

## Czy gleby w Puławach są zanieczyszczone?

*Barbara Maliszewska-Kordybach, Rafał Gałazka, Agnieszka Klimkowicz-Pawlas,  
Bożena Smreczak, Magdalena Łysiak*

Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

**Abstrakt.** Oceniono stan zanieczyszczenia gleb na terenie miasta Puławy w aspekcie aktualnie obowiązujących polskich regulacji prawnych (Dz.U.02.165.1359, 2002). Próbki gleb pobrano w październiku 2011 r. z 18 punktów badawczych (warstwa 0–30 cm) z terenu trawników lub nieużytków pokrytych roślinnością trawiastą (2 punkty badawcze były usytuowane na obszarze zadrzewionym). Przy planowaniu badań wyróżniono obszar o historycznej (ponad 200 lat) zabudowie oraz nowe tereny zurbanizowane. Określono podstawowe właściwości gleb (odeczyn, zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego) oraz zawartość w nich 11 metali (As, Ba, Cr, Sn, Zn, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb) stosując technikę ICP-MS i 9 związków z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) przy wykorzystaniu techniki GC-MS. Stwierdzono, że średnia zawartość zanieczyszczeń w glebach Puław jest niska i nie przekracza wartości dopuszczalnych, niemniej istnieją pojedyncze punkty badawcze o wysokim poziomie zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem oraz WWA. Porównania z wcześniejszymi badaniami wskazują na stabilny poziom zawartości wybranych metali w glebach miejskich w okresie ostatniego 25-lecia. Zanotowano natomiast istotny wpływ długoterminowego osadnictwa na różnicowanie źródeł i wzrost poziomu zanieczyszczenia gleb. Dokładniejsza ocena stanu ekologicznego gleb Puław i ewentualnego ryzyka dla zdrowia mieszkańców miasta wymaga bardziej szczegółowych badań.

**słowa kluczowe:** zanieczyszczenie gleb, gleby miejskie, metale, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, WWA

### WSTĘP

W powszechnej opinii utarło się przekonanie, że gleby na terenach miejskich są znacznie bardziej zanieczyszczone niż na obszarach użytkowanych rolniczo. Opinia ta nie jest pozbawiona uzasadnienia: w wielu badaniach wykazy-

wano istotny wpływ urbanizacji na zanieczyszczenie powietrza i związaną z tym wyższą zawartość szkodliwych substancji chemicznych w glebie (Adamczewska i in., 2000; Biasioli i in., 2006; Liu i in., 2010; Cui i in., 2011). Pewna część z nich pochodzi z tzw. źródeł rozproszonych i jest przenoszona w atmosferze na bardzo duże odległości (niektóre trwałe zanieczyszczenia organiczne nawet z rejonów równikowych), ale na obecność większości szkodliwych substancji w glebie największy wpływ mają źródła lokalne (Maliszewska-Kordybach i in., 2009; Fabietti i in., 2010; Liu i in., 2010). Do podstawowych źródeł zanieczyszczenia na terenach miejskich można zaliczyć komunikację (emisja spalin, spływy z dróg), lokalne zakłady przemysłowe i przetwórcze oraz ogrzewanie pomieszczeń (Adamczewska i in., 2000; Biasioli i in., 2006; Maliszewska-Kordybach i in., 2009). Ta ostatnia przyczyna ma szczególne znaczenie w Polsce, gdzie węgiel kamienny stanowi podstawowe źródło energii i ciepła.

Najczęściej oznaczaną grupę zanieczyszczeń na terenach miejskich stanowią metale, przy czym duże znaczenie mają cynk i ołów występujące często na terenach przemysłowych (Siebielec i in., 2006; Cui i in., 2011). Podwyższone ilości Pb obserwowane są także w pobliżu szlaków komunikacyjnych (emisja spalin) (Siekak i in., 1996; Bieniek, Bieniek, 2008; Kabata-Pendias, 2011). Inną istotną grupę zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego na terenach miejskich stanowią związki organiczne, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) powstające we wszystkich procesach niepełnego spalania substancji organicznych (węgiel, ropa naftowa, drewno). Wraz z pyłami atmosferycznymi mogą być one przenoszone na znaczne odległości (Maliszewska-Kordybach i in., 2008a). Podstawowymi źródłami WWA są procesy przemysłowe, opalanie pomieszczeń oraz transport (Wcisło, 1998; Maliszewska-Kordybach i in., 2009). Część związków z tej grupy charakteryzuje się silnymi własnościami toksycznymi, rakotwórczymi i mutagennymi i dużą trwałością w środowisku glebowym (Klimkowicz-Pawlas, 2009).

Autor do kontaktu:

Barbara Maliszewska-Kordybach  
e-mail: bkord@iung.pulawy.pl  
tel. +48 81 8863421 w. 321, faks +48 81 8864547

*Praca wpłynęła do redakcji 1 marca 2012 r.*

Informacje na temat stanu zanieczyszczenia gleb na obszarach zurbanizowanych w Polsce obejmują prawie wyłącznie większe aglomeracje, takie jak Warszawa, Wrocław, Bydgoszcz, Łódź czy Olsztyn, i koncentrują się na określaniu zawartości metali (Czarnowska, Gworek, 1991; Czarnowska, 1997; Dąbkowska-Naskręt, Różański, 2002; Pasieczna i in., 2003; Kiryluk, 2008; Kabała i in., 2009; Karczewska i in., 2009; Niedbała, Smolińska, 2011). Tylko nieliczne prace uwzględniały zanieczyszczenie gleb aglomeracji miejskich przez WWA (Adamczewska i in., 2000; Zerbe i in., 1995; Wcisło, 1998; Kondras, Czepińska-Kamińska, 2007). Brak prawie całkowicie danych na temat zanieczyszczenia gleb w miastach o średniej wielkości, które przeważają na obszarze naszego kraju. Podjęte w tej pracy badania zmierzały do uzupełnienia tych informacji na przykładzie miasta Puławy. Obszar Puław stanowi wyjątkowy przykład zróżnicowania zarówno pod względem warunków glebowych i ukształtowania terenu, jak i historii urbanizacji i przemysłowienia.

#### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

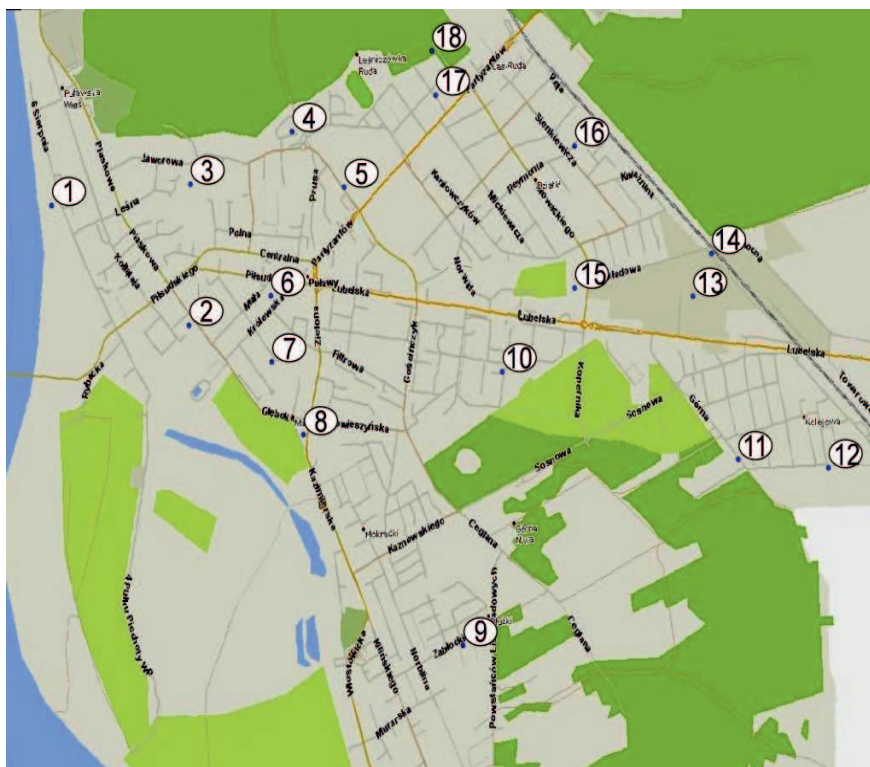
Puławy położone są w zachodniej części województwa lubelskiego na Nizinie Mazowieckiej, w mezoregionie fizycznogeograficznym Doliny Środkowej Wisły (Kondraci, 2002) rozciągającym się od Puław do Warszawy. Na obszarze regionu wyróżnia się dwa tarasy geologiczne: łąkowy zalewowy (niższy) i wydmy piaszczyste (wyższy), wznoszący się na wysokość 6–13 m nad poziomem Wisły. Ogólne deniwelacje obszaru miejskiego sięgają 40 m, a najwyższe wzniesienia występują w południowo-zachodniej części miasta, obejmując osiedle Górna Niwa (Ślusarczyk, 1986). Pokrywa glebowa obszaru Puław jest zróżnicowana; w dolinie Wisły występują urodzajne mady, a na wyższych tarasach przeważają gleby brunatne, pło-we i bielcowe. Centralna, najstarsza zabudowana część miasta położona jest na piaskach, podczas gdy w części południowej miasta występują głównie pyły i częściowo gliny (Ślusarczyk, 1986). Od południa miasto graniczy z Wyżyną Lubelską zaczynającą się w okolicach Parchatki, której gleby wytworzyły się głównie z lessów zalegających grubą warstwą na terenie m.in. Kazimierskiego Parku Krajobrazowego (Turski i in., 2008), graniczącego z terenem miasta. Dlatego powierzchnie miejskie pomiędzy ulicą Kazimierską a krawędzią Płaskowyżu Kazimierskiego pokrywają gleby wytworzone z lessów (Ślusarczyk, 1986).

Pomimo iż Puławy należą do miast o średniej wielkości w kraju przy liczbie ludności 48 tys. i powierzchni 50 km<sup>2</sup>, ich gęstość zaludnienia – w porównaniu do innych miast w tej grupie – jest stosunkowo niska (nie przekracza 1000 mieszkańców/km<sup>2</sup>). Wynika to zarówno z przyczyn historycznych, jak i aktualnych uwarunkowań rozwojowych. Historycznie Puławy nie powstały jako typowy organizm miejski o zwartej zabudowie i ustalonym planie, ale rozwijały się z połączenia osady rybackiej w okolicach

dzisiejszego portu i osady tworzącej się w XVIII stuleciu wokół pałacu książąt Czartoryskich. Utworzenie w Puławach wyższych uczelni rolniczych w drugiej połowie XIX w. sprzyjało rozwojowi osady w trójkącie pomiędzy Wisłą i dzisiejszymi ulicami Zieloną i Piłsudskiego. W okresie międzywojennym zabudową objęto też tereny w kierunku dworca kolejowego (tzw. Działki). Gwałtowny rozwój miasta nastąpił dopiero w latach 60. XX w., gdy w Puławach zlokalizowano Zakłady Azotowe. W krótkim czasie liczba ludności wzrosła ponad 3-krotnie, powstały nowe osiedla (Wróblewskiego, Sieroszewskiego, Kołłątaja, Niwa itd.) i dzielnice objęte zabudową jednorodziną (np. Włostowice, ul. Kolejowa). Obszar miasta został znacznie rozszerzony, ale nadal użytki rolne i leśne przekraczają 30% jego powierzchni, a tereny objęte zabudową i trasy komunikacyjne stanowią około 15% całości. W skład terenów zabudowanych wchodzi starsza część centralna (osiedle od co najmniej 200 lat) oraz peryferyjne obszary nowych (i nadal powstających) osiedli mieszkaniowych i dzielnic handlowych.

Największym zakładem przemysłowym, a więc i najważniejszym potencjalnym źródłem emisji zanieczyszczeń, są Zakłady Azotowe „Puławy” S.A., zlokalizowane w odległości kilku kilometrów od miasta w kierunku północno-wschodnim. Lokalizacja ta uwzględnia dominujący południowo-zachodni kierunek wiatrów, co zmniejsza bezpośrednie narażenie miasta na wpływ szkodliwych substancji emitowanych z terenu Zakładów oraz zlokalizowanej tam elektrociepłowni. Zakłady Azotowe „Puławy” to jeden z największych zakładów przemysłowych nie tylko na Lubelszczyźnie, ale i w kraju i wpływ tak dużej inwestycji na stan środowiska przyrodniczego okolicy jest niesłychanie istotny. Ma to szczególne znaczenie w przypadku Puław – najstarszego, z 150-letnią tradycją, ośrodka nauk rolniczych w kraju dysponującego na swym terenie znaczącą bazą doświadczalną (badania szklarniowe, mikropoletkowe i polowe). Niestety – pomimo braku naukowo uzasadnionej dokumentacji – miasto Puławy jest często kojarzone z niekorzystnymi opiniami o wpływie ZA „Puławy” na stan środowiska.

Publikacje na temat jakości gleb oraz zmian stanu środowiska przyrodniczego miasta Puławy w wyniku jego uprzemysłowienia pochodzą z lat 80. ubiegłego wieku (Adamczyk-Winiarska, 1980; Siuta i in., 1987; Dutka, 1986; Ślusarczyk, 1986); część z nich zawarta jest w wydanych przez Towarzystwo Przyjaciół Puław materiałach sesji naukowej „Aktualny stan środowiska przyrodniczego w rejonie Puław i prognozy jego zmian” (Dutka, 1986; Ślusarczyk, 1986). Wobec ponad 25-letniej luki informacyjnej w tym zakresie wydało się podjęcie badań, które umożliwiłyby dokonanie wstępnej oceny poziomu zanieczyszczenia gleb na obszarze Puław, zmierzającej do określenia zakresu dalszych prac oraz oszacowania ewentualnego ryzyka ekologicznego i potencjalnego zagrożenia zdrowia mieszkańców.



Rys. 1. Przestrzenne położenie punktów poboru próbek na obszarze miejskim Puław (mapa: [www.targeo.pl](http://www.targeo.pl))  
 Fig. 1. Spatial distribution of sampling points in Puławy urban area ([www.targeo.pl](http://www.targeo.pl)).

## MATERIAŁY I METODY

### Punkty badawcze i pobieranie próbek glebowych

Badaniami objęto centralną część obszaru miejskiego, na którym zlokalizowano 18 punktów badawczych (rys. 1). Położenie geograficzne poszczególnych punktów określano techniką GPS. Na terenach tzw. „starych Puław” obejmujących obszary zasiedlone w okresie historycznym (XVII–XIX w. oraz pierwsza połowa XX wieku) zlokalizowano 8 punktów, pozostały teren nowszej (po roku 1960) zabudowy obejmował 10 punktów badawczych (tzw. „nowe Puławy”). Punkty z obszaru „starych Puław” były usytuowane: Nr 1 – Os. Puławska Wieś (ul. 8 Sierpnia), Nr 2 – Osiedle Czartoryskich (ul. Waryńskiego), Nr 6 – Al. Królewska (skwer), Nr 7 – Al. Królewska (Górny Ogród), Nr 8 – ul. Zielona (skrzyżowanie z ul. Gen. Fieldorfa „Niła”), Nr 16 – ul. Reymonta, Nr 17 – ul. Kościuszki, Nr 18 – ul. Kruka. Na obszarze „nowych Puław” próbki gleb pobierano z punktów: Nr 3 – Os. Niemcewicza (skwer), Nr 4 – Os. Leśna, Nr 5 – ul. Wróblewskiego (k. szpitala), Nr 9 – ul. Zabłockiego (skrzyżowanie z ul. K. Krahelskiej), Nr 10 – Os. Niwa (ul. Armii Ludowej skrzyżowanie z ul. Legionu Puławskiego), Nr 11 – Os. Górna-Kolejowa (ul. Górna), Nr 12 – Os. Górna-Kolejowa (ul. Kędzierskiej skrzyżowanie z ul. Hauke-Bosaka), Nr 13 – ul. Lubelska (zaplecze sklepu „Groszek”), Nr 14 – ul. Składowa (skrzyżowanie z ul. Północną), Nr 15 – Os. Niwa (Błonia przy ul. Słowackiego).

Próbki gleb pobierano w październiku 2011 roku w ilości ok. 1 kg z warstwy 0–30 cm, zgodnie z aktualnymi zaleceniami krajowymi w tym zakresie (Dz.U.02.165.1359, 2002). Próbki Nr 16 i Nr 12 pobrano z terenu zalesionego, a pozostałe z obszarów pokrytych roślinnością trawiastą lub z trawników.

Po przeniesieniu do laboratorium materiał glebowy suszono na powietrzu w temperaturze 20°C, przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm i przechowywano w temperaturze ok. 16°C przed wykonaniem analiz.

### Metody analityczne i statystyczne

Charakterystyka pobranych próbek obejmowała oznaczenia podstawowych właściwości fizykochemicznych gleb oraz zawartości zanieczyszczeń. W zakresie analizy właściwości fizykochemicznych materiału glebowego wykonano następujące oznaczenia:

- pH mierzone potencjometrycznie w 1:2,5 (m/V) zawiesinie gleby w 1 mol·dm<sup>-3</sup> roztworze KCl, na podstawie którego określono odczyn. Średnie wartości pH (tab. 1) obliczano na podstawie odpowiednich stężeń jonów wodorowych.

- zawartość azotu ogólnego ( $N_{tot}$ ) – na analizatorze elementarnym (VarioMacro Cube GmbH).

- zawartość węgla organicznego ( $C_{org}$ ) utlenionego oznaczano metodą Tiurina; próbkę gleby umieszczoną w roztworze H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> traktowano dwuchromianem potasu, który reagując z węglem organicznym powodował jego utle-

nienie, a ilość pozostałego w roztworze  $K_2Cr_2O_7$  odmiareczkowanywa solą Mohra –  $Fe(NH_2)SO_4 \cdot 6H_2O$ .

Oznaczenia zanieczyszczeń obejmowały dwie grupy z listy objętej Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2002 r (Dz.U.02.165.1359, 2002) – metale (poza rtęcią) i WWA:

– 11 metali (As, Ba, Cr, Sn, Zn, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb) oznaczono techniką ICP-MS (spektrometria mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej) w roztworze po ekstrakcji wodą królewską. Stosowano aparat Agilent 7500ce ICP-MS. Granica oznaczalności wynosiła średnio  $0,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a dokładność 10%.

– 9 związków z grupy WWA (naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, chryzen, benzo[a]antracen, benzo[a]piren, benzo[b]fluoranten, benzo[g,h,i]perylene). WWA oznaczano metodą GC-MS (chromatografii gazowej z detekcją metodą spektrometrii mas) po ekstrakcji gleb dichlorometanem. Ekstrakcje prowadzono techniką przyspieszonej ekstrakcji rozpuszczalnikiem w aparacie ASE200 firmy Dionex, natomiast w celu analizy ilościowej i jakościowej stosowano chromatograf gazowy Agilent 6890N (kolumna kapilarna DB-5 MS+DG) z detektorem masowym Agilent 5973 Network i autosamplerem Agilent 7683 B. Granica wykrywalności dla poszczególnych związków była w zakresie  $0,5\text{--}2,3 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a granica oznaczalności zastosowanej metodyki mieściła się w granicach  $1,6\text{--}7,1 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Szczegółowy opis wykorzystanych metodyk podano w publikacji Maliszewskiej-Kordybach i in. (2009).

W analizie statystycznej wykorzystano program Statgraphics Centurion version XV. Istotność różnic oceniano metodą jednoczynnikowej analizy wariancji na poziomie istotności  $p\leq 0,05$  oraz  $p\leq 0,10$  (test Tukeya). Współzależność pomiędzy poszczególnymi parametrami oceniano na podstawie wartości współczynników korelacji ( $r$ ) Pearsona.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Statystyczną ocenę podstawowych parametrów glebowych oraz zawartości oznaczanych zanieczyszczeń na obszarze Puław przedstawiono w tabeli 1; ze względu na brak rozkładu normalnego w przypadku niektórych danych założono, że bardziej odpowiednia do wyrażania średnich parametrów jest wartość mediany

Podstawowe właściwości fizykochemiczne gleb na całym badanym obszarze miasta są dość jednorodne (współczynnik wariancji dla wartości pH i zawartości węgla organicznego wynosił odpowiednio 16% i 32%), chociaż w niektórych punktach badawczych obserwowano istotne różnicowanie. Nie zauważono istotnych różnic między glebami z terenu „starych” i „nowych” Puław; mediany wartości pH dla obu terenów wynosiły odpowiednio 6,93 i 6,98, a  $C_{\text{org}}$  odpowiednio  $14,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  i  $12,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (dane nie przedstawione). Obojętny odczyn większości badanych gleb oraz zadowalająca (w porównaniu do danych dla

Tabela 1. Statystyczna ocena podstawowych właściwości gleb oraz zawartości metali i WWA na terenie Puław  
Table 1. Statistic evaluation of basic soil properties and the content of metals and PAHs in Puławy urban area.

Parametr Parameter	Średnia arytm. Average	Mediana Median	SD	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Wsp. wariancji Coefficient of variation [%]
pH <sub>KCl</sub>	4,89	6,97	1,05	3,71	7,51	16
$C_{\text{org}}$ [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	13,9	14,1	4,5	5,6	21,7	32
$N_{\text{tot}}$ [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	1,2	1,2	0,4	0,4	1,8	36
As [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	1,78	1,73	0,73	0,95	4,33	41
Ba [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	45,97	45,50	14,29	23,52	85,11	31
Cr [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	9,80	8,75	3,93	3,96	22,90	40
Sn [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	1,61	0,93	2,00	0,42	9,12	124
Zn [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	90,09	52,66	103,30	19,02	437,19	115
Cd [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	0,25	0,22	0,16	0,04	0,58	66
Co [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	1,92	1,77	0,73	0,84	3,43	38
Cu [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	9,04	8,64	5,06	2,83	21,88	56
Mo [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	0,12	0,08	0,12	0,01	0,38	137
Ni [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	5,56	5,05	2,17	2,20	10,42	39
Pb [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	36,64	15,56	57,94	7,34	198,63	158
Suma 9 WWA [ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	867	778	619	90	2028	71

$C_{\text{org}}$  – zawartość węgla organicznego; content of organic carbon

$N_{\text{tot}}$  – zawartość azotu ogólnego; content of total nitrogen

Suma 9 WWA – zawartość 9 związków z grupy WWA; Sum of the content of 9 PAH compounds (Dz.U.02.165.1359, 2002)

SD – odchylenie standardowe; standard deviation

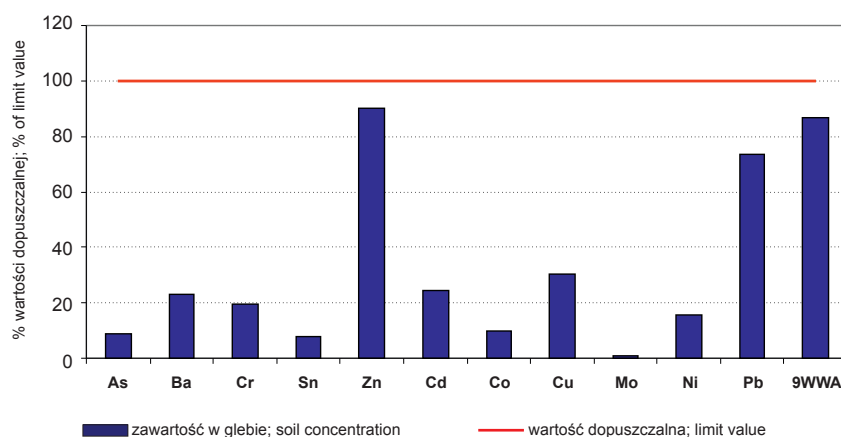
gleb całej Polski) zawartość węgla organicznego wynikają najprawdopodobniej z faktu, że znaczna część materiału glebowego do badań była pobierana z trawników lub innych terenów przeobrażonych przez budownictwo; gleby te należy więc zaliczyć do gleb antropogenicznych, częściowo przekształconych w wyniku działalności człowieka. Nie można też wykluczyć, że stosunkowo wysokie pH związane jest w pewnym stopniu z narażeniem miasta na silniejsze oddziaływanie pyłów pochodzących z elektrociepłowni zlokalizowanej na terenie Zakładów Azotowych, chociaż podobny odczyn gleb miejskich notowano w dużo wcześniejszych badaniach (Dutka, 1986). Z drugiej strony badane gleby nie charakteryzowały się nadmiernie wysoką zawartością azotu (średnia  $N_{\text{tot}}=0,12\%$ ), która odpowiada wartościom (średnio  $N_{\text{tot}}=0,10-0,11\%$ ) notowanym w glebach ornyc na terenie całego kraju (Terelak i in., 2008). Dane te nie wskazują, aby gleby Puław były obecnie narażone na silną imisję związków azotu, jak obserwowano w początkowym okresie rozwoju Zakładów Azotowych (Adamczyk-Winiarska, 1980).

Średnia zawartość analizowanych metali w glebach Puław nie była wysoka i w żadnym z przypadków nie przekraczała zawartości dopuszczalnej dla gleb z tzw. grupy B (grunty zaliczone do użytków rolnych, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane) określonej w ramach Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. (Dz.U.02.165.1359, 2002). Stężenia wszystkich pierwiastków (z wyjątkiem cynku i ołowiu) kształtowały się na poziomie 10–30% wartości granicznej (rys. 2). Średnia zawartość Pb i Zn stanowiła 75–90% dopuszczalnego limitu (Dz.U.02.165.1359, 2002). Niemniej ich stężenia w glebie charakteryzowały się dużą zmiennością (współczynnik wariacji odpowiednio 158% i 115% – tab. 1), co wskazuje na silny wpływ pojedynczych punktów badawczych.

Bardziej odpowiednia do wyrażenia średniej zawartości wartość mediany w obu przypadkach była prawie o połowę niższa niż odpowiednie średnie arytmetyczne (tab. 1). Na podobnym poziomie kształtowała się średnia zawartość 9 związków z grupy WWA, która wynosiła 87% wartości dopuszczalnej (rys. 2) przy mniejszej zmienności stężeń (współczynnik wariacji 71% – tab. 1).

Średnie zawartości metali na obszarze Puław były niższe niż w glebach większych miast, ale zakres ich stężeń był porównywalny do danych dla dużych obszarów zurbanizowanych. Gleby przemysłowej dzielnicy Wrocławia zawierają miedź, ołów i cynk odpowiednio w zakresach 3,5–465 mg·kg<sup>-1</sup>, 11,5–107,0 mg·kg<sup>-1</sup> i 11–380 mg·kg<sup>-1</sup> (Karczewska i in., 2009). W glebach miejskich Poznania Cd, Cu, Pb i Zn występowały w zakresach odpowiednio: 0,2–0,8 mg·kg<sup>-1</sup>, 1,5–17,5 mg·kg<sup>-1</sup>, 1,5–33,0 mg·kg<sup>-1</sup> i 8,0–122,0 mg·kg<sup>-1</sup> (Siepak i in., 1996; Adamczewska i in., 2000). Wysokie zawartości cynku i ołowiu notowano w glebach zieleńców przyulicznych: w Warszawie średnie zawartości Zn i Pb były na poziomie 200 mg·kg<sup>-1</sup> (Czarnowska, Gworek, 1991), w Białymstoku wynosiły odpowiednio 205 mg·kg<sup>-1</sup> i 162 mg·kg<sup>-1</sup> (Kiryluk, 2008), a w Olsztynie zawartość Zn kształtowała się w granicach 68,1–112,4 mg·kg<sup>-1</sup> i Pb: 32,7–49,2 mg·kg<sup>-1</sup> (Bieniek, Bieniek, 2008). Podobny poziom zanieczyszczenia metalami notowano w innych miastach Europy: w glebach miejskich okolic Neapolu zawartości Cd, Cu, Pb i Zn wynosiły średnio 0,55 mg·kg<sup>-1</sup>, 96,8 mg·kg<sup>-1</sup>, 158 mg·kg<sup>-1</sup> i 180 mg·kg<sup>-1</sup>. Dla porównania średnie zawartości tych samych pierwiastków w glebach ornyc Polski wynosiły w roku 2005: Cd – 0,69 mg·kg<sup>-1</sup>, Cu – 9,9 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb – 24 mg·kg<sup>-1</sup> i Zn – 71,9 mg·kg<sup>-1</sup> (Terelak i in., 2008).

Zawartość WWA w glebach Puław (mediana 778 µg·kg<sup>-1</sup>) odpowiadała danym dla innych niewielkich miast Polski (317–1038 µg·kg<sup>-1</sup>) takim jak Białowieża, Wisła, Go-



Rys. 2. Procentowy stosunek średniej zawartości zanieczyszczeń w glebach Puław do wartości dopuszczalnych (Dz.U.02.165.1359, 2002)  
Fig. 2. Percent relationship between the content of contaminants in soils from Puławy to limit value (Dz.U.02.165.1359, 2002).

Tabela 2. Porównanie zawartości wybranych metali w glebach Puław w latach 1985 i 2011  
Table 2. The content of selected metals in soils in Puławy in years 1985 and 2011.

Rok Year	Warstwa Layer	Średnia zawartość w glebie Average content in soil [mg·kg <sup>-1</sup> ]					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1985 (Dutka, 1986)	2–10 cm (n=6)	0,6	9,0	8,9	5,5	29,5	67,0
2011	0–30 cm (n=18)	0,25	9,80	9,04	5,56	36,64	90,09

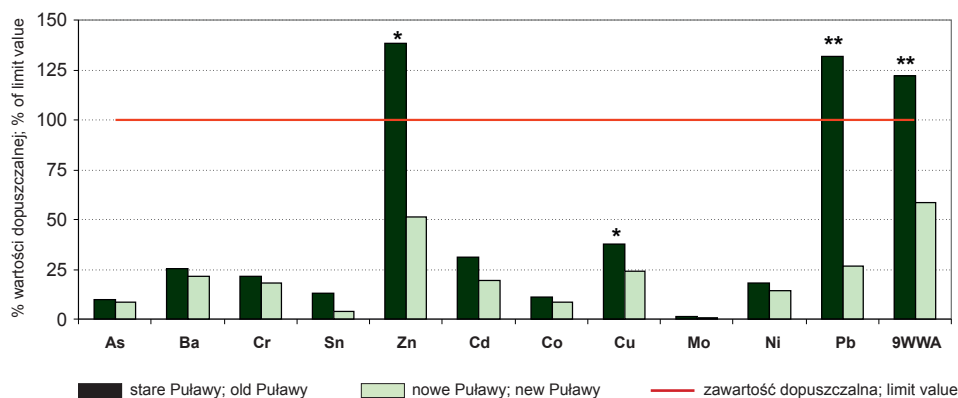
n – liczba próbek; number of samples

golin i Martąg (Wcisło, 1998). Średnia zawartość WWA w glebach różnych miast świata waha się w granicach 140–12 500  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , chociaż w niektórych przypadkach notowano wartości dużo wyższe (Liu i in., 2010; Maisto i in., 2006). Wcisło (1998) podawała średnie zawartości sumy tych związków w glebach miejskich aglomeracji przemysłowych Górnego Śląska w granicach 1 000–12 000  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Zawartość WWA w glebach miejskich z centrum Poznania wahała się w granicach 43 340–88 055  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  i nawet na terenie parków miejskich przekraczała 20 000  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Adamczewska i in., 2000). Natomiast w glebach ornymy Polski średnia zawartość 9WWA w roku 2005 wynosiła 404  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Terelak i in., 2008), a w glebach użytkowanych rolniczo na terenie powiatu puławskiego była jeszcze niższa – 200  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Maliszewska-Kordybach, Smreczak, 1995).

W celu określenia wpływu czasu na stan zanieczyszczenia gleb Puław przez metale porównano uzyskane wyniki z informacjami sprzed 26 lat (Dutka, 1986). W badaniach z tamtego okresu określano zawartość Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w próbkach gleb z 6 punktów badawczych na

terenach zieleńców na obszarze miasta pobierając próbki gleb z dwóch warstw 0–2 cm i 2–10 cm). Dla celów porównawczych (tab. 2) przyjęto w uproszczeniu, iż dane dotyczące warstwy 2–10 cm (Dutka, 1986) są bardziej zbliżone do warunków stosowanych w obecnej pracy (warstwa badawcza 0–30 cm). Biorąc pod uwagę różnice w ilości i rozmieszczeniu punktów badawczych, w głębokości warstwy badawczej oraz w stosowanych metodach analitycznych zgodność wyników jest duża i sugeruje, że rozwój miasta oraz Zakładów Azotowych w okresie ostatniego ćwierćwiecza nie spowodował znaczącego wzrostu poziomu zanieczyszczenia gleb metalami. Pozorne zwiększenie zawartości ołowiu i cynku związane jest z wysokim stężeniem tych pierwiastków w pojedynczych punktach badawczych; odpowiednie wartości mediany (tab. 1) są nawet niższe niż średnie z roku 1985 (Dutka, 1986).

W dłuższej skali czasowej interesująco wygląda porównanie zawartości szkodliwych związków organicznych i metali w próbkach gleb pobranych z terenu „starych” i „nowych” Puław (rys. 3). We wszystkich przypadkach stężenia zanieczyszczeń w glebach z obszaru „starych” Puław

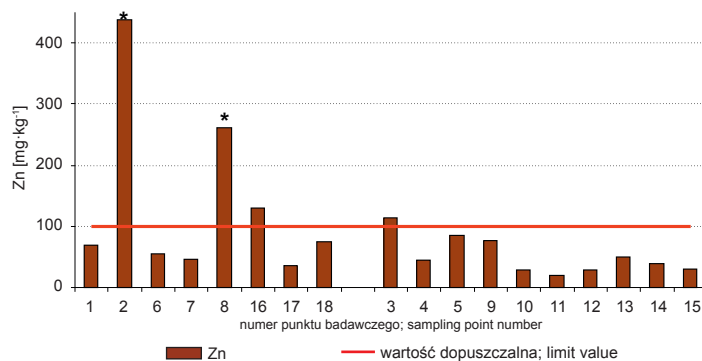


\* różnice istotne na poziomie  $p \leq 0,10$ ; differences significant on the level  $p \leq 0,10$

\*\* różnice istotne na poziomie  $p \leq 0,05$ ; differences significant on the level  $p \leq 0,05$

Rys. 3. Porównanie procentowych (w stosunku do zawartości dopuszczalnej) zawartości zanieczyszczeń w glebach z terenu „starych” (n=8) i „nowych” (n=10) Puław

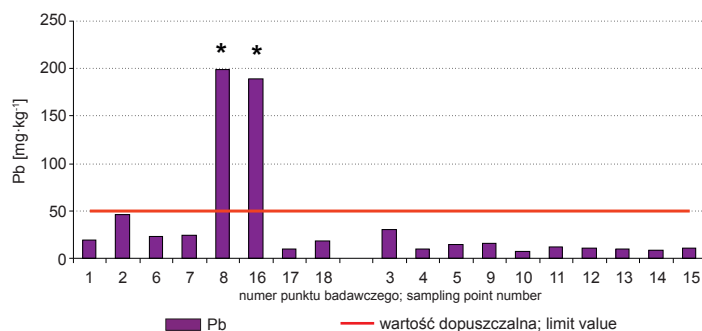
Fig. 3. Comparison of the percentage contribution (in relation to limit value) of contaminants in soils from „old” (n=8) and „new” (n=10) Puławy.



\* zawartość statystycznie wyższa od wartości granicznej; statistically higher than limit value

Rys. 4. Zawartość cynku w glebach poszczególnych punktów badawczych; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „stare” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „nowe” Puławy

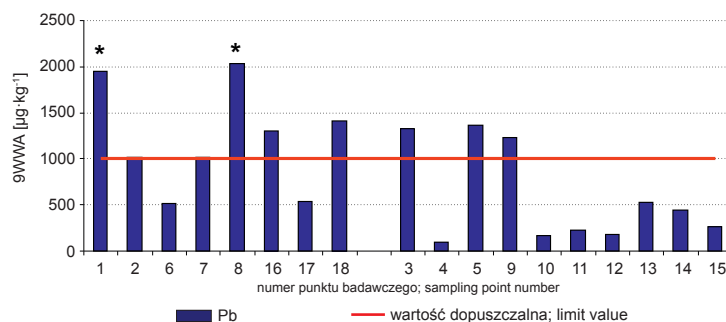
Fig. 4. Concentration of zinc in soils from individual sampling points; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „old” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „new” Puławy.



\* zawartość statystycznie wyższa od wartości granicznej; statistically higher than limit value

Rys. 5. Zawartość ołowiu w glebach poszczególnych punktów badawczych; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „stare” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „nowe” Puławy

Fig. 5. Concentration of lead in soils from individual sampling points; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „old” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „new” Puławy.



\* zawartość statystycznie wyższa od wartości granicznej; statistically higher than limit value

Rys. 6. Zawartość 9WVA w glebach poszczególnych punktów badawczych; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „stare” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „nowe” Puławy

Fig. 6. Concentration of 9PAHs in soils from individual sampling points; Nr 1, 2, 6, 7, 8, 16, 17, 18 – „old” Puławy, Nr 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – „new” Puławy.

są wyższe niż z obszaru nowych osiedli, chociaż różnice te przeważnie nie są znaczące. Istotne statystycznie, chociaż niewielkie, zróżnicowanie na poziomie  $p \leq 0,10$  zaobserwowano w przypadku miedzi i cynku. Zanieczyszczenie gleb cynkiem jest najczęstsze w rejonach przemysłowych (Siebielec i in., 2006), metal ten może być także wprowadzany do gleb podczas zabiegów agrotechnicznych wraz z nawozami, odpadami komunalnymi i środkami ochrony roślin (Siepak i in., 1996; Fabietti i in., 2010; Kabata-Pendias, 2011). Ze względu na dużą mobilność cynku wysokie stężenia Zn w glebie stanowią istotne zagrożenie przede wszystkim dla ekosystemów glebowych. Podwyższone zawartości miedzi w glebach mogą wynikać, podobnie jak w przypadku cynku, ze stosowania nawozów mineralnych i organicznych oraz środków ochrony roślin na terenach zielonych (Kabata-Pendias, 2011; Fabietti i in., 2010).

Wyraźne, istotne statystycznie różnice (na poziomie  $p \leq 0,05$ ) stwierdzono w przypadku ołowiu i WWA (rys. 3). Ołów dostaje się do gleb głównie z zanieczyszczeniami atmosferycznymi pochodzącymi z działalności przemysłowej oraz komunikacji (Maisto i in., 2006; Kabata-Pendias, 2011; Fabietti i in., 2010); jest on jednym z metali ciężkich stanowiących wysokie ryzyko przede wszystkim dla zdrowia człowieka (Kabata-Pendias, 2011). Antropogeniczne źródła WWA są podobne jak w przypadku ołowiu, gdyż związki te powstają we wszystkich procesach spalania substancji organicznych i dostają się do gleb głównie z opadami atmosferycznymi (Maliszewska-Kordybach i in., 2008a; Liu i in., 2010). Dużo wyższa zawartość ołowiu i WWA w glebach „starych” Puław jest niewątpliwie związana z dłuższym oddziaływaniem czynników urbanizacyjnych: opalania budynków i komunikacji. Podobne prawidłowości kształtowania się zawartości WWA w glebach w zależności od „wieku urbanizacji” opisywano w badaniach prowadzonych w okolicach podmiejskich Pekinu (Liu i in., 2010). Należy też zauważyć, że na obszarach zadrzewionych znaczne ilości pyłów i opadów atmosferycznych kumulują się na liściach, które w przypadku Puław stanowią niejednokrotnie materiał wykorzystywany przez kompostownię – stąd pewne ilości zanieczyszczeń mogą być wnoszone do gleb wraz z nawozami organicznymi stosowanymi na terenach zielonych.

Zawartości WWA oraz metali w glebach z obszaru nowych osiedli (mediana 9WWA –  $358 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Pb –  $10,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cd –  $0,13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Zn –  $41,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) były na zbliżonym poziomie do ilości tych zanieczyszczeń w glebach z terenów użytkowanych rolniczo w Polsce, dla których odpowiednie wartości median wynosiły: 9WWA –  $341 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Pb –  $12,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cd –  $0,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i Zn –  $35,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Maliszewska-Kordybach i in., 2008b).

Rozkład zawartości najważniejszych zanieczyszczeń (Zn, Pb i WWA) w poszczególnych punktach badawczych przedstawiono na rysunkach 4, 5 i 6. Ogólnie, trendy przestrzenne w poziomach zanieczyszczenia są zbliżone i zawartości WWA były dodatnio skorelowane ( $r$  w granicach

$0,43\text{--}0,62$  przy  $p \leq 0,05$ ) z zawartościami większości metali (As, Ba, Zn, Cd, Cu, Mo, Ni, Pb). Podobne prawidłowości – istotne zależności pomiędzy zawartościami WWA oraz Cu, Pb i Zn w glebach miejskich – obserwowano w innych pracach (Maisto i in., 2006; Fabietti i in., 2010). Szczegółowa analiza danych wskazuje jednak, że ścisła zależność pomiędzy stężeniami WWA i metali (Zn, Cd, Mo i Pb) odpowiada tylko punktom badawczym z obszaru nowych dzielnic (współczynniki korelacji w zakresie  $0,73\text{--}0,96$  przy  $p \leq 0,02$ ), natomiast na terenie „starych” Puław istotnych korelacji pomiędzy zawartością WWA i metali nie zanotowano (dane nie prezentowane). Można więc wnioskować, że na obszarach niedawno zabudowanych zanieczyszczenia występujące w niewielkich ilościach w glebie pochodzą głównie z podobnych źródeł rozproszonych, natomiast na historycznych terenach miejskich metale i WWA dostają się do gleb innymi drogami (np. WWA z pyłami powstającymi podczas ogrzewania budynków, a cynk lub miedź wraz z nawozami czy środkami ochrony roślin).

Istotne przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali (Dz.U.02.165.1359, 2002) zanotowano w czterech punktach, w tym dla cynku w punktach Nr 2 i Nr 8, Pb – Nr 16 i Nr 8, a 9WWA – w punktach Nr 1 i Nr 8. Wszystkie te punkty położone są na terenie „starych” Puław. Najbardziej zanieczyszczony punkt Nr 8 położony jest przy ulicy Zielonej, przez którą przebiega trasa do Kazimierza Dolnego o bardzo dużym natężeniu ruchu, obok parkingu dla autokarów i skrzyżowania z ulicą Głęboką. Wysokie zawartości pojedynczych metali (Pb i Zn) i WWA w pozostałych punktach, którym nie towarzyszy ogólny wzrost zanieczyszczenia, mają najprawdopodobniej charakter incydentalny (składowanie złomu, palenie ognisk). Na tle niskiego ogólnie poziomu zanieczyszczenia metalami zwraca uwagę podwyższona zawartość WWA w około 50% badanych gleb (rys. 6), co niewątpliwie związane jest głównie z długotrwałym wpływem emisji tych węglowodorów podczas opalania pomieszczeń drewnem i węglem na terenach zabudowanych.

#### PODSUMOWANIE

Przeprowadzona wstępna ocena stanu zanieczyszczenia gleb miejskich w Puławach, która obejmowała oznaczenia zawartości 11 metali i 9 wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, wskazuje na ogólnie niski stopień zagrożenia. Średnia zawartość wszystkich oznaczanych zanieczyszczeń jest poniżej odpowiednich wartości granicznych określonych polskimi regulacjami prawnymi (Dz.U.02.165.1359, 2002) dla gleb na terenach użytków rolnych, zabudowanych i zurbanizowanych. Ocena porównawcza zmian zawartości wybranych metali w okresie ostatniego 25-lecia w glebach Puław nie wskazuje na wzrost poziomu zanieczyszczenia gleb tymi pierwiastkami. Zaobserwowano natomiast widoczny wpływ



dłuższego (kilkuwiekowego) okresu zabudowy i urbanizacji na wzrost zawartości metali i WWA w glebach; średni poziom zanieczyszczenia gleb z historycznej części miasta był w wielu przypadkach wyższy niż na obszarze nowych osiedli. Ogólnie pozytywna ocena stanu zanieczyszczenia gleb miasta Puławy nie zmienia faktu, że w poszczególnych punktach badawczych notowano przekroczenia dopuszczalnych zawartości niektórych zanieczyszczeń, co może stwarzać punktowe zagrożenia ekologiczne i/lub zdrowia ludzi. Wskazane są szersze badania obejmujące więcej punktów pokrywających cały teren miejski i uwzględniające większe spektrum szkodliwych substancji.

#### LITERATURA

- Adamczewska M., Siepak J., Gramowska H., 2000.** Studies of the level of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils subjected to anthropopressure in the city of Poznań. *Polish J. Environ. Stud.*, 9: 305-321.
- Adamezyk-Winiarska Z., 1980.** Wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez Zakłady Azotowe w Puławach na chemiczne właściwości gleb. Praca dokt., IUNG, Puławy, 1980, 65 ss.
- Biasioli M., Barberis R., Ajmone-Marsan F., 2006.** The influence of a large city on some soil properties and metal content. *Sci. Total Environ.*, 356: 154-164.
- Bieniek A., Bieniek B., 2008.** Metale ciężkie w glebach wzdłuż arterii komunikacyjnych Olsztyna. *Rocz. Glebozn.*, 59(3): 23-30.
- Cui Z., Cui S., Bao W., Wu N., 2011.** Contamination and distribution of heavy metals in urban and suburban soils in Zhangzhou City, Fujian, China. *Environ. Earth Sci.*, 64: 1607-1615.
- Czarnowska K., 1997.** Poziom niektórych metali ciężkich w glebach i liściach drzew miasta Łodzi. *Rocz. Glebozn.*, 48: 49-61.
- Czarnowska K., Gworek B., 1991.** Stan zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem i miedzią gleb Warszawy. *Rocz. Glebozn.*, 42(1/2): 49-56.
- Dąbkowska-Naskręt H., Różański S., 2002.** Accumulation of heavy metals and physico-chemical properties of urbanozems from Bydgoszcz agglomeration. *Chem. Inż. Ekol.*, 9, 11: 1313-1318.
- Dutka S., 1986.** Metale śladowe w glebach puławskich zieleńców. W: *Studia Puławskie. Seria B Ochrona środowiska przyrodniczego. Zeszyt 1. Towarzystwo Przyjaciół Puław, Puławy*, ss. 201-210.
- Dz.U. 02.165.1359, 2002. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.
- Fabietti G., Biasioli M., Barberis R., Ajmone-Marsan F., 2010.** Soil contamination by organic and inorganic pollutants at the regional scale. *J. Soils Sedim.*, 10: 290-300.
- Kabala C., Chodak T., Szerszeń L., Karczewska A., Szopka K., Frątczak U., 2009.** Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment gardens in the city of Wrocław, Poland. *Fresenius Environ. Bull.*, 18(7): 1118-1124.
- Kabata-Pendias A., 2011.** Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
- Karczewska A., Bogda A., Wolszczak M., Galka B., Szopka K., Kabala C., 2009.** Miedź, ołów i cynk w glebach przemysłowej części osiedla Różanka we Wrocławiu. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.*, 41: 516-522.
- Kiryłuk A., 2008.** Zawartość metali ciężkich w glebie i wybranych roślinach trawników przyulicznych aglomeracji białostockiej. *Rocz. Glebozn.*, 59(3): 128-133.
- Klimkowicz-Pawlas A., 2009.** Oddziaływanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na siedliskową funkcję gleby. IUNG-PIB. Puławy. Monografie i Rozprawy Naukowe, 22, 92 ss.
- Kondracki J., 2002.** Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Kondras M., Czępińska-Kamińska D., 2007.** Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb aglomeracji warszawskiej przez metale ciężkie i WWA na podstawie różnych norm prawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 520: 509-515.
- Liu S., Xia X., Yang L., Shen M., Liu R., 2010.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of different land uses in Beijing, China; Distribution, sources and their correlation with the city's urbanization history. *J. Hazard. Mater.*, 177: 1085-1092.
- Maisto G., De Nicola F., Ioviento P., Prati M.V., Alfani A., 2006.** PAHs and trace elements in volcanic and natural soils. *Geoderma*, 136: 20-27.
- Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., 1997.** Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach użytkowanych rolniczo na terenie woj. lubelskiego. *Rocz. Glebozn.*, 48: 95-110.
- Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Terelak H., 2008a.** Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland. *Chemosphere*, 73: 1284-1291.
- Maliszewska-Kordybach B., Klimkowicz-Pawlas A., Smreczak B., 2008b.** Soil reference materials in ecotoxicity testing – application of the concept of EURO-Soil to soils from Poland. *Polish J. Environ. Stud.*, 17: 257-266.
- Maliszewska-Kordybach B., Klimkowicz-Pawlas A., Smreczak B., 2009.** Effects of anthropopressure and soil properties on the accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the upper layer of soils in selected regions of Poland. *Appl. Geochem.*, 24: 1918-1926.
- Niedbała M., Smolińska B., 2011.** Monitoring zanieczyszczenia gleb miejskich miasta Łodzi wybranymi pierwiastkami śladowymi w latach 2008-2010. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.*, 49: 247-255.
- Pasieczna A., Malecka J., Lipniacka T., 2003.** Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Siebielec G., Stuczyński T., Korzeniowska-Puculek R., 2006.** Metal bioavailability in long-term contaminated Tarnowskie Gory soils. *Polish J. Environ. Stud.*, 15: 121-129.
- Siepak J., Elbanowska H., Kozacki L., 1996.** Arrangement contamination of soils by heavy metals near public main Road in the city of Poznań. *Polish J. Environ. Stud.*, 5: 45-48.
- Siuta J., Górski T., Chojnacki A., Puszkar T., i in., 1987.** Ekologiczne skutki uprzemysłowienia Puław. IOŚ, Warszawa, 241 ss.
- Ślusarczyk E., 1986.** Gleby i grunty na obszarze Puław oraz ich przeobrażenia pod wpływem urbanizacji i przemysłu. W: *Studia Puławskie. Seria B. Ochrona środowiska przyrodniczego. Zeszyt 1. Towarzystwo Przyjaciół Puław, Puławy*: 177-199.

- Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz., 2008.** Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005-2007. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 135 ss.
- Turski R., Uziak S., Zawadzki S., 2008.** Gleby. W: Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny; wyd. Uziak S., Turski R., Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, ss. 211-315.
- Wcisło E., 1998.** Soil contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Poland – a review. Polish J. Environ. Stud., 7: 267-272.
- Zerbe J., Sobczyński T., Siepak J., 1995.** Zanieczyszczenie gleby w ogrodach działkowych metalami ciężkimi i wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. Przynr. Człow., 5: 133-141.

*B. Maliszewska-Kordybach, R. Gatka, A. Klimkowicz-Pawlas, B. Smreczak, M. Łysiak*

#### SOILS IN PUŁAWY URBAN AREA – ARE THEY CONTAMINATED?

Puławy is a middle size (50 000 inhabitants) town in the East Poland situated in the vicinity of the large chemical plant (mostly nitrogen fertilizers production). The town due to its history and picturesque location, is well-known tourist place being simultaneously the seat of the oldest scientific agricultural institute in Poland. Hence, evaluation of the ecological status of its environment has particular significance. The aim of the study was preliminary evaluation the status of contamination of Puławy urban soils. The soil samples (n=18) were collected in 2011 from 0-30 cm soil layer. The sampling points were situated on lawns or grass covered areas and were planned to embrace two territories: historical (over 200 years) settlement and new districts. Soils were ana-

lyzed for their basic properties (organic matter and total nitrogen content,  $pH_{KCl}$ ) and content of two groups of contaminants: metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from the Polish Regulation List (Dz.U.02.165.1359, 2002). Metal determinations (ICP-MS technique after *aqua regia* extraction) cover 11 elements (As, Ba, Cr, Sn, Zn, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb), while PAH analysis (GC-MS technique) covered 9 compounds (naphthalene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, chrysene, benzo[a]anthracene, benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[g,h,i]perylene). Average concentrations of all contaminants in analysed soils were rather low; As – 1,78  $mg \cdot kg^{-1}$ , Ba – 45.97  $mg \cdot kg^{-1}$ , Cr – 9.80  $mg \cdot kg^{-1}$ , Sn – 1.61  $mg \cdot kg^{-1}$ , Zn – 90  $mg \cdot kg^{-1}$ , Cd – 0.25  $mg \cdot kg^{-1}$ , Co – 1.92  $mg \cdot kg^{-1}$ , Cu – 9.04  $mg \cdot kg^{-1}$ , Mo – 0.12  $mg \cdot kg^{-1}$ , Ni – 5.56  $mg \cdot kg^{-1}$ , Pb – 36.64  $mg \cdot kg^{-1}$  and 9PAHs – 867  $\mu g \cdot kg^{-1}$ . Concentrations of most of the metals corresponded to 15–30% of Polish Regulation guidelines (Dz.U.02.165.1359, 2002), besides Zn, Pb as well as PAHs reaching to 85% of the limit value. Some hot-spots in historical part of the town were identified with the concentrations of Zn, Pb and PAHs exceeding limit values. Comparison of the results with older data (Dutka, 1985) shows stable level of metals in soils in Puławy, which suggests lack of negative effect of chemical plant activity and town development in the last quarter of century. However, in the longer time periods the history of urbanisation had an impact on the levels of most of the contaminants, which exhibited lower concentrations in soils from the new districts than in the old ones. Significant correlation coefficients ( $r$  of 0.74–0.96,  $p \leq 0.02$ ) between the content of PAHs and metals (Zn, Cd, Mo, Pb) in sampling points from the new districts suggest contamination from common disperse sources, while lack of such relationships in the historical part of the town implies different routes of soil contamination.

**key words:** soil contamination, urban soils, metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs