

MAŁGORZATA WIDŁAK¹
RENATA STOIŃSKA²
MAGDALENA DAŃCZUK³
AGATA WIDŁAK⁴

Kielce University of Technology

¹e-mail: mwidlak@tu.kielce.pl

²e-mail: r.szustak@poczta.onet.pl

³e-mail: magdar@tu.kielce.pl

⁴e-mail: widlak.agata@gmail.com

HEAVY METALS (Pb, Cu) IN SOIL FROM URBANIZED AREA AT THE COMMUNICATION ROUTE – Part 1

METALE CIĘŻKIE (Pb, Cu) W GLEBIE Z OBSZARU ZURBANIZOWANEGO PRZY TRAKCIE KOMUNIKACYJNYM – część I

Abstract

The paper presents the results of studying the content of heavy metals (lead and copper) in the urbanized land located on the campus of the Kielce University of Technology. The aim of the study was to determine the concentration of total forms of lead and copper and to examine how the vegetation can reduce their concentration in the soil. Based on the studies conducted, it was found that the contamination of the investigated land with selected metals is low. The highest contamination was caused by lead in areas with the increased car traffic, exceeding the limit of 12%, the copper content was 55% of the limit concentration. Laboratory studies have shown that planting plants with phytoremediation capacity around the tested area has a significant effect on the reduction of heavy metals in the soil.

Keywords: heavy metals, urban soils, toxic effects, phytoremediation

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań zawartości metali ciężkich (ołowiu i miedzi) w gruntach zurbanizowanych położonych na terenie kampusu Politechniki Świętokrzyskiej. Celem pracy było określenie stężenia form całkowitych ołowiu i miedzi oraz zbadanie, jak roślinność może ograniczyć ich stężenie w glebie. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zanieczyszczenie badanych gruntów zurbanizowanych wybranymi metalami jest niewielkie. Najwyższe zanieczyszczenie spowodowane było ołowiem w miejscach o wzmożonym ruchu samochodowym, przekraczające o 12% stężenie graniczne, zawartość miedzi stanowiła 55% stężenia granicznego. Badania laboratoryjne wykazały, że nasadzenie roślin o zdolnościach fitoremediacyjnych, otaczających badany teren, wywiera znaczący wpływ na obniżenie zawartości metali ciężkich w glebie.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, gleby obszarów zurbanizowanych, toksyczne oddziaływanie, fitoremediacja

1. Introduction

One of the most serious threats to the modern world and thus to human health is environmental pollution with heavy metals, especially in highly urbanized areas [1]. The transport infrastructure, consisting of roads, fuel stations, car parks, is increasing in size and contributes to the degradation of soil, water and air. Soil contamination on high traffic roads is caused

1. Wprowadzenie

Jednym z najpoważniejszych zagrożeń współczesnego świata, a tym samym i zdrowia ludzi jest zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi, szczególnie w obszarach silnie zurbanizowanych [1]. Infrastruktura komunikacyjna, na którą składają się drogi, stacje paliw, parkingi samochodowe, zajmuje coraz większe obszary i przyczynia się do degrada-

by incomplete combustion compounds, organic and mineral compounds in fuels and greases, heavy metals in fuel additives, lubricants and oils. The risk is the salt used to eliminate icing and dust from materials consumed during vehicle use. The content of metals in the soil is related to the traffic intensity, form and development of the area, climatic conditions. The spread of heavy metals in the natural environment is driven by different mechanisms: transport, wind, natural waters and precipitation. Atmospheric pollutants of anthropogenic origin mix with air and in a compact urban building settings are leading to high concentrations of heavy metals in the air due to lack of free movement. Particular attention should be paid to the area of traffic pollution up to about 150 m on both sides of the road [2].

Adsorption and buffering properties of soils favour the accumulation of heavy metals. Soil contamination is characterized by toxicologically delayed environmental impacts. The occurring heavy metal contaminations do not degrade, but they change their forms of occurrence due to the physical and chemical-biological processes taking place in the soil. Forms of metals occurring in soils are mainly influenced by: pH, content of organic matter, sorption capacity, granulometric composition and humidity [1]. The characteristic property of heavy metals is their toxicity. They do not participate in life processes, but have a very high accumulation coefficient in the body, are easily absorbed from the air, from the digestive system and damage the DNA structure, causing mutagenic and carcinogenic effects in the body [3]. Promising possibilities of removing metals from the soil are offered by the application of plants in remediation processes. Fitoremediation involves different techniques of reclamation and leads to removal of soil contaminants (phytoextrusion) or immobilisation (phytostabilization) which allows to reduce the mobility of heavy metals [4].

The problem of pollution of urbanized land constitutes a large number of studies in recent years, in the majority their main aim is monitoring.

cji gleby, wody i powietrza. Zanieczyszczenie gleb przy trasach komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu wywołane jest przez związki powstające przy niepełnym spalaniu, związki organiczne i mineralne występujące w paliwach i smarach, metale ciężkie wchodzące w skład dodatków do paliw, smarów i olejów. Zagrożenie stanowi sól stosowana do likwidacji oblodzenia dróg oraz pyły pochodzące z materiałów zużywających się w czasie eksploatacji pojazdów. Zawartość metali w glebie związana jest z natężeniem ruchu, ukształtowaniem i zagospodarowaniem terenu, warunkami klimatycznymi. Rozprzestrzenianie się metali ciężkich w środowisku naturalnym zachodzi na drodze działania różnych mechanizmów: transportu, wiatru, wód naturalnych i opadów atmosferycznych. Emitowane do atmosfery zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego mieszają się z powietrzem i w zwartej miejskiej zabudowie urbanistycznej prowadzą do wysokich stężeń metali ciężkich w powietrzu, z powodu braku swobodnego przemieszczania. Szczególną uwagę należy zwrócić na strefę oddziaływania zanieczyszczeń komunikacyjnych do ok. 150 m po obydwu stronach jezdni [2].

Adsorpcyjne i buforujące właściwości gleb sprzyjają kumulacji metali ciężkich. Skażenie gleby charakteryzuje się toksykologicznymi opóźnionymi oddziaływaniami środowiskowymi. Występujące zanieczyszczenia metalami ciężkimi, nie ulegają degradacji, ale zmieniają formy występowania na skutek zachodzących w glebie procesów fizyczno-chemiczno-biologicznych. Na formy występowania metali w glebach mają wpływ głównie: odczyn, zawartość materii organicznej, pojemność sorpcyjna, skład granulometryczny oraz wilgotność [1]. Charakterystyczną właściwością metali ciężkich jest ich toksyczność. Nie biorą one udziału w procesach życiowych, ale mają bardzo wysoki współczynnik akumulacji w organizmie, łatwo absorbują się z powietrza, z przewodu pokarmowego, uszkadzają strukturę DNA, w organizmie powodują efekt mutageny i kancerogeny [3]. Obiecujące możliwości usuwania metali z gleby daje zastosowanie roślin w procesach remediacji. Fitoremediacja obejmuje różne techniki rekultywacji i prowadzi do usuwania zanieczyszczeń z gleby (fitoekstrakcja) lub unieruchamiania (fitostabilizacja), co pozwala na zmniejszenie mobilności metali ciężkich [4]. Problem zanieczyszczenia gruntów zurbanizowanych stanowi w ostatnich latach przedmiot licznych badań, mających w większości charakter monitoringowy.

2. Object and methods

The study covered a 1500 meter section: Warszawska Street, Tysiąclecia Państwa Polskiego Avenue and Solidarnosc Avenue in Kielce. The tested facility, campus of the Kielce University of Technology, was chosen due to the time spent in this area by student youth and walkers from the neighborhoods. Seven sampling points were designated for the study: 3 – at Warszawska St., 2 – at Tysiąclecia P.P. Avenue and 2 – at Solidarnosc Avenue (Fig. 1). Warszawska Street is dominated by grasses and small bushes at points 2 and 3, and a small flower garden run by residents of the neighboring settlement – point 1. Points 4–7 is a grassy area with few trees, where car parks for employees and students are located, as well as hiking and walking routes.

2. Obiekt i metody

Badaniami objęto ogólnie 1500-metrowy odcinek: ulicę Warszawską, aleję Tysiąclecia Państwa Polskiego i aleję Solidarności w Kielcach. Obiekt badań, kampus Politechniki Świętokrzyskiej, wybrano ze względu na czas przebywania na tym terenie młodzieży studenckiej i spacerowiczów z okolicznych osiedli. Do badań wyznaczono 7 punktów pobierania prób: 3 – przy ul. Warszawskiej, 2 – przy al. Tysiąclecia P.P. i 2 – przy al. Solidarności (rys. 1). Przy ul. Warszawskiej dominują zbiorowiska traw i niewysokich krzewów w punktach 2 i 3 oraz niewielki ogródek kwiatowy prowadzony przez mieszkańców sąsiadującego osiedla – punkt 1. Punkty 4–7 to teren trawiasty z nielicznymi drzewami, gdzie zlokalizowane są parkingi samochodowe dla pracowników i studentów oraz trakty piesze i spacerowe.

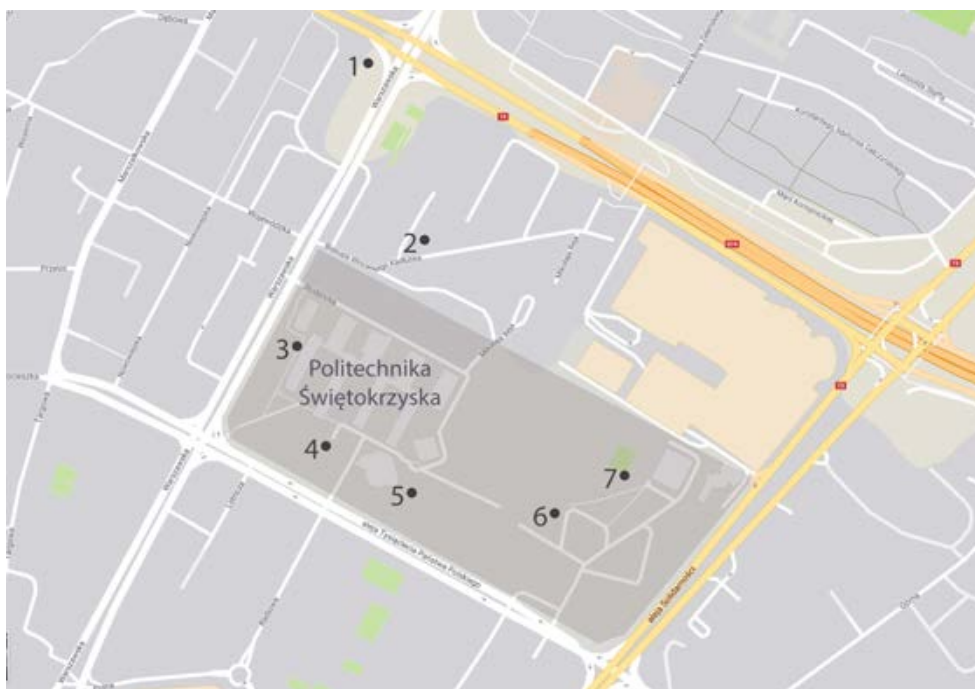


Fig. 1. Kielce University of Technology on the Kielce map [5]

Rys. 1. Politechnika Świętokrzyska na mapie Kielce [5]

The samples were taken three times from each point between October and December 2016. The analyzed samples were mixed, air-dried from depths of 30 cm.

In the sampled material the following have been determined:

- granulometric composition – laser diffraction method using the Mastersizer 3000, dry by using AeroS dispersing tool,
- soil pH – potentiometric method in 1 mol/dm³ KCl solution, PN-83C-97555.04,
- organic carbon – Tiurina method,

Z każdego punktu pobrano próby trzykrotnie w okresie październik–grudzień 2016. Analizie poddano próby mieszane, powietrznie suche z głębokości 30 cm.

W pobranym materiale oznaczono:

- skład granulometryczny – metoda dyfrakcji laserowej za pomocą urządzenia Mastersizer 3000, na sucho z zastosowaniem przystawki dyspergującej AeroS,
- odczyn gleb – metoda potencjometryczna w roztworze KCl o stężeniu 1 mol/dm³, PN-83C-97555.04,
- węgiel organiczny – metoda Tiurina,

– content of selected heavy metals (Pb, Cu) in soil and oats – method, after mineralization by Nova spectrophotometer and using Merck tests in accordance with EN-13346:2000.

2.1. Laboratory experiment

In the laboratory experiment, the soil from the area around the campus of the Kielce University of Technology was used. Two series of tests were carried out over a period of 4 weeks, the first control series was soil with oats seeded, second series was soil with Cu and Pb salts, also with oats seeded. Control was made of dry air samples from 7 studied areas, for each 250 g of soil with 15 oat grains seeded and 7 samples each 250 g of 1 cm³ CuCl₂ and 1 cm³ of Pb(NO₃)₂ with 15 oat grains seeded. Ground parts of oats were harvested after 4 weeks, dried at 70°C to determine the concentration of heavy metals in the soil.

3. Results and discussion

3.1. Granulometric composition

Based on the results of the granulometric analysis of the tested soils, the percentage of particles was determined in the clay fraction with particles smaller than 2 μm, in dust fraction 2–50 μm and sand fraction where in case of very coarse sand 1000–2000 μm, coarse sand 500–1000 μm, medium sand 250–500 μm, fine sand 100–250 μm and very fine sand 50–100 μm (Table 1, Fig. 2).

Table 1. The subfraction percentage of coarse, medium and fine sand in relation to the whole sand fraction for the analyzed soils

Tabela 1. Udział podfrakcji piasku grubego, średniego i drobnego w stosunku do całej frakcji piaskowej dla analizowanych utworów glebowych

Subfraction	The subfraction percentage in the whole sand fraction [%] for the studied soils: 1-7						
	1	2	3	4	5	6	7
The very coarse and coarse sand [2.0-0.5 mm]	42	34	25	35	29	37	55
Medium sand [0.5-0.25 mm]	34	37	36	38	39	38	29
Fine and very fine sand [0.25-0.05 mm]	24	29	38	27	32	26	16

In the soils tested the percentage of the smallest particles below 2 μm was 0. The highest percentage was recorded for particles with a diameter of 250–500 μm. They ranged from 27% to 36%. Only one sample No. 7 was characterized by a percentage of grains below 30%. For this sample, however, the highest content of particle size of 500 μm to 1000 μm was noticed and was of 36%. For other samples this percentage was between 22% and 28%.

– zawartość wybranych metali ciężkich (Pb, Cu) w gruncie i owsie – metoda po mineralizacji na spektrofotometrze Nova przy użyciu testów Merck zgodnie z normą EN-13346:2000.

2.1. Eksperyment laboratoryjny

W doświadczeniu laboratoryjnym wykorzystano glebę pochodzącą z terenu wokół kampusu Politechniki Świętokrzyskiej. Przeprowadzono dwie serie badań w okresie 4 tygodni, pierwsza seria kontrolna to gleba z posianym owsem, druga seria to gleba zadana solami Cu i Pb, również z posianym owsem. Kontrolę stanowiły próby powietrzno-suche z 7 obszarów badawczych, z każdego po 250 g gleby z posianymi 15 ziarnami owsa i 7 prób, po 250 g gleby zadanej 1 cm³ CuCl₂ i 1 cm³ Pb(NO₃)₂ z posianymi 15 ziarnami owsa. Części naziemne owsa zebrano po 4 tygodniach, wysuszono w temperaturze 70°C w celu określenia stężenia metali ciężkich w glebie.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Skład granulometryczny

Na podstawie uzyskanych wyników analizy granulometrycznej badanych gleb określono procentowy udział cząstek w zakresie frakcji ilowej, cząstki mniejsze od 2 μm, pyłowej 2–50 μm i piaskowej dla piasku bardzo grubego 1000–2000 μm, grubego 500–1000 μm oraz piasku średniego 250–500 μm, drobnego 100–250 μm i bardzo drobnego 50–100 μm (tabela 1, rys. 2).

W badanych próbach gleby udział procentowy najmniejszych cząstek poniżej 2 μm wyniósł 0. Największy udział procentowy odnotowano dla cząstek o średnicy z przedziału 250–500 μm. Stanowiły one od 27% do 36%. Tylko jedna próba nr 7 charakteryzowała się udziałem procentowym ziaren poniżej 30%. Dla próby tej odnotowano natomiast najwyższą zawartość cząstek o średnicy od 500 μm do 1000 μm wynoszącą 36%. Dla pozostałych prób udział ten

A slightly lower particle content was noted for fine sand fractions ranging from 11.5% to 25%. The smallest amount of grains from 100 μm to 250 μm was observed in sample No. 7.

Taking into account the grouping of mineral forms into granulometric groups and subgroups according to the Polish Soil Association (PTG) 2008, the soils tested are loose sands (Table 1, Fig. 2).

kształtował się na poziomie od 22% do 28%. Nieco niższą zawartość ziaren odnotowano w przypadku frakcji dla piasku drobnego, stanowiła ona od 11,5% do 25%. Najmniejszą ilością ziaren o średnicy od 100 μm do 250 μm charakteryzowała się próba nr 7.

Uwzględniając podział utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (PTG) 2008, badane gleby to piaski luźne (tabela 1, rys. 2).

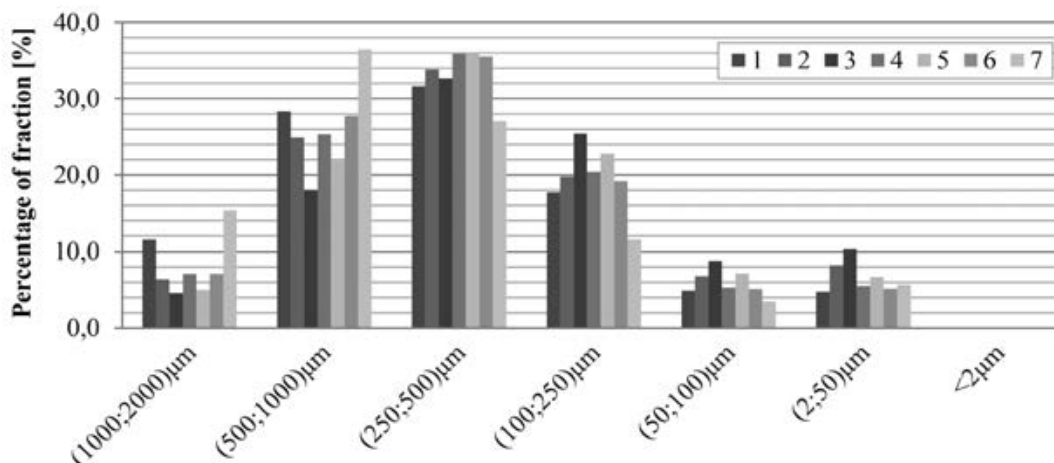


Fig. 2. Percentage of analyzed soil fractions

Rys. 2. Udział procentowy analizowanych frakcji gleb

3.2. The pH of studied soils

Soils from the studied sites showed a pH in range of 7.06–8.16; which indicates neutral and slightly alkaline pH. Soils slightly alkaline (8.02–8.16) occur in places of increased car traffic and diverse usage. In the above locations are located flowerbeds, ventilation air launcher from Energis building of Kielce University of Technology and a garbage pavilion in the neighborhood of the academic houses – sample 1, 2, 3, 6 (Table 2).

3.2. Odczyn badanych gruntów

Gleby pochodzące z badanych terenów wykazywały odczyn w zakresie 7,06–8,16, co wskazuje na odczyn obojętny i lekko zasadowy. Gleby lekko zasadowe (8,02–8,16) występują w miejscach wzmożonego ruchu samochodowego i zróżnicowanego sposobu użytkowania. W powyższych lokalizacjach znajdują się rabaty kwiatowe, wyrzutnia powietrza wentylacyjnego z budynku Energis Politechniki Świętokrzyskiej oraz altanka śmietnikowa w sąsiedztwie domów akademickich – próba 1, 2, 3, 6 (tabela 2).

Table 2. Location of sampling and mean values for each point: pH and organic carbon in the soil samples tested in October–December 2016

Tabela 2. Lokalizacja pobieranych prób i średnie wartości dla każdego punktu: pH i węgla organicznego w badanych próbkach gleby październik–grudzień 2016

Sampling place	Sample no	pH	Corg [%]
Warszawska St., multi-family building	1	8.10	2.54
Warszawska St., Lukol fuel station	2	8.16	3.22
Warszawska St., ventilation air launcher	3	8.06	1.99
Tysiąclecia P.P. Ave., car park	4	7.18	1.48
Tysiąclecia P.P. Ave., volleyball field	5	7.23	1.03
Solidarnosci Ave., garbage pavilion	6	8.02	1.98
Solidarnosci Ave., tennis courts	7	7.06	1.23

Table 3. Statistical parameters for pH, [%] Corg content, [%] content of fine and very fine sand fraction, total content of selected metals in studied soils October–December 2016

Tabela 3. Parametry statystyczne dla pH, zawartości [%] Corg, zawartości [%] frakcji piasku drobnego i bardzo drobnego, ogólnej zawartości wybranych metali w badanych glebach październik–grudzień 2016

Parameters	pH	Corg	Sand fraction [0.25-0.05 mm]	Pb	Cu
			[%]	[mg/kg s.m.]	
Maximum	8.16	3.22	38	251	113
Minimum	7.06	1.03	16	120	58
Average	7.68	1.92	27	169	85
Median	8.04	1.98	27	140	87
Standard deviation	0.5	0.8	6.8	54.2	10.1
Journal of Law of 2016, no 0, item 1395, limit values	-	-	-	200	200

3.3. Organic carbon

The organic carbon content of the examined soils ranges from 1.03% to 3.22%. The lowest content (1.03%, 1.23%, 1.48%) of organic matter occurs at the location of the car park, sports field and tennis courts with parking (4, 5, 7). More affluent in organic matter are soils with slightly alkaline pH and of other uses (e.g. flower gardening) – trial 1, 2, 3, 6 (Table 2).

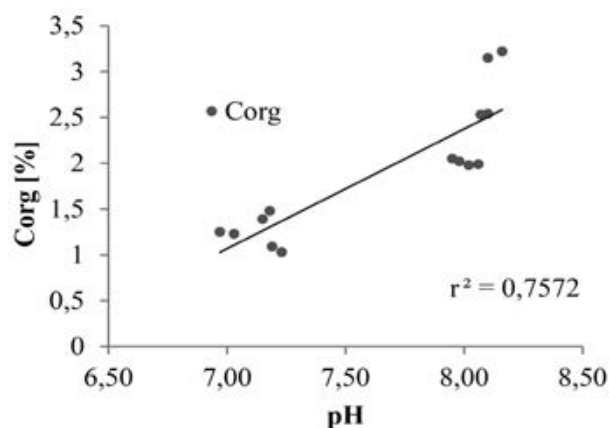


Fig. 3. The correlation of pH and Corg [%] in studied soils, October–December 2016

Rys. 3. Korelacja pH i Corg [%] w badanych glebach, październik–grudzień 2016

3.4. Heavy metals

The heavy metals influence to humans and animals occurs in a very wide range and with varying carcinogenic forces. Metals accumulate in the body and their negative effect occurs when

3.3. Węgiel organiczny

Zawartość węgla organicznego w badanych glebach mieści się w przedziale 1,03–3,22%. Najniższa zawartość (1,03%, 1,23%, 1,48%) materii organicznej występuje w miejscu lokalizacji parkingu samochodowego, boiska sportowego i kortów tenisowych z parkingiem (4, 5, 7). Zasobniejsze w materię organiczną są gleby o odczynie lekko zasadowym i innym sposobie użytkowania (np. uprawa ogródków kwiatowych) – próby 1, 2, 3, 6 (tabela 2).

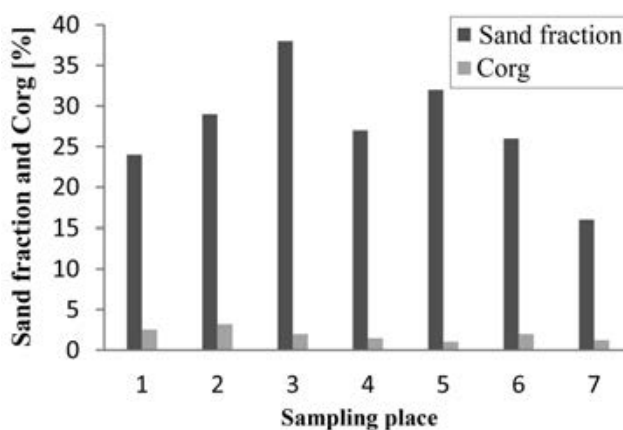


Fig. 4. Dependency of Corg [%] and sand fraction 0.25–0.5 mm of location in studied soils, October–December 2016

Rys. 4. Zależność Corg [%] i frakcji piasku 0,25–0,5 mm od lokalizacji w badanych glebach, październik–grudzień 2016

3.4. Metale ciężkie

Oddziaływanie metali ciężkich na ludzi i zwierzęta występuje w bardzo szerokim zakresie i ze zróżnicowaną siłą kancerogenną. Metale ulegają kumulacji w organizmie, a negatywne ich oddziaływanie wy-

the level reaches or exceeds the threshold [6]. Lead (Pb) and copper (Cu) belong to a group of very high risk to human health. Low mobile lead under soil conditions, at $\text{pH} > 6.5$, precipitates in the form of carbonates and phosphates, its natural content in soils of neutral pH is up to 70 mg/kg. Copper content in soils of neutral pH is in level up to 40 mg/kg [7]. In the studied soils the lead and copper content was determined by determining the total concentration on the MERC spectrophotometer, after mineralization with the aqua regia.

In points 1, 2, 3 where the organic carbon content is in the range of 1.99–2.54%; and the pH of the soil is slightly alkaline, the increased concentrations of lead, exceeding 200 mg/kg of the norm have been observed (Fig. 5). Locations of these samples are subjected to high car traffic (Fig. 1). At points 3, 4, 5, 6 the lead concentration is at an even level not exceeding the norm [8]. Copper concentration throughout the test area is at comparable level 25% of the norm. The increased content has been noted in point 3 (Fig. 4), which may be due to bringing soil from the outside and its treatment with fungicide and herbicide during construction investments.

stępuje, gdy poziom osiągnie lub przekroczy dawkę progową [6]. Ołów (Pb) i miedź (Cu) należą do grupy bardzo wysokiego stopnia zagrożenia zdrowia ludzi. Mało ruchliwy ołów w warunkach glebowych, przy $\text{pH} > 6,5$ wytrąca się w postaci węglanów i fosforanów, jego naturalna zawartość w glebach o odczynie obojętnym wynosi do 70 mg/kg. Zawartość miedzi w glebach o odczynie obojętnym kształtuje się na poziomie do 40 mg/kg [7]. W badanych glebach zawartość ołowiu i miedzi została określona przez oznaczenie całkowitego stężenia na spektrofotometrze MERC, po mineralizacji wodą królewską.

W punktach 1, 2, 3, gdzie zawartość węgla organicznego mieści się w zakresie 1,99–2,54%, a odczyn gleby jest lekko zasadowy, odnotowano podwyższone stężenie ołowiu przekraczające 200 mg/kg normy (rys. 5). Miejsca lokalizacji tych prób poddane są dużemu oddziaływaniu ruchu samochodowego (rys. 1). W punktach 3, 4, 5, 6 stężenie ołowiu kształtuje się na wyrównanym poziomie, nieprzekraczającym normy [8]. Stężenie miedzi, w całym obszarze badanym, występuje w zakresie porównywalnym na poziomie 25% normy. Podwyższona zawartość została odnotowana w punkcie 3 (rys. 4), może to być spowodowane nawiezieniem gleby z zewnątrz i zabezpieczeniem jej środkami grzybobójczymi i chwastobójczymi w czasie inwestycji budowlanych.

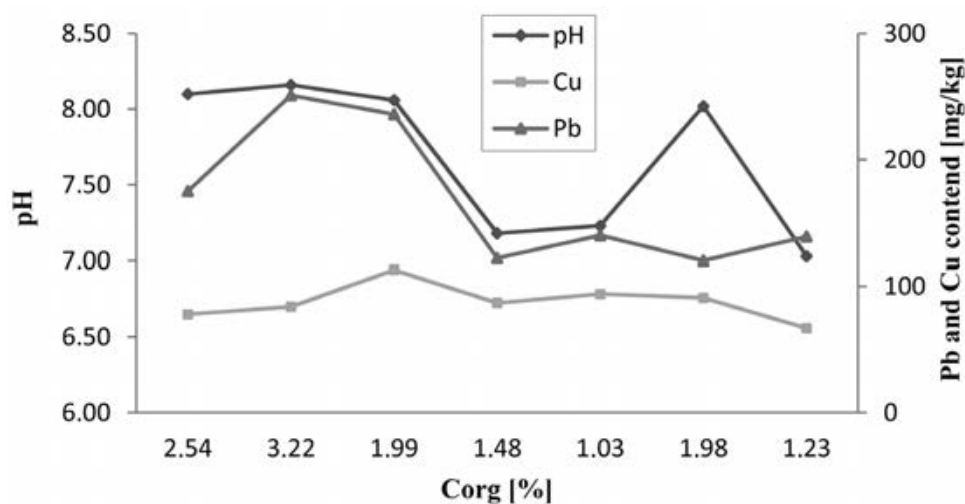


Fig. 5. Dependence of total content of lead (Pb), copper (Cu) and pH of organic carbon content in soil samples tested, October–December 2016

Rys. 5. Zależność całkowitej zawartości ołowiu (Pb), miedzi (Cu) i pH od zawartości węgla organicznego w badanych próbkach gleby, październik–grudzień 2016

Assessing the content of metals in the studied soils, based on the limit values for Group I lands, given in the Regulation of the Minister of the Environment on the method of conducting land surface pollution assessment of 5 September 2016 (Journal of Law of 2016, No. 0, item 1395), it is concluded that the standards have not been met for the two locations in points 2 and 3 (Fig. 1). These places are actively attended by residents of located near the housing estate and students residing the campus of the Kielce University of Technology. The rest of the studied soil (campus area with dormitories, recreation and sports facilities) meet the standards for Group B soils in the quoted regulation (Tables 2 and 3, Fig. 4).

3.5. Phytoremediation capabilities of oat (laboratory experiment)

The soil pH and the content of organic carbon with assimilated by oat lead and copper do not show a close correlation determined by the factor r^2 . The highest r^2 value shows the correlation between organic carbon and copper $r^2 = 0.6596$, and organic carbon and lead lower by about 60%, $r^2 = 0.3921$ (Fig. 7). In the case of correlation of copper and lead with soil, the coefficients are assigned to “high correlation according to J. Guilford classification” (Fig. 6).

Oceniając zawartość metali w badanych glebach, w oparciu o wartości graniczne dla gruntów grupy I, podane w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi z 5 września 2016 r.* (Dz.U. 2016 nr 0, poz. 1395), stwierdza się, że nie zostały spełnione standardy dla dwóch miejsc zlokalizowanych w punktach 2 i 3 (rys. 1). Miejsca te są czynnie uczęszczane przez mieszkańców zlokalizowanego nieopodal osiedla mieszkaniowego i studentów zamieszkujących kampus Politechniki Świętokrzyskiej. Pozostała badana gleba (tereny kampusu z lokalizacją akademików, rekreacyjno-wypoczynkowe, sportowe) spełnia standardy dla gleb grupy B cytowanego rozporządzenia (tabele 2 i 3, rys. 4).

3.5. Zdolności fitoremediacyjne owsa (eksperyment laboratoryjny)

Odczyn gleby i zawartość % węgla organicznego z zasymilowanym przez owies ołowiem i miedzią nie wykazuje ścisłej zależności wyznaczonej współczynnikiem r^2 . Najwyższą wartość r^2 wykazuje korelacja węgla organicznego i miedzi $r^2 = 0,6596$, zaś węgla organicznego i ołowiu o ok. 60% mniejszy, $r^2 = 0,3921$ (rys. 7). W przypadku korelacji miedzi i ołowiu z odczynem gleby współczynniki zaliczane są do „wysokiej korelacji wg klasyfikacji J. Guilforda” (rys. 6).

Table 4. Comparison of mean values of parameters: pH, organic carbon, assimilated lead (Pb) and copper (Cu) by oats in studied soils, October–December 2016

Tabela 4. Zestawienie średnich wartości parametrów: pH, węgla organicznego, zasymilowanego przez owies ołowiu (Pb) i miedzi (Cu) w badanych glebach, październik–grudzień 2016

Sample No. (location of the place)	1	2	3	4	5	6	7
pH of the soil	8.10	8.16	8.06	7.18	7.23	8.02	7.03
Organic carbon [%]	2.54	3.22	1.99	1.48	1.03	1.88	1.23
Assimilated Pb by oat [mg/g d.m.]	0.36	0.75	0.43	0.54	0.34	0.68	0.30
Assimilated Cu by oat [mg/g d.m.]	0.48	0.52	0.48	0.48	0.29	0.46	0.36
% of assimilated metal in relations to the original sample							
[Pb] 48%	[Cu] 40%						

In laboratory studies conducted over a period of 4 weeks (from oat grains sowing to germinating, growing and harvesting) the assimilated by oat lead was about 48%, and copper in about 40% (Table 4).

W badaniach laboratoryjnych prowadzonych w okresie 4 tygodni (od posiania ziaren owsa do wykiełkowania, wyrośnięcia i zebrania) ołów został zasymilowany przez owies w około 48%, zaś miedź w około 40% (tabela 4).

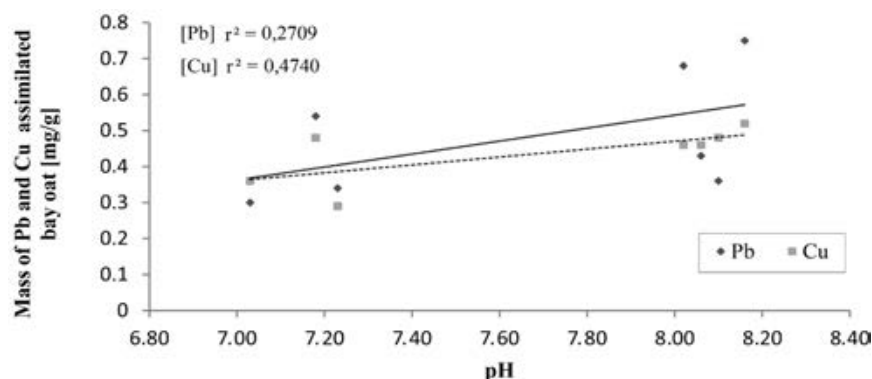


Fig. 6. Dependence of assimilated lead (Pb) and copper (Cu) content of pH in soil samples tested, October–December 2016
Rys. 6. Zależność zasymilowanej zawartości ołowiu (Pb) i miedzi (Cu) od pH w badanych próbkach gleby, październik–grudzień 2016

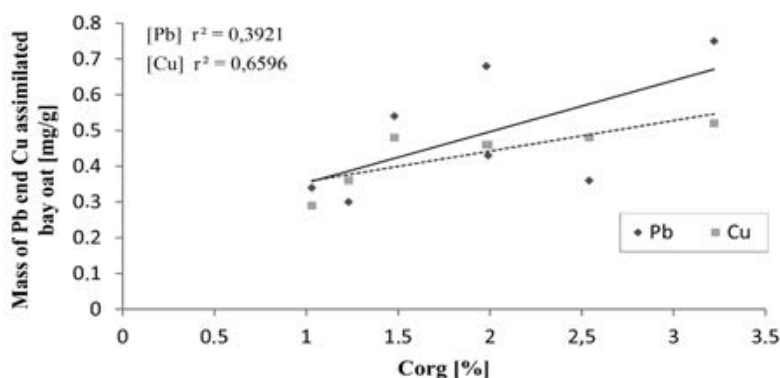


Fig. 7. Dependence of assimilated lead (Pb) and copper (Cu) content of organic carbon content in studied soil samples, October–December 2016
Rys. 7. Zależność zasymilowanej zawartości ołowiu (Pb), miedzi (Cu) od zawartości węgla organicznego w badanych próbkach gleby, październik–grudzień 2016

4. Summary

The conducted studies of urban land located on the campus of the Kielce University of Technology allow to formulate the following generalizations. The soil fractions, which are directly responsible for the assimilation of metals, are not present in the test samples ($<2 \mu\text{m}$), or in very small percentages for the $2\text{--}50 \mu\text{m}$ fraction (4–10%). The soil pH is at a neutral and weakly alkaline level, which is not conducive to increase the concentration of heavy metal forms in the soil solution and thus available to plants. The organic matter content is at an average level of 1.92% (Table 3), which exceeds twice the average content in the soils of the province Świętokrzyskie [9] and is caused by intensive fertilization of urbanized land with the garden land by individual inhabitants. The concentration of copper in the examined soils lies within the standards specified in Journal of Law of 2016, No. 0, item 1395, while the lead concentration exceeds them by about 12% in places with increased car traffic. Laboratory studies of phytoremediation

4. Podsumowanie

Przeprowadzona ocena gruntów zurbanizowanych zlokalizowanych na terenie kampusu Politechniki Świętokrzyskiej pozwala sformułować następujące uogólnienia. Frakcje gleby, które bezpośrednio odpowiadają za przyswajalność metali, nie występują w badanych próbkach ($<2 \mu\text{m}$) lub w bardzo niewielkim procencie dla frakcji $2\text{--}50 \mu\text{m}$ (4–10%). Odczyn gleby utrzymuje się na poziomie obojętnym i słabo zasadowym, co nie sprzyja zwiększeniu stężenia w roztworze glebowym form metali ciężkich rozpuszczalnych, a tym samym dostępnych dla roślin. Zawartość substancji organicznej kształtuje się na średnim poziomie 1,92% (tabela 3), co dwukrotnie przekracza średnią zawartość w glebach województwa świętokrzyskiego [9] i jest spowodowane intensywnym nawożeniem ziemią ogrodową zurbanizowanych gruntów przez indywidualnych mieszkańców. Stężenie miedzi w badanych glebach mieści się w standardach określonych w Dz.U. 2016 nr 0, poz. 1395, natomiast stężenie ołowiu przekracza je ok. 12% w miejscach o wzmożonym ruchu samochodowym.

capacity, relative to lead and copper, have shown high accumulation of these metals by oats. The concentration of lead in the tested soil has been reduced by about 48% and falls within the scope of the standards for urban areas with limit values for Group I lands.

5. Conclusions

Due to the way the lands under study are used, the monitoring of heavy metal concentrations is advised. The small but prolonged influence of the contaminated area poses a risk to the health of the residents of the campus and neighboring housing estate. An effective tool to remove contamination would be biological techniques, which are characterized by small capital expenditures, with simultaneous efficiency and non-invasiveness against the environment. Plants such as *Lupinus albus* are very effective, because of their ability to efficiently absorb and degrade harmful Pb and Cu compounds. Planting plants with phytoremediation capacity will be a decorative element and at the same time will reduce the risk of health hazard in the area of exceeding standards.

Badania laboratoryjne zdolności fitoremediacyjnych, w stosunku do ołowiu i miedzi, wykazały dużą akumulację tych metali przez owies. Stężenie ołowiu w badanej glebie uległo zmniejszeniu o ok. 48% i mieści się w zakresie standardów dla obszarów zurbanizowanych o wartościach granicznych dla gruntów grupy I.

5. Wnioski

Ze względu na sposób użytkowania badanych gruntów wskazane jest monitorowanie stężenia metali ciężkich. Niewielkie, ale długotrwałe oddziaływanie skażonego terenu stwarza zagrożenie dla zdrowia mieszkańców zamieszkujących kampus i sąsiadujące osiedle. Efektywnym narzędziem do usuwania zanieczyszczeń byłyby metody biologiczne, które charakteryzują się małymi nakładami inwestycyjnymi, przy jednoczesnej skuteczności oraz nieinwazyjności wobec środowiska naturalnego. Dużą skuteczność wykazują rośliny, np. *Lupinus albus*, ze względu na zdolność do efektywnego pobierania i degradacji szkodliwych związków Pb i Cu. Nasadzenie roślin o zdolnościach fitoremediacyjnych będzie stanowić element ozdobny, a jednocześnie zmniejszy ryzyko zagrożenia.

Laboratory experiments were carried out with the participation of Student Scientific Association of the Kielce University of Technology „EKOLOG composed of: Aneta Szywnicka, Magdalena Cieloch, Dominika Lalewicz, Karolina Stoga, Joanna Sobierajska, Maciej Parteka, Grzegorz Dudek, Tomasz Chojnacki, Radosław Orłowski, Kinga Obląk, Patrycja Myśliwiec, Magda Kmiecik, Karolina Waligórska, Maciej Kowalczyk.

References

- [1] Dmochowski D., Prędecka A., Mazurek M., Pawlak A., *Ocena zagrożeń związanych z emisją metali ciężkich w aspekcie bezpieczeństwa ekologicznego na przykładzie ogródków działkowych w aglomeracji miejskiej (Hazards related to the emission of heavy metals in view of ecological safety. Example of allotments in urban areas)*, „Polski Przegląd Medycyny i Psychologii Lotniczej” 2011, 3(17), s. 257–265.
- [2] Czubaszek R., Bartoszek K., *Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach w zależności od ich odległości od ulicy i sposobu użytkowania terenu (Content of selected heavy metals in soils in accordance with its distance from the street and land use)*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2011, 2, s. 27–34.
- [3] Wowkonowicz P., Malowaniec P., Niesiobędzka K., *Metale ciężkie w roślinach i glebach na trwałych użytkach zielonych w okolicach Warszawy (Heavy metals in soil and plants on grassland around Warsaw)*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2011, 49, s. 309–3019.
- [4] Grobelak A., Kacprzak M., Fijałkowski K., *Fitoremediacja – niedoceniony potencjał roślin w oczyszczaniu środowiska (Phytoremediation the underestimated potential of plants in cleaning up the environment)*, „JEcolHealth” 2010, 14(6), s. 276–280.
- [5] Kielce University of Technology on the map of Kielce, <https://mapa.targeo.pl/politechnika-swietokrzyska_miejsce_4450054>, [access: 15.04.2017 r.].
- [6] Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., Peakall D.B., *Podstawy ekotoksykologii (The basis of ecotoxicology)*, PWN, Warszawa 2002.
- [7] Dziadek K., Waclawek W., *Metale w środowisku, cz. 1, Metale ciężkie (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) w środowisku glebowym (Metals in the environment, Part 1, Heavy metals (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) in the soil environment)*, „Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Meteorologia” 2005, 10, s. 33–44.
- [8] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Ordinance of the Minister of the Environment of 5 September 2016 on how to conduct an assessment of land surface pollution)*, Dz.U. 2016 nr 0, poz. 1395, 2016.09.05) (in Poland).
- [9] *Monitoring Chemizmu Gleb Ornych w Polsce w latach 2010–2012 (Monitoring of Chemistry of Arable Soils in Poland in 2010–2012)*, IUNG, Puławy 2012.