Naples and its surroundings (Southern Italy). Environ Sci Pollut Res Int. 2019, 26:3473-3478. doi: 10.1007/s11356-018-3838-5.

Farrar WP, Edwards JF, Willard MD. Pathology in a dog associated with elevated tissue mercury concentrations. J Vet Diagn Invest. 1994, 6:511-4. doi: 10.1177/104063879400600426.

Felipe-Sotelo M, Brandtner M, Ward NI, Al Sid Cheikh M, Chambers MA, Rab G, Rosel AC, Woegerbauer M, Hassan MM, La Ragione R, Tenson T, Kisand V, Jeremejeva J, Kořínková M, Drahošová Z, de Menezes AB, Gajda A, Gbylik-Sikorska M, Caniça M. Impact of manure and artificial fertilizer application on metal and metalloid distributions in agricultural soils and crops. Chemosphere. 2025, 375:144243. doi: 10.1016/j.chemosphere.2025.144243.

Fernández V, Caselli A, Tammone A, Condorí WE, Vanstreels RET, Delaloye A, Sosa C, Uhart MM. Lead exposure in dogs fed game meat and offal from culled invasive species in El Palmar National Park, Argentina. Environ Sci Pollut Res Int. 2021, 28:45486-45495. doi: 10.1007/s11356-021-13880-z.

Filistowicz A, Dobrzański Z, Przysiecki P, Nowicki S, Filistowicz A. Concentration of heavy metals in hair and skin of silver and red foxes (Vulpes vulpes). Environ Monit Assess. 2011, 182:477-84. doi: 10.1007/s10661-011-1891-3.

Forte G, Ariu F, Bocca B, Solinas G, Leoni GG, Podda A, Madeddu R, Bogliolo L. Heavy Metal(loid) Accumulation in the Ovarian Tissue of Free-Ranging Queens and Bitches Inhabiting Highly Polluted Urban Environments. Animals (Basel). 2023, 13:650. doi: 10.3390/ani13040650.

Galarneau JM, Beach J, Cherry N. Urinary Metals as a Marker of Exposure in Men and Women in the Welding and Electrical Trades: A Canadian Cohort Study. Ann Work Expo Health. 2022, 66:1111-1121. doi: 10.1093/annweh/wxac005.

Gálvez-Ontiveros Y, González-Palacios P, Ramírez V, Monteagudo C, Samaniego-Sánchez C, Rivas A, Zafra-Gómez A. Hair as an Indicator of Prolonged Paraben Exposure and Its Relation to Weight Gain in a Sample of Spanish Children: A Proof-of-Concept Study. Nutrients. 2025, 17:1593. doi: 10.3390/nu17091593.

García-Muñoz J, Fernández Casado D, Portillo-Moreno Á, Míguez-Santiyán MDP, Soler Rodríguez F, López-Beceiro A, Fidalgo LE, Martínez-Morcillo S, Pérez-López M. First study of heavy metals analysis in hair and oxidative status of European Otters (Lutra lutra) from Southwestern Europe. Ecotoxicology. 2025, 34:1351-1367. doi: 10.1007/s10646-025-02911-x.

Gberindyer FA, Shima FK, Ahur VM, Agu ST, Apaa TT, Tion MT. Potentially toxic metals in dust, blood, and hairs from exposed security dogs in an oil and gas industry. Vet Ital. 2022, 58(4). doi: 10.12834/VetIt.2464.17442.3.

Giugliano R, Crescio MI, Cosma V, Ciccotelli V, Vivaldi B, Razzuoli E. Mortality and heavy metals environmental exposure: a study in dogs. Front Vet Sci. 2024, 10:1297311. doi: 10.3389/fvets.2023.1297311.

Gonkowski S, Tzatzarakis M, Kadyralieva N, Vakonaki E, Lamprakis T, Sen I, Tulobaev A, Istanbullugil FR, Zhunushova A, Rytel L. Assessment of Bisphenol A (BPA) Exposure in Dairy Cows Using Hair Samples Analysis. Animals (Basel). 2025, 15:939. doi: 10.3390/ani15070939.

González-Domínguez Á, Jurado-Sumariva L, González-Domínguez R. Association between childhood obesity, trace elements, and heavy metals: Recent discoveries and future perspectives. Obes Rev. 2024, 25(8):e13764. doi: 10.1111/obr.13764.

Grajewska A, Falkowska L, Saniewska D, Pawliczka I. Fur and faeces - Routes of mercury elimination in the Baltic grey seal (Halichoerus grypus grypus). Sci Total Environ. 2020,717:137050. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137050.

Grundeken M, Gustin K, Vahter M, Delaval M, Barman M, Sandin A, Sandberg AS, Wold AE, Broberg K, Kippler M. Toxic metals and essential trace elements in placenta and their relation to placental function. Environ Res. 2024, 248:118355. doi: 10.1016/j.envres.2024.118355.

Gu Q, Liu J, Zhang X, Huang A, Yu X, Wu K, Huang Y. Association between heavy metals exposure and risk of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in children: a systematic review and meta-analysis. Eur Child Adolesc Psychiatry. 2025, 34:921-941. doi: 10.1007/s00787-024-02546-z.

Gunaratnam P, Wilkinson GT. A study of normal hair growth in the dog. JSAP. 1983, 24: 445-453.

Gundacker C, Hengstschläger M. The role of the placenta in fetal exposure to heavy metals. Wien Med Wochenschr. 2012, 162:201-6. doi: 10.1007/s10354-012-0074-3.

Gyamfi O, Aboko J, Ankapong E, Marfo JT, Awuah-Boateng NY, Sarpong K, Dartey E. A systematic review of heavy metals contamination in cosmetics. Cutan Ocul Toxicol. 2024, 43:5-12. doi: 10.1080/15569527.2023.2268197.

Hać E, Krzyzanowski M, Krechniak J. Cadmium content in human kidney and hair in the Gdańsk region. Sci Total Environ. 1998, 224:81-5. doi: 10.1016/s0048-9697(98)00322-2.

Hamouda AF, Felemban S. A Bio-Indicator Pilot Study Screening Selected Heavy Metals in Female Hair, Nails, and Serum from Lifestyle Cosmetic, Canned Food, and Manufactured Drink Choices. Molecules. 2023, 28:5582. doi: 10.3390/molecules28145582.

Hansen JC, Reske-Nielsen E, Thorlacius-Ussing O, Rungby J, Danscher G. Distribution of dietary mercury in a dog. Quantitation and localization of total mercury in organs and central nervous system. Sci Total Environ. 1989, 78:23-43. doi: 10.1016/0048-9697(89)90020-x.

Hansen JC, Danscher G. Quantitative and qualitative distribution of mercury in organs from arctic sledgedogs: an atomic absorption spectrophotometric and histochemical study of tissue samples from natural long-termed high dietary organic mercury-exposed dogs from Thule, Greenland. Pharmacol Toxicol. 1995, 77:189-95. doi: 10.1111/j.1600-0773.1995.tb01011.x.

Hatlelid KM, Brailsford C, Carter DE. Reactions of arsine with hemoglobin. J Toxicol Environ Health. 1996, 47:145-57. doi: 10.1080/009841096161852.

Hawkes JS. Heavy metals. J Chem Educ. 1997, 74:1374. doi: 10.1021/ed074p1374.

Heath LM, Soole KL, McLaughlin ML, McEwan GT, Edwards JW. Toxicity of environmental lead and the influence of intestinal absorption in children. Rev Environ Health. 2003, 18:231-50. doi: 10.1515/reveh.2003.18.4.231.

Heidari AH, Zamiri MJ, Nazem MN, Jafarzadeh Shirazi MR, Akhlaghi A, Ansari Pirsaraei Z. Detrimental effects of long-term exposure to heavy metals on histology, size and trace elements of testes and sperm parameters in Kermani Sheep. Ecotoxicol Environ Saf. 2021, 207:111563. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111563.

Herman FA. The arsenic content of hair. Can Med Assoc J. 1954, 71:496-7.

Horton LM, Mortensen ME, Iossifova Y, Wald MM, Burgess P. What do we know of childhood exposures to metals (arsenic, cadmium, lead, and mercury) in emerging market countries? Int J Pediatr. 2013, 2013:872596. doi: 10.1155/2013/872596.

Hrubá F, Černá M, Chen C, Harari F, Horvat M, Koppová K, Krsková A, Laamech J, Li YF, Löfmark L, Lundh T, Lyoussi B, Mazej D, Osredkar J, Pawlas K, Pawlas N, Prokopowicz A, Rentschler G, Snoj Tratnik J, Sommar J, Spěváčková V, Špirić Z, Skerfving S, Bergdahl IA. A regional comparison of children's blood cadmium, lead, and mercury in rural, urban and industrial areas of six European countries, and China, Ecuador, and Morocco. Int J Occup Med Environ Health. 2023, 36:349-364. doi: 10.13075/ijomeh.1896.02139.

Hsiao ZH, Li L, Yu X, Yin L. Characterization of primary canine Sertoli cells as a model to test male reproductive toxicant. Toxicol In Vitro. 2022, 84:105452. doi: 10.1016/j.tiv.2022.105452.

Humane Society of the United States. (2021). Ending the use of dogs in research and testing. Washington, D.C https://www.humaneworld.org/sites/default/files/docs/Ending%20the%20Use%20of%20Dogs%20in%20Research_1.pdf (dostęp 12.12.2025)

Hussain N, Zaheer M, Chaundhry MN, Rahman S, Sherazi N Evaluation of heavy metals in blood samples of both males and females of different age groups from urban areas of Faisalabad. Asian Journal of Chemistry 2012: 24, 433-436.

Idowu OP, Oketayo OO, Lawan E, Olaniyan SD, Abejide FH A review of sex differences in vulnerability to heavy metals. GSJ. 2023, 11: 8.

Izydorczyk G, Mironiuk M, Baśladyńska S, Mikulewicz M, Chojnacka K. Hair mineral analysis in the population of students living in the Lower Silesia region (Poland) in 2019: Comparison with biomonitoring study in 2009 and literature data. Environ Res. 2021, 196:110441. doi: 10.1016/j.envres.2020.110441.

Jackson E, Shoemaker R, Larian N, Cassis L. Adipose Tissue as a Site of Toxin Accumulation. Compr Physiol. 2017, 7:1085-1135. doi: 10.1002/cphy.c160038.

Javaid A, Akbar I, Javed H, Khan U, Iftikhar H, Zahra D, Rashid F, Ashfaq UA. Role of Heavy Metals in Diabetes: Mechanisms and Treatment Strategies. Crit Rev

Eukaryot Gene Expr. 2021,31:65-80. doi: 10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2021037971.

Järup L. Hazards of heavy metal contamination. Br Med Bull. 2003,68:167-82. doi: 10.1093/bmb/ldg032.

Jeon J, Park K. Mercury exposure is associated with obesity: a systematic review and meta-analysis. Korean J Community Nutr. 2023, 28:192-205. doi: 10.5720/kjcn.2023.28.3.192.

Jomova K, Alomar SY, Nepovimova E, Kuca K, Valko M. Heavy metals: toxicity and human health effects. Arch Toxicol. 2025, 99:153-209. doi: 10.1007/s00204-024-03903-2.

Kamalian A, Foroughmand I, Koski L, Darvish M, Saghazadeh A, Kamalian A, Razavi SZE, Abdi S, Dehgolan SR, Fotouhi A, Roos PM. Metal concentrations in cerebrospinal fluid, blood, serum, plasma, hair, and nails in amyotrophic lateral sclerosis: A systematic review and meta-analysis. J Trace Elem Med Biol. 2023, 78:127165. doi: 10.1016/j.jtemb.2023.127165.

Kasznia-Kocot J, Zachwieja Z, Chłopicka J, Krośniak M. Zawartość wybranych mikroelementów i metali ciezkich we włosach dzieci z Chorzowa. Pediatr Pol. 1996, 71:31-6.

Kaur S, Kamli MR, Ali A. Role of arsenic and its resistance in nature. Can J Microbiol. 2011. 57:769-74. doi: 10.1139/w11-062.

Kędzierska E. Stężenia wybranych biopierwiastków i metali toksycznych w organizmie i ich wpływ na stan zdrowia dzieci i młodzieży z terenu Szczecina. Ann Acad Med Stetin. 2003,49:131-43.

Kępińska-Pacelik J, Biel W, Witkowicz R, Podsiadło C. Mineral and heavy metal content in dry dog foods with different main animal components. Sci Rep. 2023, 13:6082. doi: 10.1038/s41598-023-33224-w.

King JB. Proximal tubular nephropathy in two dogs diagnosed with lead toxicity. Aust Vet J. 2016, 94:280-4. doi: 10.1111/avj.12463.

Kintz P, Goullé JP, Fornes P, Ludes B. A new series of hair analyses from Napoleon confirms chronic exposure to arsenic. J Anal Toxicol. 2002, 26:584-5. doi: 10.1093/jat/26.8.584.

Knapp DW, Dhawan D, Ruple A, Cooper BR, Zhang M, Liu D, Ramos-Vara JA, Bonney PL, Fourez LM, Enstrom AW, Lahrman SA, Tullius JA. Association between cigarette smoke exposure and urinary bladder cancer in Scottish terriers in a cohort study. Vet J. 2024, 303:106044. doi: 10.1016/j.tvjl.2023.106044.

Koh TS, Babidge PJ. A comparison of blood lead levels in dogs from a lead-mining, lead-smelting, urban and rural island environment. Aust Vet J. 1986, 63:282-5. doi: 10.1111/j.1751-0813.1986.tb08067.x.

Kozak M, Kralova E, Sviatko P, Bilek J, Bugarsky A. Study of the content of heavy metals related to environmental load in urban areas in Slovakia. Bratisl Lek Listy. 2002, 103:231-7.

Kral T, Blahova J, Sedlackova L, Vecerek V, Svobodova Z. Evaluation of mercury contamination in dogs using hair analysis. Neuro Endocrinol Lett. 2015,36 Suppl 1:68-72.

Kuklová M, Kukla J, Hniličková H, Hnilička F, Pivková I. Impact of Car Traffic on Metal Accumulation in Soils and Plants Growing Close to a Motorway (Eastern Slovakia). Toxics. 2022, 10:183. doi: 10.3390/toxics10040183.

Kuzukiran O, Yurdakok-Dikmen B, Uyar R, Turgut-Birer Y, Çelik HT, Simsek I, Karakas-Alkan K, Boztepe UG, Ozyuncu O, Kanca H, Ozdag H, Filazi A. Transcriptomic evaluation of metals detected in placenta. Chemosphere. 2024, 363:142929. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.142929.

Laamech J, Bernard A, Dumont X, Benazzouz B, Lyoussi B. Blood lead, cadmium and mercury among children from urban, industrial and rural areas of Fez Boulemane Region (Morocco): relevant factors and early renal effects. Int J Occup Med Environ Health. 2014, 27:641-59. doi: 10.2478/s13382-014-0275-7.

Lanocha N, Kalisinska E, Kosik-Bogacka DI, Budis H. Evaluation of dog bones in the indirect assessment of environmental contamination with trace elements. Biol Trace Elem Res. 2012, 147:103-12. doi: 10.1007/s12011-011-9315-3.

Lanocha N, Kalisinska E, Kosik-Bogacka DI, Budis H, Sokolowski S, Bohatyrewicz A. Comparison of metal concentrations in bones of long-living mammals. Biol Trace Elem Res. 2013, 152:195-203. doi: 10.1007/s12011-013-9615-x.

Lazarus M, Orct T, Reljić S, Sedak M, Bilandžić N, Jurasović J, Huber Đ. Trace and macro elements in the femoral bone as indicators of long-term environmental exposure to toxic metals in European brown bear (Ursus arctos) from Croatia. Environ Sci Pollut Res Int. 2018, 25:21656-21670. doi: 10.1007/s11356-018-2296-4.

Lazarus M, Orct T, Sergiel A, Vranković L, Marijić VF, Rašić D, Reljić S, Aladrović J, Zwijacz-Kozica T, Zięba F, Jurasović J, Erk M, Maślak R, Selva N, Huber Đ. Metal(loid) exposure assessment and biomarker responses in captive and free-ranging European brown bear (Ursus arctos). Environ Res. 2020, 183:109166. doi: 10.1016/j.envres.2020.109166.

Lazarus M, Plançon ARL, Orct T, Ferenčaković M, Crnić AP. Companion dogs' hair and nails as biomarkers of metal(loid) exposure in a former gold and arsenic mining area, France. Sci Rep. 2025, 15:31777. doi: 10.1038/s41598-025-17622-w.

Lee BK, Kim Y. Sex-specific Profiles of Blood Metal Levels Associated with Metal-Iron Interactions. Saf Health Work. 2014, 5:113-7. doi: 10.1016/j.shaw.2014.06.005.

Lee WK, Torchalski B, Kohistani N, Thévenod F. ABCB1 protects kidney proximal tubule cells against cadmium-induced apoptosis: roles of cadmium and ceramide transport. Toxicol Sci. 2011, 121:343-56. doi: 10.1093/toxsci/kfr071.

Lentini P, Zanoli L, Granata A, Signorelli SS, Castellino P, Dell'Aquila R. Kidney and heavy metals - The role of environmental exposure (Review). Mol Med Rep. 2017, 15:3413-3419. doi: 10.3892/mmr.2017.6389.

Levine RJ, Moore RM, McLaren GD, Barthel WF, Landrigan PJ. Occupational lead poisoning, animal deaths, and environmental contamination at a scrap smelter. Am J Public Health. 1976, 66:548-52. doi: 10.2105/ajph.66.6.548.

Li L, Guo L, Chen X, Xiang M, Yang F, Ren JC, Zhang GH. Secondhand smoke is associated with heavy metal concentrations in children. Eur J Pediatr. 2018, 177:257-264. doi: 10.1007/s00431-017-3053-2.

Li ZM, Kannan K. Urinary and Fecal Excretion of 121 Environmental Chemicals in Pet Dogs and Cats: Significance of Feces in Biomonitoring of Exposures. Environ Sci Technol. 2024, 58:14169-14179. doi: 10.1021/acs.est.4c05991.

Li X, Zhang D, Zhao Y, Kuang L, Huang H, Chen W, Fu X, Wu Y, Li T, Zhang J, Yuan L, Hu H, Liu Y, Hu F, Zhang M, Sun X, Hu D. Correlation of heavy metals' exposure with the prevalence of coronary heart disease among US adults: findings of the US NHANES from 2003 to 2018. Environ Geochem Health. 2023, 45:6745-6759. doi: 10.1007/s10653-023-01670-0.

Lieske CL, Moses SK, Castellini JM, Klejka J, Hueffer K, O'Hara TM. Toxicokinetics of mercury in blood compartments and hair of fish-fed sled dogs. Acta Vet Scand. 2011, 53:66. doi: 10.1186/1751-0147-53-66.

Liu X, Yu T, Zhang C, Li C, Li B, Yang Z, Yang Q, Duan Y, Ji W, Wu T, Wang L. Identification of high ecological risk areas with naturally high background value of soil Cd related to carbonate rocks. Environ Geochem Health. 2023, 45:1861-1876. doi: 10.1007/s10653-022-01308-7.

López-Alonso M, Miranda M, García-Partida P, Cantero F, Hernández J, Benedito JL. Use of dogs as indicators of metal exposure in rural and urban habitats in NW Spain. Sci Total Environ. 2007, 372:668-75. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.10.003.

Lu HR, Vlaminckx E, Cools F, Gallacher DJ. Direct effects of arsenic trioxide on action potentials in isolated cardiac tissues: importance of the choice of species, type of cardiac tissue and perfusion time. J Pharmacol Toxicol Methods. 2012, 66:135-44. doi: 10.1016/j.vascn.2012.03.002.

Lu J, Liu K, Qi M, Geng H, Hao J, Wang R, Zhao X, Liu Y, Liu J. Effects of Cr(VI) exposure on electrocardiogram, myocardial enzyme parameters, inflammatory factors, oxidative kinase, and ATPase of the heart in Chinese rural dogs. Environ Sci Pollut Res Int. 2019, 26:30444-30451. doi: 10.1007/s11356-019-06253-0.

Ludwicki JK, Wiadrowska B, Palut D, Tyrkiel E. Ocena całkowitej zawartości rteci w moczu i włosach ludzi narazonych i nienarazonych zawodowo. Rocz Panstw Zakl Hig. 1998,49:447-55.

Luo L, Wang L, Li Y, Cao H, Guo Y, Liao X. Urban-rural inequality in soil heavy metal health risks: Insights from Baoding, China. Ecotoxicol Environ Saf. 2025, 300:118458. doi: 10.1016/j.ecoenv.2025.118458.

Lynch RJM, Duckworth RM. Chapter 4: Microelements: Part I: Zn, Sn, Cu, Fe and I. Monogr Oral Sci. 2020, 28:32-47. doi: 10.1159/000499007.

Malara P, Misiołek M, Fischer A, Malara B. The Influence of Environmental Exposure to Heavy Metals on the Occurrence of Selected Elements in the Maxillary Bone. Int J Mol Sci. 2023, 24:2552. doi: 10.3390/ijms24032552.

Manouchehri A, Shokri S, Pirhadi M, Karimi M, Abbaszadeh S, Mirzaei G, Bahmani M. The Effects of Toxic Heavy Metals Lead, Cadmium and Copper on the

Epidemiology of Male and Female Infertility. JBRA Assist Reprod. 2022, 26:627-630. doi: 10.5935/1518-0557.20220013.

Mansoor S, Kour N, Manhas S, Zahid S, Wani OA, Sharma V, Wijaya L, Alyemeni MN, Alsahli AA, El-Serehy HA, Paray BA, Ahmad P. Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. Chemosphere. 2021, 271:129458. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129458.

Manyiwa T, Ultra VU Jr, Rantong G, Opaletswe KA, Gabankitse G, Taupedi SB, Gajaje K. Heavy metals in soil, plants, and associated risk on grazing ruminants in the vicinity of Cu-Ni mine in Selebi-Phikwe, Botswana. Environ Geochem Health. 2022, 44:1633-1648. doi: 10.1007/s10653-021-00918-x.

Marcinek-Jacel M, Albińska J, Pawlaczyk A, Szynkowska MI. The impact of demographic factors, behaviors and environmental exposure to mercury content in the hair of the population living in the region of Lodz (central Poland). Environ Toxicol Pharmacol. 2017, 55:196-201. doi: 10.1016/j.etap.2017.09.001.

Martiniakova M, Omelka R, Stawarz R, Formicki G. Accumulation of lead, cadmium, nickel, iron, cupper and zinc in bones of small mammals from polluted areas in Slovakia Pol J Environ Stud. 2012, 21:153-158.

Mateo D, Marquès M, Torrente M. Metals linked with the most prevalent primary neurodegenerative dementias in the elderly: A narrative review. Environ Res. 2023, 236(Pt 1):116722. doi: 10.1016/j.envres.2023.116722.

Mattsson JL, Miller E, Alligood JP, Koering JE, Levin SG. Early effects of methylmercury on the visual evoked response of the dog. Neurotoxicology. 1981, 2:499-514.

Mayou Clinic Laboratories 2025 Heavy Metals, Hair. https://neurology.testcatalog.org/show/HMHA (dostęp 20.01.2026).

McLean CM, Koller CE, Rodger JC, MacFarlane GR. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. Sci Total Environ. 2009, 407:3588-96. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.038.

Means C. Toksyczność artykułów plastycznych Weterynaria po dyplomie 2019 https://magwet.pl/wpd/33657,toksycznosc-artykulow-plastycznych?srsltid=AfmBOopmysKCGDFHiOM-iEHFis35CG0Gx7t6x1jn6k5XmF03NWZ1vqfD (dostęp 12.12.2025)

Mert H, Mert N, Dogan I, Cellat M, Yasar S. Element status in different breeds of dogs. Biol Trace Elem Res. 2008, 125:154-9. doi: 10.1007/s12011-008-8160-5.

Mertz W. Confirmation: chromium levels in serum, hair, and sweat decline with age. Nutr Rev. 1997, 55:373-5. doi: 10.1111/j.1753-4887.1997.tb01565.x. PMID: 9354083.

Michalak I, Wołowiec P, Chojnacka K. Determination of exposure to lead of subjects from southwestern Poland by human hair analysis. Environ Monit Assess. 2014, 186:2259-67. doi: 10.1007/s10661-013-3534-3.

Mo Y, Shen Y. Electrochemical detection of heavy metals in rice, milk and tap water using free-standing carbon felt electrodes. Food Chem. 2024,460(Pt 2):140450. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140450.

Morgan JN. Effects of processing of heavy metal content of foods. Adv Exp Med Biol. 1999,459:195-211. doi: 10.1007/978-1-4615-4853-9_13.

Mushtaq A, Sajjad A, Ismail T, Ali O. Heavy metals accumulation in the meat, kidney and liver of cattle, broilers and goats sold in Quetta, northwestern city of Balochistan, Pakistan. Br Poult Sci. 2024, 65:740-750. doi: 10.1080/00071668.2024.2377743.

Nacke H, Gonçalves AC Jr, Schwantes D, Nava IA, Strey L, Coelho GF. Availability of heavy metals (Cd, Pb, And Cr) in agriculture from commercial fertilizers. Arch Environ Contam Toxicol. 2013, 64:537-44. doi: 10.1007/s00244-012-9867-z.

Ncube N, Thatyana M, Tancu Y, Mketo N. Quantitative analysis and health risk assessment of selected heavy metals in pet food samples using ultrasound assisted hydrogen peroxide extraction followed by ICP-OES analysis. Food Chem Toxicol. 2024, 192:114915. doi: 10.1016/j.fct.2024.114915.

Nehzomi ZS, Shirani K. Investigating the role of food pollutants in autism spectrum disorder: a comprehensive analysis of heavy metals, pesticides, and mycotoxins. Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol. 2025, 398:2511-2533. doi: 10.1007/s00210-024-03551-4.

Neiger RD, Osweiler GD. Effect of subacute low level dietary sodium arsenite on dogs. Fundam Appl Toxicol. 1989,13:439-51. doi: 10.1016/0272-0590(89)90281-9.

Neiger RD, Osweiler GD. Arsenic concentrations in tissues and body fluids of dogs on chronic low-level dietary sodium arsenite. J Vet Diagn Invest. 1992,4:334-7. doi: 10.1177/104063879200400318.

Nikula KJ, Green FH. Animal models of chronic bronchitis and their relevance to studies of particle-induced disease. Inhal Toxicol. 2000,12 Suppl 4:123-53. doi: 10.1080/089583700750019549.

Nowak B. Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialised population in Poland. Sci Total Environ. 1998, 209:59-68. doi: 10.1016/s0048-9697(97)00298-2.

Nowak B, Kozłowski H. Heavy metals in human hair and teeth: the correlation with metal concentration in the environment. Biol Trace Elem Res. 1998, 62:213-28. doi: 10.1007/BF02783972.

Offenbacher EG. Chromium in the elderly. Biol Trace Elem Res. 1992, 32:123-31. doi: 10.1007/BF02784596.

Oztas T, Akar M, Virkanen J, Beier C, Goericke-Pesch S, Peltoniemi O, Kareskoski M, Björkman S. Concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) in blood, hair and semen of stallions in Finland. J Trace Elem Med Biol. 2025, 89:127633. doi: 10.1016/j.jtemb.2025.127633.

Ovayolu A, Ovayolu G, Karaman E, Yuce T, Ozek MA, Turksoy VA. Amniotic fluid levels of selected trace elements and heavy metals in pregnancies complicated with neural tube defects. Congenit Anom (Kyoto). 2020, 60:136-141. doi: 10.1111/cga.12363.

Pandey G. Heavy metal toxicity in domestic animals (Manual on veterinary toxicology) 2013 International E – Publication. http://isca.co.in/ANI_VAT_AND_FISHRY/lab_manual/ISBN%20978-93-83520-05-3.pdf (dostęp 20.12.2025)

Park SH, Lee MH, Kim SK. Studies on Cd, Pb, Hg and Cr values in dog hairs from urban Korea. Asian-Australas J Anim Sci. 2005, 18: 1135-1140.

Penumarthy L, Oehme FW, Hayes RH. Lead, cadmium, and mercury tissue residues in healthy swine, cattle, dogs, and horses from the midwestern United States. Arch Environ Contam Toxicol. 1980, 9:193-206. doi: 10.1007/BF01055374. PMID: 7387187.

Perillo L, Arfuso F, Piccione G, Dara S, Tropia E, Cascone G, Licitra F, Monteverde V. Quantification of Some Heavy Metals in Hair of Dairy Cows Housed in Different Areas from Sicily as a Bioindicator of Environmental Exposure-A Preliminary Study. Animals (Basel). 2021, 11:2268. doi: 10.3390/ani11082268.

Piasecka K Nowe Miasto Lubawskie w czołówce niechlubnego rankingu. 2025 https://radioolsztyn.pl/nowe-miasto-lubawskie-w-czolowce-niechlubnego-rankingu/01841444 (dostęp 10.01.2026)

Pillay AE, Yaghi B, Williams JR, Al-Kindy S. Mercury pollution from irrigation with treated sewage water (TSW). J Water Health. 2007, 5:315-22. doi: 10.2166/wh.2007.027.

Pourret O, Bollinger JC, Hursthouse A. Heavy metal: a misused term?. Acta Geochim. 2021, 40: 466–471. doi: 10.1007/s11631-021-00468-0.

Rao JN, Parsai T. Heavy metal(loid) contamination in forest fire affected soil and surface water: pollution indices and human health risk assessment. Environ Monit Assess. 2025, 197:378. doi: 10.1007/s10661-025-13796-y.

Rehman K, Fatima F, Waheed I, Akash MSH. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. J Cell Biochem. 2018, 119:157-184. doi: 10.1002/jcb.26234.

Rendón-Lugo AN, Santiago P, Puente-Lee I, León-Paniagua L. Permeability of hair to cadmium, copper and lead in five species of terrestrial mammals and implications in biomonitoring. Environ Monit Assess. 2017, 189:640. doi: 10.1007/s10661-017-6338-z.

Repić A, Vukelić D, Andjelković M, Buha Djordjević A, Lukić V, Savić O, Mandić-Rajčević S, Antonijević B, Bulat P, Bulat Z. Individual, sociodemographic, and lifestyle influence on blood chromium, cobalt, and nickel levels in healthy population living in Belgrade, Serbia. Environ Sci Pollut Res Int. 2023, 30:109546-109558. doi: 10.1007/s11356-023-29950-3.

Revich BA. Lead in hair and urine of children and adults from industrialized areas. Arch Environ Health. 1994, 49:59-62. doi: 10.1080/00039896.1994.9934416.

Rosendahl S, Anturaniemi J, Hielm-Björkman A. Hair arsenic level in rice-based diet-fed Staffordshire bull terriers. Vet Rec. 2020, 186(17):e15. doi: 10.1136/vr.105493.

Rosendahl S, Anturaniemi J, Kukko-Lukjanov TK, Vuori KA, Moore R, Hemida M, Muhle A, Hielm-Björkman A. Mineral, trace element, and toxic metal concentration in hair from dogs with idiopathic epilepsy compared to healthy controls. J Vet Intern Med. 2023, 37:1100-1110. doi: 10.1111/jvim.16698.

Rudy M. The analysis of correlations between the age and the level of bioaccumulation of heavy metals in tissues and the chemical composition of sheep meat from the region in SE Poland. Food Chem Toxicol. 2009, 47:1117-22. doi: 10.1016/j.fct.2009.01.035.

Sachs H. History of hair analysis. Forensic Sci Int. 1997, 84:7-16. doi: 10.1016/s0379-0738(96)02043-9.

Saher NU, Siddiqui AS. Comparison of heavy metal contamination during the last decade along the coastal sediment of Pakistan: Multiple pollution indices approach. Mar Pollut Bull. 2016, 105:403-10. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.02.012.

Sakai T, Ito M, Aoki H, Aimi K, Nitaya R. Hair mercury concentrations in cats and dogs in central Japan. Br Vet J. 1995, 151:215-9. doi: 10.1016/s0007-1935(95)80013-1.

Sedlackova L, Kral T, Sevcikova M, Kruzikova K, Svobodova Z. Total mercury content in canine hair before and after administration of vaccines containing thiomersal. Neuro Endocrinol Lett. 2013,34 Suppl 2:90-4.

Selby LA, Case AA, Osweiler GD, Hayes HM Jr. Epidemiology and toxicology of arsenic poisoning in domestic animals. Environ Health Perspect. 1977, 19:183-9. doi: 10.1289/ehp.7719183.

Serpe FP, Russo R, Simone AD, Florio S, Esposito M, Severino L. Levels of heavy metals in liver and kidney of dogs from urban environment. Open Vet J. 2012, 2:15-8.

Schoofs H, Schmit J, Rink L. Zinc Toxicity: Understanding the Limits. Molecules. 2024, 29:3130. doi: 10.3390/molecules29133130.

Schroeder HA, Nason AP. Trace metals in human hair. J Invest Dermatol. 1969, 53:71-8.

Sharma BM, Komprdová K, Lörinczová K, Kuta J, Přibylová P, Scheringer M, Šebejová L, Piler P, Zvonař M, Klánová J. Human biomonitoring of essential and toxic trace elements (heavy metals and metalloids) in urine of children, teenagers, and young adults from a Central European Cohort in the Czech Republic. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2025, 35:730-745. doi: 10.1038/s41370-024-00724-4.

Shimada H, Hashiguchi T, Yasutake A, Waalkes MP, Imamura Y. Sexual dimorphism of cadmium-induced toxicity in rats: involvement of sex hormones. Arch Toxicol. 2012, 86:1475-80. doi: 10.1007/s00204-012-0844-0.

Sirinara P, Patarapongsant Y, Nilyai S, Sooklert K, Dissayabutra T, Rojanathanes R, Sereemaspun A. "Assessing exposure of printing factory workers in thailand to selected heavy metals using urine and hair as non-invasive matrices". BMC Public Health. 2023, 23:31. doi: 10.1186/s12889-022-14807-0.

Skalny AV, Kopylov PY, Paoliello MMB, Chang JS, Aschner M, Bobrovnitsky IP, Chao JC, Aaseth J, Chebotarev SN, Tinkov AA. Hair Lead, Aluminum, and Other Toxic Metals in Normal-Weight and Obese Patients with Coronary Heart Disease. Int J Environ Res Public Health. 2021,18:8195. doi: 10.3390/ijerph18158195.

Sobańska MA. Wild boar hair (Sus scrofa) as a non-invasive indicator of mercury pollution. Sci Total Environ. 2005, 339:81-8. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.018.

Soe NC, Yohannes YB, Kataba A, Tembo M, Yabe J, Zyambo G, Chawinga K, Muzandu K, Ikenaka Y, Ishizuka M, Nakayama SMM. Metals and arsenic distribution in stray dogs' tissues around a lead-zinc mine in Kabwe, Zambia. Environ Sci Pollut Res Int. 2024,31:12083-12093. doi: 10.1007/s11356-024-31948-4.

Sousa AC, Teixeira IS, Marques B, Vilhena H, Vieira L, Soares AM, Nogueira AJ, Lillebø AI. Mercury, pets' and hair: baseline survey of a priority environmental pollutant using a noninvasive matrix in man's best friend. Ecotoxicology. 2013,22:1435-42. doi: 10.1007/s10646-013-1130-5.

Sousa S, Maia ML, Delerue-Matos C, Calhau C, Domingues VF. The role of adipose tissue analysis on Environmental Pollutants Biomonitoring in women: The European scenario. Sci Total Environ. 2022, 806(Pt 4):150922. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150922.

Stachurska A, Wałkuska G, Chałabis-Mazurek A, Jaworski Z, Cebera M. Heavy metal concentration in coat hair and hoof horn in stabled and reserve Polish Konik horses. Pol J Vet Sci. 2009,12:369-77.

Sumena KB, Lucy KM, Ashok N, Leena C, Tresamol PV, Radhika G. Histomorphology of sweat glands in different breeds of dogs. J Vet Anim Sci. 2024, 55 :758-761.

Tam GK, Charbonneau SM, Lacroix G, Bryce F. Confirmation of inorganic arsenic and dimethylarsinic acid in urine and plasma of dog by ion-exchange and TLC. Bull Environ Contam Toxicol. 1979, 21:371-4. doi: 10.1007/BF01685438. PMID: 444728.

Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. Exp Suppl. 2012,101:133-64. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6.

Tomza-Marciniak A, Pilarczyk B, Bąkowska M, Ligocki M, Gaik M. Lead, cadmium and other metals in serum of pet dogs from an urban area of NW Poland. Biol Trace Elem Res. 2012, 149:345-51. doi: 10.1007/s12011-012-9433-6.

Vahter M, Akesson A, Lidén C, Ceccatelli S, Berglund M. Gender differences in the disposition and toxicity of metals. Environ Res. 2007,104:85-95. doi: 10.1016/j.envres.2006.08.003.

Varga B, Zsolnai B, Paksy K, Náray M, Ungváry G. Age dependent accumulation of cadmium in the human ovary. Reprod Toxicol. 1993, 7:225-8. doi: 10.1016/0890-6238(93)90228-y.

Volkweis FS , Rohr P, Lima Dallago BS, Silveira HCS, De Nardi AB Evaluation of the effects of exposure to heavy metals in rescue dogs and their role as environmental biomonitors after the Brumadinho disaster, Minas Gerais, Brazil. One Health. 2025, 101223, doi:10.1016/j.onehlt.2025.101223.

Wang X, Mukherjee B, Park SK. Associations of cumulative exposure to heavy metal mixtures with obesity and its comorbidities among U.S. adults in NHANES 2003-2014. Environ Int. 2018, 121(Pt 1):683-694. doi: 10.1016/j.envint.2018.09.035.

Wang M, Lv Y, Lv X, Wang Q, Li Y, Lu P, Yu H, Wei P, Cao Z, An T. Distribution, sources and health risks of heavy metals in indoor dust across China. Chemosphere. 2023, 313:137595. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137595.

Wang Y, Yan Q, Shi Y, Long M. Copper Toxicity in Animals: A Review. Biol Trace Elem Res. 2025, 203:2675-2686. doi: 10.1007/s12011-024-04345-8.

Watanabe I, Tanabe S, Amano M, Miyazaki N, Petrov EA, Tatsukawa R. Age-dependent accumulation of heavy metals in baikal seal (Phoca sibirica) from the Lake Baikal. Arch Environ Contam Toxicol. 1998, 35:518-26. doi: 10.1007/s002449900411.

Wijnhoven S, Leuven RS, van der Velde G, Jungheim G, Koelemij EI, de Vries FT, Eijsackers HJ, Smits AJ. Heavy-metal concentrations in small mammals from a diffusely polluted floodplain: importance of species- and location-specific characteristics. Arch Environ Contam Toxicol. 2007, 52:603-13. doi: 10.1007/s00244-006-0124-1.

Xue H, Zhao L, Liu X. Characteristics of heavy metal pollution in road runoff in the Nanjing urban area, East China. Water Sci Technol. 2020, 81:1961-1971. doi: 10.2166/wst.2020.249.

Yamaguchi S, Matsumoto H, Matsuo S, Kaku S, Hoshide M. Relationship between mercury content of hair and amount of fish consumed. HSMHA Health Rep. 1971, 86:904-9.

Yamazaki J, Toyomaki H, Nakayama SMM, Yabe J, Muzandu K, Jelinek J, Yokoyama S, Ikenaka Y, Takiguchi M, Ishizuka M. Genome-wide DNA methylation analysis of dogs with high lead exposure living near a lead mining area in Kabwe, Zambia. Environ Pollut. 2021, 286:117229. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117229.

Yeh JH, Huang CC, Yeh MY, Wang JS, Lee JK, Jan CR. Cadmium-induced cytosolic Ca2+ elevation and subsequent apoptosis in renal tubular cells. Basic Clin Pharmacol Toxicol. 2009, 104:345-51. doi: 10.1111/j.1742-7843.2009.00391.x.

Yuan Y, Zhang L, Liu F, Liu H, Wang Y, Yang X, Liu L, Li B, Wang L, Yang J, Cao H, Qiu Y, Zheng J, Guo J, Gao Y. The association of heavy metals/metalloid and stroke-Findings in Shanxi, China and the US NHANES from 2011 to 2020. Ecotoxicol Environ Saf. 2025, 294:118085. doi: 10.1016/j.ecoenv.2025.118085.

Zaborowska W, Wierciński J. Oznaczanie ołowiu, kadmu, miedzi i cynku we włosach dzieci Lublina jako próba oceny zanieczyszczenia srodowiska . Rocz Panstw Zakl Hig. 1996, 47:217-22.

Zaccaroni A, Corteggio A, Altamura G, Silvi M, Di Vaia R, Formigaro C, Borzacchiello G. Elements levels in dogs from "triangle of death" and different areas of Campania region (Italy). Chemosphere. 2014, 108:62-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.041.

Zhang S, Yan X, Tang B, Luo W, Chen S, Luo X, Zheng J, Mai B, Yu Y. Human hair as a noninvasive matrix to assess exposure to micro-organic contaminants: State of the art review. Sci Total Environ. 2023, 892:164341. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164341.

Zhang L, Wang Z, Liu K, Li J, Li Y. Investigation of the relationship between heavy metals in the blood and depression in people with different body mass indices using the NHANES database: A cross-sectional study. J Affect Disord. 2024, 344:311-318. doi: 10.1016/j.jad.2023.10.023.

Zohoori FV, Duckworth RM. Chapter 5: Microelements: Part II: F, Al, Mo and Co. Monogr Oral Sci. 2020, 28:48-58. doi: 10.1159/000455370.

Zook BC, Kopito L, Carpenter JL, Cramer DV, Shwachman H. Lead poisoning in dogs: analysis of blood, urine, hair, and liver for lead. Am J Vet Res. 1972, 33:903-9.

Zuo J, Huesker K, Liu Y, Hocher JG, Zhang X, von Baehr V, Krämer BK, Hocher B. Association of whole blood heavy metal concentrations with kidney function. Sci Rep. 2025, 15:8370. doi: 10.1038/s41598-025-93548-7.